



REGIONE MOLISE  
COMUNE DI BOJANO  
PROVINCIA DI CAMPOBASSO



PROJECT FINANCING PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVI LOCULI, CAPPELLE E CELLETTE  
OSSARIO ALL'INTERNO DEL CIMITERO DI BOJANO  
E AMPLIAMENTO DELL'AREA CIMITERIALE DI MONTEVERDE DI BOJANO  
NONCHE' PER LA GESTIONE DEI RELATIVI SERVIZI CIMITERIALI

RELAZIONE GEOLOGICA

DATA

Novembre 2020

SCALA

CODICE ELABORATO

**RS-01**

IL PROPONENTE

**Sicop** s.r.l. unipersonale  
Engineering and General  
Construction

IL GEOLOGO



Geol. **Giuseppe PIACQUADIO**

Via E. Mattei, 29 - 81029 Bojano (BN)  
tel. 0824 1755634 - cell. 349 8094795  
C.F.: PQGPP73E09A783N - P. IVA: 01262730623

IL PROGETTISTA'

**Ing. Vittorio Abiuso**

**Arch. Raffaele GENTILE**

**Ing. Pierluigi Abiuso**

Via Garibaldi, 111  
Campobasso  
tel & fax 0874 484 604 - cell. 328 8159501  
C.F.: BSAVTR59M31D896E - P. IVA: 00609520705

Via San Sisto, 76  
Colle d'Anchise  
cell. 392 7784455  
C.F.: GNTRFL73A24A930K - P. IVA: 01620700706

cell. 392 7784455

Via Garibaldi, 111  
Campobasso  
tel & fax 0874 484 604 - cell. 339 8729331  
C.F.: BSAPLG89D04B519U - P. IVA: 01592620700

tel & fax 0874 484 604 - cell. 339 8729331  
C.F.: BSAPLG89D04B519U - P. IVA: 01592620700

## Sommario

1. PREMESSA E FINALITÀ.....	1
2. METODOLOGIA.....	1
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA.....	1
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE.....	3
4.1. ASSETTO STRUTTURALE.....	4
5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	5
5.1. ANALISI DEI VINCOLI IDROGEOLOGICI E IDRAULICI.....	6
5.2. NEOTETTONICA.....	6
6. DATI CLIMATICI E CLIMA.....	7
7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	8
8. MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRI FISICO-MECCANICI.....	10
8.1. MODELLO GEOLOGICO DI SITO.....	10
8.2. SISMICITÀ DELLA REGIONE.....	11
8.3. SISMICITÀ STORICA.....	16
8.4. SISMICITÀ DI BASE.....	16
8.5. MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO.....	23
9. CONCLUSIONI.....	28

## Allegati

---

Carta geologica e delle indagini - Boiano	scala 1:5.000
Carta pericolosità idrogeologica e idraulica - Boiano	scala 1:5.000
Carta geologica e delle indagini - Monteverde	scala 1:5.000
Carta pericolosità idrogeologica e idraulica - Monteverde	scala 1:5.000
Sondaggi PRG S3-S24-S25	
Elaborazioni prove HVSR	

## 1. PREMESSA E FINALITÀ

La società **SICOP SrL** con sede in Vinchiaturò (CB), ha conferito, al sottoscritto dott. geol. **Giuseppe PIACQUADIO**, iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Campania N. AP 2121 in data 03/10/2001, l'incarico per redigere la relazione geologica inerente il **PROJECT FINANCING PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVI LOCULI, CAPPELLE E CELLETTE OSSARIO ALL'INTERNO DEL CIMITERO DI BOJANO E AMPLIAMENTO DELL'AREA CIMITERIALE DI MONTEVERDE DI BOJANO NONCHE' PER LA GESTIONE DEI RELATIVI SERVIZI CIMITERIALI**. Le due aree sono relative all'abitato di Bojano e alla frazione di Monteverde ricadente sempre nel comune di Bojano. La presente relazione geologica esplicativa ed interpretativa è stata redatta

- D.M. del 16.01.1996 - Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- Legge 02.02.1974 n. 64 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Legge Regionale 9 settembre 2011, n. 25. Procedure per l'autorizzazione sismica degli interventi edilizi e la relativa vigilanza, nonché per la prevenzione del rischio sismico mediante la pianificazione urbanistica;
- Legge Regionale 18 ottobre 2004, n. 21. Riclassificazione sismica del territorio regionale;
- D.M. 11.03.1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate;
- Ordinanza n° 3274 del 20/03/2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.M. del 14.09.05 "NTC 2005" - Norme tecniche per le costruzioni;
- D.M. 14.01.2008 "NTC 2008" Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- D.M. 17.01.2018 "NTC 2018" Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

## 2. METODOLOGIA

Il lavoro svolto per la redazione dello studio è articolato in due fasi:

**FASE DI ANALISI** (*preparatoria e conoscitiva*), caratterizzata dalla raccolta dei dati presenti nella letteratura geologica, del materiale cartografico ed aerofotografico esistente per valutare la ricerca storica delle modificazioni territoriali significative, nonché nella rivisitazione critica e nella omogeneizzazione delle informazioni acquisite.

**FASE DI RILIEVO E FATTIBILITÀ DELLE OPERE IN PROGETTO** consiste nella raccolta dei dati geologici di campagna che insieme alla cartografia geologica relativa al PRC, nonché ad alcuni sondaggi profondi effettuati in tutta l'area prospiciente Bojano utilizzati nel lavoro di "Elaborazione tridimensionale di dati stratigrafici e strutturali di aree ad elevata pericolosità sismica" di cui lo scrivente è coautore: l'esempio della piana di Boiano, di cui il sottoscritto è coautore, hanno permesso la redazione della cartografia geologica dell'area interessata. I dati di carattere geomorfologico hanno permesso di definire la pericolosità idrogeologica dell'area e dare dunque un giudizio di compatibilità delle opere in progetto. Il modello geologico è stato individuato sulla base delle prove geologiche di carattere geognostiche presenti, insieme alle prove sismiche di HVSR effettuate sui due siti di indagine.

## 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

Le due aree interessate dalle opere in progetto sono ubicate nella porzione centro settentrionale dell'abitato di Bojano. In riferimento alla cartografia I.G.M.I., essa ricade nel foglio n° 162 (Campobasso, scala 1:100.000), e nella tavoletta scala 1:25.000 162 III-NO (BOIANO).







#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

La conca di Bojano, Molise (Fig. 1), è una depressione tettonica allungata in direzione appenninica, posta mediamente a quote intorno a 500 m s.l.m., compresa tra il massiccio del Matese (quota massima di poco superiore ai 2200 m, Monte Miletto) e i rilievi collinari del Sannio (quote massime poco oltre gli 800 m). Le successioni geologiche che costituiscono i versanti della conca sono ascrivibili alla successione carbonatica della piattaforma abruzzese-campana, affiorante soprattutto nella zona centrale del Matese, e alla successione pelagica del Bacino molisano e/o lagonegrese, affiorante nel settore nordoccidentale del Matese e sul versante sannitico (Monti del Sannio). Dal punto di vista strutturale, le due unità tettoniche principali (Unità Matese-Monte Maggiore e Falda Sannitica) sono sovrapposte secondo thrusts non coassiali rispetto ai domini paleogeografici mesocenoziici (Di Bucci et al., 1999). Per la descrizione delle due successioni stratigrafiche nonché dell'evoluzione paleogeografica e strutturale di questo settore dell'Appennino meridionale si rimanda alla ricca bibliografia disponibile in letteratura e non pertinente agli scopi dello studio in oggetto. L'attuale conca di Bojano si è impostata su una depressione formatasi probabilmente già nel Pliocene in un regime di tettonica compressiva e trascorrente (Naso et al., 1998). Almeno il settore occidentale dell'odierna conca di Bojano è stato sede di deposizione di tipo lacustre (Bacino di S. Massimo): datazioni K-Ar eseguite sulle piroclastiti intercalate ai depositi lacustri inquadrano tale deposizione tra la fine del Pleistocene inferiore (Brancaccio et al., 1979a) ed il Pleistocene medio basale (Corrado et al., 2000). A partire dal Pleistocene medio, l'evoluzione della conca di Bojano è comunque legata essenzialmente alla tettonica estensionale (Coltorti & Cremaschi, 1981; Naso et al., 1998), che ha determinato la progressiva evoluzione di un graben ad orientazione circa appenninica, dove le faglie bordiere del massiccio del Matese e dei monti del Sannio costituiscono i due elementi tettonici principali. La tettonica distensiva ha in molti casi ripreso precedenti elementi deformativi trascorrenti, probabilmente di età pliocenica (Asciane & Cinque, 1995), favorendo la formazione di versanti ad orientazione circa ONO-ESE. Anche le conche di Sepino e Morcone verso SE ed il bacino di Isernia verso NO si inquadrano nell'ambito di questa evoluzione.

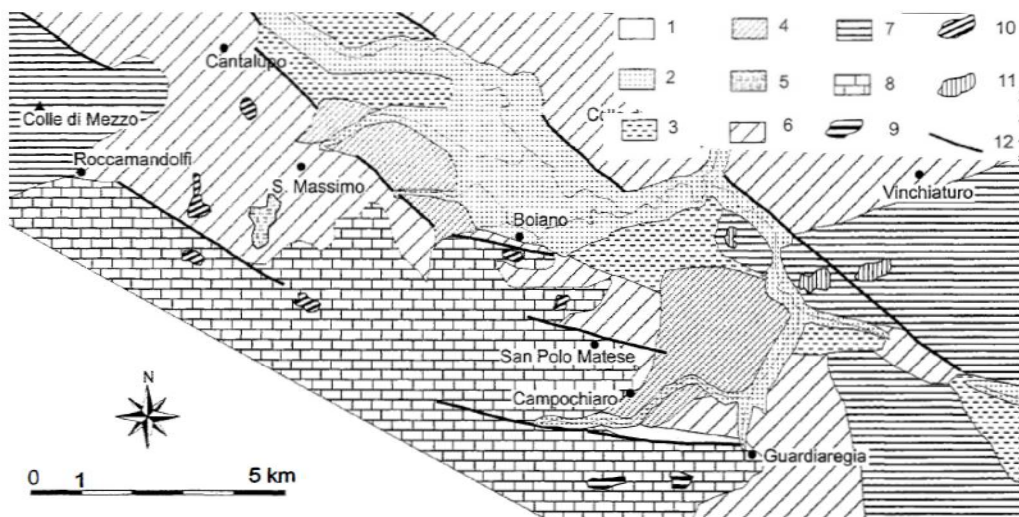
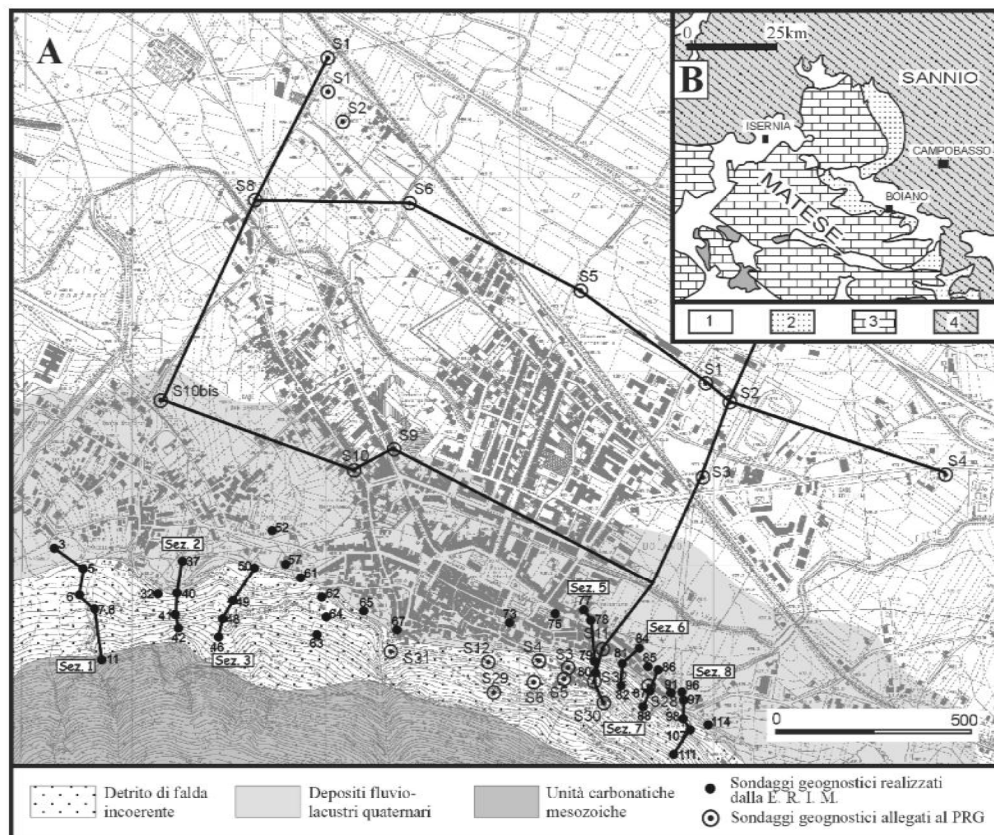


Fig. 1: Schema geologico della conca di Bojano.

Legenda: 1. Coperture detritico-colluviali (Olocene); 2. UALR: alluvioni recenti (Olocene); 3. ULAC: depositi lacustri e palustri del Bacino di Bojano (Pleistocene superiore finale); 4. Depositi di conoide alluvionale (Pleistocene superiore); 5. Depositi lacustri del Bacino di S. Massimo; 6. Arenarie ed argille (Flysch e Argille Varicolori); 7. Calcareni e marne pelagiche (Bacino Molisano e/o Lagonegrese); 8. Calcari neritici (Piattaforma Abruzzese-Campana); 9. Superficie erosiva correlabile con la Paleosuperficie Auct. (Pliocene); 10. Superficie erosiva correlabile con la superficie sommitale del Bacino di S. Massimo (Pleistocene inferiore finale-Pleistocene medio basale); 11. Superficie erosiva del Bacino di Bojano (Pleistocene superiore); 12. Faglia diretta attiva.

Le caratteristiche geologiche del margine settentrionale del Matese nei pressi dell'abitato di Boiano sono state analizzate attraverso il rilevamento di campagna, lo studio di foto aeree e, per quanto riguarda la fascia pedemontana, utilizzando le stratigrafie dei pozzi realizzati dalla E.R.I.M. ed i sondaggi relativi al PRG del comune di Boiano. L'elevata densità di sondaggi finalizzati alla captazione della sorgette di Boiano (Fig. 2) consentono di definire con un buon dettaglio sia la stratigrafia dei depositi quaternari che l'ubicazione delle discontinuità tettoniche che hanno contribuito alla individuazione della conca di Boiano. I dati di sondaggio indicano che i calcari e le dolomie cretacee su cui sorge il centro storico si trovano in sovrapposizione tettonica su depositi silicoclastici miocenici, che formano anche lembi isolati al di sopra delle successioni carbonatiche. Diversi piani tettonici contrazionali, associabili al sovrascorrimento, sono presenti nei rilievi a sud dell'abitato e presentano orientazione circa E-W e direzione di trasporto tettonico verso nord. Il rapporto di sovrapposizione individuato dai dati di pozzo è dislocato sia da faglie ad orientazione circa N-S che da faglie ad orientazione NW-SE. Queste ultime presentano cinematica trascorrente sinistra e dip-slip ed, insieme ai lineamenti E-W, caratterizzano tutto il margine settentrionale del massiccio del Matese (Ferranti, 1997; Guerrieri et alii, 1999) lungo il quale sembrano concentrarsi gli effetti macrosismici dei terremoti storici. La presenza di successioni fluvio lacustri con livelli pedogenetici e vulcanici (Russo & Terribile, 1995), consente, attraverso l'analisi e la correlazione dei numerosi sondaggi presenti nella fascia pedemontana e di piana (Fig. 2), di ricostruire con una buona approssimazione le geometrie dei corpi sedimentari nella fascia di transizione tra i rilievi carbonatici e la piana e di investigare le variazioni laterali o le dislocazioni indotte dalla tettonica





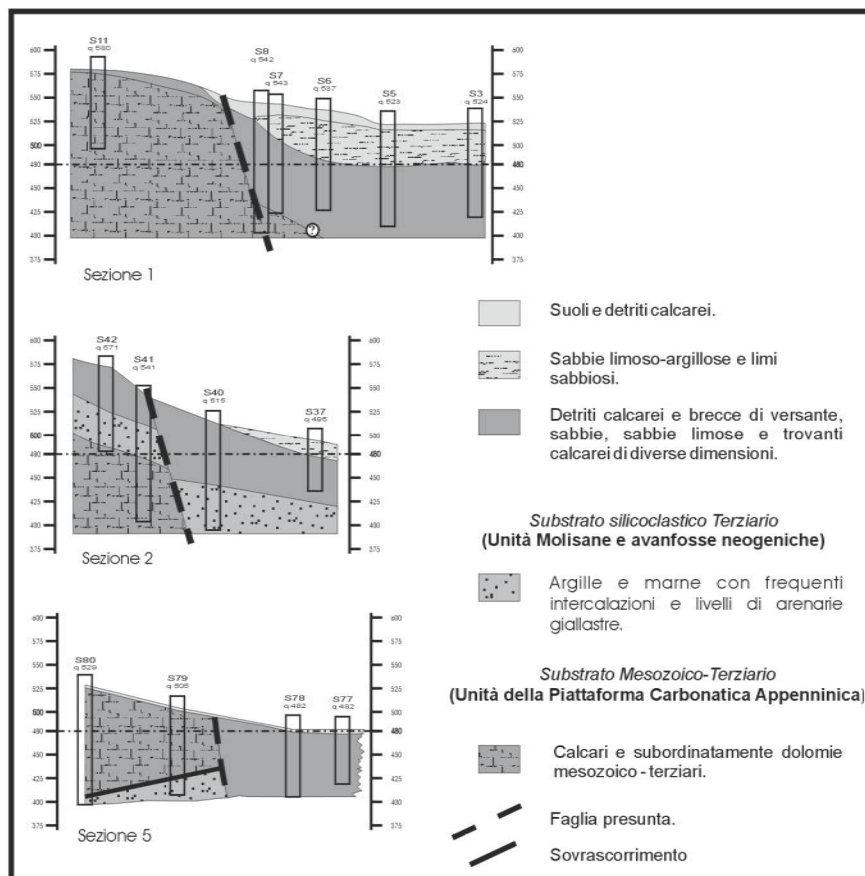
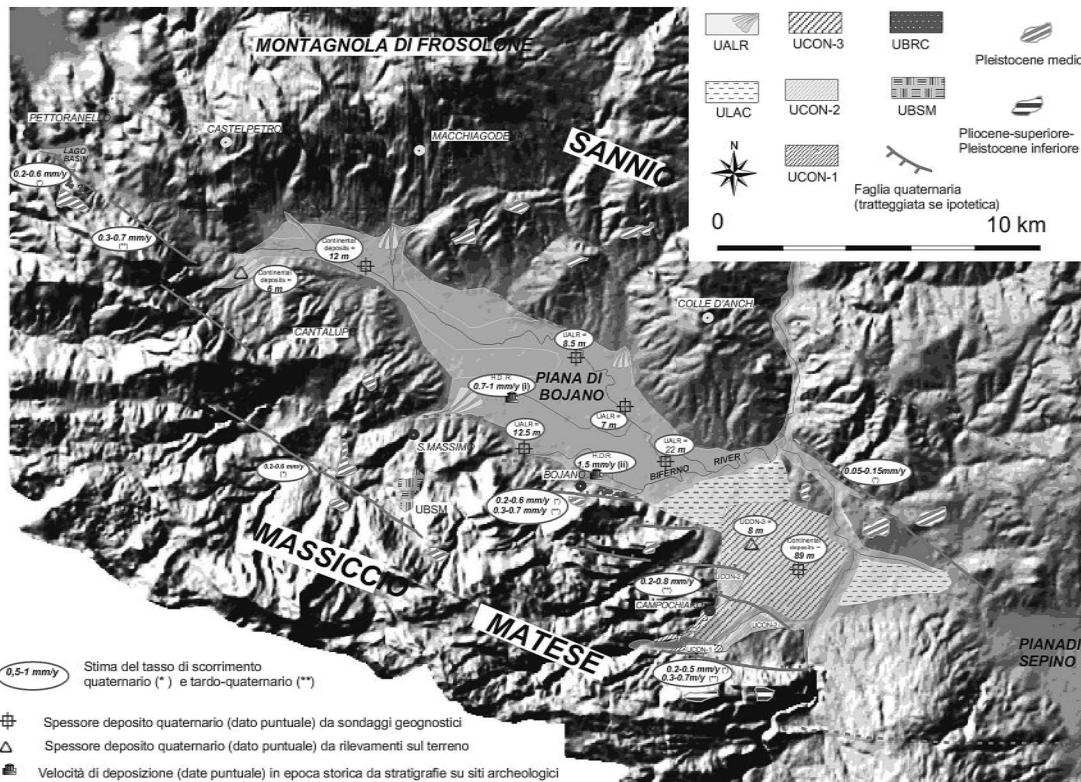


Figura 3. Sezioni schematiche della fascia di raccordo tra il rilievo carbonatico e la piana di Boiano (Fig 1). L'ubicazione della faglia bordiera è definita in base ai sondaggi. Si noti come il piano di sovrapposizione tettonica presente in sezione 5 non sia visibile nelle sezioni 1 e 2 a causa delle dislocazioni prodotte da faglie ad orientazione circa N-S.

## 5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Da un punto di vista geomorfologico si può osservare che a quote superiori ai 1100 metri si ritrovano i lembi relitti di un paesaggio a bassa energia di rilievo (Paleosuperficie Auct.), cui si raccorda la parte superiore del versante matesino. Il modellamento di tale paleosuperficie viene attribuito ad un periodo di relativa stasi del sollevamento della catena tra il Pliocene e il Pleistocene inferiore basale (Coltorti & Cremaschi, 1981; Brancaccio & Cinque, 1988; Ortolani & Pagliuca, 1988). Un secondo gruppo di paleosuperfici, riconoscibile su entrambi i lati della conca tra 600 e 800 m, risulta abbastanza ben correlabile con la superficie sommitale del bacino di S. Massimo. Altre superfici erosive si trovano sul margine sannita della conca sospese di alcune decine di metri rispetto alla piana attuale (Asciane et al., 1998). I depositi di riempimento sono di natura prevalentemente lacustre e palustre con intercalazioni fluviali prevalentemente sul lato matesino. Dalle stratigrafie di sondaggi geognostici (GEMINA, 1963) risulta che lo spessore dei depositi di riempimento al centro della piana è sicuramente superiore ai 160 m e che il riempimento della conca, iniziato nel Pleistocene inferiore, sarebbe continuato fino ad oggi attraverso periodi di prevalente deposizione cui si sono alternati momenti a più intensa attività erosiva, condizionati fondamentalmente dalle variazioni climatiche. In analogia con altre aree interne della catena appenninica (ad es. la valle del F. Giovenco e i terrazzi posti al bordo orientale della conca del Fucino, Giraudi, 1989; Raffy, 1983; Blumetti et al., 1993), nella piana di Boiano condizioni climatiche fredde e aride hanno in generale favorito la produzione di detrito sui versanti e conseguentemente i processi di aggradazione. Condizioni climatiche più calde ed umide hanno causato un minor trasporto solido nel bacino del Fiume Biferno, favorendone la capacità di reincisione dei depositi di riempimento. Alcuni fattori locali nella zona di soglia del bacino di Boiano, all'inizio della valle bifernina, potrebbero aver provocato momentanei periodi di sbarramento del corso del Fiume Biferno condizionando in tal modo i processi deposizionali verso monte: tra questi l'elevata franosità, dovuta

fondamentalmente alle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni terrigene affioranti, e l'attività tettonica lungo le faglie bordiere, analogamente ad altri versanti montuosi controllati da faglie attive (p.es. Monte Le Scalette relativamente al bacino di Colfiorito, Centamore et al., 1978; Vittori et al., 2000). Su base geomorfologica, stratigrafica e pedologica, sono distinguibili nella piana due unità deposizionali riferibili alle fasi più recenti di riempimento: la prima unità è costituita da depositi prevalentemente lacustri e palustri (ULAC) riferibili al Pleistocene superiore (Russo & Terribile, 1995). La seconda unità, di età olocenica, è costituita dai depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi del Fiume Biferno e dei suoi affluenti (UALR). Le conoidi alla base del versante matesino, in particolare la conoide di Campochiaro, sono interdigitate con la porzione più alta dei depositi dell'unità UCON-1/2/3.



## 5.1. ANALISI DEI VINCOLI IDROGEOLOGICI E IDRAULICI

In riferimento ai vincoli idrogeologici imposti dalla competente autorità di bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori Saccione e Fortore, non sono presenti nelle due aree di interesse, ovvero Bojano e Monteverde a rischio frana elevata e molto elevata, Aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1-PG2-PG3) come si evince dalla cartografia allegata in coda alla presente. Analizzando il vincolo idraulico le due aree di intervento non ricadono in nessuna area classificata a rischio e/o a pericolosità idraulica.

## 5.2. NEOTETTONICA

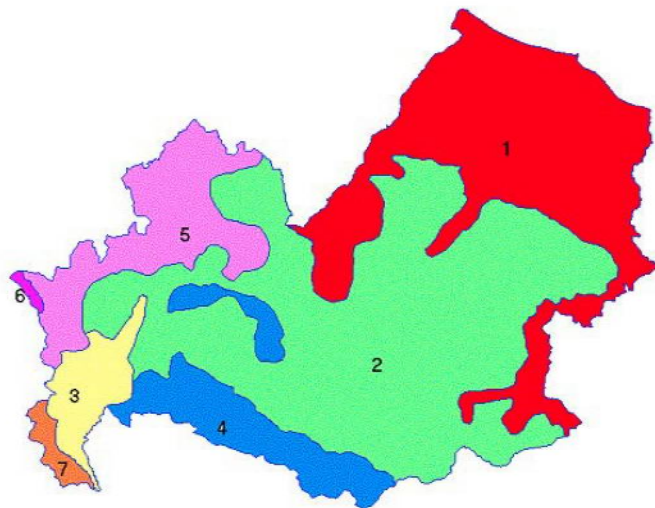
In letteratura sono stati segnalati nella piana di Bojano diversi elementi indicatori di tettonica tardo-quaternaria (Ascione et al., 1998), quali scarpate di faglia NOSE di altezza decametrica sia sul margine nord-orientale (Stazione di Cantalupo-Macchiagodena) che su quello sud-occidentale (Campochiaro e Bojano). Sempre nella zona di Campochiaro, uno studio di dettaglio della conoide (Guerrieri et al., 2000) segnalava anche la presenza di una serie di evidenze geomorfologiche e stratigrafiche di attività tardoquaternaria. L'analisi sistematica delle foto aeree ed i rilievi sul terreno hanno consentito di riconoscere per la faglia di Bojano numerose altre evidenze di tettonica recente di tipo geologico (depositi quaternari sollevati a varie altezze sui versanti, depositi tardoquaternari fagliati) e geomorfologico



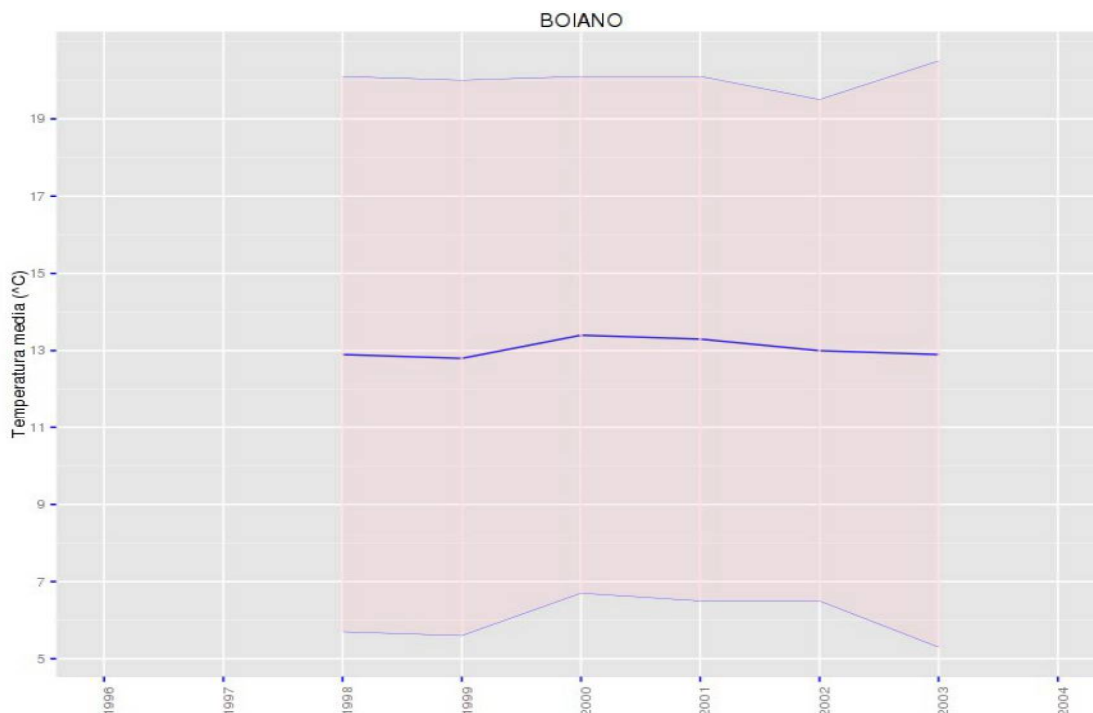
(superfici erosive sospese, faccette triangolari, scarpate di faglia in roccia, lineazioni). In particolare, l'individuazione delle superfici relitte, la cui età può essere stimata mediante correlazione a depositi di età nota, ha consentito di stimare in prima approssimazione l'ordine di grandezza del rigetto verticale e dunque il tasso di scorrimento di lungo periodo (Quaternario) compreso tra 0,2 e 0,8 mm/anno (Fig. § precedente). Profili topografici di dettaglio lungo scarpate di faglia in roccia su versanti carbonatici rettificati (per la metodologia si veda Piccardi, 1998) hanno fornito per il periodo tardoquaternario (ultimi 20.000 anni) valori di tassi di scorrimento confrontabili. Infine, analisi paleosismologiche eseguite lungo la faglia di Bojano, nella sua parte nord-occidentale, hanno documentato evidenze stratigrafiche di fagliazione in superficie in corrispondenza di due forti terremoti nell'Olocene (Blumetti et al., 2000 per ulteriori dettagli). Indizi di tettonica recente lungo la faglia Sannita sono rappresentati solamente da lineazioni e paleosuperfici sospese, ma il tasso di scorrimento dovrebbe essere significativamente minore.

## 6. DATI CLIMATICI E CLIMA

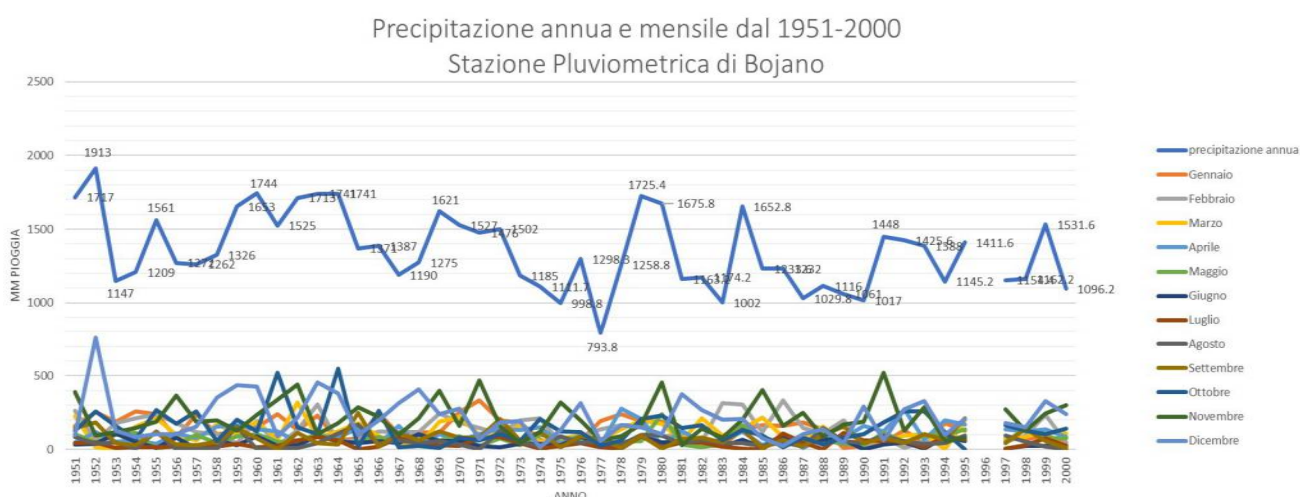
Il Molise, malgrado sia una regione non molto estesa, presenta una marcata variabilità climatica dovuta essenzialmente dalle forme dei rilievi che per provoca il contatto fra due zone climatiche (Temperata e Mediterranea). In tale contesto si inserisce l'area di Bojano che si trova a cavallo tra un termotipo montano-umido "4" (Massiccio del Matese) ad un termotipo collinare-subumido "2" (alta e media valle del Biferno).



Per tale settore, per effetto della presenza della barriera Appenninica e sub-appenninica, il clima è tipicamente sub-continentale, con inverni freddi e piovosi ed estati miti. La temperatura media mensile del mese di gennaio si attesta attorno ai 5 °C, quella del mese di agosto attorno ai 22,8 °C. Durante la stagione estiva, in generale, la temperatura media si mantiene sempre al di sotto dei 20 °C. Rilevante durante tutto il corso dell'anno è l'elevato grado di umidità relativa. La temperatura media annua per la stazione termopluviometrica di Bojano è di circa 13,4°C con poche significative variazioni nel piccolo intervallo di tempo che va dal 1998 al 2003. La temperatura massima registrata nel periodo prima menzionato è di 38 °C registrato nel 2000 e una temperatura minima assoluta di -12 nel 2002.



In riferimento all'andamento pluviometrico si è fatto riferimento alla stazione di Boiano per la serie storica che si estende dal 1951 al 2000, da dove si è ottenuta una precipitazione media annua variabile fra 1354 con un minimo nel 1977 di 793,8 mm ed un massimo nel 1952. Inoltre, nel grafico sotto sono stati riportati le precipitazioni mensili per il periodo osservato dal quale si nota un massimo cumulativo mensile nel mese di gennaio del 1952 pari a 758 mm, ed un minimo di un 1mm nel mese di agosto del 2000 ed una precipitazione nulla nei mesi di agosto del 1956 e 1960, di luglio del 1966 e giugno del 1990.



## 7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Gran parte del territorio del settore del Matese rappresenta un acquifero di grande importanza idrogeologica che dà origine a sorgenti di grande importanza regionale (sorgenti del Biferno). Per quanto attiene l'analisi della situazione idrogeologica locale su può affermare che per l'area di Boiano uno dei più rilevanti acquifero idrogeologico a scala regionale, in relazione alla significativa estensione verticale ed orizzontale dei depositi alluvionali e fluvio-lacustri e al



loro rapporto stratigrafico strutturale con l'apparato carbonatico del Massiccio del Matese. La porosità primaria che contraddistingue i depositi fluviali attuali e fluvio-lacustre, pur variabile nell'ambito delle diversità granulometriche, conferisce ai terreni un grado di permeabilità generalmente medio  $10^{-4} \text{ cm/s} < K < 10^{-1} \text{ cm/s}$ , quindi con un complesso diverso grado di permeabilità. Lo spessore dei sedimenti alluvionali ricostruito attraverso lo studio sismo-metrico del bacino alluvionale di Bojano raggiunge uno spessore di circa 200 m e sono granulometricamente molto variabili in senso orizzontale e verticale; si passa da un ambiente a sedimentazione di tipo palustre, contraddistinto da depositi pelitici limoso-argillosi, ad ambienti fluviali caratterizzati da eventi alluvionali caratterizzati da frazioni ghiaiose e ghiaioso sabbiose. Queste diverse facies di sedimentazione si complicano quando nelle zone di piana si è riversava direttamente il trasporto solido proveniente da monte, in corrispondenza delle linee di drenaggio preferenziale, alimentanti dai depositi di conoidi (Castellone, Bojano, Campochiaro). I depositi, alla luce di quanto esposto, si ritrovano interdigitati tra loro soprattutto nelle fasce prossimali alle pareti calcaree. Le frazioni granulometriche più grossolane caratterizzano altresì le fasce golenali attuali e meno recenti dei corsi d'acqua che nelle epoche più tardive hanno attraversato l'area della piana generando le tipiche eteropie di facies riscontrabili nelle aree alluvionali nelle quali si riscontra la presenza di lenti grossolane intercalate a materiali a dominanza fine. Tale assetto granulometrico condiziona lo sviluppo delle falde che tendono ad instaurarsi nelle fasce più porose, favorendo la presenza spesso di falde acquifere discontinue e sovrapposte, relativamente ai livelli granulometrici più grossolani e permeabili, confinate, in assetto lentiforme e poco stratificato, tra orizzonti argilloso-sabbiosi. Tra esse tuttavia può instaurarsi anche un rapporto di drenanza che permette, in definitiva, il riconoscimento di una unica falda sotterranea posta nell'ambito della piana a profondità variabili tra la piezometrica della subalvea dei principali impluvi superficiali, nei periodi di massima saturazione dei terreni, e vari metri al di sotto del p.c. nei periodi più siccitosi e di magra. La falda trae alimentazione dai processi di infiltrazione idrica che interessano direttamente la piana senza trascurare i contributi fondamentali che derivano dal travaso che si instaura lungo le fasce di contatto con i carbonati, mascherate in superficie dalla presenza delle coperture detritiche. Gli studi geognostici effettuati nell'area consentono di riconoscere un rapporto di sovrascorimento del Matese sui sedimenti flyschoidi del bacino molisano la cui subsidenza ha instaurato le condizioni per la formazione della piana alluvionale locale. Le facies carbonatiche che costituiscono l'ossatura dei rilievi del Massiccio del Matese sono caratterizzate da un grado di permeabilità medio-alto ( $10^{-4} \text{ m/s} < K < 10 \text{ cm/s}$ ), determinato dalla presenza delle discontinuità stratigrafiche e tettoniche che caratterizzano gli affioramenti lapidei. Le aliquote di infiltrazione idrica alimentano una falda profonda che tende a permeare la base della struttura acquifera e che localmente defluisce attraverso condotti carsici convogliando un carico idrico notevole nella piana attraverso lo svolgimento dei processi della circolazione sotterranea. Per quanto attiene invece i detriti di falda, gli stessi risultano affioranti lungo le fasce pedemontane dei rilievi costituendo il raccordo con gli antistanti termini alluvionali. Trattasi di terreni sciolti, ghiaioso-ciottolosi, frammentati a matrice sottile limoso-argillosa, localmente cementati; la porosità rende tali termini assimilabili per comportamento idrogeologico a quello del complesso fluvio-lacustre ed alluvionale, ovvero a permeabilità elevata. In definitiva le caratteristiche geologiche del territorio favoriscono in modo determinante la formazione ed il continuo rinnovo di risorse idriche sotterranee che, sotto l'influenza della gravità, convogliano nell'area della piana di Bojano. I sondaggi S25 e S24 presenti a circa 300 metri dal sito di Bojano mostra una falda che varia tra i 5,80 e 6,0 m dal p.c. Mentre nel sondaggio S3 distante circa 200m dal sito del cimitero della frazione di Monteverde, la falda non è stata rinvenuta.

## 8. MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRI FISICO-MECCANICI

Per la determinazione del modello geologico di sito sono state prese in esame le indagini geognostiche effettuate per la stesura del PRG e per la redazione dello studio per la microzonazione sismica, presenti in modo uniforme sia sul sito di Bojano che nella frazione di Monteverde. In particolare, nel sito di Bojano sono presenti i sondaggi S24 e S25 spinti alla profondità di 15 e 20 metri. Nel sito di Monteverde il sondaggio più vicino è il sondaggio S3 spinto alla profondità di 15 metri. Infine, da un punto di vista sismico è presente una prova HVSR Bj05 eseguita dall'Università di Genova proprio nell'area del cimitero. Mentre, sempre la stessa Università nel sito di Monteverde, ha eseguito una prova HVSR in sigla Mv01 presso la scuola materna, posta al margine dei depositi alluvionali della piana con i depositi in facies di flysch. Il modello geologico ad ampia scala è stato dedotto dall'analisi della cartografia geologica del PRG e della microzonazione sismica. Per una analisi dettagliata in questa fase di progetto sono state eseguite altre due prove di HVSR nei due siti di indagini.

### 8.1. MODELLO GEOLOGICO DI SITO

Nell'area di Bojano sono presenti sia campioni di laboratorio che prove penetrometriche in sito, considerato che affiorano nei primi metri litologie prevalentemente sabbiose, limi argillosi sabbiosi e subordinatamente ghiaie in matrice sabbiosa, questo limite rappresenta effettivamente il piano fondale delle opere a farsi. Si forniscono dunque parametri medi caratteristici dedotti dalle prove effettuate su tutta la piana.

#### Quadro parametri caratteristici del modello geologico per il sito del cimitero di Bojano

Unità	Litologia	Caratteristiche fisiche			Caratteristiche meccaniche			
		$P_n$ kN/mc	$Psat$ kN/mc	$\phi$	$C$ kpa	$Cu$ kpa	$E$ MPa	$Eed$ MPa
Unità litotecnica A 0-7m	limi sabbiosi con argille e ghiaie	19,05	19,33	23,0	10,80	38,14	7,58	9,78
Unità litotecnica B 7-20m	Ghiaie e sabbie sciolte	18,44	19,73	32,0	0	0	12,41	12,5

#### Quadro parametri di letteratura del modello geologico per il sito del cimitero della fraz. di Monteverde

Unità	Litologia	Caratteristiche fisiche			Caratteristiche meccaniche			
		$P_n$ kN/mc	$Psat$ kN/mc	$\phi$	$C$ kpa	$Cu$ kpa	$E$ MPa	$Eed$ MPa
Unità litotecnica A 0-6 m	Sabbie limose	18,00	18,50	30,0	0	0	7,00	9,00
Unità litotecnica B 6-12m	Arenarie e sabbie	19,5	19,8	33,0	0	0	12,4	12,5
Unità litotecnica C 6-12m	Argille sabbie	19,0	19,5	21	20	120	10,0	11,0

Va sottolineato che i parametri vanno confermati da ulteriori e specifiche indagini geognostiche relative ai due siti in esame anche per meglio definire le caratteristiche locali.



La caratteristica principale della catena appenninica rispetto ad altri orogeni è quella di essere largamente interessata da faglie plio-quadernarie ad alto angolo, con differenti cinematiche ed orientazioni, che hanno scomposto la struttura derivante dalla tettonogenesi neogenica (Ortolani et al., 1992). I terremoti di maggiore intensità sono infatti ubicati lungo le faglie ad alto angolo con andamento appenninico ed antiappenninico. Le conoscenze sulla sismicità dell'Appennino meridionale ed in generale del territorio nazionale erano fino a qualche decennio fa poche e frammentarie. Solo negli ultimi decenni ad opera di una sistematica raccolta di dati storici, dati strumentali, integrati da studi sia a carattere geologico che geomorfologico, hanno permesso di costruire un quadro più accurato dell'assetto tettonico e geodinamico dell'area mediterranea. In particolare, in Italia gli studi sulla distribuzione dei terremoti hanno avuto un forte miglioramento. Ciò ha permesso di definire le relazioni tra sorgente sismogenitica e deformazione in superficie; portando alla nascita di studi di zonazione sismica del territorio Nazionale, sempre più attendibili. Tali studi che si basano essenzialmente su datazioni radiometriche effettuati su segmenti di faglia, e su analisi mesostrutturali. I terremoti che interessano l'area peritirrenica si concentrano lungo segmenti discontinui, dovuti ai differenti meccanismi di stress (Gasparini et alii, 1985). Per il settore dell'Appennino centro settentrionale si stima una magnitudo attesa in un intervallo compreso tra il 6° e il 7° con profondità ipocentrali attese intorno ai 20 Km (Mariucci et alii, 1999). Al contrario in Appennino meridionale, i maggiori eventi sismici si concentrano lungo l'asse della catena con una magnitudo da moderata a forte (Gasparini et alii, 1985; Amato e Montone, 1997)

Gli elementi rappresentati sono:

- la microplacca adriatica e le tracce dei vettori di spostamento che descrivono le interazioni tra Adria ed Europa;
- il margine settentrionale della placca africana e le tracce dei vettori di spostamento che descrivono, secondo uno dei molti modelli esistenti in letteratura (Livermore e Smith 1985), la convergenza tra Africa ed Europa;
- la placca europea, che include il blocco sardo-corso, il bacino del Mediterraneo Occidentale e la parte del Tirreno ormai solidale con il blocco sardo-corso;
- la Scarpata Ibleo-Maltese, interpretata come margine divergente della placca africana (divergenza Africa-Adria);
- i sistemi di catena e i principali svincoli laterali;
- le zone di risalita del mantello, alle spalle della catena, nelle quali il cuneo astenosferico (punteggiato) funge da leading edge del sistema sopracrostalet in compressione;
- i fronti della compressione nei sistemi a vergenza europea (Alpi), a vergenza adriatica (Sudalpino e Dinaridi lungo il margine convergente Adria-Europa, Appennino ed Arco Calabro lungo il margine divergente) e a vergenza africana (Maghrebidi). Il fronte della compressione è inattivo (linea tratteggiata) nell'arco del Monferrato e nell'Appennino meridionale;
- la Linea Insubrica, quale principale elemento di separazione tra sistema alpino Europa-vergente e sistema sudalpino Adria-vergente;
- la zona di divergenza, nell'Appennino meridionale, tra placca europea e microplacca adriatica;

- la zona di Wadati-Benioff del Basso Tirreno.

La sismicità è tratta dal catalogo NT (Camassi e Stucchi, 1997). Nell'Arco Appenninico Settentrionale la migrazione del sistema catena avanfossa, ancora attiva, sembra essere legata alla velocità di arretramento (Scandone & Stucchi, 2000) dell'asse di flessura della piastra adriatica più elevata della velocità di divergenza Europa-Adria. Questo processo sembra giustificare la sismicità regionale, caratterizzata da:

- terremoti di bassa/media magnitudo lungo il margine padano-adriatico enucleati lungo rampe frontali (meccanismi di tipo thrust) e rampe laterali (meccanismi di tipo strike-slip) di un sistema di sovrascorrimenti la cui superficie di scorrimento basale si approfondisce dall'avampaese verso il Tirreno e si radica al fronte del cuneo astenosferico in risalita (Scandone & Stucchi, 2000);
- terremoti di media/alta energia con meccanismi prevalenti estensionali dip-slip in corrispondenza di una fascia assiale compresa tra la zona di flessura della piastra apula e il cuneo astenosferico del margine tirrenico. Sezioni trasversali rispetto all'asse della catena mostrano che la gran parte degli ipocentri dei terremoti crostali cadono all'interno di una sinforme che raccorda le opposte geometrie della litosfera adriatica in subduzione e dell'astenosfera tirrenica in risalita, con faglie normali a basso angolo immergenti verso l'Adriatico e faglie normali ad alto angolo immergenti verso il Tirreno;
- terremoti superficiali di bassa energia sopra e dietro il cuneo astenosferico. Nell'Appennino meridionale esistono numerose evidenze circa la cessazione della subsidenza flessurale intorno a 0.65 Ma. Il regime estensionale attuale, responsabile dei numerosi terremoti distribuiti lungo l'asse della catena, è messo in relazione alla rotazione antioraria dell'Adria (Scandone & Stucchi, 2000). L'attività tettonica dell'area Gargano-Tremi e dell'Adriatico centrale è ancora mal conosciuta. Una rimobilizzazione di vecchie strutture estensionali in un regime compressivo/transpressivo (tettonica di inversione).

Nella raccolta dei dati effettuata dall'UR UNI-Napoli (A. Cinque, 1999) "Carta delle faglie tardo-quaternarie dell'Appennino meridionale" e "Faglie attive in Italia meridionale" a cura di A. Ascione e A. Cinque) si sono poste le basi per una sintesi delle faglie quaternarie e tardo quaternarie presenti nel settore dell'Appennino meridionale. Nella porzione settentrionale della carta sono riportate le strutture del Matese, alcune con chiari indizi di attività nel Pleistocene superiore-Olocene (es. settore della piana di Boiano; Russo e Terribile, 1995; Cucci et al., 1996; Basili et al., 1999; Corrado et al., 2000) altre con indizi meno evidenti (è il caso, ad esempio, del bordo sudoccidentale del massiccio montuoso; Brancaccio et al., 1997). Verso il settore tirrenico le faglie si concentrano nell'area della Piana Campana bordata in più punti da faglie del Pleistocene superiore che i depositi dell'ignimbrite campana (Cinque et al., 2000; sull'attività di faglie nel Golfo di Napoli si veda Milia e Torrente, 2000 e bibliografia riportata). Le faglie in oggetto sono riportate in rosso, sebbene non sia affatto risolto il problema dell'attivazione di queste strutture in connessione con eventi sismici distruttivi. Altre faglie della zona costiera tirrenica dell'Appennino meridionale presentano evidenze di attività nel corso del Quaternario, senza che tuttavia siano disponibili dati in grado di correlare l'ipotesi di attivazione nel corso del Pleistocene superiore-Olocene (es. Piana del Sele). Faglie con il colore rosso interessano la dorsale Appenninica (nn. 62, 68, 78, 86). Va comunque sottolineato che per queste strutture, a parte la faglia responsabile del terremoto del 1980 (Pantosti et al., 1993), mancano dati derivati da analisi paleosismologiche. Nella parte più meridionale dell'area, alcune faglie sono state riportate con il colore giallo. Le differenti vedute in questo settore riguardano sia gli aspetti geometrici che cinematici. Nel caso della Val d'Agri (n.90) non è risolto il problema dell'individuazione dell'espressione



superficiale della faglia principale, sebbene pubblicazioni recenti testimonino evidenze della tettonica attiva (ad esempio Di Niro e Giano, 1995; Benedetti et al., 1998; Giano et al., 2000). In riferimento all'area in esame la faglia attiva è posta proprio a pochi metri dal sito è nota in letteratura come faglia di Bojano che delimita in senso appennino l'area della relativa piana.

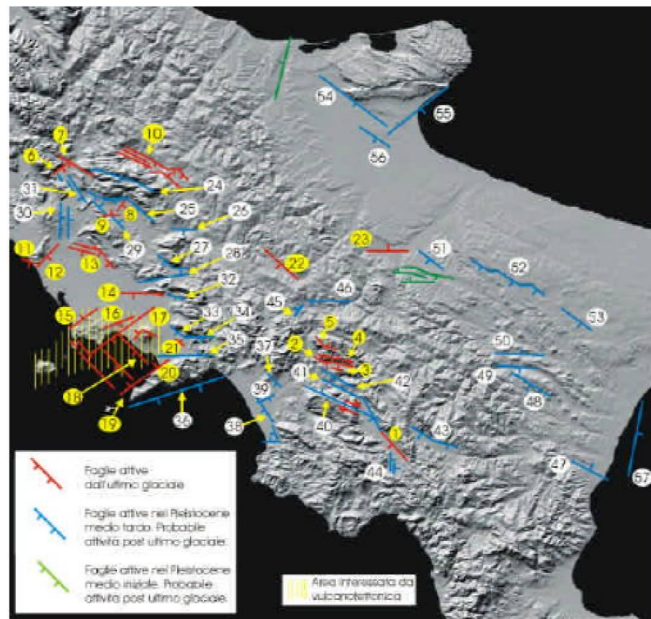


Fig. 1 - In rosso sono rappresentate le faglie la cui attività nel corso dell'intervallo Ultimo Glaciale-Attuale (ultimi 50 ka circa) è ritenuta "certa" in quanto testimoniata dalla dislocazione di forme e/o depositi datati. Date le finalità della ricerca, sono state mappate anche faglie che hanno avuto attività certa nel Pleistocene medio e/o superiore e che manifestano indizi geomorfologici di attività tardoglaciale ("freschezza" di scarpate in rocce tenere; dislocazioni e basculamenti di superfici deposizionali probabilmente non più antiche di 50 ka circa; etc.). Le strutture mappate corrispondono o a singole faglie o a sciame di faglie subparallele che, per motivi di scala, non potevano essere rappresentate singolarmente; nei casi del secondo tipo è stata indicata la faglia che, all'interno dello sciame, ha prodotto i rigetti maggiori e/o che presenta maggiore continuità e lunghezza. Infine, sono rappresentate con identico simbolo sia faglie che hanno prodotto rigetti di una o alcune centinaia di metri, sia faglie con rigetti tra il metrico ed il decametrico: dettagli circa

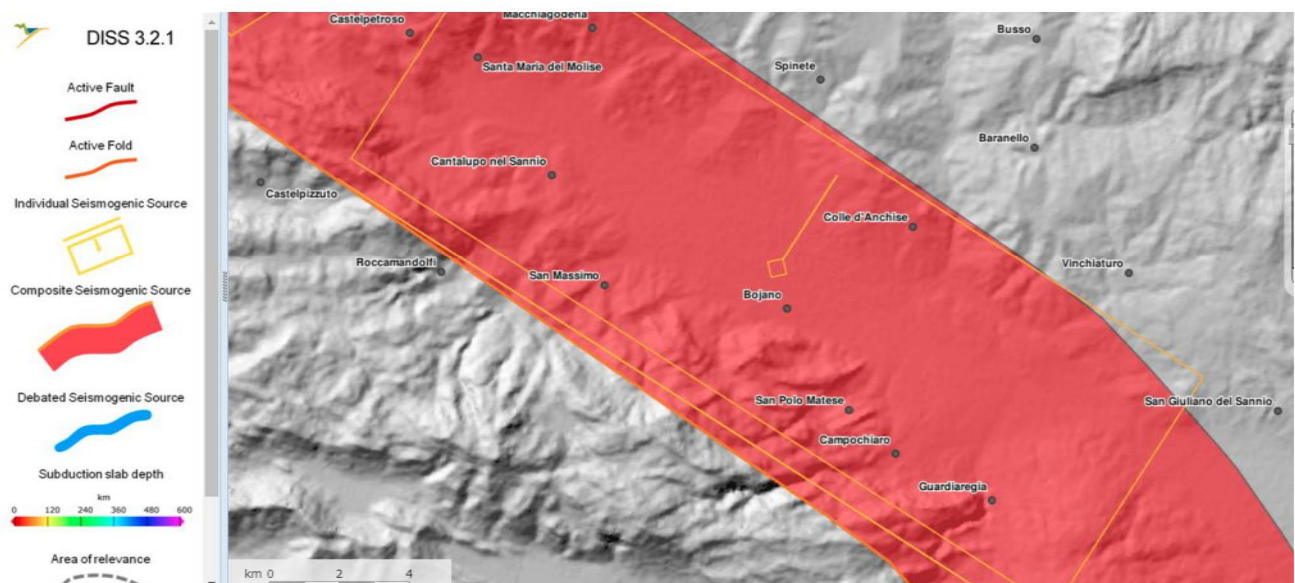
### Faglie sismogenetiche (DISS3 – INGV)

Il repertorio delle sorgenti sismogenetiche si basa sul progetto DISS3 (DISS Working Group 2010. Database of Individual Seismogenic Sources DISS, Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1) che definisce sia le sorgenti composite che quelle individuali. Le sorgenti composite sono strutture dedotte da dati geologici e geofisici regionali di superficie e profondi ed includono degli allineamenti di sorgenti individuali. Per le sorgenti composite vengono definiti i parametri geometrici (strike, dip, depth) e cinematici (rake). Al contrario delle sorgenti individuali il potenziale sismico non è direttamente definibile e vengono dunque associate a parametri dedotti dai cataloghi dei terremoti. Le sorgenti individuali sono definite su parametri geologici, geofisici, geometrici e sismologici definiti e sono associate a determinati eventi.

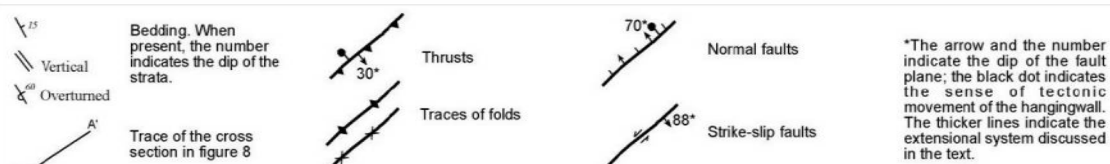
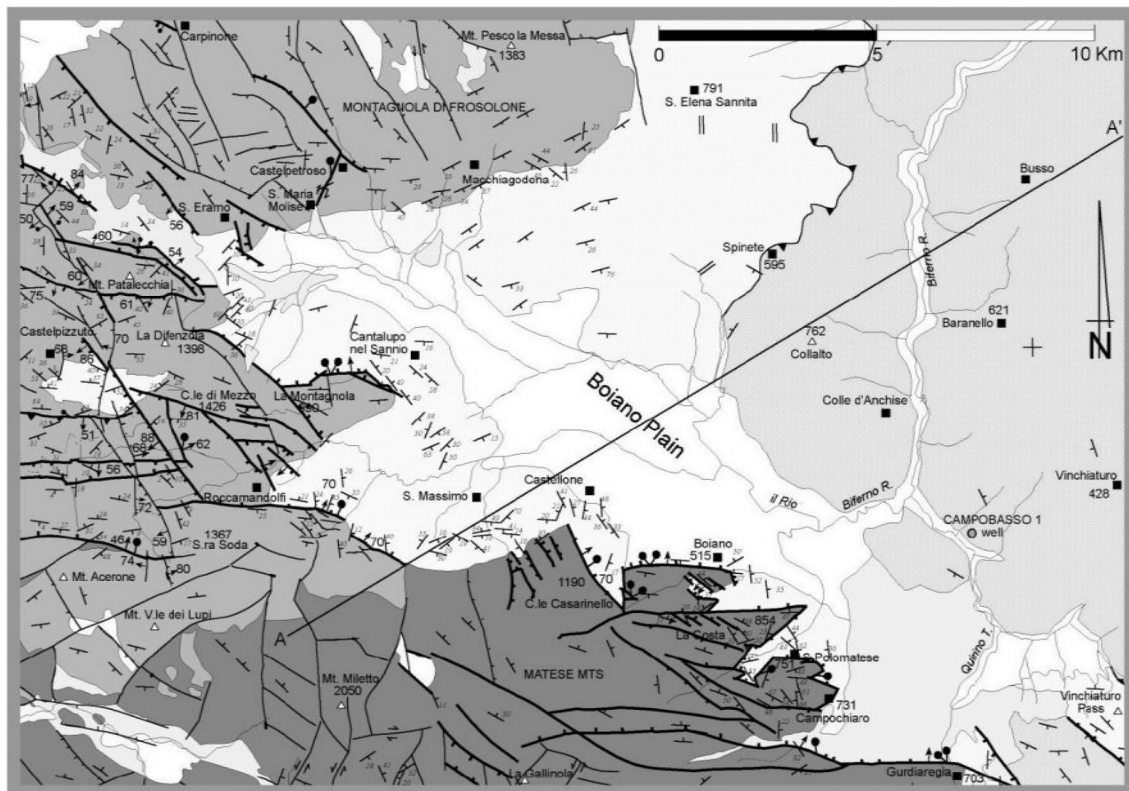
### Sorgenti Individuali

I dati forniti dal progetto DISS3 mostrano che il territorio del comune di Bojano è posto al centro del bacino tettonico di Bojano zona sorgente ITIS004 (Bojano Basin). Questa sorgente comprende l'intera piana di Bojano ed è una delle zone sismogenetiche più attive d'Italia e dell'Appennino meridionale. Si tratta di una dislocazione estensiva da sub-verticale a nord-est immergente, posta sull'asse principale dell'Appennino meridionale. Questa sorgente rappresenta una profonda faglia NW-SE che va dalla piana di Morcone fino secondo alcuni autori fino ad Isernia.

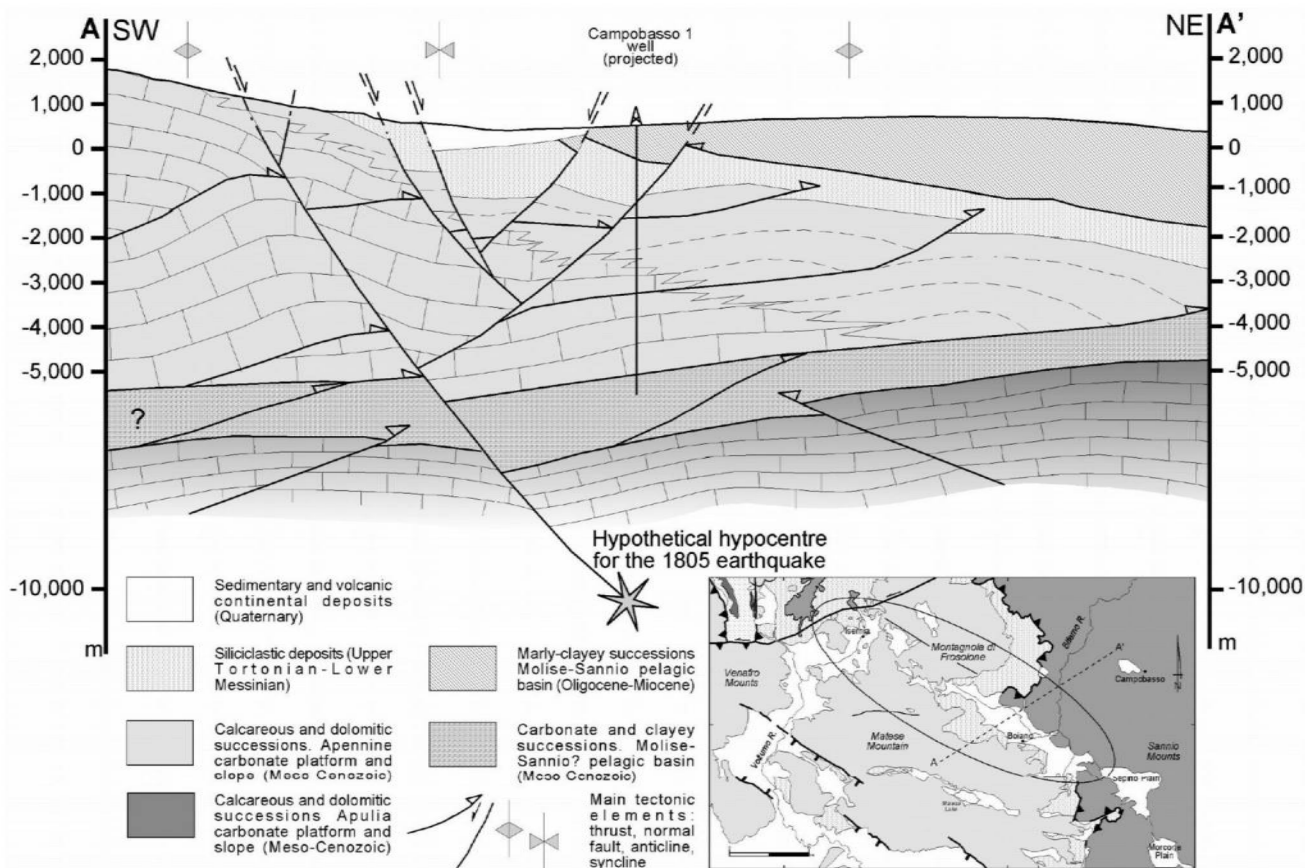
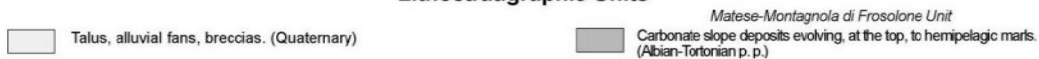
INFORMAZIONI PARAMETRICHE			
Posizione [Lat / Lon]	41.50 / 14.47	LD	Basato sull'osservazione geologica e geomorfologica.
Lunghezza [km]	24,0	LD	Basato su osservazioni geologiche e geomorfologiche.
Larghezza [km]	13.8	ER	Calcolato utilizzando le relazioni di Wells and Coppersmith (1994).
Profondità minima [km]	1.0	LD	Basato su osservazioni geologiche e geomorfologiche.
Profondità massima [km]	12.3	AR	Derivato da immersione, larghezza e profondità minima.
Strike [deg]	304	LD	Basato su osservazioni geologiche e geomorfologiche.
Dip [deg]	55	LD	Basato su osservazioni geologiche e geomorfologiche.
Rake [deg]	270	EJ	Derivato da considerazioni sismologiche regionali.
Slip per evento [m]	0.97	ER	Calcolato da $M_0$ utilizzando la relazione di Hanks e Kanamori (1979).
Velocità di scorrimento [mm / a] min... max	0,1 ... 1,0	EJ	Sconosciuto, valori assunti da vincoli geodinamici.
Ricorrenza [y] min... max	970 ... 9700	EJ	Derivato dalla velocità di scorrimento e dallo spostamento medio.
Magnitudine [Mw]	6.6	LD	Valore adottato dal catalogo storico dei terremoti CPTI04.
LD = DATI DI LETTERATURA; OD = DATI ORIGINALI; ER = RELAZIONE EMPIRICA; AR = RELAZIONE ANALITICA; EJ = GIUDIZIO DI ESPERTI;			







#### Lithostratigraphic Units



### 8.3. SISMICITÀ STORICA

Di seguito viene riportata la sismicità storica del comune di Casalnuovo Monterotaro come è stata compilata nel database macrosismico italiano DBMI15, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>.

#### Place/DIT\_58581

Coordinate (lat, lon) 41.484, 14.469

Comune (ISTAT 2015) Bojano

Provincia Campobasso

Regione Molise

Numero di eventi riportati 43

Effetti	In occasione del terremoto del					
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
9	1293 09 04	Sannio-Matese	6	8-9	5.80	
11	1456 12 05	Appennino centro-meridionale	199	11	7.19	
8	1688 06 05 15 30	Sannio	215	11	7.06	
9	1805 07 26 21	Molise	220	10	6.68	
5-6	1831 11 23 04 17	Matese	1	5-6	4.40	
6	1857 12 16 21 15	Basilicata	340	11	7.12	
5-6	1875 12 06	Gargano	97	8	5.86	
4-5	1882 06 06 05 40	Isernino	50	7	5.20	
5	1885 12 26 02	Molise	28	5-6	4.66	
NF	1904 07 18 20 02	Beneventano	24	5	4.50	
NF	1905 03 14 19 16	Avellinese	94	6-7	4.90	
NF	1905 11 26	Irpinia	122	7-8	5.18	
4	1907 03 20 13 28	Molise	24	6	4.38	
NF	1907 10 07 14 22	Sorano	15	5	4.20	
NF	1912 07 07 04 45	Sorano	19	5	4.18	
6	1913 10 04 18 26	Molise	205	7-8	5.35	
6	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11	7.08	
NF	1919 10 22 06 10	Anzio	142	6-7	5.22	
3-4	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6.67	
NF	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83	
4	1956 11 25 02 06 4	Isernino	41	5	4.07	
5-6	1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9	6.15	
6	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81	
6	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	911	8	5.86	
5	1984 05 11 10 41 4	Monti della Meta	342	7	5.47	
NF	1990 04 16 19 09 3	Isernino	51	5	3.78	
4	1990 05 05 07 21 2	Potentino	1375		5.77	
NF	1991 05 26 12 25 5	Potentino	597	7	5.08	
NF	1991 06 27 08 16 2	Isernino	28	5	3.31	
5	1997 03 19 23 10 5	Sannio-Matese	284	6	4.52	
4	1997 04 22 03 12 0	Sannio-Matese	57	5	4.06	
2	1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786		5.62	
3-4	1997 11 24 19 04 5	Sannio-Matese	46	5	3.88	
2-3	1998 03 07 03 27 0	Isernino	63	5	3.75	
2-3	1998 08 15 09 39 1	Isernino	64	5	3.54	
5	2002 11 01 15 09 0	Molise	638	7	5.72	
4-5	2002 11 12 09 27 4	Molise	174	5-6	4.57	
4	2003 06 01 15 45 1	Molise	501	5	4.44	
3-4	2003 12 30 05 31 3	Molise	326	4-5	4.53	
NF	2005 03 01 05 41 3	Molise	136	4	3.68	
NF	2005 05 21 19 55 1	Area Nolana	271	5	4.07	
2-3	2006 05 29 02 20 0	Gargano	384		4.64	
6	2013 12 29 17 08 4	Matese	16	6-7	5.16	

### 8.4. SISMICITÀ DI BASE

Il comune di Bojano come buona parte della zona montuosa del Matese, fa parte di un'area mesosismica Appenninica, tettonicamente attiva. Gli epicentri di tali terremoti si distribuiscono in modo semiellittico con asse maggiore orientato in direzione Appenninica, tutti con profondità compresa nella crosta terrestre. L'origine dei sismi è da collegare soprattutto alle faglie attive, orientate in direzione appenninica, generatosi dai movimenti della zolla Africana e di quella Eurasatica.



Alla luce della recente normativa il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone, definite dai valori delle accelerazioni di picco del suolo, con probabilità di superamento del 10% in un tempo di ritorno di 50 anni (vedi schema sotto).

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a <sub>g</sub> /g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a <sub>g</sub> /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Il comune di Bojano è classificato come Zona I (ex I<sup>a</sup> categoria). Le nuove norme tecniche hanno definito un nuovo grado di sismicità con riferimento ai valori delle accelerazioni al suolo. Alla luce della seguente Ordinanza il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone, definite dai valori delle accelerazioni di picco del suolo, con probabilità di superamento del 10% in un tempo di ritorno di 50 anni. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V<sub>S,eq</sub> (in m/s), definita

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dall'espressione:

con:

h<sub>i</sub> spessore dell'i-esimo strato;

V<sub>S,i</sub> velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V<sub>S</sub> non inferiore a 800 m/s.

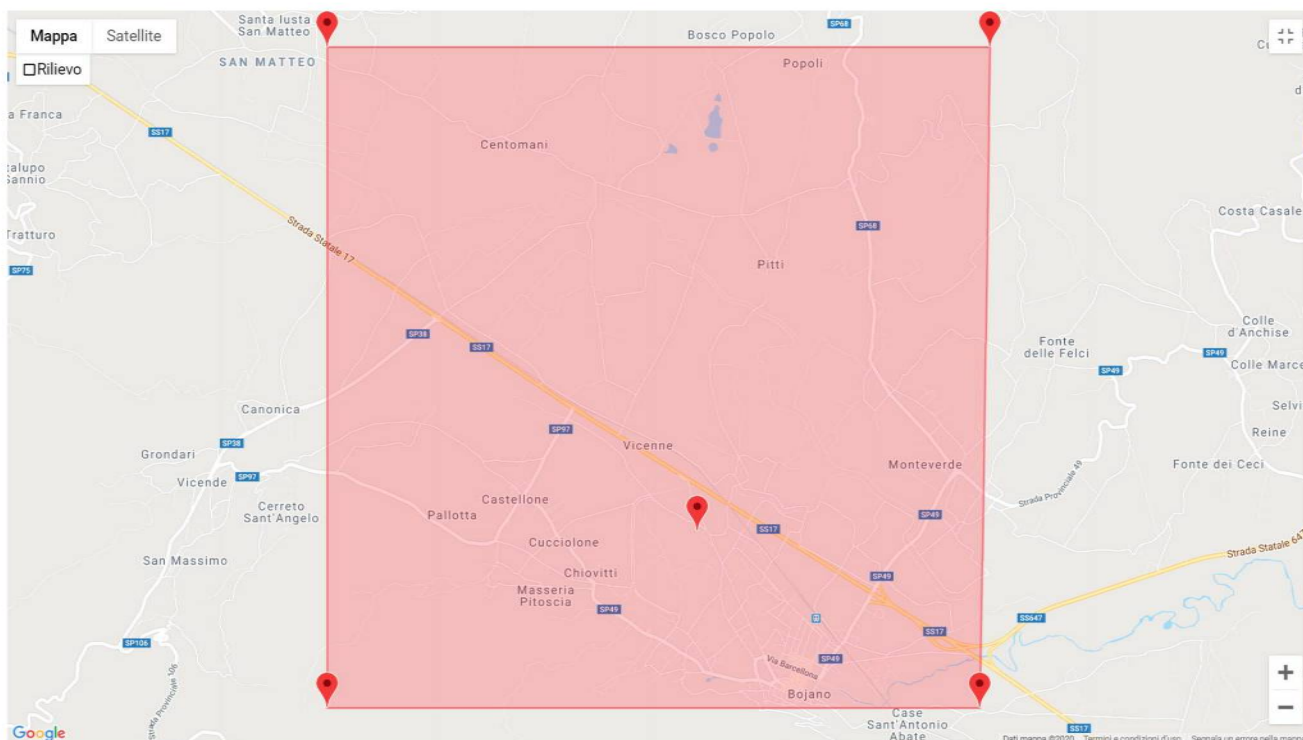
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V<sub>S,eq</sub> è definita dal parametro VS30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

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

I dati sismici relativi alla sismicità di base sono appresso elencati.

## PARAMETRI SISMICI SITO BOJANO CIVICO CIMITERO



### Dati

Latitudine (WGS84) :	41,4944
Longitudine (WGS84) :	14,4624
Latitudine (EDU50) :	41,4961
Longitudine (EDU50) :	14,4631
Anni :	50
Classe d'uso :	I - Presenza occasionale di persone
Categoria sottosuolo :	B
categoria topografica :	T1 pianeggiante o pend <15%

### Stato limite : SLV - vita

#### Risultato

Tempo di ritorno(anni) :	332
Ag :	2,240
Ag/g :	0,229
F0 :	2,332
T*C(sec) :	0,357

### Vicini nella griglia

id	Longitude	Latitude	Ag	F0	T*C
30095	14,425	41,531	2,244	2,330	0,357
30096	14,492	41,531	2,201	2,358	0,357
30318	14,491	41,481	2,252	2,324	0,357
30317	14,425	41,481	2,258	2,320	0,357



Coefficiente stratigrafico :	1,387
Coefficiente topografico :	1,000

#### Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,280
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,089
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,044

#### Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,310
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,098
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,049

#### Stato limite : SLO - operatività

##### Risultato

Tempo di ritorno (anni) :	21
Ag :	0,665
Ag/g :	0,068
F0 :	2,373
T*C(sec) :	0,280

#### Vicini nella griglia

id	Longitude	Latitude	Ag	F0	T*C
30095	14,425	41,531	0,671	2,370	0,280
30096	14,492	41,531	0,665	2,370	0,280
30318	14,491	41,481	0,662	2,380	0,280
30317	14,425	41,481	0,665	2,370	0,280

Coefficiente stratigrafico :	1,500
Coefficiente topografico :	1,000

#### Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,200
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,020
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,010

#### Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,180
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,018
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,009

## Stato limite : SLD - danno

### Risultato

Tempo di ritorno(anni) :	35
Ag :	0,721
Ag/g :	0,074
F0 :	2,368
T*C(sec) :	0,286

Coefficiente stratigrafico :	1,500
Coefficiente topografico :	1,000

### Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,200
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,022
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,011

### Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,180
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,020
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,010

## Stato limite : SLC - collasso

### Risultato

Tempo di ritorno(anni) :	682
Ag :	3,116
Ag/g :	0,318
F0 :	2,325
T*C(sec) :	0,382

Coefficiente stratigrafico :	1,265
Coefficiente topografico :	1,000

### Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

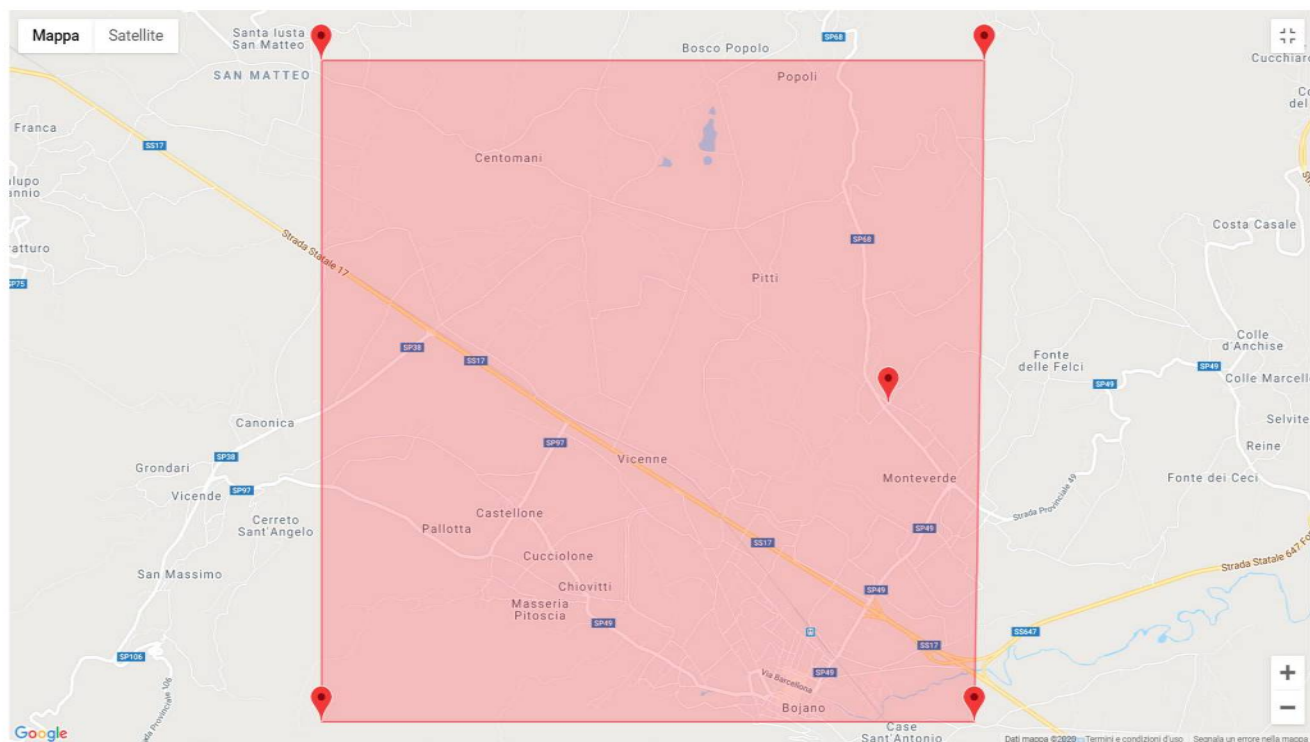
Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,280
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,113
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,056

### Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,310
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,125
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,062



## PARAMETRI SISMICI SITO FRAZIONE MONTEVERDE CIVICO CIMITERO



### Dati

Latitudine (WGS84) :	41,5051
Longitudine (WGS84) :	14,4823
Latitudine (EDU50) :	41,5068
Longitudine (EDU50) :	14,4830
Anni :	50
Classe d'uso :	I - Presenza occasionale di persone
Categoria sottosuolo :	C
categoria topografica :	T1 pianeggiante o pend <15%

### Stato limite : SLV - vita

#### Risultato

Tempo di ritorno(anni) :	332
Ag :	2,233
Ag/g :	0,228
F0 :	2,337
T*C(sec) :	0,357

#### Vicini nella griglia

id	Longitude	Latitude	Ag	F0	T*C
30095	14,425	41,531	2,244	2,330	0,357
30096	14,492	41,531	2,201	2,358	0,357
30318	14,491	41,481	2,252	2,324	0,357
30317	14,425	41,481	2,258	2,320	0,357

Coefficiente stratigrafico :	1,387
Coefficiente topografico :	1,000

**Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante**

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,280
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,088
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,044

**Coefficiente sismico per muri di sostegno**

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,310
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,098
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,049

**Stato limite : SLO - operatività****Risultato**

Tempo di ritorno(anni) :	21
Ag :	0,665
Ag/g :	0,068
F0 :	2,373
T*C(sec) :	0,280

Coefficiente stratigrafico :	1,500
Coefficiente topografico :	1,000

**Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante**

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,200
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,020
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,010

**Coefficiente sismico per muri di sostegno**

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,180
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,018
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,009

**Stato limite : SLD - danno****Risultato**

Tempo di ritorno(anni) :	35
Ag :	0,721
Ag/g :	0,074
F0 :	2,367
T*C(sec) :	0,286

Coefficiente stratigrafico :	1,500
Coefficiente topografico :	1,000

**Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante**

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,200
---	-------



Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,022
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,011

#### Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,180
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,020
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,010

### Stato limite : SLC - collasso

#### Risultato

Tempo di ritorno(anni) :	682
Ag :	3,103
Ag/g :	0,317
F0 :	2,328
T*C(sec) :	0,382

#### Vicini nella griglia

id	Longitude	Latitude	Ag	F0	T*C
30095	14,425	41,531	3,119	2,325	0,380
30096	14,492	41,531	3,048	2,350	0,380
30318	14,491	41,481	3,134	2,310	0,385
30317	14,425	41,481	3,152	2,320	0,380

Coefficiente stratigrafico :	1,267
Coefficiente topografico :	1,000

#### Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,280
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,112
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,056

#### Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,310
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,124
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,062

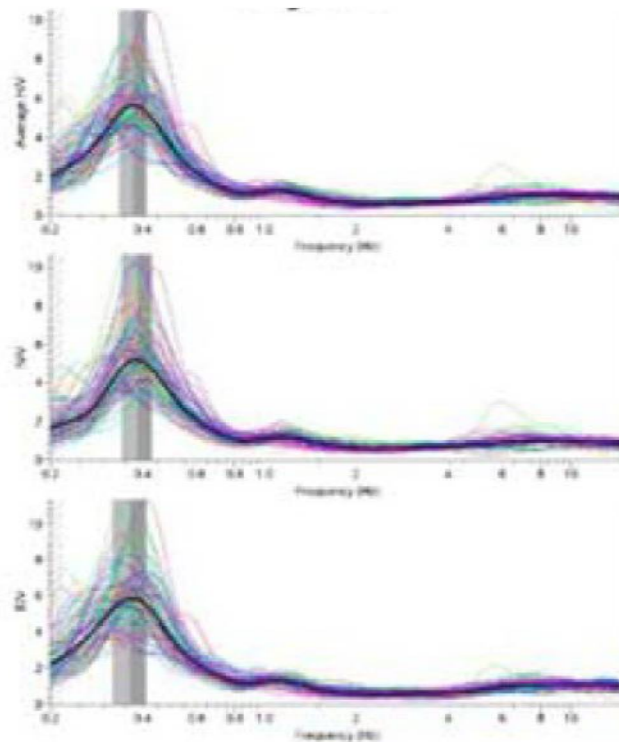
## 8.5. MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO

Nelle due aree in esame sono presenti due prove HVSR una eseguita al cimitero di Bojano quindi definisce il sito in esame. L'altra è relativa al sito di Monteverde è posta nella frazione di Monteverde presso la scuola materna. La tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical SpectralRatio - Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati

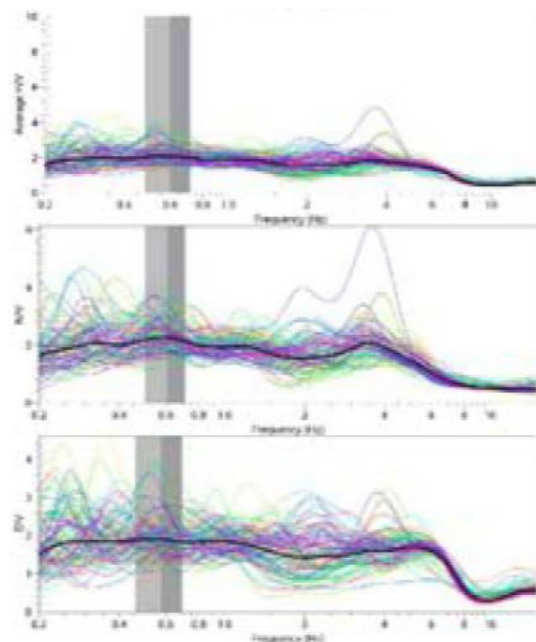
ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). Per una più ampia trattazione delle caratteristiche sismiche dei suoli in esame, si rimanda all'allegato della prova sismica, in coda alla presente. Infine, l'amplificazione di tipo topografico (T) è pari ad 1, visto che l'angolo di pendenza del versante è inferiore a 15 deg°. I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio. L'analisi delle misure Nakamura ha portato ad una preliminare definizione degli effetti di amplificazione locale all'interno dell'area in esame in termini delle frequenze di amplificazione legate alla stratigrafia presso ciascun punto misura (effetti 1D). Nel dettaglio si sono evidenziate quattro tipologie di suoli caratterizzati da differenti frequenze di risonanza:

- 1) zona "piana di Bojano" ove sono evidenti effetti di sito caratterizzati da una frequenza di risonanza di 0.3 – 0.4 Hz
- 2) zona pedemontana presso Bojano e Monteverde ove sembrano esistere effetti di sito con una frequenza di risonanza pari a circa 1Hz

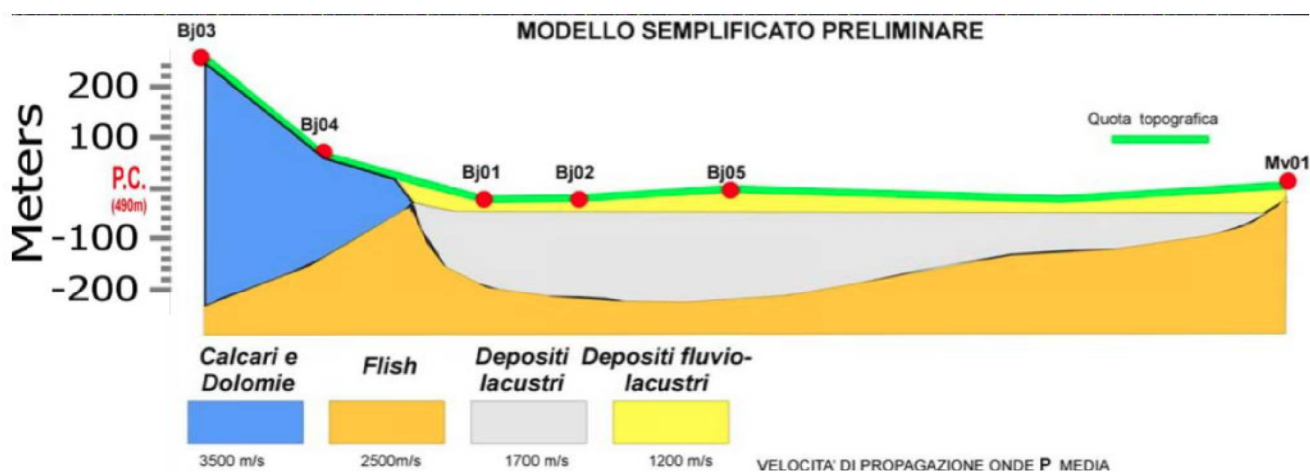
Stazione Bj05 (cimitero Bojano) la curva media H/V indica la presenza di un significativo picco (frequenza di risonanza) a circa 0.4 Hz con un livello di amplificazione di circa 6; la curva H/Href media indica per le due componenti orizzontali (HNS/HNSref e HEW/HEWref) un chiaro effetto di amplificazione alla frequenza di circa 0.4 Hz con un livello di amplificazione pari a circa 13 ed una generale amplificazione del segnale sismico pari a circa 6 volte il sito di riferimento per le frequenze comprese fra 0.4 e 1 e pari a circa 3 volte per le frequenze comprese fra 1 e 5 Hz; per quanto riguarda la curva V/Vref è possibile osservare un picco intorno a 0.8 Hz.



Stazione Mv01 (prossimità del versante, scuola Monteverde): la curva media H/V indica, per quanto riguarda la componente est-ovest, la presenza di un modesto effetto di amplificazione intorno ai 4 Hz con un livello di amplificazione comunque prossimo a 3; la curva media H/Href indica un debole effetto di amplificazione rispetto al sito di riferimento per le frequenze comprese fra 0.4 e 1 Hz.



Entrambe le misurazioni fanno rientrare il valore di  $V_{Seq}$  nella classe di suolo C secondo l'approccio semplificato sintetizzato nella tab 3.2.2 nelle NTC 2018. Relativamente all'amplificazione del segnale sismico nel caso di Bojano, la durata del segnale registrato per uno stesso terremoto è estremamente variabile in funzione delle condizioni di sito: i siti in piana presentano una durata significativamente maggiore. Qualitativamente si osserva che mediamente un terremoto registrato in corrispondenza di siti in piana (Bj01, Bj02 e Bj05) è caratterizzato da una durata pari a più di 2 volte la durata dello stesso evento registrato in corrispondenza di siti in roccia. Il significativo aumento di durata è prevalentemente legato alla generazione di onde all'interno del bacino caratterizzate da frequenze inferiori a 1 Hz. Dall'analisi dei dati si è potuto ricostruire un modello sismico di sito che passa tra i due siti in esame corrispondenti tra il sito di misura Bj05 e Mv01. Dalla ricostruzione si può notare lo spessore di circa 200 metri di depositi lacustri costituiti da limi argillosi e sabbiosi con depositi fluvio-lacustri più grossolani e costituiti da ghiaie sabbie e limi sabbiosi. Inoltre, il sito Mv01 di Monteverde non poggia su depositi lacustri che amplificano il segnale sismico.



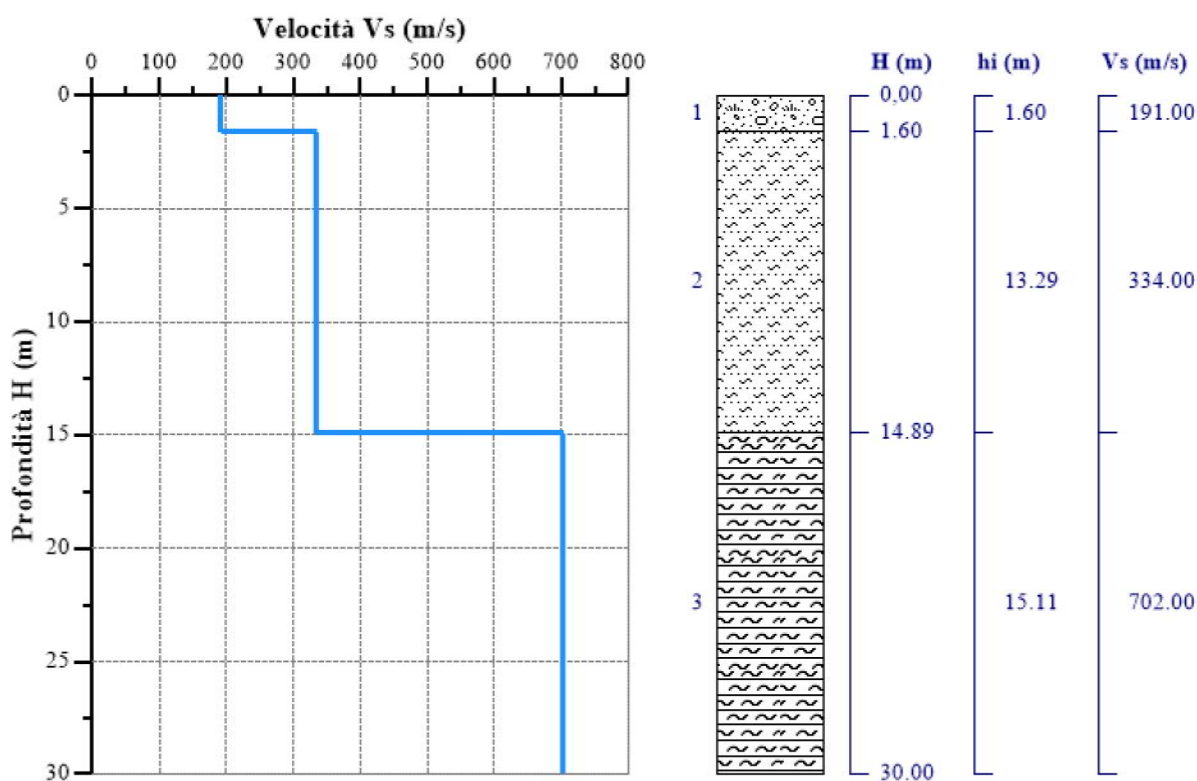


Tale tecnica è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). Per una più ampia trattazione delle caratteristiche sismiche dei suoli in esame, si rimanda all'allegato della prova sismica, in coda alla presente. Infine, l'amplificazione di tipo topografico (T) è pari ad 1, visto che l'angolo di pendenza del versante è inferiore a 15 deg°. I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio. Viene di seguito riproposto il modello sismico di sito dedotta dalle indagini svolte:

#### Dati riepilogativi HVSR 1 - Sito di Monteverde:

Numero strati:	3
Frequenza del picco:	3.75 Hz +/- 0.64
Valore di disadattamento:	0,36
Valore medio H/V (A0)	1.55
Valore Vseq:	430.47 m/s

#### Modello sismico-stratigrafico



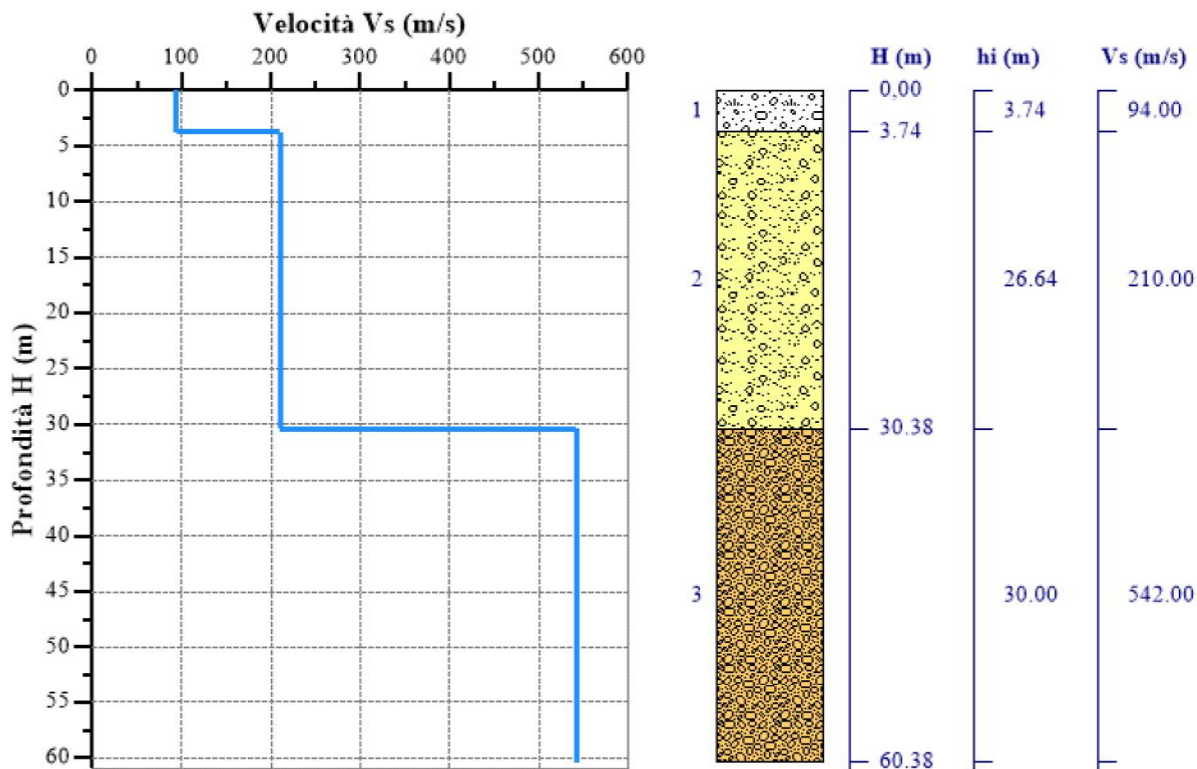
#### Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	3.74	18	0.3	94
2	3.74	24.64	18	0.3	210
3	28.38	30	18	0.3	542

#### Dati riepilogativi HVSr 2 – Sito del sito di Bojano:

Numero strati: 3  
Frequenza del picco: 42.52 Hz +/- 2.6  
Valore di disadattamento: 0.51  
Valore medio H/V (A0): 1.06  
Valore Vseq: 182.00 m/s

#### Modello sismico-stratigrafico



#### Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m^3]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.64	17	0.3	170
2	1.64	10.92	18	0.3	360
3	12.55	20	19	0.3	540

L'analisi dei due profili sismostratigrafici evidenzia le differenze litologiche esistenti tra i due siti. Per il sito **HVSr1** ovvero cimitero di Monteverde si evidenzia la presenza di due riflettori poco marcati uno a media profondità ed uno a piccola profondità. La frequenza di picco è di 3,75 Hz che corrisponde al passaggio tra la parte argillosa e colluviale con il substrato costituito da depositi argillosi sovraconsolidati. A partire dal piano campagna, è possibile ipotizzare il seguente profilo sismostratigrafico, caratteristico dell'area indagata: - Uno strato superficiale costituito da suolo con velocità Vs fino a 191 m/s, un secondo sismostrato costituito argille alterate e alternanza di litotipi con velocità Vs fino a 334 m/s. - Un sismostrato di base che rappresenta il bedrock sismico locale costituito da argille e limo-argillosi sabbiosi sovraconsolidati con velocità delle Vs pari a 774 m/s. Secondo la normativa sismica vigente tale profilo sismico fa rientrare il suolo fondale nella categoria di suolo **B** secondo la Tab 3.2 delle succitate norme tecniche (NTC 2018).

Per il sito **HVSr2** ovvero cimitero di Bojano si evidenzia la presenza di due riflettori uno poco marcati a piccola profondità ed uno molto marcato a grande profondità. La frequenza di picco è di 42.52 Hz che corrisponde al

passaggio tra il suolo e i depositi alluvionali. A partire dal piano campagna, è possibile ipotizzare il seguente profilo sismostratigrafico, caratteristico dell'area indagata: - Uno strato superficiale costituito da suolo con velocità  $V_s$  fino a 94 m/s, un secondo sismostrato costituito da ghiaie e sabbie alluvionali con velocità  $V_s$  fino a 210 m/s. - Un sismostrato di base che rappresenta il bedrock sismico locale costituito ghiaie e sabbie addensate con velocità delle  $V_s$  pari a 542 m/s. Secondo la normativa sismica vigente tale profilo sismico fa rientrare il suolo fondale nella categoria di suolo C secondo la Tab 3.2 delle succitate norme tecniche (NTC 2018).

Categorie		Caratteristiche della superficie topografica
A		Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B		Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C		Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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.
D		Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente 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 100 e 180 m/s.
E		Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 9. CONCLUSIONI

Sulla scorta dei dati raccolti e per quanto fin qui mostrato e discusso ed esposto nelle relative cartografie tematiche allegate, si deduce per l'area esaminata:

- l'assenza di fenomeni franosi in atto,
- i suoli fondali appartengono alla categoria sismica C nel sito di Bojano e B nel sito di Monteverde,
- Il coefficiente di amplificazione topografica è pari ad 1,
- presenza di materiali molto permeabili,
- l'assenza nelle due aree di vincoli idrogeologici e idraulici dall'AdB competente.

Le aree sulle quali sono previste le opere in progetto non presentano condizioni geologiche e litotecniche che compromettono l'integrità geologica del sito, né le opere possono influire negativamente sulla circolazione idrica superficiale e profonda. Va comunque specificato che le acque meteoriche vanno sempre incanalate nel sistema di smaltimento delle acque superficiali presente in sito. Nella successiva fase di progettazione si dovranno eseguire specifiche indagini come richiesto dal paragrafo 6.2.2 delle NTC 2018 che coprono il volume significativo dell'opera. Eventuali disomogeneità del terreno rispetto alla situazione stratigrafica descritta dovranno essere tempestivamente segnalate al sottoscritto tramite la direzione lavori.



TIPOLOGIA DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA	Presenza nella cartografia ufficiale	Livello di Pericolosità Attuale	Livello di Pericolosità Potenziale
Frane, crolli e movimenti di versante (gravitativi)	NO	assente	assente
Rotolamento Ribaltamento massi	NO	assente	assente
Esondazione	NO	assente	assente
Erosione concentrata gully erosion	NO	assente	assente
Erosione areale sheet erosion	NO	assente	assente
Cavità	NO	assente	assente
Faglie attive (rischio di attivazione)	NO	medio	medio
Faglie capaci (rischio di attivazione)	NO	alto	alto
Subsidenza	NO	assente	assente
Tsunami	NO	assente	assente
Fenomeni Vulcanici	NO	assente	assente
Erosione della costa	NO	assente	assente
Pericolosità litostratigrafica	NO	media	media
Pericolosità Idrogeologica (falda)	NO	media	media
Pericolosità Geotecnica	NO	media	media
Suscettibilità alla liquefazione	NO	media	media

Per quanto esposto nella tabella dei rischi geologici sopra esposta non si individuano nell'area in esame zone che precludono o limitano la realizzazione del manufatto in progetto.

*Tanto per incarico ricevuto*

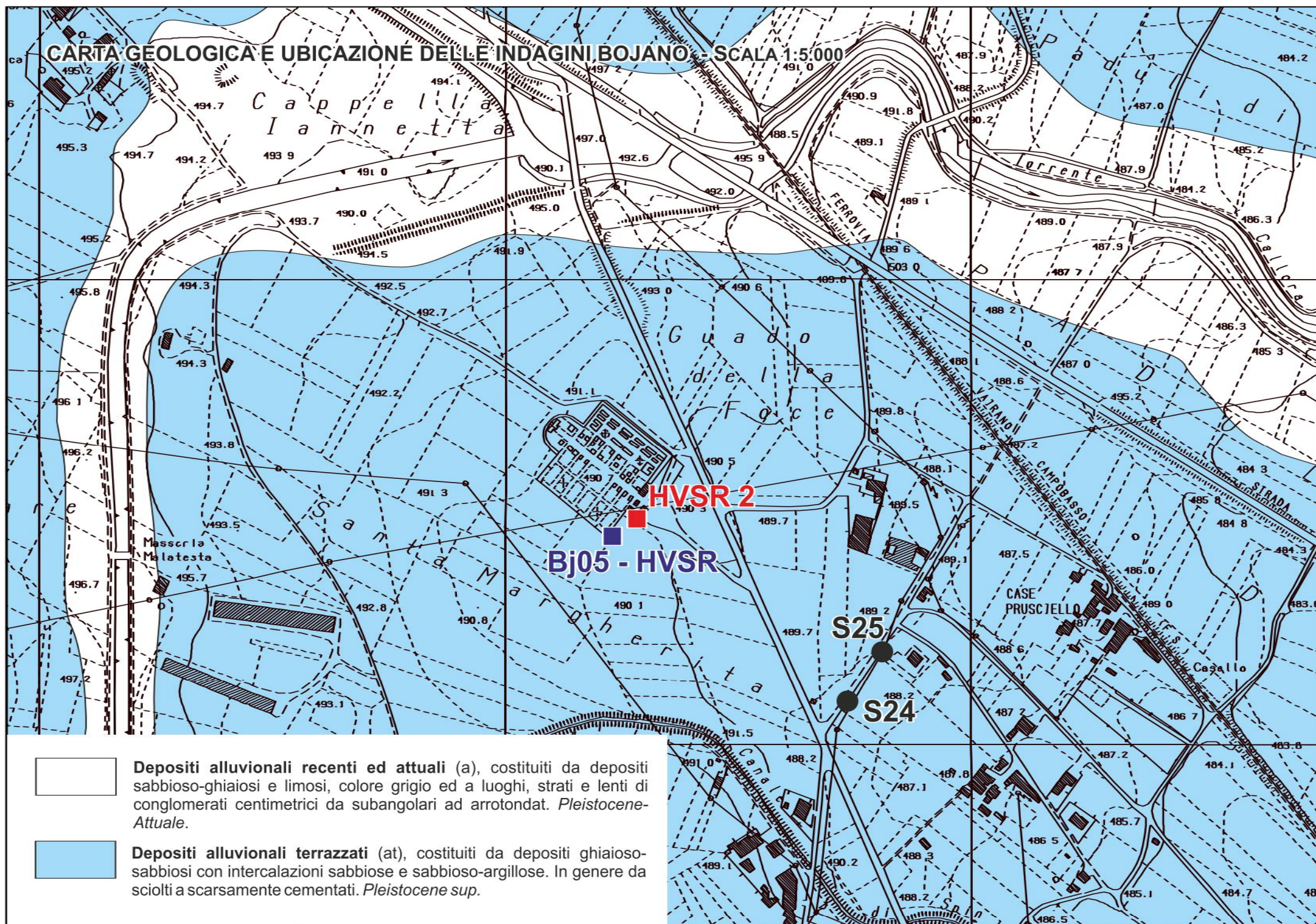
Il Tecnico  
dott. geol. Giuseppe PACQUADIO



Pietrelcina, novembre 2020

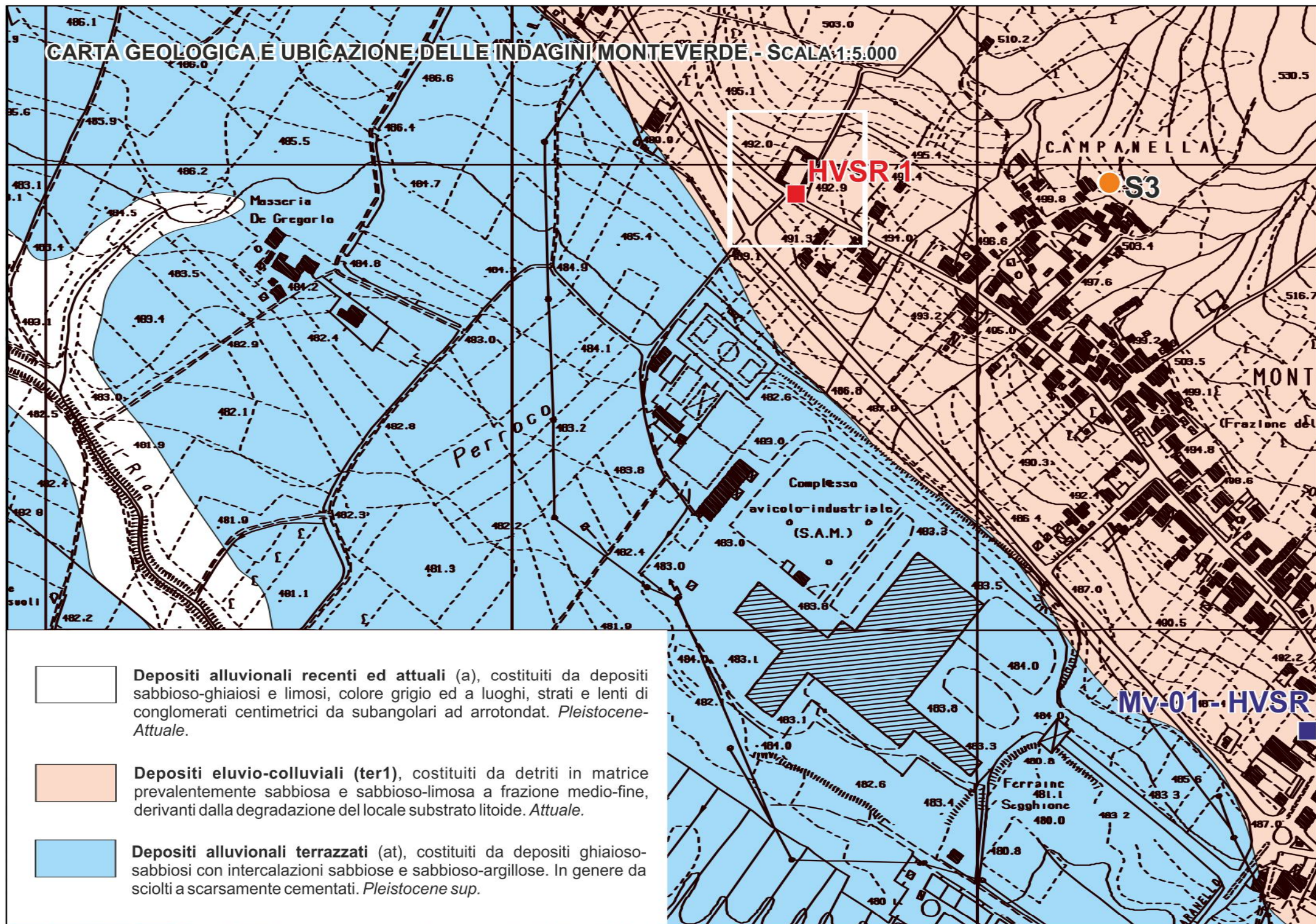


# CARTA GEOLOGICA E UBICAZIONE DELLE INDAGINI BOJANO - SCALA 1:5.000



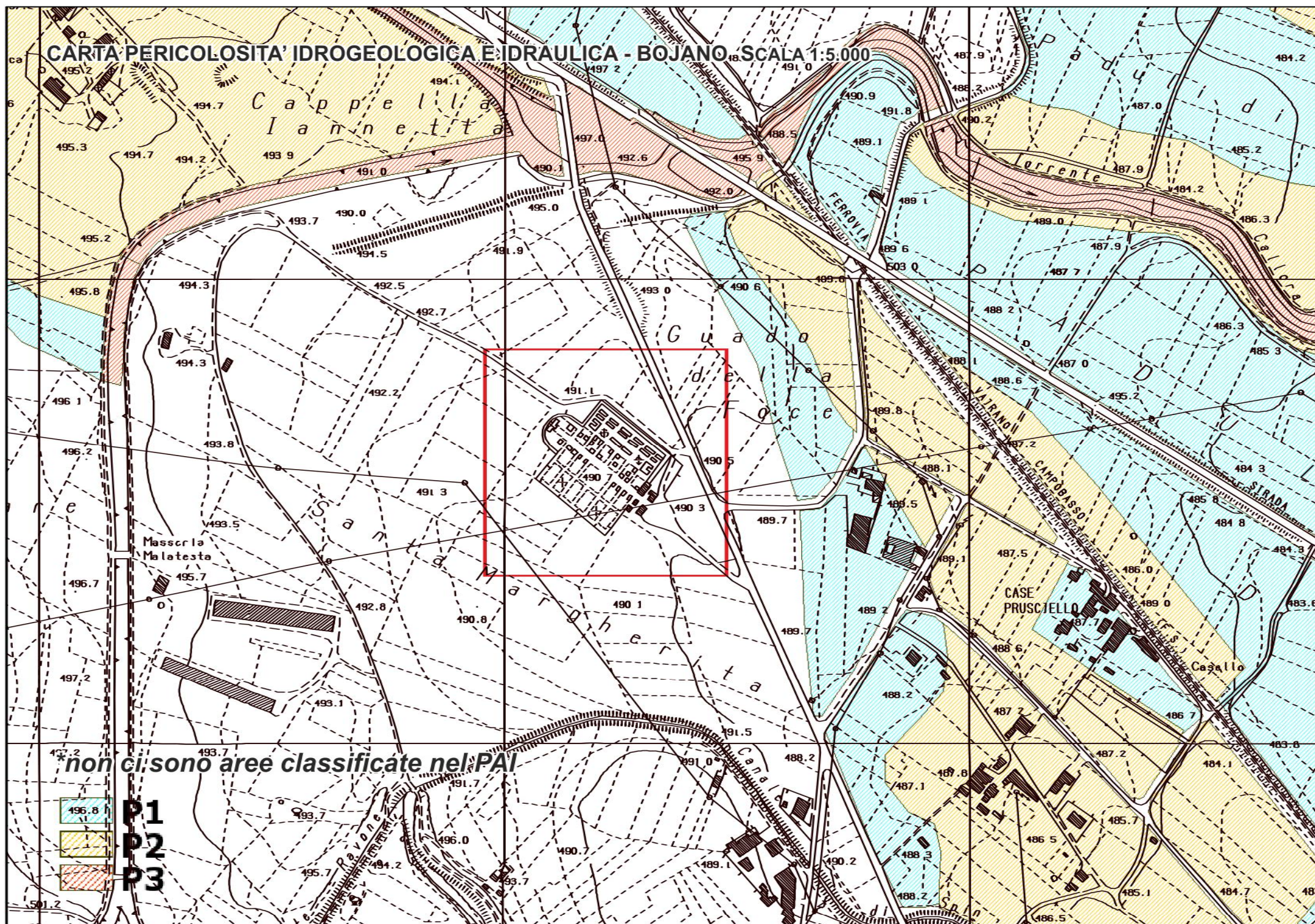


# CARTA GEOLOGICA E UBICAZIONE DELLE INDAGINI MONTEVERDE - SCALA 1:5.000



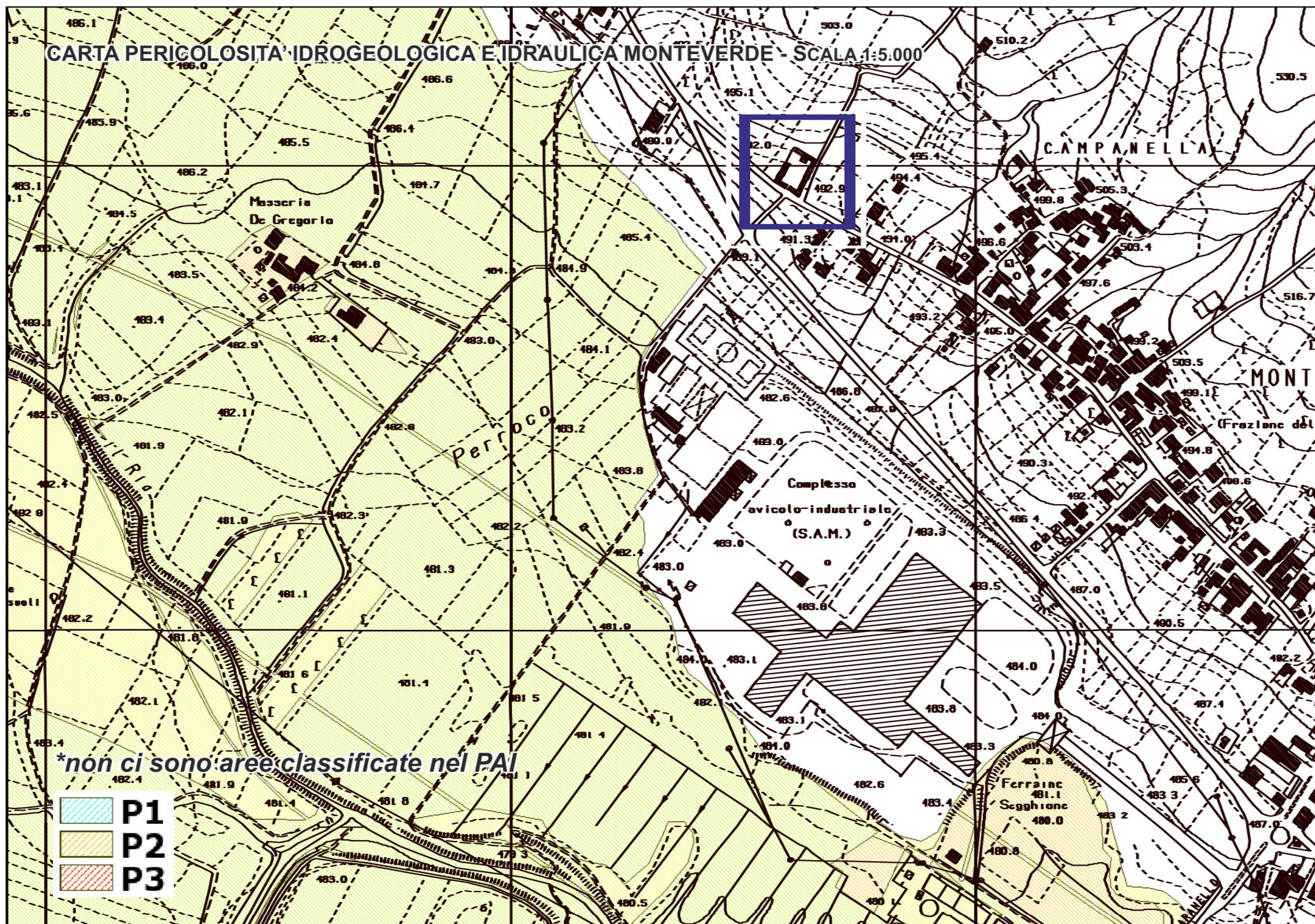


# CARTA 'PERICOLOSITA' IDROGEOLOGICA E IDRAULICA - BOJANO, SCALA 1:5.000





# CARTA PERICOLOSITA' IDROGEOLOGICA E IDRAULICA MONTEVERDE - SCALA 1:5.000



\*non ci sono aree classificate nel PAI

- P1
- P2
- P3



## SONDAGGIO N° 18

3cc

SCALA 1:100

LOCALITA': P.R.G. BOIANO

≡ F.R. = FALDA RINVENUTA

≡ F.B. = FALDA STABILIZZATA

■ = CAMPIONE INDISTURBATO

S. P. T. = STANDARD PENETRATION TEST

V. T. PROVA SCISSOMETRICA (VANE TEST)

PROFONDITÀ	QUOTE PARZIALI	S.P.T.	V. T.	SON- DAGGIO	TERRENO	ATTRAVERSATO	FAL
PIANO DI CAMPAGNA							
0.00	0.60				Terreno vegetale.		
0.60	5.10				Sabbia leggermente limosa giallastra, sciolta ed alterata. Qualche livelletto di argilla sabbiosa giallastra.		
5.70	6.10				Arenaria grigio-giallastra ben cementata con frequenti livelli di sabbia giallastra.		
11.80	3.20				Argilla sabbiosa di colore grigiastro.		
15.00					Buona consistenza.		

TECNOSONDA - CAMPOBASSO

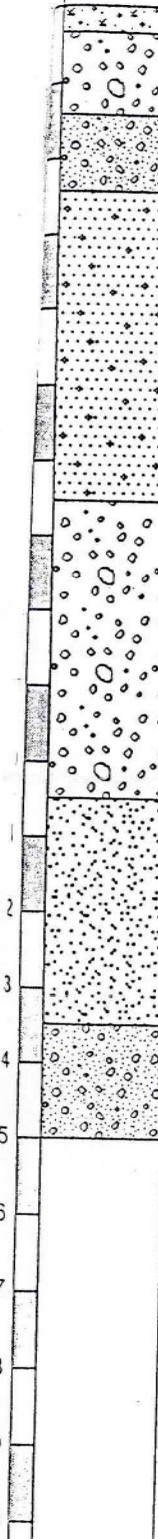

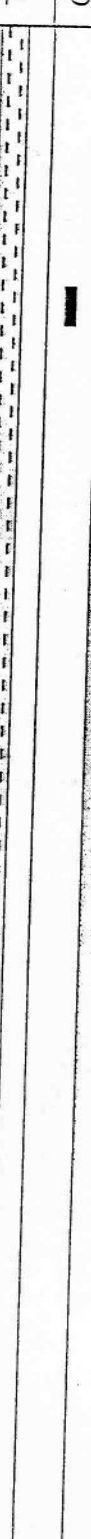


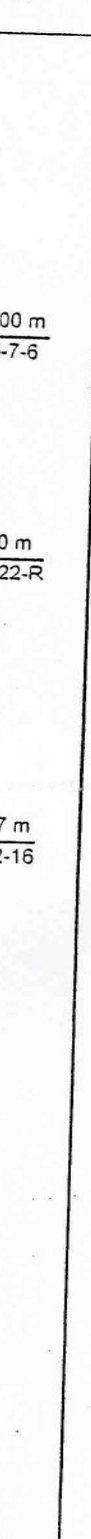


Cantiere: BOJANO (CB)  
Sondaggio: S1 29/10/2003  
Committente: PROVVEDITORATO OO.PP. MOLISE  
Scala Sondaggio: 1:100  
Metodo di perforazione: Rotazione  $\phi$  101 mm

24

STRATIGRAFIA	PROFONDITA'	CLASSIFICAZIONE		POTENZA	FALDA	TUBO APERTO	CAMPIONI	CAROTAGGIO	Z   3 S.P.T.
		LITOLOGICA							
	0.10	Terreno vegetale marrone		0.10					
	0.80	Ghiaie eterometriche in matrice limo-sabbiosa-argillosa marrone		0.70					
		Limi argillo-sabbiosi di colore avana-marrone con ghiaie sparse		5.70					
	6.50								
		Ghiaie eterometriche con orizzonti in matrice limosa		4.00					
	10.50	Limi sabbiosi		0.50					
	11.00								
		Ghiaie eterometriche con orizzonti in matrice limosa		8.60					
	19.60	Argille limose grigio-azzurre		0.40					
	20.00								
OSSERVAZIONI: Sondaggio attrezzato con tubo piezometrico "aperto"									

OSSERVAZIONI: Sondaggio attrezzato con tubo piezometrico "aperto"

STRATIGRAFIA	PROFONDITA'	CLASSIFICAZIONE		POTENZA	FALDA	TUBO APERTO	CAMPIONI	CAROTAGGIO	Z   3 S.P.T.
		LITOLOGICA							
	0.30	Terrano vegetale marrone		0.30					
	1.40	Ghiaie eterometriche		1.10					
	2.40	Ghiaie eterometriche in abbondante matrice limo-sabbiosa		1.00					
	6.50	Limi argilloso-sabbiosi di colore avana-marrone con ghiaie sparse		4.10					
	10.50	Ghiaie eterometriche		4.00					
	13.50	Limi argillosi di colore avana e grigiastro		3.00					
15.00	Ghiaie eterometriche in abbondante matrice limo-sabbiosa		1.50						
OSSERVAZIONI: Sondaggio attrezzato con tubo piezometrico "aperto"									



# ELEBORAZIONE PROVA HVSR

**PROJECT FINANCING PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVI  
LOCULI, CAPPELLE E CELLETTE OSSARIO ALL'INTERNO DEL  
CIMITERO DI BOJANO E AMPLIAMENTO DELL'AREA  
CIMITERIALE DI MONTEVERDE DI BOJANO NONCHE' PER LA  
GESTIONE DEI RELATIVI SERVIZI CIMITERIALI**

GEOL. GIUSEPPE PIACQUADIO



## Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. INDAGINE SISMICA TIPO HVSR.....	2
2.1. SORGENTE.....	2
2.2. EFFETTI DI PERCORSO.....	3
3. LA TECNICA HVSR.....	3
4. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA.....	4
5. PROCEDURE DI ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	5
6. INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE.....	8
6.1. HVSR 1.....	8
6.2. HVSR 2.....	12
1. SINTESI CONCLUSIVA.....	16
2. UBICAZIONE DELLE INDAGINI.....	17
3. FOTO.....	18

## 1. PREMESSA

Su incarico e per conto della società **SICOP srl** con sede in Vinciatura (CB) ed in ottemperanza del DD.MM. del 17 Gennaio 2018, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche finalizzata allo studio geologico a corredo del progetto per la **PROJECT FINANCING PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVI LOCULI, CAPPELLE E CELLETTE OSSARIO ALL'INTERNO DEL CIMITERO DI BOJANO E AMPLIAMENTO DELL'AREA CIMITERIALE DI MONTEVERDE DI BOJANO NONCHE' PER LA GESTIONE DEI RELATIVI SERVIZI CIMITERIALI.**

Le indagini svolte sono di seguito elencate:

n° 2	indagine geofisica con metodologia HVSR per il calcolo delle onde sismiche VSeq in ottemperanza della Normativa Vigente (DM 17.01 del 2018 e s.m.i.) e per il calcolo della frequenza di risonanza del sito.
------	--

## 2. INDAGINE SISMICA TIPO HVSR

Le basi teoriche della tecnica HVSR fanno riferimento sia ai principi fondamentali della sismica tradizionale (riflessione, rifrazione e diffrazione) che alla teoria del Tremore Sismico di Fondo. Le caratteristiche di un'onda registrata in un determinato luogo della superficie terrestre da uno

strumento dipende da tre fattori, e più precisamente:

- Forma dell'Onda prodotta dalla Sorgente S;
- Percorso effettuato dall'onda, a partire dalla sorgente S fino al punto di rilevamento, che dipende da numerosi effetti, quali attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, intrappolamento di treni d'onda, ecc.;
- Risposta dello Strumento, legata alle sue caratteristiche tecniche e alla sua corretta installazione.

Trascurando la componente legata alle caratteristiche dello strumento di rilevamento, è possibile tradurre il fenomeno registrato secondo il seguente rapporto:

$$SR = SG \times PE \times AQ$$

con

SR = Segnale registrato al punto di rilevamento;

SG = Sorgente;

PE = Effetti di Percorso;

AQ = Funzione di Acquisizione dello Strumento.

Tralasciando gli effetti inerenti le modalità di acquisizione e trasformazione del segnale da parte dello strumento, di seguito si descrivono gli altri elementi che influenzano la propagazione delle onde sismiche all'interno del suolo.

### 2.1. SORGENTE

Il Tremore Sismico di Fondo, noto anche come Rumore Ambientale, è presente su tutta la superficie terrestre, ed è generato da tre sorgenti principali:

- *Onde Oceaniche e attività dinamica terrestre.* A titolo esemplificativo, il tremore prodotto dalle tempeste oceaniche si estende fino ad oltre 3.000 km di distanza;
- *Perturbazioni Atmosferiche,* il cui disturbo si può propagare sotto forma di microtremore sulla superficie terrestre fino a distanze di 200 ÷ 300 km.
- *Rumore Antropico* (industrie, autostrade, ferrovie, ecc.), che può estendere i suoi effetti fino ad un massimo di 10 ÷ 30 km. L'ampiezza di questa componente risulta trascurabile, rispetto alle altre due nella produzione del Tremore Sismico di Fondo. Può al massimo provocare interferenze nel corso dell'acquisizione del segnale in caso di vicinanza eccessiva della fonte dallo strumento di rilevazione.
- Il *Rumore Ambientale* viene anche indicato come Microtremore, in quanto interessa oscillazioni estremamente contenute le accelerazioni in gioco sono dell'ordine di 10-15 m/s<sup>2</sup>, di gran lunga più piccole di quelle generate dai terremoti. In geofisica, le procedure basate sul rilevamento del Microtremore vengono indicate come metodi di Sismica Passiva, in quanto rilevano onde generate da fonti naturali e non da impulsi provocati artificialmente, con intensità, tempi e distanze dal punto di rilevamento note.

## 2.2. EFFETTI DI PERCORSO

Nella porzione di sottosuolo compresa tra la Sorgente della perturbazione e un punto posto ad una determinata distanza da questa, le onde elastiche (sia quelle derivanti da un terremoto che quelle indotte dal microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, e fenomeni di intrappolamento, legati sia alla struttura sedimentaria e geologica, che ai fenomeni di attenuazione e smorzamento, che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che la componente fondamentale dello spettro contiene informazioni relative alla struttura locale del sottosuolo, in corrispondenza del sensore di acquisizione. Il "rumore sismico", che nella sismologia classica costituisce la componente del segnale che viene scartata attraverso complesse tecniche di pulizia, contiene invece importanti informazioni sulla struttura del primo sottosuolo. Queste però risultano nascoste molto bene nel rumore casuale di fondo di un sismogramma e possono essere individuate ed estratte attraverso apposite metodologie, come appunto quella HVSR.

## 3. LA TECNICA HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) sta raggiungendo un discreto grado di popolarità in quanto:

- è risultata essere uno strumento stratigrafico efficace, economico e totalmente non invasivo;
- si può applicare in qualsiasi situazione e non necessita di alcun tipo di perforazione, stendimenti di cavi o energizzazione esterna, diversa dal Microtremore Naturale;
- dà modo di identificare più strati, anche in caso di contrasti di impedenza sismica bassi;
- è applicabile a geometrie non planari e tridimensionali; - è applicabile sia a profondità medio basse (fino a 70 - 80 m) che a prospezioni profonde (dell'ordine di 1 km di profondità);
- se la stratigrafia è nota in un punto, consente di effettuare stime speditive dei valori medi di VS.



Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e per una corretta caratterizzazione dei litotipi investigati si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il metodo di acquisizione si dice Passivo in quanto la perturbazione non è generata artificialmente, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva (sismica a rifrazione), ma consiste nel rumore naturale definito come "microtremore". I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- **la Stratigrafia del Sottosuolo** con un intervallo di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 50 ÷ 70 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso;
- **la Velocità Media delle Onde di Taglio  $V_s$**  calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario conoscere, anche in maniera indicativa, la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. La stima di questo parametro caratterizza al meglio, dal punto di vista geofisico, i vari litotipi presenti. È inoltre possibile valutare la velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del substrato roccioso (o altro tipo di substrato ad elevato contrasto sismico) e stabilire il tipo di roccia o terreno presente. La tecnica HVSR può essere applicata anche in presenza di inversioni di velocità (materiali più compatti che poggiano sopra livelli con proprietà fisiche più scadenti);
- **le Frequenze Caratteristiche di Risonanza del Sito** che rappresentano un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi.

#### 4. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Per tale scopo viene utilizzato un sismografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza 0.45 Hz). Lo strumento (GeoBox – Sara Instrument) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione.

Alimentazione:	batteria interna ricaricabile, consumo minore di 1W
Numero canali ed a/d converter:	3 (SD) dinamica di 144dB (24 bit effettivi fra 0.1 e 10Hz, ENOB)
Campionamento:	simultaneo sui tre canali a 10,20,50,100,200,300,400,480,600Hz
Sensibilità:	con velocimetri da 4.5Hz: < 1 nanometro/secondo per count
Precisione RTC:	+/-10ppm fra -20/+50°C (+/-40ms rispetto ad UTC)
Interfaccia dati:	RS232 con cavo da 8 metri e adattatore USB in dotazione
Contenitore:	Monoblocco in alluminio IP66

Dimensioni e peso:	155x140x110 mm 3.1kg con sensori da 4.5Hz
Temperatura operativa:	-20/+50°C
Conformità:	CE



## 5. PROCEDURE DI ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, è stato stabilito il complesso delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. Questo è stato quindi successivamente ripreso e sviluppato con il D.M. 14 gennaio 2008 e recentemente dal D.M. 17 gennaio 2018: "Norme Tecniche per le Costruzioni" di seguito indicato come NTC/18. Uno degli assunti fondamentali della normativa riguarda il concetto di Risposta Sismica Locale, o Effetto di Sito. Nel Capitolo 7.11.3.1 delle NTC/18 si riporta che: "Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la Risposta Sismica Locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica



orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2)". Per Effetto di Sito si intende l'insieme di trasformazioni (sia in termini di intensità, che frequenza) che un treno di onde sismiche subisce nel suo percorso, durante l'attraversamento di strati di terreno costituiti da materiali con diverse proprietà meccaniche. Il presente lavoro si basa sulla Teoria di Nakamura, che mette in relazione lo spettro di risposta di un substrato di riferimento (roccia sana, caratterizzata da un rapporto  $H/V = 1$ ) con quello effettivamente misurato alla superficie dell'area in esame. La rappresentazione del Moto Sismico può essere espressa sia nel campo del Tempo, che delle Frequenze. Il modello di riferimento semplificato della procedura di calcolo utilizzata è quella di un deposito alluvionale, costituito da materiale omogeneo, con uno spessore  $H$ , che poggia direttamente sul basamento roccioso. Sottoponendo questo modello ad una perturbazione sismica, con propagazione in direzione verticale delle onde di taglio, se le onde incidenti di taglio sono di tipo sinusoidale, con Frequenza  $\nu$ , anche l'accelerazione sul substrato rigido avrà la stessa Frequenza  $\nu$ , ed un'Ampiezza pari ad  $A_{MaxR}$ . La corrispondente accelerazione sulla superficie dello strato alluvionale, presenterà la stessa Frequenza  $\nu$ , ma un'ampiezza diversa, pari ad  $A_{MaxS}$ . Il rapporto tra le due accelerazioni

$$A = A_{MaxR} / A_{MaxS}$$

viene indicato come Fattore di Amplificazione, e dipende dalla Frequenza dell'esecuzione armonica ( $\nu$ ), dal Fattore di Smorzamento del Terreno ( $F_s$ ) e dal rapporto  $I = (RVR)/(SVs)$  tra l'Impedenza del substrato roccioso e quella caratteristica del deposito alluvionale.

$$A = f(\nu, F_s, I)$$

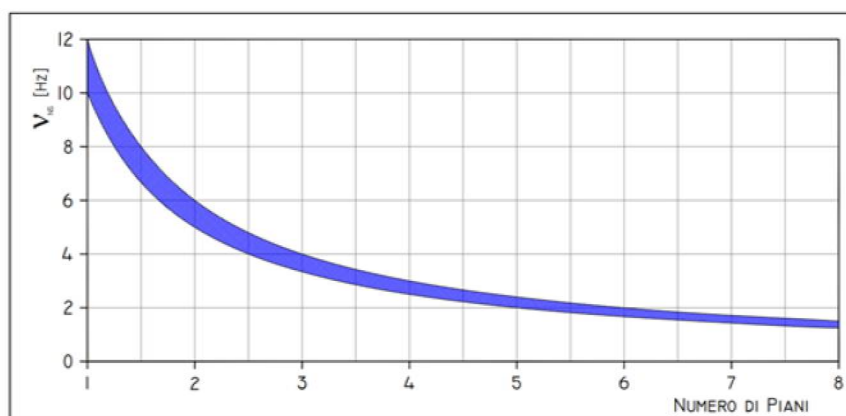
La variazione del Fattore di Amplificazione con la Frequenza definisce la Funzione di Amplificazione  $fA$  del deposito. Il Moto Sismico viene amplificato in corrispondenza di determinate Frequenze, che corrispondono alla Frequenze Naturali di vibrazione del deposito alluvionale, mentre risulta ridotto nel campo delle Frequenze Elevate, a causa dello smorzamento del terreno. Tra le Frequenze Naturali assume particolare importanza quella primaria, che viene denominata Frequenza Fondamentale di Risonanza ( $\nu_1$ ), che è un valore specifico di ogni sito.<sup>4</sup>

$$\nu_1 = 1 / T_1 = VS / 4H$$

Nel campo delle opere civili è di fondamentale importanza confrontare questo valore con la Frequenza Naturale della Struttura ( $\nu_{NS}$ ) che si vuole realizzare. La corrispondenza dei due valori ( $\nu_1 = \nu_{NS}$ ) darebbe infatti luogo al fenomeno della Doppia Risonanza, condizione di massima criticità in quanto provocherebbe un'amplificazione degli effetti di accelerazione in caso di evento sismico, mettendo a serio rischio le condizioni di equilibrio strutturale dell'opera. Nel caso degli edifici, il fattore che maggiormente incide sulla Frequenza di Risonanza è costituito dalla sua Altezza, a sua volta legata al numero di piani in sopraelevazione fuori terra. In prima approssimazione è possibile stimare in modo empirico  $\nu_{NS}$  attraverso il seguente rapporto:

$$\nu_{NS} \approx 10 \div 12 \text{ Hz} / \text{Numero di Piani}$$

Il grafico seguente ricostruisce la fascia teorica entro cui possono ricadere le Frequenze Naturali degli Edifici, in funzione del loro numero di piani.



Valori teorici della Frequenza Naturale degli Edifici (NS) in funzione del Numero di Piani.

La condizione più sfavorevole che un progettista strutturale dovrebbe evitare è pertanto riassunta nella seguente relazione

$$v_{NS} \approx v_1$$

Negli ultimi anni un progetto a livello europeo, denominato SESAME (Site EffectS Assessment using AMbient Excitations) ha elaborato le Linee Guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e anche con metodologia Array. Ha inoltre messo a punto i Criteri di valutazione sulla qualità delle curve HVSR e sulla significatività dei picchi H/V eventualmente rilevati. La corretta ricostruzione del profilo sismostratigrafico del sottosuolo, dell'interpretazione della curva VS/H e della stima della velocità equivalente calcolata come la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

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

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h(strato)$  e dalla velocità delle onde S  $V_s(strato)$ . Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Dall'esame e raffronto tra le velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno dei diversi tipi di sedimenti, sono state elaborate alcune tabelle di riferimento, che associano appunto gli intervalli di variabilità di questo parametro con i diversi litotipi. I valori riportati nella tabella seguente hanno carattere puramente indicativo, ma danno modo di orientarsi sulle possibili correlazioni tra i dati di misura indiretta, e i diversi litotipi che caratterizzano le successioni sedimentarie.

Litologia	V <sub>s</sub> min [m/s]	V <sub>s</sub> media [m/s]	V <sub>s</sub> max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE E COMPATTE (es. rocce metamorfiche sane o a fatturazione molto contenuta)	1.400	1.620	//
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti da mediamente a poco fratturate)	700	1.050	1.400
ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie e ignee tenere, arenarie e argilliti)	375	540	700
SUOLI GHIAIOSI (terreni con frazione ghiaiosa superiore al 20%)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE, SUOLI SABBIOSI E GHIAIOSI (terreni con frazione ghiaiosa inferiore al 20%, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille limose e argille da mediamente a molto compatte)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

## 6. INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

Nella fase di cantiere il segnale dei velocimetri è stato acquisito tramite il software SEISMOLOG-MT della Sara Srl, programma di acquisizione dati in tempo reale dedicato alla valutazione della risposta sismica di sito e pertanto utilizzabile sia per la valutazione del sito per postazioni sismiche permanenti che per la valutazione geologica del sito ai fini di ingegneria civile. I dati sono stati quindi acquisiti per un tempo  $t$  pari a 20 min con digitalizzazione del segnale a 24 bit. Successivamente i dati relativi ad ogni singola stazione, sono stati elaborati tramite il software dedicato Geopsy con un processing in accordo alle linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005) e che ha previsto nello specifico quanto segue:

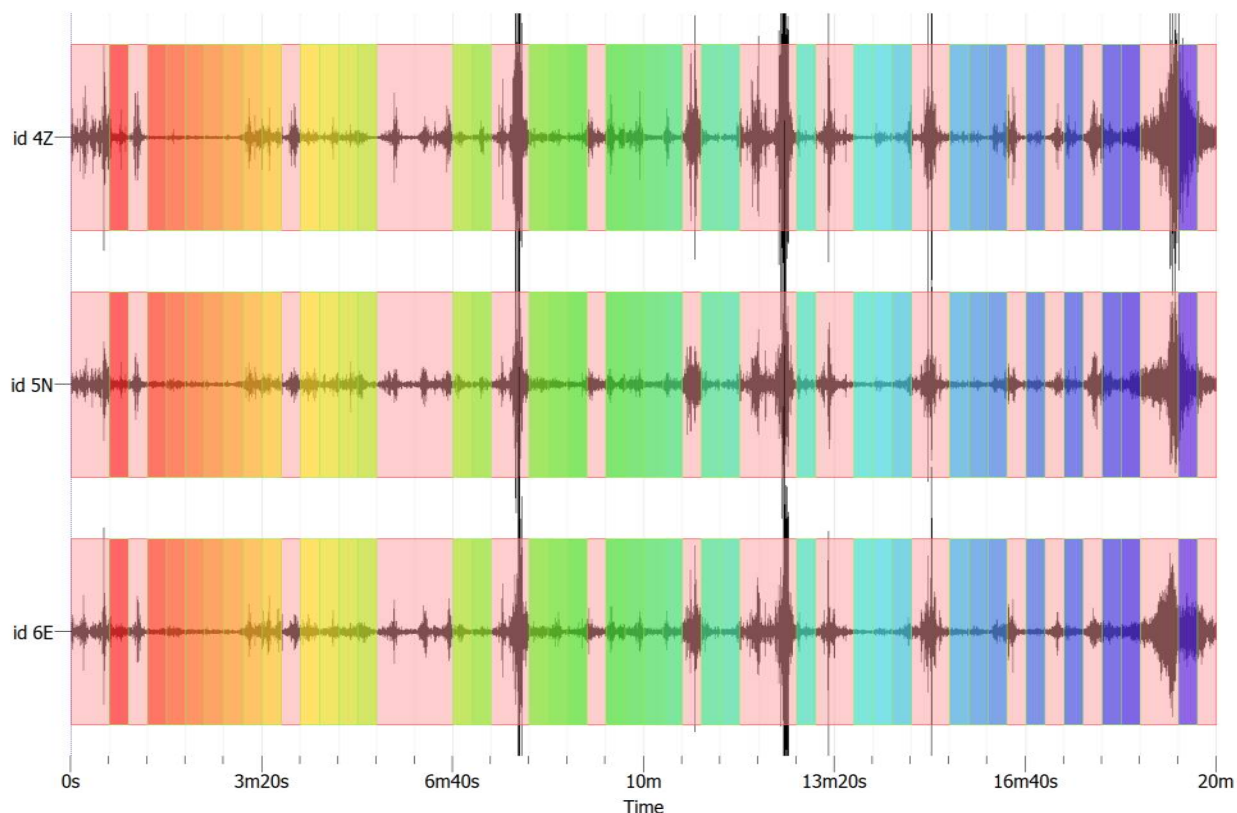
- divisione del tracciato in finestre di selezione del segnale.
- FFT (incluso il tapering);
- Operatore di smoothing (triangolare proporzionale);
- Mercing dei componenti orizzontali;
- H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata ( $>10$ );
- Calcolo della media degli spettri H/V
- Definizione della deviazione standard

### 6.1. HVSR 1

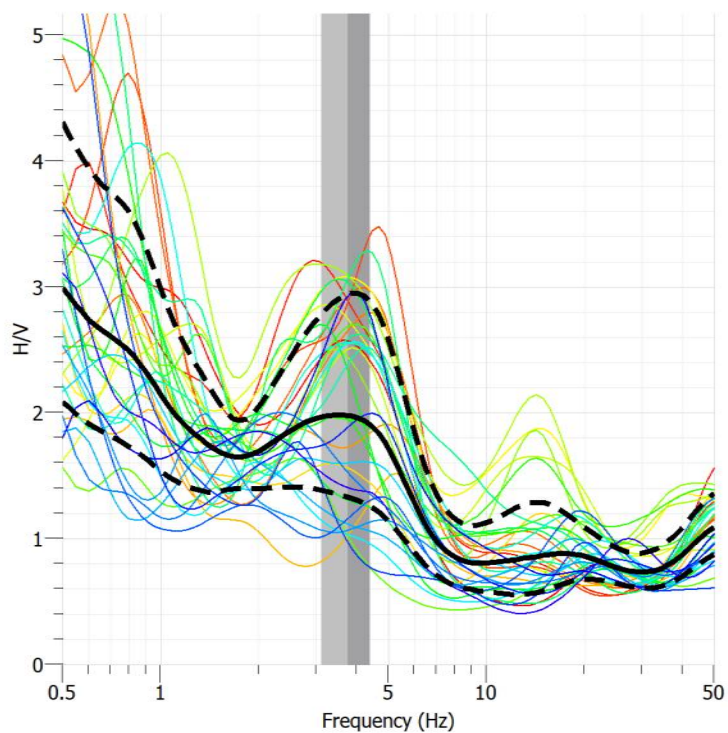
Inizio registrazione	[data ora]	
Lunghezza della registrazione	[s]	1200
Numero finestre incluse nel calcolo	n	36
Ampiezza finestra	[s]	20
Frequenza campionamento	[Hz]	200
Modalità smoothing		Konno & Ohmachi
Costante di smoothing	[%]	10
Frequenza massima	Hz	50
Frequenza minima	Hz	0.50
Passo frequenze	Hz	0.15



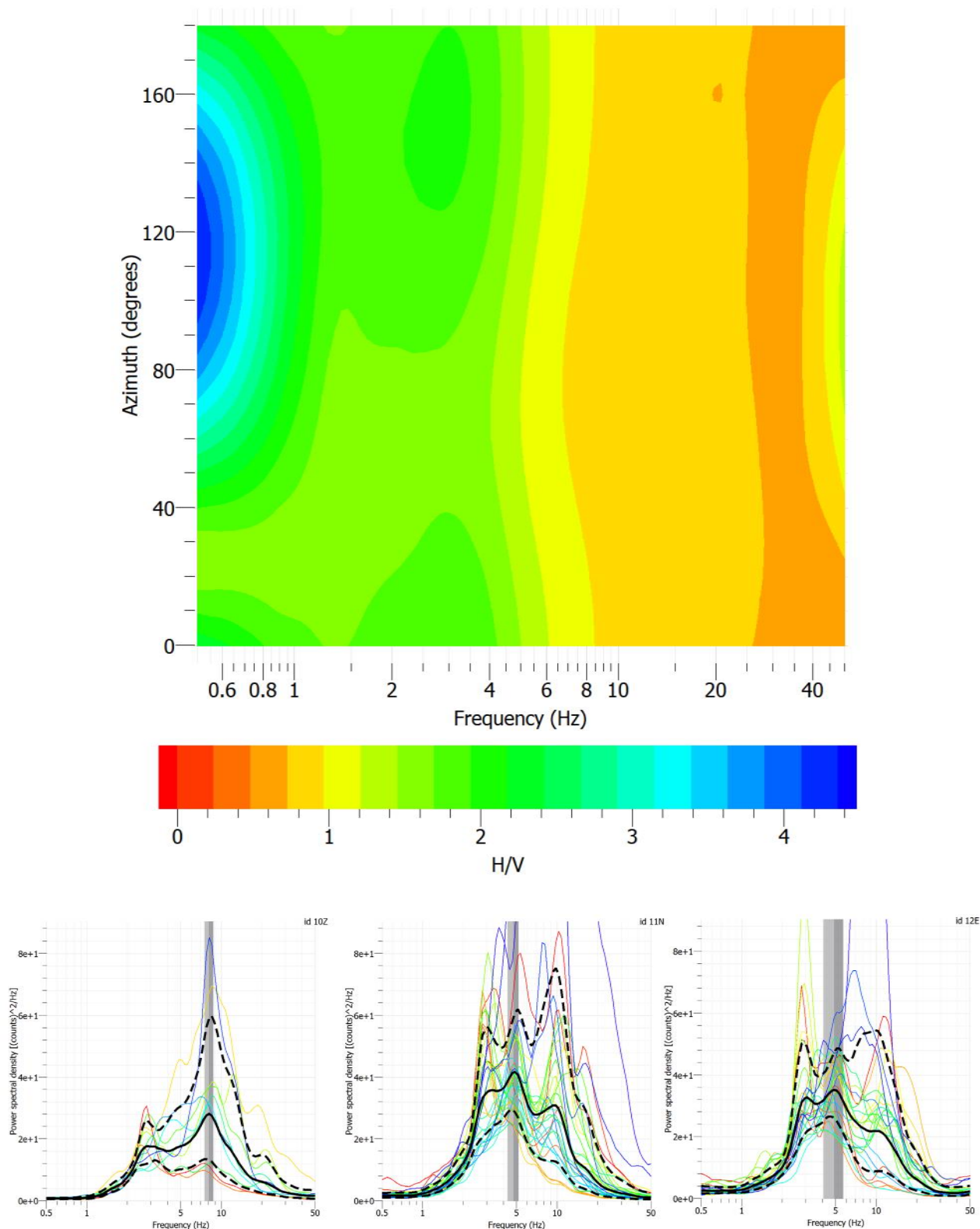
Suddivisione in finestre temporale delle tracce delle singole componenti.



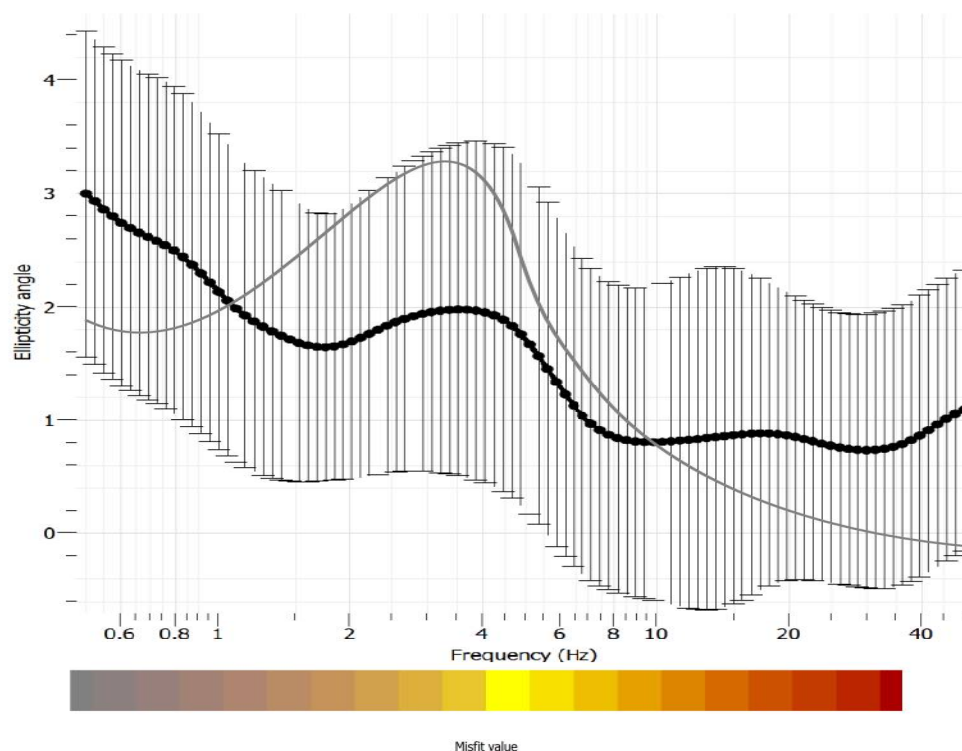
Curva HV sperimentale. (La curva nera continua rappresenta il rapporto HV medio, mentre le curve nere tratteggiate, dette "curve di confidenza", sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto HV medio per la deviazione standard dei valori delle singole curve HV. Le due bande grigie identificano la frequenza principale  $f_0 \pm$  la deviazione standard).



## Analisi della direzionalità del rapporto H/V



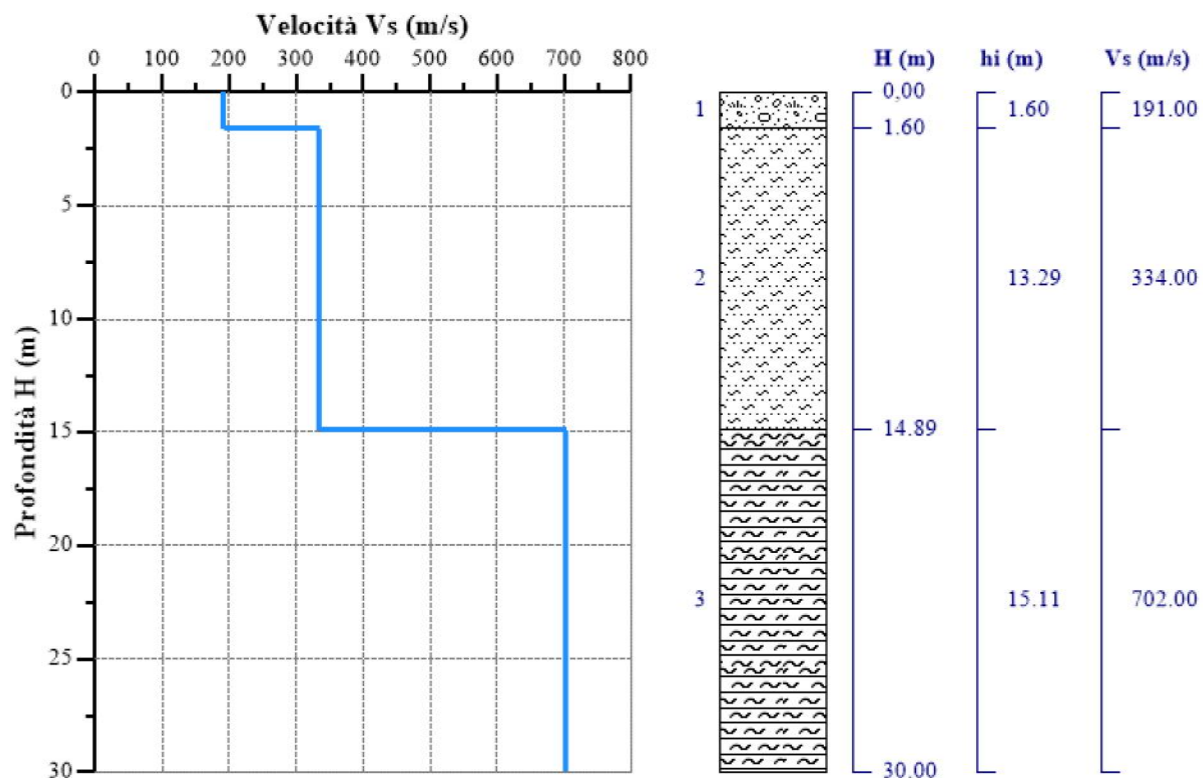
Tramite il modulo DINVER è possibile effettuare l'inversione dei dati ottenuti dall'elaborazione HVSR, ovvero della cosiddetta "curva di ellitticità", per ricavare il profilo stratigrafico dell'area soggetta ad indagine. I profili verticali di  $V_p$  e  $V_s$  ottenuti dall'inversione sono riportati nella seguente figura:



Dati riepilogativi:

Numero strati: 3  
 Frequenza del picco: 3.75 Hz +/- 0.64  
 Valore di disadattamento: 0,36  
 Valore medio H/V (A0): 1.55  
 Valore Vseq: 430.47 m/s

**Modello sismico-stratigrafico**





Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	3.74	18	0.3	94
2	3.74	24.64	18	0.3	210
3	28.38	30	18	0.3	542

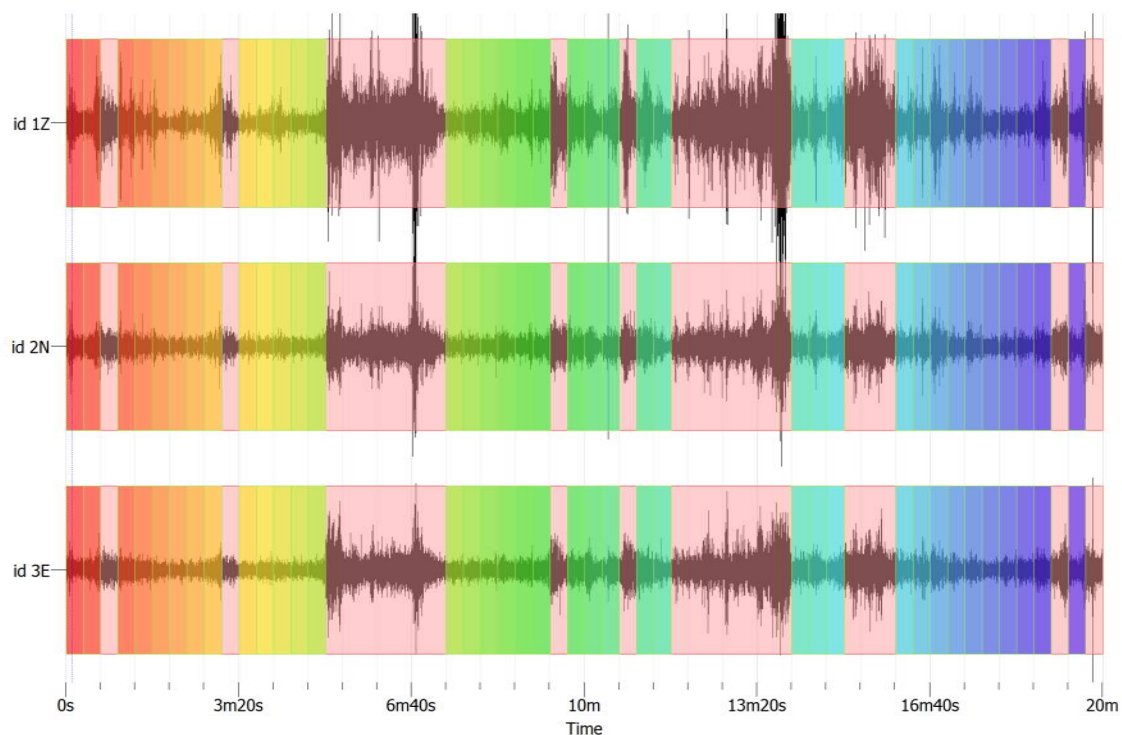
Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

## 6.2. HVSR 2

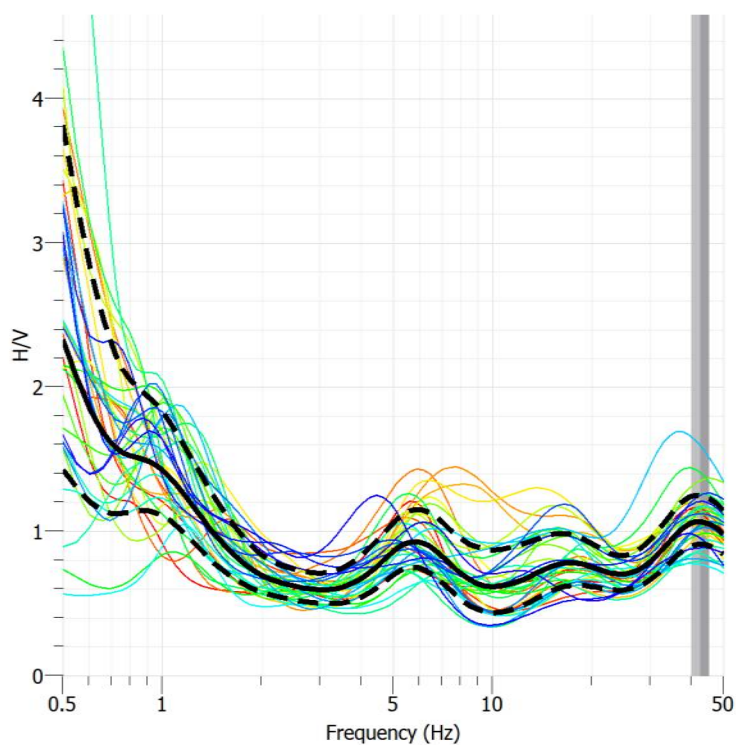
Inizio registrazione	[data ora]	
Lunghezza della registrazione	[s]	1200
Numero finestre incluse nel calcolo	n	37
Ampiezza finestra	[s]	20
Frequenza campionamento	[Hz]	200
Modalità smoothing		Konno & Ohmachi
Costante di smoothing	[%]	10
Frequenza massima	Hz	50
Frequenza minima	Hz	0.50
Passo frequenze	Hz	0.15

Suddivisione in finestre temporale delle tracce delle singole componenti.

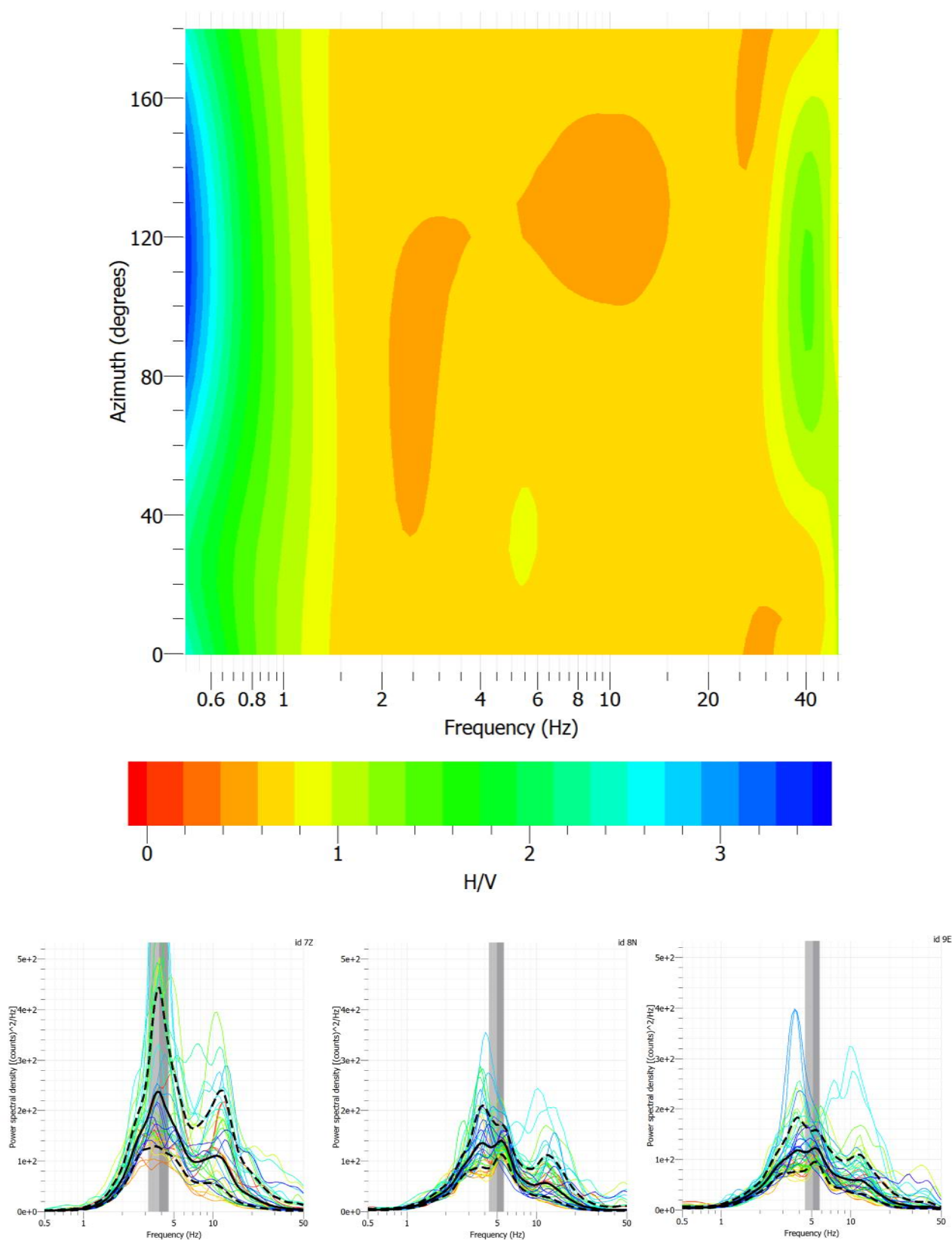


Curva HV sperimentale. (La curva nera continua rappresenta il rapporto HV medio, mentre le curve nere tratteggiate, dette "curve di confidenza", sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto HV medio per la deviazione standard dei valori delle singole curve HV. Le due bande grigie identificano la frequenza principale  $f_0 \pm$  la deviazione standard).

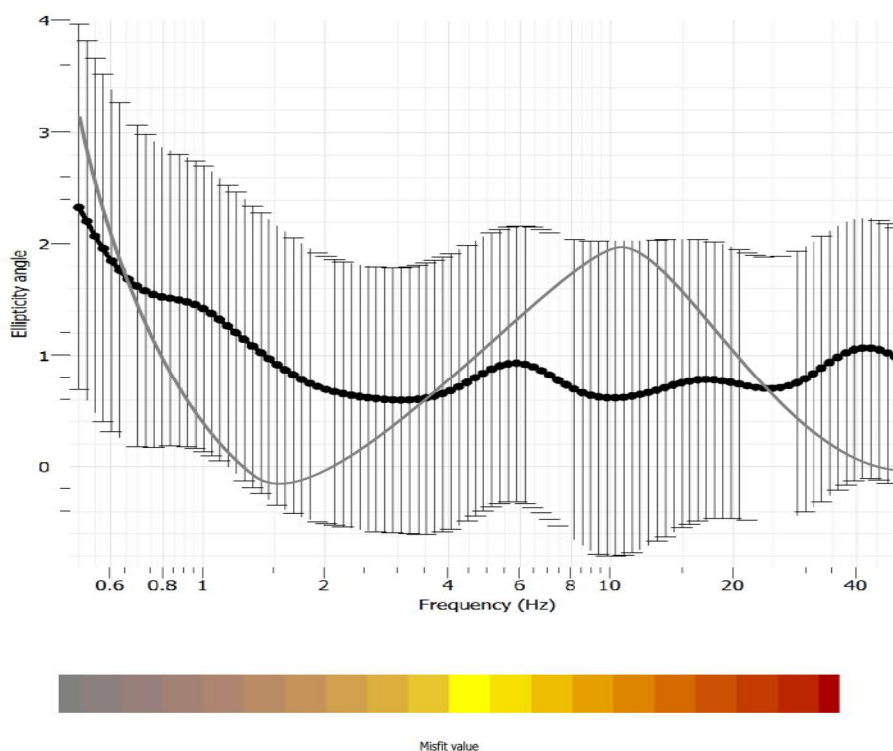
Analisi della direzionalità del rapporto HV







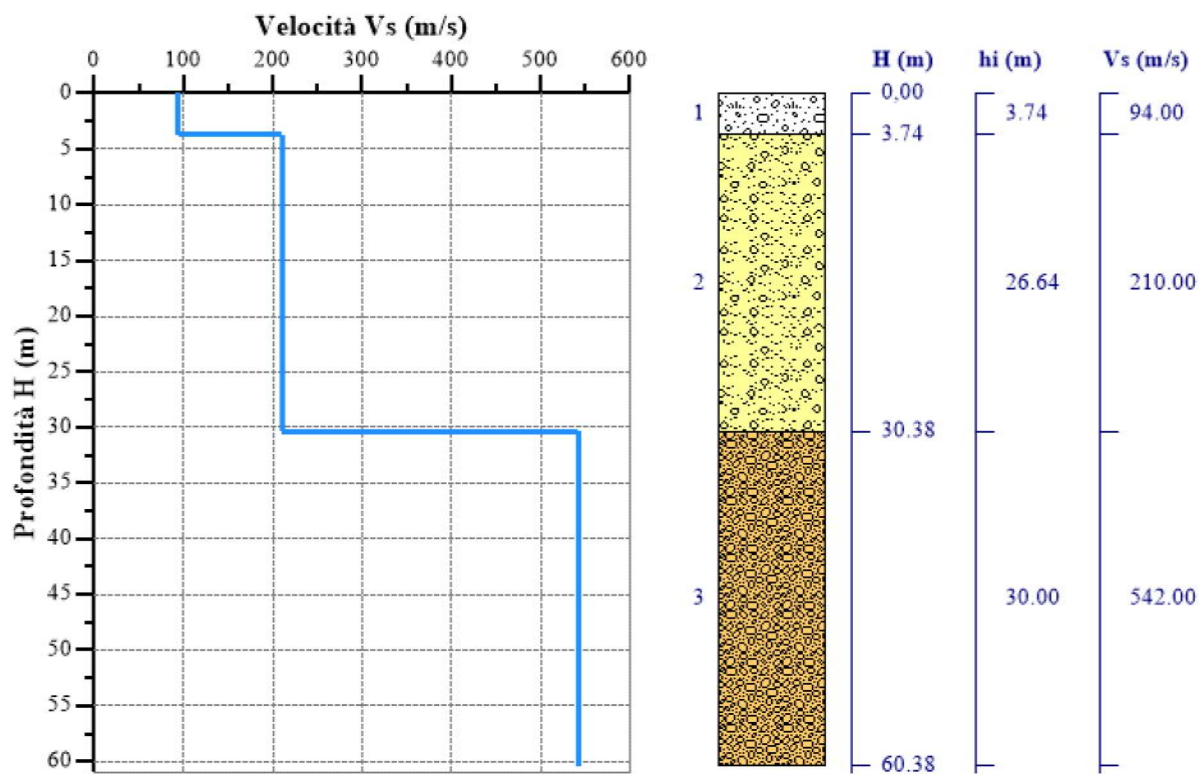
Tramite il modulo DINVER è possibile effettuare l'inversione dei dati ottenuti dall'elaborazione HVSR, ovvero della cosiddetta "curva di ellitticità", per ricavare il profilo stratigrafico dell'area soggetta ad indagine. I profili verticali di  $V_p$  e  $V_s$  ottenuti dall'inversione sono riportati nella seguente figura:



#### Dati riepilogativi:

Numero strati: 3  
 Frequenza del picco: 42.52 Hz +/- 2.6  
 Valore di disadattamento: 0.51  
 Valore medio H/V (A0): 1.06  
 Valore Vseq: 182.00 m/s

#### Modello sismico-stratigrafico





Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.64	17	0.3	170
2	1.64	10.92	18	0.3	360
3	12.55	20	19	0.3	540

Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

## 1. SINTESI CONCLUSIVA

L'analisi dei due profili sismostratigrafici evidenzia le differenze litologiche esistenti tra i due siti. Per il sito **HVSR1** ovvero cimitero di Monteverde si evidenzia la presenza di due riflettori poco marcati uno a media profondità ed uno a piccola profondità. La frequenza di picco è di 3,75 Hz che corrisponde al passaggio tra la parte argillosa e colluviale con il substrato costituito da depositi argillosi sovraconsolidati. A partire dal piano campagna, è possibile ipotizzare il seguente profilo sismostratigrafico, caratteristico dell'area indagata: - Uno strato superficiale costituito da suolo con velocità Vs fino a 191 m/s, un secondo sismostrato costituito argille alterate e alternanza di litotipi con velocità Vs fino a 334 m/s. - Un sismostrato di base che rappresenta il bedrock sismico locale costituito da argille e limo-argillosi sabbiosi sovraconsolidati con velocità delle Vs pari a 774 m/s. Secondo la normativa sismica vigente tale profilo sismico fa rientrare il suolo fondale nella categoria di suolo **B** secondo la Tab 3.2 delle succitate norme tecniche (NTC 2018).

Per il sito **HVSR2** ovvero cimitero di Bojano si evidenzia la presenza di due riflettori uno poco marcati a piccola profondità ed uno molto marcato a grande è profondità. La frequenza di picco è di 42.52 Hz che corrisponde al passaggio tra il suolo e i depositi alluvionali. A partire dal piano campagna, è possibile ipotizzare il seguente profilo sismostratigrafico, caratteristico dell'area indagata: - Uno strato superficiale costituito da suolo con velocità Vs fino a 94 m/s, un secondo sismostrato costituito da ghiaie e sabbie alluvionali con velocità Vs fino a 210 m/s. - Un sismostrato di base che rappresenta il bedrock sismico locale costituito ghiaie e sabbie addensate con velocità delle Vs pari a 542 m/s. Secondo la normativa sismica vigente tale profilo sismico fa rientrare il suolo fondale nella categoria di suolo **C** secondo la Tab 3.2 delle succitate norme tecniche (NTC 2018).

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente 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 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 2. UBICAZIONE DELLE INDAGNI



Ubicazione Prova HVSR 1 con coordinate WGS84, EPSG 4326 - **HVSR 1** (41°30'18.38"N - 14°28'56.23"E)





Ubicazione Prova HVSR con coordinate WCS84, EPGS 4326 - **HVSr** ( $41^{\circ}29'37.81''\text{N}$  -  $14^{\circ}27'44.11''\text{E}$ )

### 3. FOTO



POSTAZIONE HVSR 1



POSTAZIONE HVSR 2