

PROGETTO

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO "Intervento n°74 - Sigla TR22" del R.U.

UBICAZIONE

REGIONE: Toscana

DATA: febbraio 2022

COMUNE: Sansepolcro

LOCALITÀ: Via Bruci



INDAGINI GEOLOGICHE

- CONSULENZE PER OPERE EDILIZIE
- STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA
- INDAGINI GEOFISICHE E GEOTECNICHE
- ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 1D e 2D
- RICERCHE IDRICHE CON SISMICA A RIFLESSIONE E PROGETTAZIONE POZZI PER ACQUA IN ROCCIA

GEOTERRE Studio

Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it



SOMMARIO

0. PREMESSA.....	2
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E UBICAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO	2
2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	3
3. ESTENSIONE E DEFINIZIONE DELL'INDAGINE.....	3
4. QUADRO CONOSCITIVO DI RIFERIMENTO	4
4.1. Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Comunale	4
4.1.1. Carta Geologica.....	4
4.1.2. Carta Litologico-Tecnica.....	4
4.1.3. Carta Geomorfologica.....	4
4.1.4. Carta Idrogeologica.....	4
4.1.5. Carta delle Aree Allagabili.....	4
4.1.6. Carta delle Aree Allagate	4
4.1.7. Carta delle Aree a Pericolosità Idraulica (da modellazione)	4
4.1.8. Carta delle Aree con Problematiche Idrogeologiche.....	4
4.1.9. Carta delle Aree a Pericolosità Geomorfologica.....	4
4.1.10. Carta delle Zone a Maggior Pericolosità Sismica Locale.....	4
4.1.11. Carta delle Aree a Pericolosità Sismica.....	4
4.1.12. Carta della Fattibilità.....	4
4.2. Microzonazione Sismica di Livello 1.....	4
4.2.1. Carta Geologico-Tecnica	4
4.2.2. Carta delle M.O.P.S.	4
4.3. Microzonazione Sismica di Livello 2.....	5
4.3.1. Carta del Fattore di Amplificazione FHa (0,1-0,5 s)	5
4.3.2. Carta del Fattore di Amplificazione FHa (0,5-1,0 s)	5
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO A SCALA REGIONALE	5
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'INTORNO SIGNIFICATIVO	6
7. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA DI LOTTIZZAZIONE	6
8. ANALISI GEOMORFOLOGICA.....	6
8.1. Forme e Processi Geomorfologici dell'Area d'Intervento.....	6
9. ANALISI IDROGEOLOGICA DELL'AREA D'INTERVENTO.....	6
9.1. Geometria dell'Acquifero ³	7
9.2. Rilevamento della Falda.....	7
10. ANALISI IDROLOGICO-IDRAULICA DELL'AREA D'INTERVENTO.....	7
11. TIPOLOGIA DELLE INDAGINI SVOLTE E MODALITA' DI ESECUZIONE.....	8
11.1. Prove Penetrometriche Statiche (CPT)	8
11.1.1. Parametrizzazione Stratigrafica e Geomeccanica.....	8
11.2. Indagini Geofisiche	10
12.2.1. Strumentazione utilizzata	10
12.2.2. Indagini con Onde Superficiali - Tecnica MASW e Tecnica MAM (con Array 2D) o ESAC	11
12.2.3. Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSr.....	14
12. ELABORATI CARTOGRAFICI	18
13.1. Carta Geologica.....	19
13.2. Carta Litologico-Tecnica.....	19
13.3. Carta Geomorfologica.....	19
13.4. Carta Idrogeologica.....	19
13.5. Carta delle Aree Allagabili.....	19
13.6. Carta delle Aree con Problematiche Idrogeologiche	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.7. Carta delle Aree a Pericolosità Geologica.....	19
13.8. Carta delle Aree a Pericolosità Idraulica.....	19
13.9. Carta delle Aree delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).....	19
13.10. Carta della Fattibilità in relazione agli aspetti Geologici.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.11. Carta della Fattibilità in relazione agli aspetti Idraulici.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.12. Carta della Fattibilità in relazione agli aspetti Sismici.....	19
14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	20

febbraio 2022

IL GEOLOGO

Dott. Gianni AMANTINI

Iscritto al n.754

dell'Ordine della Regione Toscana



N.B.: Tutti i diritti di riproduzione e di memorizzazione elettronica sono riservati. Nessuna parte di questa relazione può essere riprodotta in alcuna forma, comprese le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Autore.



0. PREMESSA

Nell'anno 2022, lo *Studio GEOTERRE* ha aggiornato uno studio geologico particolareggiato a supporto di un **PIANO URBANISTICO ATTUATIVO**.

Il P.U.A. interessa l'area già individuata nel R.U. comunale come intervento n°74, sigla TR22, alla quale fa riferimento la corrispondente scheda di fattibilità riportata in allegato alla presente.

◇ **Progettista** è il dott. Arch. Riccardo BARCIULLI.

◇ **Committenti** sono i sig.ri Fausto PICCINELLI, Antonio RANICCHI e Anna MORGANTI.

L'individuazione dell'area di lottizzazione, quindi le tavole di progettazione urbanistica, sono state redatte e messe a disposizione dai Progettisti, ai quali si rimanda incondizionatamente per tutto quanto non strettamente inerente le indagini geologiche.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E UBICAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO

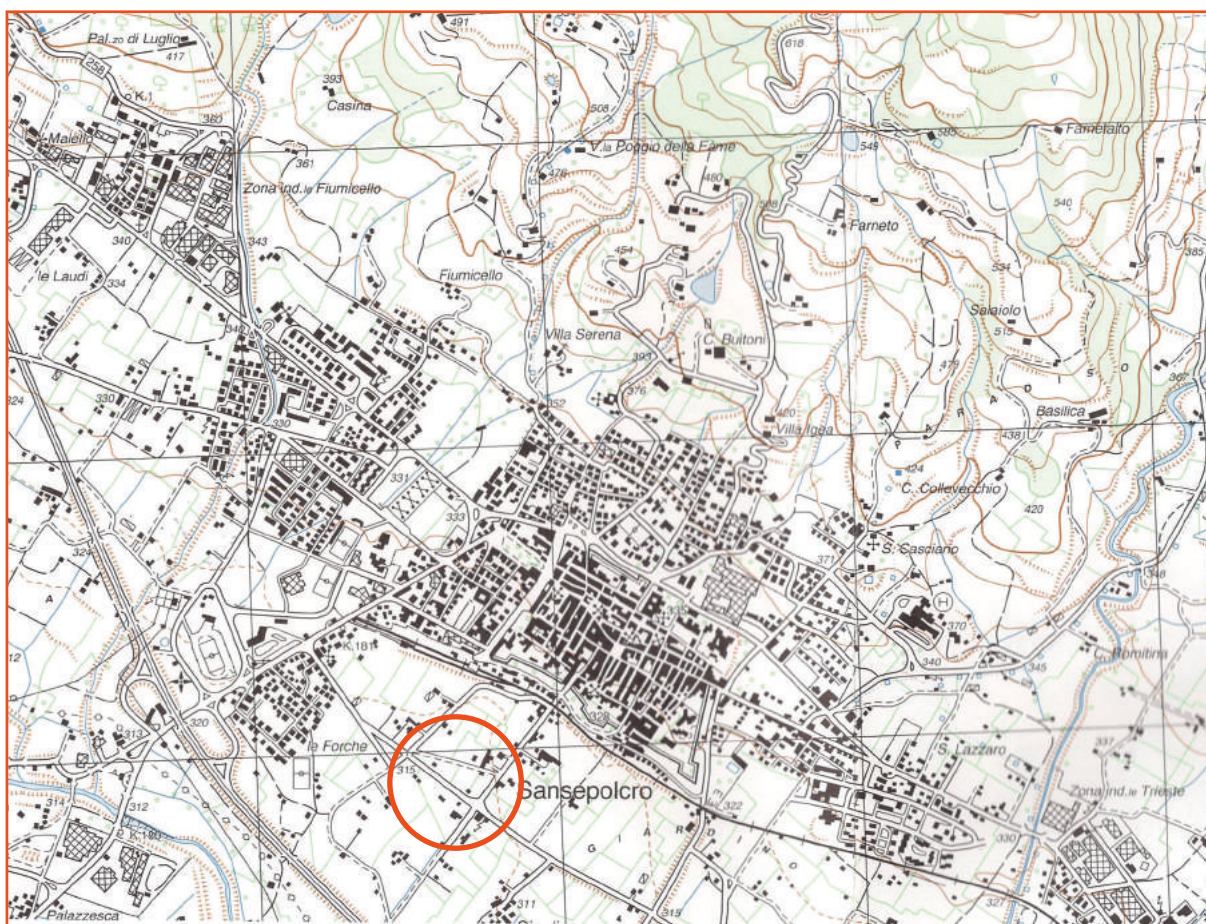
La lottizzazione in oggetto è ubicata presso Via Bruci, quindi nel centro abitato di Sansepolcro; siamo pertanto nel territorio della Regione Toscana.

Nella nuova carta topografica d'Italia alla scala 1:25000, l'area è ben individuabile all'interno del Foglio 289 sezione IV "Sansepolcro", mentre nella Cartografia Tecnica Regionale alla scala di 1:10000 nell'elemento n°289020.

Le coordinate geografiche dell'area di lottizzazione sono le seguenti:

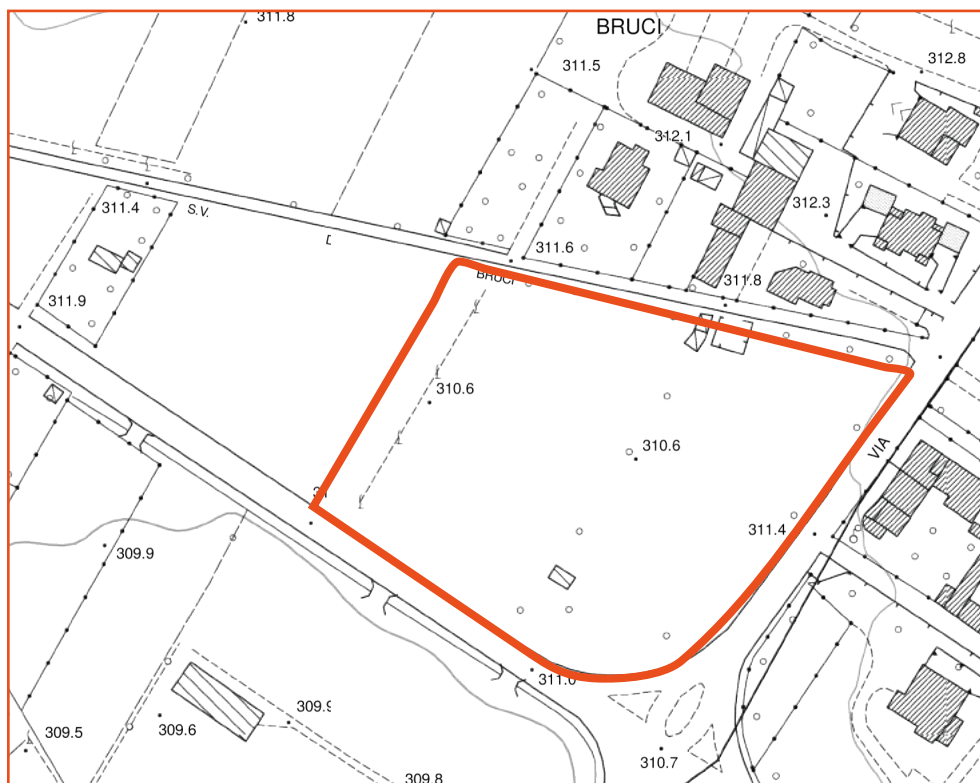
	E (Longitudine)	N (Latitudine)
Geografiche WGS84 GD	12.135124°	43.566349°

INQUADRAMENTO DELL'AREA DI P.U.A. A GRANDE SCALA





INQUADRAMENTO DELL'AREA DI P.U.A. A SCALA DI DETTAGLIO



3. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Lo studio geologico-tecnico e le relative indagini sono state effettuate in conformità alle seguenti disposizioni legislative:

- ◇ **Decreto Ministeriale 17.01.2018** – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- ◇ **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008. Circolare 02 Febbraio 2009
- ◇ **Eurocodice 8 (1998)**: Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- ◇ **Eurocodice 7.1 (1997)** - Progett. geotecnica – Parte I: Regole Generali. - UNI
- ◇ **Eurocodice 7.2 (2002)** - Progett. geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove di laboratorio. - UNI
- ◇ **Eurocodice 7.3 (2002)** - Progett. geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito. - UNI
- ◇ **ASTM D5777-95** - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation
- ◇ **A.G.I. (1977)** - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- ◇ **A.G.I. (1985)** - Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica
- ◇ **Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni** – Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica
- ◇ **Regione Toscana, Programma VEL** – Istruzioni Tecniche per le indagini Geologiche, Geofisiche, Geognostiche e Geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici
- ◇ **DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE 30 gennaio 2020, n. 5/R** - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.
- ◇ **Ordinanze**: Autorità di Bacino nazionale, Regionale o Interregionale
- ◇ **PTCP** - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale
- ◇ **PS e RU** - Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico comunale

3. ESTENSIONE E DEFINIZIONE DELL'INDAGINE

Lo studio dell'area d'intervento, di seguito esposto, è stato portato a termine attraverso accurati rilevamenti geologici e geomorfologici di campagna integrati da una serie di dati acquisiti mediante indagini geologiche geofisiche, in grado di garantire un'adeguata ricostruzione del modello litostratigrafico e sismostratigrafico.

È stata inoltre utilizzata la banca dati del Programma Regionale V.E.L. Valtiberina e degli studi di microzonazione sismica di livello 1 e 2.



4. QUADRO CONOSCITIVO DI RIFERIMENTO

4.1. Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Comunale

In allegato alla presente sono riportati gli stralci delle cartografie relative ai supporti geologici del Piano Strutturale e del Regolamento Urbanistico che evidenziano quanto segue.

4.1.1. Carta Geologica

La carta indica la presenza dei Depositi Alluvionali.

4.1.2. Carta Litologico-Tecnica

La carta indica la presenza di sedimenti riferibili alla Copertura, Materiali a Comportamento Eterogeneo, litotipi con presenza di intercalazioni limoso-sabbioso-argillose moderatamente addensati e/o consistenti.

4.1.3 Carta Geomorfologica

La carta indica la presenza di una Superficie Alluvionale.

4.1.4 Carta Idrogeologica

La carta indica la presenza di terreni dotati di elevata permeabilità primaria.

4.1.5 Carta delle Aree Allagabili

La carta indica la presenza di una pianura alluvionale.

4.1.6 Carta delle Aree Allagate

Nessun dato significativo.

4.1.7 Carta delle Aree a Pericolosità Idraulica (da modellazione)

La carta indica la presenza di un'area a **Pericolosità Idraulica media (I2)**.

4.1.8 Carta delle Aree con Problematiche Idrogeologiche

La carta indica la presenza di un'area con elevato grado di vulnerabilità degli acquiferi.

4.1.9 Carta delle Aree a Pericolosità Geomorfologica

La carta indica la presenza di un'area a **Pericolosità Geomorfologica media (G2)**.

4.1.10 Carta delle Zone a Maggior Pericolosità Sismica Locale

La carta indica la presenza di una zona soggetta ad amplificazione diffusa del moto del suolo dovuta alla differenza di risposta sismica tra substrato e copertura dovuta a fenomeni di amplificazione stratigrafica. Zona con presenza di depositi alluvionali granulari e/o sciolti.

4.1.11 Carta delle Aree a Pericolosità Sismica

La carta indica la presenza di un'area a **Pericolosità Sismica media (S2)**.

4.1.12 Carta della Fattibilità

La carta indica una **Fattibilità Geologica di classe G2**, una **Fattibilità Idraulica di classe I2** e una **Fattibilità Sismica di classe S2**, come riportato nella scheda di fattibilità allegata.

4.2. Microzonazione Sismica di Livello 1

In allegato sono inoltre riportati gli stralci delle principali cartografie relative alla microzonazione sismica di livello 1 che evidenziano quanto segue.

4.2.1. Carta Geologico-Tecnica

La carta indica la presenza dei Terreni di Copertura, Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose, limi argillosi di bassa plasticità.

4.2.2. Carta delle M.O.P.S.

La carta indica la presenza di una Zona Stabile Suscettibile di Amplificazioni Locali, con la presenza di limi argillosi con livelli sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi da submetrici a metrici (50-100 m).



4.3. Microzonazione Sismica di Livello 2

In allegato sono riportati anche gli stralci delle principali cartografie relative alla microzonazione sismica di livello 2 che evidenziano quanto segue.

4.3.1. Carta del Fattore di Amplificazione FHa (0,1-0,5 s)

La carta indica la presenza di una Zona Stabile Suscettibile di Amplificazioni Locali con $FA=1,1$.

4.3.2. Carta del Fattore di Amplificazione FHa (0,5-1,0 s)

La carta indica la presenza di una Zona Stabile Suscettibile di Amplificazioni Locali con $FA=1,5$.

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO A SCALA REGIONALE

L'Appennino Settentrionale, quindi anche il territorio amministrativo del comune di Sansepolcro, è un segmento orogenico appartenente al complesso sistema degli orogeni mesozoici-terziari dell'area perimediterranea, che rappresentano il ramo occidentale del più ampio sistema alpino-himalaiano.

Esso è formato da una pila di unità tettoniche (Vd. figura a lato) embricate con senso di trasporto da Ovest verso Est.

Le unità tettoniche sopraindicate, sono composte da terreni riferibili a due principali domini: quello del bacino oceanico ligure-piemontese (ubicato a Ovest) e quello del margine continentale toscano-umbro-marchigiano (ubicato a Est).

Come noto i sedimenti deposti nel Bacino Ligure Piemontese sono successivamente sovrascorsi su quelli dell'unità toscano-umbro-marchigiana.

In una fase successiva, quando a seguito dell'embriciatura delle unità si formarono numerosi bacini di sedimentazione secondari (bacini di piggy-back) ebbe inizio, in discordanza, la deposizione dei sedimenti del Dominio Epiligure.

Più tardi, mentre il fronte compressivo verge sempre più verso il margine adriatico, quindi a cominciare dall'area tirrenica e spostandosi progressivamente nel tempo verso E, si realizzano una serie di ulteriori bacini ad andamento NW-SE e NS.

Si tratta di bacini sedimentari strettamente connessi con le fasi tettoniche prevalentemente distensive.

E' in questo periodo, in particolare nel Quaternario, che volgono al termine i complessi processi tettonico-strutturali che hanno determinato l'assetto geologico dell'area studiata.

La geologia della zona in oggetto è quindi caratterizzata dalla presenza di estesi lembi di unità Liguri ed Epiliguri sovrastanti tettonicamente le unità Toscane e Umbro-Marchigiano-Romagnole.

Sopra queste unità tettoniche, in particolare nelle zone caratterizzate da bassi strutturali, vi è stata una frequente deposizione di sedimenti fluvio-lacustri e alluvio-colluviali quaternari (fig.2).

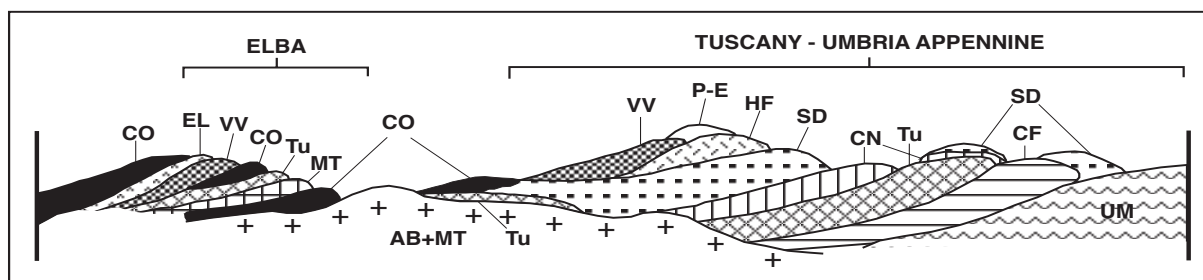
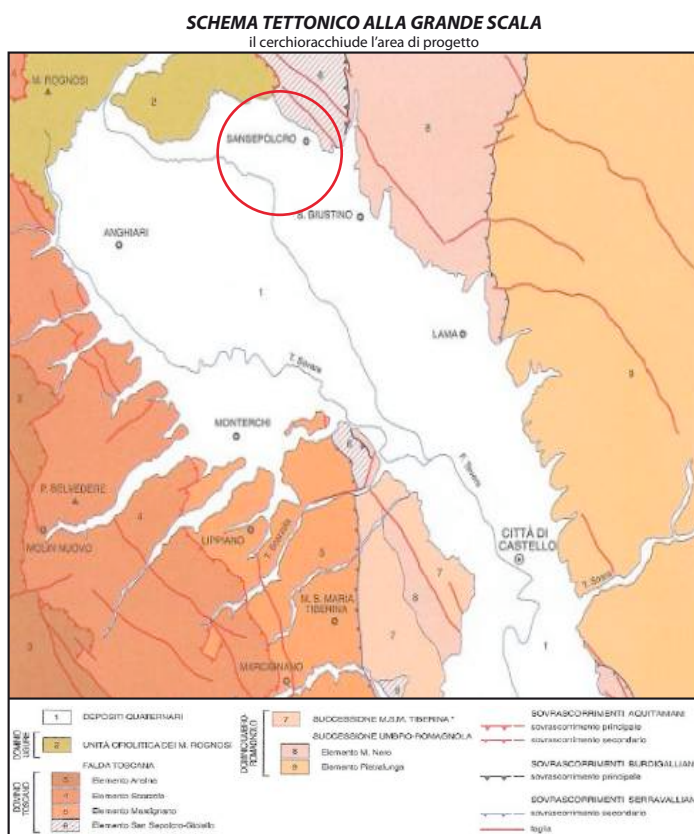


Fig. 2 - TRANSETTO STRUTTURALE E-W DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE.

P-E – Epiliguri Paleocenico-Eoceniche; **CO** – Calcascisti con ofiolti; **EL** – Gruppo dei Flysch Cretacei e Paleocenico-Eocenici dell'Elba; **VV** – Unità Ofiolitica Vara; **HF** – Unità dei Flysch ad Elmintoidi Cretacei (Unità Monteverdi Marittimo); **SD** – Unità dei Flysch ad Elmintoidi Eocenici (Unità Morello); **CN** – Unità Canetolo; **TU** – Falda Toscana; **CF** – Unità Cervarola Falterona; **UM** – Gruppo delle Unità Umbro-Marchigiane; **MT** – Unità Metamorfica Toscana; **AB** – Basamento cristallino varisco.



6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'INTORNO SIGNIFICATIVO

A seguito del rilevamento geologico di dettaglio (svolto facendo riferimento alle legende della cartografia del Programma VEL Valtiberina) e delle verifiche attinenti al quadro conoscitivo di riferimento, si è appurato che in questa ristretta porzione dell'Alta Val Tiberina, vale a dire l'area oggetto del presente studio, sono presenti, in via esclusiva, i sedimenti riferibili ai Depositi Plio-Quaternari.

In sintesi, schematizzando quanto sopraindicato, vengono di seguito elencati i terreni riferibili alle coperture presenti nell'hinterland dell'area d'intervento, come riportato nell'allegata [*Carta Geologica*](#):

▪ DEPOSITI PLIO-QUATERNARI

- Depositi alluvionali antichi, terrazzati e recenti (bl,-n)

Depositi di piana alluvionale: ciottolame in matrice limoso-sabbiosa, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati. Questi depositi sono numerati (con numeri romani) a partire dal terrazzo morfologicamente più alto fino alla pianura alluvionale recente. Quest'ultima può essere localmente soggetta a fenomeni di esondazione

7. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA DI LOTTIZZAZIONE

Alla luce delle considerazioni sopraindicate, cercando di mettere dettagliatamente in evidenza la geologia stratigrafica e strutturale che caratterizza l'intorno significativo dell'area di Piano Attuativo, si evidenzia quanto segue:

- ◇ Come si evince dalla carta geologica, l'area insiste all'interno di una vasta zona caratterizzata dall'esclusiva presenza dei sedimenti alluvionali dei 1° ordine dei terrazzi (bl).
- ◇ Nel dettaglio sono presenti ciottolami eterometrici e poligenici in matrice di argilla limo e sabbia con tessitura da clasto a matrice-sostenuta, subordinatamente ghiaie, sabbie e limi, variamente intercalati.
- ◇ La stratigrafia è confermata dalle prove penetrometriche eseguite centralmente all'area di Piano Urbanistico Attuativo.

8. ANALISI GEOMORFOLOGICA

L'area in esame è ubicata, nel dettaglio, lungo il margine orientale dell'ampia pianura alluvionale collocata in sinistra idrografica del Fiume Tevere.

8.1. Forme e Processi Geomorfolologici dell'Area d'Intervento

L'area di lottizzazione si presenta, nel contesto generale, sub-pianeggiante e risulta moderatamente trasformata dagli interventi antropici.

L'area presenta:

- ◇ **inclinazione media: $I < 2^\circ$; pendenza media: $P < 3.5\%$**
- ◇ **Altitudine = 310.0 m s.l.m.**

Nell'insieme il quadro paesaggistico risulta tipicamente di fondo valle, con forme totalmente piatte. Conseguentemente non sono presenti processi connessi con i depositi gravitativi di versante e/o con le acque correnti superficiali.

In conclusione non si rilevano particolari criticità geo-morfologiche in grado di pregiudicare e/o condizionare la fattibilità di quanto in progetto.

9. ANALISI IDROGEOLOGICA DELL'AREA D'INTERVENTO

Le formazioni affioranti nel bacino dell'Alta Valtiberina sono raggruppabili in nove complessi idrogeologici, a cui si possono associare cinque classi di permeabilità.

L'unità idrogeologica fondamentale del bacino è costituita da un acquifero alluvionale che si estende nella valle tra Montedoglio e Città di Castello.

Il substrato impermeabile dell'acquifero alluvionale è costituito dalle argille grigie del Villafranchiano.

I limiti dell'acquifero sono:

- ◇ ad est e a sud gli affioramenti di litologie con permeabilità bassa o molto bassa; sono quindi da escludere contributi alla sua alimentazione lungo il bordo orientale. Fanno eccezione i tratti corrispondenti agli ingressi in valle degli affluenti di sinistra del Tevere dove l'acquifero può essere alimentato attraverso le alluvioni di subalveo;



- ◇ a nord e ad ovest gli affioramenti di litologie con permeabilità medio-bassa; si può quindi assumere che lungo i bordi nord e ovest l'alimentazione all'acquifero sia molto ridotta. Contributi in alimentazione possono verificarsi anche in questo caso in corrispondenza delle alluvioni di subalveo degli affluenti del Tevere.

9.1 Geometria dell'Acquifero³

L'acquifero ha un'area di circa 120 Km²; la sua geometria è stata ricostruita a partire dai dati relativi alle stratigrafie dei numerosi pozzi per acqua e dalle prospezioni geoelettriche esistenti, integrate con una campagna di S.E.V. (sondaggi elettrici verticali) nell'ambito del progetto di ricerca delle Regioni Umbria e Toscana.

L'interpretazione dei S.E.V., tarati su stratigrafie di perforazioni profonde, ha identificato:

- ◇ un complesso resistente (resistività apparente 60-100 ohm*m) costituito da alluvioni ghiaioso-sabbiose;
- ◇ un complesso a resistività medio-bassa (resistività apparente 30-60 ohm*m) costituito da sabbie siltose e argillose;
- ◇ un complesso conduttore (resistività apparente 5-25 ohm*m) costituito da argille.

E' possibile identificare il complesso resistente come l'acquifero principale, il complesso conduttore con il substrato impermeabile, il complesso a resistività medio-bassa come complesso di transizione dall'uno all'altro.

In [figura 3](#) è riportata una sezione schematica illustrativa dell'acquifero.

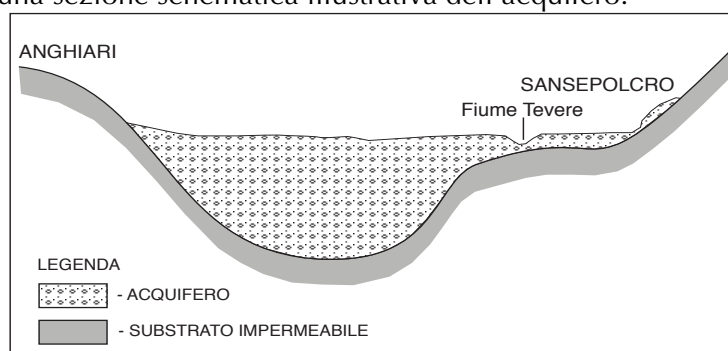


Fig.3 – Sezione schematica illustrativa dell'acquifero alluvionale dell'Alta Val Tiberina

Lo schema di circolazione idrica sotterranea dell'area considerata è quindi governato dalla presenza di vari livelli acquiferi all'interno della coltre alluvionale, caratterizzata da un grado di porosità medio-alta e quindi talora dotata di una buona permeabilità primaria.

³ Dott. Ulisse Pizzi, 1994

9.2 Rilevamento della Falda

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche [è stata riscontrata presenza di circolazione idrica ipodermica con livello statico a 7.50 m dal p.c..](#)

10. ANALISI IDROLOGICO-IDRAULICA DELL'AREA D'INTERVENTO

L'idrografia superficiale prossima all'area d'intervento è caratterizzata dalla presenza di una fitta rete di canali di natura antropica, quindi prevalentemente intubati, disposta marginalmente ai pochi appezzamenti di terreno non pavimentato e alle strade che garantisce, unitamente alle blande pendenze tendenzialmente immergenti verso il Fiume Tevere, un regolare deflusso delle acque meteoriche superficiali mitigando nel contempo la possibilità che possano verificarsi sia fenomeni di erosione diffusa e/o concentrata sia fenomeni di ristagno idrico prolungato.

L'ipotesi che il sito risulti soggetto a rischi di carattere idraulico di media entità viene avvalorata da quanto emerso in precedenti studi e modellazioni idrauliche (sulla base delle quali sono state formulate le presenti valutazioni sul rischio idraulico) redatte per conto del Comune di Sansepolcro (PS) e dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (PAI - Assetto Idraulico).

Per quanto sopra menzionato si può asserire che non esistono serie problematiche di natura idraulica.



11. TIPOLOGIA DELLE INDAGINI SVOLTE E MODALITA' DI ESECUZIONE

Per la definizione dei modelli geologico, geotecnico e sismostratigrafico di progetto, sono state eseguite le seguenti indagini (v. Tavola n.1 - Carta delle Indagini e Dati di base):

- ◇ n°2 **Prove Penetrometriche Statiche** (tipo CPT);
- ◇ n°1 **Multichannel Analysis of Surface Waves** (metodo MASW con onde di Rayleigh);
- ◇ n°1 **Microtremor Array Measurement** (metodo MAM con Array 2D - ESAC);
- ◇ n°1 **Indagine HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - Nakamura, 1989).

11.1. Prove Penetrometriche Statiche (CPT)

Il contesto geologico dell'area di progetto lasciava presumere la presenza di un terreno sciolto caratterizzato da granulometria prevalentemente limo argillosa con intercalazioni di sabbia e ghiaia. Per tale ragione, al fine di poter eseguire una più affidabile e prudente parametrizzazione geomeccanica, sono state eseguite **n°2 Prove Penetrometriche Statiche con punta meccanica articolata "Begemann" (Cone Penetration Test)**.

Le CPT sono state eseguite con un **Penetrometro Pagani TG 63 da 200 KN**.

Le letture sono state eseguite ogni 20 cm d'infissione e sono state in seguito elaborate e diagrammate in modo da ottenere un profilo penetrometrico continuo.

Le prove cpt sono state interrotte alla base del volume geotecnico ritenuto significativo (in allegato sono riportati tutti i grafici con le relative stratigrafie).



posizionamento CPT 1



posizionamento CPT 2

11.1.1 Parametrizzazione Stratigrafica e Geomeccanica

◆ **Elaborazione Prove CPT**

I dati delle prove penetrometriche CPT sono stati elaborati con il **software GeoTec modulo A versione 4.0.2** della **Interstudio** che utilizza le seguenti correlazioni accettate ed utilizzate in ambito internazionale (Eurocodici):

Peso Specifico "Naturale" ed "Efficace":

il peso specifico indicativo per gli strati è definito partendo dal valore di RP medio ed applicando relazioni ottenute sperimentalmente su innumerevoli litotipi dell'Italia centro-settentrionale e recentemente pubblicate dall'Università di Padova. Noto il peso specifico del terreno naturale per il terreno sotto falda è applicata la seguente relazione cautelativa:

$$\gamma'_t = \gamma_t - 1$$

in quanto per la maggior parte delle problematiche geotecniche correlate al parametro si opta, normalmente, per tale tipo di relazione che considera il peso specifico di saturazione.

Pressione Litostatica Efficace:

il calcolo della Pressione Litostatica Efficace è effettuato applicando la seguente relazione:

$$\sigma'_V = \sum \gamma'_{it} \cdot h'_{im} + \sum \gamma_{it} \cdot h_{im}$$

e quindi si riferisce alla pressione relativa al punto medio dello strato.

Classificazione litologica Secondo Begemann:

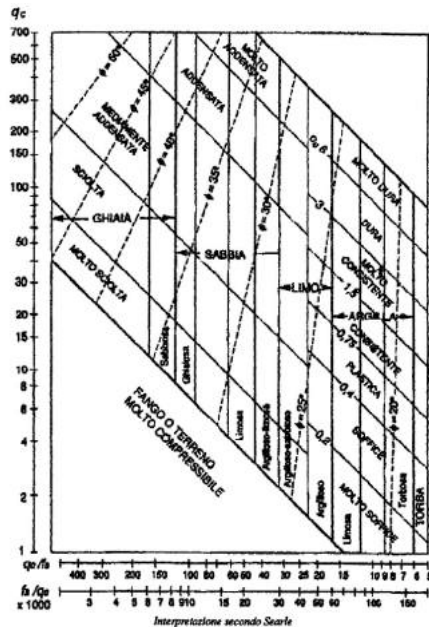
si basa com'è noto sul solo rapporto RP/RL definendo le seguenti categorie litologiche:

RP/RL ≤ 15	Torbe ed Argille organiche
15 < RP/RL ≤ 30	Limi ed Argille
30 < RP/RL ≤ 60	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose
60 > RP/RL	Sabbie e Sabbie con Ghiaia

Interpretazione litologica Secondo Searle:

La definizione delle litologie è stata effettuata elaborando le prove penetrometriche con il metodo di Searle.

Il digramma di riferimento utilizzato per l'interpretazione è il seguente:



Resistenza al Taglio non Drenata:

per collegare il valore di Rp con quello della Cu si possono impiegare diverse relazioni che però in definitiva forniscono tutte valori dello stesso ordine di grandezza:

Relazione di De Beer (argille e limi)

$$c_u = R_p / 20$$

Relazione di Begeman (terreni argillosi)

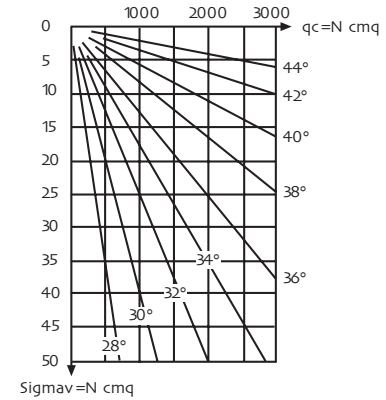
$$c_u = (R_p - \sigma'_{v0}) / 13.4$$

Relazione di Terzaghi (terreni coerenti)

$$c_u = (\alpha \cdot R_p) / N_c$$

Angolo di Resistenza al Taglio:

Per la determinazione dell'angolo di resistenza al taglio dei terreni incoerenti si è utilizzata una metodologia proposta da Durgunoglu e Mitchell che nella versione originale è stata presentata dagli autori tramite il seguente diagramma dal quale si ricava un'equazione:



$$\phi = f(R_p; \sigma'_{v0})$$

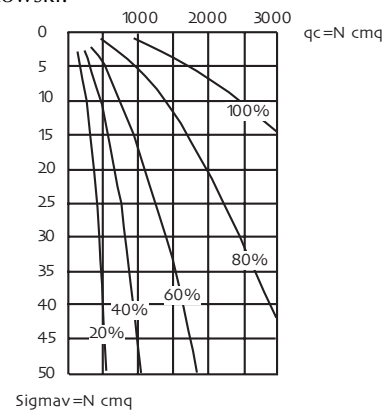
Coefficiente di Compressibilità di Volume:

Per la determinazione di MV è stata impiegata la relazione derivata dalle correlazioni di Buisman e riprese da Sanglerat ed altri che collega il parametro al valore qc della resistenza alla punta del penetrometro statico:

$$m_v = 1 / \alpha \cdot R_p$$

Densità Relativa:

la determinazione della Densità Relativa dei terreni incoerenti è stata ottenuta elaborando il grafico proposto da Jamiolkowski:



PROVA CPT n.1

Interpretazione litologica secondo Searle discretizzata Valori Geotecnici medi per ogni singolo livello

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg
1.40		Limo argilloso plastico	1808	1808	0.253	0.721	0	0	0.014001
4.40		Limo argilloso consistente	1904	1904	0.824	1.370	0	0	0.012165
5.00		Limo argilloso plastico	1854	1854	0.935	0.983	0	0	0.016315
5.40		Sabbia ghiaiosa addensata	1900	1900	1.011	0.000	29	94	0.003137



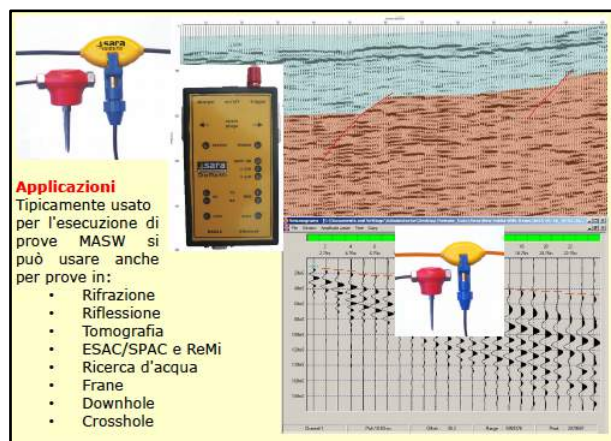
PROVA CPT n.2
Interpretazione litologica secondo Searle discretizzata
Valori Geotecnici medi per ogni singolo livello

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg
1.20		Limo argilloso plastico	1815	1815	0.218	0.758	0	0	0.014053
3.00		Limo argilloso plastico	1885	1885	0.557	1.211	0	0	0.013761
3.80		Sabbia ghiaiosa addensata	1900	1900	0.709	0.000	29	93	0.003826
5.60		Limo argil-sabbioso addensato medio	1990	1990	1.067	2.450	0	0	0.006803
6.20		Limo argilloso consistente	1873	1873	1.180	1.117	0	0	0.014925
7.60		Sabbia ghiaiosa addensata	1900	1900	1.446	0.000	27	80	0.003825

11.2 Indagini Geofisiche

12.2.1 Strumentazione utilizzata

Le Prospezioni Sismiche in Array sono state eseguite con un **Sismografo DoReMi** della Sara electronic instruments, provvisto delle seguenti caratteristiche tecniche:





Technical Features		
No. of Bits	16	24
A/D Converter Type	SAR	SIGMA DELTA
Converter Input Span	5 V	5 V
S/N Ratio @ 500 SPS	96 dB (@ 27dB gain)	140 dB
S/N Ratio @ 5000 SPS	94 dB (@ 27dB gain)	130 dB
S/N Ratio @ 20000 SPS	92 dB (@ 27dB gain)	105 dB
Input Type	Unipolar Differential	Unipolar Differential
Input Impedance	> 100 k Ω	20 k Ω
Common Mode Rejection	> 80 dB	> 80 dB
Low Pass Filter:	200 Hz	400 Hz
High Pass Filter:	2 Hz	none
Max Sampling Lag Between Ch.:	<30 ppm	<30 ppm
Max Error Between Trigger Ch.:	< 1 ns	< 1 ns
Ch. Memory:	64000 bytes	128000 bytes
Maximum Samples:	30000	30000
Sampling Rates:	200 Hz to 20000 Hz	200 Hz to 20000 Hz
Maximum Connectable Channels:	255	255
Power Consumption:	\approx 0.3 W per Ch.	\approx 0.3 W per Ch.
Instrument Chain Max Length:	1000 m	1000 m
Recommended Geophones:	4.5 Hz High Gain 80 V/m/s	4.5 Hz High Gain 80 V/m/s
Diagnosis:	Memory Status (OK / Fault)	Memory Status (OK / Vdc)
Baud Rate:	115200 baud, N, 8,1	115200/230400, N, 8,1

Per le indagini con tecnica dei rapporti spettrali o HVSR è stata utilizzata una Scheda di Acquisizione **SR04 SEISMOGRAPH** a 24 Bit dotata di un **Sensore SS05 SENSOR PACK**, provvisto delle seguenti caratteristiche tecniche:





DIGITALIZZATORE SR04

Caratteristiche tecniche

Alimentazione:	10-16Vdc
Consumo di energia:	< 1 W
Numero canali:	3, 24 bit ($\Sigma\Delta$) (A richiesta 3+3 canali HR e altri 8 LR)
Range dinamico:	124dB @ 100SPS
Campionamento:	simultaneo sui tre canali
Sampling rates:	10,20,25,50,100,200, 300,400,480,600
Impedenza d'ingresso:	> 100Kohm per sensori passivi, 8.2Kohm per sensori attivi
Fondo scala:	2Vpp per sensori passivi, 4 Vpp per sensori attivi
Real Time Clock:	+/-10ppm (-20/+50°C)
Sincron. Real Time Clock:	da GPS via PPS modulato
Precisione rispetto a UTC:	<50 μ s
Antenna GPS:	amplificata con 10mt di cavo e connettore BNC
Interfaccia dati sismici:	RS232 (Ethernet opzionale), cavo USB in dotazione
Formato dati:	protocollo binario SADC20HS
Velocità di comunicazione:	115200 baud
Interfaccia dati GPS:	RS232; NMEA; 4800 baud, n,8,1
Connett. sensori*:	MIL-C 10 o MIL-C 18 (per sensori broad-band)
Contenitore:	Alluminio pressofuso IP66 (su richiesta fino a IP68)
Temperatura:	-20/+50°C (funzionale)
Dimensioni:	205x170x45 mm
Conformità:	CE



VELOCIMETRI SS10/05/02/01

Caratteristiche tecniche SS05

Modello		10	05	02	01
Banda passante	Hz	1.0--50	0.5--50	0.2--50	0.1--50
Smorzamento	<i>h</i>	0.707	0.707	0.707	0.707
Sensibilità*	V/m/s	400	400	400	400
Impedenza uscita	<i>ohm</i>	100	100	100	100
Tolleranza tilt	°	5	5	2	2
Peso	g	2100	2100	3200	3200

11.2.2 Indagini con Onde Superficiali - Tecnica MASW e Tecnica MAM (con Array 2D) o ESAC

L'utilizzo dei metodi di prospezione sismica che sfruttano le onde superficiali è cresciuto notevolmente negli ultimi anni, data la necessità di identificare le caratteristiche dei terreni in condizioni dinamiche insieme al profilo verticale della velocità delle onde di taglio VS facendo ricorso a tecniche poco costose e non invasive.

Anche le recenti NTC, riprendendo l'Eurocodice 8, prescrivono la classificazione sismica del sottosuolo in base al parametro VS30 per la progettazione in zona sismica.



Nel presente lavoro sono stati eseguiti i metodi di prospezione sismica **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) e **MAM** (Microtremor Array Measurement) con Array 2D nota anche come indagine **ESAC**, due metodologie che consentono di ottenere un modello verticale delle VS, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh.

Per quanto riguarda la tecnica MAM, nel nostro paese ancora poco utilizzata, si ricorda che è sostanzialmente un'indagine tipo ReMi (Refraction Microtremor) eseguita su un array bidimensionale (2D) il quale, in alcuni casi, viene indicato come "antenna sismica".

Tale metodologia consente di ridurre al minimo gli effetti negativi dovuti ai segnali unidirezionali ai quali è soggetta l'indagine ReMi, ovviamente quando eseguita con unico array lineare.

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie sono distinti fra loro in base al tipo di sorgente con la quale viene prodotta la perturbazione sismica da osservare.

A tale proposito si parla di:

- ◇ metodi attivi (MASW), nei quali il terreno è energizzato con una sorgente artificiale appositamente creata per registrarne la perturbazione.
- ◇ metodi passivi (MAM o ESAC e ReMi) i quali, al contrario, non usano alcuna sorgente di energizzazione ma registrano un segnale di maggiore durata, in sostanza i microtremori generati dall'ambiente e in superficie.

L'indagine MASW viene presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999), il ReMi e conseguentemente anche il MAM è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001), ed è classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni tali da consentire una registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale rumore.

Per quanto riguarda la scelta dei parametri di acquisizione è importante ricordare che gli stessi andranno a influenzare in modo significativo il risultato finale.

Al riguardo si può assumere, a grandi linee, che la massima profondità di indagine MASW per la quale calcolare il valore VS può essere paragonata alla metà della lunghezza d'onda λ_{max} misurata dai ricevitori (Park et al., 1999), la quale è generalmente considerata circa pari alla lunghezza L dello stendimento.

Nel caso delle MAM e ReMi, fermo restando la necessità di rilevare un numero di microtremori elevato, sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica D che agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza.

Quindi maggiore è la spaziatura minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa, di conseguenza più la frequenza è bassa più aumenta la profondità di indagine.

È noto, infatti, che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda.

Queste interessano il terreno a diverse profondità e sono influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità.

Questo comportamento viene definito dispersione in frequenza ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno a interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati sovrapposti con caratteristiche elastiche lineari.

In definitiva, a partire le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh e quindi dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi:

- ◇ Acquisizione: registrazione e osservazione dei dati sismici "grezzi" contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
- ◇ Processing: trattamento dei dati attraverso filtraggio e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza;
- ◇ Inversione: uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S e altri parametri in funzione della profondità.



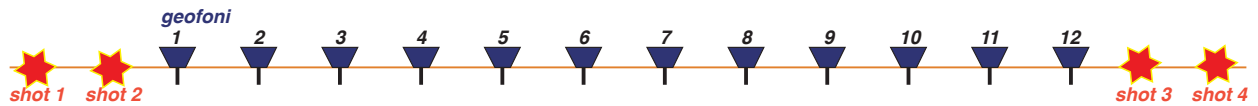
Tutto ciò è quindi possibile sfruttando le relazioni che legano le proprietà meccaniche alla dispersione frequenziale.

In conclusione le tecniche di processing utilizzate in questo studio prevedono il calcolo dello spettro e la successiva fase di selezione dei punti sullo spettro stesso (picking) che vanno a formare la curva di dispersione sperimentale.

Nella successiva fase di inversione si è proceduto alla stima dei parametri del modello rappresentativo che hanno condotto alla definizione del profilo verticale delle onde di taglio.

◆ **SISTEMA E PARAMETRI DI ACQUISIZIONE**

Per la **MASW** è stato predisposto un array a **12 canali**, di **lunghezza = 22 m**, assumendo pertanto una **distanza intergeofonica = 2.0 m**.



Sono stati utilizzati **geofoni verticali** di tipo elettromagnetico a bobina mobile della ditta americana “Geospace”, ad alto guadagno e con frequenza propria di 4.50 Hz.

Il segnale è stato generato energizzando sul piano verticale tramite **massa battente** (mazza da 8 kg); l’energia prodotta si è rilevata sufficiente allo scopo, vista anche la contenuta ampiezza del rumore sismico e la lunghezza ridotta dello stendimento.

Sono stati realizzati **n.2 shot** sia a **2.0 m** sia a **4.0 m** dal primo ricevitore per ogni lato dello stendimento (tiri reciproci).

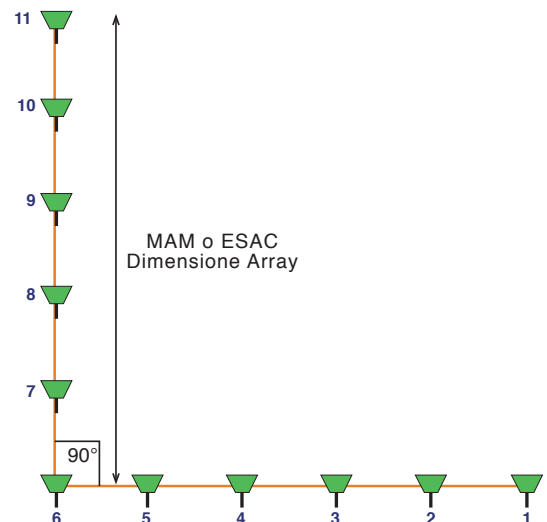
Come sistema di trigger per fornire il tempo zero all’acquisitore è stato utilizzato un geofono start.

Per l’**ESAC** è stata predisposta **un’Antenna Sismica**, ovvero un “**array 2D a forma di L**”, con **rami a 90°** della stessa lunghezza, complessivamente dotati di **11 canali** collocati alla **distanza di 6.0 m**.

Tale procedura è stata adottata al fine di ridurre al minimo gli effetti negativi riconducibili a segnali non isotropici, ossia unidirezionali.

I parametri di campionamento adottati sono i seguenti:

- ◆ **MASW** – periodo = 333 m/s (frequenza=3000 Hz); tempo di registrazione 1.0 s, 1.5 s e 2.0 s;
- ◆ **ESAC** – periodo = 2 m/s (frequenza = 500 Hz); tempo di registrazione 30.0 s; numero di registrazioni = 30; vista la predisposizione di un array 2D non si è ovviamente provveduto a ruotare di 90° lo stendimento sismico.



◆ **INTERPRETAZIONE - ANALISI CONGIUNTA MASW ed ESAC**

I dati sismici migliori, tra gli acquisiti, sono stati elaborati utilizzando il software *SeisImager/2DTM/SW* (Surface Wave Analisi WizardTM) della *OYO/Geometrics*.

Le indagini MASW ed ESAC hanno quindi permesso di confrontare e abbinare le relative curve di dispersione rispettivamente attiva e passiva.

I dati a frequenza più alta generati dalla sorgente attiva (MASW), che viaggiano attraverso profondità minori, sono stati confrontati e combinati con i dati a frequenza più bassa, generati dai microtremiti (ESAC), che viaggiano attraverso una maggiore profondità.

L’associazione di entrambe le metodologie d’indagini sopra indicate ha pertanto permesso di ottenere un profilo di Vs/z il quanto più possibile attendibile e profondo.

Si precisa che la tavola contenente i grafici relativi alle singole elaborazioni della MASW e dell’ESAC è riportata in allegato.

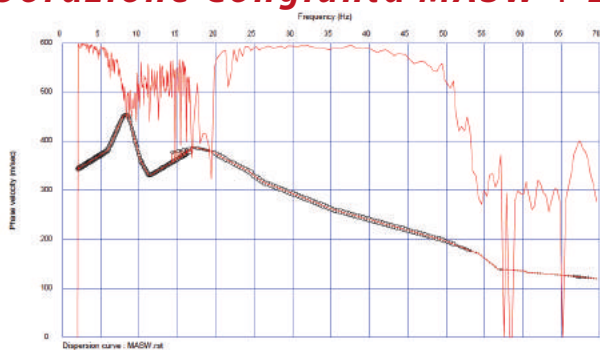
Le tecniche MASW ed ESAC hanno quindi fornito delle curve di dispersione allineabili e perfettamente congruenti.

Pertanto, al fine di ottenere un profilo di velocità il quanto più possibile affidabile e profondo, è stata svolta un’analisi congiunta masw-esac in grado di coniugare i benefici delle due tecniche in un unico ambiente.

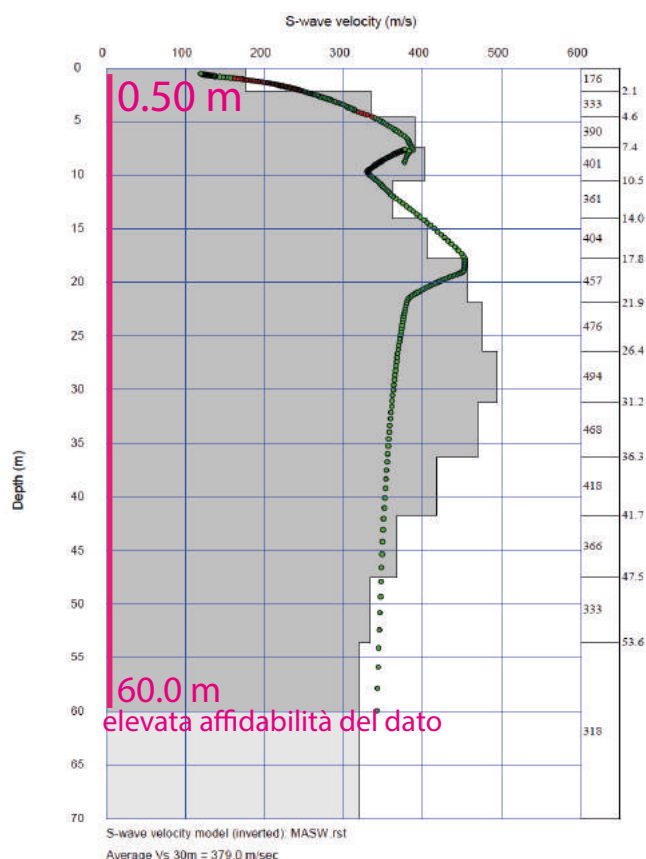


Le onde sismiche superficiali consentono quindi di definire un profilo Vs/z molto attendibile fino alla profondità di circa 60 m ed evidenziano un gradiente di velocità che fino a 30 m si incrementa in modo pressoché costante con una successiva un'inversione di velocità.

Elaborazione Congiunta MASW + ESAC



curve di dispersione misurate congiunte



profilo Vs/z definito al piano di campagna

11.2.3 Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Nakamura, 1989) è completamente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimento di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale.

Tale tecnica costituisce una parte importante nella valutazione del rischio sismico di un determinato sito perché permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza.

La frequenza caratteristica di risonanza di un sito rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle strutture in termini di risposta sismica locale.

Si dovranno quindi adottare adeguate precauzioni nel costruire strutture aventi la medesima frequenza di vibrazione del terreno per evitare effetti di **“doppia risonanza”**, estremamente pericolosi.

La frequenza fondamentale di risonanza, per esempio di un edificio, può essere misurata eseguendo le misurazioni all'interno dello stesso.

In seguito sarà possibile confrontarla con quella del terreno su cui sorge per comprendere al meglio il rischio sismico a cui è sottoposto l'edificio in caso di sisma.

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm (Okada, 2003).



In riferimento al contenuto in frequenza, il rumore sismico è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze (in genere maggiori di 0.5 Hz) e microsisma per basse frequenze.

Per quanto riguarda l'origine del rumore sismico, è certo che le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali etc. e si propagano come onde superficiali di Rayleigh.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- ◇ Spettri di Fourier
- ◇ Rapporti spettrali
- ◇ Rapporti spettrali H/V

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V.

Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti.

Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh.

Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura di terreni.

Nel 1989, Nakamura propose in inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito.

Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri:

- ◇ la frequenza fondamentale di risonanza F_0 dei terreni presenti nel sottosuolo;
- ◇ la stima del profilo del terreno in termini delle velocità V_s e V_p e della densità e quindi delle velocità V_{s30} nei primi 30 m dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione;
- ◇ la frequenza fondamentale di risonanza di una struttura e i relativi modi di vibrare;

◆ **ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE**

La scelta del punto di misurazione è stata eseguita sulla base delle caratteristiche geo-morfologiche dell'area di progetto e tenendo conto delle possibili sorgenti di disturbo.

A tal fine è risultato idoneo il settore posizionato circa centralmente all'area di progetto.

L'acquisizione delle vibrazioni ambientali a stazione singola è stata ottenuta utilizzando i tromografi digitali portatili del tipo sopraindicato.

La registrazione ha avuto una durata maggiore di 20 minuti, nel dettaglio:

- ◇ *HVSR n.1=37,12 min;*

La registrazione del rumore sismico è stata successivamente elaborata seguendo scrupolosamente la procedura proposta dal progetto "SESAME" e utilizzando il software "*GeoExplorer HVRS – versione 2.1.0*". Per l'analisi HVSR sono state selezionate manualmente finestre di segnale indisturbate per quanto possibile di elevata ampiezza temporale, quindi della durata maggiore di 20 s, al fine di evidenziare picchi a bassa frequenza.

Su tali finestre sono stati calcolati gli spettri delle tre componenti del segnale, successivamente lisciati con il metodo proporzionale o triangolare.

La frequenza fondamentale di risonanza del terreno è stata quindi ricavata dalle curve medie HVSR rispettando i Criteri SESAME (2005).

In ultimo la misura HVSR è stata classificata sulla base dei criteri esposti nella "Proposta per una Classificazione delle Misure HVSR" (Albarelli et alii).

La curva H/V è risultata di **CLASSE A1** (Vd report completo riportato in allegato).



Il grafico seguente evidenzia il “Rapporto Spettrale Orizzontale su Verticale” (curva nera) e gli “Spettri Medi delle Singole Componenti del Moto” (curve a colori.)

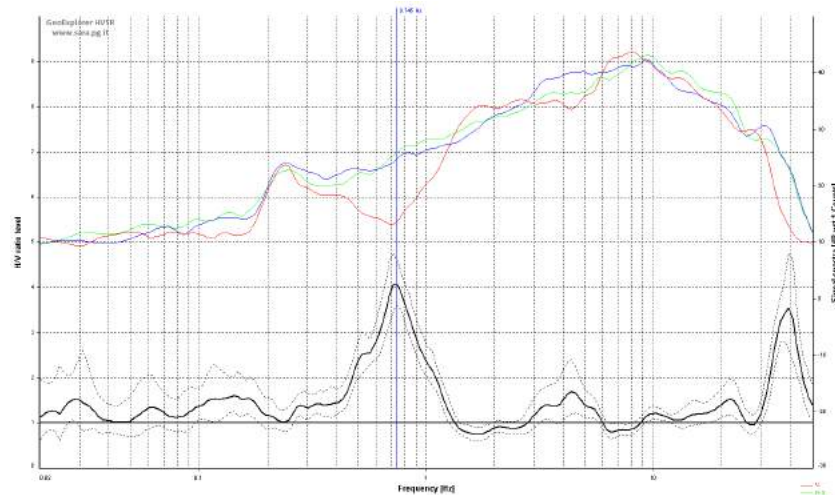


Grafico HV n.1

È presente un picco chiaro e ben evidente, di moderata ampiezza, presente a 0,74 Hz.

Il picco, caratterizzato da evidente plausibilità fisica, è quindi certamente di origine stratigrafica ed è collocabile al tetto del Substrato marino, risultando conseguentemente di interesse locale/regionale e correttamente utilizzabile sia ai fini della microzonazione sia ai fini ingegneristici.

I criteri SESAME 2005 (Vd. criterio 5 di Albarello et Alii robustezza statistica) risultano soddisfatti e la misura è, di fatto, perfettamente attendibile.

In estrema sintesi, sebbene la relazione tra l'ampiezza dei massimi della curva H/V e l'entità del relativo contrasto d'impedenza sismica sia di tipo non lineare si può stimare, in prima approssimazione, che il sito di progetto è suscettibile di amplificazione stratigrafica locale poiché caratterizzato da contrasti di impedenza sismica ($H/V > 2$).

Questi sono i risultati di sintesi, i report completi sono riportati in allegato:

HVSR n.1

- ◆ **f_0** (frequenza di risonanza) = **0.745 Hz**
- ◆ **A_0** (ampiezza della curva in f_0) = **4.075**
- ◆ **Average f_0** = **0.724 Hz +/- 0.051**
- ◆ **Altri picchi** - N. D.;

Si evidenziano possibili inversioni di velocità alle medie e alte frequenze, tra 2 e 3 Hz e tra 8 e 10 Hz.

◆ **VALUTAZIONE DEI FENOMENI DI RISONANZA**

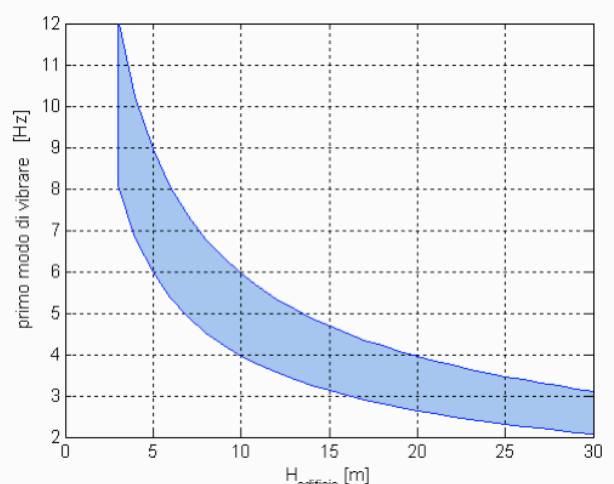
La risonanza è la tendenza di un sistema a oscillare con maggiore ampiezza quando è sollecitato da energia a una specifica frequenza, detta frequenza naturale di vibrazione del sistema, autofrequenza o frequenza di risonanza.

Nel caso degli edifici la risonanza è controllata dalle geometrie e dai materiali di costruzione mentre la frequenza di risonanza è controllata principalmente dall'altezza.

Si ricorda che per edifici in cemento armato senza particolari irregolarità o asimmetrie dello schema strutturale, il periodo fondamentale "T" è all'incirca 0.1 N sec (N=numero di impalcati), ciò significa che " $f \approx 10/N$ Hz".

Una relazione tipica tra l'altezza di un edificio in c.a. e la frequenza del suo primo modo di vibrare è riportata nel grafico a lato (*ridisegnata da Masi et al., 2008*).

Tutte le strutture hanno una frequenza naturale alla quale la sovrapposizione di energia alla stessa frequenza amplifica il moto.





Se il moto sismico indotto dal terremoto sollecita la base di un edificio a frequenze prossime a quelle di risonanza naturale dell'edificio stesso, l'amplificazione del moto risultante può diventare distruttiva e portare al collasso della struttura (*effetto della Doppia Risonanza*).

Una delle principali cause di danneggiamento delle strutture durante una sollecitazione sismica è quindi riconducibile alla coincidenza tra la frequenza fondamentale o di risonanza della struttura e quella del sottosuolo, in altre parole quando si verificano le condizioni per una "doppia risonanza".

Una struttura può essere ritenuta non soggetta alla doppia risonanza col terreno solo nei casi in cui la propria frequenza fondamentale è inferiore a quella del sito.

Infatti, quando la frequenza di risonanza della struttura è superiore a quella del terreno, potrebbero comunque verificarsi le condizioni di criticità, almeno per i seguenti fattori:

- ◇ Il primo perché i modelli impostati sulle onde di taglio conducono, in alcuni casi, a valutare amplificazioni a frequenze più elevate di quelle ricavate con la tecnica dei rapporti spettrali o HVSR.
- ◇ Il secondo fattore è legato al danneggiamento progressivo della struttura durante il sisma che può determinare, in particolare nelle fasi finali, una riduzione delle frequenze dei modi propri di vibrare e quindi provocare la risonanza con il terreno.

Per quanto riguarda l'area di progetto la frequenza fondamentale è risultata:

$$f_0 \approx 0.74 \text{ Hz (Potenzialmente NON pericolosa per le strutture)}$$

◆ **PROCESSO DI INVERSIONE e IDENTIFICAZIONE DEL BEDROCK SISMICO**

Le indagini geofisiche eseguite con le onde superficiali in array precedentemente indicate hanno restituito un profilo verticale delle onde secondarie molto attendibile fino alla profondità massima di circa 105.0 m dove, considerando le incertezze derivanti dai metodi utilizzati per la definizione della velocità delle onde di taglio, si può anche identificare un Bedrock sismico di riferimento.

Quindi, al fine di verificare ulteriormente il modello sismostratigrafico definito sulla base delle prospezioni in array e di identificare con ragionevole precisione il substrato sismico di riferimento, è stato sviluppato il profilo di Vs in profondità tramite "fit" vincolato della curva H/V n.1.

Questo approccio, pur presentando alcuni limiti, appare adeguato alla successiva modellazione tramite codici numerici, in quanto il modello del sottosuolo deve in questo caso essere esteso a grande profondità.

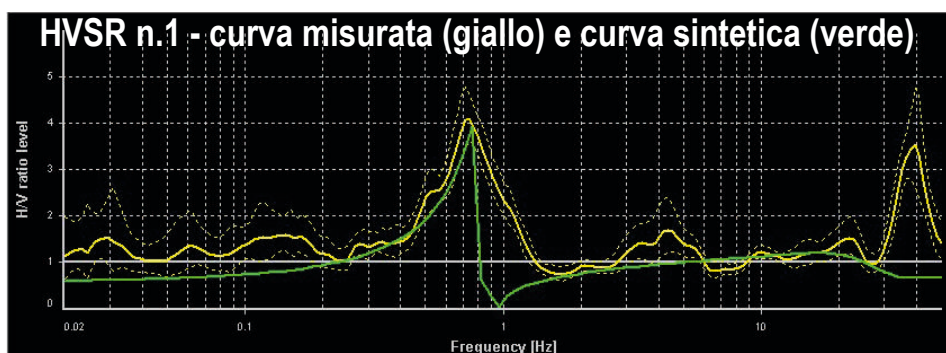
Sulla base di quanto sopra indicato è stato quindi definito un modello iniziale con "fit vincolato" sulle indicazioni del profilo di Vs ottenuto dalle prove indipendenti "in array attivo e passivo" (MASW+ESAC), che è stato successivamente sottoposto ad inversione al fine di generare una serie di modelli della velocità di fase delle onde di Rayleigh dai quali si possono ottenere una serie di profili Vs/z inclusi in un determinato intervallo di misfit.

In questo caso l'approccio misto della tecnica in array e tecnica a stazione singola si è rivelato molto utile, poiché le prove in array hanno fornito il vincolo per il fit della prova H/V e la prova H/V ha permesso di ottenere un profilo di Vs fino a profondità maggiori di quelle raggiungibili dalle sole prove in array (in questo caso >150 m).

Per l'inversione dei dati è stato utilizzato il programma "**GeoExplorer HVSR – versione 1.3.0**" che consente quindi di eseguire la ricerca o "fitting" manuale del profilo sismostratigrafico che meglio si adatta al dato di campagna, in questo caso rappresentato dalla "curva misurata".

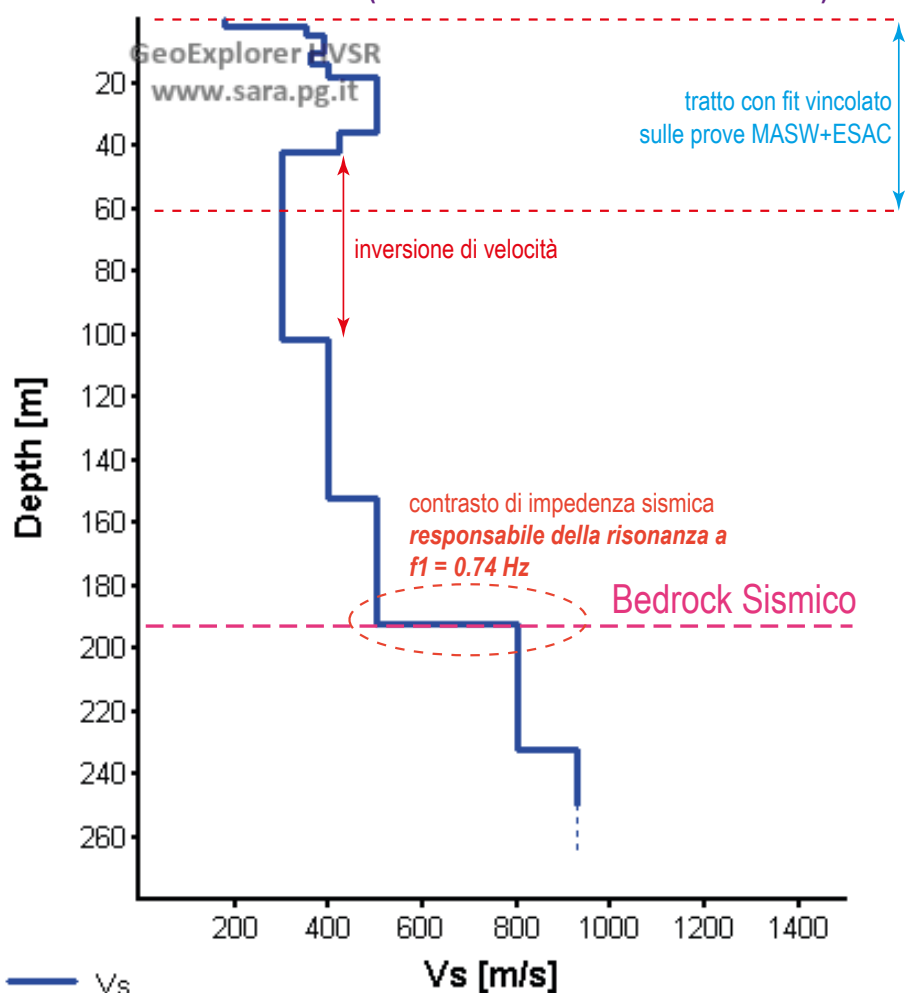
Il motore di calcolo è costituito da un modulo del software Geopsy denominato GPELL.

Il grafico sottostante raffigura la sovrapposizione tra la "curva misurata" (giallo) e la "curva sintetica" (verde) sulla base della quale è stato definito il seguente profilo definitivo e profondo delle onde di taglio.





PROFILO Vs/z (elaborazione MASW + ESAC + HVSr)

**12. ELABORATI CARTOGRAFICI**

La presente relazione recepisce in parte e conseguentemente assevera la congruenza e la conformità delle sopraindicate cartografie del P.S. e del R.U. comunale con le direttive emanate dal nuovo Regolamento n.5/R.

Gli stralci delle tavole del P.S. comunale sono integralmente riportate in allegato.

Nel presente PUA sono state riviste e aggiornate le carte di pericolosità geologica, Idraulica e sismica locale.

Gli elaborati cartografici allegati, facenti parte integrante del presente P.U.A. sono i seguenti:

◆ Cartografie di Analisi

- ◆ Carta Geologica-Geologico-tecnica (stralcio PS e studi di MS)
- ◆ Carta delle indagini e dei dati di base (v. Tavola n.1)
- ◆ Carta Geomorfologica (stralcio PS)
- ◆ Carta della Pericolosità da Alluvioni (v. Tavola n.3)
- ◆ Carta Idrogeologica (stralcio PS)
- ◆ Carta della Pericolosità Geologica (v. Tavola n.2)
- ◆ Carta delle MOPS (stralcio degli studi di MS)
- ◆ Carta di Microzonazione Sismica di livello 2 (stralcio degli studi di MS)
- ◆ Carta delle Frequenze fondamentali (stralcio degli studi di MS)
- ◆ Carta della Pericolosità Sismica locale (v. Tavola n.4)

◆ Elaborati di Sintesi

- ◆ Scheda di Fattibilità (v. Tavola n.5);



13.1. Carta Geologica-Geologico-tecnica

Limitatamente all'area di P.U.A. si ratifica integralmente sia la cartografia del P.S. comunale sia quella degli studi di MS.

13.2. Carta delle Indagini e Dati di base

Il P.U.A. è stato corredato da specifiche indagini geologiche (v. Tavola n.1).

13.3 Carta Geomorfologica

Limitatamente all'area di P.U.A. si ratifica integralmente la cartografia del P.S. comunale.

13.4 Carta della Pericolosità da Alluvioni

Sulla base dei dati cartografici della modellazione idraulica 2016 del P.S. è stata definita una nuova mappa di pericolosità da alluvioni la quale, nello specifico, individua un'area ricadente in Pericolosità per Alluvioni Rare o di Estrema intensità – P.1 (v. Tavola n.2).

13.5 Carta Idrogeologica

Limitatamente all'area di P.U.A. si ratifica integralmente la cartografia del P.S. comunale.

13.6 Carta della Pericolosità Geologica

Sulla base dei dati del P.S. e della MS che sono stati integralmente ratificati e restituiti nella carta geologica, carta geologico-tecnica e carta geomorfologica, è stata definita una nuova mappa di pericolosità geologica la quale, nello specifico, individua un'area ricadente in Pericolosità Geologica Bassa – G.1 (v. Tavola n.3)

Limitatamente all'area di P.U.A. si ratifica integralmente la cartografia del P.S. comunale.

13.7 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Limitatamente all'area di P.U.A. si ratifica integralmente la cartografia degli Studi di Microzonazione sismica di livello 1 e 2.

13.8 Carta di Microzone Sismica di livello 2

Limitatamente all'area di P.U.A. si ratifica integralmente la cartografia degli Studi di Microzonazione sismica di livello 2, nello specifico le carte dei Fattori di Amplificazione Fha 0,1-0,5 s e Fha 0,5-1,0.

13.9 Carta delle Frequenze Fondamentali

Limitatamente all'area di P.U.A. si ratifica integralmente la cartografia degli Studi di Microzonazione sismica di livello 1, nello specifico le carte delle frequenze naturali dei depositi, dalla quale si evince che l'area di PUA è caratterizzata da una frequenza $f_0 > 1.0$ Hz.

13.10 Carta della Pericolosità Sismica Locale

Sulla base dei dati della MS di livello 2, ovvero della presenza di una zona stabile suscettibile di amplificazione locale con fattore di amplificazione (F_x) > 1.4 , si individua un'area ricadente in Pericolosità Sismica Locale elevata – S.3 (v. Tavola n.4).

13.11 Scheda di Fattibilità

Sulla base dei dati acquisiti e dettagliatamente riportati nelle cartografie di analisi è stata predisposta una scheda sintetica che stabilisce i Criteri di Fattibilità in relazione alle tematiche geologiche, geomorfologiche, idrauliche e sismiche (v. Tavola n.5).

CRITERI DI FATTIBILITÀ IN RELAZIONE:

AGLI ASPETTI GEOLOGICI

- sulla base delle indagini condotte non si ritiene necessario dettare particolari condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere geomorfologico.

In fase di progettazione esecutiva, internamente ad ogni singolo lotto, dovranno comunque essere eseguite ulteriori indagini geologiche, commisurate all'importanza delle opere e in ottemperanza alle normative nazionali e regionali.

AL RISCHIO DI ALLUVIONI

- non si ritiene necessario dettare particolari condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere idraulico.

ALLE PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE

- non si ritiene necessario dettare particolari condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere idraulico.

AGLI ASPETTI SISMICI

- non si ritiene necessario dettare particolari condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere sismico se non il rigoroso rispetto delle norme nazionali e regionali.



14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

lo studio geologico dell'area di Piano Urbanistico Attuativo, ed in particolare le indagini geologiche e geofisiche effettuate, consentono di stabilire che le sette aree fabbricative previste nel piano di lottizzazione sono caratterizzate da evidente omogeneità litologico-stratigrafica, geomeccanica e sismostratigrafica.

Per quanto le indagini eseguite siano da considerarsi di carattere preliminare, si può certamente affermare che i lotti fabbricativi sono caratterizzati da condizioni geologiche, geotecniche e sismostratigrafiche le quali, per quanto concerne la pianura alluvionale di Sansepolcro, possono essere valutate di assoluta normalità.

Si prevede, conseguentemente, che le progettazioni esecutive possano essere eseguite sulla base dei normali protocolli tecnici che vengono solitamente adottati in Regione Toscana.

La presente relazione è composta da n. 20 pagine più allegati.

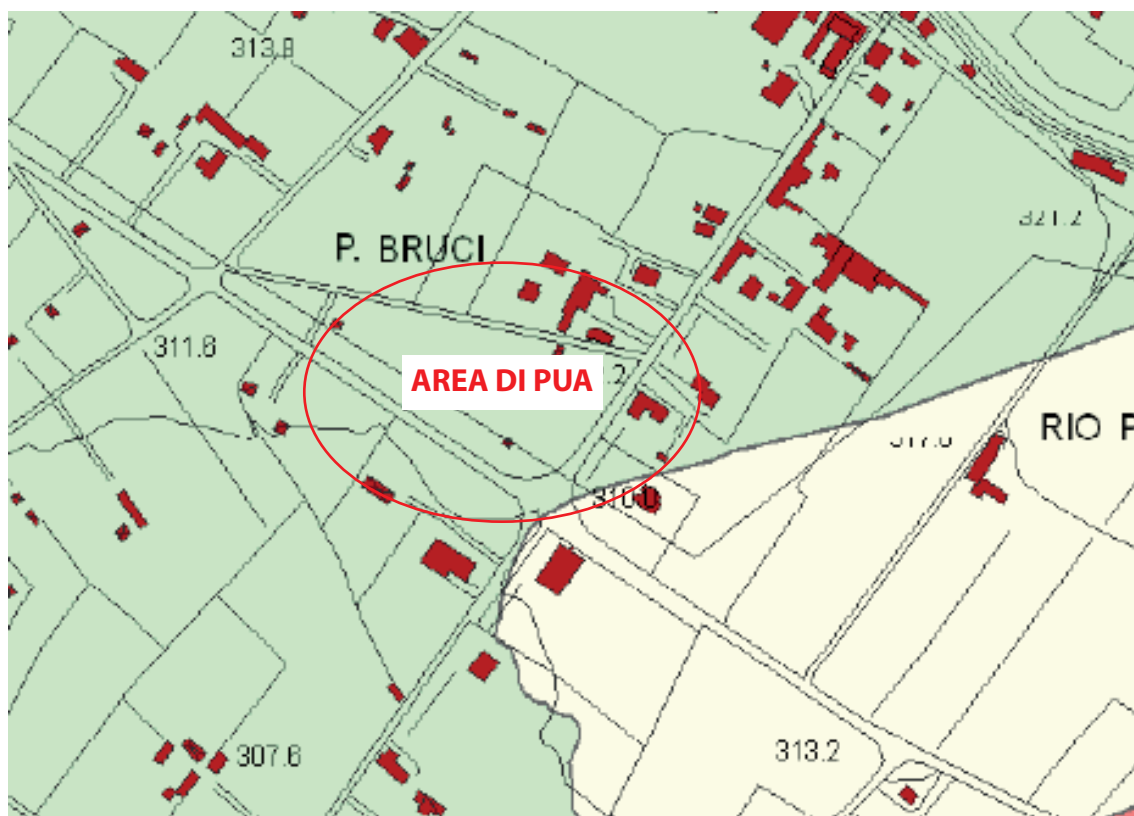
Febbraio 2022

IL GEOLOGO
Dott. Gianni AMANTINI
*Iscritto al n.754
dell'Ordine della Regione Toscana*



N.B.: Tutti i diritti di riproduzione e di memorizzazione elettronica sono riservati. Nessuna parte di questa relazione può essere riprodotta in alcuna forma, comprese le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Autore.

Stralcio Cartografie del P.S. CARTA GEOLOGICA



N.B.:

SI ASSEVERA LA TOTALE CONGRUENZA E CONFORMITA' DEL DATO E SI PROPONE INTEGRALMENTE QUALE ELABORATO FACENTE PARTE INTEGRANTE DEL PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI



Legenda	
	area di studio
	confine comunale
Depositi antropici	
Depositi di frana	
	Depositi di frana
Depositi plio-quadernari	
	a - Detrito di versante
	b - Depositi alluvionali
	b2 - Depositi eluvio-colluviali
	Conoide alluvionale
Substrato pre-pliocenico	
	MLL - Formazione di M. Morello
	SIL - Formazione di Sillano
	FAL - Arenarie del M. Falterona
	MUM1 Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di Casa Spertaglia
	MUM2 Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di M. Casale
	MUM3 Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di Vesina
	Faglia diretta presunta
	0 Misure di stratificazione

Dott. Geol. Gianni AMANTINI

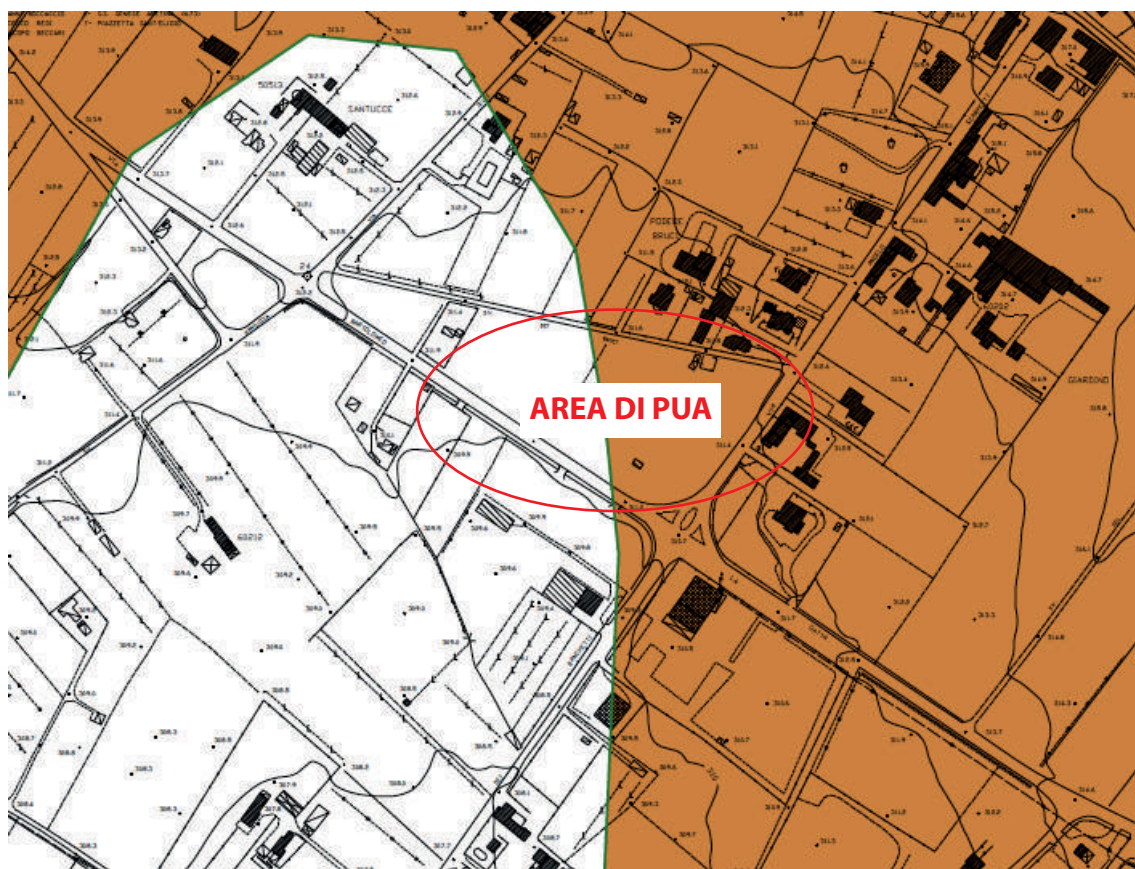
GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)

Stralcio Cartografie STUDI di MICROZONAZIONE

CARTA GEOLOGICO-TECNICA



N.B.:

SI ASSEVERA LA TOTALE CONGRUENZA E CONFORMITA' DEL DATO E SI PROPONE INTEGRALMENTE QUALE ELABORATO FACENTE PARTE INTEGRANTE DEL PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI

Legenda

Terreni di copertura

- Terreni contenenti resti di attività antropica
- GM Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
- SW Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
- SM Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
- ML Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

Ambienti genetico-deposizionali

Ambiente di versante

ec : eluvi/colluvi
fd : falda detritica

Ambiente fluvio-lacustre

in : bacino (piana) intramontano
ca : conoide alluvionale

Substrato geologico

- LPS Lapideo, stratificato
- NR Substrato geologico non rigido
- NRS Substrato geologico non rigido, stratificato
- SF Substrato geologico molto fratturato o alterato

Instabilità di versante

- scorrimento ; attivo
- scorrimento ; quiescente

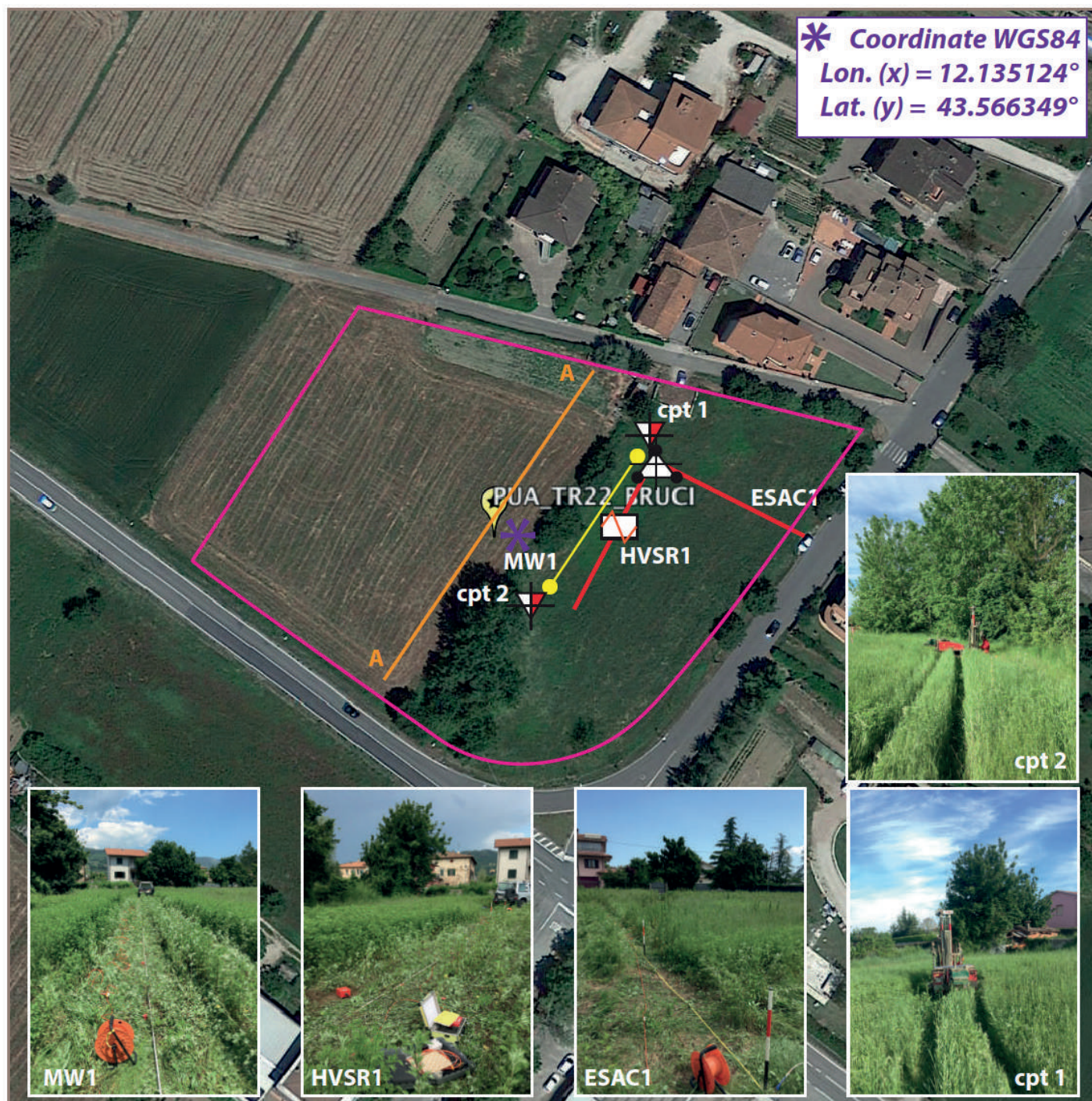


Dott. Geol. Gianni AMANTINI

GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)

**PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI****TAVOLA N.1****CARTA DELLE INDAGINI E DATI DI BASE**

(Reg. Reg. 5/R)

cartografia non georeferenziata e fuori scala

Legenda**Indagini Geologiche in Sito**

- Sondaggio con con carotaggio continuo
- Sondaggio con piezometro
- Sondaggio con inclinometro
- Trincea o Pozzetto Esplorativo
- Prova Penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- Prova Penetrometrica statica con punta elettrica (CPTE)
- Prova Penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)
- Prova Penetrometrica dinamica media (DPM)
- Piezometro tipo Norton

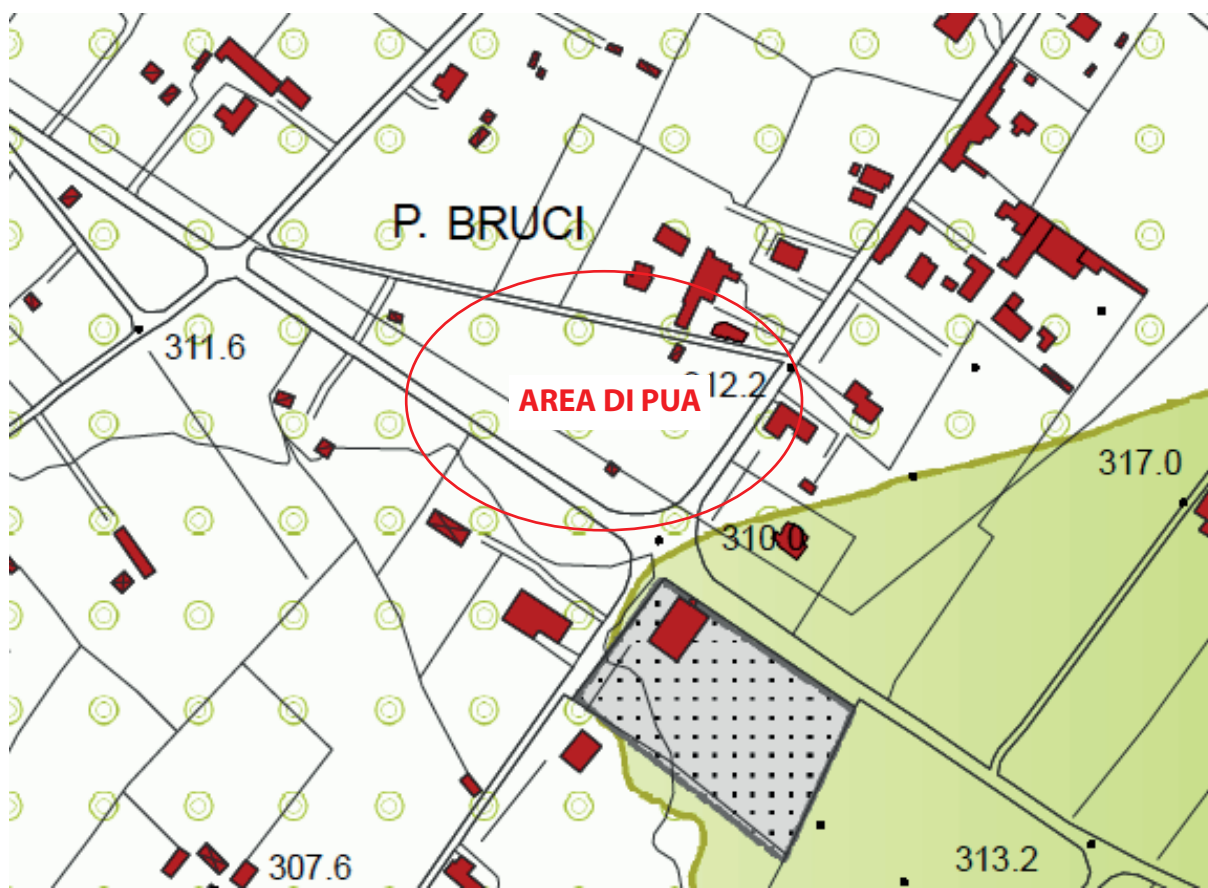
Indagini Geofisiche

- Profilo sismico a Rifrazione
- Profilo sismico con Onde di Rayleigh (MASW)
- Profilo sismico a Riflessione (MARW)
- Array sismico ESAC (antenna sismica)
- Prova sismica In foro tipo Down Hole
- Stazione microtremore a stazione singola (HVS1)
eseguita con sensore a 4.5 Hz
- Stazione microtremore a stazione singola (HVS1)
eseguita con sensore a 0.5 Hz

A A - Traccia di Sezione Geologica

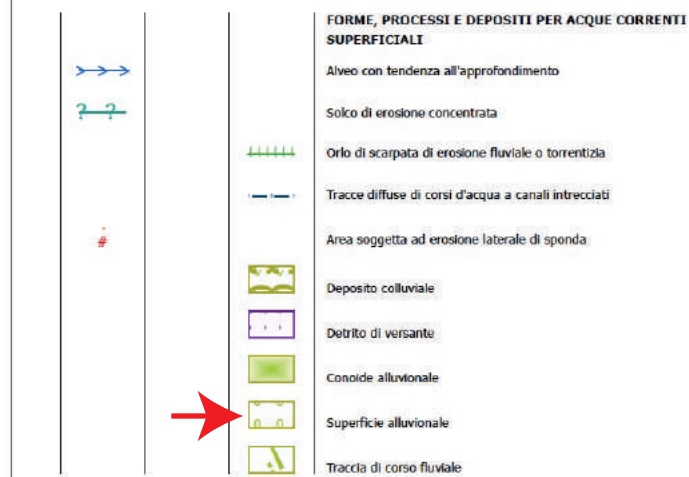
- Perimetro P.U.A. TR22 Bruci

Stralcio Cartografie del P.S.
CARTA GEOMORFOLOGICA



N.B.:

**SI ASSEVERA LA TOTALE CONGRUENZA E CONFORMITA' DEL DATO E SI PROPONE INTEGRALMENTE
QUALE ELABORATO FACENTE PARTE INTEGRANTE DEL PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI**



Dott. Geol. Gianni AMANTINI

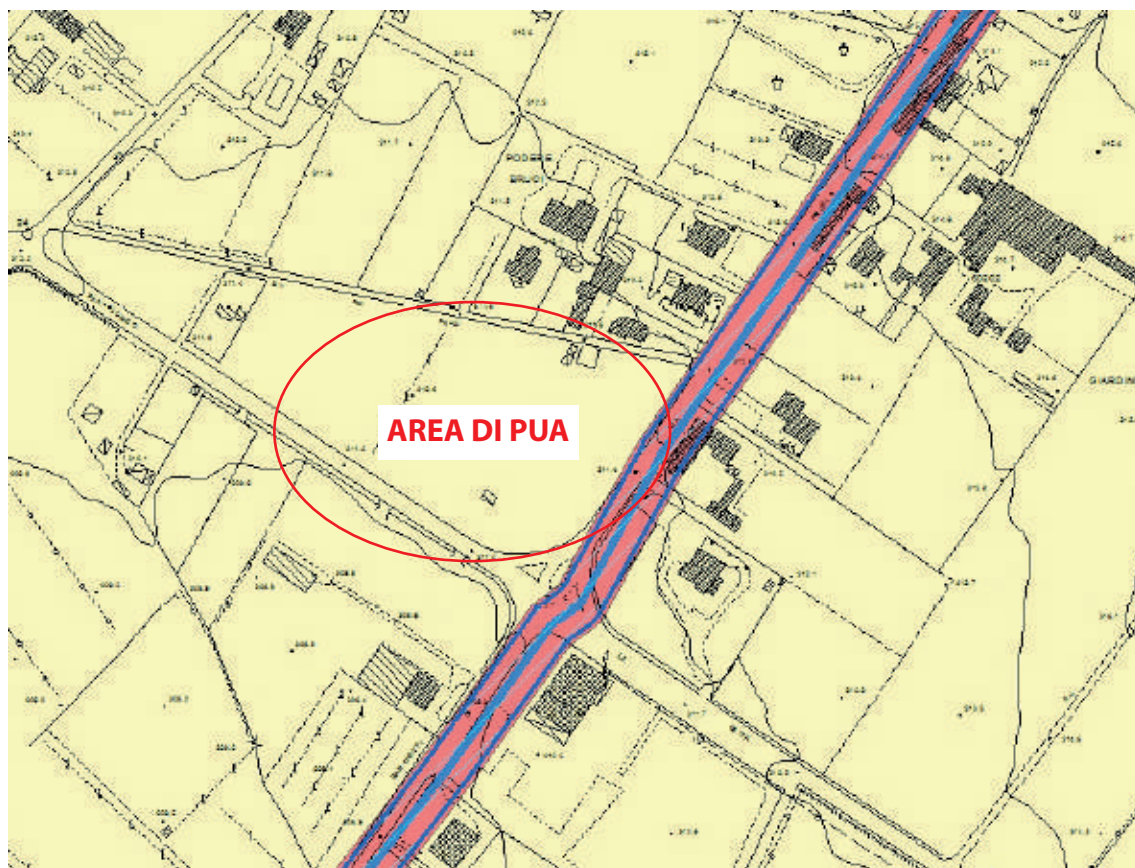
GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

~ Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN) ~

Stralcio Cartografie del P.S.

CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA



N.B.:

TALE ELABORATO È SUPERATO IN QUANTO NEL RISPETTO DEL NUOVO REGOLAMENTO REGIONALE 5/R E SULLA BASE DEI RISULTATI DELLA MODELLAZIONE DEL 2016, L'AREA DI PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI RICADE IN PERICOLOSITÀ IDRAULICA P1-ALLUVIONI RARE O DI ESTREMA INTENSITÀ (V. TAVOLA N.2)



Legenda

CLASSI DI PERICOLOSITÀ AI SENSI DEL D.P.G.R. N° 53/R

I.4 - Pericolosità Idraulica molto elevata

Aree interessate da allagamenti per eventi con $tr \leq 30$ anni

I.3 - Pericolosità Idraulica elevata

Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < tr \leq 200$ anni

I.2 - Pericolosità Idraulica media

Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < tr \leq 500$ anni

I.1 - Pericolosità Idraulica bassa

Aree collinari prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:
a) non vi sono notizie storiche di inondazioni
b) sono in situazione di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Limiti delle fasce fluviali ai sensi del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico dell'AdB del Fiume Tevere e corrispondenza con il PGRA del Distretto dell'Appennino Centrale

P.A.I.	P.G.R.A.
FASCIA A	P3 - elevata probabilità (alluvioni frequenti)
FASCIA B	P2 - media probabilità (alluvioni poco frequenti)
FASCIA C	P1 - bassa probabilità (alluvioni rare di estrema intensità)

L.R. 21/2012 Tutela dei 10 ml dai corsi d'acqua (L.R. 60 del 28/10/2013, art. 11)

--- Tratto di reticolo idrografico a geometria sotterranea (DCRT 09/2015 del 10.02.2015)

Dott. Geol. Gianni AMANTINI

GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

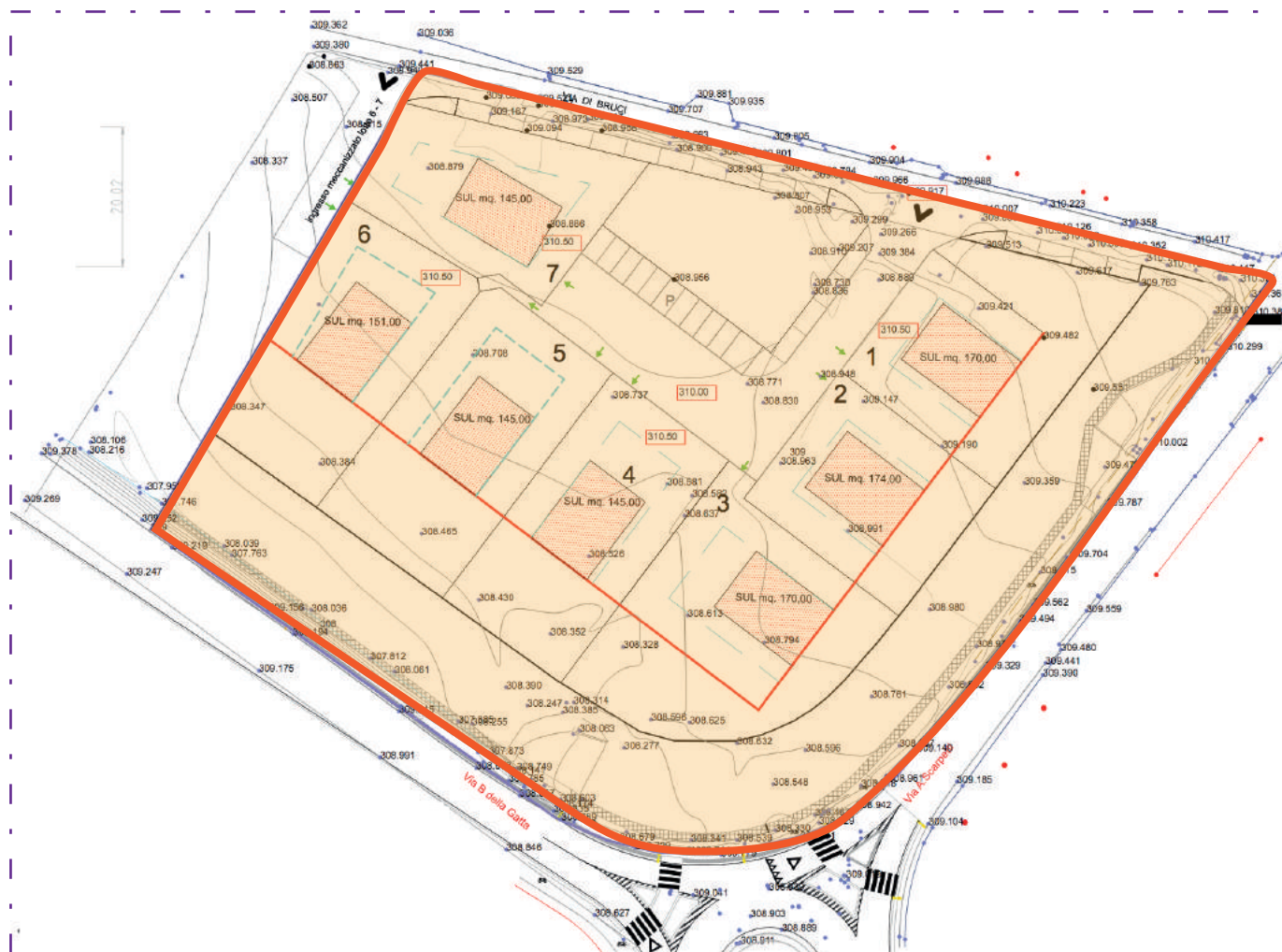
Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)

PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI
TAVOLA N.2
CARTA DELLE PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONI
 (Reg. Reg. 5/R)

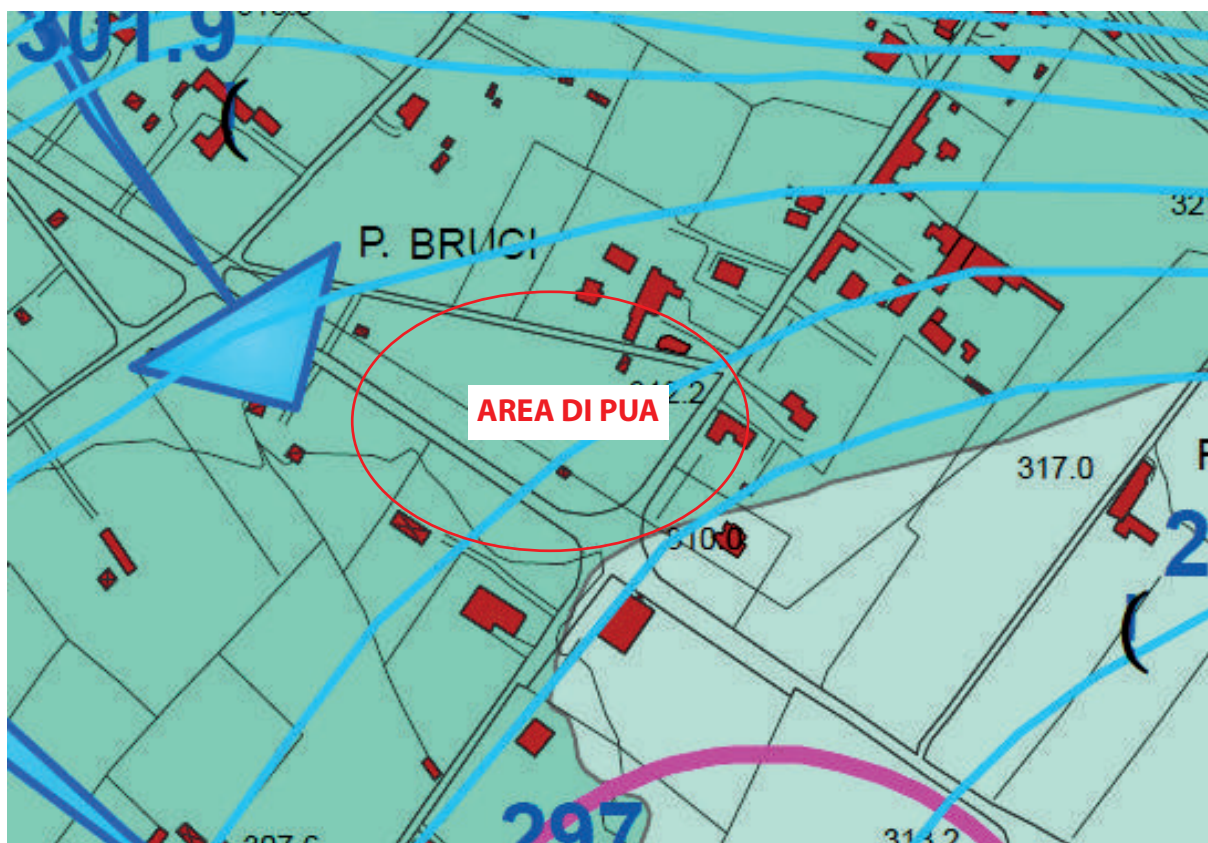
Legenda

AREE A PERICOLOSITÀ PER:

- Alluvioni Frequenti - P3
- Alluvioni Poco Frequenti - P2
- Alluvioni Rare o di Estrema intensità - P1

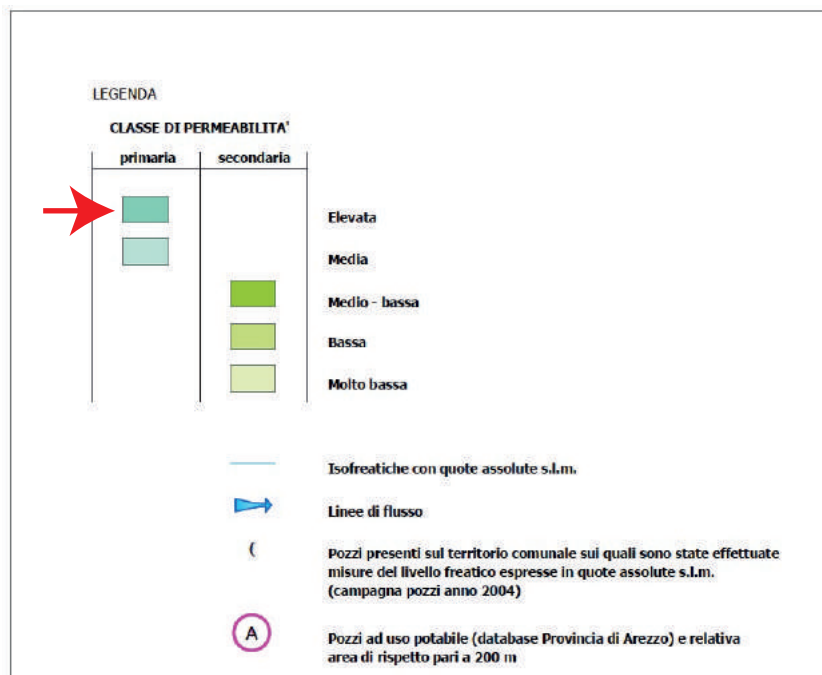


Stralcio Cartografie del P.S. CARTA IDROGEOLOGICA



N.B.:

**SI ASSEVERA LA TOTALE CONGRUENZA E CONFORMITA' DEL DATO E SI PROPONE INTEGRALMENTE
QUALE ELABORATO FACENTE PARTE INTEGRANTE DEL PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI**

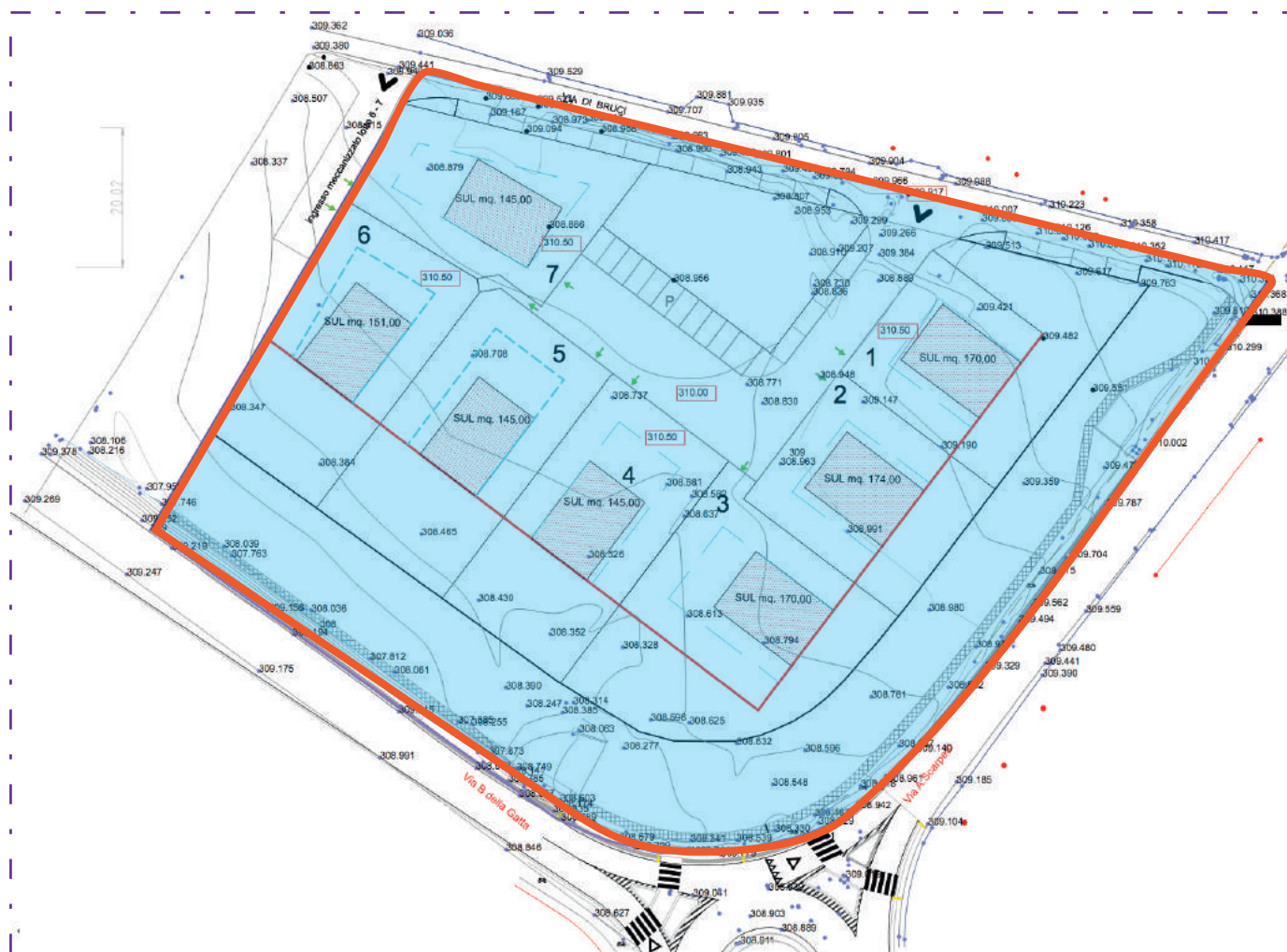


Dott. Geol. Gianni AMANTINI

GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)



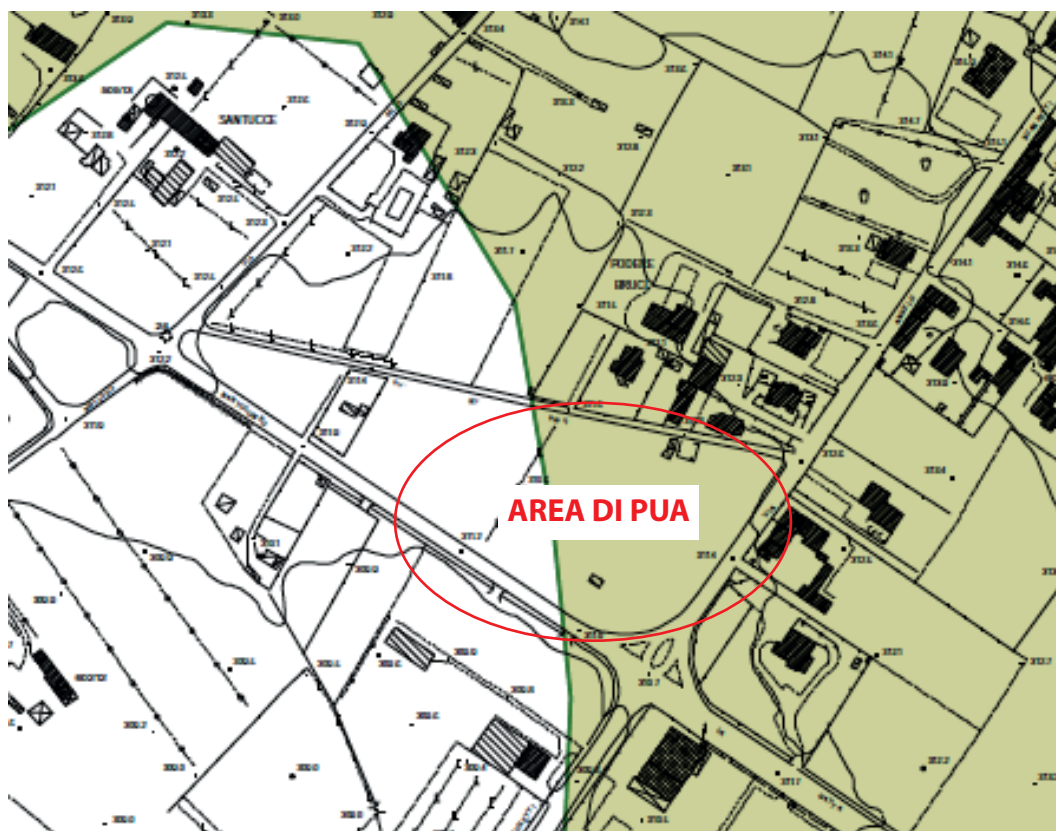
Legenda

AREE A PERICOLOSITÀ GEOLOGICA:

- Molto Elevata - G.4
- Elevata - G.3
- Media - G.2
- Bassa - G.1 ←

Stralcio Cartografie STUDI di MICROZONAZIONE

CARTA delle M.O.P.S.



N.B.:

SI ASSEVERA LA TOTALE CONGRUENZA E CONFORMITA' DEL DATO E SI PROPONE INTEGRALMENTE QUALE ELABORATO FACENTE PARTE INTEGRANTE DEL PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI

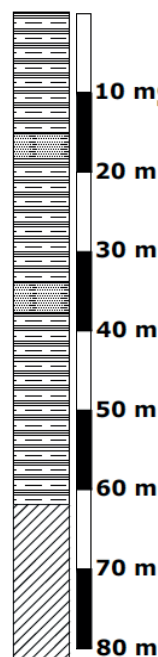
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Zona 12



Limi argillosi con livelli sabbiosi e sabbioso-gliaiosi da submetrici a metrici (50-100 m) (consistente)

Zona 12



Dott. Geol. Gianni AMANTINI

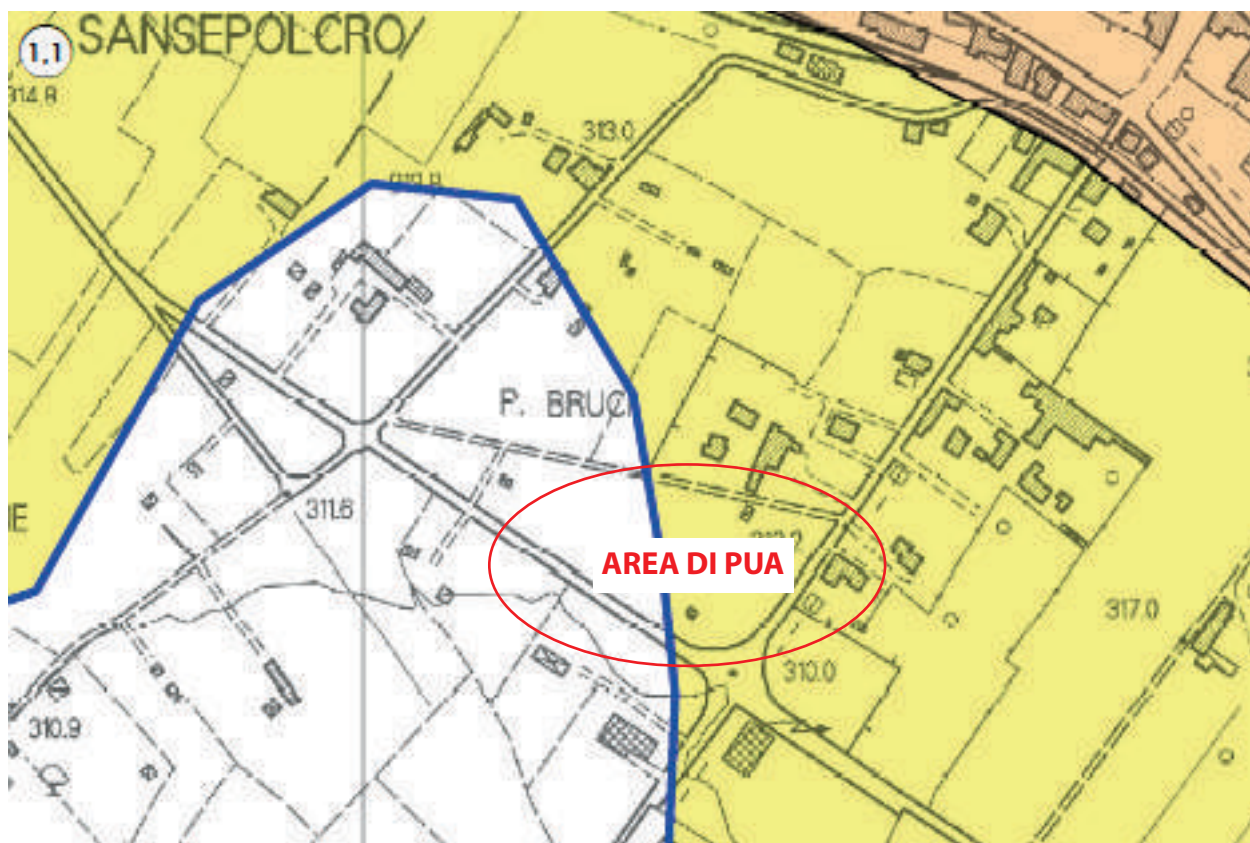
GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)

Stralcio Cartografie STUDI di MICROZONAZIONE

FATTORE DI AMPLIFICAZIONE FH_a (0,1-0,5 s)

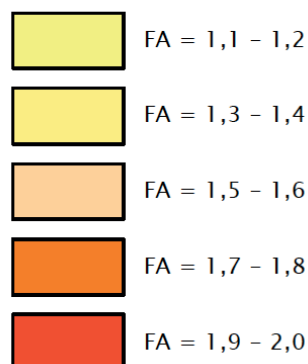


N.B.:

SI ASSEVERA LA TOTALE CONGRUENZA E CONFORMITA' DEL DATO E SI PROPONE INTEGRALMENTE QUALE ELABORATO FACENTE PARTE INTEGRANTE DEL PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



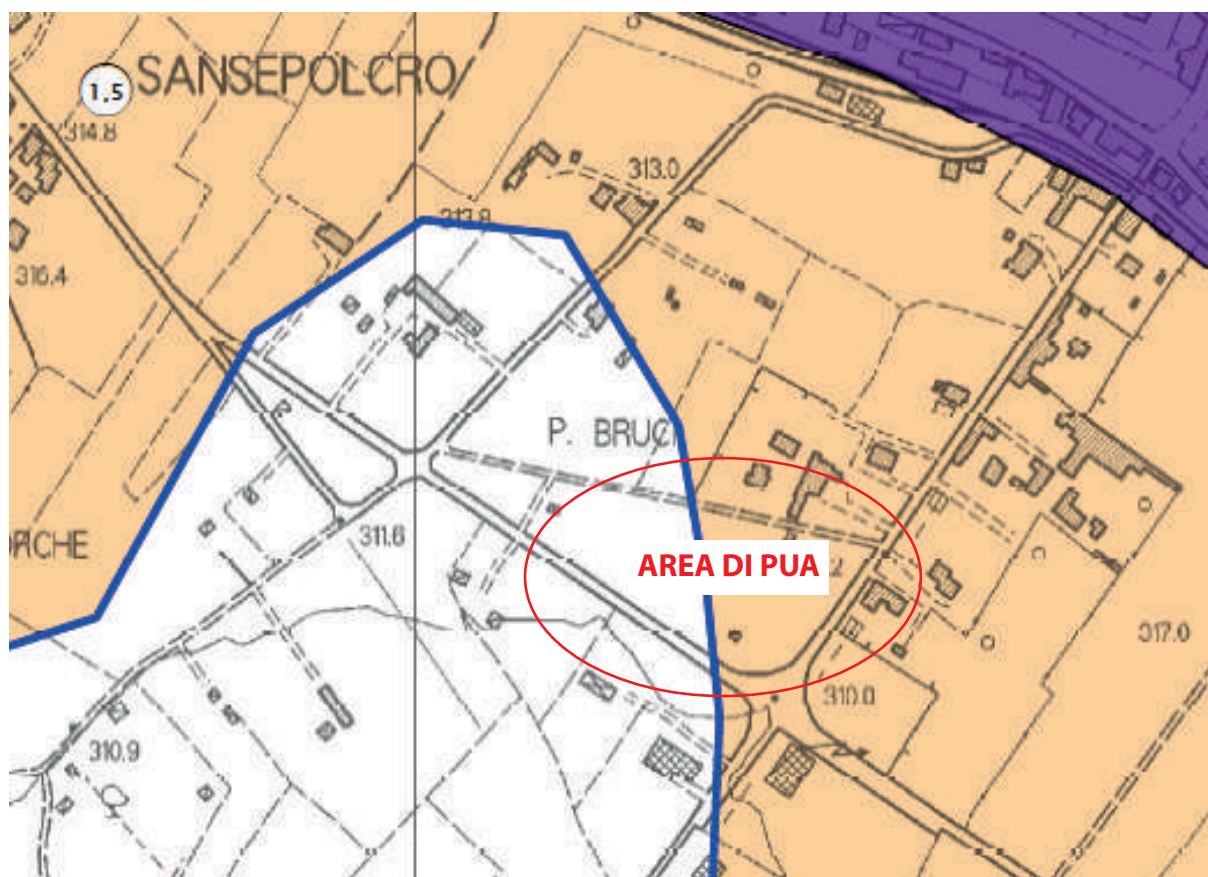
Dott. Geol. Gianni AMANTINI

GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)

Stralcio Cartografie STUDI di MICROZONAZIONE FATTORE DI AMPLIFICAZIONE FH_a (0,5-1,0 s)



N.B.:

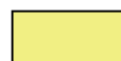
SI ASSEVERA LA TOTALE CONGRUENZA E CONFORMITA' DEL DATO E SI PROPONE INTEGRALMENTE QUALE ELABORATO FACENTE PARTE INTEGRANTE DEL PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI




Zone stabili


 $FA = 1,0$

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

 $FA = 1,1 - 1,2$

  $FA = 1,5 - 1,6$

 $FA = 1,9 - 2,0$

 $FA = 2,3 - 2,4$

Dott. Geol. Gianni AMANTINI

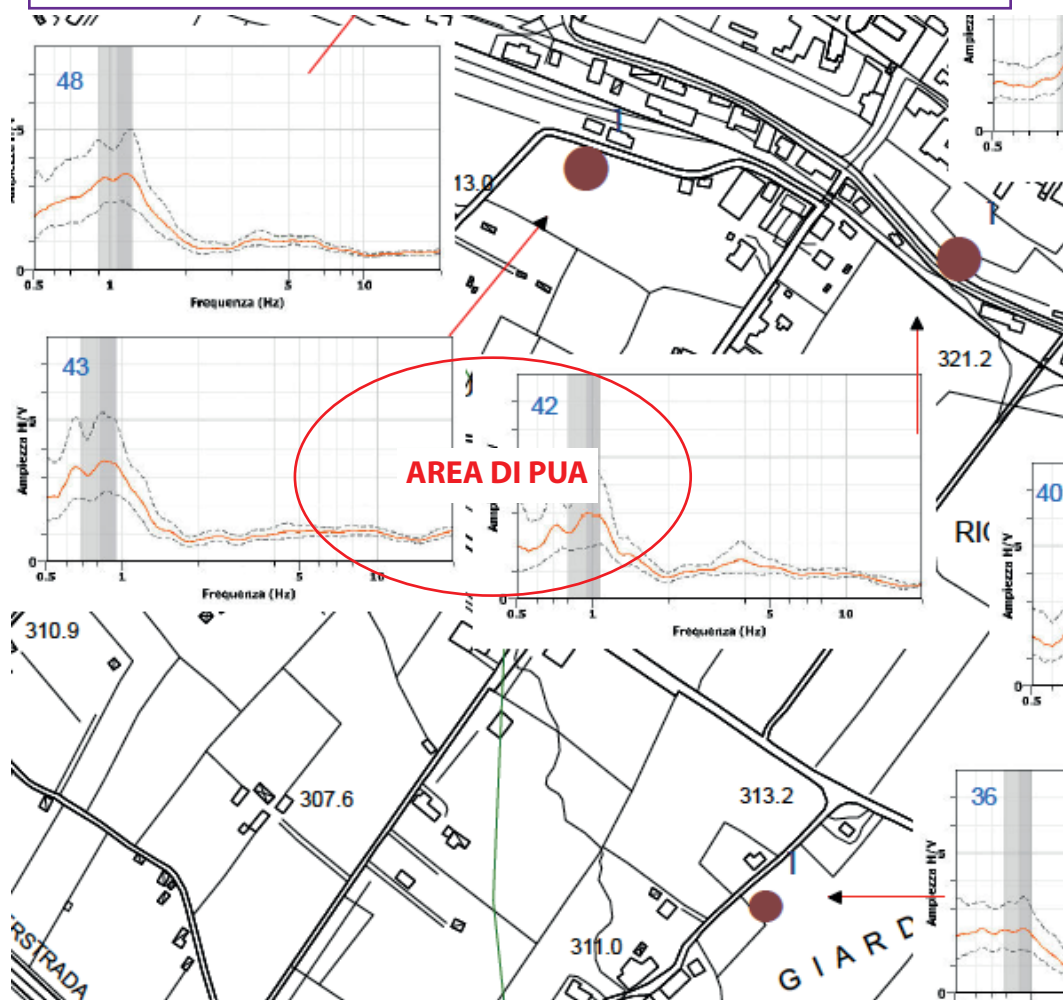
GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)

Stralcio Cartografie STUDI di MICROZONAZIONE

CARTA delle Frequenze Fondamentali



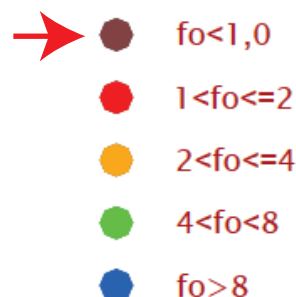
N.B.:

SI ASSEVERA LA TOTALE CONGRUENZA E CONFORMITA' DEL DATO E SI PROPONE INTEGRALMENTE QUALE ELABORATO FACENTE PARTE INTEGRANTE DEL PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI



Legenda

f_0 (Hz) (scala di colori)



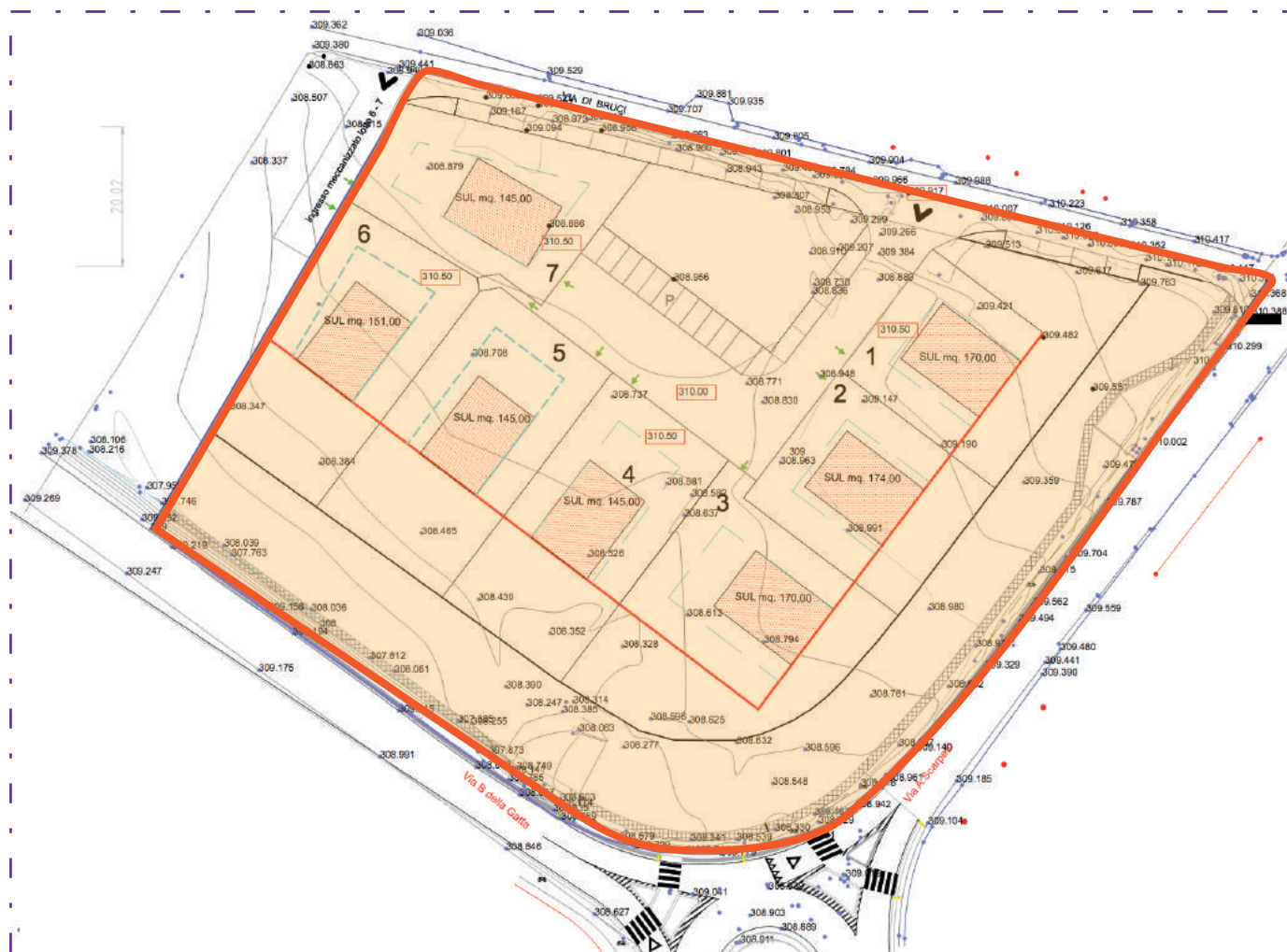
Dott. Geol. Gianni AMANTINI

GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it

Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimo n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)

PIANO ATTUATIVO TR22 - BRUCI
TAVOLA N.4
CARTA DELLE PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE
 (Reg. Reg. 5/R)



Legenda

AREE A PERICOLOSITÀ SISMICA:

- Molto Elevata - S4
- Elevata - S3 ←
- Media - S2
- Bassa - S1

TAVOLA N.5
SCHEDA DI FATTIBILITÀ
(Reg. Reg. 5/R)

CRITERI DI FATTIBILITÀ IN RELAZIONE:

AGLI ASPETTI GEOLOGICI

- sulla base delle indagini condotte non si ritiene necessario dettare particolari condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere geomorfologico.
In fase di progettazione esecutiva, internamente ad ogni singolo lotto, dovranno comunque essere eseguite ulteriori indagini geologiche, commisurate all'importanza delle opere e in ottemperanza alle normative nazionali e regionali.

AL RISCHIO DI ALLUVIONI

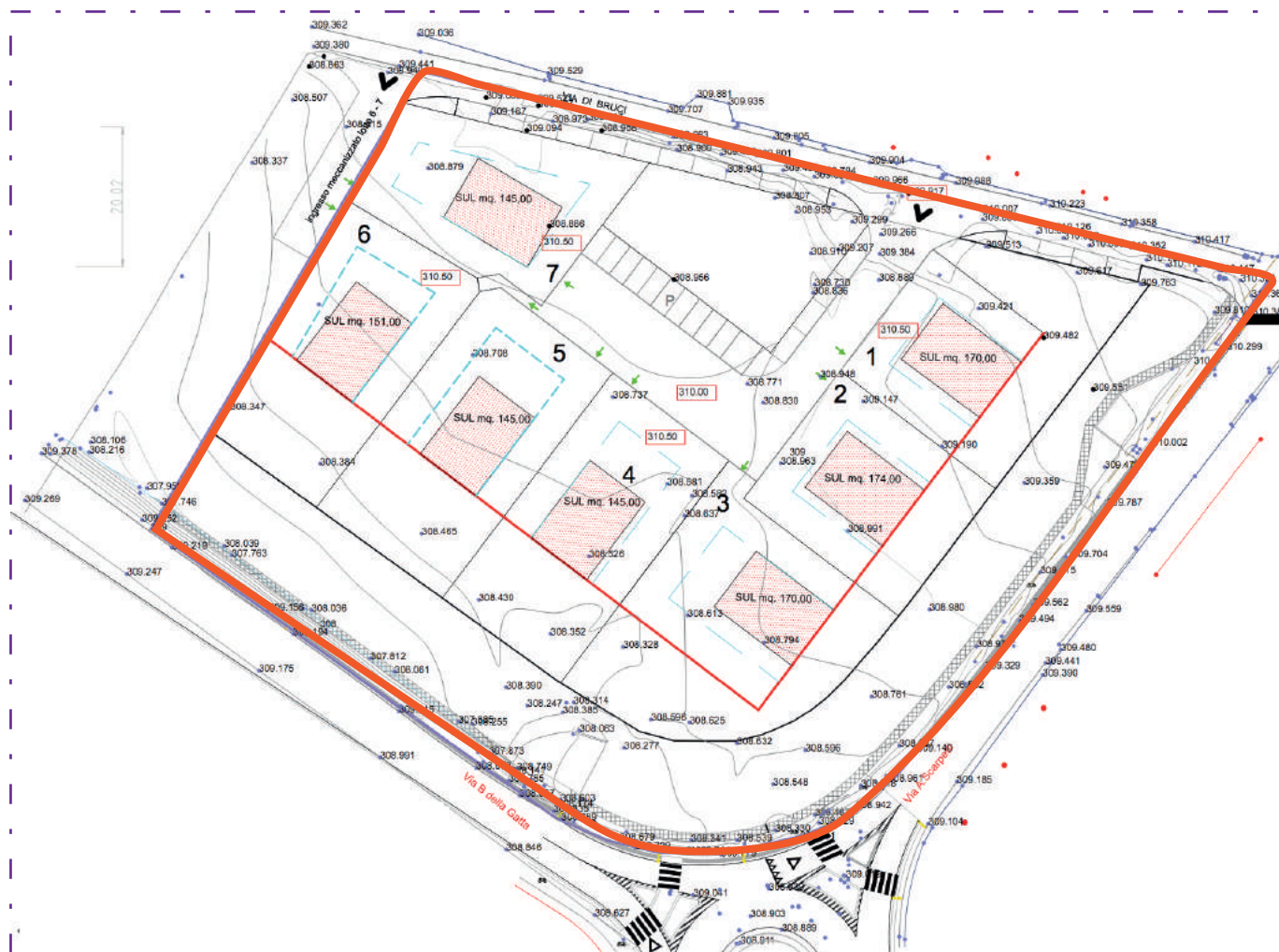
- non si ritiene necessario dettare particolari condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere idraulico.

ALLE PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE

- non si ritiene necessario dettare particolari condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere idraulico.

AGLI ASPETTI SISMICI

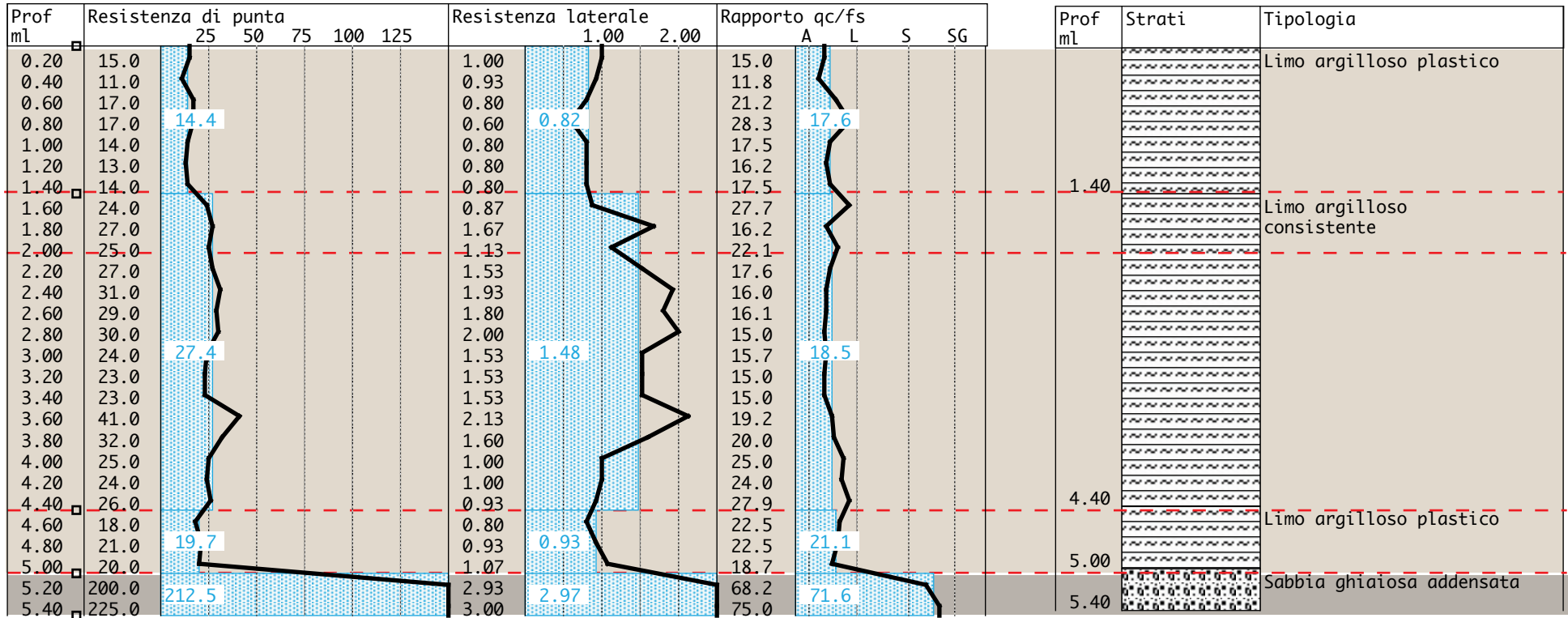
- non si ritiene necessario dettare particolari condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere sismico se non il rigoroso rispetto delle norme nazionali e regionali.



PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Grafico Discretizzato con Interpretazione Litologica secondo "Searle"

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.) n°1 -- Penetrometro in uso: PAGANI TG 63/200 kN
 Località: SANSEPOLCRO - TR 22 Via Bruci -- Data: maggio 2019
 Coordinate Geografiche (WGS84): 43,566349° - 12,135124°



TENSIONI TOTALI (UU)



- livello complessivamente valutabile a puramente coesivo



- livello complessivamente valutabile francamente granulare

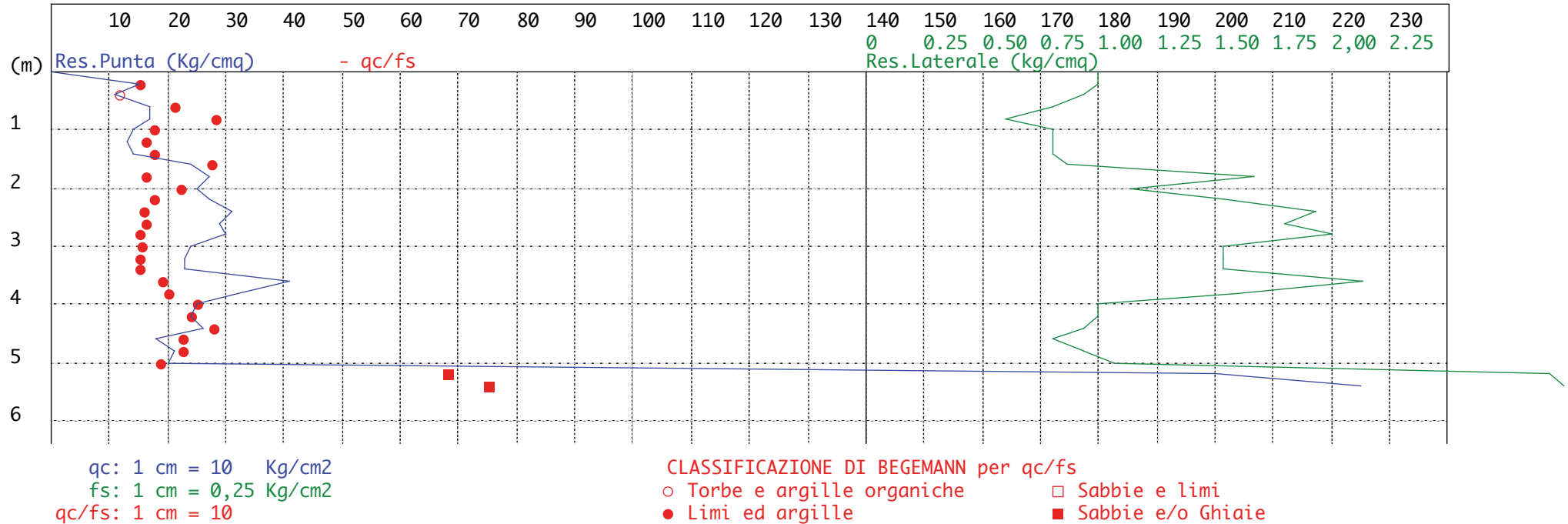
PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Grafici Standard - "A.G.I."

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.) n°1 -- Penetrometro in uso: PAGANI TG 63/200 kN

Località: SANSEPOLCRO - TR 22 Via Bruci -- Data: maggio 2019

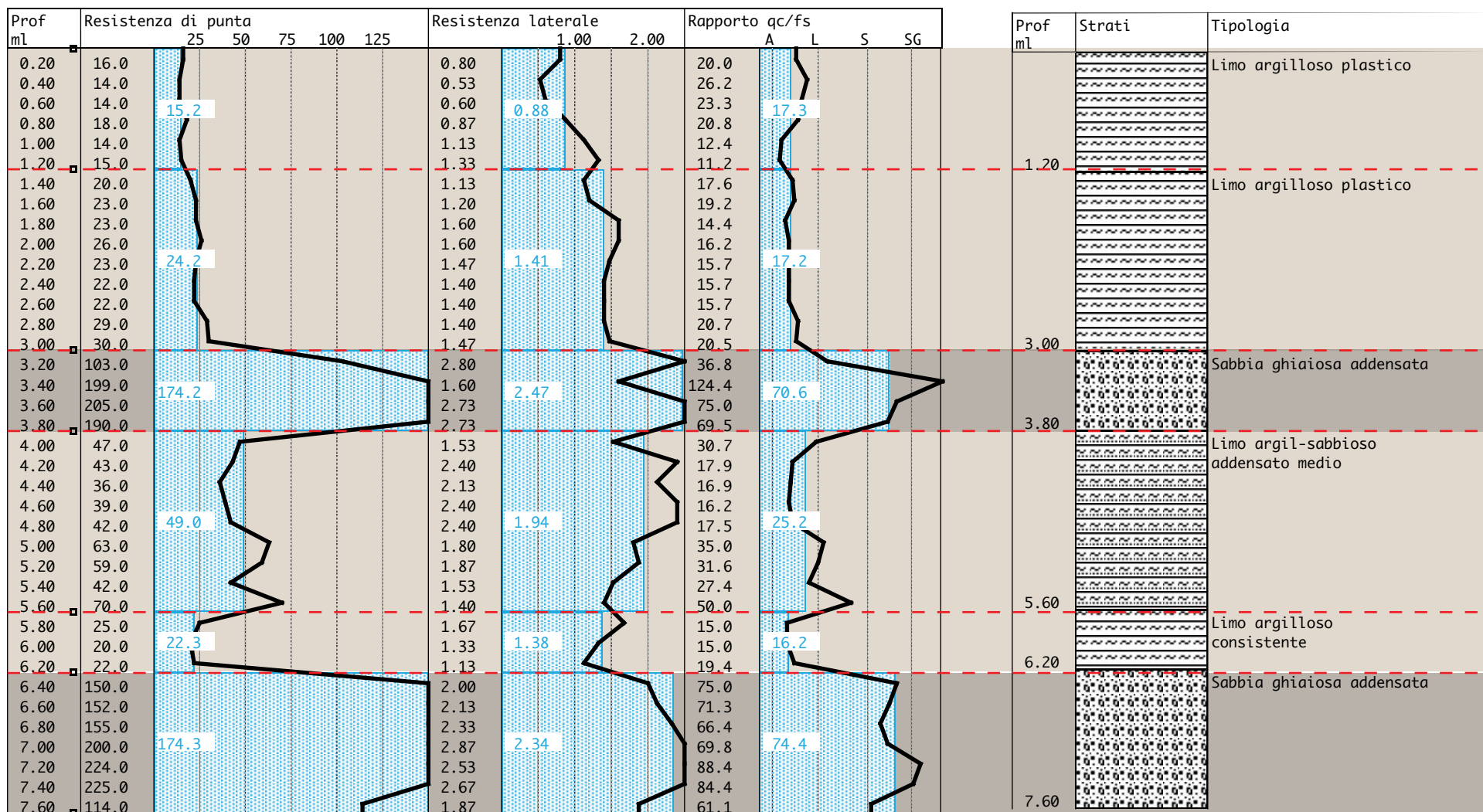
Coordinate Geografiche (WGS84): 43,566349° - 12,135124°



PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Grafico Discretizzato con Interpretazione Litologica secondo "Searle"

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.) n°2 -- Penetrometro in uso: PAGANI TG 63/200 kN
Località: SANSEPOLCRO - TR 22 Via Bruci -- Data: maggio 2019
Coordinate Geografiche (WGS84): 43,566349° - 12,135124°



TENSIONI TOTALI (UU)

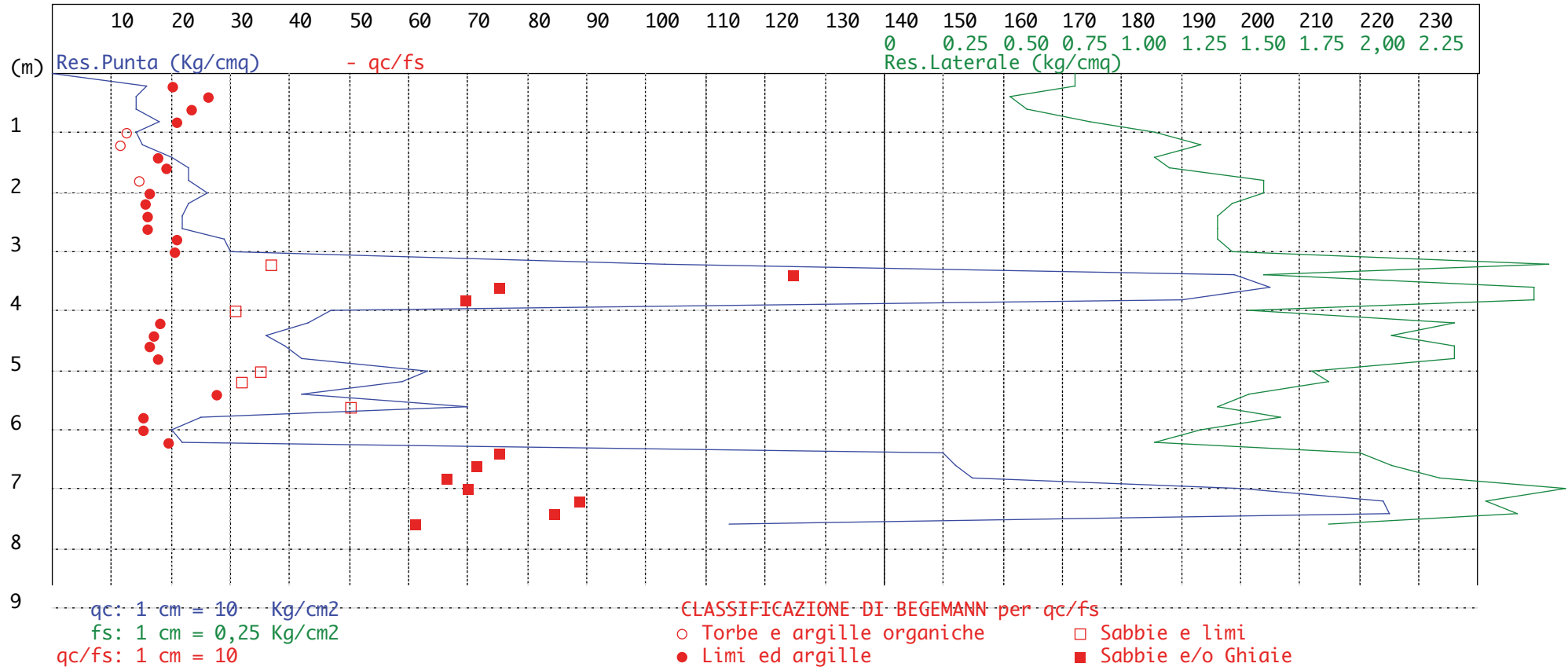
- livello complessivamente valutabile a puramente coesivo

- livello complessivamente valutabile francamente granulare

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

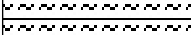
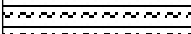


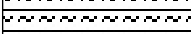
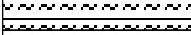
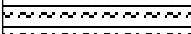


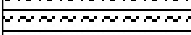
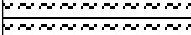




Grafici Standard - "A.G.I."

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.) n°2 -- Penetrometro in uso: PAGANI TG 63/200 kN
Località: SANSEPOLCRO - TR 22 Via Bruci -- Data: maggio 2019
Coordinate Geografiche (WGS84): 43,566349° - 12,135124°



PROVA CPT n.1
Interpretazione litologica secondo Searle discretizzata
Valori Geotecnici medi per ogni singolo livello

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.) n°1 -- Penetrometro in uso: PAGANI TG 63/200 kN
 Località: SANSEPOLCRO - TR 22 Via Bruci -- Data: maggio 2019
 Coordinate Geografiche (WGS84): 43,566349° - 12,135124°

Prof mL	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg
1.40		Limo argilloso plastico	1808	1808	0.253	0.721	0	0	0.014001
									
									
									
									
		Limo argilloso consistente	1904	1904	0.824	1.370	0	0	0.012165
									
									
									
									
		Limo argilloso plastico	1854	1854	0.935	0.983	0	0	0.016315
4.40									
5.00									
		Sabbia ghiaiosa addensata	1900	1900	1.011	0.000	29	94	0.003137
5.40									

PROVA CPT n.1
Interpretazione litologica secondo Searle non discretizzata
Valori Geotecnici relativi alle singole letture di qc

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.) n°1 -- Penetrometro in uso: PAGANI TG 63/200 kN
 Località: SANSEPOLCRO - TR 22 Via Bruci -- Data: maggio 2019
 Coordinate Geografiche (WGS84): 43,566349° - 12,135124°

Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg
0.20		Arailla limosa plastica	1814	1814	0.036	0.750	0	0	0.013333
0.40		Arailla limosa plastica	1767	1767	0.072	0.550	0	0	0.018182
0.60		Limo arailloso plastico	1832	1832	0.108	0.850	0	0	0.014524
0.80		Limo arail-sabbioso	1832	1832	0.145	0.850	0	0	0.014524
1.00		Limo arailloso plastico	1803	1803	0.181	0.700	0	0	0.014006
1.20		Limo arailloso plastico	1792	1792	0.217	0.650	0	0	0.014114
1.40		Limo arailloso plastico	1803	1803	0.253	0.700	0	0	0.014006
1.60		Limo arail-sabbioso	1884	1884	0.291	1.200	0	0	0.013889
1.80		Limo arailloso	1901	1901	0.329	1.350	0	0	0.012346
2.00		Limo arail-sabbioso	1890	1890	0.366	1.250	0	0	0.013333
2.20		Limo arailloso	1901	1901	0.404	1.350	0	0	0.012346
2.40		Limo arailloso	1922	1922	0.443	1.550	0	0	0.010753
2.60		Limo arailloso	1912	1912	0.481	1.450	0	0	0.011494
2.80		Arailla limosa	1917	1917	0.519	1.500	0	0	0.006667
3.00		Arailla limosa	1884	1884	0.557	1.200	0	0	0.008333
3.20		Arailla limosa	1878	1878	0.595	1.150	0	0	0.008696
3.40		Arailla limosa	1878	1878	0.632	1.150	0	0	0.008696
3.60		Limo arailloso molto	1964	1964	0.672	2.050	0	0	0.008130
3.80		Limo arailloso	1927	1927	0.710	1.600	0	0	0.010417
4.00		Limo arail-sabbioso	1890	1890	0.748	1.250	0	0	0.013333
4.20		Limo arail-sabbioso	1884	1884	0.786	1.200	0	0	0.013889
4.40		Limo arail-sabbioso	1896	1896	0.823	1.300	0	0	0.012821
4.60		Limo arail-sabbioso	1841	1841	0.860	0.900	0	0	0.015015
4.80		Limo arail-sabbioso	1864	1864	0.898	1.050	0	0	0.015873
5.00		Limo arailloso plastico	1857	1857	0.935	1.000	0	0	0.016667
5.20		Sabbia mediamente	1750	1750	0.970	0.000	29	92	0.003333
5.40		Sabbia ahiaiosa addensata	1900	1900	1.008	0.000	29	96	0.002963

PROVA CPT n.2

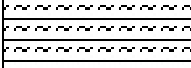


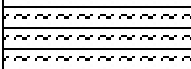
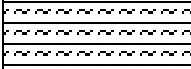
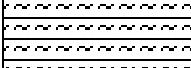






Interpretazione litologica secondo Searle discretizzata

Valori Geotecnici medi per ogni singolo livello

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.) n°2 -- Penetrometro in uso: PAGANI TG 63/200 kN

Località: SANSEPOLCRO - TR 22 Via Bruci -- Data: maggio 2019

Coordinate Geografiche (WGS84): 43,566349° - 12,135124°

Prof mL	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg
1.20		Limo argilloso plastico	1815	1815	0.218	0.758	0	0	0.014053
		Limo argilloso plastico							
3.00		Limo argilloso plastico	1885	1885	0.557	1.211	0	0	0.013761
		Limo argilloso plastico							
3.80		Sabbia ghiaiosa addensata	1900	1900	0.709	0.000	29	93	0.003826
		Sabbia ghiaiosa addensata							
5.60		Limo argil-sabbioso addensato medio	1990	1990	1.067	2.450	0	0	0.006803
		Limo argil-sabbioso addensato medio							
6.20		Limo argilloso consistente	1873	1873	1.180	1.117	0	0	0.014925
		Limo argilloso consistente							
7.60		Sabbia ghiaiosa addensata	1900	1900	1.446	0.000	27	80	0.003825
		Sabbia ghiaiosa addensata							

PROVA CPT n.2 **Interpretazione litologica secondo Searle non discretizzata** **Valori Geotecnici relativi alle singole letture di qc**

PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.) n°2 -- Penetrometro in uso: PAGANI TG 63/200 kN
 Località: SANSEPOLCRO - TR 22 Via Bruci -- Data: maggio 2019
 Coordinate Geografiche (WGS84): 43,566349° - 12,135124°

Prof m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cmq	FI °	DR %	Mv cm2/Kg
0.20		Limo arailloso plastico	1823	1823	0.036	0.800	0	0	0.014205
0.40		Limo arail-sabbioso	1803	1803	0.073	0.700	0	0	0.014006
0.60		Limo arail-sabbioso	1803	1803	0.109	0.700	0	0	0.014006
0.80		Limo arailloso plastico	1841	1841	0.145	0.900	0	0	0.015015
1.00		Arailla limosa plastica	1803	1803	0.181	0.700	0	0	0.014286
1.20		Arailla limosa plastica	1814	1814	0.218	0.750	0	0	0.013333
1.40		Limo arailloso plastico	1857	1857	0.255	1.000	0	0	0.016667
1.60		Limo arailloso plastico	1878	1878	0.292	1.150	0	0	0.014493
1.80		Arailla limosa	1878	1878	0.330	1.150	0	0	0.008696
2.00		Limo arailloso	1896	1896	0.368	1.300	0	0	0.012821
2.20		Arailla limosa	1878	1878	0.405	1.150	0	0	0.008696
2.40		Arailla limosa	1871	1871	0.443	1.100	0	0	0.009091
2.60		Arailla limosa	1871	1871	0.480	1.100	0	0	0.009091
2.80		Limo arailloso	1912	1912	0.519	1.450	0	0	0.011494
3.00		Limo arailloso	1917	1917	0.557	1.500	0	0	0.011111
3.20		Sabbia arail-limosa	1750	1750	0.592	0.000	28	78	0.006472
3.40		Ghiaia mediamente	1800	1800	0.628	0.000	30	100	0.003350
3.60		Sabbia ahiaiosa addensata	1900	1900	0.666	0.000	30	100	0.003252
3.80		Sabbia mediamente	1750	1750	0.701	0.000	30	97	0.003509
4.00		Sabbia arail-limosa	1700	1700	0.735	0.000	24	47	0.014184
4.20		Limo arailloso molto	1971	1971	0.774	2.150	0	0	0.007752
4.40		Limo arailloso	1944	1944	0.813	1.800	0	0	0.009259
4.60		Limo arailloso molto	1956	1956	0.852	1.950	0	0	0.008547
4.80		Limo arailloso molto	1967	1967	0.892	2.100	0	0	0.007937
5.00		Sabbia arail-limosa	1750	1750	0.927	0.000	24	53	0.010582
5.20		Sabbia arail-limosa	1700	1700	0.961	0.000	24	50	0.011299
5.40		Limo arail-sabbioso	1967	1967	1.000	2.100	0	0	0.007937
5.60		Sabbia lim. mediamente	1750	1750	1.035	0.000	24	54	0.007143
5.80		Arailla limosa	1890	1890	1.073	1.250	0	0	0.008000
6.00		Arailla limosa	1857	1857	1.110	1.000	0	0	0.010000
6.20		Limo arailloso plastico	1871	1871	1.147	1.100	0	0	0.015152
6.40		Sabbia ahiaiosa addensata	1900	1900	1.185	0.000	27	78	0.004444
6.60		Sabbia ahiaiosa addensata	1900	1900	1.223	0.000	27	78	0.004386
6.80		Sabbia mediamente	1750	1750	1.258	0.000	27	78	0.004301
7.00		Sabbia mediamente	1750	1750	1.293	0.000	27	87	0.003333
7.20		Sabbia ahiaiosa addensata	1900	1900	1.331	0.000	28	90	0.002976
7.40		Sabbia ahiaiosa addensata	1900	1900	1.369	0.000	28	90	0.002963
7.60		Sabbia mediamente	1750	1750	1.404	0.000	25	66	0.005848

STATION INFORMATION

Station code: -

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS05PACK (integrated 0.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: HVSr N.1

Address: P.U.A. TR 22 BRUCI - località Sansepolcro (AR)

Latitude: 43.566349

Longitude: 12.135124

Coordinate system: WGS84

Elevation: 314 m s.l.m.

Weather: soleggiato in assenza di vento

Notes: Segnale isotropico e stazionario in assenza di disturbi elettromagnetici (artefatti).
I Criteri SESAME sono verificati.
E' presente un picco chiaro alle basse frequenze ascrivibile alla CLASSE A1 (Albarelli et al., 2011), idoneo per inversione numerica.
Dal profilo Vs/z derivante dall'inversione con fit vincolato, si stima il Bedrock Sismico a 190 m dal p.c.

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2019/06/04 15:29:03

Recording length: 37.12 min

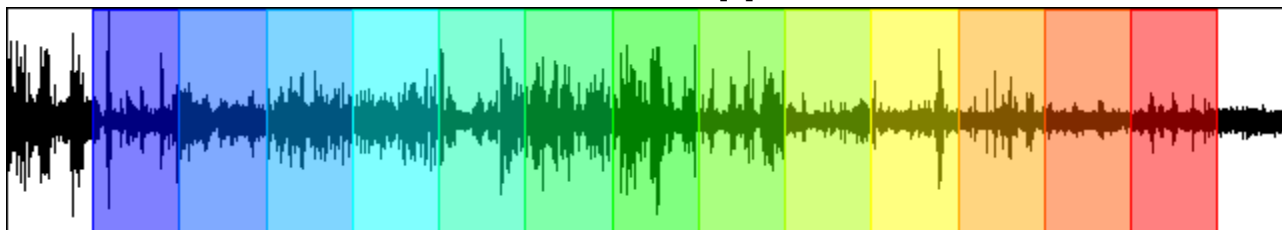
Windows count: 13

Average windows length: 150

Signal coverage: 87.56%

104288 Counts

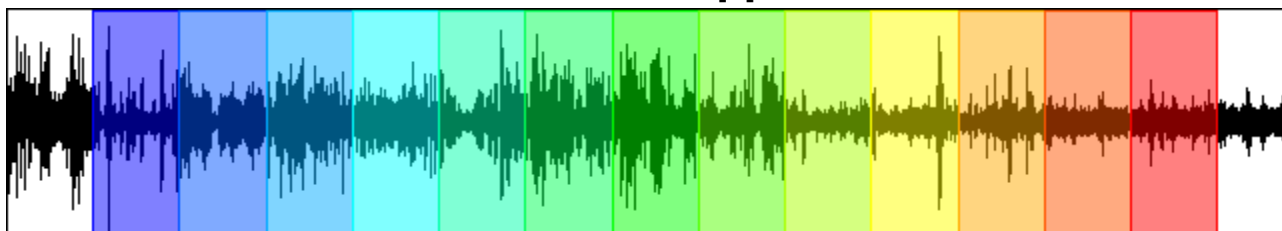
CHANNEL #1 [V]



-89661 Counts

79827 Counts

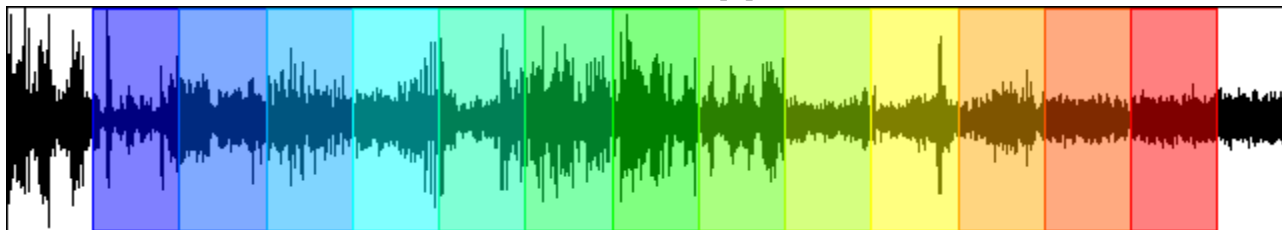
CHANNEL #2 [N]



-92441 Counts

77127 Counts

CHANNEL #3 [E]



-74784 Counts

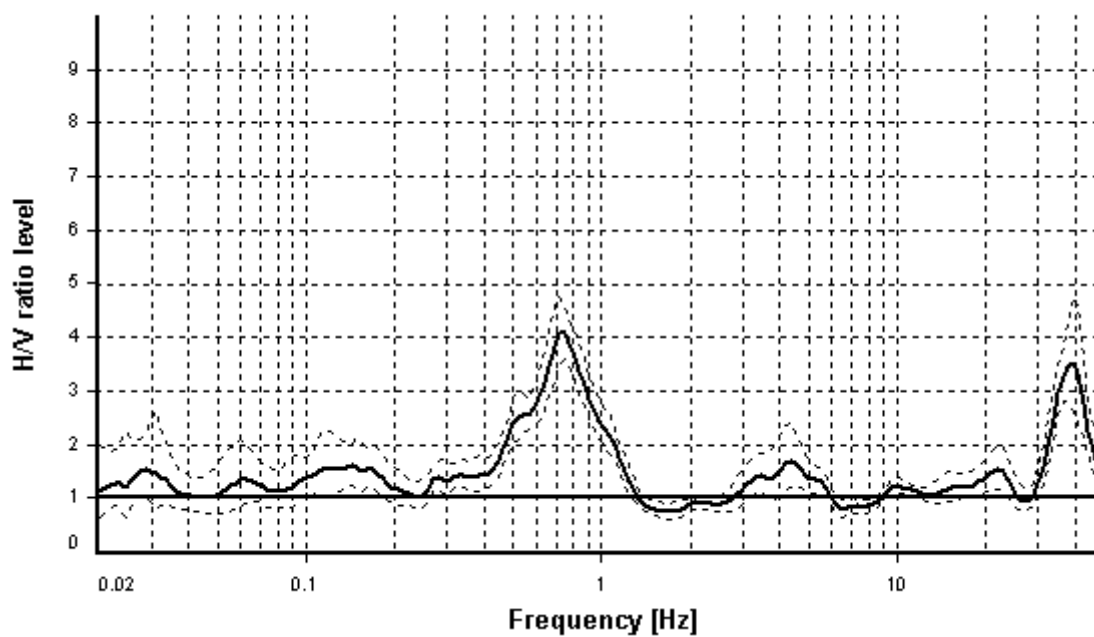
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

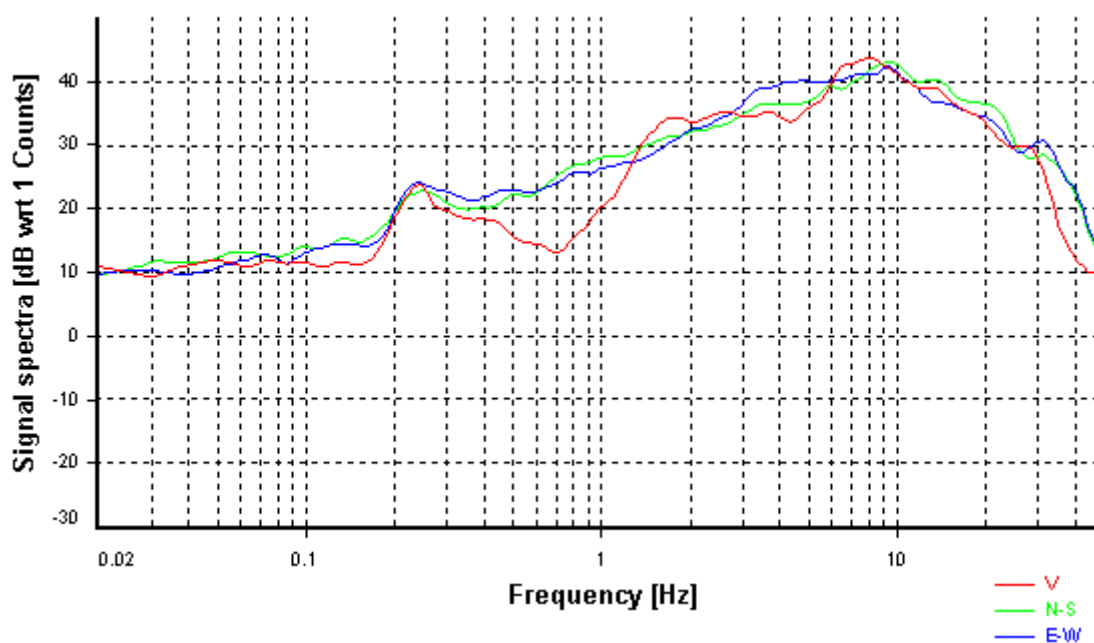
Smoothing: Proportional triangular (Bandwidth coefficient = 10)

Instrumental correction: Disabled

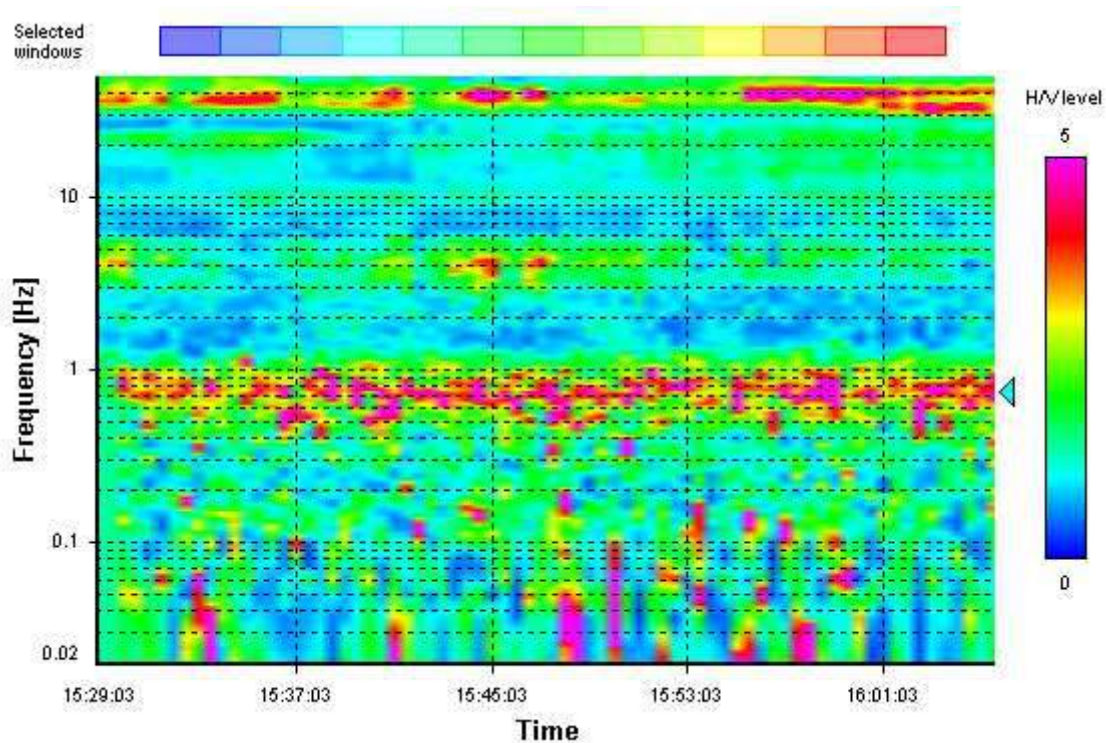
HVSR average



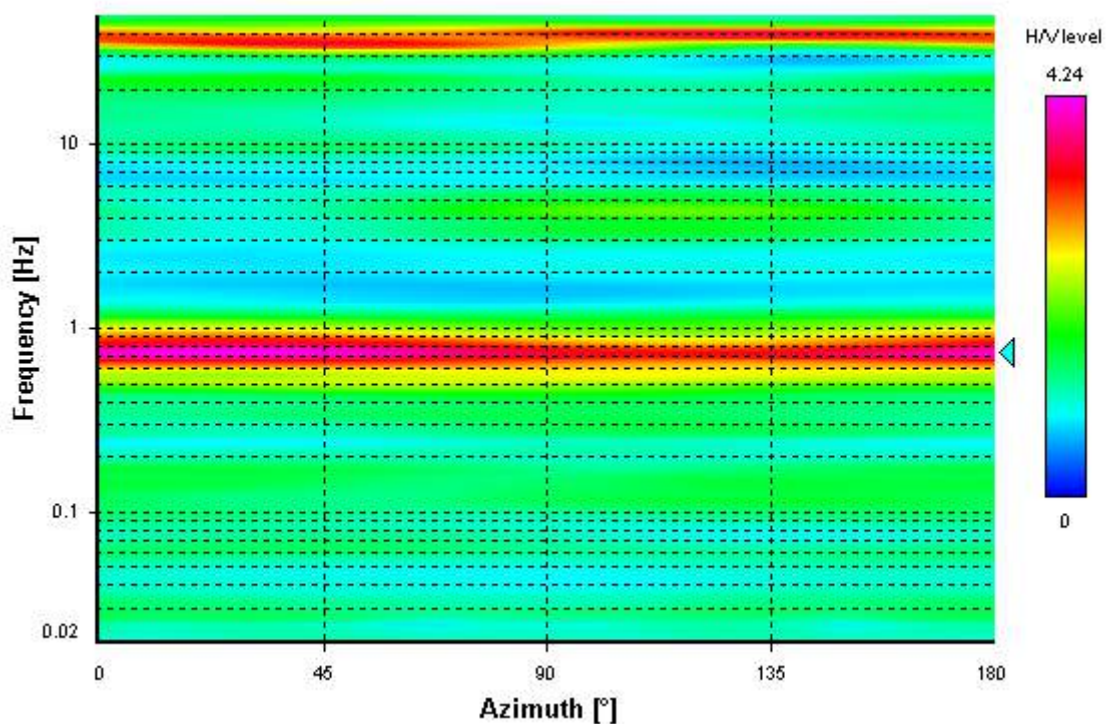
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



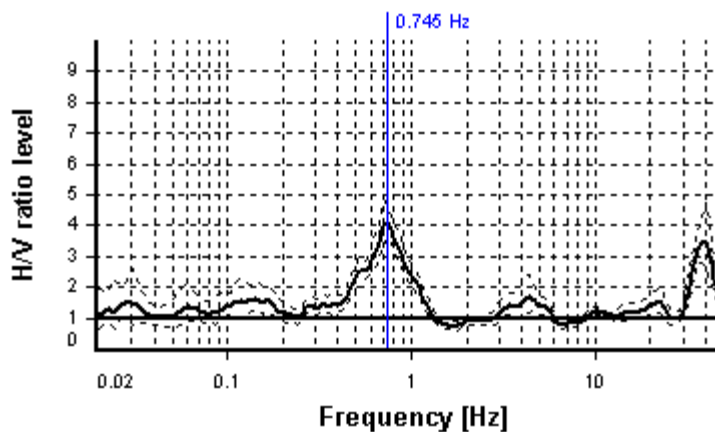
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.745 Hz

A_0 amplitude = 4.075

Average $f_0 = 0.724 \pm 0.051$



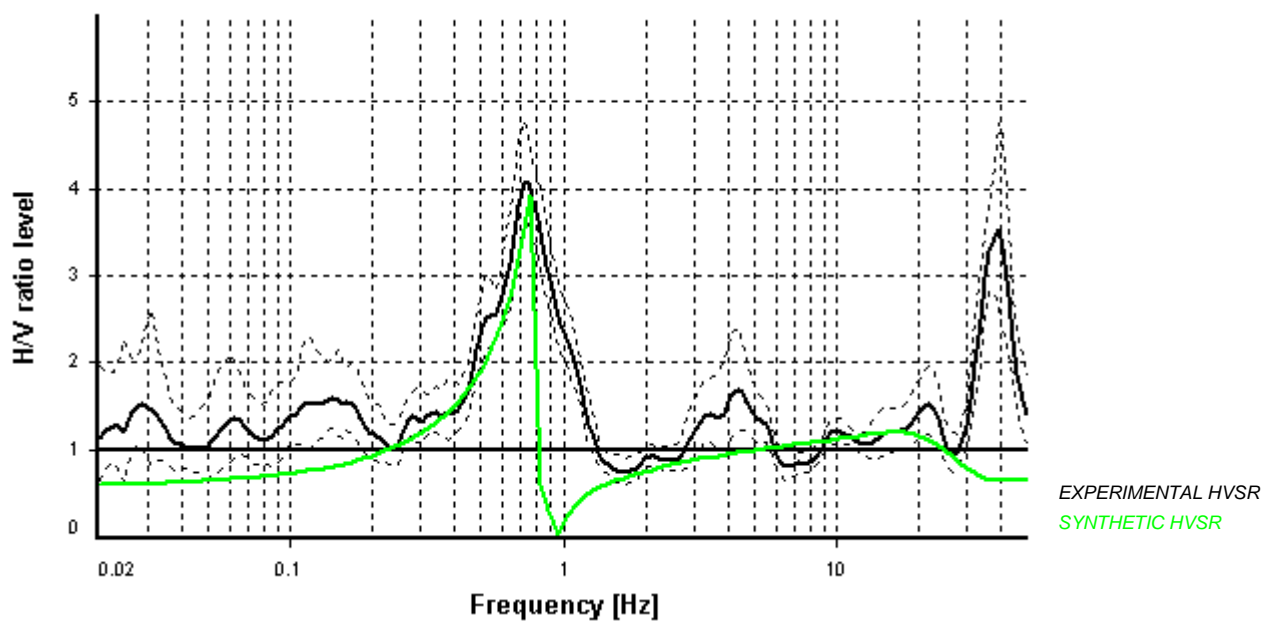
HVSR curve reliability criteria

$f_0 > 10 / L_w$	13 valid windows (length > 13.43 s) out of 13	OK
$n_c(f_0) > 200$	1452.02 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 35	OK

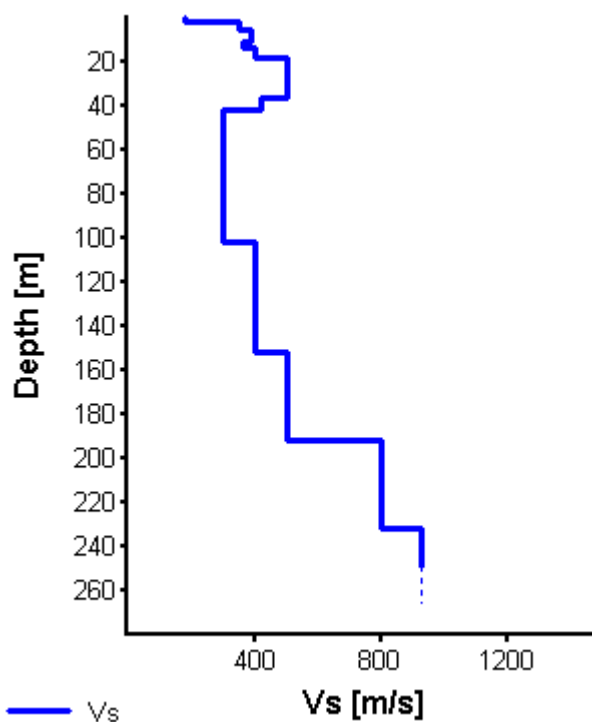
HVSR peak clarity criteria

$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.46455 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.10328 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.08 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.86% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05141 < 0.11169	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.13 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Synthetic HVSR modelling

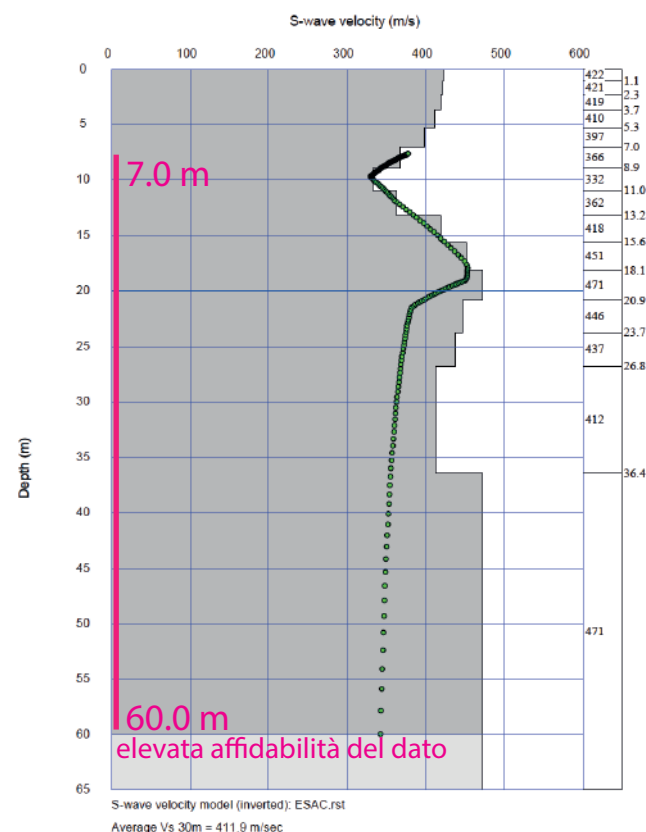
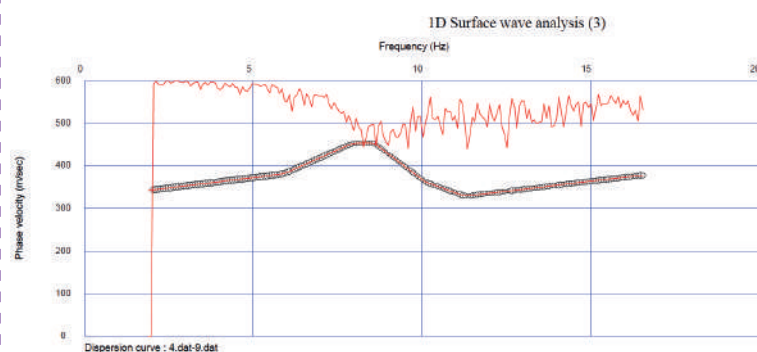
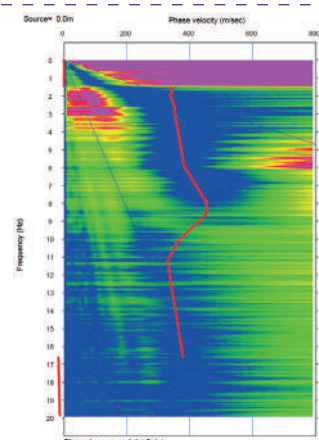
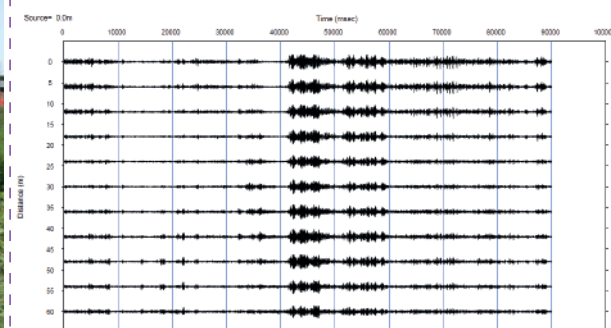


H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
2	2	300	180	1700
3	5	600	350	1900
5.5	10.5	800	390	1850
3.5	14	1000	360	1850
4	18	1100	400	1900
18	36	1800	500	1950
6	42	1300	420	2000
60	102	1200	300	2100
50	152	1800	400	2100
40	192	2000	500	2100
40	232	3500	800	2500
-	> 232	4000	930	2600

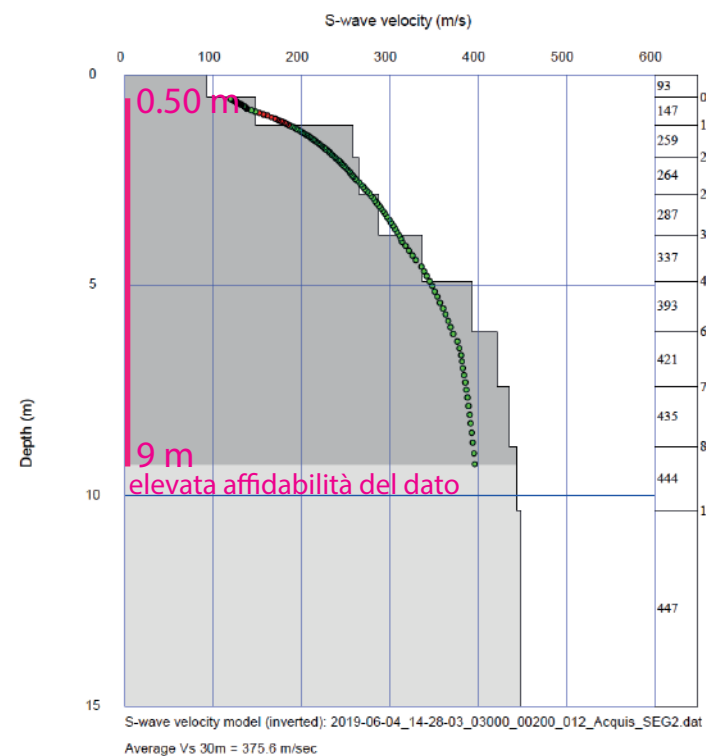
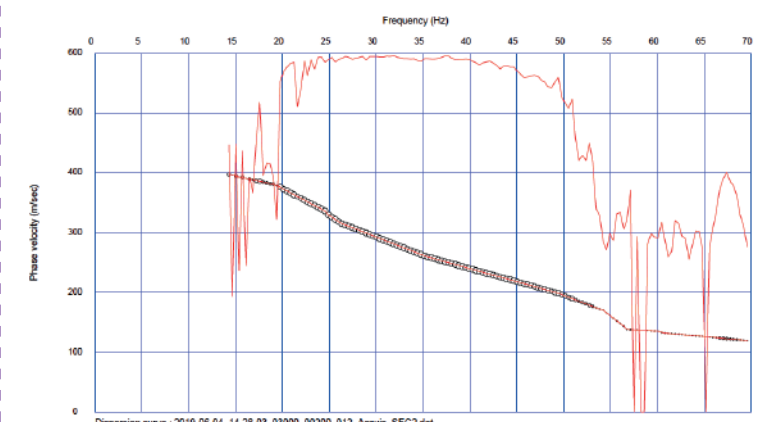
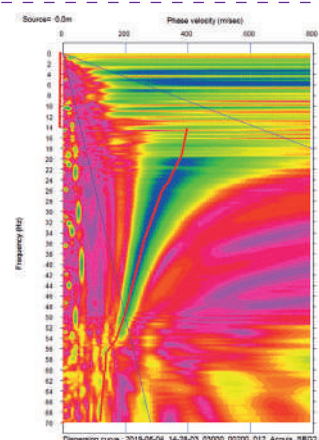
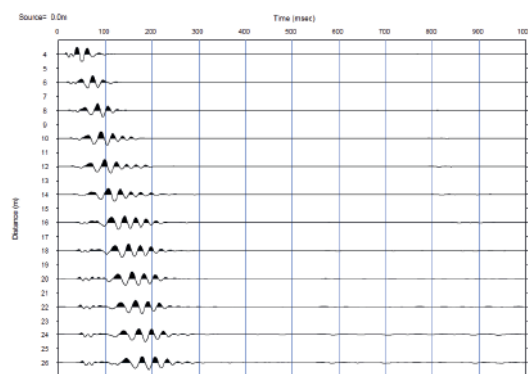


$V_{s_{eq\ 30}} = 387$ m/s (Offset = 0 m)

Elaborazione Microtremor Array Measurement (Metodo MAM con Array 2D - ESAC)



Elaborazione Multichannel Analysis of Surface Waves (Metodo MASW)



Indagini MASW e MAM (ESAC)

IDENTIFICATIVO: MASW 1+ESAC 1

REGIONE: Toscana

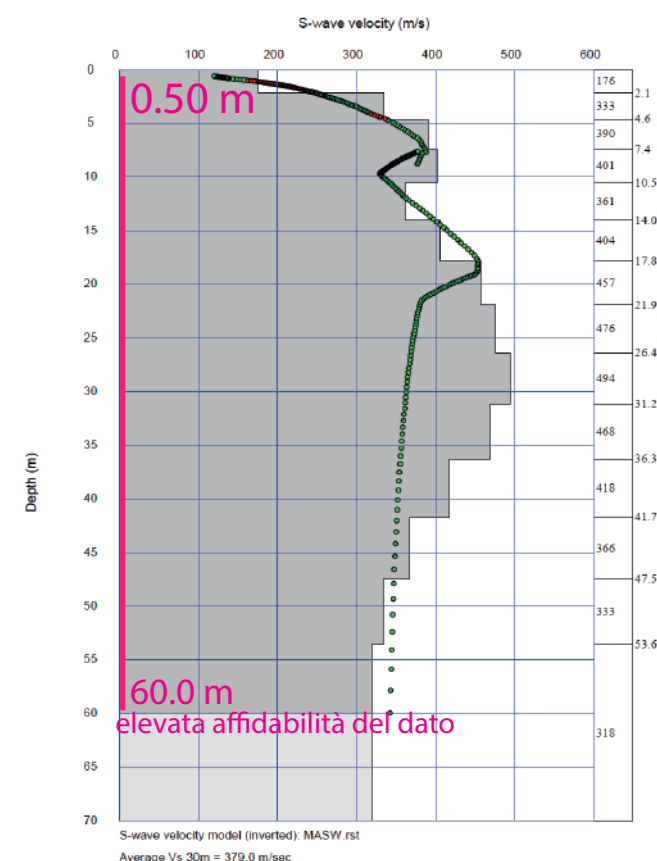
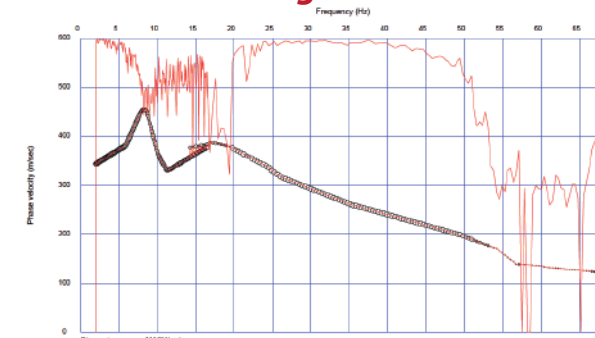
COMUNE: Sansepolcro LOCALITÀ: Via dei Bruci

DATA DI ESECUZIONE: giugno 2019

COORDINATE GEOGRAFICHE WGS84

Latitudine: 43.566349° ↔ Longitudine: 12.135124°

Elaborazione Congiunta MASW + ESAC



Dott. Geol. Gianni AMANTINI

GEOTERRE Studio

Tel: 3358049377 mail: geoterre.1@libero.it PEC: geoterre.studio@epap.sicurezzapostale.it


Via Guido Monaco n.6 - 52032 Badia Tedalda (AR) -- Viale Osimio n.363 - 52037 Sansepolcro (AR) -- Via Cà Rosello n.32 - 47863 Novafeltria (RN)


COMUNE DI SANSEPOLCRO - AGG.SAN - 0016379 - Ingresso - 14/07/2023 - 09:34

SEZIONE GEOLOGICA
scala 1:300

LEGENDA

UNITÀ DELLA COPERTURA
Depositi Alluvionali (bl)

 Limi Argillosi e Argille Limose
- da poco consistenti a moderatamente consistenti

 Limi Argillosi e Argille Limose
- da consistenti a molto consistenti
Intercalazioni di Sabbie Ghiaiose e Ghiaie
- da addensate a molto addensate

SEZIONE A-A

