



# Comune di Grazzanise

## *Provincia di Caserta*

### PIANO URBANISTICO COMUNALE

(Ai sensi della L.R. Campania 22.12.2004 n° 16)

***Integrazioni Luglio 2023***



### RELAZIONE GEOLOGICA

*Il geologo*

*Dott.ssa Candida Salato*

*Data: 07/2023*

## INDICE

1.	PREMESSA .....	3
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOGRAFICO GENERALE .....	5
2.1.	<i>ASSETTO MORFOSTRUTTURALE, STRATIGRAFICO E GEOTECNICO</i> .....	7
3.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E STABILITÀ .....	10
4.	INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	15
4.1.	<i>CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA</i> .....	15
4.2.	<i>CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE</i> .....	17
5.	ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE.....	18
5.1.	<i>FAGLIE ATTIVE E CAPACI – PROGETTO ITHACA</i> .....	20
6.	INDAGINI EFFETTUATE .....	22
6.1.	<i>INDAGINI PREGRESSE DEL P.R.G. 1983</i> .....	22
6.2.	<i>INDAGINI PREGRESSE DEL P.U.C. 2008</i> .....	22
6.3.	<i>INDAGINI PREGRESSE DI ARCHIVIO</i> .....	23
6.4.	<i>INDAGINI ATTUALI</i> .....	25
6.4.1.	MISURE H.V.S.R. (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) .....	27
6.4.1.1.	ESAME DEI RISULTATI.....	32
6.4.2.	PROVE SISMICHE M.A.S.W. ....	55
6.4.2.1.	ESAME DEI RISULTATI.....	60
7.	VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE .....	78
8.	MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO.....	81
9.	MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO .....	86

9.1. *SCelta DEGLI ABACHI E DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ... 95*

10. CONCLUSIONI..... 100

## ALLEGATI

*ALLEGATO N. 1: INDAGINI PREGRESSE*

*ALLEGATO N. 2: INDAGINI ATTUALI – ELABORATI H.V.S.R.*

*ALLEGATO N. 3: INDAGINI ATTUALI – ELABORATI M.A.S.W*

## TAVOLE

*TAV. N. 1: CARTA UBICAZIONE INDAGINI*

*TAV. N. 2: CARTA GEOLITOLOGICA*

*TAV. N. 3: CARTA IDROGEOLOGICA*

*TAV. N. 4: MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA*

*TAV. N. 5: CARTA DEI VALORI DI FREQUENZA FONDAMENTALE  $F_0$*

*TAV. N. 6: CARTA DELLE FREQUENZE  $F_A$  (MS II Livello)*

*TAV. N. 7: CARTA DELLE FREQUENZE  $F_V$  (MS II Livello)*

*TAV. N. 8: SEZIONI LITOTECNICHE*

*TAV. N. 9: CARTA GEOMORFOLOGICA E DELLA STABILITA'*

## 1. PREMESSA

La scrivente Dott.ssa Geol. Candida Salato, iscritta all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al N° 1102, in seguito alla Nota del Genio Civile di Caserta Prot. 2023.0170825 del 16/03/2023, inviata al comune di Grazzanise (CE), in cui si chiedeva di perfezionare, adeguare ed integrare lo studio geologico finalizzato alla prevenzione del rischio sismico redatto ai sensi del D.M. del 17/01/2018, ha ricevuto l'incarico, come da ***Determinazione del Responsabile del Servizio dell'Area Tecnica, registrata nel Registro Generale delle Determine al nr.399 in data 22-05-2023 e nel registro dell'Area al nr.209 in data 22/05/2023***, per ***“LA REDAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA E DELLE INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE”*** PROPEDEUTICHE ALLA DEFINIZIONE DEL P.U.C. DI GRAZZANISE (CE).

Il presente lavoro è stato realizzato nel rispetto della nuova normativa sismica D.M. 17/01/2018, del D.P.C. del 2020 (Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica – Versione 4.2), del D.P.C. del 2015 (Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci –FAC) e del D.P.C. del 2017 (Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione-LQ).

Tale studio **integra e sostituisce** lo studio geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e sismico del territorio comunale già eseguito dalla scrivente, su incarico **dell'Amministrazione Comunale, come da convenzione disciplinare stipulata in data 12/03/2008 e trasmesso all'Area tecnica in data 03/12/2008 con prot. N. 12389.**

Lo studio geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e sismico condotto nell'ambito del territorio comunale di Grazzanise (CE) ha avuto come obiettivo l'identificazione delle situazioni locali che potrebbero presentare livelli di pericolosità geologica e sismica, tali da influenzare le scelte della pianificazione urbanistica, come prescritto dalla L.R 9/83, che cita *”prima della formazione, revisione ed adeguamento degli strumenti urbanistici generali ed esecutivi o loro varianti, ogni Comune dichiarato sismico è tenuto a predisporre indagini geologico-geognostiche ai fini della prevenzione del rischio”* (Artt. 11-12-14).

Le indagini sono state localizzate nella zona urbanizzata (città esistente), nelle zone urbanizzabili, cioè quelle parti di territorio potenzialmente sottoposte a trasformazione urbanistica sostanziale per l'espansione della città, e nelle fasce di territorio riguardanti reti infrastrutturali. Le indagini sono state estese ad un'adeguata fascia limitrofa relativa alle zone sopra citate, cioè in un intorno significativo, nel quale una possibile edificazione potrebbe influenzare la risposta sismica del sottosuolo. Tali indagini, dirette ed indirette, quindi, sono servite a rilevare:

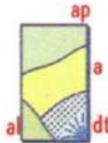
- la giacitura degli strati e la loro potenza fino alla profondità di 30 metri, al di sotto dell'eventuale profondità del piano di posa;
- la caratterizzazione geotecnica dei terreni mediante prove in sito ed analisi di laboratorio;
- l'andamento della falda idrica, la profondità del livello statico della falda prossima alla superficie;
- la caratterizzazione dei terreni come risposta ad un impulso sismico

La base cartografica utilizzata è la Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), in scala 1:5.000, mentre le cartografie prodotte saranno in scala 1:11.000, per quanto riguarda il Quadro d'unione ed in scala 1:5.000 per i dettagli del territorio.

La scrivente dunque, per quanto sopra prescritto, ha provveduto ad integrare indagini di sito, in numero e proporzione adeguate in base alla complessità del sottosuolo ed allo stato di conoscenza delle zone in studio, rivolte ad acquisire informazioni riguardanti le caratteristiche sismiche e geologiche del territorio e più precisamente a definire le “*condizioni topografiche, geologiche, geotecniche, sismiche ed idrogeologiche*”, che potrebbero determinare effetti d'amplificazione del moto sismico, modifiche del regime delle acque superficiali e profonde, ecc., tenuto conto anche di eventuali effetti derivanti dalla realizzazione di opere previste nelle aree di futura espansione.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOGRAFICO GENERALE

Il comune di Grazzanise ricade nel Foglio n° 172 “CASERTA” della Carta geologica d’Italia (scala 1:100.000), come riportato nello stralcio in **figura 1**. Esso è localizzata nell'ampia pianura Terra di Lavoro delimitata da una parte dai blocchi Cretacei e Giurassici dei Monti Tifatini e dal complesso del Monte Maggiore, dall'altra parte dal mare e dai rilievi vulcanici flegrei e del Vesuvio.



Terreni uniformi scuri e di colmata della bonifica del basso Volturno: terreni limosi ed argillo-limosi grigi e verdognoli della pianura (da 10 a 38 m di spessore), con sottostanti lapilli pomicei ed intercalazioni di torba in lenti allungate (Lagno Vecchio a SE di Cancellone, Pantano della Riccia, F. Savone), lenti arenitiche e di ciottolini (Grazzanise), terre nere ed alluvioni recenti di Pietramelara e Pietravairano (ap); argille sabbiose, limi, sabbie scure con lapilli e pomici dilavati, lenti ciottolose (a), ricoprenti, a Sud, depositi salmastri (al); detrito di falda sciolto o debolmente cementato e con di deiezione (dt).

Fig. 1 – Stralcio Carta Geologica (scala 1:100.000 adattata)

Il territorio comunale confina a NO con quello di Francolise e Falciano del Massico, ad O con il comune di Cancellone ed Arnone, a S con il comune di Casal di

Principe, a SE con quello di S. Maria la Fossa, ad E con il comune di Capua e Vitulazio ed infine a NE con il comune di Pignataro Maggiore.

La geologia dell'area è legata a quei movimenti orogenetici verificatisi tra il Mesozoico e il Miocene che hanno determinato l'attuale assetto strutturale dell'intera catena appenninica meridionale, consentendo nelle zone depresse della catena, il depositarsi, a partire dal Pliocene medio-superiore, di materiali piroclastici ascrivibili all'attività della provincia petrografica Campana, e materiali provenienti dall'attività erosionale degli agenti esogeni.

Nella generalità i terreni che si rinvencono nella piana sono essenzialmente di due tipi:

- terreni di origine vulcanica (piroclastiti);
- terreni detritico-alluvionali.

I centri di emissione delle piroclastiti sono da ubicare, probabilmente, nei Campi Flegrei. L'emissione del materiale era accompagnata da fuoriuscita di notevoli quantità di gas che avvolgevano le piroclastiti in una guaina di volatili. Le aree più distali dai centri di emissione sono state raggiunte solo dai materiali più fini a causa della diminuita forza di trasporto dei gas.

Il secondo litotipo presente comprende alluvioni recenti ed attuali costituite da sabbie e argille-limose e limi interstratificati, terreni umiferi, lenti di ciottoli fluviali. Questi materiali sono legati all'attività del Fiume Volturno nel tempo (periodi di piena e periodi di magra).

La quota altimetrica media è di 11 m s.l.m., l'andamento del territorio è subpianeggiante e fa parte di quella vasta area nota come Piana Campana, graben individuatosi nel Pliocene superiore, in seguito colmato da una coltre di depositi terrigeni e piroclastici, potente oltre 4.000 m.

Tali sedimenti poggiano su un substrato appartenente alla piattaforma Carbonatica appenninica, ribassata per faglie a seguito della fase tettonica distensiva che interessò il margine tirrenico tra il Pliocene superiore e l'Olocene. Tale Piana è bordata a Nord dalla dorsale dei Monti Aurunci e dal complesso vulcanico di Roccamonfina, a Est dal massiccio carbonatico del Monte Maggiore e dai Monti

Tifatini, a Sud dal complesso vulcanico dei Campi Flegrei. È nella parte media di quest'ampia pianura che si insinua il fiume Volturno, che con le sue frequenti e periodiche inondazioni, l'ha riempita di sedimenti *fluvio-palustri recenti e fluvio-palustri attuali*, dando vita a formazioni continentali.

Si può affermare, quindi, che si è in presenza delle classiche *facies* di piana alluvionale, delimitate e poggianti su depositi ignimbratici prodotti dal vulcanismo del Roccamonfina e del sistema Flegreo, che danno luogo, al di sotto del manto vegetale, a fenomeni d'eteropia ed interdigitazione; più precisamente, si hanno *terreni umiferi scuri e di colmata della bonifica del basso Volturno: terreni limosi debolmente sabbiosi e sabbie argillo-limose grige e verdognole, con sottostanti piroclastiti dilavate e lenti arenitiche e di ciottolini*.

Per ulteriori dettagli in merito a quanto appena descritto, si rimanda alla **“Tavola n. 2 – Carta Geolitologica”** ed alla **“Tavola n. 8 – Sezioni Litotecniche”**, riportate in allegato alla presente relazione.

## 2.1. ASSETTO MORFOSTRUTTURALE, STRATIGRAFICO E GEOTECNICO

La campagna di indagini (consistente in prove in sito ed analisi di laboratorio su campioni indisturbati) effettuate nel territorio comunale in esame nell'ambito del precedente Piano Urbanistico Comunale e riportate in allegato alla presente relazione (**Allegato N. 1 – “Indagini pregresse: PUC 2008”**), hanno permesso di individuare le successioni stratigrafiche locali e, nel contempo, i parametri fisico-meccanici dei terreni investigati.

Come già accennato, nell'allegato n. 1 sono riportate nel dettaglio le colonne stratigrafiche relative ai sondaggi a carotaggio continuo eseguiti, le quali consentono di visualizzare le sequenze litologiche fino alla profondità di 32 m dal p.c.; vengono inoltre riportati i risultati delle analisi di laboratorio.

Da un'attenta lettura dei risultati forniti dalle prove in sito, dalle analisi e prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati, si evince che, fatta eccezione per la parte più superficiale del deposito, che presenta uno spessore medio di circa

1,50 metri, evidentemente alterata, i terreni investigati hanno evidenziato una discreta qualità geotecnica che, in linea generale, migliora con la profondità.

Infatti, oltre tale profondità e con una certa omogeneità laterale, si sono riscontrati *limi debolmente argillosi, a tratti sabbiosi*, a diversa colorazione, da ocre chiaro a grigio, da mediamente consistente a compatto; procedendo verso il basso e fino alle profondità investigate, si è riscontrata la presenza, alternativamente, di *argilla sabbioso-limosa e sabbie da sottili ad argillose e limose* e di *ghiaietto a pezzatura eterogenea* (per quest'ultimo litotipo non è stato possibile determinare le caratteristiche geotecniche poiché, durante il carotaggio continuo, non è stato possibile prelevare alcun campione).

Le caratteristiche geotecniche si possono desumere sia dalle analisi di laboratorio, laddove possibile, che dalle prove penetrometriche statiche C.P.T. eseguite.

I litotipi affioranti nel territorio comunale di Grazzanise, principalmente rappresentati da *limo debolmente argilloso e/o sabbioso* presentano i seguenti parametri geotecnici medi:

- numero di colpi  $N_{spt}$  va da 7 a 12
- peso di volume naturale  $1,95 \text{ g/cm}^3 < \gamma < 2,00 \text{ g/cm}^3$ ,
- angolo di attrito  $27^\circ < \varphi < 30^\circ$ ,
- coesione  $0,019 \text{ kg/cm}^2 < c < 0,19 \text{ kg/cm}^2$

Fa eccezione solo la frazione Borgo Appio, dove le migliori caratteristiche geomeccaniche rilevate sono quelle relative alle *sabbie sottili*, ivi presenti, che presentano le seguenti caratteristiche:

- peso di volume naturale  $\gamma = 1,85 \text{ g/cm}^3$
- angolo di attrito  $\varphi = 32^\circ$
- coesione  $c = 0,02 \text{ kg/cm}^2$ .

Nell'**Allegato 1** sono inoltre riportate altre indagini geotecniche di sito, eseguite all'interno del territorio comunale di Grazzanise, nell'ambito di incarichi

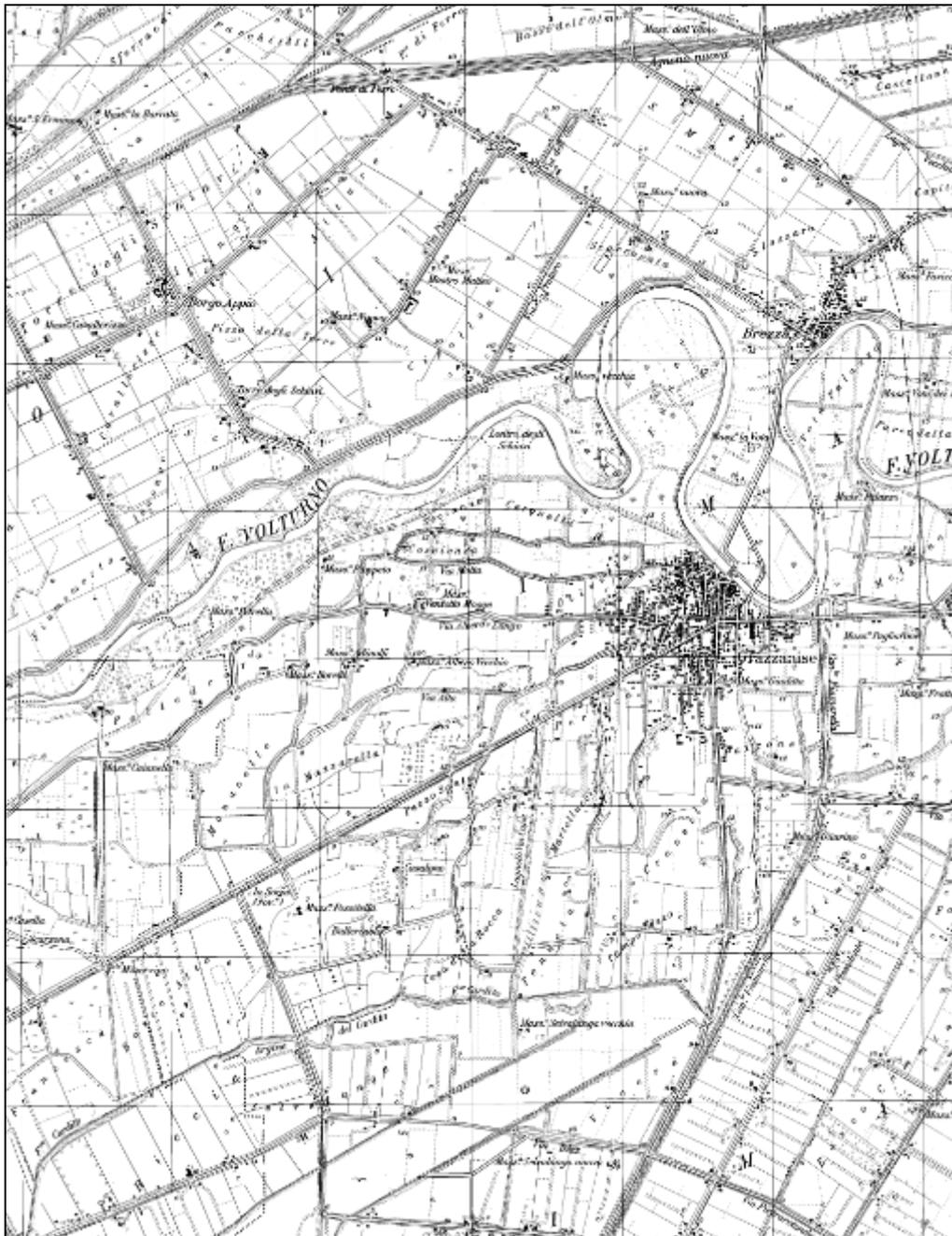
professionali degli anni precedenti, sia pubblici che privati (P.R.G. ed incarichi professionali).

Tali indagini (principalmente rappresentate da sondaggi, prove penetrometriche dinamiche pesanti D.P.S.H. e analisi di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito), hanno confermato quanto sopra descritto in merito alla caratterizzazione geotecnica dei terreni investigati.

### 3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E STABILITÀ

Il comune di Grazzanise ricade nella Piana Campana, l'andamento morfologico del territorio è sub-pianeggiante, con pendenze inferiori al 5% e la quota altimetrica media è di 11 m s.l.m.

In riferimento alla cartografia ufficiale, il comune ricade nella Tavoletta Topografica I.G.M. n° 15 "GRAZZANISE" (Quadrante 172-III), in scala 1:25.000, di cui si riporta lo stralcio (scala adattata) in *figura 2*.



*Fig. 2 – Stralcio delle Tav. topografica I.G.M. (scala adattata)*

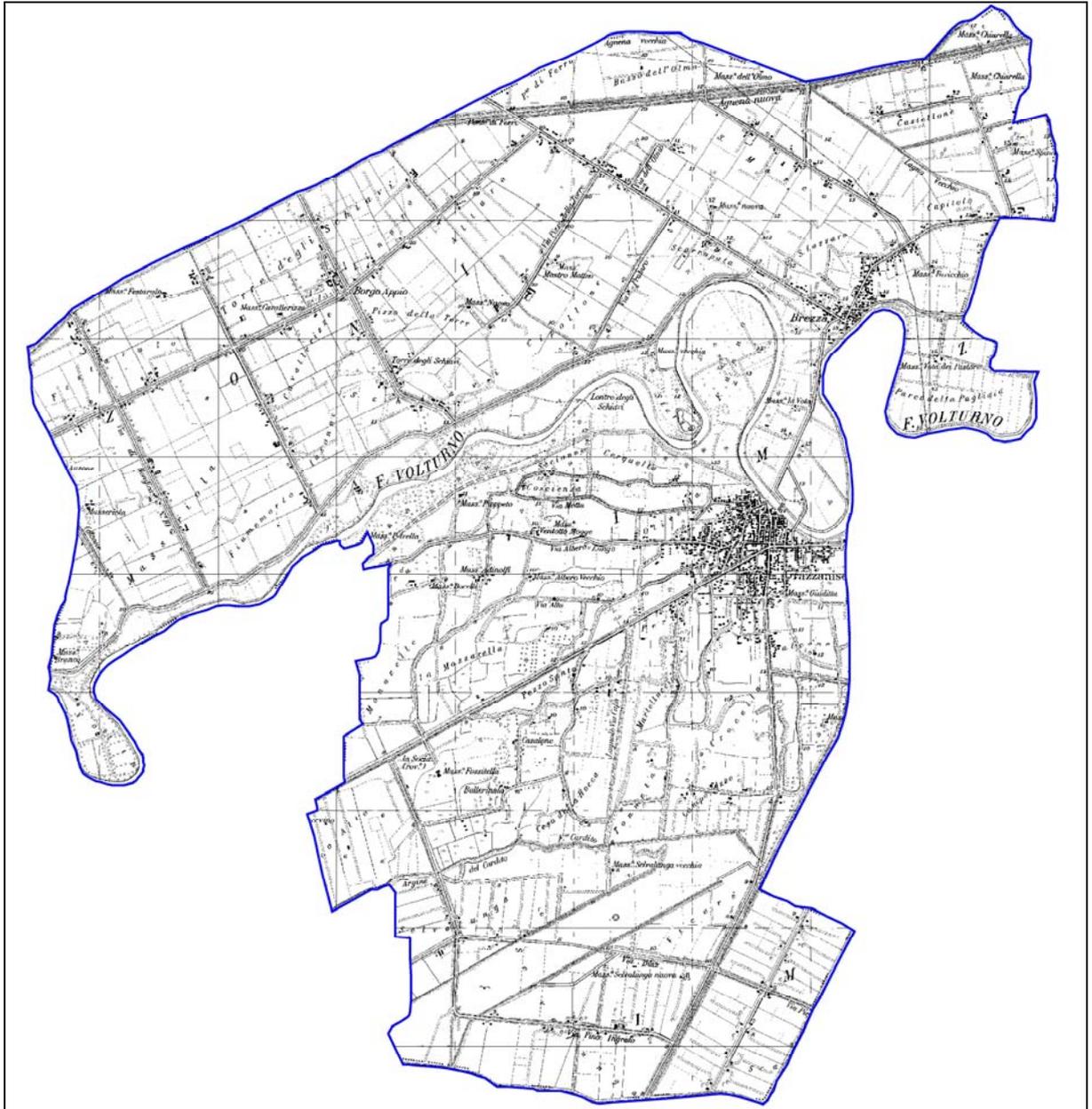
Le linee fondamentali dell'assetto geomorfologico, sono controllate dalla litologia, dall'idrogeologia e dalla tettonica del territorio in studio. Quest'ultima, infatti, oltre ad aver provocato, con la tettonogenesi, la messa in posto dei principali corpi rocciosi che bordano la piana alluvionale in cui ricade il territorio in esame, ha delineato, con il dispiegarsi dei numerosi sistemi di fratture, un primordiale reticolo idrografico e guidato successivamente, con movimenti di surrezione, l'evoluzione morfologica di dettaglio. Ciò ha provocato l'instaurarsi di forme articolate, come versanti a forte pendenza (rilievi carbonatici appartenenti all'Unità meso-cenozoiche) e depressioni tettoniche (piane alluvionali appartenenti a depositi continentali quaternari).

I depositi più recenti di natura vulcanica e alluvionale hanno contribuito, per le loro caratteristiche deposizionali, a modellare il paesaggio, colmando ulteriormente le depressioni tettoniche e generando pendii degradanti dolcemente man mano che ci si allontana dai rilievi carbonatici, fino a giungere alle aree con morfologia quasi piatta (Piana Campana).

Nel rilevamento effettuato, non sono stati rilevati morfotipi che potrebbero essere sede di potenziale pericolo d'innescò di fenomeni franosi, disequilibrio passato, in atto o potenziale, non esistono cavità e/o vuoti né fenomeni erosivi di particolare rilievo.

Inoltre, dall'esame delle caratteristiche morfologiche del sito di intervento, considerando che la pendenza media dell'area è inferiore ai  $15^\circ$ , in riferimento alle categorie topografiche definite dal Decreto Ministeriale delle Nuove Norme tecniche delle Costruzioni 2018, si evince che l'area ricade nella **Categoria Topografia T1** (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$  -  $ST = 1,0$* ).

Per quanto riguarda il rischio idrogeologico, dalla consultazione delle Cartografie del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (ex AdB Liri-Garigliano e Volturno), si evince che il territorio in esame non rientra tra le zone perimetrate a Rischio da Frana (come mostrato in *figura 3*).



**Fig. 3 – Stralcio carta Rischio Frana (ex AdB Liri-Garigliano e Volturno)**

Per quanto riguarda il rischio idraulico (**figura 4a e 4b**), invece, in merito ai potenziali dissesti idrogeologici individuati nella Carta della Zonazione ed individuazione degli squilibri della *Variante al Piano Stralcio Difesa Alluvioni del Basso Volturno*, è inquadrato principalmente nella “*Area Retroarginale*”, si trova, quindi, in condizione di sicurezza accettabile e, premesso che lo squilibrio idrogeologico può essere *gravissimo, grave, moderato*, il centro urbano del capoluogo Grazzanise e della frazione Brezza, situati entrambi a ridosso di anse del

fiume e rispettivamente a sinistra e a destra orografica, sono considerati di *grave* squilibrio idrogeologico, mentre le zone più distanti dall'alveo del fiume Volturno e la frazione Borgo Appio, sempre ricadenti nell'area "Retroarginale", si possono considerare in situazione di *moderato* squilibrio idrogeologico.

Le zone comprese tra gli argini ricadono in "Fascia A", che per definizione è la parte di alveo (alveo di piena) che assicura il libero deflusso della piena.

Le norme di regolamentazione d'uso della "Fascia A" e "Area R" sono riportate negli Artt. 6 e 7 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio di Difesa dalle Alluvioni (Basso Volturno) del Marzo 2004, redatte dall'ex Autorità di Bacino Liri-Garigliano e Volturno.

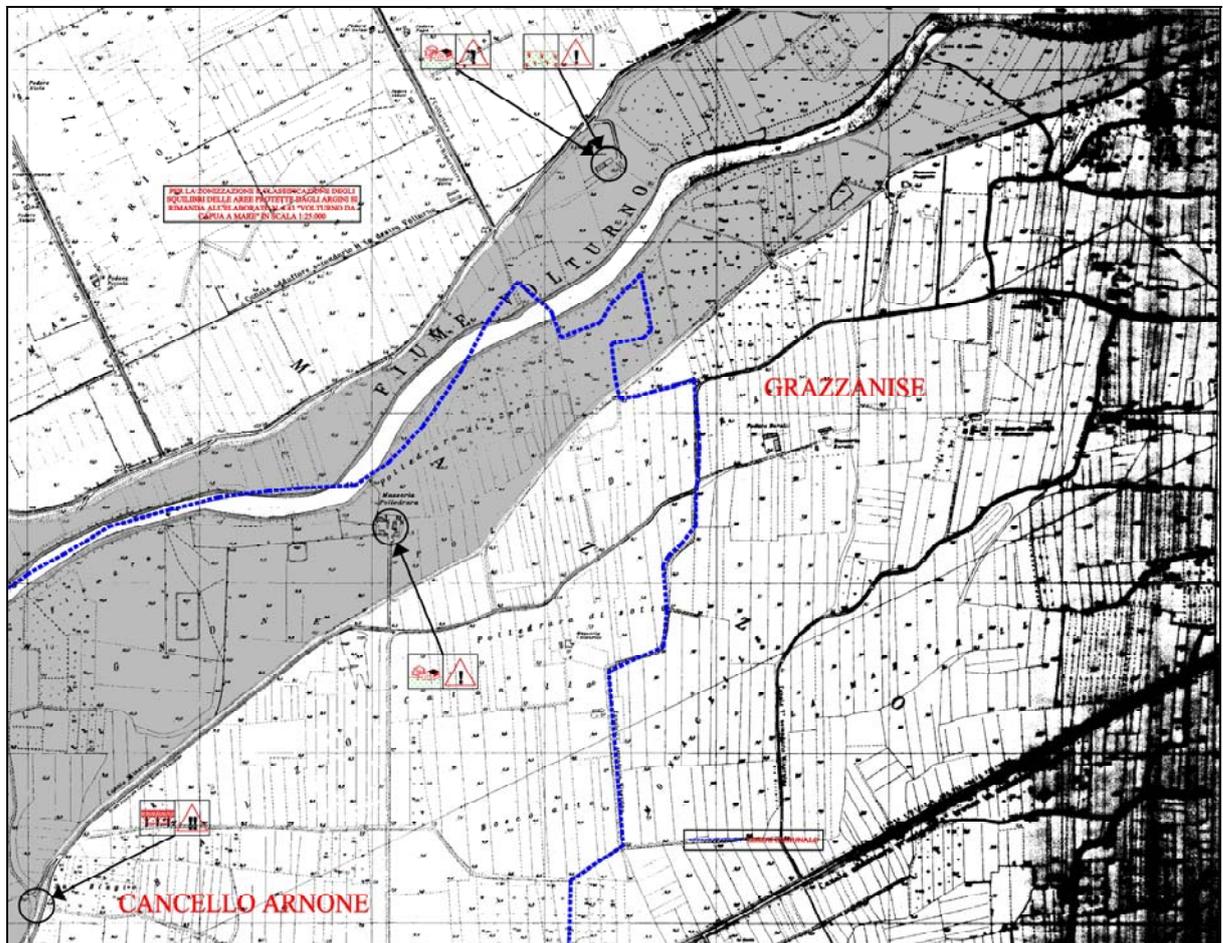
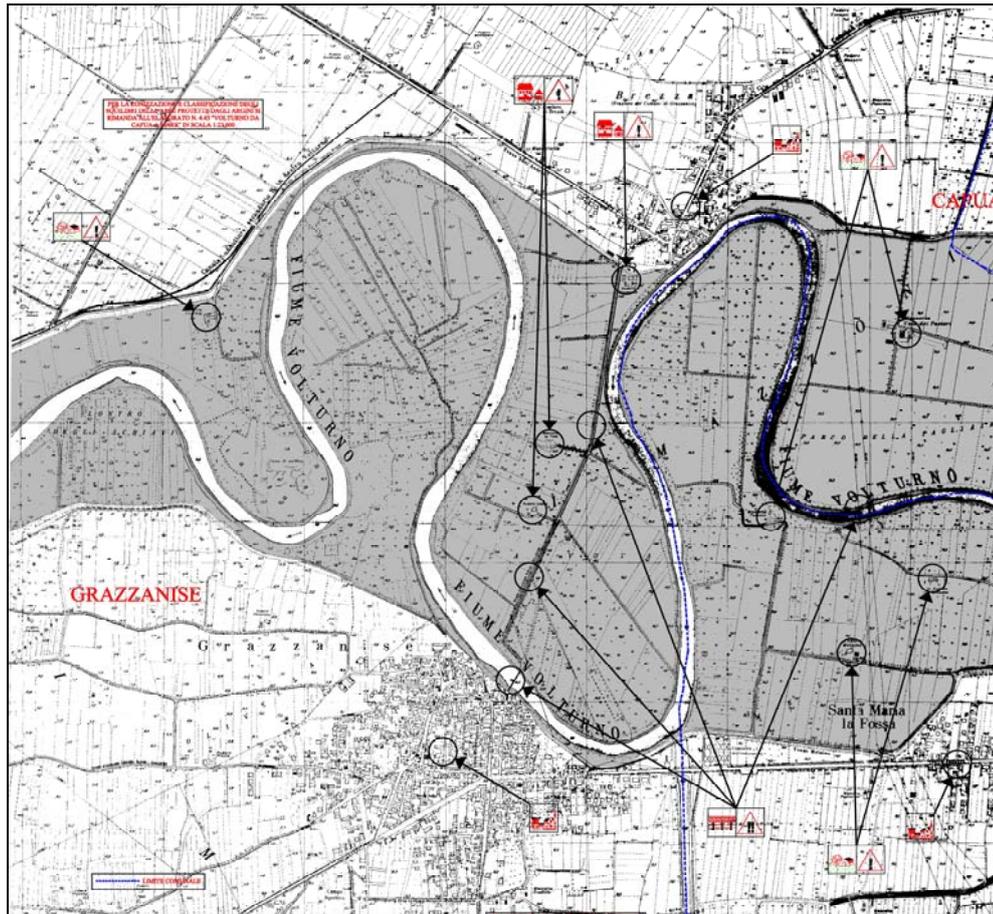


Fig. 4a – Stralcio carta Rischio Idraulico (PSDA Basso Volturno): Tav. 4\_04



### LEGENDA

#### DESTINAZIONE D'USO



#### ZONIZZAZIONE



#### SQUILIBRI



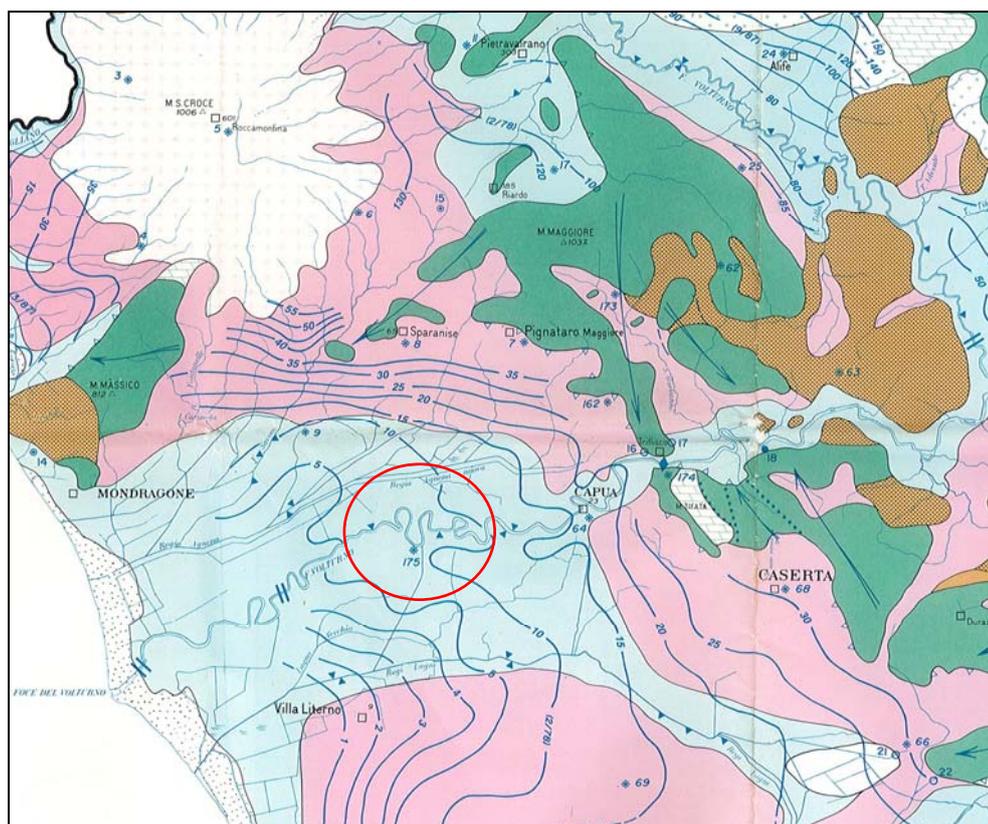
Fig. 4b – Stralcio carta Rischio Idraulico (PSDA Basso Volturno): Tav. 4\_05

## 4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### 4.1. CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, il bacino idrico della zona deve considerarsi come porzione dell'enorme bacino delimitato dalle propaggini dell'Appennino e che interessa tutta la Piana Campana con una circolazione idrica che dai massicci carbonatici defluisce verso il mare.

L'alimentazione della falda è dovuta principalmente alle acque provenienti dai complessi carbonatici dei Monti Tifatini, i quali sono tamponati alla base da materiali relativamente impermeabili e, pertanto, riversano i loro flussi idrici nel complesso dei sedimenti alluvionali e piroclastici della piana, per poi defluire verso il mare (*figura 5*).



**Fig. 5 – Schema idrogeologico generale**

Al fine di schematizzare e rendere più semplice l'interpretazione del modello idrogeologico dell'area, si possono distinguere alternanze di livelli a varia litologia

e granulometria, quindi con una permeabilità relativa estremamente variabile, il cui andamento è spesso lenticolare.

I terreni affioranti e quelli presenti nel sottosuolo di tutto il territorio comunale di Grazzanise, dal punto di vista idrogeologico, fanno capo al *Complesso idrogeologico fluvio-palustre recente ed attuale* tipico degli *acquiferi alluvionali*.

Tali terreni si presentano, più o meno permeabili in rapporto alla loro porosità; essi sono costituiti da sedimenti clastici trasportati e depositati dal fiume Volturno. Si tratta di depositi eterogenei perché la sedimentazione fluviale è tipicamente rapida e discontinua, quindi gli *acquiferi alluvionali* sono caratterizzati dalla giustapposizione disordinata di termini litologici di varia granulometria, aggregati in lenti allungate nel senso della corrente che le ha depositate. La notevole complessità litologica e stratigrafica dei depositi costituenti il sottosuolo della piana del basso corso del Volturno-Regi Lagni, dà origine ad una circolazione idrica sotterranea che si esplica localmente secondo uno schema “a falde sovrapposte”; le acque sotterranee defluiscono preferenzialmente nei depositi a granulometria più grossolana e/o negli orizzonti litoidi dell’Ignimbrite Campana più fessurati e/o incoerenti (CELICO, 1983). In generale, però, tali falde si possono ricondurre ad un’unica circolazione idrica sotterranea, in quanto sia la struttura lenticolare che la non perfetta impermeabilità dei depositi, lascia molte soluzioni di continuità. Inoltre, la circolazione idrica sotterranea è condizionata dalla doppia funzione di drenaggio ed alimentazione da parte del Fiume Volturno, pertanto l’imbibizione dei livelli superficiali varia al variare della portata del corso d’acqua.

Si possono riconoscere, infatti, principalmente due falde: la prima, più “superficiale”, a carattere freatico, è discontinua ed il suo livello statico medio si trova ad una profondità di circa 3,00 m da p.c., trattasi di una falda d’esigua portata il cui gradiente idraulico è molto basso, ciò è dovuto alle ridotte dimensioni granulometriche dei terreni in cui essa è presente ed alla mancanza di pendenze; essa è in genere poco produttiva data la sua estensione e spessore, nonché le relative modalità di alimentazione connesse esclusivamente con le acque di infiltrazione efficace diretta.

La seconda relativamente più “profonda”, a carattere di “semiconfinamento”, è contenuta nei depositi vulcano-sedimentari più incoerenti presenti ad una profondità di circa 60-70 m dal piano campagna, è d’elevata portata e continua.

Va precisato che la falda profonda nella zona interessata, riceve alimentazione dalle dorsali dei rilievi carbonatici del Monte Maggiore e dei Monti Tifatini, nonché dalle strutture vulcaniche del Roccamonfina a Nord e Campi Flegrei a Sud.

La direzione del flusso idrico è orientata secondo la direttrice N-NE → S-SO e cioè verso il fiume Volturno che, incassato nei terreni precedentemente descritti, risulta drenante rispetto alla piana stessa. e rappresenta il recapito ultimo verso il mare.

Per ulteriori dettagli in merito a quanto appena descritto, si rimanda alla “**Tavola n. 3 – Carta Idrogeologica**”, riportata in allegato alla presente relazione.

#### 4.2. CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE

In relazione alla presenza di una *circolazione idrica superficiale*, è possibile distinguere un reticolo idrografico articolato in una serie di canali, fossi e rivoli che consentono alle acque di ruscellamento di raggiungere le aree più depresse ed il loro naturale vettore verso il mare.

La parte bassa di tale pianura è stata, in tempi passati e recenti, zona di paludi, successivamente bonificate mediante la costruzione di una fitta rete di canali di varia grandezza, costruiti in epoche diverse come i Regi Lagni e la Regia Agnena Nuova, Canale Fiumarella.

Per quanto riguarda l’esonabilità del territorio, le caratteristiche e il regime del Fiume, c’è da dire che esso ha conosciuto notevoli piene, anche se con tempi di ricaduta sufficientemente lunghi.

## 5. ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

Il territorio comunale di Grazzanise (CE) risulta interessato dagli effetti macrosismici di terremoti appenninici di origine tettonica. A seguito dell'O.P.C.M. n. 3274/03, il Comune è stato riclassificato come appartenente alla **Zona sismica 2**, cui competono valori di  $a_g$  variabili tra 0,15 e 0,25 g (Tab. 1).

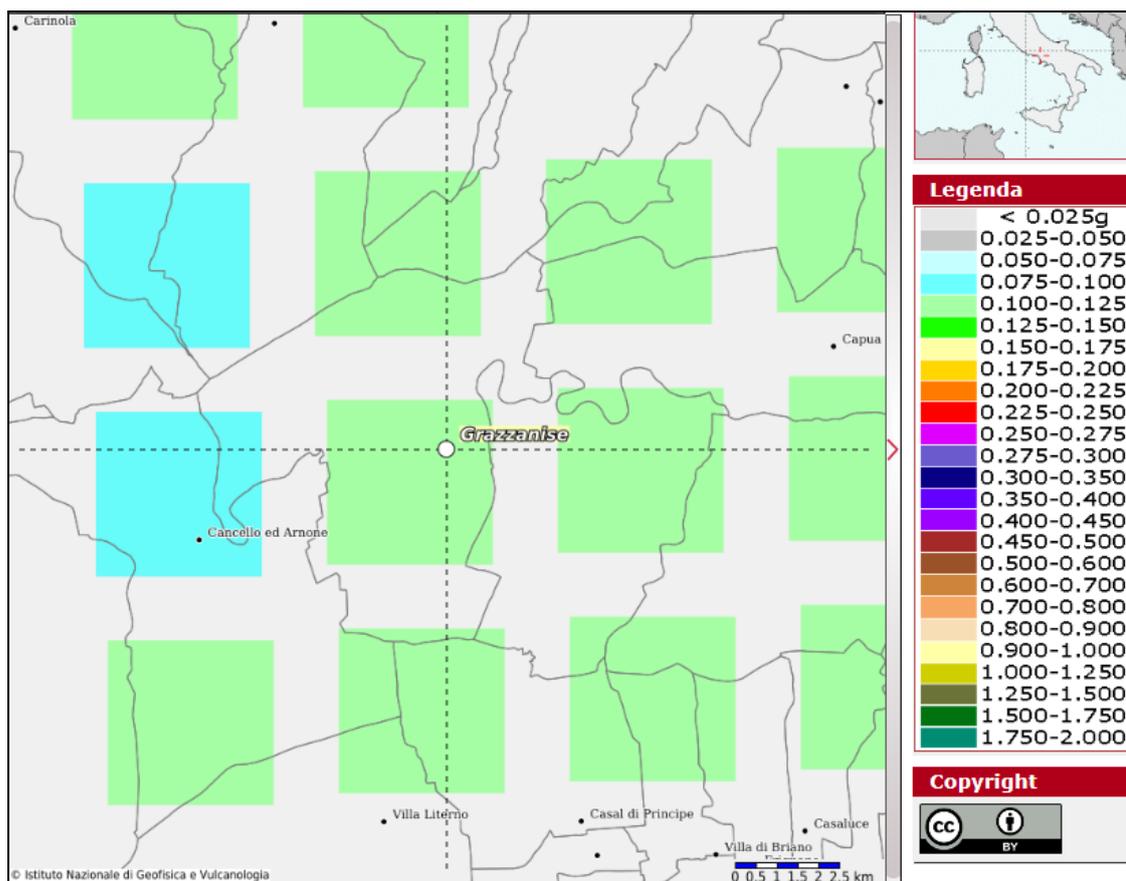
Zona	Accelerazione orizzontale con la probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ $a_g/g$ ]
1	> 0,25	0,35
<b>2</b>	<b>0,15 – 0,25</b>	<b>0,25</b>
3	0.05 – 0.15	0,15
4	< 0.05	0.05

**Tabella 1. Valori di  $a_g$  espressi in frazione dell'accelerazione di gravità (g) da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale.**

I suddetti valori sono anche illustrati nella Mappa della Pericolosità Sismica in Italia, redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, 2004), i cui fogli sono stati prodotti per ogni regione.

In particolare il territorio comunale di Grazzanise come evidenziato nella **figura 6**, che riporta lo stralcio della mappa interattiva di Pericolosità sismica ripresa dal sito dell'INGV, i valori di  $a(g)$  sono compresi tra 0,100 e 0,125.

Ciò premesso, con l'entrata in vigore del D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni”, per la definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale, e si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 2).



**Fig. 6 – Mappa Interattiva di pericolosità sismica (fonte [www.ingv.it](http://www.ingv.it))**

**Tabella 2: Categorie di sottosuolo dal D.M. Min. LL. PP. 17/01/2018**

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s .
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  di propagazione delle onde di taglio fino all'individuazione del bed-rock sismico, oppure fino alla profondità di 30 m se quest'ultimo è situato oltre i 30 m di profondità; per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse.

Per tale motivo è stata predisposta un'adeguata campagna di indagine geofisica per caratterizzare da un punto di vista sismico, le varie formazioni litologiche dell'area in esame, ed in particolare sono state eseguite numerose prove sismiche tipo **MASW** che hanno permesso la ricostruzione dei rapporti sismo-stratigrafici e delle caratteristiche dinamiche dei terreni fino ad una profondità superiore ai 35 m dal p.c.

I risultati delle suddette indagini sono riportati nell'**Allegato 3**, e saranno discussi in dettaglio nei paragrafi seguenti.

### 5.1. FAGLIE ATTIVE E CAPACI – PROGETTO ITHACA

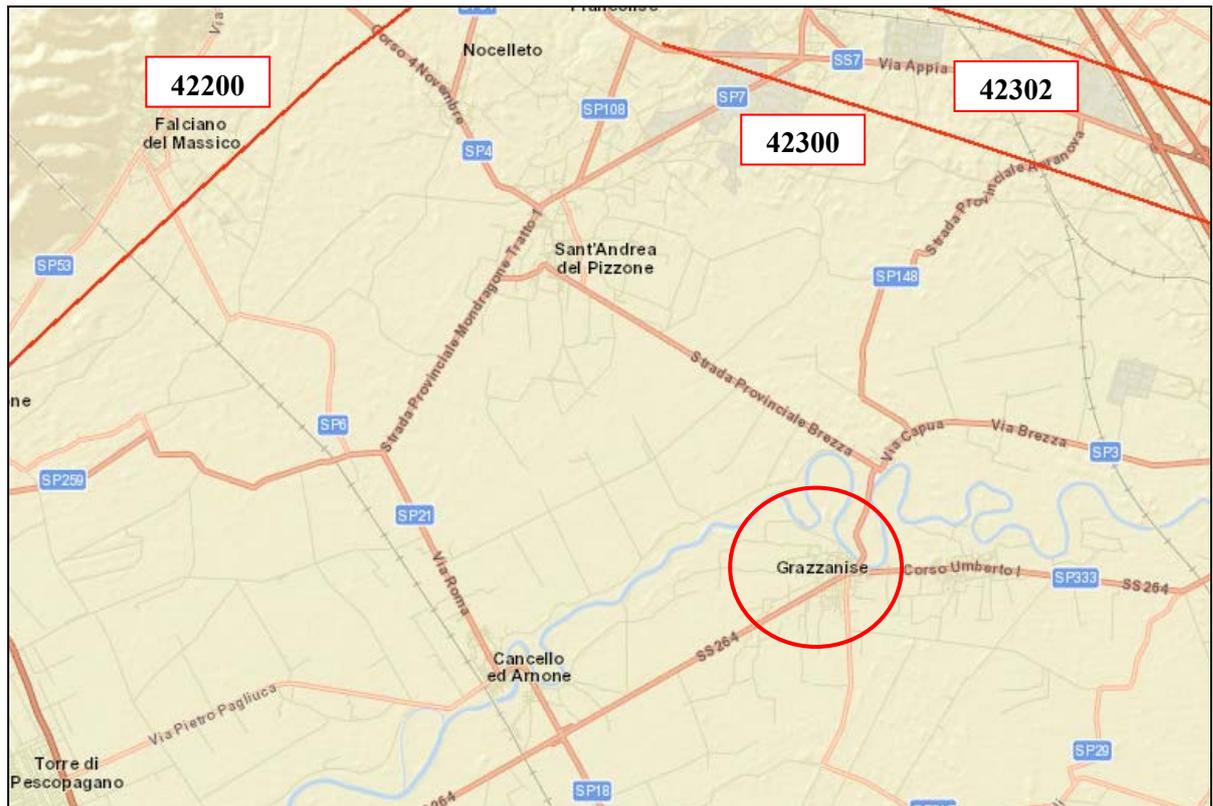
In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata **attiva** una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata **capace** una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Dal rilevamento geologico effettuato, non risultano evidenze di fagliazione in superficie, tuttavia sulla base della consultazione del database del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) del Servizio Geologico d'Italia-ISPRA, risulta che nel territorio in esame sono presenti alcune faglie attive e capaci, ovvero che possono creare deformazioni in superficie, sebbene poste a distanze uguali o superiori ai 10 Km dal territorio comunale.

Dette faglie sono identificate come segue:

- Faglia con codice **42200**, denominata “**M. Massico**”, con cinematismo di tipo normale;
- Faglie con codice **43400** e **43202**, denominate “**Volturno Plain**”, con cinematismi di tipo normale.

In **figura 7** si riporta l’ubicazione di dette faglie in uno stralcio di mappa tratto dal sito dell’ISPRA.



**Fig. 7 – Ubicazione delle faglie attive e capaci rispetto al sito in esame**

## 6. INDAGINI EFFETTUATE

### 6.1. INDAGINI PREGRESSE DEL P.R.G. 1983

Nell'ambito della redazione del Piano Regolatore Generale (P.R.G.) del 1983, ai fini della caratterizzazione stratigrafica del territorio comunale, furono eseguiti una serie di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, distinti per zona (Capoluogo, Brezza e Borgo Appio), come di seguito specificato:

- N° 8 sondaggi geognostici a c.c. nella zona del Capoluogo;
- N° 6 sondaggi geognostici a c.c. nella frazione di Brezza;
- N° 1 sondaggio geognostico a c.c. nella frazione di Borgo Appio.

### 6.2. INDAGINI PREGRESSE DEL P.U.C. 2008

Nel corso della redazione dello studio geologico per il Piano Urbanistico Comunale pregresso, realizzato dalla scrivente nel 2008, era stata eseguita una dettagliata campagna d'indagini geognostiche e sismiche, effettuate sull'intero territorio del comune di Grazzanise; tali indagini, distinte in 3 zone (ovvero Capoluogo, frazione di Brezza e frazione di Borgo Appio), erano state così articolate:

#### 1. GRAZZANISE CAPOLUOGO

- N° 9 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a 32 m dal piano campagna;
- N° 10 prelievi di campioni indisturbati;
- N° 2 prelievi di campioni rimaneggiati;
- N° 10 determinazioni delle caratteristiche fisiche generali;
- N° 12 determinazioni delle granulometrie;
- N° 10 prove di taglio diretto;
- N° 7 prove S.P.T.;
- N° 4 sismiche in perforo mediante metodologia "Down-hole"
- N° 5 prove penetrometriche statiche C.P.T.;
- Censimento e misurazione della falda freatica in N° 30 pozzi.

## 2. FRAZIONE BREZZA

- N° 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a 32 m dal piano campagna;
- N° 3 prelievi di campioni indisturbati;
- N° 1 prelievi di campioni rimaneggiati;
- N° 3 determinazioni delle caratteristiche fisiche generali;
- N° 4 determinazioni delle granulometrie;
- N° 3 prove di taglio diretto;
- N° 2 prove penetrometriche statiche C.P.T.;
- N° 1 sismica in perforo mediante metodologia “*Down-hole*”;
- Censimento e misurazione della falda freatica in N°19 pozzi.

## 3. FRAZIONE BORGO APPIO

- N° 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a 32 m dal piano campagna;
- N° 2 prelievi di campioni rimaneggiati;
- N° 2 determinazioni delle granulometrie;
- N° 2 prove penetrometriche statiche C.P.T.;
- N° 1 sismica in perforo mediante metodologia “*Down-hole*”;
- Censimento e misurazione della falda freatica in N°12 pozzi.

### 6.3. INDAGINI PREGRESSE DI ARCHIVIO

Oltre alle indagini descritte nel paragrafo precedente, realizzate nell’ambito del P.U.C. 2008, ai fini della caratterizzazione del territorio comunale di Grazzanise, sono state prese in considerazione anche una serie di indagini, sia geotecniche che sismiche, realizzate nell’ambito di lavori privati e pubblici.

Tali indagini, la cui ubicazione è riportata nella Tavola n. 1, in appendice alla presente relazione, comprendono:

- N° 2 prove sismiche in foro “*down-hole*”, realizzate nel 2004 per il Piano di Recupero del Comune di Grazzanise a cura della Ditta G.G.I. S.a.s.;
- N° 1 prova sismica in foro “*down-hole*”, realizzata nel 2006 per il progetto di costruzione del nuovo di cimitero di Grazzanise, a cura della scrivente;

- N° 1 prova sismica in foro “*down-hole*”, realizzate nel 2010 presso la base NATO di Grazzanise, nell’ambito di un lavoro privato, a cura della Ditta G.G.I. S.a.s.;
- N° 1 profilo sismico M.A.S.W., realizzato nel 2016 in Via Crocelle, nell’ambito di un lavoro privato, a cura della Ditta G.G.I. S.a.s.;
- N° 2 prove penetrometriche pesanti D.P.S.H., n° 2 profili sismici M.A.S.W., n° 1 misura H.V.S.R. e n° 2 prelievi di campioni con relative analisi di laboratorio, realizzati nel 2018 nella Scuola Elementare Don L. Milani in Via A. Diaz, nell’ambito di un incarico professionale privato del Dott. Geol. Antonio D’Errico;
- N° 2 prove penetrometriche pesanti D.P.S.H., n° 2 profili sismici M.A.S.W., n° 1 misura H.V.S.R. e n° 2 prelievi di campioni con relative analisi di laboratorio, realizzati nel 2018 nella Scuola Materna Vittorino Da Feltre in Via Montevergin1 n° 1, nell’ambito di un incarico professionale privato del Dott. Geol. Antonio D’Errico.

L’ubicazione di tali indagini è riportata nella “***Tavola n. 1 – Carta ubicazione indagini***”, in allegato alla presente relazione, mentre per ulteriori dettagli e specifiche in merito alle indagini realizzate, nonché per i certificati completi delle stesse, si rimanda all’**Allegato N. 1 – “*Indagini pregresse*”**, in allegato a tale studio.

#### 6.4. INDAGINI ATTUALI

Allo scopo di giungere ad una completa caratterizzazione sismica del territorio comunale, è stata eseguita una campagna di indagine geofisica ex-novo finalizzata alla determinazione degli spessori delle coperture presenti sul bedrock sismico, quindi del valore di frequenza di risonanza di sito, ed all'individuazione del valore di  $V_{s,30}$  e della Categoria di Suolo, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

A tal fine, sono state effettuate le seguenti indagini:

- n° 20 misure di microtremori sismici a stazione singola H.V.S.R. (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*);
- n° 15 profili sismici tipo M.A.S.W. (*Multichannel analysis of surface waves*).

Di seguito si riporta l'elenco delle misure eseguite con indicazione della numerazione progressiva, della località e delle relative coordinate; nella "**Tavola n. 1 – Ubicazione indagini**", allegata al presente progetto, si riporta l'ubicazione delle suddette indagini, nonché di quelle pregresse raccolte, presenti sull'intero territorio comunale, effettuate nel corso di studi precedenti.

#### Indagini H.V.S.R.

PROVA	LOCALITÀ	LONGITUDINE	LATITUDINE
HV-1	Via Capua	14.115634°	41.115945°
HV-2	Via Piazza della Torre	14.085239°	41.118963°
HV-3	Borgo Appio	14.060122°	41.110481°
HV-4	Località Secianne	14.080638°	41.096404°
HV-5	Località Cerquella	14.095587°	41.094963°
HV-6	Masseria La Vota	14.106562°	41.099487°
HV-7	Cimitero	14.103795°	41.111938°
HV-8	Torre Degli Schiavi	14.069553°	41.100814°
HV-9	Via Di Bonifica	14.039769°	41.097422°
HV-10	Via Della Pietra	14.089014°	41.086696°
HV-11	Località Crocelle	14.095490°	41.076830°
HV-12	Via A. Diaz	14.095670°	41.058810°

HV-13	Via Pino Ingrato	14.088840°	41.052990°
HV-14	Loc. Selvalunga	14.071280°	41.062480°
HV-15	SP 333 – Località Casalone	14.074000°	41.077840°
HV-16	Masseria Dell’Olmo	14.095346°	41.126772°
HV-17	Brezza	14.109323°	41.107849°
HV-18	Via Prataro	14.086654°	41.108014°
HV-19	SP 249 – Località Volta	14.032388°	41.080164°
HV-20	Via S. Leucio	14.108476°	41.086523°

### Indagini M.A.S.W.

PROVA	LOCALITÀ	LONGITUDINE	LATITUDINE
MASW-1	Via Capua	14.115634°	41.115945°
MASW-2	Via Piazza della Torre	14.085239°	41.118963°
MASW-3	Borgo Appio	14.060122°	41.110481°
MASW-4	Località Secianne	14.080638°	41.096404°
MASW-5	Località Cerquella	14.095587°	41.094963°
MASW-6	Masseria La Vota	14.106562°	41.099487°
MASW-7	Cimitero	14.103795°	41.111938°
MASW-8	Torre Degli Schiavi	14.069553°	41.100814°
MASW-9	Via Di Bonifica	14.039769°	41.097422°
MASW-10	Via Della Pietra	14.089014°	41.086696°
MASW-11	Località Crocelle	14.095490°	41.076830°
MASW-12	Via A. Diaz	14.095670°	41.058810°
MASW-13	Via Pino Ingrato	14.088840°	41.052990°
MASW-14	Loc. Selvalunga	14.071280°	41.062480°
MASW-15	SP 333 – Località Casalone	14.074000°	41.077840°

#### 6.4.1. MISURE H.V.S.R. (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)

Come accennato nel paragrafo precedente, sono state eseguite n° 20 misure HVSR all'interno del territorio comunale di Grazzanise (CE).

La misura HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una tecnica sismica passiva a stazione singola (originariamente proposta da Y. Nakamura), finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito a partire dalla registrazione delle vibrazioni in un suo punto. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un qualsiasi tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque anche senza terremoti ed è il principio alla base della sismica passiva a stazione singola. La tecnica dei rapporti spettrali è totalmente non invasiva, molto rapida e si può applicare ovunque; non necessita di alcun tipo di perforazione, stendimento di cavi né di energizzazione esterna diversa dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

In sintesi la suddetta tecnica prevede:

- ✓ l'acquisizione delle vibrazioni attraverso una terna ortogonale di sensori velocimetrici (geofoni) per un tempo sufficientemente lungo (tipicamente alcuni minuti);
- ✓ la trasformazione dei segnali nel dominio delle frequenze per ciascuna delle tre componenti (X, Y e Z);
- ✓ il calcolo del rapporto tra gli spettri di potenza delle componenti orizzontali (H) e quello della componente verticale (V);
- ✓ l'individuazione della frequenza di vibrazione  $f_0$  in corrispondenza della quale il suddetto rapporto presenta un picco significativo.

Il rapporto tra le componenti orizzontali (H) del moto del suolo e quelle verticali (V), da cui H/V (o HVSR), mette in luce la *frequenza di risonanza di un terreno*.

La risonanza è dovuta all'intrappolamento delle onde tra due superfici in cui si verifica una variazione di impedenza acustica. La frequenza fondamentale di risonanza  $f$  del terreno dipende dallo spessore  $H$  del terreno stesso e dalla velocità media  $V$  delle onde che lo attraversano. Dunque, conoscendo lo spessore  $H$  del sedimento è possibile avere informazioni sulla velocità media delle onde  $S$  e viceversa conoscendo quest'ultima è possibile definire lo spessore dello strato di copertura.

In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido) è possibile dimostrare che esiste una relazione diretta tra la frequenza di risonanza e lo spessore dello strato soffice; questa relazione è regolata dall'equazione seguente:

$$f = V_s / 4H$$

dove  $V_s$  è la velocità media delle onde  $S$  dello strato di copertura (sedimento), ed  $H$  è lo spessore dello strato di copertura. Emerge quindi che la tecnica  $H/V$  può fornire indicazioni di carattere stratigrafico: nota la  $V_s$  delle coperture si può stimare la profondità dei riflettori sismici principali e viceversa.

A tal proposito sono stati prodotti degli abachi preliminari per:

1. Stimare la profondità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati;
2. Valutare qualitativamente l'entità di questo contrasto.

Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti con il solo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo e orientare le indagini successive.

La **frequenza caratteristica di risonanza di sito** rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare determinate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno al fine di evitare l'effetto di "doppia risonanza" che è estremamente pericoloso per la stabilità delle stesse.

$f_0$ (Hz)	$h$ (m)	
< 1	> 100	<b>Centinaia di metri</b>
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	<b>Decine di metri</b>
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	<b>Qualche metro</b>

**H/V >3 Alto contrasto**  
**2<H/V<3 Basso Contrasto**

Per l'acquisizione di dati HVSR è stato utilizzato il sismografo **Vibralog** della M.A.E., con risoluzione 24 bit e 3 canali e a cui si collega un sensore da superficie costituito da un unico contenitore con integrati una terna di geofoni con una frequenza di 2Hz. La suddetta terna è composta da due geofoni orizzontali perpendicolari tra loro ed uno verticale che hanno la stessa risposta/sensibilità in termini di ampiezza.



Di seguito sono riassunte le Specifiche tecniche del sismografo **Vibralog**:

- ❖ Geofoni con frequenza da 2 Hz
- ❖ Componente verticale n.1
- ❖ Componenti orizzontali n.2

- ❖ Sfasamento delle componenti orizzontali: 90 gradi
- ❖ Frequenza naturale: 2 – 0,75 Hz
- ❖ Resistenza della bobina a 25°C +/- 5%: 380 Ω
- ❖ Sensibilità tensione a 3810 Ohm +/- 10%: 2V/ in /sec
- ❖ Massa +/- 5%: 23 g
- ❖ Messa in piano per mezzo di piedini con ghiera di regolazione e bolla di livello
- ❖ Contenitore: alluminio
- ❖ Dimensioni: diametro 140 mm, altezza 100 mm
- ❖ Peso: 4 Kg

Durante l'esecuzione della prova il sensore è stato orientato verso in nord geografico per una convenzione di campagna ed in modo da valutare eventuali direzionalità del segnale; è stato messo in bolla per garantirne l'equilibrio durante la fase di acquisizione ed impedire qualsiasi eventuale vibrazione e/o movimento che avrebbe potuto inficiare la registrazione.

L'accoppiamento sensore-terreno è garantito dall'infissione di particolari ed appositi "piedini" che ne assicurano la stabilità; inoltre il cavo di collegamento tra sensore e la centralina di registrazione è stato "fissato" in modo da evitare che potesse subire movimenti e/o sollecitazioni anche lievi dovuti all'effetto del vento e/o di vibrazioni artificiali provenienti dalle zone circostanti.

La registrazione ha avuto durata di 30 minuti, per garantire la rilevazione di un numero significativo di sorgenti ed ottenere una misura affidabile e rappresentativa.

Il file registrato è composto da tre tracce di cui la prima viene attribuita al sensore della componente verticale (Z), mentre la seconda e la terza rispettivamente alla componente orizzontale orientata ad Est (X) e a quella orientata a Nord (Y).

A partire dalle suddette tracce sismiche si procede con l'individuazione di un numero sufficiente di finestre temporali che risultino quanto più rappresentative dell'analisi HVSR.

I criteri principali per la selezione di tali finestre sono due:

- ✓ la durata, che deve essere tale da garantire che in ognuna di esse siano presenti almeno dieci periodi della frequenza di picco  $f_0$  (primo criterio di affidabilità secondo SESAME);

✓ l'assenza al loro interno di eventi transitori (condizioni del suolo, vento, pioggia, macchine, etc.), dovuti a sorgenti locali.

In condizioni normali le 3 componenti spettrali hanno ampiezze simili, mentre alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma ad "occhio"; le componenti orizzontali devono viaggiare quasi sempre parallelamente, mentre quella verticale si distacca da queste ultime solo in corrispondenza dei picchi.

Il risultato dell'interpretazione e dell'elaborazione della registrazione è un valore di frequenza  $f_0$  di picco associata a dei criteri di affidabilità; più precisamente il progetto SESAME ha stabilito una serie di criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V: si tratta di criteri di tipo statistico che hanno lo scopo di segnalare situazioni poco chiare per le quali sono necessarie ulteriori indagini.

### CRITERI DI AFFIDABILITÀ DI SESAME

<p><b>Criteria for a reliable H/V curve</b></p> <p>i) <math>f_0 &gt; 10 / l_w</math> and</p> <p>ii) <math>n_c(f_0) &gt; 200</math> and</p> <p>iii) <math>\sigma_A(f) &lt; 2</math> for <math>0.5f_0 &lt; f &lt; 2f_0</math> if <math>f_0 &gt; 0.5\text{Hz}</math> or <math>\sigma_A(f) &lt; 3</math> for <math>0.5f_0 &lt; f &lt; 2f_0</math> if <math>f_0 &lt; 0.5\text{Hz}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>l_w</math> = window length</li> <li>• <math>n_w</math> = number of windows selected for the average H/V curve</li> <li>• <math>n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0</math> = number of significant cycles</li> <li>• <math>f</math> = current frequency</li> <li>• <math>f_{\text{sensor}}</math> = sensor cut-off frequency</li> <li>• <math>f_0</math> = H/V peak frequency</li> <li>• <math>\sigma_f</math> = standard deviation of H/V peak frequency (<math>f_0 \pm \sigma_f</math>)</li> <li>• <math>\varepsilon(f_0)</math> = threshold value for the stability condition <math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></li> <li>• <math>A_0</math> = H/V peak amplitude at frequency <math>f_0</math></li> <li>• <math>A_{H/V}(f)</math> = H/V curve amplitude at frequency <math>f</math></li> <li>• <math>f</math> = frequency between <math>f_0/4</math> and <math>f_0</math> for which <math>A_{H/V}(f) &lt; A_0/2</math></li> <li>• <math>f^*</math> = frequency between <math>f_0</math> and <math>4f_0</math> for which <math>A_{H/V}(f^*) &lt; A_0/2</math></li> <li>• <math>\sigma_A(f)</math> = "standard deviation" of <math>A_{H/V}(f)</math>, <math>\sigma_A(f)</math> is the factor by which the mean <math>A_{H/V}(f)</math> curve should be multiplied or divided</li> <li>• <math>\sigma_{\log H/V}(f)</math> = standard deviation of the <math>\log A_{H/V}(f)</math> curve, <math>\sigma_{\log H/V}(f)</math> is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean <math>\log A_{H/V}(f)</math> curve</li> <li>• <math>\theta(f_0)</math> = threshold value for the stability condition <math>\sigma_A(f) &lt; \theta(f_0)</math></li> <li>• <math>V_{s,av}</math> = average S-wave velocity of the total deposits</li> <li>• <math>V_{s,surf}</math> = S-wave velocity of the surface layer</li> <li>• <math>h</math> = depth to bedrock</li> <li>• <math>h_{\min}</math> = lower-bound estimate of <math>h</math></li> </ul>																								
<p><b>Criteria for a clear H/V peak</b> (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) <math>\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) &lt; A_0/2</math></p> <p>ii) <math>\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) &lt; A_0/2</math></p> <p>iii) <math>A_0 &gt; 2</math></p> <p>iv) <math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></p> <p>v) <math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></p> <p>vi) <math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></p>																									
<p><b>Threshold Values for <math>\sigma_f</math> and <math>\sigma_A(f_0)</math></b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Frequency range [Hz]</th> <th>&lt; 0.2</th> <th>0.2 – 0.5</th> <th>0.5 – 1.0</th> <th>1.0 – 2.0</th> <th>&gt; 2.0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\varepsilon(f_0)</math> [Hz]</td> <td><math>0.25 f_0</math></td> <td><math>0.20 f_0</math></td> <td><math>0.15 f_0</math></td> <td><math>0.10 f_0</math></td> <td><math>0.05 f_0</math></td> </tr> <tr> <td><math>\theta(f_0)</math> for <math>\sigma_A(f_0)</math></td> <td>3.0</td> <td>2.5</td> <td>2.0</td> <td>1.78</td> <td>1.58</td> </tr> <tr> <td><math>\log \theta(f_0)</math> for <math>\sigma_{\log H/V}(f_0)</math></td> <td>0.48</td> <td>0.40</td> <td>0.30</td> <td>0.25</td> <td>0.20</td> </tr> </tbody> </table>		Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0	$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$	$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0																				
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$																				
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58																				
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20																				

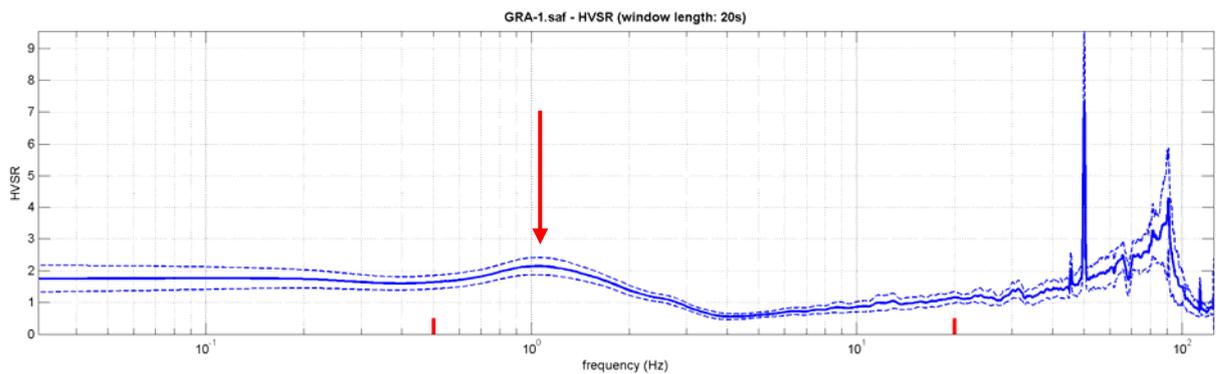
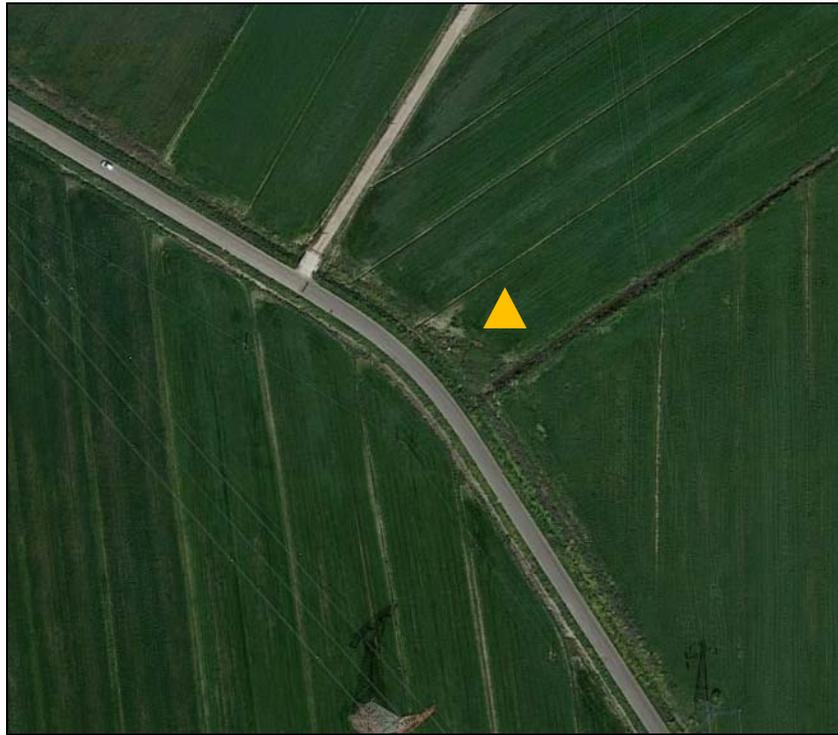
#### 6.4.1.1. ESAME DEI RISULTATI

Dall'elaborazione dei dati (con il software *winMasw 3C 6.0*) sono stati ricavati i seguenti valori di frequenza fondamentale ( $f_0$ ):

PROVA	LOCALITÀ	FREQUENZA DI PICCO (HZ)
HV-1	Via Capua	1,1
HV-2	Via Piazza della Torre	1,0
HV-3	Borgo Appio	0,9
HV-4	Località Secianne	1,0
HV-5	Località Cerquella	0,9
HV-6	Masseria La Vota	0,8
HV-7	Cimitero	0,9
HV-8	Torre Degli Schiavi	1,0
HV-9	Via Di Bonifica	1,1
HV-10	Via Della Pietra	14,0
HV-11	Località Crocelle	1,0
HV-12	Via A. Diaz	1,6
HV-13	Via Pino Ingrato	3,5
HV-14	Loc. Selvalunga	1,4
HV-15	SP 333 – Località Casalone	0,7
HV-16	Masseria Dell'Olmo	1,1
HV-17	Brezza	0,8
HV-18	Via Prataro	0,9
HV-19	SP 249 – Località Volta	1,0
HV-20	Via S. Leucio	1,5

Nell'Allegato N. 2 “*Indagini attuali – Elaborati H.V.S.R.*” si restituiscono i rapporti tecnici generati dalle elaborazioni delle prove, nei quali sono riportati le tracce e lo spettro di frequenza delle tre componenti ed infine il grafico della curva H/V; si riporta inoltre, per ognuna delle prove, la relativa documentazione fotografica.

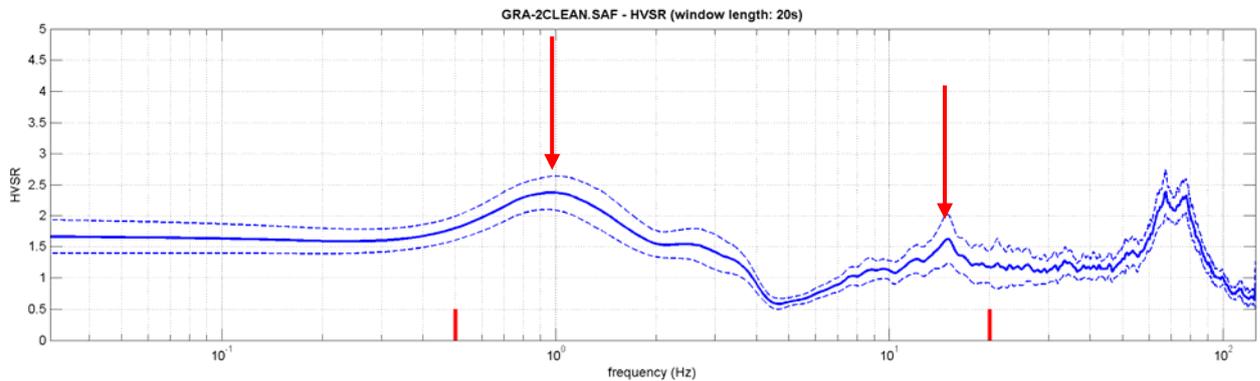
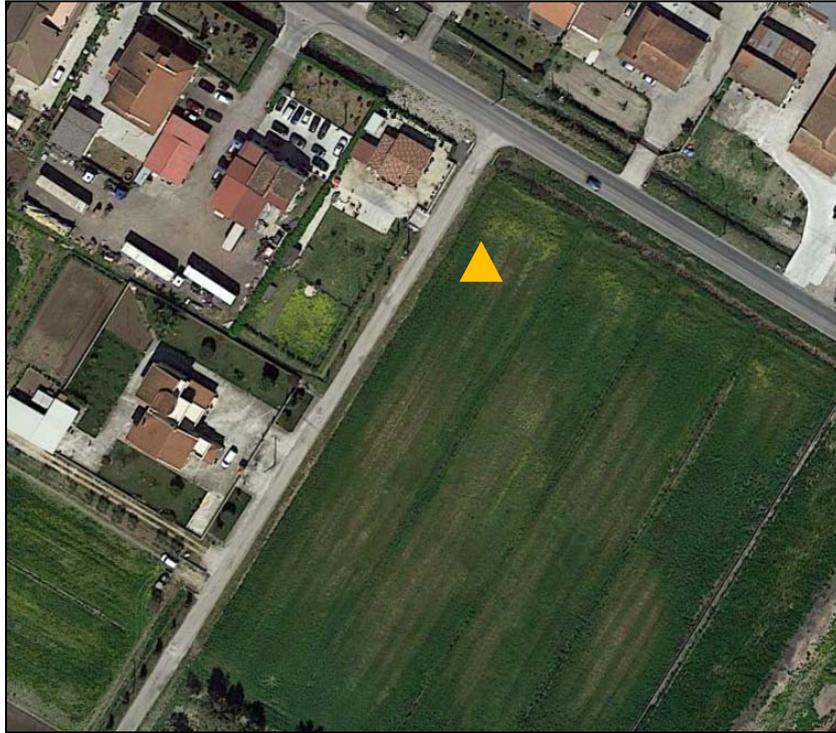
## HV-1



### **Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 1,1 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 100 metri dal piano di campagna.

## HV-2

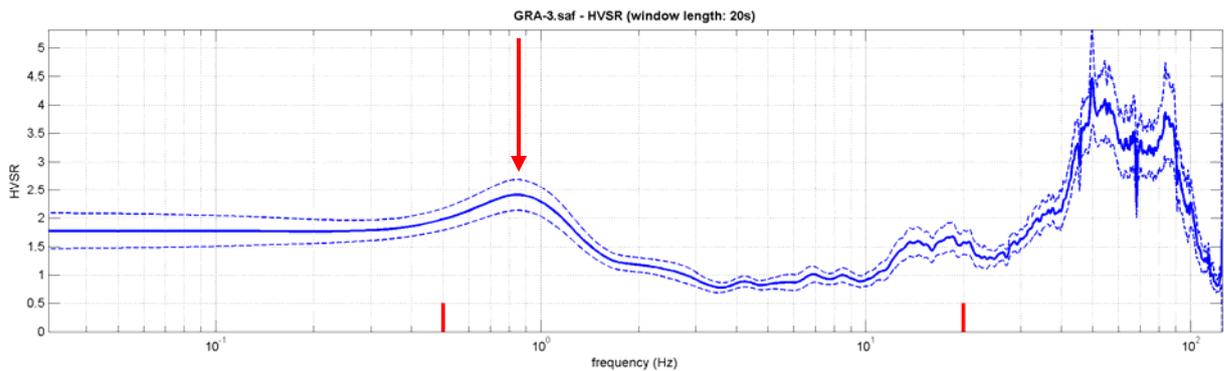
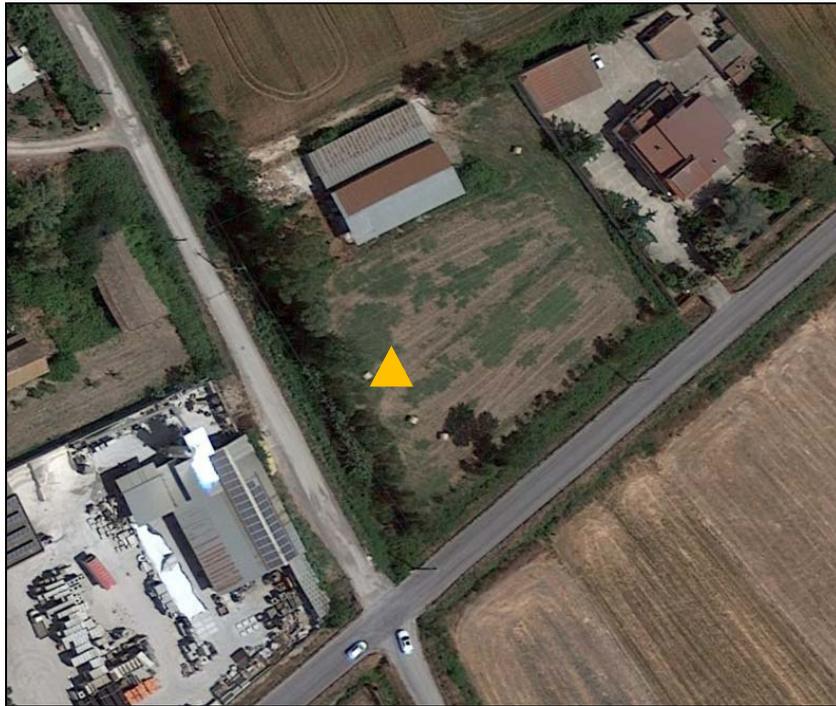


**Picco di Frequenza Principale (Fo) = 1,0 Hz**

**Picco di Frequenza Secondario (Fo) = 15,0 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, sono stati individuati un picco di frequenza principale che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di 100 metri dal piano di campagna, ed un picco secondario, posto alla profondità di circa 6-7 metri dal p.c., che indicherebbe un contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento.

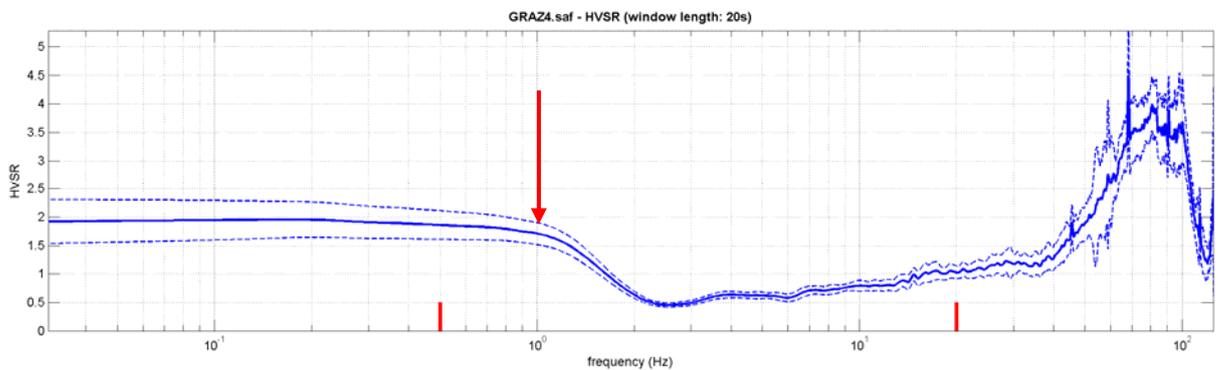
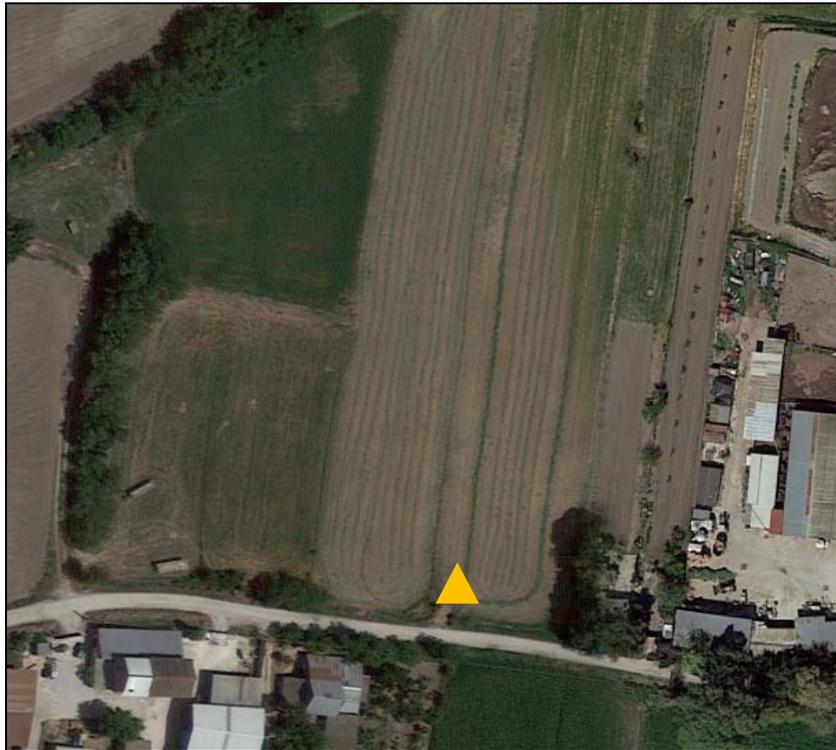
### HV-3



### Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 0,9 Hz

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 110 metri dal piano di campagna.

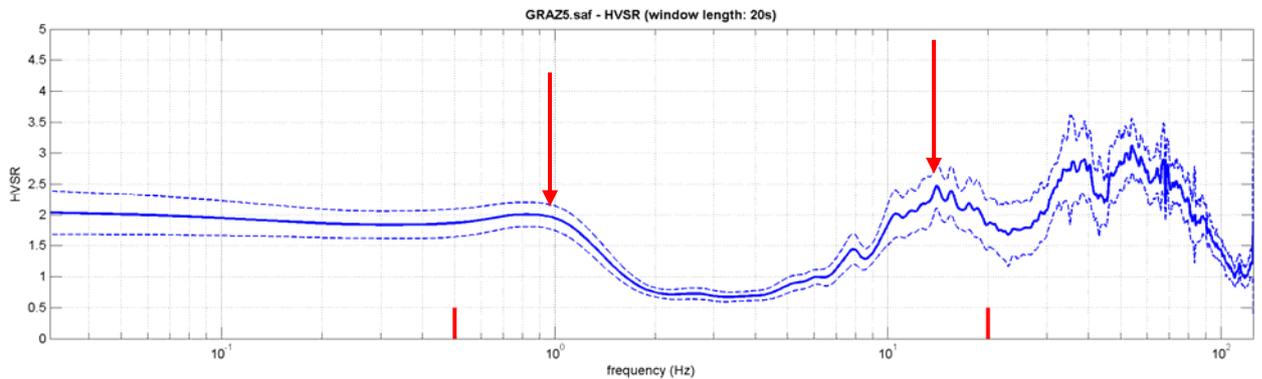
## HV-4



### Picco di Frequenza (Fo) = 1,0 Hz

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di 100 metri dal piano di campagna.

## HV-5



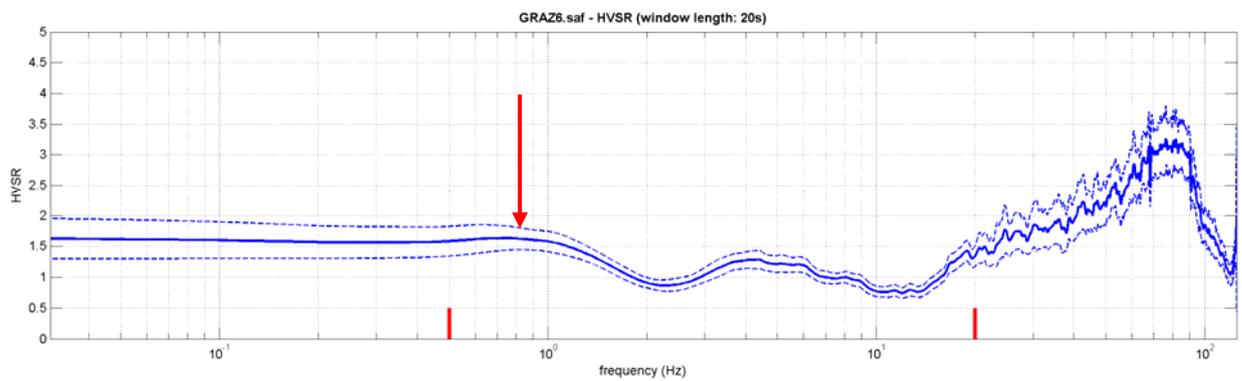
**Picco di Frequenza Principale (Fo) = 0,9 Hz**

**Picco di Frequenza Secondario (Fo) = 14,0 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, sono stati individuati un picco di frequenza principale che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 110 metri dal piano di campagna, ed un picco secondario, posto alla profondità di circa 6-7 metri dal p.c., che indicherebbe un contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento.



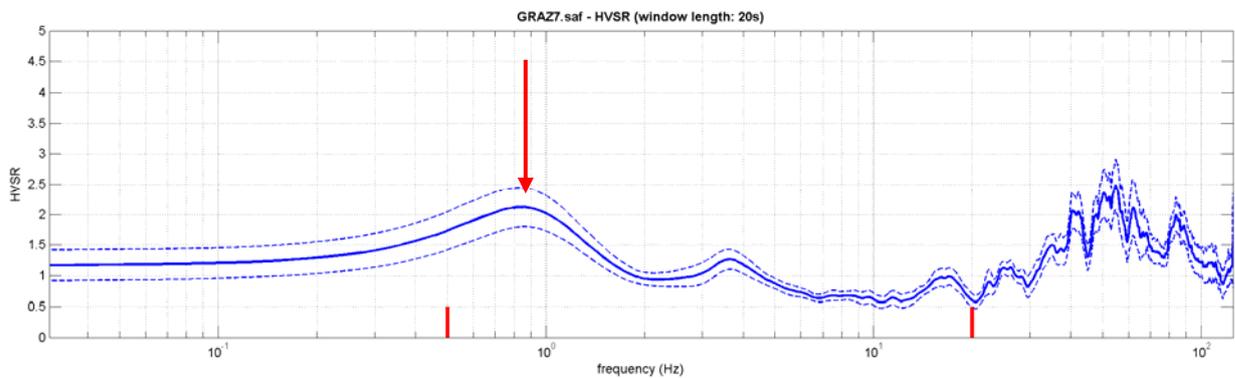
## HV-6



### **Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 0,8 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 110-120 metri dal piano di campagna.

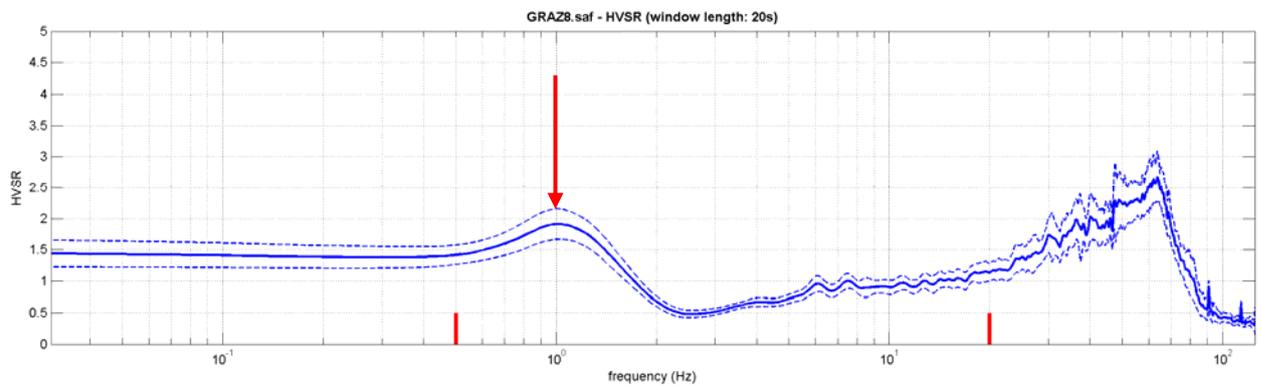
## HV-7



### **Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 0,9 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 110 metri dal piano di campagna.

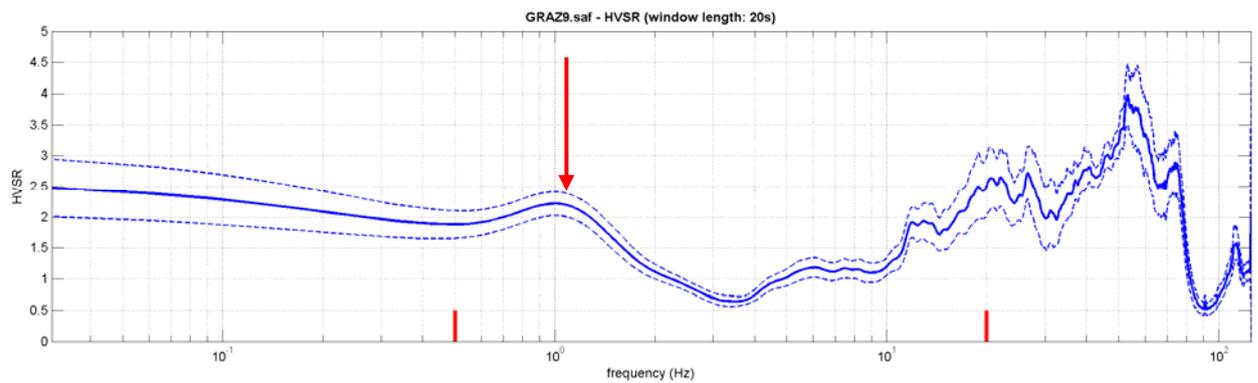
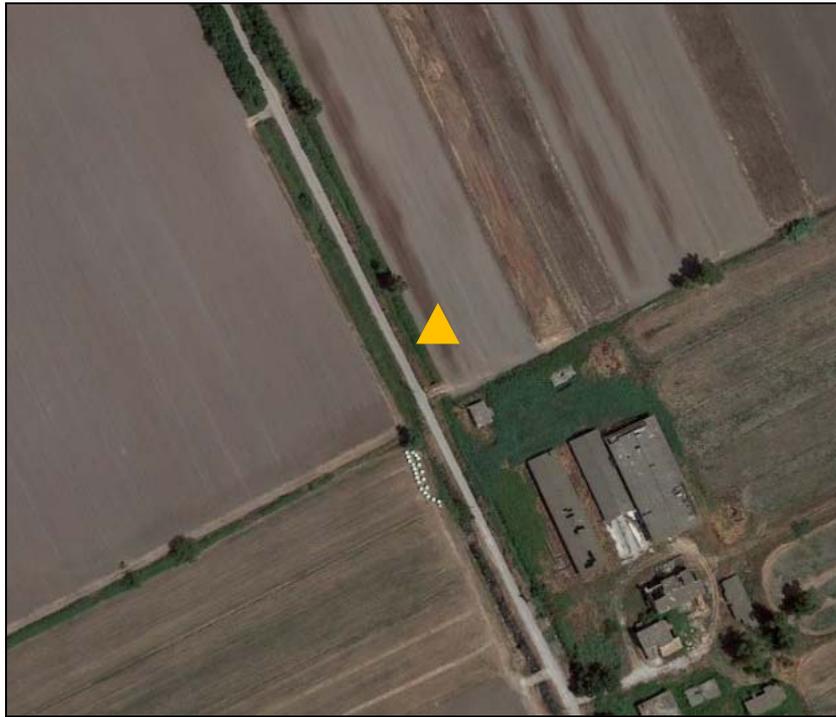
## HV-8



### **Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 1,0 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di 100 metri dal piano di campagna.

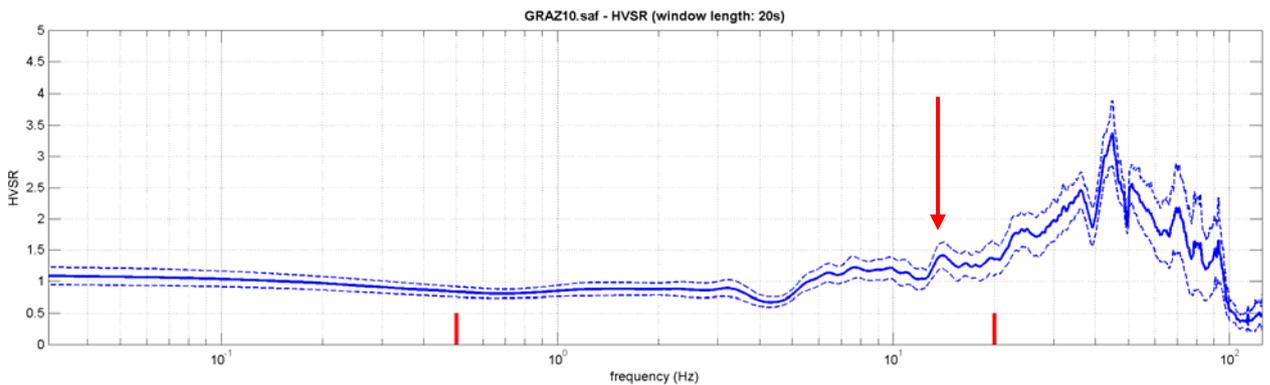
## HV-9



**Picco di Frequenza (Fo) = 1,1 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 100 metri dal piano di campagna.

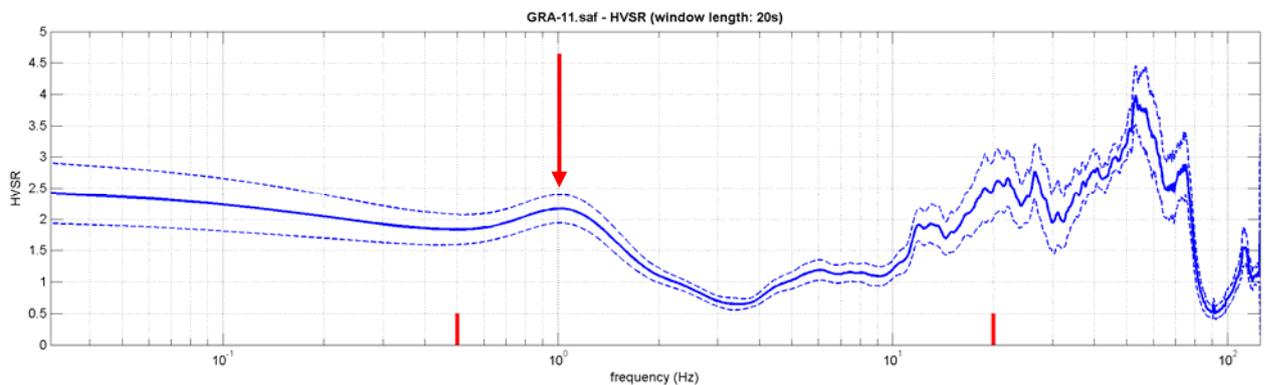
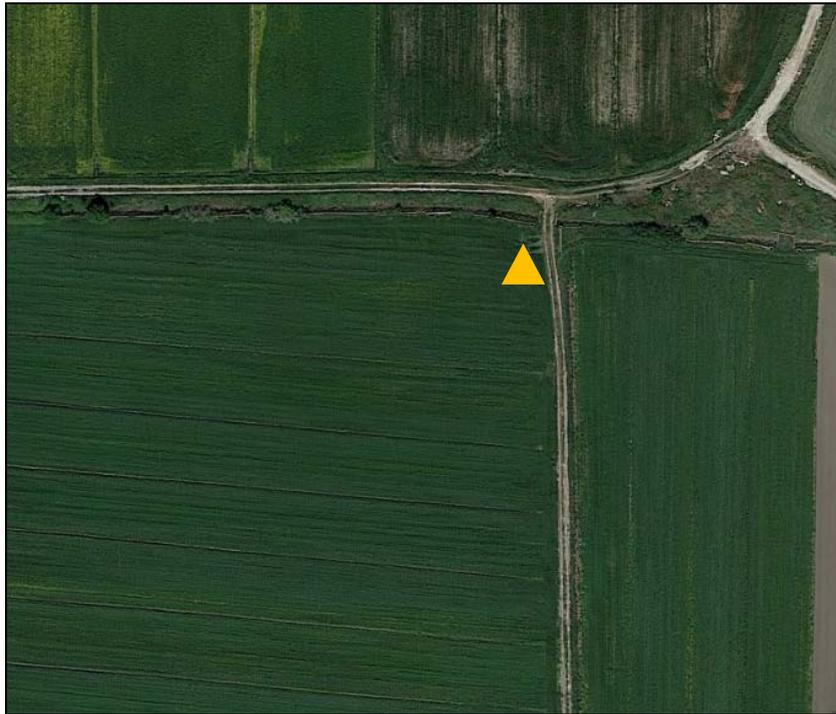
## HV-10



### Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 14,0 Hz

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, è posto alla profondità di circa 6-7 metri dal p.c. ed indicherebbe un contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento.

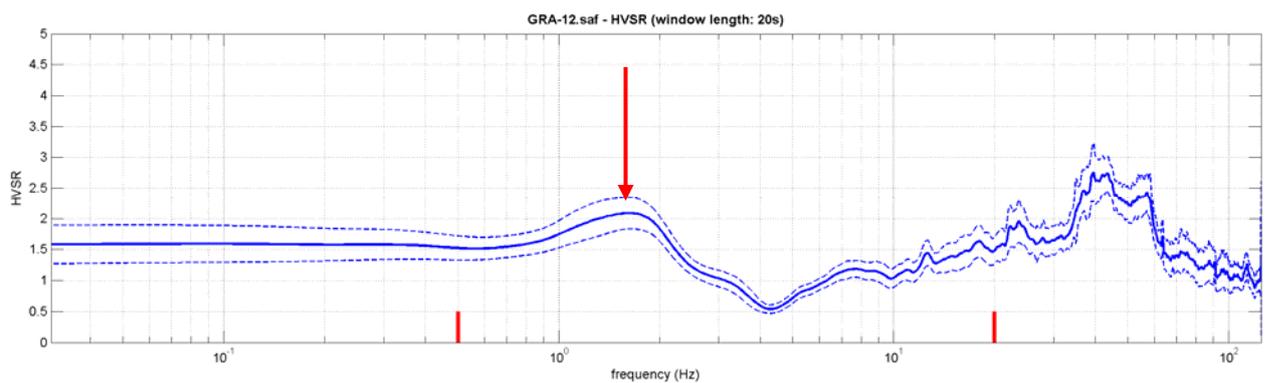
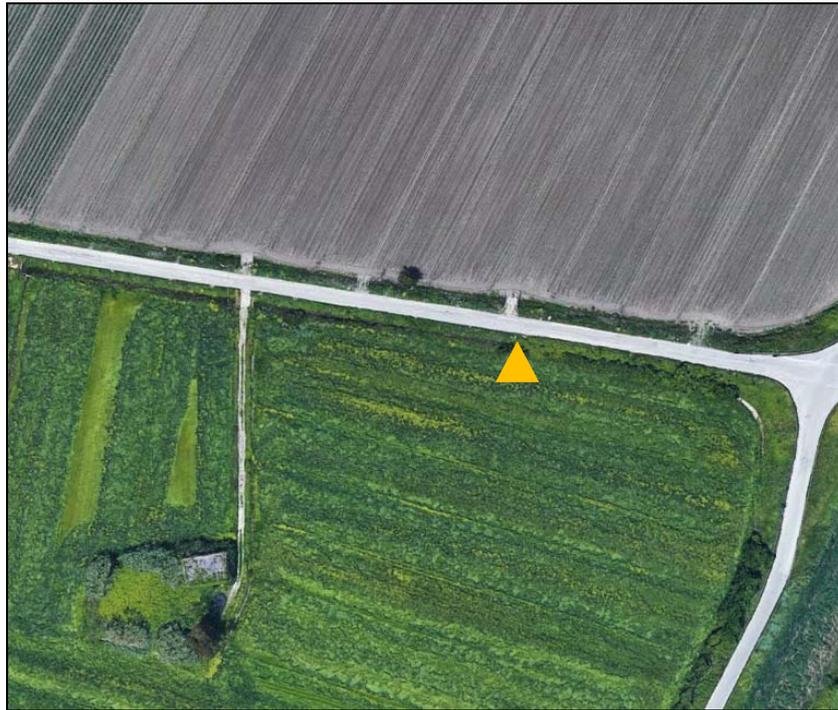
## HV-11



### Picco di Frequenza Principale ( $F_0$ ) = 1,0 Hz

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di 100 metri dal piano di campagna.

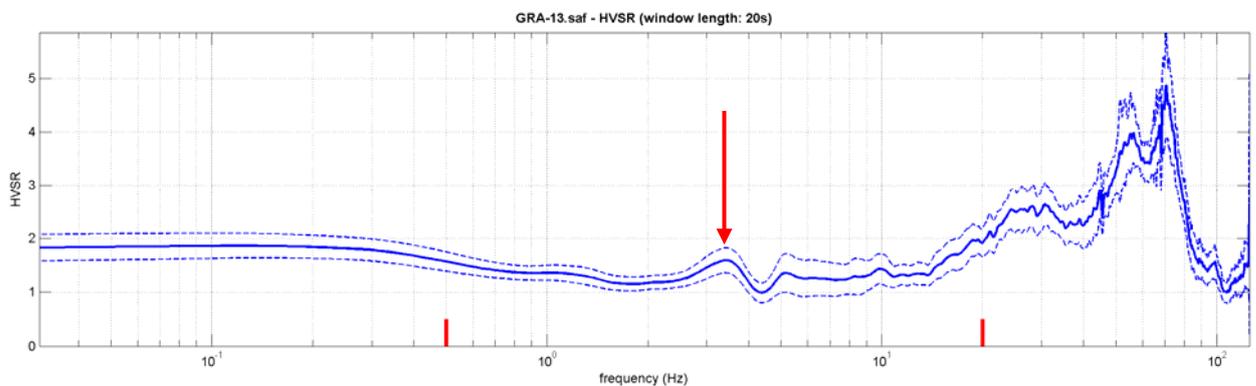
## HV-12



### Picco di Frequenza Principale (Fo) = 1,6 Hz

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 70-80 metri dal piano di campagna.

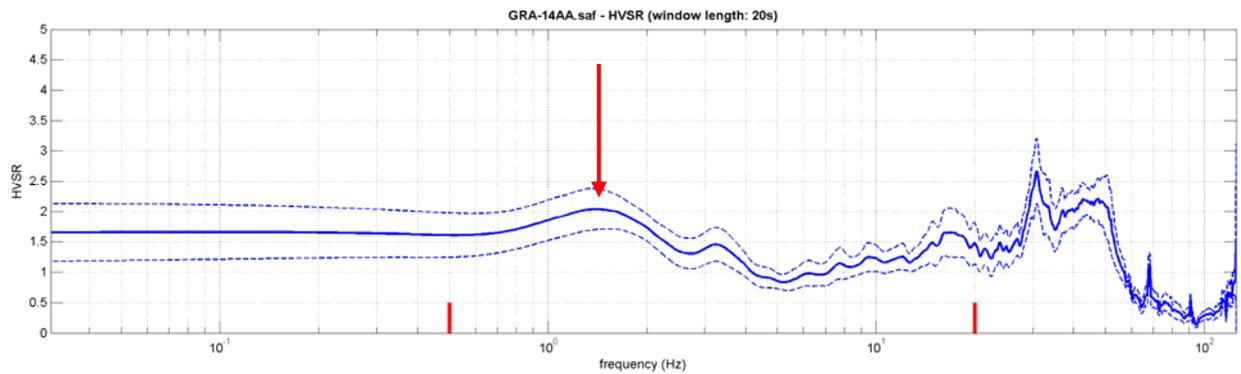
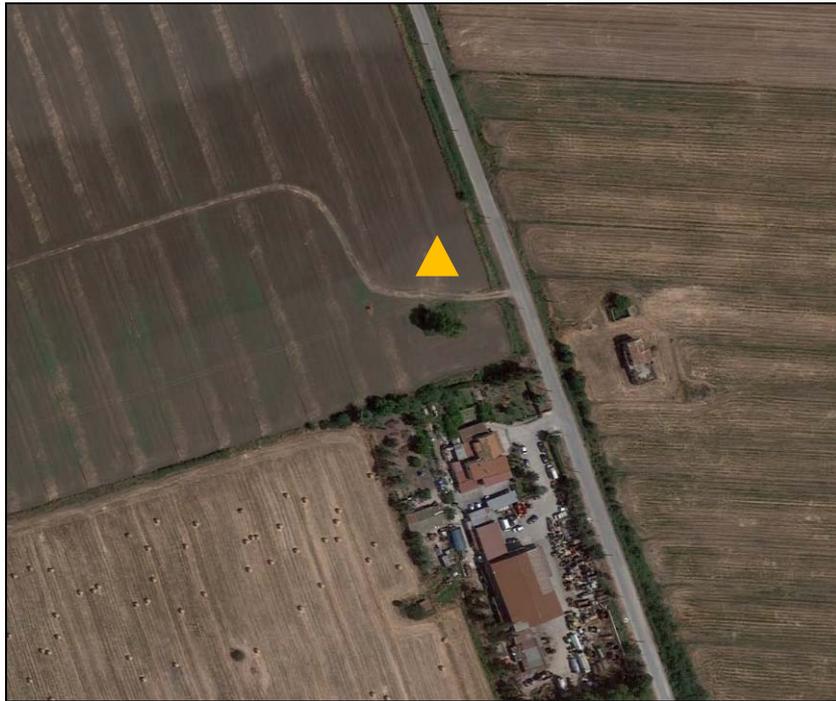
## HV-13



### **Picco di Frequenza Principale (Fo) = 3,5 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, è posto alla profondità di circa 30 metri ed indicherebbero un contrasto di impedenza dovuto ad un passaggio tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento.

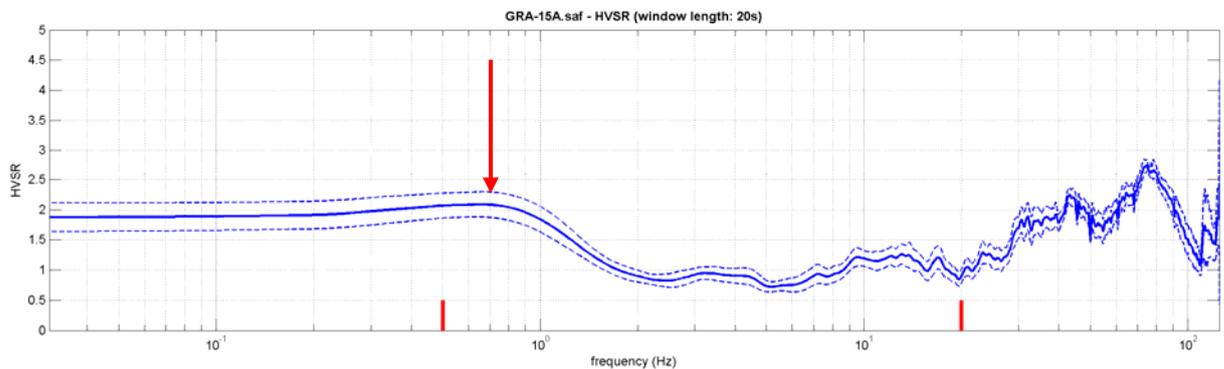
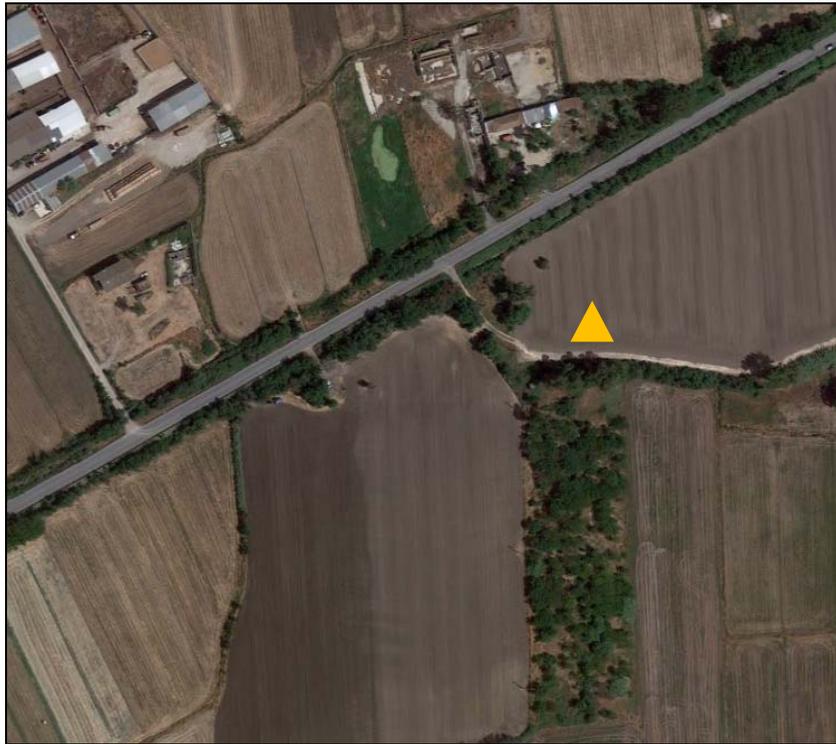
## HV-14



### **Picco di Frequenza (Fo) = 1,4 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 80 metri dal piano di campagna.

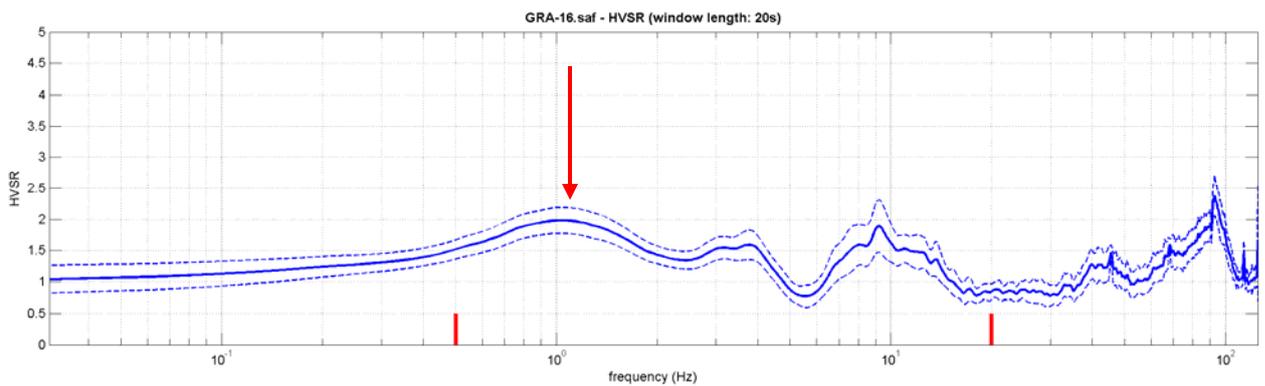
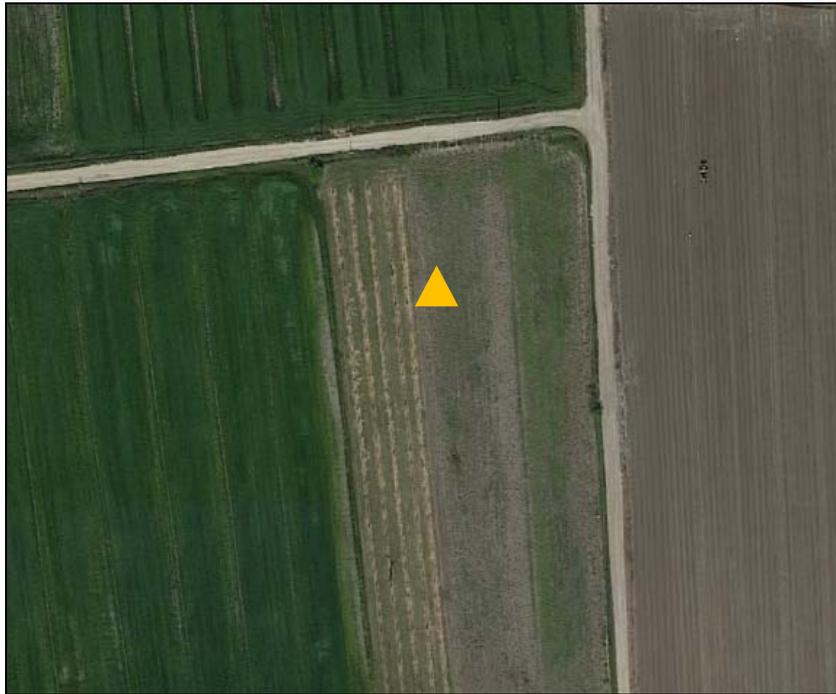
## HV-15



**Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 0,7 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 130 metri dal piano di campagna.

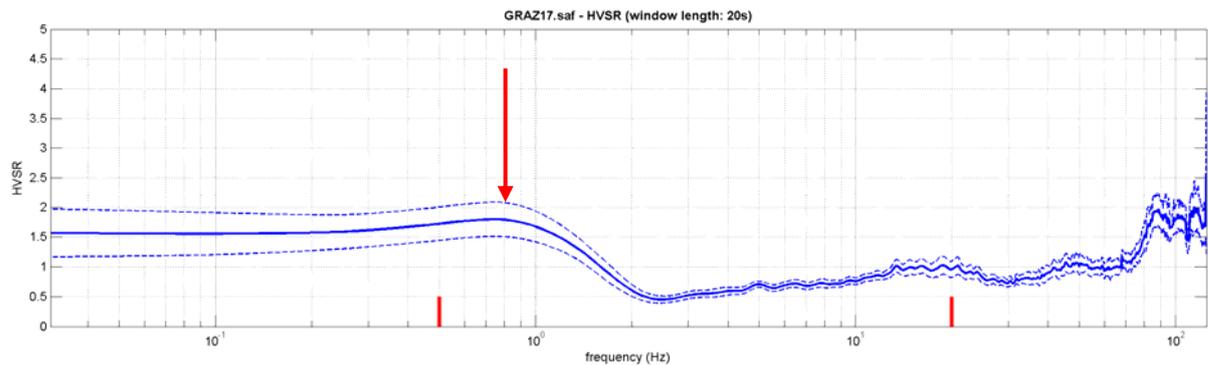
## HV-16



**Picco di Frequenza (Fo) = 1,1 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 100 metri dal piano di campagna.

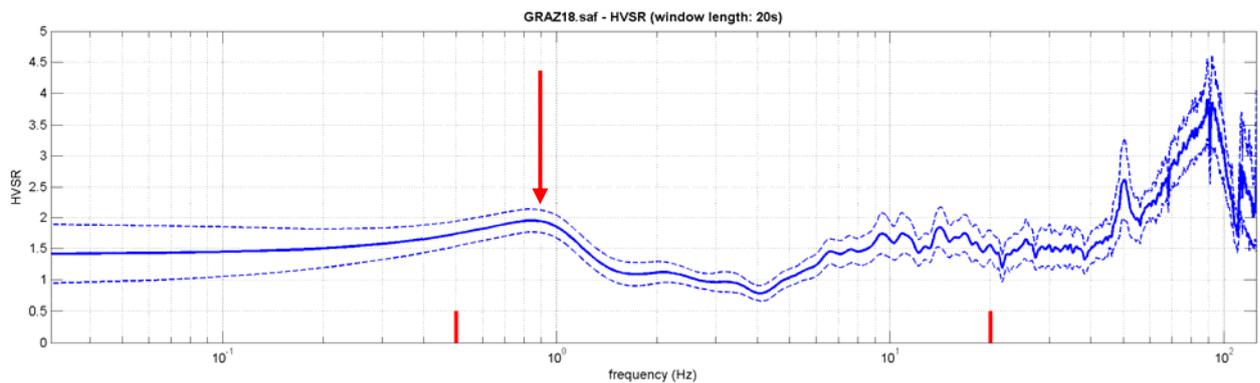
## HV-17



### **Picco di Frequenza (Fo) = 0,8 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 110-120 metri dal piano di campagna.

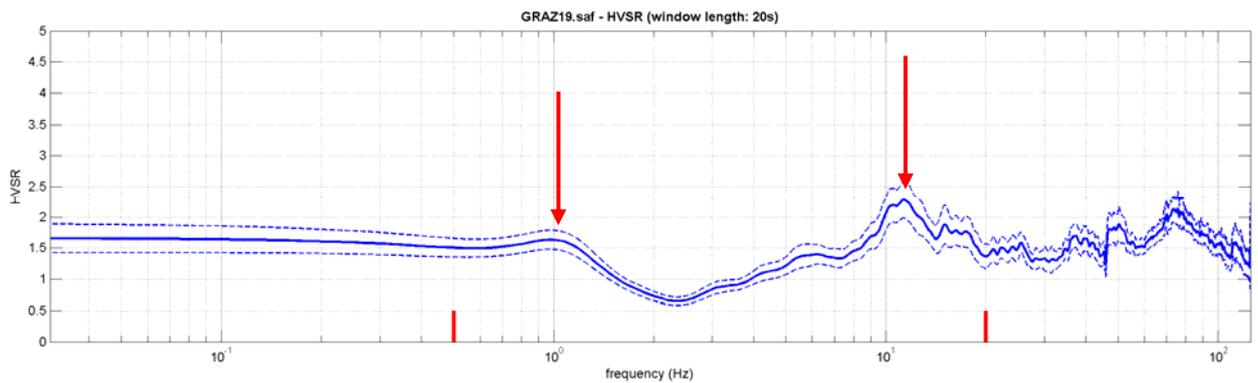
## HV-18



### Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 0,9 Hz

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 110 metri dal piano di campagna.

## HV-19

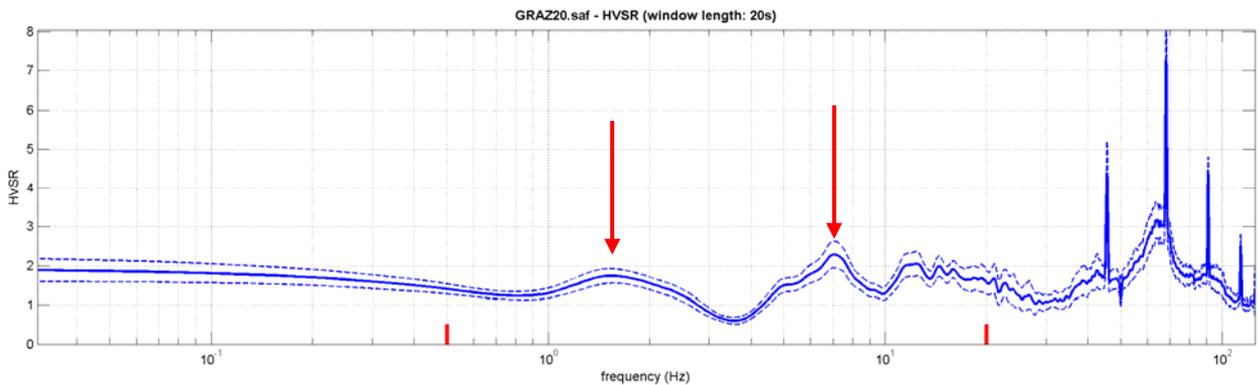


**Picco di Frequenza Principale ( $F_0$ ) = 1,0 Hz**

**Picco di Frequenza Secondario ( $F_0$ ) = 11,4 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, sono stati individuati un picco di frequenza principale che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 110 metri dal piano di campagna, ed un picco secondario, presumibilmente dovuto a cause antropiche.

## HV-20



**Picco di Frequenza Principale ( $F_0$ ) = 1,5 Hz**

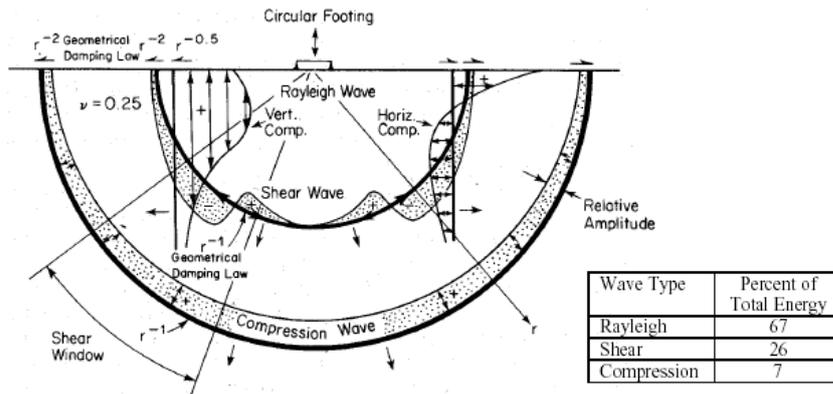
**Picco di Frequenza Secondario ( $F_0$ ) = 7,1 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, sono stati individuati un picco di frequenza principale che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 70-80 metri dal piano di campagna, ed un picco secondario, posto alla profondità di circa 8-10 metri dal p.c., che indicherebbe un contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento (come la presenza di un livello ghiaioso).



#### 6.4.2. PROVE SISMICHE M.A.S.W.

Il rilievo geofisico MASW (multichannel analysis of surface waves) è utilizzato per la determinazione dei profili verticali della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh effettuata con *algoritmi genetici*.



I vantaggi dell'uso di questa metodologia geofisica rispetto ai metodi tradizionali sono:

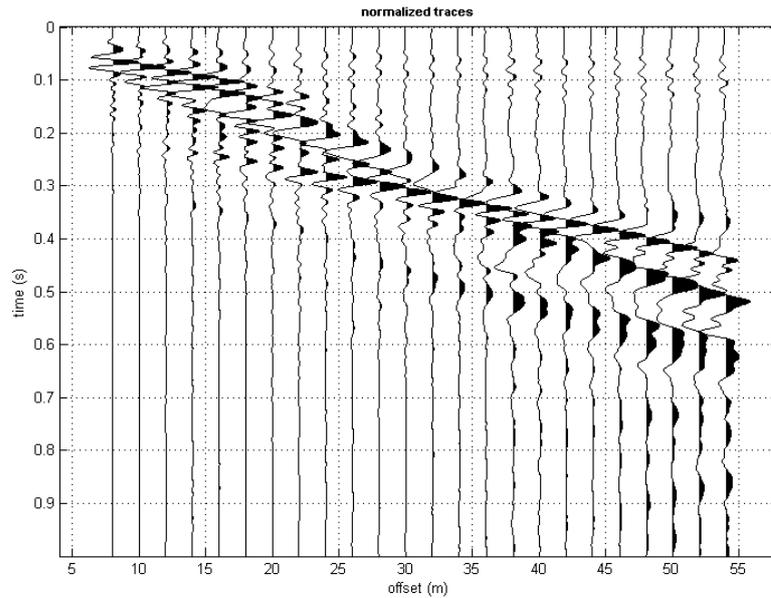
1. Particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi;
2. Non limitato – a differenza del metodo a rifrazione – dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
3. Buona risoluzione (a differenza del metodo a riflessione);
4. Permette la ricostruzione della distribuzione verticale della velocità delle onde di taglio (S) – fondamentale per la caratterizzazione geotecnica del sito.

Inoltre:

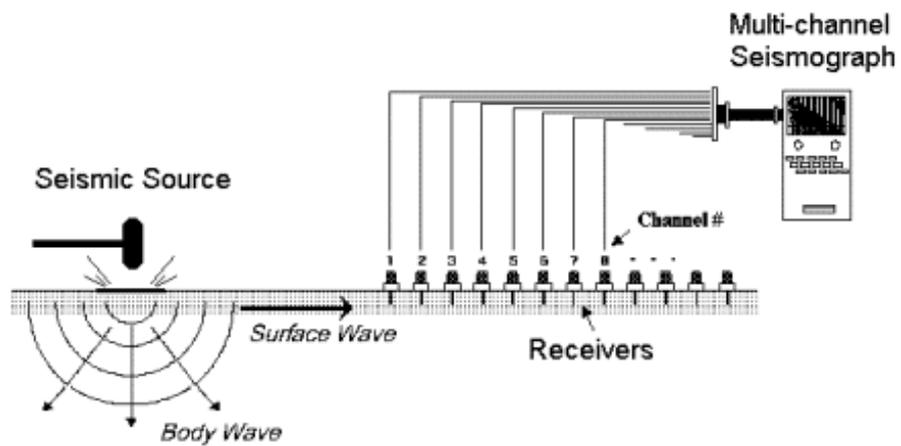
- La percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%);
- L'ampiezza delle *surface waves* dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le *body waves*.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (*figura 8*), generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni (*figura 9*);

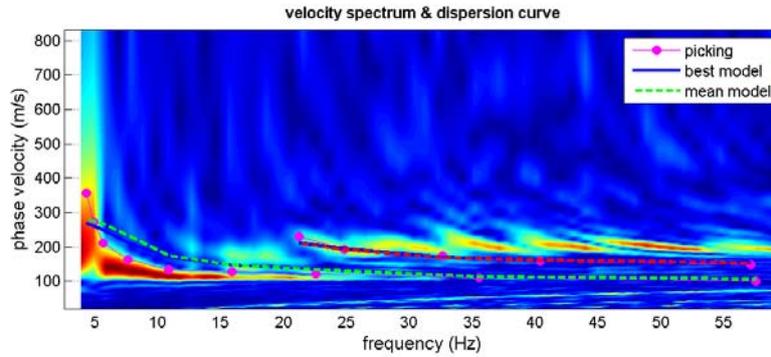


*Fig. 8: Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.*



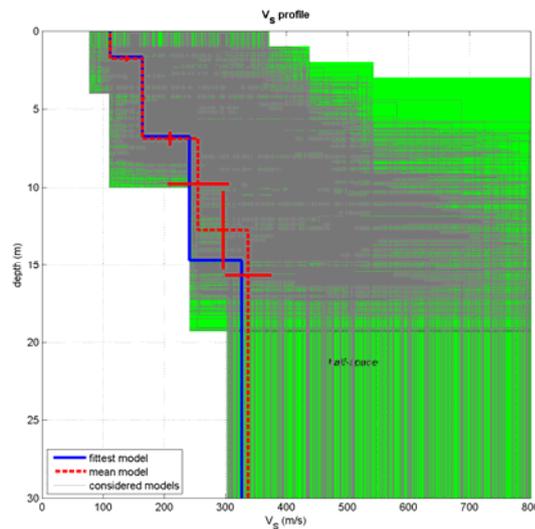
*Fig. 9: Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.*

2. Estrazione del modo fondamentale di oscillazione dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (*figura 10*);



**Fig.10: Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.**

3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle VS (*figura 11*) (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);



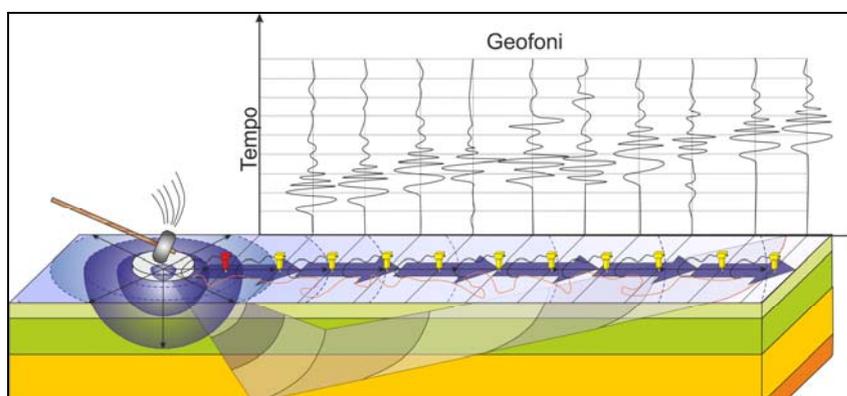
**Fig. 11: Modello di velocità delle onde di taglio (VS) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato di terreno. La velocità delle onde di taglio è approssimativamente pari a  $1.1VR$  ( $VR$ =velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa  $0.4\lambda$  ( $\lambda$ =lunghezza d'onda).**

Le indagini sono state eseguite utilizzando un sismografo a 24 canali della PASI di Torino, modello GEA-24, con scheda di acquisizione 24 bit e interfaccia USB per PC esterno, 24 canali+trigger (can. AUX) – 2 unità serializzabili per un totale di 48 canali. Convertitore Analogico/Digitale Sigma Delta 24 bit reali, Range Dinamico: 144dB (sistema); >117dB. Il trigger è dato da un geofono starter esterno, con possibilità di pre-trigger (0-10 ms).

Sono stati utilizzati geofoni da 4,5 Hz e, come sorgente energizzante, una massa battente (martello) da 5 Kg battuta su una piastra metallica.



Acquisire un set di dati per l'indagine MASW non è troppo diverso da una comune acquisizione per un'indagine a rifrazione (o riflessione). È sufficiente effettuare uno stendimento di geofoni allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale (martello).



I profili MASW sono stati eseguiti utilizzando le seguenti geometrie:

MASW N°	N° geofoni	Interdistanza, m	Lunghezza, m	Distanza scoppi, m
1	24	2,00	54	4 – 8
2	24	2,00	54	4 – 8
3	24	2,00	54	4 – 8
4	24	2,00	52	4 – 6
5	24	2,00	52	4 – 6
6	24	2,00	52	4 – 6
7	24	2,00	52	4 – 6
8	24	2,00	52	4 – 6
9	24	2,00	52	4 – 6
10	24	2,00	52	4 – 6
11	24	2,00	54	4 – 8
12	24	2,00	54	4 – 8
13	24	2,00	54	4 – 8
14	24	2,00	54	4 – 8
15	24	2,00	54	4 – 8

La scelta delle diverse distanze di scoppio è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dai differenti litotipi presenti nel sottosuolo dell'area investigata.

Il software *winMASW 3C v.6.0* consente di analizzare dati sismici (*common-shot gathers* acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità;
- 2) inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici.

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche *global-search methods* o *soft computing*).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi evolutivi offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. È invece necessario definire uno "spazio di ricerca" (*search space*) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

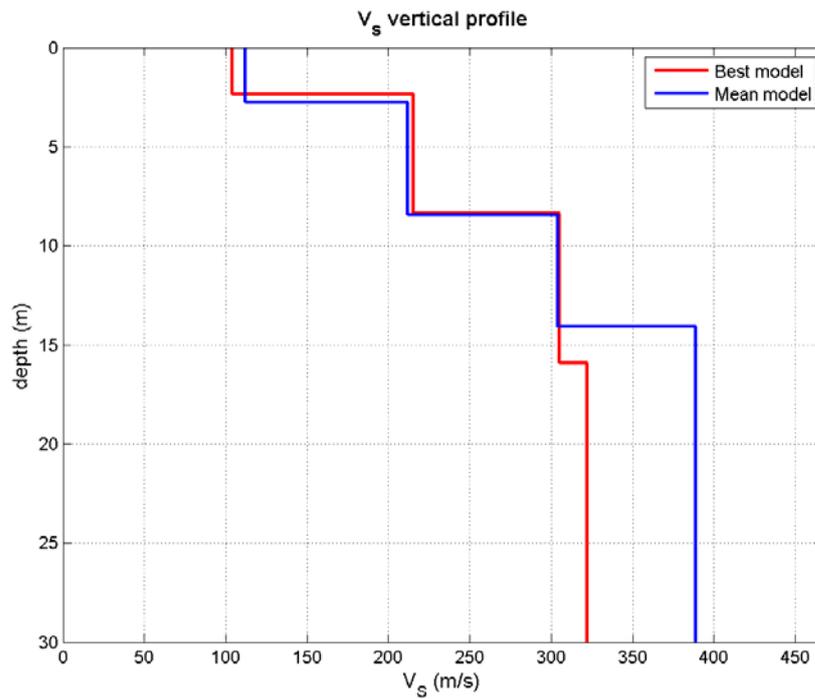
Quella finale viene infine proposta con anche una stima della sua attendibilità (*deviazioni standard*) attenuata grazie all'impiego di tecniche statistiche.

Il principale punto di forza del software utilizzato è quindi proprio quello di fornire risultati molto più robusti rispetto a quelli ottenibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità.

#### 6.4.2.1. ESAME DEI RISULTATI

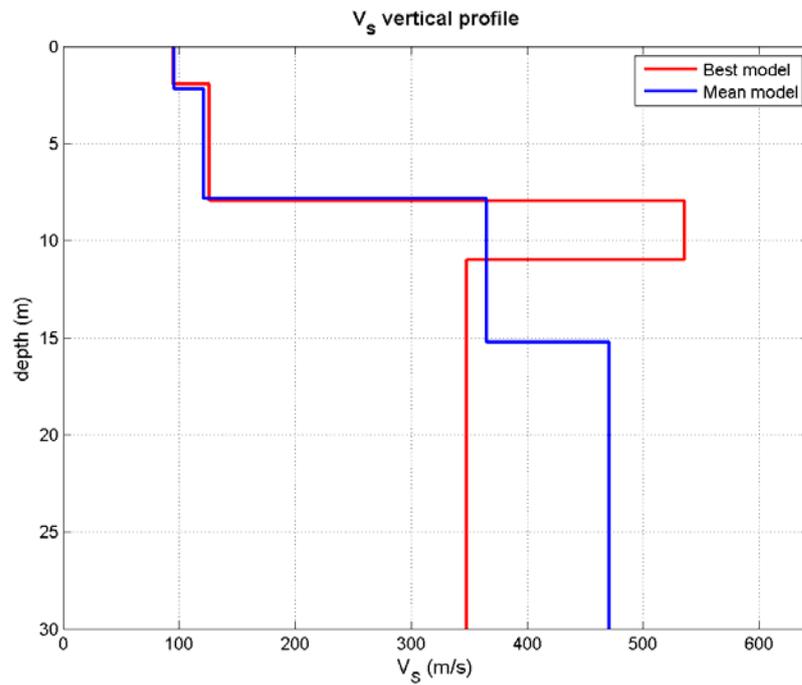
I profili indicanti gli spessori dei litotipi e le velocità riscontrate sono riportati nell'**Allegato N. 3 "Indagini attuali – Elaborati M.A.S.W."** e riassunti nelle immagini e nelle tabelle seguenti; si riporta inoltre l'ubicazione dei profili effettuati su stralci tratti da Google Earth.

## MASW-1



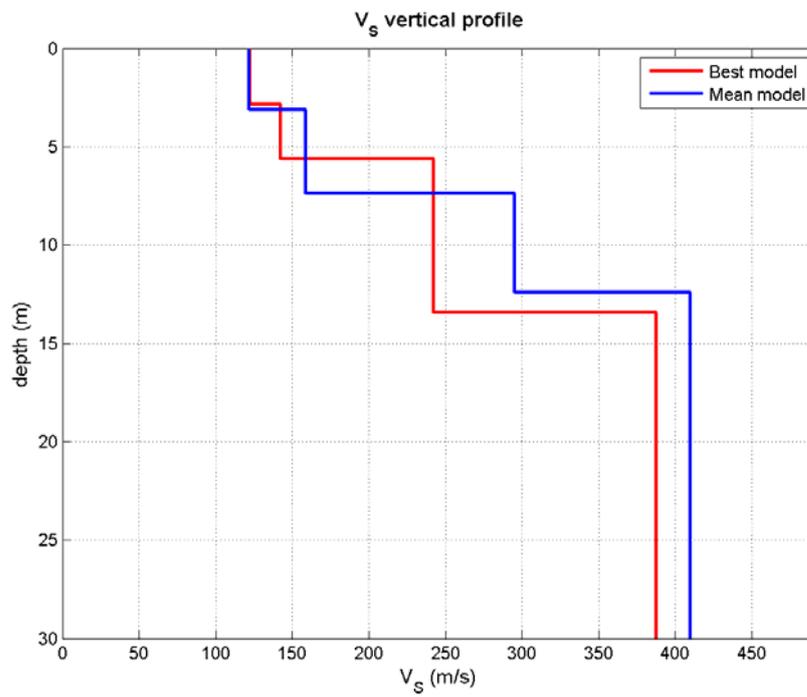
Strato $n^\circ$	Spessore (m)	Profondità (m)	$V_s$ (m/sec)
1	2,80	2,80	112
2	5,70	8,50	212
3	5,60	14,10	304
4	semispazio	>14,10	389

## MASW-2



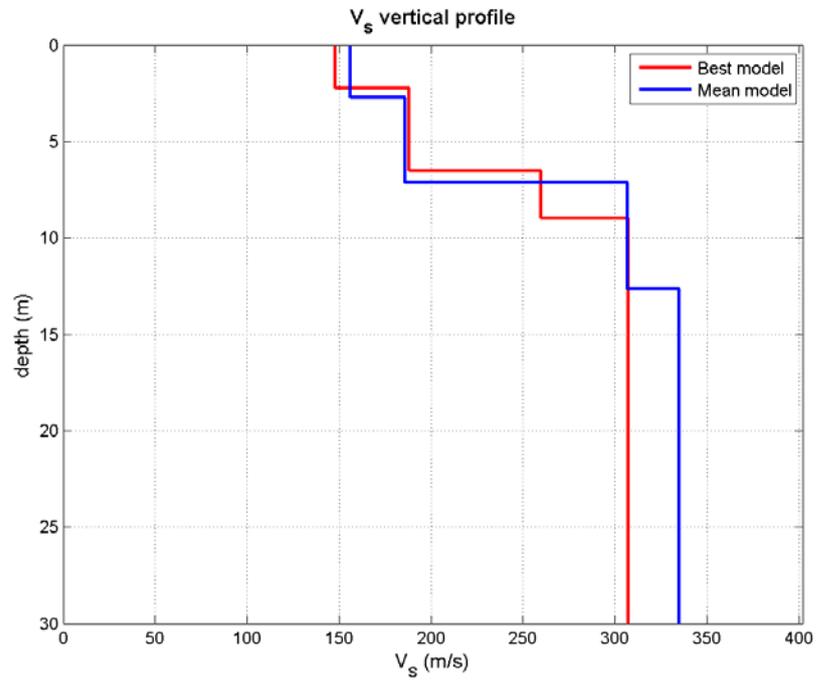
Strato $n^\circ$	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	2,20	2,20	96
2	5,60	7,80	121
3	7,40	15,20	365
4	semispazio	>15,20	471

### MASW-3



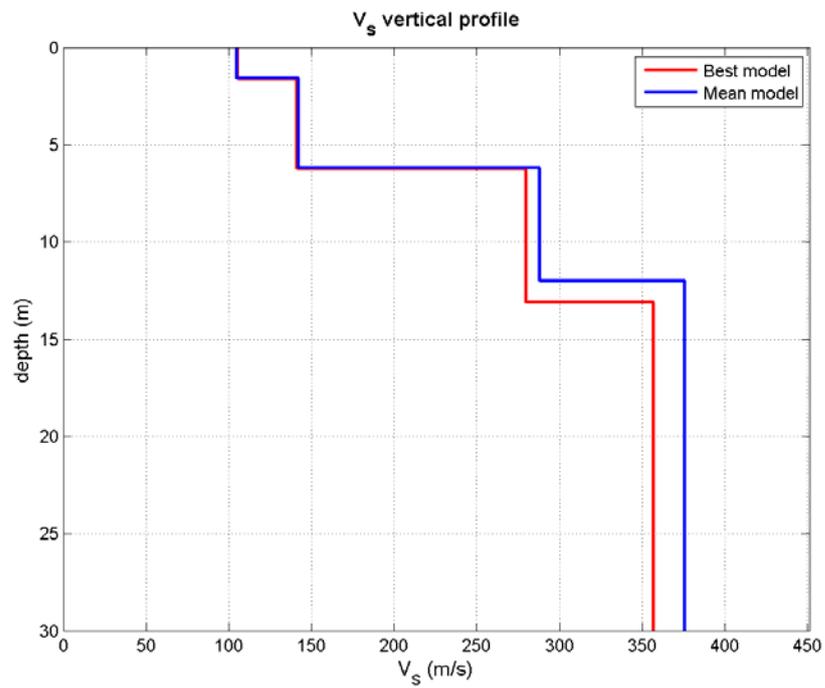
Strato $n^\circ$	Spessore (m)	Profondità (m)	$V_s$ (m/sec)
1	3,10	3,10	122
2	4,20	7,30	159
3	5,00	12,30	295
4	semispazio	>12,30	410

## MASW-4



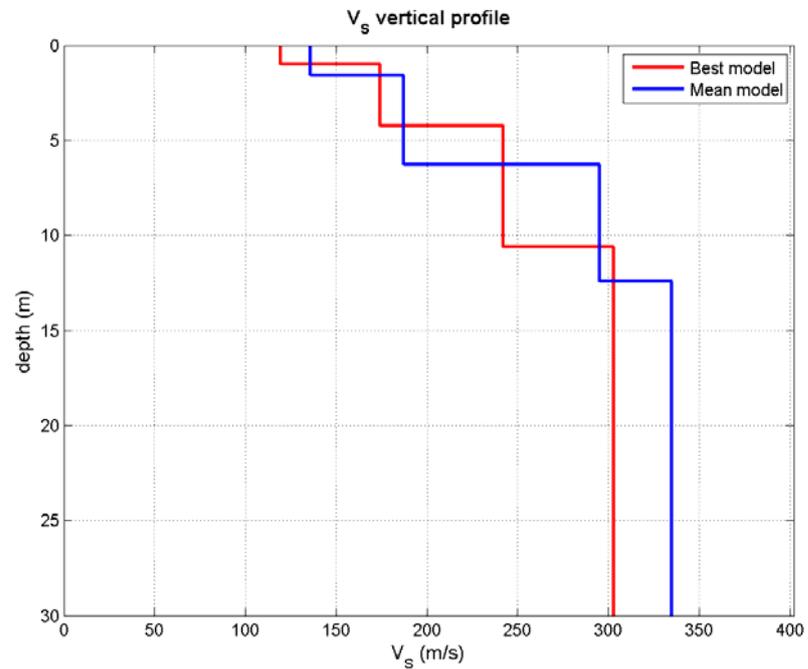
Strato $n^\circ$	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	2,70	2,70	156
2	4,40	7,10	186
3	5,50	12,60	307
4	semispazio	>12,60	335

## MASW-5



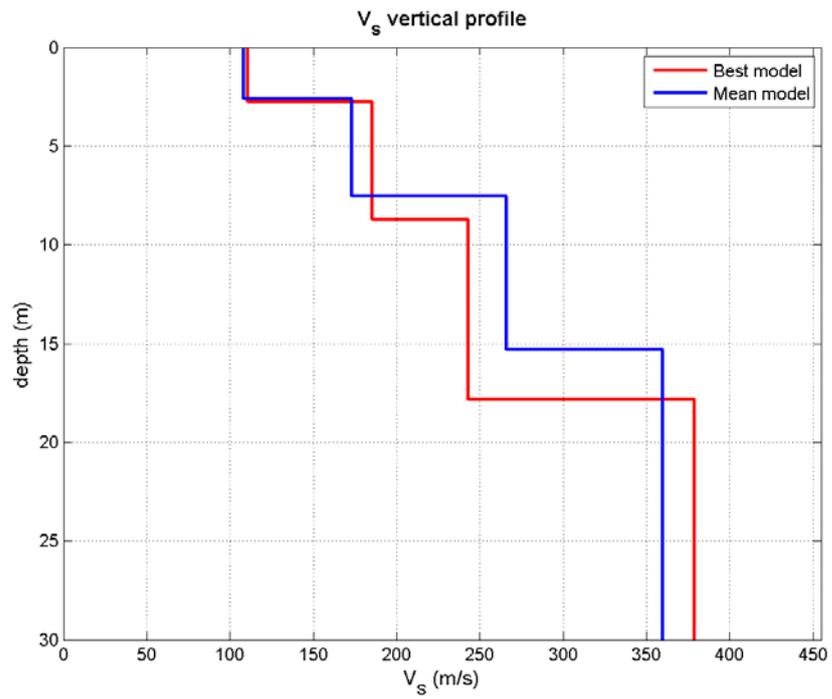
Strato <i>n</i> <sup>o</sup>	Spessore ( <i>m</i> )	Profondità ( <i>m</i> )	Vs ( <i>m/sec</i> )
1	1,60	1,60	105
2	4,60	6,20	142
3	5,80	12,00	288
4	semispazio	>12,00	376

## MASW-6



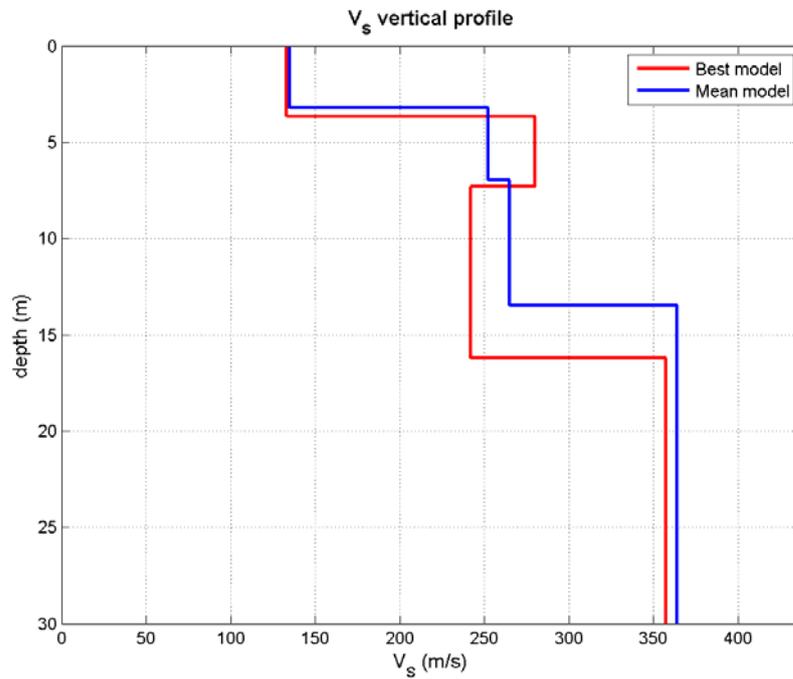
Strato $n^\circ$	Spessore (m)	Profondità (m)	$V_s$ (m/sec)
1	1,60	1,60	136
2	4,70	6,30	187
3	6,20	12,50	295
4	semispazio	>12,50	335

## MASW-7



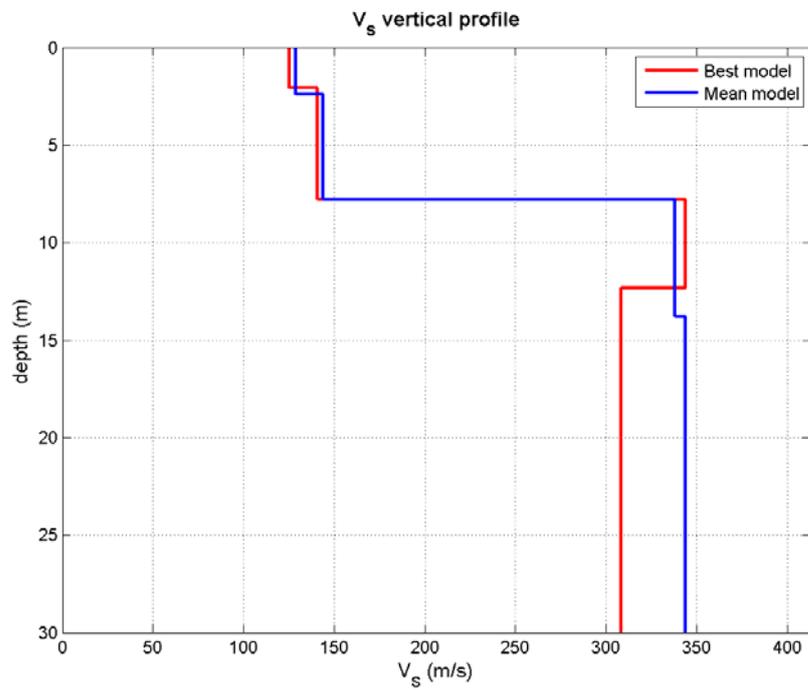
Strato $n^{\circ}$	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	2,60	2,60	108
2	5,00	7,60	173
3	7,70	15,30	266
4	semispazio	>15,30	360

## MASW-8



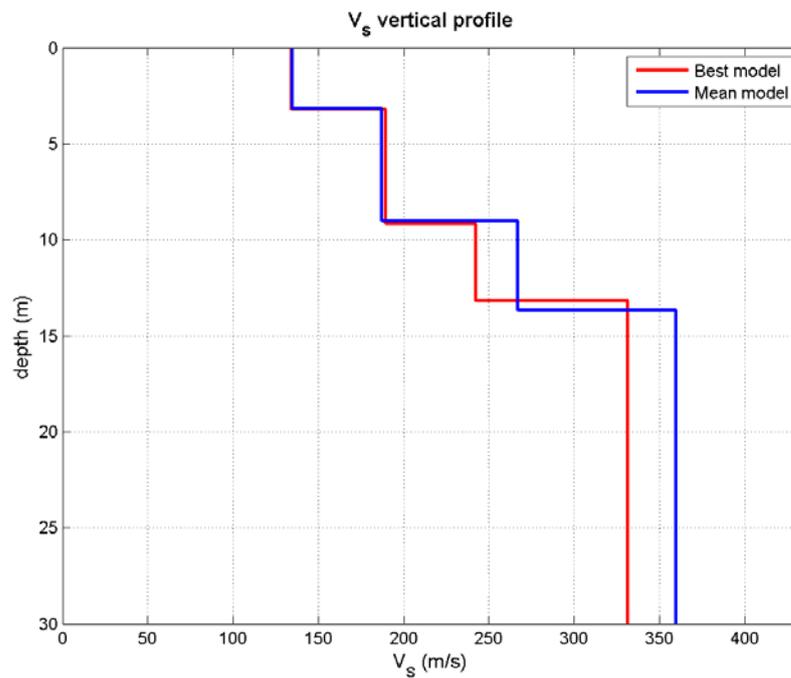
Strato $n^\circ$	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	3,20	3,20	135
2	3,80	7,00	252
3	6,50	13,50	265
4	semispazio	>13,50	364

## MASW-9



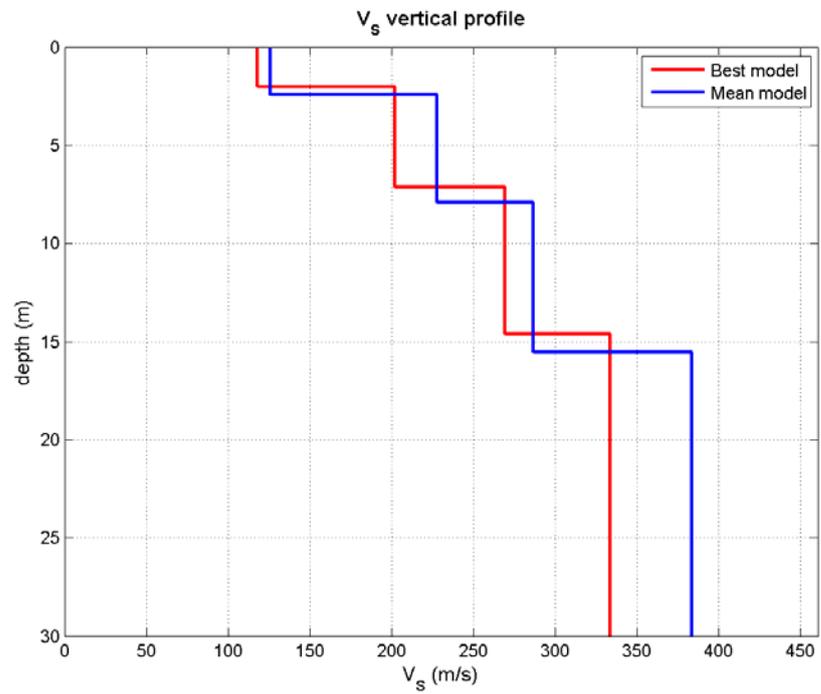
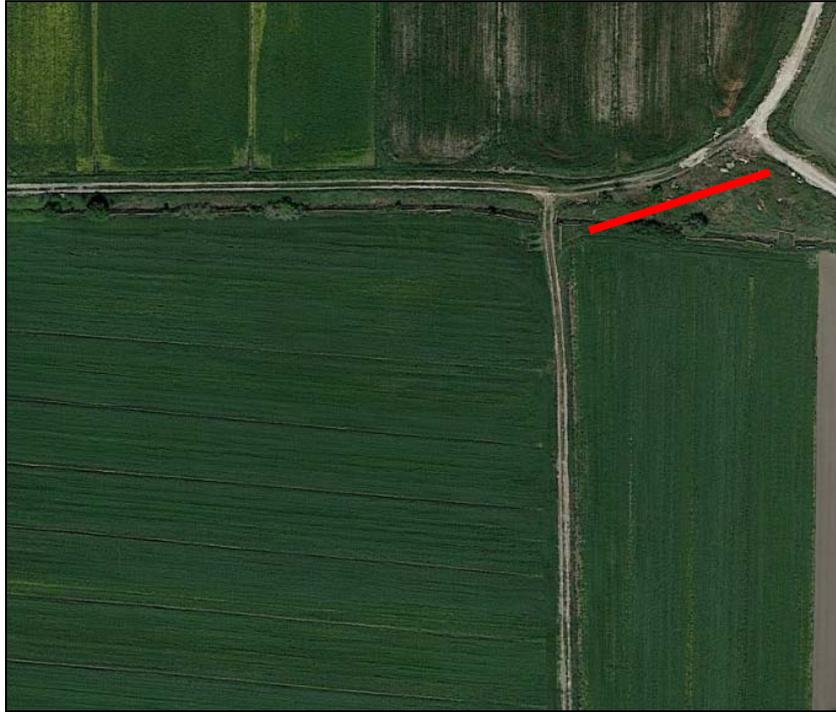
Strato $n^{\circ}$	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	2,40	2,40	129
2	5,40	7,80	144
3	6,00	13,80	338
4	semispazio	>13,80	344

## MASW-10



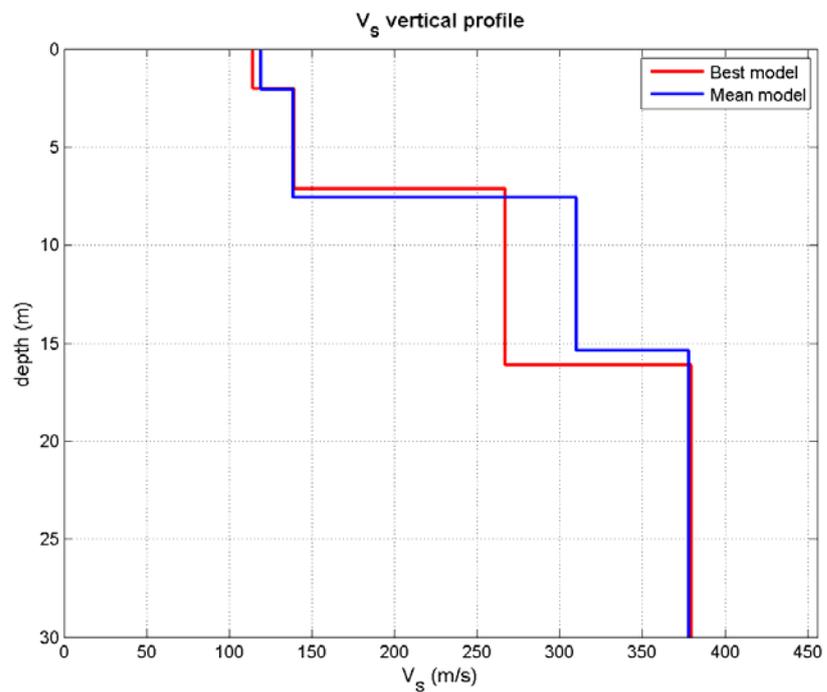
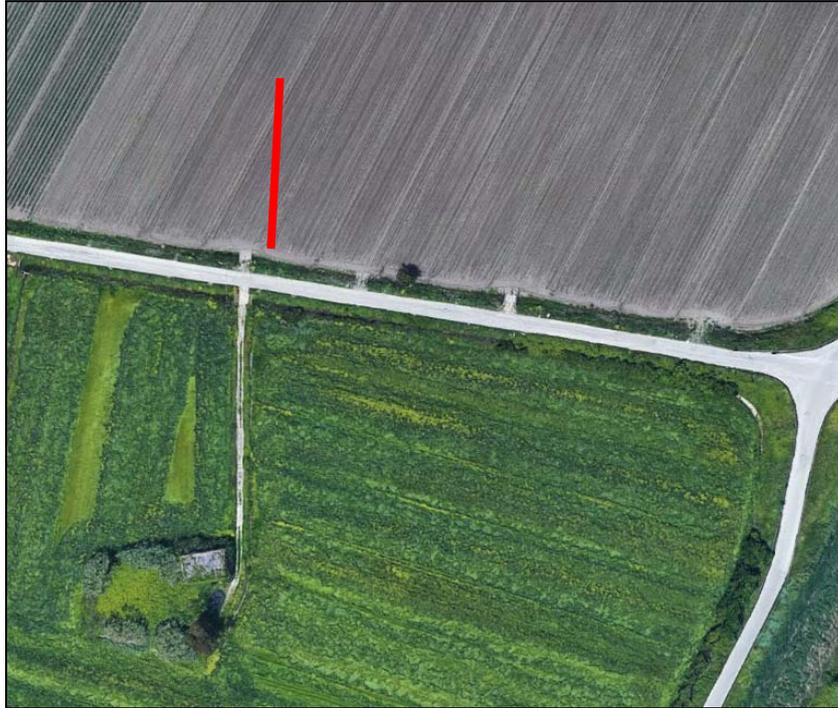
Strato $n^\circ$	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	3,20	3,20	135
2	5,80	9,00	187
3	4,60	13,60	267
4	semispazio	>13,60	360

## MASW-11



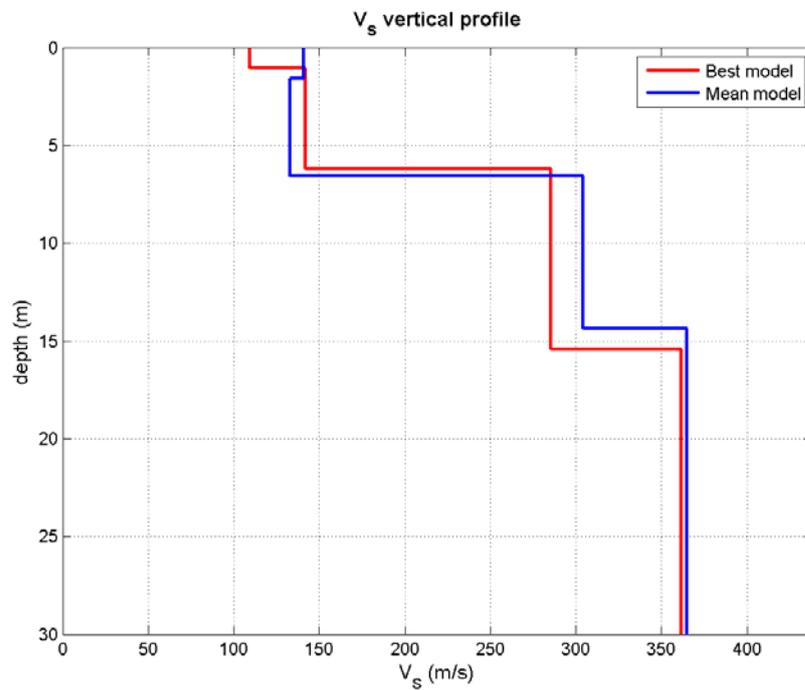
Strato $n^{\circ}$	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	2,40	2,40	126
2	5,40	7,80	228
3	7,60	15,40	287
4	semispazio	>15,40	384

## MASW-12



Strato $n^\circ$	Spessore (m)	Profondità (m)	$V_s$ (m/sec)
1	2,00	2,00	119
2	5,50	7,50	139
3	7,80	15,30	310
4	semispazio	>15,30	378

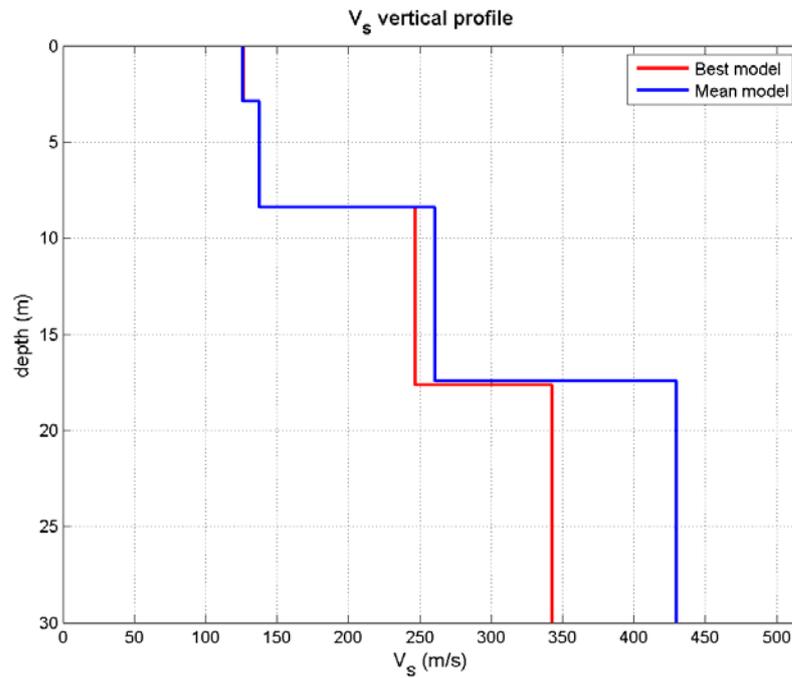
### MASW-13



Strato n°	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	1,60	1,60	141
2	5,00	6,60	133

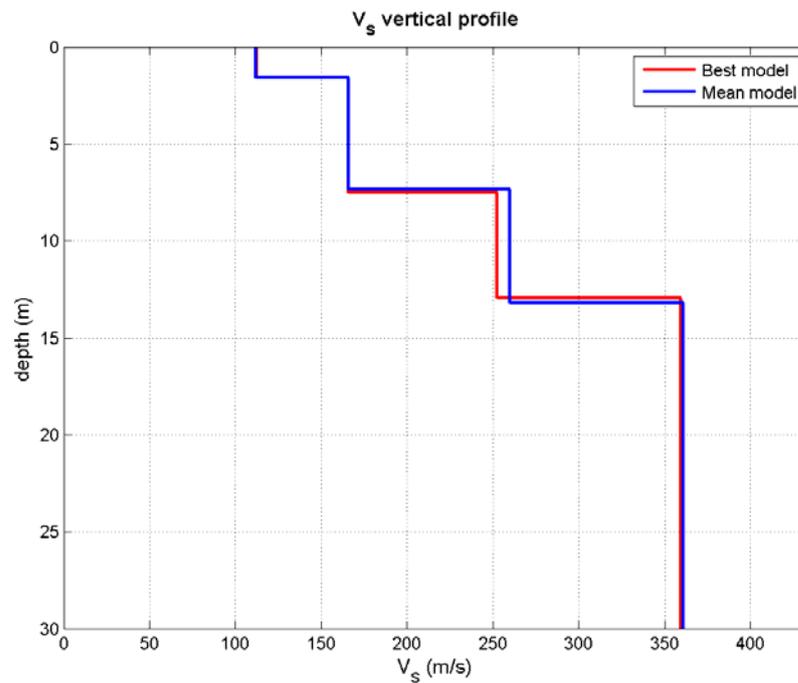
<b>3</b>	7,80	14,40	304
<b>4</b>	semispazio	>14,40	365

**MASW-14**



<b>Strato n°</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/sec)</b>
<b>1</b>	2,90	2,90	126
<b>2</b>	5,50	8,40	138
<b>3</b>	9,00	17,40	261
<b>4</b>	semispazio	>17,40	430

## MASW-15



Strato n°	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	1,60	1,60	122
2	5,80	7,40	166

<b>3</b>	5,80	13,20	260
<b>4</b>	semispazio	>13,20	361

La nuova normativa sismica italiana prevede una classificazione del sito in 5 classi in funzione della velocità delle onde S nei 30 metri di terreno ( $V_{s,eq}$ ). Come prescritto nelle NTC 2018, la classificazione del sottosuolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  definita dall'espressione seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

N = numero di strati

H = profondità del substrato (valori di  $V_s > 800$  m/s)

In caso di depositi con profondità del substrato superiore ai 30 metri dal p.c., la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ . Nel caso in esame, gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione dei seguenti valori del  $V_{s,30}$ , calcolati a partire dal piano di campagna:

PROVA	VALORE DI $V_{s30}$	CATEGORIA DI SUOLO
MASW-1	<b>270</b>	<b>C</b>
MASW-2	<b>248</b>	<b>C</b>
MASW-3	<b>267</b>	<b>C</b>
MASW-4	<b>271</b>	<b>C</b>
MASW-5	<b>260</b>	<b>C</b>
MASW-6	<b>273</b>	<b>C</b>
MASW-7	<b>245</b>	<b>C</b>
MASW-8	<b>276</b>	<b>C</b>
MASW-9	<b>248</b>	<b>C</b>
MASW-10	<b>255</b>	<b>C</b>

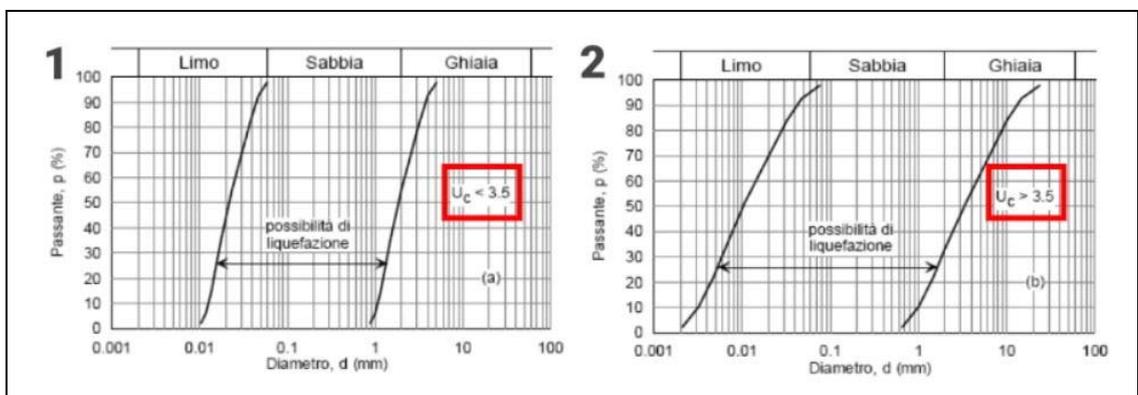
MASW-11	<b>279</b>	<b>C</b>
MASW-12	<b>248</b>	<b>C</b>
MASW-13	<b>256</b>	<b>C</b>
MASW-14	<b>237</b>	<b>C</b>
MASW-15	<b>254</b>	<b>C</b>

Per altre informazioni relative alle indagini sismiche si rimanda agli elaborati riportati nell'**Allegato N. 3** "**Indagini attuali – Elaborati M.A.S.W**", nel quale si riporta anche la documentazione fotografica delle indagini effettuate.

## 7. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

In base all'art. 7.11.3.4.2 delle NTC 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero)  $< 0,1g$ ;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal p.c., per piano di campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura che segue nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  (grafico 1) e per coefficienti di uniformità  $U_c > 3,5$  (grafico 2).



Fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità

di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso. I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti.

Come si evince dalle analisi di laboratorio riportate nell'**Allegato N. 1 "Indagini pregresse"**, le analisi granulometriche eseguite su campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni eseguite, hanno classificato i materiali come specificato nella seguente tabella:

Campione n°	Profondità di prelievo	Classificazione A.G.I.
S1-C1 (Capoluogo)	6,00-6,50	Argilla con limo sabbiosa
S2-C1 (Capoluogo)	10,50-11,00	Sabbia con limo debolmente argillosa debolm. Ghiaiosa
S3-C1 (Capoluogo)	2,00-2,50	Limo argilloso debolmente sabbioso
S4-C1 (Capoluogo)	2,40-2,90	Limo con sabbia
S5-C1 (Capoluogo)	4,50-5,00	Limo con sabbia
S6-C1 (Capoluogo)	4,00-4,50	Limo sabbioso
S6-C2 (Capoluogo)	7,00-7,50	Argilla limosa
S7-C1 (Capoluogo)	2,00-2,50	Limo sabbioso
S7-C2 (Capoluogo)	4,00-4,50	Argilla sabbiosa
S7-C3 (Capoluogo)	16,00-16,50	Sabbia
S8-C1 (Capoluogo)	3,00-3,50	Sabbia con limo
S1-C1 (Brezza)	9,00-9,50	Sabbia debolmente argillosa
S1-C2 (Brezza)	18,00-18,50	Sabbia
S2-C1 (Brezza)	4,50-5,00	Sabbia limosa con ghiaia
S3-C1 (Brezza)	28,00-28,50	Limo con sabbia debolmente ghiaioso
S1-C1 (Borgo)	3,60-4,00	Limo debolmente sabbioso
S1-C2 (Borgo)	6,50-7,00	Sabbia limosa

Come si evince dalla tabella riepilogativa sopra riportata, la maggioranza dei campioni prelevati non vengono classificati come “*sabbie pulite*”, per cui decade la condizione n. 3), precedentemente descritta, dell’art. 7.11.3.4.2 delle NTC 2018.

Difatti, i depositi affioranti nel territorio comunale di Grazzanise sono caratterizzati da ampio range granulometrico (sabbia, limo ed argilla coesistenti in percentuali variabili da campione a campione); pertanto, i terreni possono essere considerati non liquefacibili e la verifica al fenomeno della liquefazione può essere omessa.

Gli unici due campioni classificati come sabbie prevalenti (S7-C3 e S1-C2/Brezza) sono stati prelevati a profondità superiori ai 15 metri dal piano campagna, pertanto, in questo caso, va a decadere la condizione n. 2) della normativa vigente suddetta e la verifica a liquefazione può essere omessa, non essendoci le condizioni di potenziale rischio.

## 8. MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO

Ai fini della redazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, o MOPS (Microzonazione sismica di I Livello), il presente studio segue le indicazioni contenute negli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS) – Versione 4.2”, redatti dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e approvati nel dicembre 2020 dalla conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome; tali indirizzi sono finalizzati all’analisi della pericolosità sismica, necessaria per la valutazione del rischio sismico ed applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell’emergenza e della normativa tecnica per la progettazione.

Per Microzonazione Sismica s’intende la “valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo”. Per la MS di primo livello, il documento di sintesi finale è rappresentato da una carta del territorio nella quale vengono indicate:

1. **le zone stabili**: sono zone in cui il moto sismico non subisce modifiche rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida affiorante e topografia pianeggiante, per cui gli scuotimenti attesi possono essere equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base;

2. **le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**: sono quelle zone il cui moto sismico subisce modifiche rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida affiorante e topografia pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;

3. **le zone suscettibili di instabilità**: sono quelle zone in cui sono presenti o sono suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, cedimenti differenziali, ecc).

Lo studio di MS fornisce quindi una base conoscitiva della pericolosità sismica locale delle diverse zone del territorio e consente di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico. Il **livello 1** è un livello propedeutico ai veri e propri studi di **MS**, in quanto

consiste in una raccolta di dati preesistenti ed elaborati, per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle fenomenologie sopra descritte.

Nel caso del comune di Grazzanise, i dati pregressi disponibili (sondaggi geognostici, prove geotecniche e sismiche) sono stati integrati mediante l'esecuzione di nuove indagini sismiche, in particolare misure H.V.S.R. e profili sismici M.A.S.W.

Attraverso l'analisi delle indagini sul territorio, le osservazioni geologiche, geomorfologiche e litostratigrafiche si è giunti alla redazione della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, che ha portato al riconoscimento di microzone per le quali possono essere ipotizzati l'occorrenza di diversi tipi di effetti di amplificazione.

In particolare per il territorio comunale di Grazzanise, le microzone individuate sono classificate sulla carta nelle seguenti categorie:

*a) Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (stratigrafiche e topografiche).*

Sulla base delle indagini a disposizione e del rilevamento geologico effettuato, per ogni zona è stato ricostruito il modello geologico di sottosuolo. Gli spessori riportati all'interno di ogni modello geologico sono stati ricostruiti utilizzando le informazioni derivate dai sondaggi di riferimento, dalle informazioni derivanti dalle indagini sismiche e dalle informazioni derivanti da tagli e/o sbancamenti osservati durante il rilevamento di campagna.

Di seguito si riportano le microzone del territorio a comportamento sismico omogeneo, per caratteristiche stratigrafiche e topografiche.

#### **•ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI**

Sono state riconosciute n° 2 microzone suscettibili di amplificazioni locali, distinte principalmente sulla base della posizione di rinvenimento in profondità dell'orizzonte sabbioso e di quello limoso-sabbioso-argilloso:

**ZONA 2001** – caratterizzata dalla seguente successione stratigrafica (dall’alto verso il basso):

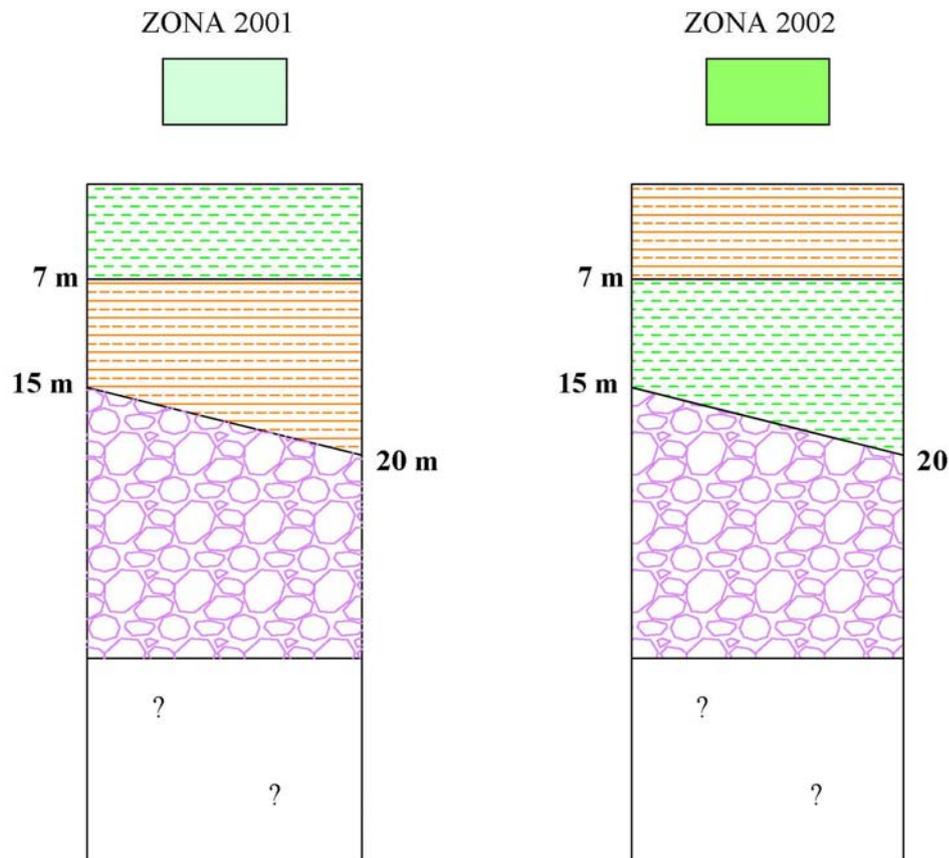
- Depositi di natura alluvionale da sabbioso-limosa a sabbioso-argillosi, con uno spessore che va da un minimo di circa 4 metri ad un massimo di 10-13 metri. A questo tipo di deposito, come emerge dai risultati di prove sismiche eseguite nel comune, si possono associare valori delle Onde S inferiori a 200 m/s;
- Depositi di natura alluvionale da limo-argillosi ad argilloso-limosi, alternanze di limi da debolmente sabbiosi a debolmente argillosi, il cui stato di consistenza e addensamento varia in funzione del contenuto d’acqua. A questo tipo di deposito, come emerge dai risultati di prove sismiche eseguite nel comune, si possono associare valori delle Onde S mediamente di circa 300 m/s;
- Ghiaietto di colore grigio scuro o nero con presenza di pomici (piroclastiti dilavate), misti a materiali sabbiosi grossolani da verdognoli ad azzurrognoli, rilevato a partire da una profondità minima di 15 metri dal piano campagna, caratterizzato da  $V_s$  variabili tra 350 e 400 m/s;
- Infine per quel che riguarda il bedrock sismico, le indagini sismiche eseguite e le conoscenze bibliografiche portano ad ipotizzare che questo strato sia presente a profondità molto elevate: le elaborazioni effettuate hanno determinato profondità superiori a 50 metri dal piano di campagna. A questo strato corrispondono valori delle Onde S  $> 800$  m/s.

**ZONA 2002** - caratterizzata dalla seguente successione stratigrafica (dall’alto verso il basso):

- Depositi di natura alluvionale da limo-argillosi ad argilloso-limosi, alternanze di limi da debolmente sabbiosi a debolmente argillosi, il cui stato di consistenza e addensamento varia in funzione del contenuto d’acqua. A questo tipo di deposito, come emerge dai risultati di prove sismiche eseguite nel

comune, si possono associare valori delle Onde S mediamente di circa 300 m/s;

- Depositi di natura alluvionale da sabbioso-limosa a sabbioso-argillosi, con uno spessore che va da un minimo di circa 4 metri ad un massimo di 10-13 metri. A questo tipo di deposito, come emerge dai risultati di prove sismiche eseguite nel comune, si possono associare valori delle Onde S inferiori a 200 m/s;
- Ghiaietto di colore grigio scuro o nero con presenza di pomici (piroclastiti dilavate), misti a materiali sabbiosi grossolani da verdognoli ad azzurrognoli, rilevato a partire da una profondità minima di 15 metri dal piano campagna, caratterizzato da  $V_S$  variabili tra 350 e 400 m/s;
- Infine per quel che riguarda il bedrock sismico, le indagini sismiche eseguite e le conoscenze bibliografiche portano ad ipotizzare che questo strato sia presente a profondità molto elevate: le elaborazioni effettuate hanno determinato profondità superiori a 50 metri dal piano di campagna. A questo strato corrispondono valori delle Onde S  $> 800$  m/s.



Per ulteriori dettagli in merito a quanto appena descritto, si rimanda alla  
**“Tavola n. 4 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)”**,  
riportata in allegato alla presente relazione.

## 9. MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO

Lo studio di Microzonazione Sismica di II livello è stato condotto in più fasi.

Nella prima fase è stata effettuata un'accurata analisi dei dati stratigrafici, geomeccanici e geofisici, da indagini pregresse; in particolare, sono state analizzate prove sismiche “*down-hole*”, M.A.S.W. ed H.V.S.R., realizzate in tutto il territorio comunale. Quindi, al fine di giungere ad una completa caratterizzazione sismica del territorio, sono state programmate le seguenti indagini geofisiche aggiuntive:

- n° 20 misure H.V.S.R., per definire la frequenza di sito;
- n° 15 prove sismiche tipo M.A.S.W., per individuare il valore del  $V_{s,30}$  e la corrispondente Categoria di Suolo.

Nella seconda fase, sono stati identificati tra gli Abachi forniti dalle Linee Guida della Protezione Civile Nazionale (in quanto non sono disponibili quelli della Regione Campania) quelli corrispondenti alla litologia prevalente in sito, scelta all'interno delle 3 famiglie litologiche previste. La scelta degli Abachi e l'identificazione del substrato rigido hanno consentito di determinare i valori di  $F_A$  ed  $F_V$ .

I risultati di tutte le indagini geognostiche eseguite sul territorio comunale (nell'ambito di diversi studi pregressi, PUC, PdR, lavori privati, etc...), hanno consentito la ricostruzione delle successioni stratigrafiche tipiche per le diverse località del territorio comunale. Per ulteriori dettagli in merito alla caratterizzazione stratigrafica del sito, si rimanda al paragrafo 2.1. della presente relazione.

Per la caratterizzazione geotecnica di tutte le successioni stratigrafiche sono state analizzate le numerose prove penetrometriche C.P.T., prove penetrometriche D.P.S.H. e le analisi di laboratorio eseguite sui diversi campioni prelevati nelle campagne di indagini pregresse; una sintesi della caratterizzazione geomeccanica dei terreni è riportata nel paragrafo 2.1. della presente relazione.

Come descritto in precedenza, per la caratterizzazione sismica dell'area di intervento sono state prese in riferimento indagini geofisiche realizzate sul territorio

comunale in fasi distinte; inoltre, ai fini del presente P.U.C. sono state eseguite delle indagini integrative consistenti in:

- n° 20 misure H.V.S.R.;
- n° 15 profili sismici M.A.S.W.

I risultati e l'analisi delle suddette prove sono stati utilizzati per determinare la frequenza fondamentale del sito ed individuare l'eventuale profondità del bedrock sismico, le prime, e per l'individuazione del valore del  $V_{S,30}$  e della corrispondente Categoria di Suolo (D.M. 17/01/2018), le seconde.

Dall'analisi dei valori di frequenza individuati nel corso dell'attuale campagna indagini (cfr. par. 6.4.1.1.) si possono fare le seguenti osservazioni:

- la parte nord-occidentale del territorio comunale di Grazzanise (colore giallo nella tavola di riferimento) è caratterizzata da valori di frequenza  $F_0$  compresi tra 0,7 Hz e 1,1 Hz: tali valori denotano un contrasto di impedenza indicativo della presenza del bedrock sismico, posto ad una profondità media di circa 100 metri dal piano campagna;
- una fascia del territorio posta invece a Sud-Est rispetto al centro storico del comune (colore arancione nella tavola di riferimento), è caratterizzato da valori di  $F_0$  sempre superiori a 1,1 Hz: anche in questo caso, i valori di frequenza fondamentale sono indicativi della presenza del bedrock sismico, ma posto ad una profondità media di 70-80 metri dal piano campagna;
- solo due misure HVSR si discostano da quanto sopra descritto: la prova n° 10, che presenta un picco di frequenza pari a 14,0 Hz e la misura n° 13, con un picco di 3,5 Hz. Tali valori sono dovuti a contrasti di impedenza associabili a passaggi fra materiali a differente litologia, grado di addensamento e stato di consistenza (come ad esempio il passaggio da materiali limoso-argillosi a livelli più francamente ghiaiosi).

Per ulteriori dettagli in merito a quanto appena descritto, si rimanda alla "**Tavola n. 5 – Carta delle Frequenze Fondamentali  $F_0$** ", riportata in allegato alla presente relazione.

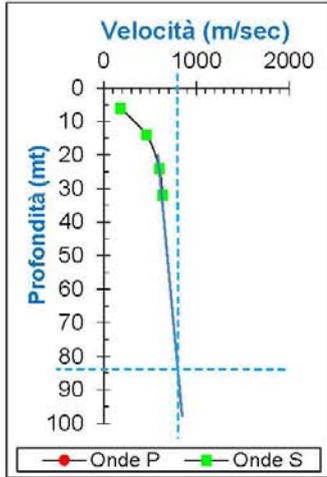
Laddove il bedrock sismico non è stato individuato con le indagini sismiche effettuate, si è proceduto nel modo seguente: al fine di determinare una profondità  $H$  alla quale  $VS > 800$  m/s, si è ipotizzato che le proprietà dei terreni siano gradualmente crescenti con la profondità (grazie all'aumento del grado di addensamento dovuto al proprio peso litostatico); quindi, utilizzando i risultati scaturiti dalle prove *Down-Hole* e dai profili sismici M.A.S.W. (pregressi, di archivio ed attuali), si è costruita una retta interpolando gli ultimi valori delle velocità registrati nelle formazioni dei affioranti (che si presume si seguono fino a grandi profondità).

Dall'intersezione di quest'ultima con la proiezione del valore  $VS = 800$  m/s, è stato determinato approssimativamente la profondità del bedrock.

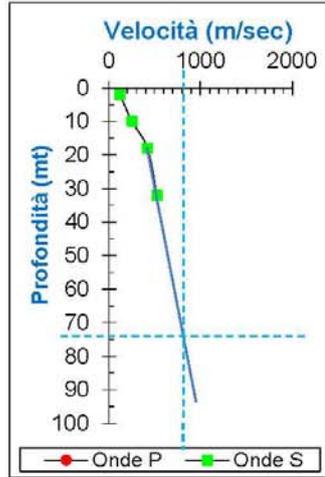
Di seguito si riporta la sintesi dei risultati delle prove *Down-Hole* e M.A.S.W eseguite sul territorio e la determinazione della profondità del bedrock secondo quanto sopra descritto.

INDAGINI PREGRESSE - PUC 2008

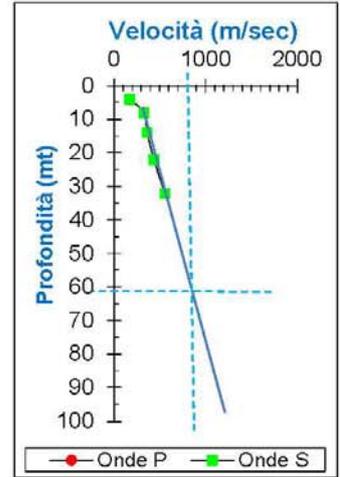
Capoluogo S.2 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
6,00		181
14,00		459
24,00		600
32,00		634



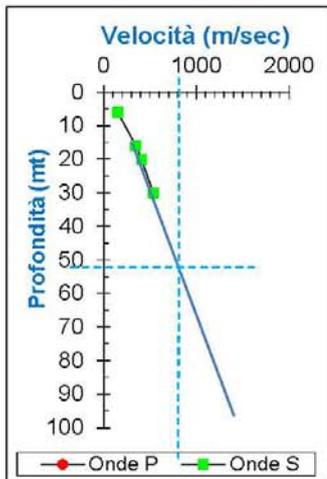
Capoluogo S.5 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		118
10,00		251
18,00		419
32,00		521



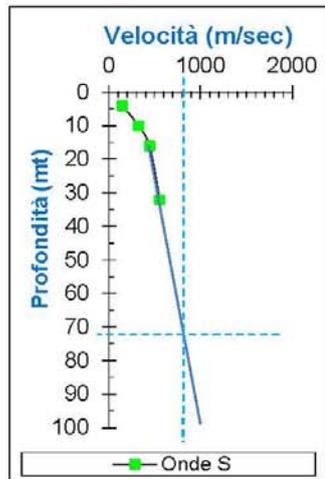
Capoluogo S.6 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
4,00		173
8,00		323
14,00		362
22,00		435
32,00		555



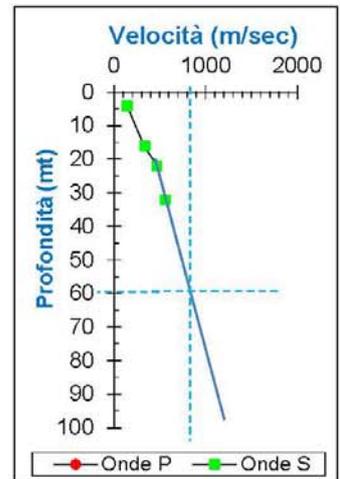
Capoluogo S.7 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
6,00		150
16,00		347
20,00		406
30,00		535



Brezza S.1 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
4,00		147
10,00		321
16,00		443
32,00		556

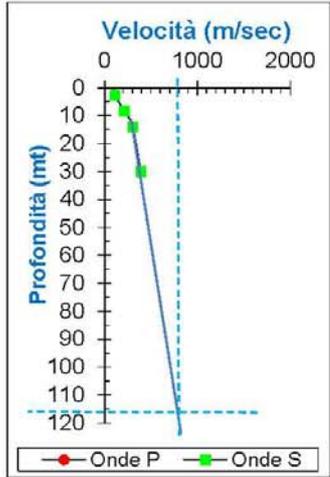


Borgo Appio S.1 - DH-1		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
4,00		139
16,00		332
22,00		462
32,00		559

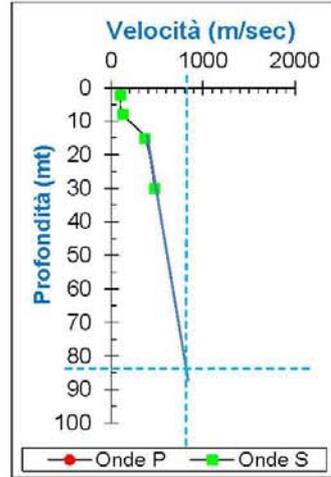


MASW 2023 - pag. 1

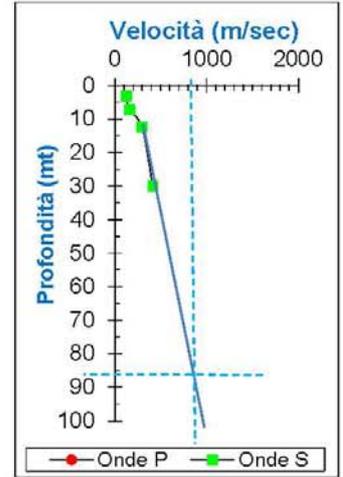
Via Capua MASW 1		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,80		112
8,50		212
14,10		304
30,00		389



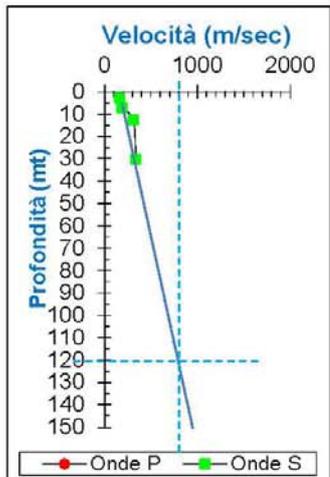
Via Piazza della Torre MASW 2		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,20		96
7,80		121
15,20		365
30,00		471



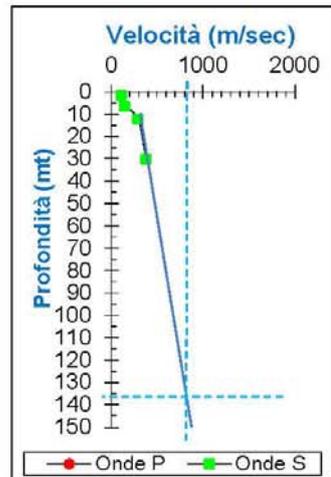
Borgo Appio MASW 3		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
3,10		122
7,30		159
12,30		295
30,00		410



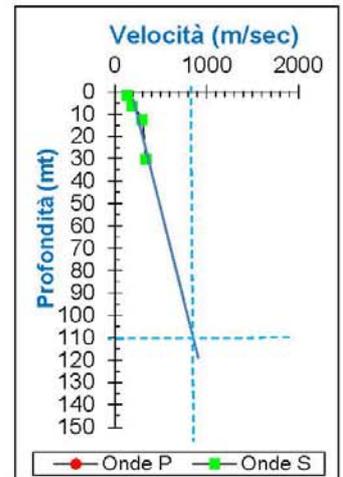
Località Secianne MASW 4		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,70		156
7,10		186
12,60		307
30,00		335



Località Cerquella MASW 5		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
1,60		105
6,20		142
12,00		288
30,00		376

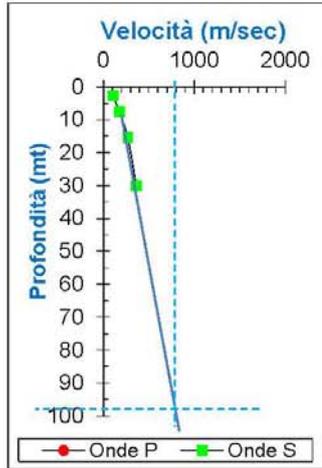


Masseria La Vota MASW 6		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
1,60		136
6,30		187
12,50		295
30,00		335

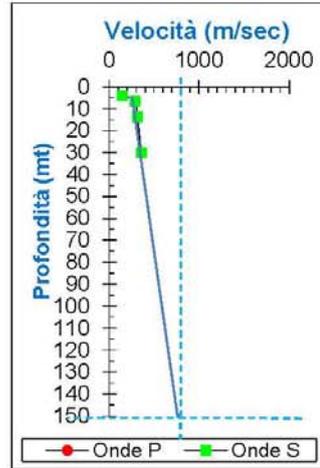


MASW 2023 - pag. 2

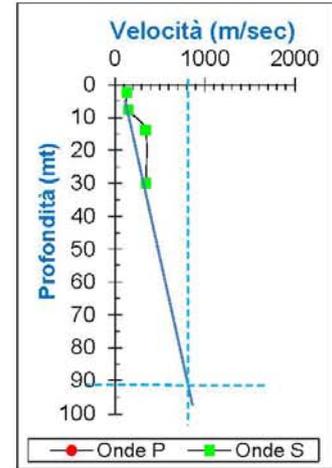
Cimitero MASW 7		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,60		<b>108</b>
7,60		<b>173</b>
15,30		<b>266</b>
30,00		<b>360</b>



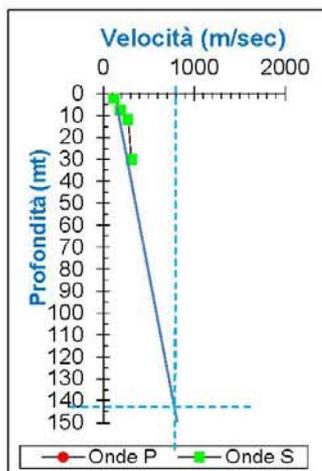
Torre Degli Schiavi MASW 8		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
3,80		<b>141</b>
6,50		<b>279</b>
13,60		<b>309</b>
30,00		<b>355</b>



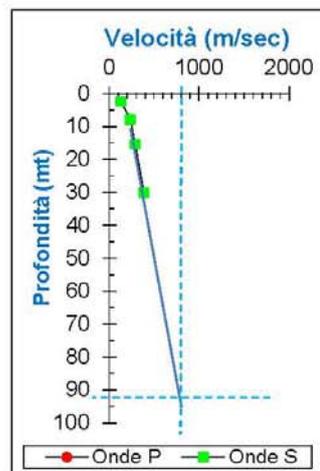
Via Di Bonifica MASW 9		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,40		<b>129</b>
7,80		<b>144</b>
13,80		<b>338</b>
30,00		<b>344</b>



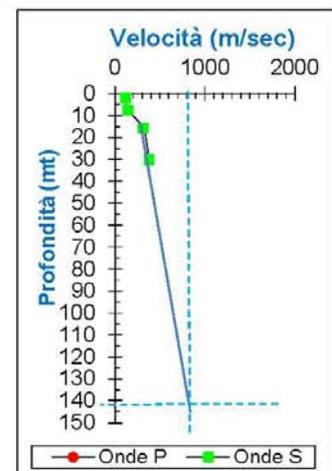
Via Della Pietra MASW 10		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,10		<b>118</b>
7,60		<b>187</b>
11,90		<b>267</b>
30,00		<b>307</b>



Località Crocelle MASW 11		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,40		<b>126</b>
7,80		<b>228</b>
15,40		<b>287</b>
30,00		<b>384</b>



Via Armando Diaz MASW 12		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		<b>119</b>
7,50		<b>139</b>
15,60		<b>310</b>
30,00		<b>378</b>

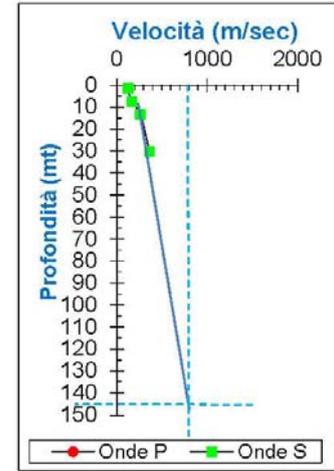
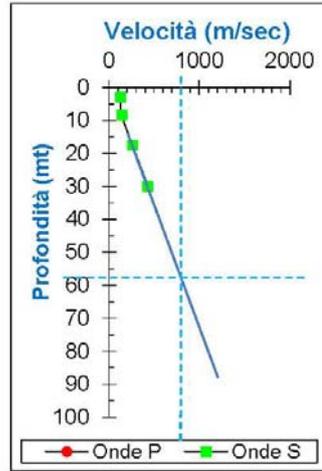
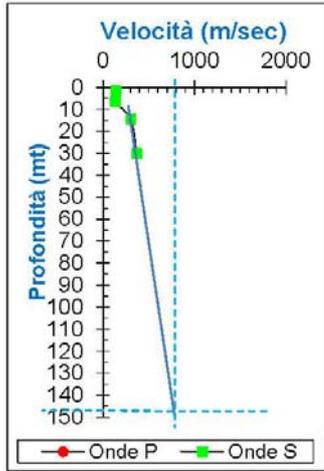


MASW 2023 - pag. 3

Via Pino Ingrato MASW 13		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
1,60		<b>141</b>
6,60		<b>133</b>
14,40		<b>304</b>
30,00		<b>365</b>

Località Selvalunga MASW 14		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,90		<b>126</b>
8,40		<b>138</b>
17,40		<b>261</b>
30,00		<b>430</b>

SP 133 - Località Casalone MASW 15		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
1,60		<b>122</b>
7,40		<b>166</b>
13,20		<b>260</b>
30,00		<b>361</b>

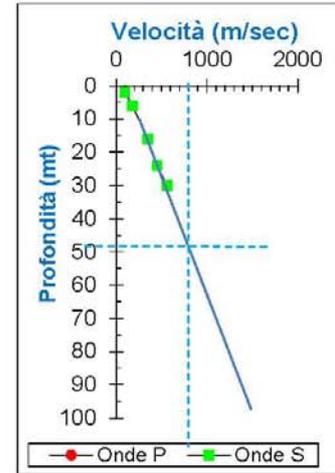
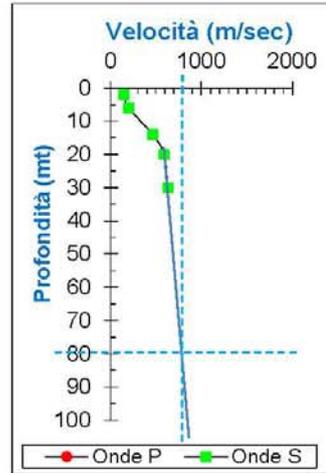
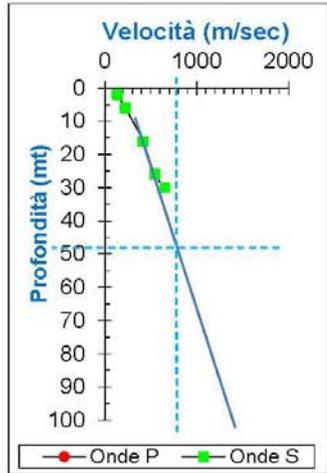


INDAGINI DI ARCHIVIO - Pag. 1

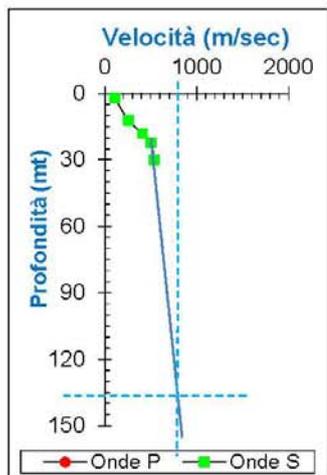
Piano di Recupero S.1 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		133
6,00		224
16,00		416
26,00		543
30,00		651

Piano di Recupero S.2 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		144
6,00		199
14,00		459
20,00		588
30,00		628

Nuovo Cimitero S.2 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		96
6,00		178
16,00		347
24,00		450
30,00		563



Base NATO S.4 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		105
12,00		257
18,00		409
22,00		503
30,00		536

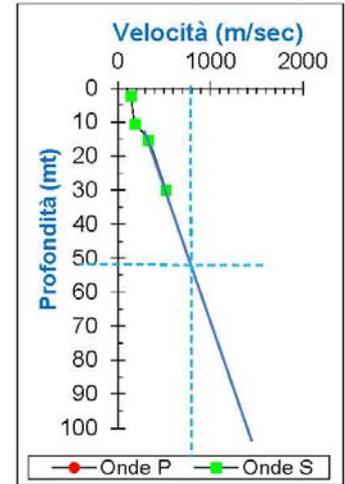
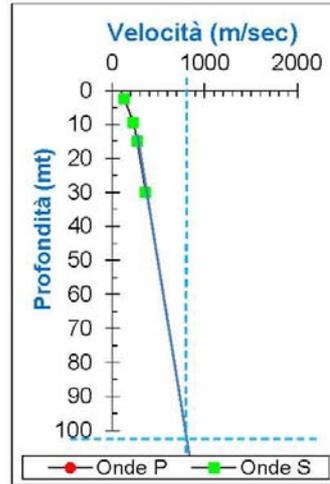
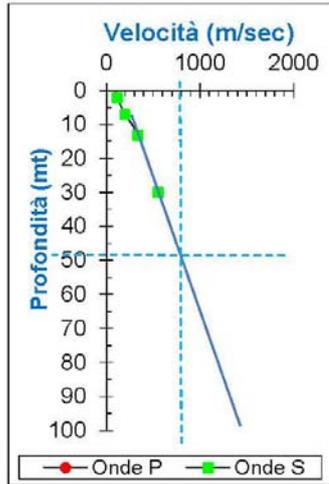


**INDAGINI DI ARCHIVIO - Pag. 2**

Via Crocelle MASW		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,10		<b>116</b>
7,00		<b>198</b>
13,20		<b>335</b>
30,00		<b>553</b>

Scuola Don Milani MASW		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,40		<b>126</b>
9,30		<b>225</b>
14,90		<b>267</b>
30,00		<b>359</b>

Scuola Materna V. da Feltre MASW		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,40		<b>141</b>
10,60		<b>189</b>
15,20		<b>330</b>
30,00		<b>520</b>



## 9.1. SCELTA DEGLI ABACHI E DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Sulla base del modello geologico, stratigrafico e geofisico del sito, nonché da quando emerso dai certificati delle analisi di laboratorio eseguite su campioni indisturbati (cfr. tabella riportata nel cap. 7), è emerso che la litologia affiorante prevalente è quella dei limi sabbiosi/sabbie limoso-argillose; pertanto, è stata individuata come *litologia prevalente quella delle sabbie*, corrispondente al maggior spessore cumulato lungo tutta la verticale delle indagini.

Scelta la litologia prevalente e visto l'andamento delle velocità delle onde sismiche con la profondità, in riferimento agli abachi proposti nelle "Linee guida della Protezione Civile Nazionale", si è scelto di utilizzare i valori riportati per un profilo delle velocità "*lineare con pendenza intermedia*".

Inoltre per la determinazione del  $V_{SH}$ , ci si riferisce alla seguente tabella proposta dalle suddette Linee guida.

Tabella 3.2.2 - Valori di  $V_{s30}$  (velocità equivalente nei primi 30 m) alle diverse profondità ( $H$ ) corrispondenti alle diverse  $V_{SH}$  (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito) per il profilo con pendenza intermedia.

	$V_{SH}$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
<b>35</b>	143.8	191.0	238.0	285.9	335.2	385.1	435.6	486.3	589.3	693.9
<b>40</b>	139.2	184.1	228.8	275.3	324.1	374.0	424.8	476.1	581.4	689.4
<b>50</b>	131.6	172.7	213.7	257.9	306.0	355.7	407.1	459.5	568.5	682.1
<b>60</b>	126.7	165.4	204.0	246.7	294.3	344.1	395.7	448.9	560.3	677.5
<b>70</b>	122.7	159.4	196.0	237.5	284.8	334.6	386.5	440.3	553.8	673.8
<b>80</b>	120.6	156.4	191.9	232.8	280.0	329.7	381.8	436.0	550.5	671.9
<b>90</b>	118.6	153.3	187.9	228.1	275.1	324.9	377.2	431.6	547.1	670.1
<b>100</b>	116.5	150.2	183.7	223.4	270.2	320.0	372.5	427.3	543.8	668.3
<b>110</b>	115.5	148.7	181.6	220.9	267.7	317.5	370.2	425.0	542.1	667.3
<b>120</b>	114.4	147.1	179.5	218.5	265.2	315.0	367.8	422.8	540.5	666.4
<b>130</b>	113.4	145.5	177.3	216.1	262.6	312.6	365.4	420.6	538.8	665.4
<b>140</b>	112.3	143.9	175.2	213.6	260.1	310.1	363.0	418.4	537.1	664.5
<b>150</b>	111.2	142.3	173.1	211.2	257.5	307.5	360.6	416.2	535.4	663.6

Infine, gli abachi per la determinazione dei fattori **FA** e **FV** proposti nelle Linee guida sono riferiti a tre litotipi (argille, sabbie e ghiaie) e a tre livelli energetici (0,06g, 0,18g e 0,26g); per determinare il valore di  $a_g$  più vicino ai tre livelli è stato utilizzato il programma Spettri – NTC ver.1.0.3 considerando un

periodo di ritorno pari a 475 anni; come si evince dalla figura che segue il valore di  $a_g$  determinato è pari a 0,104; pertanto, sono state prese in riferimento le tabelle proposte dalle Linee Guida con  $a_g$  pari a 0,18g.

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,039	2,431	0,283
50	0,049	2,400	0,322
72	0,056	2,465	0,337
101	0,063	2,500	0,355
140	0,071	2,518	0,371
201	0,080	2,534	0,400
475	0,104	2,616	0,437
975	0,126	2,699	0,466
2475	0,158	2,818	0,521

Fattore di amplificazione FA	Tipo di terreno Sabbia	$a_g$ (g) 0.18g	Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia								
		$V_{SH}$ (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1.97	1.67	1.53	1.32	1.18	1.10	1.06	1.02	1.01
	10	-	2.24	2.13	1.85	1.59	1.40	1.28	1.19	1.08	1.03
	15	-	1.93	2.09	1.97	1.78	1.61	1.45	1.32	1.16	1.06
	20	-	1.64	1.88	1.92	1.80	1.65	1.52	1.40	1.21	1.08
	25	-	1.42	1.69	1.75	1.73	1.63	1.52	1.41	1.24	1.11
	30	-	-	1.48	1.64	1.60	1.58	1.49	1.40	1.24	1.11
	35	-	-	1.43	1.46	1.51	1.47	1.45	1.36	1.23	1.10
	40	-	-	1.37	1.41	1.38	1.38	1.35	1.32	1.20	1.09
	50	-	-	1.23	1.34	1.33	1.29	1.25	1.20	1.14	1.06
	60	-	-	1.10	1.23	1.27	1.25	1.20	1.16	1.09	1.02
	70	-	-	0.97	1.13	1.18	1.20	1.17	1.13	1.05	0.98
	80	-	-	0.89	1.04	1.11	1.14	1.14	1.11	1.03	0.97
	90	-	-	0.82	0.95	1.04	1.08	1.10	1.08	1.02	0.95
	100	-	-	0.76	0.91	0.98	1.02	1.04	1.06	1.00	0.94
	110	-	-	0.71	0.84	0.91	0.97	1.00	1.01	0.98	0.92
120	-	-	0.67	0.80	0.89	0.92	0.96	0.98	0.96	0.91	
130	-	-	0.62	0.76	0.85	0.90	0.92	0.95	0.94	0.90	
140	-	-	0.58	0.72	0.81	0.87	0.90	0.91	0.91	0.88	
150	-	-	0.54	0.69	0.76	0.84	0.87	0.89	0.89	0.86	

Fattore di amplificazione		Tipo di terreno		$a_g$ (g)		Profilo di velocità					
FV		Sabbia		0.18g		Lineare pendenza intermedia					
		$V_{SH}$ (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1.11	1.06	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
	10	-	1.80	1.31	1.14	1.09	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00
	15	-	2.34	1.83	1.45	1.22	1.14	1.09	1.06	1.03	1.01
	20	-	2.55	2.18	1.76	1.46	1.27	1.17	1.12	1.05	1.02
	25	-	2.46	2.37	2.00	1.68	1.44	1.28	1.18	1.08	1.03
	30	-	-	2.39	2.11	1.79	1.57	1.39	1.26	1.11	1.05
	35	-	-	2.32	2.20	1.91	1.64	1.47	1.33	1.15	1.06
	40	-	-	2.29	2.17	1.97	1.74	1.53	1.37	1.18	1.08
	50	-	-	2.10	2.10	1.95	1.78	1.63	1.48	1.23	1.10
	60	-	-	2.05	1.99	1.89	1.77	1.62	1.49	1.27	1.11
	70	-	-	1.89	1.90	1.81	1.71	1.61	1.49	1.28	1.13
	80	-	-	1.75	1.82	1.73	1.63	1.55	1.47	1.28	1.13
	90	-	-	1.71	1.74	1.69	1.58	1.50	1.43	1.27	1.13
	100	-	-	1.69	1.62	1.64	1.55	1.46	1.39	1.25	1.12
	110	-	-	1.67	1.59	1.58	1.52	1.43	1.35	1.22	1.11
120	-	-	1.63	1.58	1.49	1.48	1.41	1.32	1.20	1.07	
130	-	-	1.60	1.57	1.46	1.42	1.38	1.31	1.17	1.06	
140	-	-	1.55	1.53	1.44	1.37	1.35	1.28	1.15	1.05	
150	-	-	1.45	1.50	1.45	1.35	1.31	1.26	1.13	1.04	

Tenendo conto delle coppie di valori H- $V_{SH}$ , per ogni singolo punto di indagine sono stati individuati i fattori di amplificazione FA e FV, sintetizzati nella tabella seguente. In particolare, si riportano il tipo di prova utilizzata, con la rispettiva descrizione identificativa, il  $V_{S30}$ , la profondità del bedrock sismico (ovvero la profondità dove si raggiungono le velocità delle onde S superiore a 800 m/sec), il  $V_{SH}$  e, infine, i fattori di amplificazione  $F_A$  e  $F_V$ .

Come si può osservare, i valori di FA variano da un minimo di 0,76 ad un massimo di 1,34, mentre i valori di FV variano da un minimo di 1,42 ad un massimo di 2,10.

Sulla scorta di tali determinazioni, sono state redatte due Carte di Microzonazione Sismica di II livello, ovvero la **Tavola n. 6 “Carta delle Frequenze  $F_A$ ”** e la **Tavola n. 7 “Carta delle Frequenze  $F_V$ ”**, riportate in allegato alla presente relazione.

<b>INDAGINI P.U.C. 2008</b>						
Tipo prova	Descrizione identificativa	V <sub>S30</sub>	Prof. bedrock sismico (m dal p.c.)	V <sub>SH</sub>	FA	FV
Down-hole	S2-DH (Capoluogo)	382	84	450	1,14	1,55
Down-hole	S5-DH (Capoluogo)	337	74	400	1,14	1,71
Down-hole	S6-DH (Capoluogo)	353	61	400	1,20	1,77
Down-hole	S7-DH (Capoluogo)	299	52	350	1,33	1,95
Down-hole	S1-DH (Brezza)	354	71	400	1,20	1,71
Down-hole	S1-DH (Borgo Appio)	325	59	400	1,25	1,77
<b>INDAGINI DI ARCHIVIO</b>						
Down-hole	S1-DH (Piano di	368	48	400	1,29	1,78
Down-hole	S2-DH (Piano di	387	79	450	1,14	1,55
Down-hole	S2-DH (Nuovo Cimitero)	298	48	350	1,33	1,95
Down-hole	S4-DH (Base NATO)	314	135	400	0,90	1,42
M.A.S.W.	Via Crocelle	325	49	350	1,33	1,95
M.A.S.W.	Scuola Don L. Milani	268	102	350	0,98	1,64
M.A.S.W.	Scuola Materna V. da Feltre	275		300	1,34	2,10
<b>INDAGINI 2023</b>						
M.A.S.W.-1	Via Capua	270	115	350	0,91	1,58
M.A.S.W.-2	Via Piazza della Torre	248	84	300	1,04	1,82
M.A.S.W.-3	Borgo Appio	267	85	350	1,04	1,73
M.A.S.W.-4	Località Secianne	271	120	350	0,89	1,49
M.A.S.W.-5	Località Cerquella	260	135	350	0,85	1,46
M.A.S.W.-6	Masseria La Vota	273	110	350	0,91	1,58
M.A.S.W.-7	Cimitero	245	98	300	0,91	1,62
M.A.S.W.-8	Torre Degli Schiavi	276	150	350	0,76	1,45
M.A.S.W.-9	Via Di Bonifica	248	91	300	0,95	1,74
M.A.S.W.-10	Via Della Pietra	255	143	350	0,81	1,44
M.A.S.W.-11	Località Crocelle	279	92	350	1,04	1,69
M.A.S.W.-12	Via A. Diaz	248	141	350	0,81	1,44
M.A.S.W.-13	Via Pino Ingrato	256	146	350	0,81	1,44
M.A.S.W.-14	Loc. Selvalunga	237	58	300	1,23	1,99
M.A.S.W.-15	SP 333 – Località	254	145	350	0,81	1,44

Come evidenziato nella Tavola n. 6 (FA), sono state definite due classi ipotizzando come limite il valore 1,0, così come nella Tavola n. 7 (FV), è stato individuato come limite il valore 1,5.

In entrambe le carte, si evidenziano comunque alcuni valori random che si discostano dalla classe in cui sono stati inglobati.

## 10. CONCLUSIONI

Sulla base delle indagini eseguite e delle carte tematiche realizzate, si ritiene utile riportare di seguito i punti salienti attinenti agli aspetti geologico-tecnici a scala comunale a supporto del PUC del Comune di Grazzanise.

Si precisa che tutti gli elaborati e le interpretazioni delle indagini acquisite ed eseguite nel presente lavoro sono da riferire alla sola programmazione urbanistica del territorio comunale. Pertanto, in fase di scelte progettuali di manufatti da realizzare, ampliare e/o da ristrutturare che comportano la modifica dello stato dei luoghi, si dovrà provvedere sempre ad effettuare specifiche indagini puntuali di tipo geotecnico, geognostico e sismico così come previsto dalla Normativa vigente in materia (D.M. 11/03/1988, L.R. 9/83 e NTC 17/1/2018).

I litotipi caratteristici del territorio comunale sono terreni umiferi scuri e di colmata della bonifica del basso Volturno, ovvero terreni limosi debolmente sabbiosi e sabbie argillo-limose grige e verdognole, con sottostanti piroclastiti dilavate e lenti arenitiche e di ciottolini, con caratteristiche geomeccaniche che migliorano con l'aumentare della profondità di investigazione e dello stato di addensamento e consistenza.

Morfologicamente, l'area comunale si presenta, nel complesso, stabile per le deboli pendenze (<2%) e per le condizioni di giacitura, primaria e secondaria, delle formazioni geologiche presenti nel sottosuolo, il territorio comunale non presenta problemi legati all'instaurarsi di fenomeni franosi, così come anche evidenziato dalla "Carta del Rischio da Frana" del PsAI "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico", redatta dall'ex Autorità di Bacino Regionale dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno, con approvazione della Delibera del Comitato Istituzionale n.1 del 23 Febbraio 2015.

Dal punto di vista idrogeologico, non vi sono problemi legati al fenomeno di liquefazione dei terreni in quanto la falda idrica, pur trovandosi ad una profondità < 15 metri dal piano campagna, è instaurata in terreni la cui litologia prevalente non rientra in quella soggetta al potenziale instaurarsi di tale fenomenologia. Pertanto,

per l'intero territorio comunale, può essere omessa la verifica alla liquefazione dei terreni, così come previsto dalla Normativa vigente NTC 2018.

Dal punto di vista idrografico, oltre la presenta del Fiume Volturno, è possibile distinguere un reticolo idrografico articolato in una serie di canali, fossi e rivoli che consentono alle acque di ruscellamento di raggiungere le aree più depresse ed il loro naturale vettore verso il mare. Per quanto riguarda l'esondabilità del territorio, le caratteristiche e il regime del Volturno, c'è da dire che esso ha conosciuto notevoli piene, anche se con tempi di ricaduta sufficientemente lunghi. Tuttavia, gran parte del territorio comunale non rientra in areali cartografati dall'ex Autorità di Bacino Regionale dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno (con approvazione della Delibera del Comitato Istituzionale n.1 del 23 Febbraio 2015) come a "Rischio Idraulico"; tuttavia, alcune porzioni del comune rientrano nella cosiddetta *Area Retroarginale* del Volturno: si trovano, quindi, in condizione di sicurezza accettabile e si possono considerare in situazione di *moderato* squilibrio idrogeologico.

Dal punto di vista sismico, l'analisi delle indagini disponibili e i risultati delle indagini eseguite, hanno permesso di classificare il territorio comunale in un'unica Categoria di Suolo:

C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
---	--

La Carta delle MOPS, redatta attraverso l'analisi delle condizioni geologiche, geomorfologiche e litostratigrafiche, ha portato all'identificazione di due microzone:

- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: 2001 e 2002.

Per quanto concerne la presenza di faglie attive e capaci, si fa riferimento al progetto ITHACA (Italy Hazard from Capable faults – ISPRA 2011), nel quale sono raccolti tutti i dati relativi alle strutture tettoniche attive in Italia, in particolare i processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Dalla consultazione di tale database, è emerso che NON sono presenti faglie attive e capaci nell'intero territorio comunale.

Per l'elaborazione della Carta di Microzonazione Sismica di II livello sono stati determinati i valori di amplificazione FA ed FV sulla base dei risultati delle prove

geofisiche ed in riferimento agli abachi proposti nelle “Linee Guida della Protezione Civile Nazionale”.

Alla luce di quanto sopra esposto, esiste una sostanziale compatibilità tra le scelte operate dal Piano e le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche del territorio comunale.

Tuttavia, si ribadisce che nelle zone segnalate nel presente lavoro come “potenzialmente instabili”, le scelte progettuali devono essere corredate da uno studio più approfondito, mirato ad una corretta modellazione geologico-tecnica del sottosuolo.

Si precisa, inoltre, che resta l’obbligo di effettuare indagini geologiche e geofisiche specifiche relative a ciascun tipo di intervento, nel rispetto delle normative vigenti in materia.

*Luglio 2023*

**Il geologo**

*Dott.ssa Candida Salato*



*Candida Salato*