



Dott. Geol. **ROBERTO TRONCARELLI**  
Studio Professionale di Geologia e Geotecnica

ambiente, geofisica, geotecnica, idrogeologia,  
sondaggi, laboratorio meccanica delle terre

# REGIONE LAZIO PROVINCIA DI VITERBO COMUNE di BARBARANO ROMANO

## CONSOLIDAMENTO E RESTAURO CONSERVATIVO DEL MONUMENTO RUPESTRE "TOMBA DEL CERVO"

STUDIO GEOMORFOLOGICO REDATTO SIA AI SENSI DEGLI ARTT. 9 E 19 DELLE NTA DEL PAI, AGGIORNATE A SEGUITO DELLA CONFERENZA DEL 24.03.2009 ED OGGETTO DI DELIBERAZIONE DEL COMITATO ISTITUZIONALE N. 01 DEL 13.07.200 E SIA IN OTTEMPERANZA ALLA D.G.R. N° 6215 DEL 30.07.1996, ALLA D.G.R. N° 3888 DEL 29.07.1998 ED AL "REGOLAMENTO PROVINCIALE PER LA GESTIONE DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO", SUI TERRENI SOGGETTI A VINCOLO IDROGEOLOGICO AI SENSI DEL R.D.L. N° 3267 DEL 30.12.1923 ("LEGGE FORESTALE") E DEL R.D. N° 1126 DEL 16.05.1926, ART. 21, ("REGOLAMENTO DI APPLICAZIONE ED ESECUZIONE"), VOLTO ALL'OTTENIMENTO DEL NULLA OSTA.

RELAZIONE GEOLOGICA REDATTA INOLTRE AI SENSI DEL D.M. 14.01.2008 NONCHÉ IN OTTEMPERANZA ALL'ART. 93 DEL DPR 380/01, ESSENDO IL TERRITORIO COMUNALE CLASSIFICATO "ZONA SISMICA 3 - SOTTOZONA A" DALLA D.G.R. LAZIO 387/09 E SECONDO I DISPOSTI DEL RR. 02/2012, SUI TERRENI INTERESSATI DAL PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO E RESTAURO CONSERVATIVO DEL MONUMENTO RUPESTRE DENOMINATO "TOMBA DEL CERVO".



Committente: PARCO MARTURANUM

Progettazione: Dott. Geol. Roberto TRONCARELLI

Data: Aprile 2012

Elaborato N°: 1505/12

Relazione Geologica



## INDICE

<i>Premessa</i> .....	2
<i>Riferimenti cartografici</i> .....	4
<i>Inquadramento geomorfologico</i> .....	5
<i>Geologia</i> .....	8
<i>Sismicità</i> .....	10
<i>Campagna penetrometrica</i> .....	12
<i>Indagine geofisica MASW</i> .....	13
Descrizione del metodo.....	13
Elaborazione dei dati della MASW .....	15
Risultati MASW .....	16
<i>Indagine Geofisica:Microtremore</i> .....	19
Risultati dell'analisi H/V .....	20
<i>Sintesi dei dati</i> .....	23
Modello Litotecnico.....	23
Modellazione sismica .....	24
Definizione degli interventi .....	27
Considerazioni Conclusive .....	28

## ALLEGATI

### Documentazione fotografica

## **Premessa**

Il sottoscritto Roberto Troncarelli, iscritto all'Ordine dei Geologi del Lazio AP 803, a seguito di propria offerta prot. n. 216/RT/PM/11 del 20.04.2011, veniva incaricato dall'Ufficio Parco Marturanum con Determinazione del Responsabile del Servizio, Dott. Celletti, n. 41 del 26.04.2011, della redazione della relazione geologica per l'intervento in esame, incarico per il quale l'affidamento in trattazione è stato attribuito dall'AVCP il seguente identificativo CIG: 2205086E84.

Il presente elaborato costituisce parte integrante del progetto per gli interventi di valorizzazione del Parco Marturanum approvati nell'ambito del Master Plan del Parco denominato "L'antico paesaggio etrusco e le vie d'acqua" dalla Regione Lazio – Dipartimento Territorio – Direzione Regionale e Ambiente e Cooperazione tra i Popoli, con propria nota n. 3128/700 del 31/07/2008.

In particolare tale studio si rende necessario per l'intervento di consolidamento e restauro del monumento funerario rupestre denominato "Tomba del Cervo", ubicato all'interno del Parco.

Tale relazione è stata redatta sia ai sensi degli artt. 9 e 19 delle NTA del PAI, aggiornate a seguito della conferenza del 24.03.2009 ed oggetto di Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 01 del 13.07.2009, sia in ottemperanza alla D.G.R. n° 6215 del 30.07.1996, alla D.G.R. n° 3888 del 29.07.1998 ed al "Regolamento Provinciale per la Gestione del Vincolo Idrogeologico", essendo i terreni in studio soggetti a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. N° 3267 del 30.12.1923 ("Legge Forestale") e del R.D.

n° 1126 del 16.05.1926, art. 21, ("Regolamento di Applicazione ed Esecuzione"), volto all'ottenimento del nulla osta.

Infine, la relazione geologica è stata redatta inoltre ai sensi del D.M. 14.01.2008 nonche' in ottemperanza all'art. 93 del D.P.R. 380/01, essendo il territorio comunale classificato "zona sismica 3 - sottozona A" dalla D.G.R. Lazio 387/09 e secondo i disposti del nuovo regolamento regionale n. 02/2012, sui terreni interessati dal progetto di consolidamento e restauro conservativo del monumento rupestre denominato "Tomba del cervo".

La relazione si è basata infine sulle risultanze di una campagna geognostica condotta mediante l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche eseguite nei pressi del monumento della chiesa di San Giuliano.

Lo studio ha avuto luogo nel mese di giugno 2011 ed è stato completato nel mese di aprile 2012 con l'esecuzione del rumore ambientale. Ulteriori prove non sono state eseguite per impossibilità logistica (vedi "documentazione fotografica", in allegato).

Si riportano schematicamente le fasi eseguite:

- sopralluogo preliminare per l'acquisizione dello stato dei luoghi e della logistica;
- individuazione delle caratteristiche geomorfologiche, geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche del sito;
- esecuzione di un' indagine geofisica di tipo HVSR.

La corrente relazione presenta i risultati dello studio eseguito.

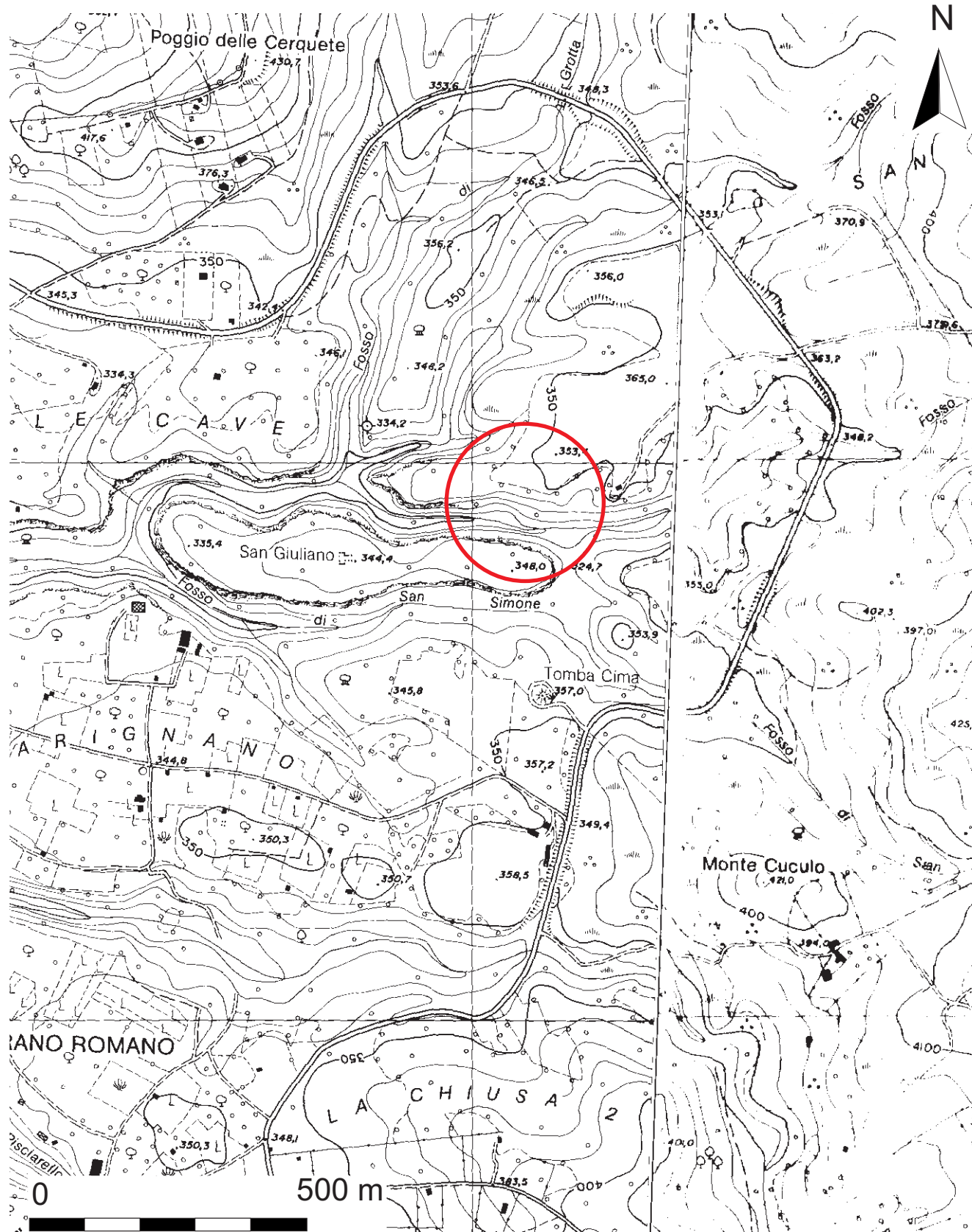
### **Riferimenti cartografici**

Per agevolare la lettura e la comprensione di quanto si riferisce ed al fine di fornire una documentazione quanto più completa possibile, sono stati acclusi alcuni allegati grafici:

- Stralcio della Cartografia IGM, in scala 1:25.000, Tav. 143 IV NO "Vetralla" – Tav. 143 IV NE "Capranica";
- Stralcio della Cartografia CTR (Carta Tecnica Regione Lazio), dal quale si desume come l'intervento ricada nella sezione 355090 "Blera" 355100 "Botte", in scala 1:10.000;
- Stralcio del PTPR – Tavola A - Sistemi ed ambiti del paesaggio, in scala 1: 10.000;
- Stralcio del PTPR – Tavola B – Beni paesaggistici, in scala 1: 10.000;
- Stralcio della carta geomorfologica, in scala 1:10.000.












# COMUNE di BARBARANO ROMANO (VT)

Loc. "Tomba del Cerro"




Stralcio PR - Tabla A - Sistemi ed ambiti del paesaggio - Scala 1:10.000

## Sistemi ed Ambiti del Paesaggio










### Sistema del Paesaggio Naturale

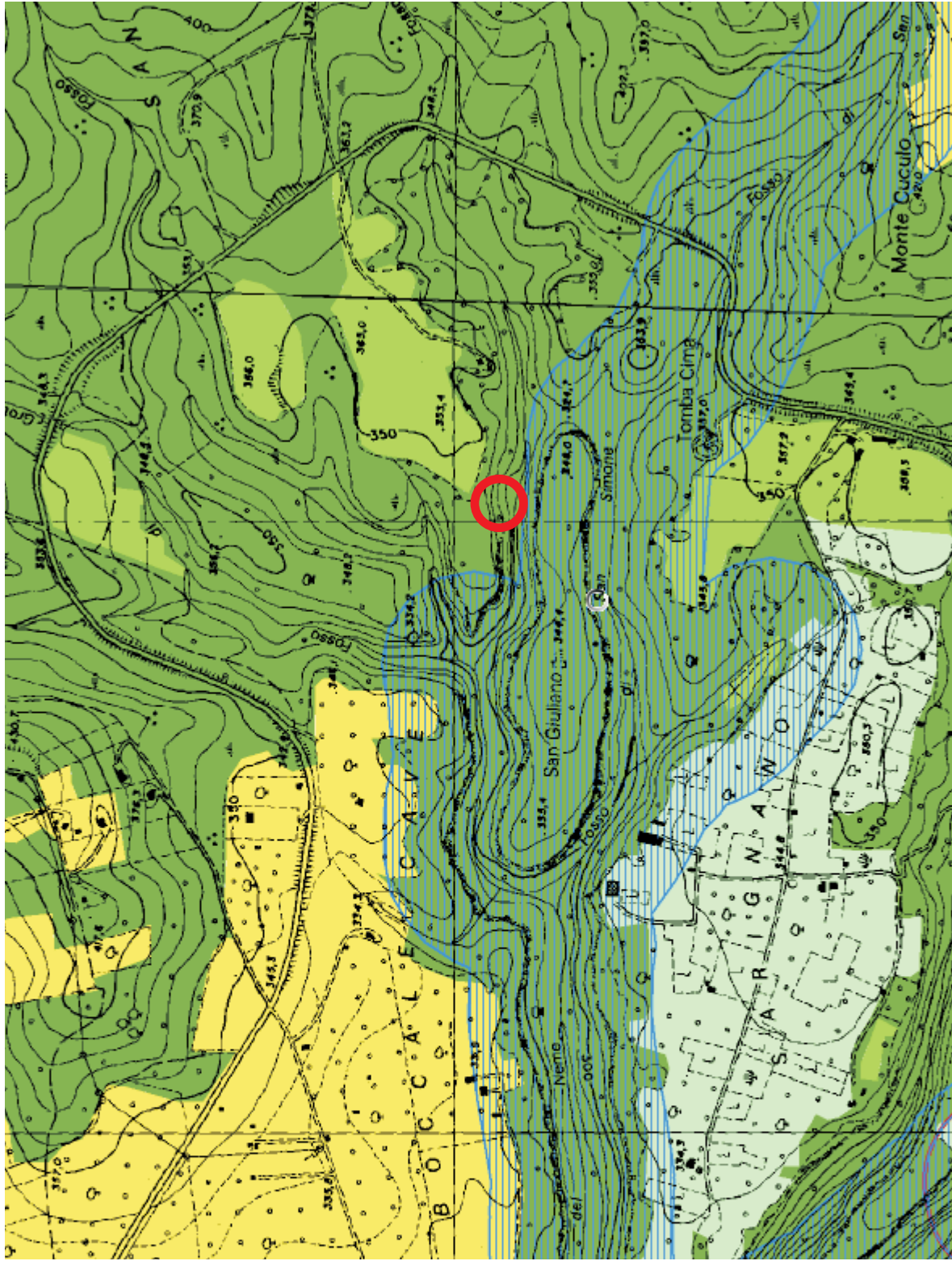
-  Paesaggio Naturale
-  Paesaggio Naturale di Continuità
-  Paesaggio Naturale Agrario
-  Coste marine, lacuali e corsi d'acqua

### Sistema del Paesaggio Agrario

-  Paesaggio Agrario di Rilevante Valore
-  Paesaggio Agrario di Valore
-  Paesaggio Agrario di Continuità

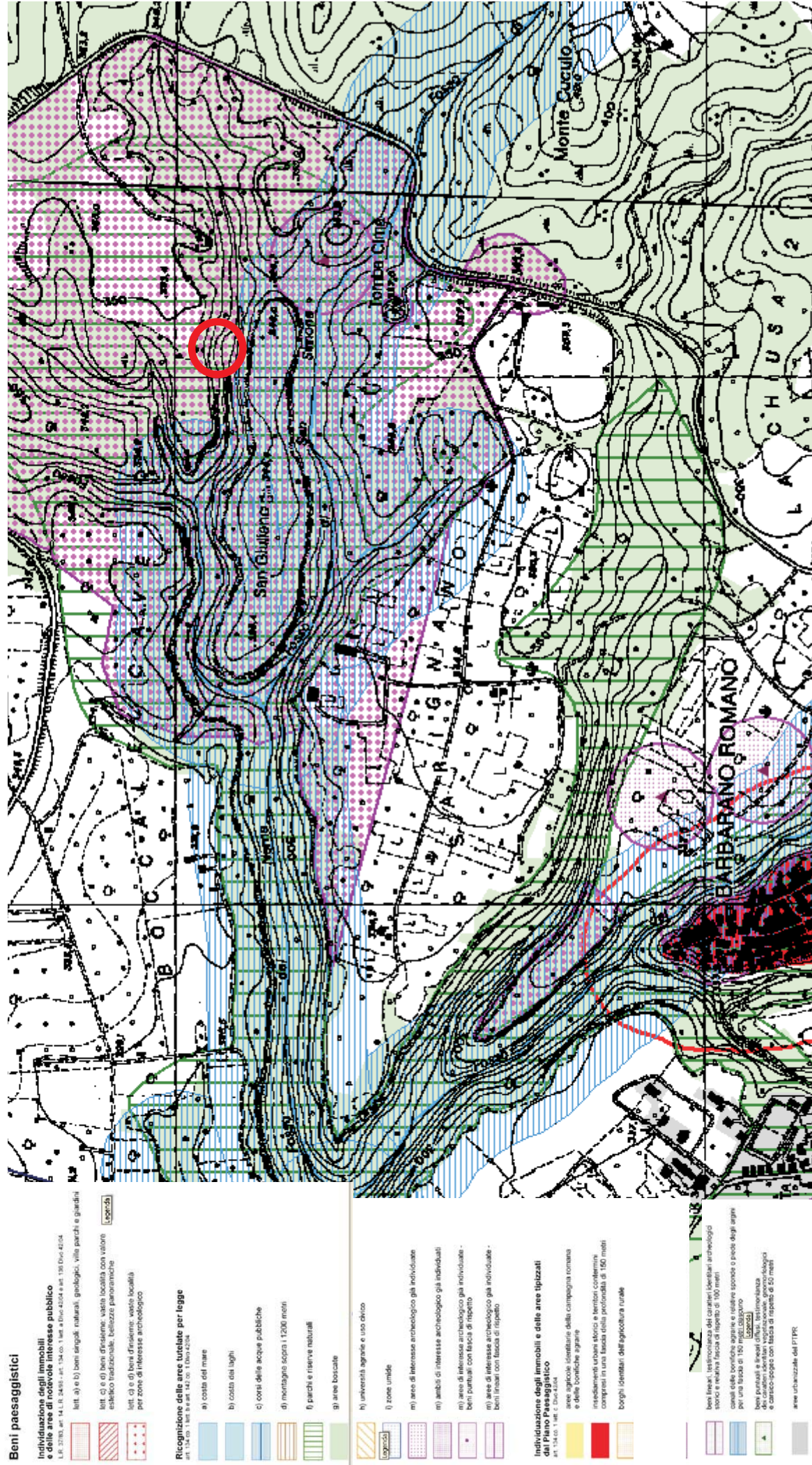
### Sistema del Paesaggio Insediativo

-  Paesaggio dei Centri e Nuclei Storici
-  Parchi, ville e giardini storici
-  Paesaggio degli Insediamenti Urbani
-  Paesaggio degli Insediamenti in Evoluzione
-  Paesaggio dell'Insediamento Storico Diffuso
-  Reti, Infrastrutture e Servizi
-  Ambiti di recupero e valorizzazione paesistica
-  Aree o Punti di Visuali
-  Proposte comunali di modifica dei PTP vigenti





COMUNE di BARBARANO ROMANO (VT)  
 Loc. "Tomba del Cervo"  
 Stralcio PTPR - Tavola B - Beni Paesaggistici- Scala 1:10.000



### **Inquadramento geomorfologico**

Il sito in oggetto ricade lungo il versante tufaceo delimitato a Nord dal Fosso di Poggio Spineto e a Sud dal Fosso di Verlungo.

Le più importanti lineazioni geomorfologiche locali si sviluppano pertanto lungo tali direttrici: gli orli di scarpata bordano il più delle volte i rilievi collinari, mettendo in luce la presenza di versanti talora decisamente acclivi; generalmente trattasi di cornici legate ad alcuni livelli particolarmente compatti delle piroclastiti.

Le linee di compluvio più importanti, oltre ai fossi sopraccitati, sono costituite da altri numerosi corsi d'acqua che incidono il paesaggio vulcanico assumendo allineamenti prevalentemente Est-Ovest.

Il reticolo idrografico dell'area in studio è definito da pattern *subdendritico* di forma arborescente sviluppatesi uniformemente in una direzione preferenziale ad andamento più o meno parallelo di alcuni rami, con il canale principale allineato secondo la direzione Est-Ovest che si suddivide in rami via via meno importanti procedendo verso Est; tale configurazione è tipica di terreni omogenei come nel nostro caso, poco permeabili e con un certo controllo tettonico dovuto ad un sistema di fratture più o meno parallele.

In dettaglio il monumento funerario dell'area si sviluppa sul versante aggettante sul corso d'acqua Fosso di Poggio Spineto ad una quota media di circa 340 metri s.l.m. .

Pertanto la morfologia del lotto in esame è caratterizzata da una debole degradazione in direzione Ovest, ovvero verso la valle di confluenza fra i fossi summenzionati.

Le indagini hanno interessato le aree limitrofe al monumento della Tomba del Cervo al quale si accede tramite un sentiero come meglio evidenziato sull'allegata planimetria.

# COMUNE DI BARBARANO ROMANO

Loc. «San Giuliano»  
Stralcio CTR 355090 «Blera»  
CARTA GEOMORFOLOGICA  
Scala 1:10.000



Tomba del Cervo



Reticolo idrografico



Andamento preferenziale  
del drenaggio superficiale



Displuvio



Impluvio



Orlo di scarpata

P.A.I. Autorità dei Bacini regionali del Lazio  
*Aree sottoposte a tutela per Rischio frana*



Fascia A (artt. 6-16)



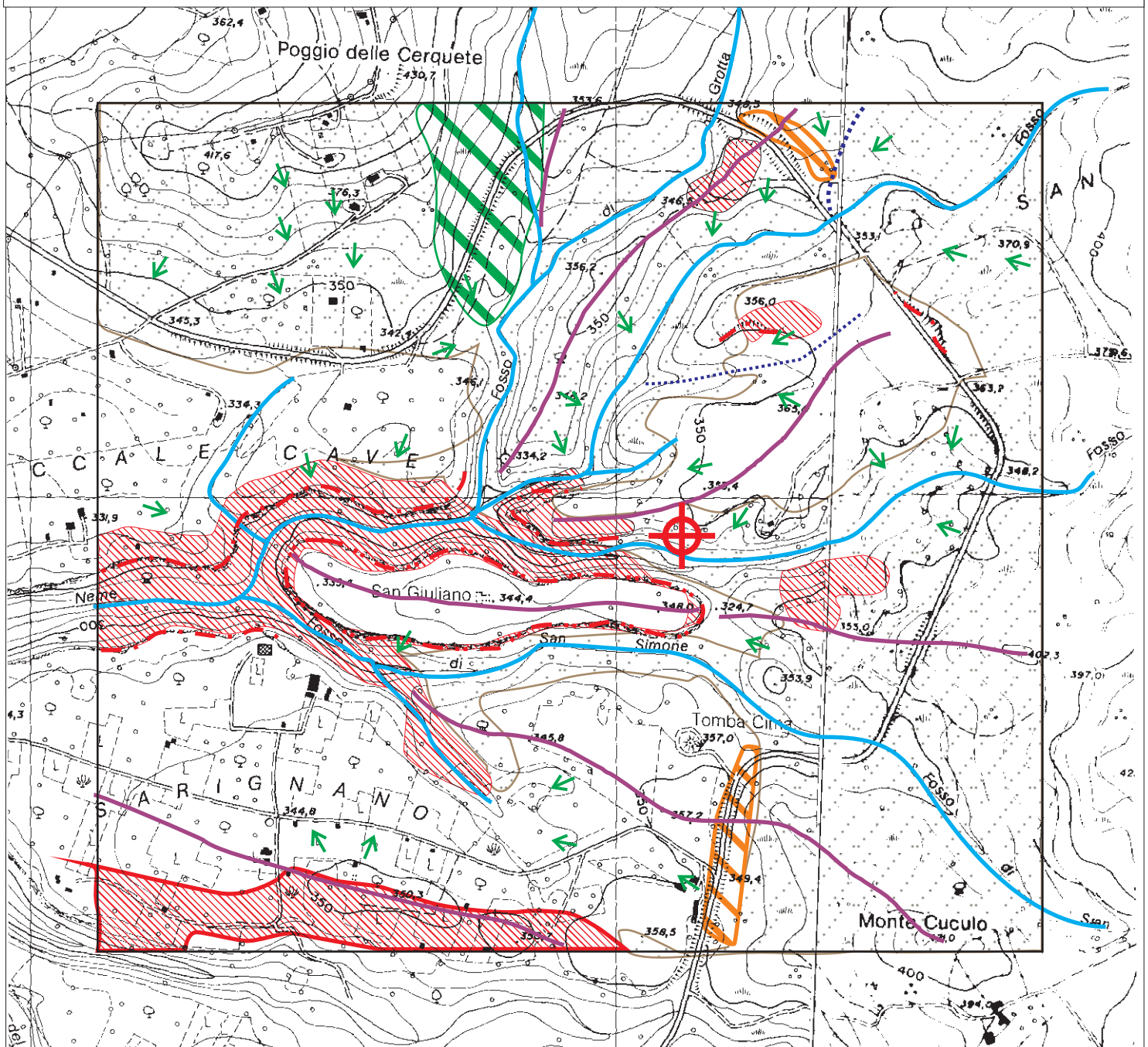
Fascia B (artt. 6-17)



Fascia C (artt. 6-18)



Fascia attenzione (artt. 9-19-26)





Va comunque evidenziato sin d'ora che le attività di rilevamento condotte hanno confermato lo stato di dissesto e di conseguente pericolosità locale media delle aree di intervento.

In dettaglio i depositi piroclastici sono soggetti, per effetto della gravità, al distacco e caduta di detriti e volumi anche molto importanti superiori al m<sup>3</sup>. Tale depositi si rinvencono all'imbocco della Tomba del Cervo.

Si riporta nella figura n. 1 uno schizzo della parete che aggettante sulla rampa di scale che consente il collegamento con la sovrastante struttura. Da tale immagine si mettono così in risalto le discontinuità presenti nell'ammasso tufaceo le quali risultano essere orientate parallelamente al corso d'acqua.

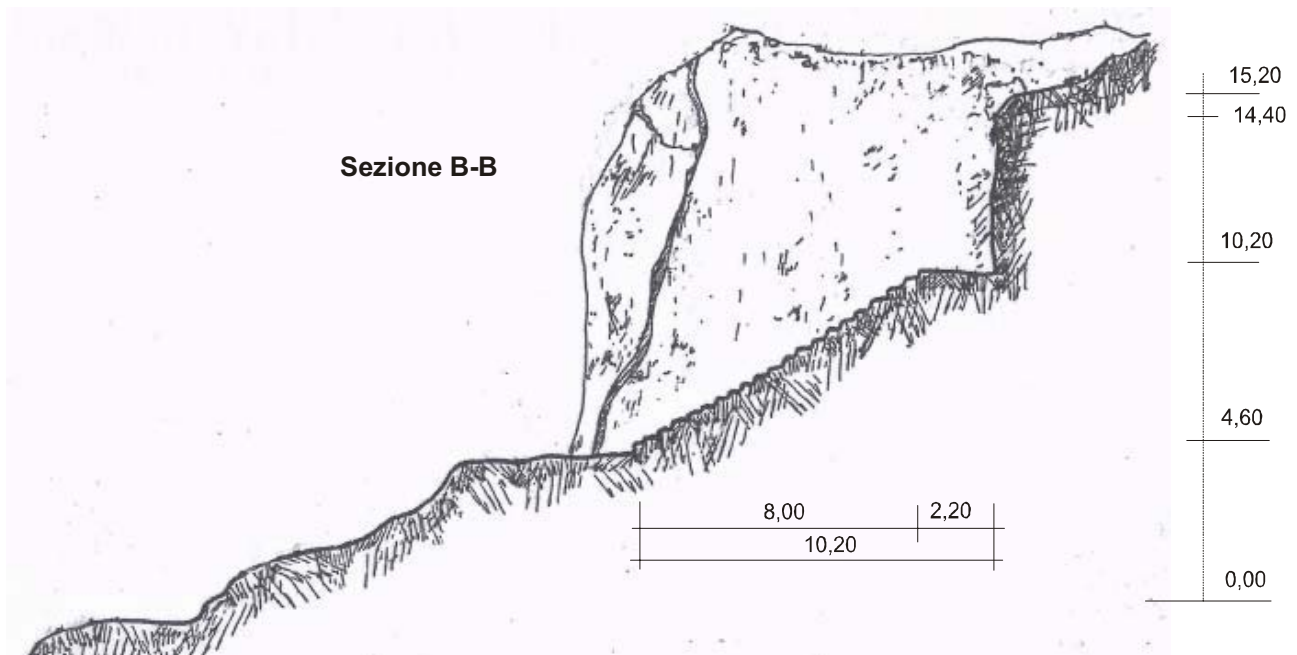
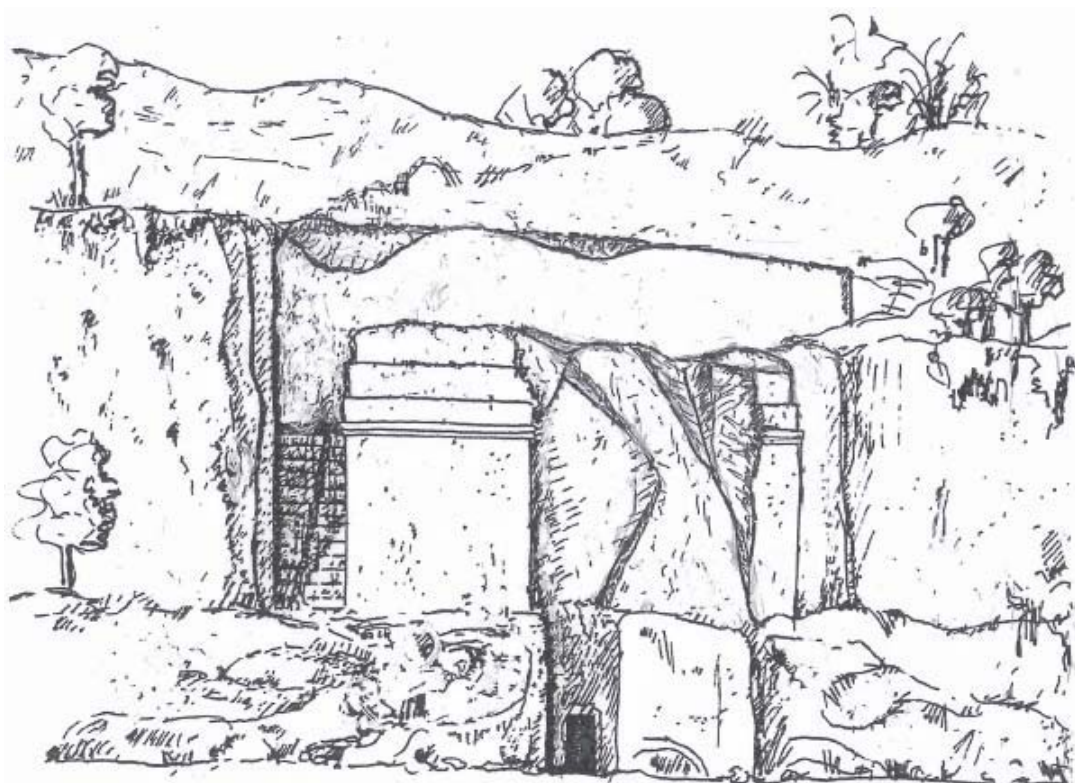


Figure n.1 e 2 – schizzo frontale e prospetto della Tomba del Cervo.



**Prospetto**



SCALA 1/200

## **Geologia**

L'areale in studio mostra in affioramento esclusivamente depositi vulcanici ascrivibili alle fasi deposizionali pleistoceniche dell'apparato vicano.

Si allega uno stralcio della Carta Geologica in scala 1:10.000.

La facies piroclastica esaminata è nota in letteratura come ignimbrite III<sup>a</sup> vicana, localmente nota come "tufo rosso litoide a scorie nere" e petrograficamente appartenente alla serie tefritico-fonolitica.

In affioramento questa unità si presenta molto addensata, a colorazione rosso-brunastra, caratterizzata dalla presenza di pomici e scorie da giallastre a nere, con fenocristalli di leucite e sanidino.

La sequenza tufacea è ricoperta, verso le quote inferiori, in prossimità della confluenza fra i fossi, ed ai piedi delle scarpate, da una coltre di copertura detritica e di disfacimento meteorico di versante, frammista, negli alvei dei due torrenti, da depositi alluvionali di età recente (Olocene).

La potente serie vulcanica vicana ha ricoperto il sottostante substrato costituito da termini Paleocenico-Eocenici, litologicamente rappresentati da calcari marnosi e marne calcaree, di colore dal grigio al giallastro, con intercalazioni di strati tipo "scaglia" ovvero "pietra paesina" costituita da argilloscisti varicolori ed arenarie o calcareniti tipo "pietraforte", tutti facenti parte del cosiddetto "Flysch di Tolfa", a propria volta inquadrabile nell'unità geodinamica della "falda Sicilide".

Per una migliore comprensione del quadro geologico locale si riporta lo stralcio della sezione geologica nella figura n. 3 e l'allegata carta geologica in scala 1: 10.000.

COMUNE di BARBARANO ROMANO (VT)  
 Loc. "San Giuliano"  
 CARTA GEOLOGICA  
 Stralcio CTR - Sezione n. 355090 "Blera" - 355100 "Botte"  
 Scala 1:10.000

## Legenda



Delimitazione area in studio



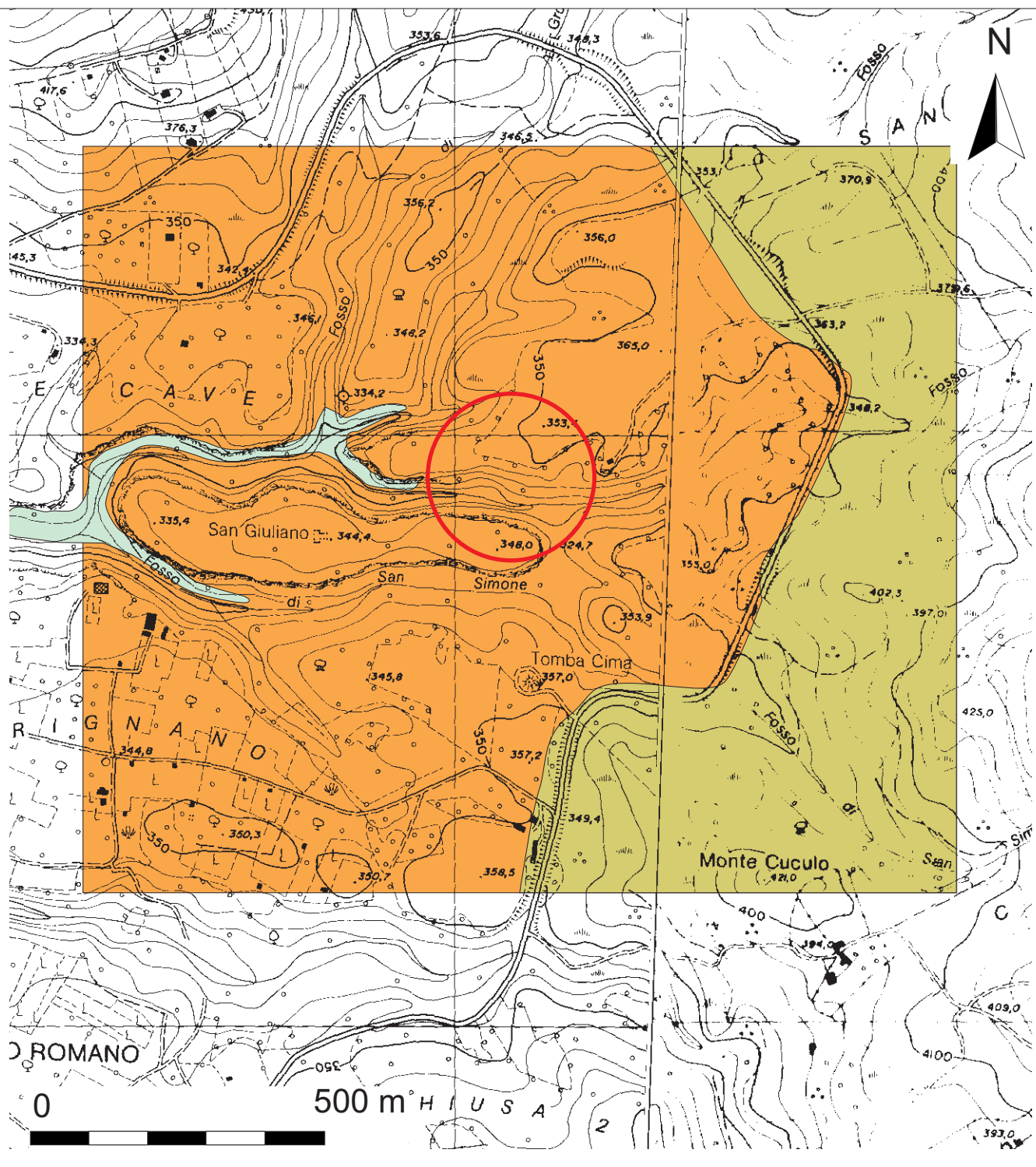
Alluvioni medio-recenti ed attuali



Ignimbrite III



Calcarei marnosi e marne con  
intercalazioni di argilloscisti varicolori



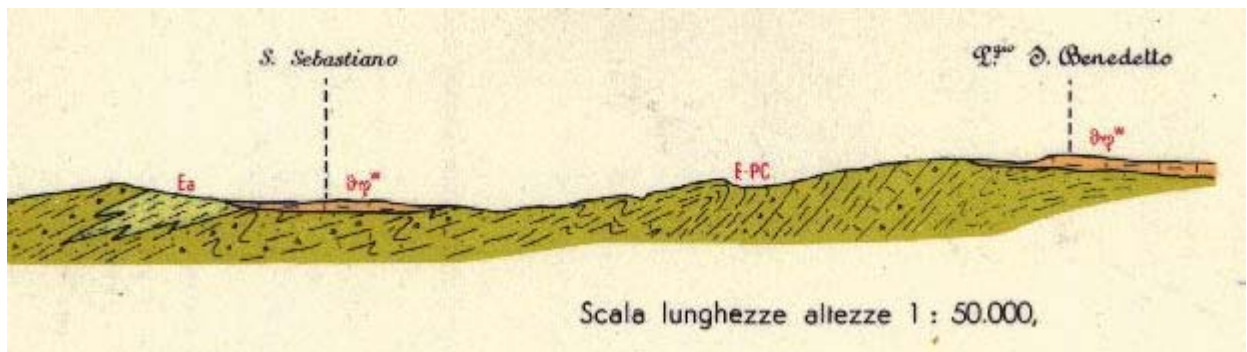


Figura n. 3 – Stralcio della Sezione III della Carta Geologica D'Italia Foglio 143.

Orientamento sezione SO-NE.



## **Sismicità**

L'area in studio è collocata in prossimità d'importanti aree sismogenetiche quali l'Appennino Umbro Marchigiano e la struttura sismogenetica di Bagnoregio.

Dall'analisi del Catalogo parametrico dei terremoti italiani (Boschi et al., 1995; Boschi et al., 2000), si osserva che il comune di Barbarano Romano non è stato epicentro di terremoti storici; inoltre in passato sono stati registrati pochi effetti dei terremoti di magnitudo pari o superiore a 4.5.

Studi riguardanti la distribuzione delle Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (Stucchi et al. 2007 – disponibile on-line <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>) indicano, per la zona in oggetto, dei valori massimi intorno al quinto grado della scala macrosismica MCS.

I più importanti eventi sismici avvenuti nella zona e che hanno avuto un grande risentimento nell'area in studio sono sette e vengono riportati nella tab. 1

*TAB. 1 – Elenco degli eventi sismici sia storici che strumentali che hanno interessato direttamente o indirettamente l'area in studio. Is - intensità al sito (MCS); AE - Denominazione dell'area dei maggiori effetti; Io - Intensità epicentrale (MCS); Mw - magnitudo momento.*

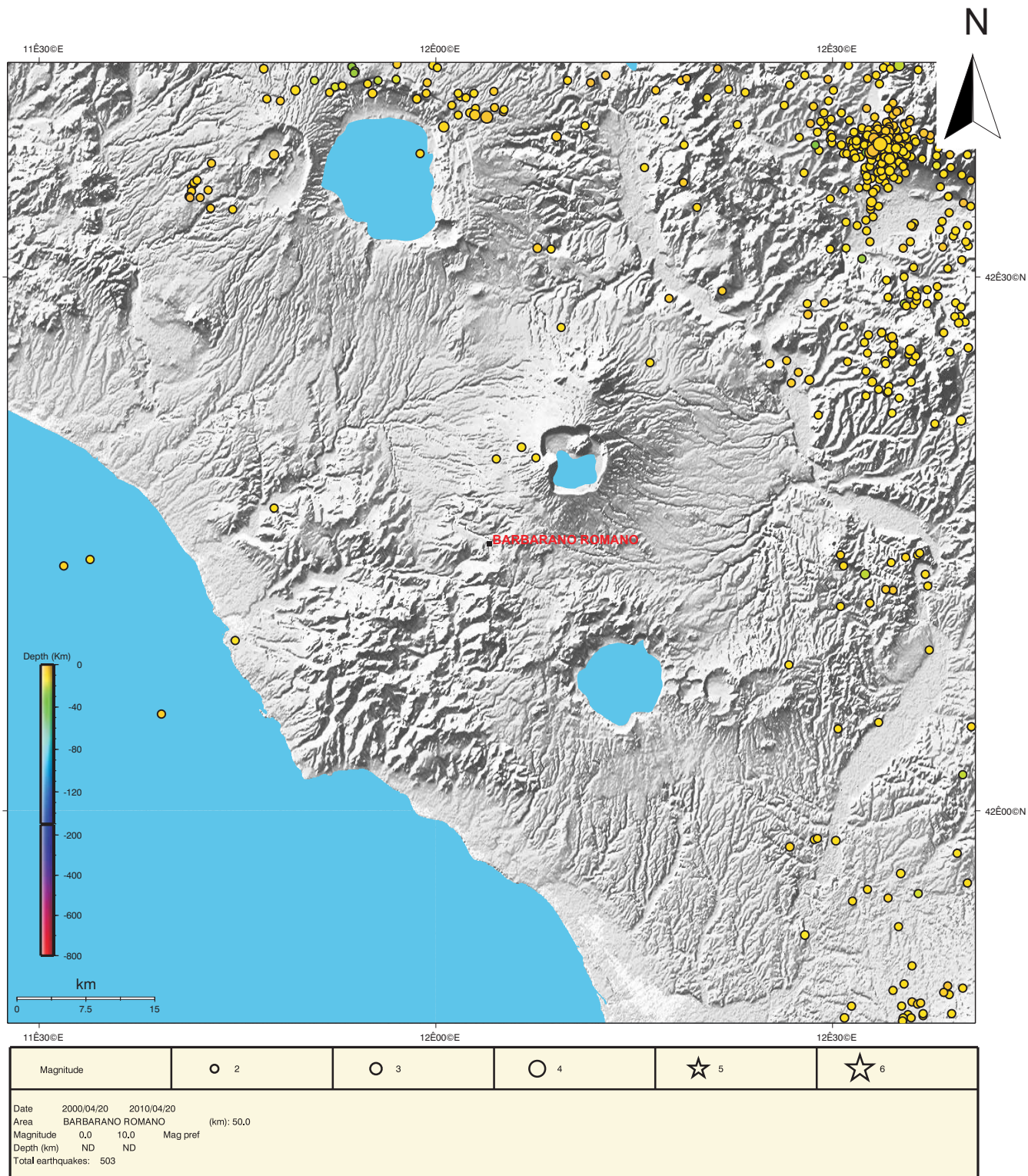
Storia sismica di Barbarano Romano (VT)  
[42.251, 12.066]  
Osservazioni disponibili: 7

Effects				Earthquake occurred:			
Is	Anno	Me	Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io Mw
5	1877	12	23 05 03	CAPRANICA	DOM	19	6 4.83
2	1892	01	22	COLLI ALBANI	DOM	81	6-7 5.17
2-3	1895	11	01	CASTELPORZIANO	DOM	98	6 4.83
5	1915	01	13 06 52	AVEZZANO	DOM	1040	11 6.99
6	1969	07	02 07 55	TOLFA	DOM	72	7 5.08
4	1979	09	19 21 35 37	Valnerina	CFTI	691	8-9 5.90
3-4	1997	09	26 09 40 25	Appennino umbro-march.	CFTI	869	8-9 6.05

COMUNE di BARBARANO ROMANO (VT)  
CARTA DELLA SISMICITA' STRUMENTALE

(Sismicità registrata nel periodo 2005-2010)

Fonte dei dati: Progetto ISIDE <http://iside.rm.ingv.it/>)

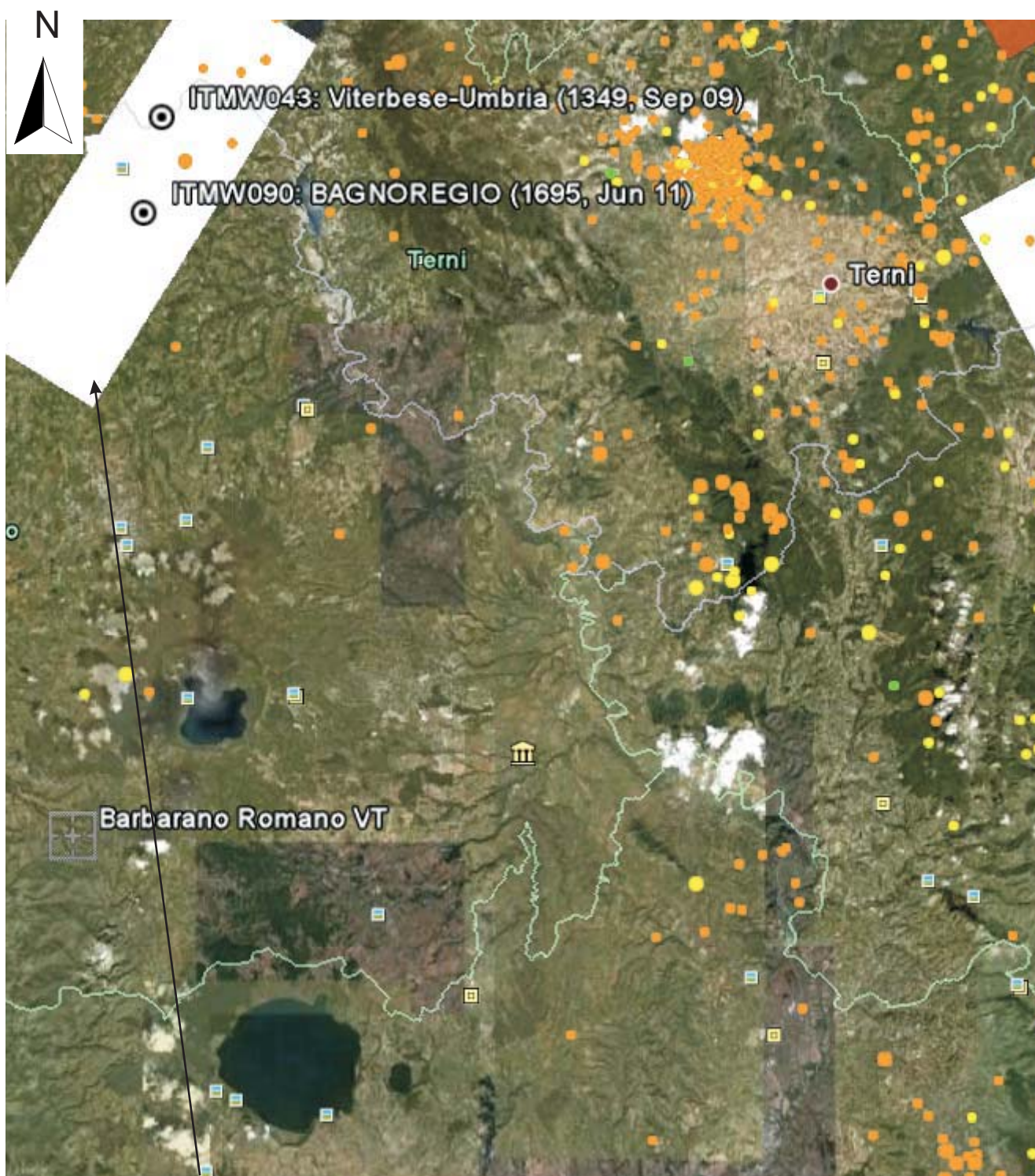




COMUNE di BARBARANO ROMANO (VT)

CARTA DELLA SISMICITA' STORICA, STRUMENTALE E  
DELLE STRUTTURE SISMOGENETICHE

Dati disponibili on-line: [http://diss.rm.ingv.it/GFMaplet3\\_INGV/GFMaplet/Default](http://diss.rm.ingv.it/GFMaplet3_INGV/GFMaplet/Default)



Struttura sismogenetica di Bagnoregio

Dall'analisi dei recenti inventari di faglie attive, nello specifico è stato consultato il Diss 3.1 (Diss Working Group, 2005 - consultabile on-line: <http://www.ingv.it/DISS/>) si evidenzia ad Ovest dell'area in studio la presenza della struttura sismogenetica sita in Bagnoregio responsabile del terremoto del 1695 e limitatamente al margine orientale della carta è presente la struttura sismogenetica del terremoto Viterbese-Umbria.

Con l'Ordinanza PCM 3274/03 e il successivo D.M. del 14.01.2008 si sono andati chiarendo e semplificando i rapporti fra esigenze normative e formati secondo i quali la pericolosità sismica deve essere valutata.

I dati di pericolosità sismica prodotti da INGV (MPS04 e successive integrazioni prodotte nell'ambito del progetto INGV-DPC S1, disponibili sui siti web <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> e <http://esse1.mi.ingv.it/>) hanno fornito una prima risposta, che ha avuto un riconoscimento ufficiale nell'Ordinanza PCM 3519/06 aventi oggetto i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

L'area in studio è stata classificata appartenete alla 3<sup>a</sup> categoria – sottozona "A" (vedi Carta Classificazione Sismica).

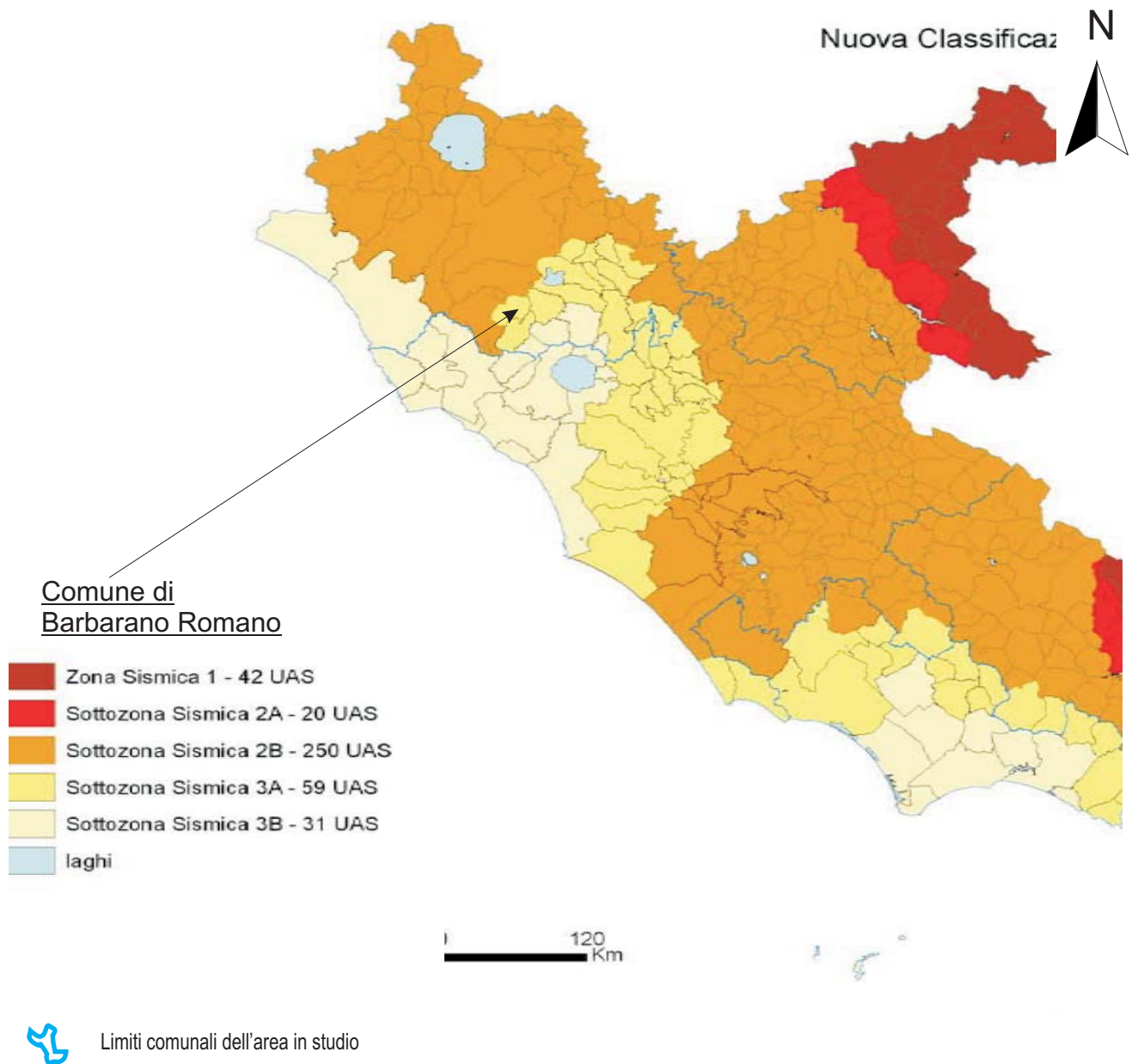
Dalla carta dei Valori di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale (in allegato), si osserva che la pericolosità sismica è stimata con una maggiore precisione; di fatto le variazioni sono continue e graduali, pertanto l'accelerazione orizzontale massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi è a **0,100-0,125 g**.



## COMUNE di BARBARANO ROMANO (VT)

### CARTA CLASSIFICAZIONE SISMICA

Ordinanza P.C.M. 3519 del 28/04/06 e con recepimento  
delle variazioni operate dalla D.G.R. 387 del 22/05/2009

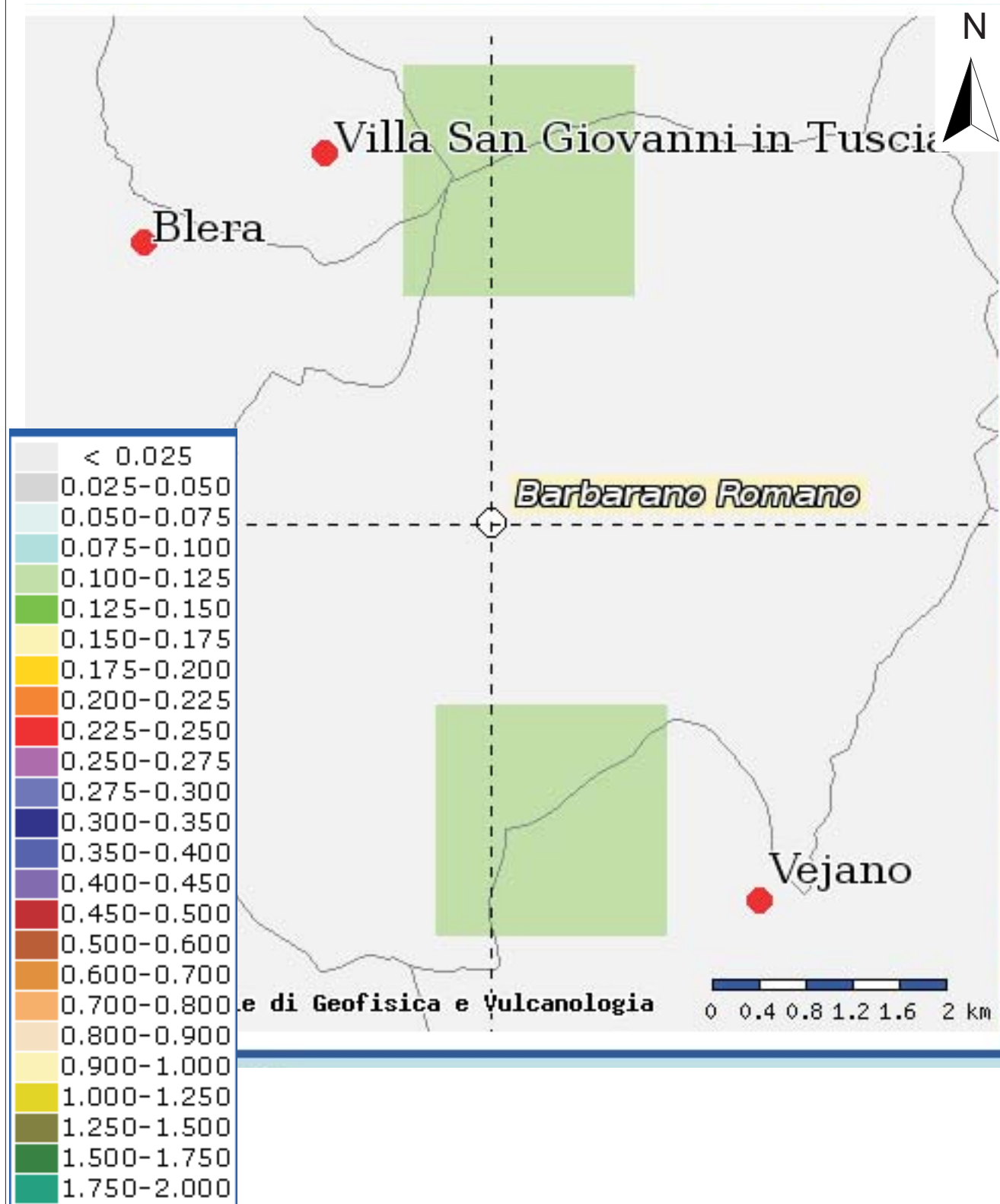


COMUNE di BARBARANO ROMANO (VT)

CARTA DEI VALORI DI PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO

(rif. Ordinanza PCM 3519 del 28/04/06)

Espressi in termini di accelerazione massima del suolo  
con probabilità di eccedenza > 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi ( $V_s > 800\text{m/s}$ )



### **Campagna penetrometrica**

Al fine di valutare i parametri geomeccanici del sedime, sono state utilizzate le risultanze di sei prove penetrometriche dinamiche, eseguite con penetrometro leggero di tipo DPM30, attrezzatura trasportabile a mano, condotte in prossimità della chiesa di San Giuliano, in condizioni geologiche e litotecniche simili a quelle della zona in esame.

L'attrezzatura DPM 030, trasportabile a mano (penetrometro leggero), risulta particolarmente indicata in quei siti di difficile accesso.

Il penetrometro leggero consente l'infissione di aste di acciaio di diametro  $\varnothing = 2$  cm, lunghezza 100 cm e peso 2.40 Kg cadauna; il maglio di battuta del peso di 30 Kg prevede un'altezza di caduta fissa di 20 cm; al termine dell'ultima asta è montata una punta conica a perdere del diametro  $\varnothing = 3.56$  cm, area  $A = 10$  cmq ed angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$ .

Tale penetrometro sviluppa un'energia specifica / colpo  $Q = 6$  kg/cm<sup>2</sup> (per riferimento, una prova SPT sviluppa una  $Q_{SPT} = 7.83$  kg/cm<sup>2</sup>); il coefficiente teorico di energia vale pertanto  $\beta_t = Q / Q_{SPT} = 0.766$  (in teoria quindi  $N_{SPT} = \beta_t \times N$ ).

Per maggiori dettagli sulla campagna geognostica eseguita si faccia riferimento alla Relazione geologica relativa agli interventi sulla Chiesa di San Giuliano (Rif. El n 1397/10).

Le prove penetrometriche eseguite mette in luce la presenza di uno strato che denota grado di addensamento mediocre dallo spessore variabile presente fino alla profondità di 1,80 metri.

Al letto di questo strato si individua un intervallo, caratterizzato da un costante aumento della resistenza all'infissione della punta con l'aumentare della profondità; il grado di addensamento si attesta su valori medio-alti fino alle profondità di circa 3,30 metri.

## **Indagine geofisica MASW**

### *Descrizione del metodo*

La prospezione sismica di seguito descritta è stata acquisita nei pressi del monumento di San Giuliano in quanto localmente non è stato possibile eseguire uno stendimento di lunghezza tale da ottenere dei risultati attendibili.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Ogni singolo geofono è collegato mediante un cavo bipolare che trasmette il segnale al sismografo, il segnale sismico viene così registrato, opportunamente amplificato, visualizzato sullo strumento e memorizzato per le successive elaborazioni ed interpretazioni.

La prospezione sismica (vedi "carta ubicazione delle indagini", in allegato) è stata realizzata con uno stendimento sismico da 24 geofoni allineati a distanza intergeofonica pari a 1.0 ml, che hanno registrato le onde sismiche generate in corrispondenza di due punti di energizzazione dislocati ad una distanza (offset) dal primo geofono all'esterno dello stendimento ed in allineamento con i geofoni pari a 8 e 9 metri da un lato mentre nel lato opposto la distanza delle sorgenti si trova a 5 e 6 metri.

La distanza intergeofonica indicativamente rappresenta lo spessore minimo della discontinuità rilevabile.



La profondità massima di penetrazione, diversamente dalla sismica a rifrazione tradizionale, è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e le sue frequenze, quindi non dipende dalla geometria dello stendimento, ma dalle caratteristiche della successione litostratigrafia del terreno investigato.

Le acquisizioni sono state eseguite con diversi tempi di campionamento: 500  $\mu$ s, 2 ms e 125  $\mu$ s ed una durata di acquisizione di 2048 ms.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale della PASI modello 16S24-U, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

- capacità di campionamento dei segnali tra 125  $\mu$ s e 2 ms;
- filtri in post-acquisizione (50-60 Notch, 250LP)
- antialiasing: attivi, LPF, 8°ordine Butterworth;
- attenuazione -48dB/oct (-160dB/dec);
- $f_0=5/8f_{nyq}$ ; accuratezza  $\pm 1\%$  freq.di taglio
- 24 bit con algoritmo proprietario
- 12 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 8 Kg.

Per l'elaborazione del profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio), è stato utilizzato il software *winMASW* della *ELIOSOFT srl*.

### Elaborazione dei dati della MASW

Il passo di campionamento con il quale sono stati registrati i sismogrammi è stato pari a 0.5 ms, 2 ms e 0.125 ms, il sismogramma analizzato in queste pagine è quello con passo pari a 2.0 ms e offset pari a 5.0 metri di distanza dal primo geofono.

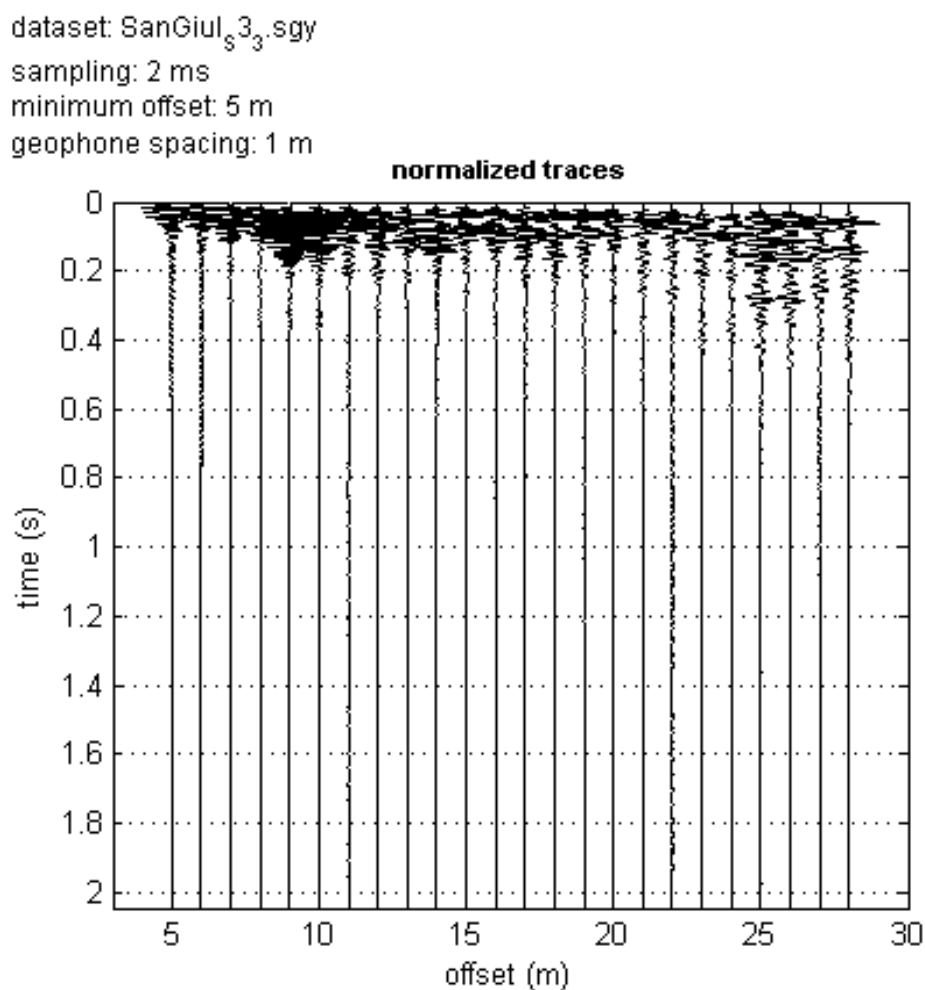


Figura n. 1. Sismogramma.

Dal sismogramma così ottenuto si è ricavato lo spettro delle velocità (diagramma velocità-frequenza) sul quale si individua la curva di dispersione (vedi fig. 2).

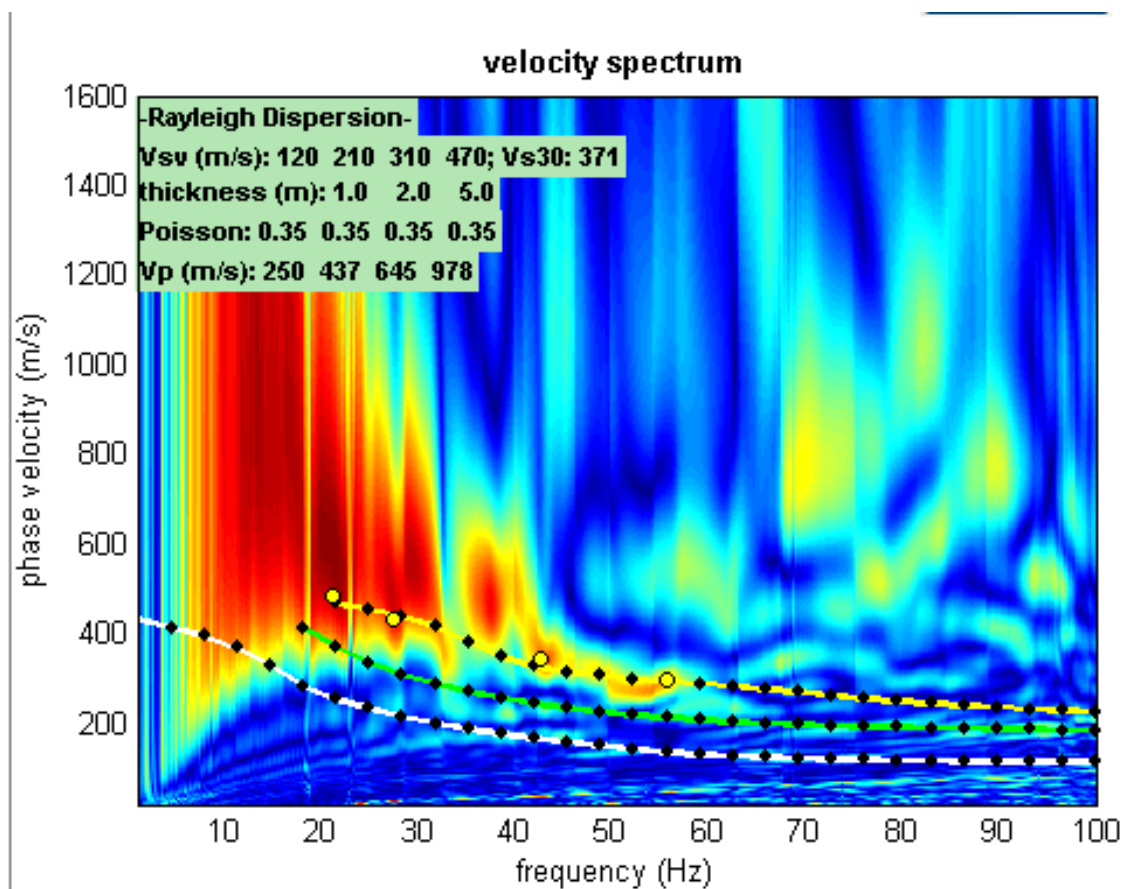


Figura n. 2. Spettro di velocità.

Nelle figure successive si riportano i modelli sismo-stratigrafici calcolati evidenziando il modello "medio" e "migliore" con colori differenti.

### Risultati MASW

Dallo spettro di velocità (figura 2) si osserva che la velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s)-frequenza (Hz) in un intervallo compreso tra 9 Hz e 60 Hz.

La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 350 m/s e 450 m/s (Fig.2).

Nella figura n. 3 si riportano i profili delle Vs calcolati.



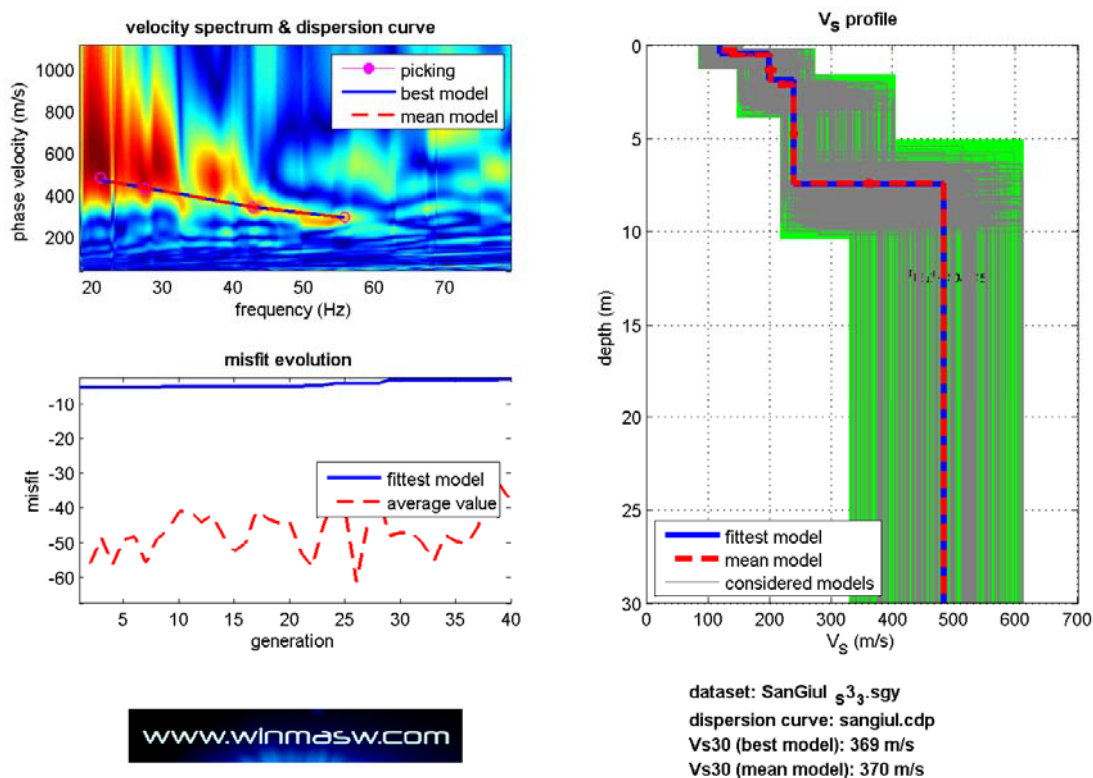


Figura n. 3- Modelli di velocità calcolati per la MASW.

La curva che meglio approssima i dati sperimentali, come già indicato nella figura n.3, deriva da un profilo verticale delle onde S costituito da 4 sismo-strati dalle seguenti caratteristiche:

MODELLO MIGLIORE MASW		
Strato n	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	0.5	119
2	1.4	199
3	5.6	238
4	-	481
Vs30=370 m/s		

Dallo studio della stratigrafia sismica delle Vs, si osservano dei valori di velocità delle onde S inferiori a 360 m/s nei primi sei metri dal piano campagna, correlabile allo strato superficiale e alle facies poco addensate riscontrate anche nelle prove penetrometriche. Al crescere della profondità si nota un costante e graduale incremento della Vs.

La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad \text{dove } V_i \text{ e } h_i \text{ sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato } i\text{-esimo.}$$

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio ed estendendo il semispazio fino alla profondità di 30 metri, risulta che la **velocità media è paria a 370 m/s** classificando quindi il suolo di **tipo B**.

### **Indagine Geofisica: Microtremore**

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre, si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossime a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

La tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso, è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001).

Sono state analizzate le registrazioni del rumore di fondo, effettuate nel mese di aprile 2012 sul sito.

Lo scopo di questa indagine è quello di verificare attraverso il metodo di Nakamura, l'eventuale presenza di eventuali contrasti di impedenza fra gli strati sismici investigati.



### *Risultati dell'analisi H/V*

Per le misure H/V (misure di microtremori a stazione singola) è stato utilizzato un Tromino (Micromed) - strumento dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo una terna cartesiana ortogonale.

L'elaborazione delle misure H/V è consistita in un lavoro di pulizia del dato finalizzato ad eliminare segnali transienti e poter quindi procedere con il calcolo degli spettri delle componenti orizzontali (H) e verticali (V) successivamente sintetizzate appunto nel rapporto spettrale H/V (in allegato).

Un progetto europeo denominato SESAME (Site EffectS Assessment using AMBient Excitations) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array, fornendo dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

In un' apposita tabella in allegato sono evidenziati i risultati dei criteri SESAME per le misure effettuate.

Lo spessore della coltre investigata ha evidenziato due picchi H/V, ma significativi a livello stratigrafico, tra **2.4-2.5 Hz** e l'altro a **28.3 Hz**, correlabile con variazioni di impedenza acustica tra le interfacce dei mezzi stratificati investigati.

## TOMBA\_CERVO-R1BIS, BARBA TC2

Strumento: TRZ-0142/01-11

Inizio registrazione: 10/04/12 14:54:54 Fine registrazione: 10/04/12 15:12:54

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h18'00".

Analizzato 78% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

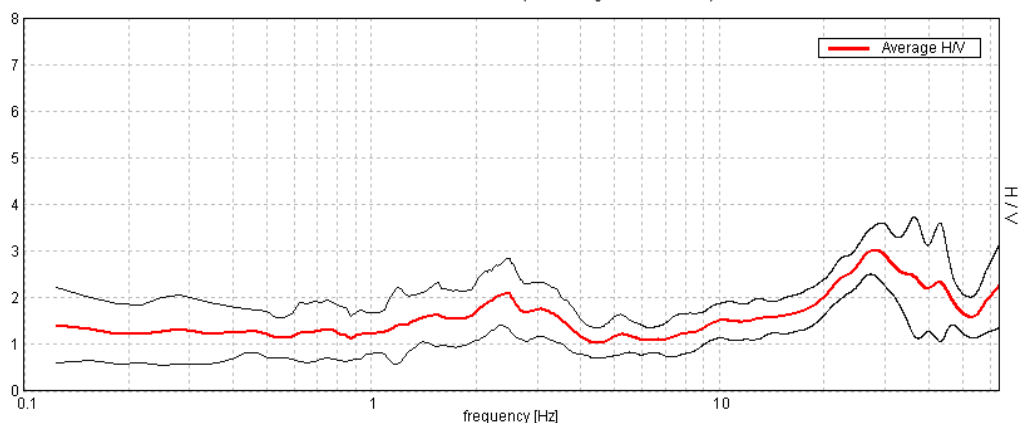
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

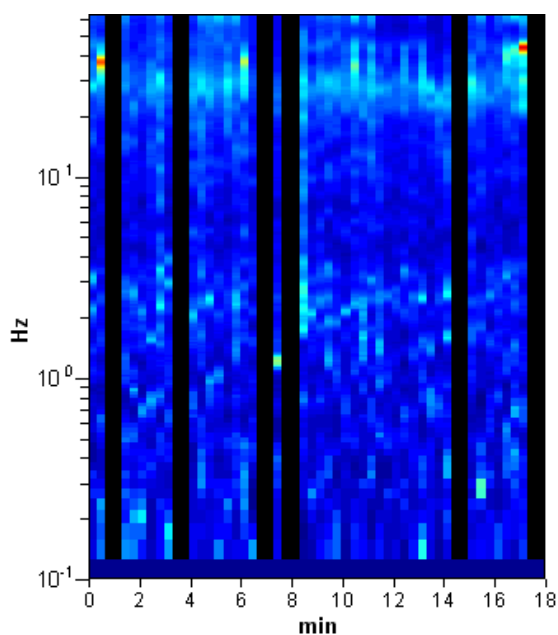
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

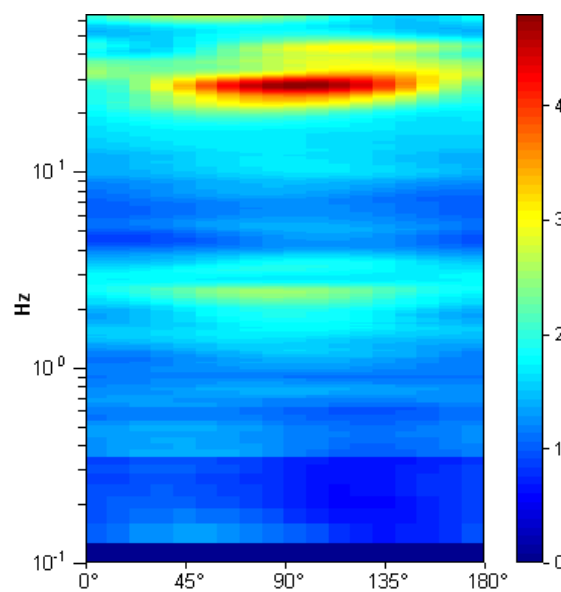
Max. H/V at  $28.03 \pm 0.99$  Hz. (In the range 0.0 - 50.0 Hz).



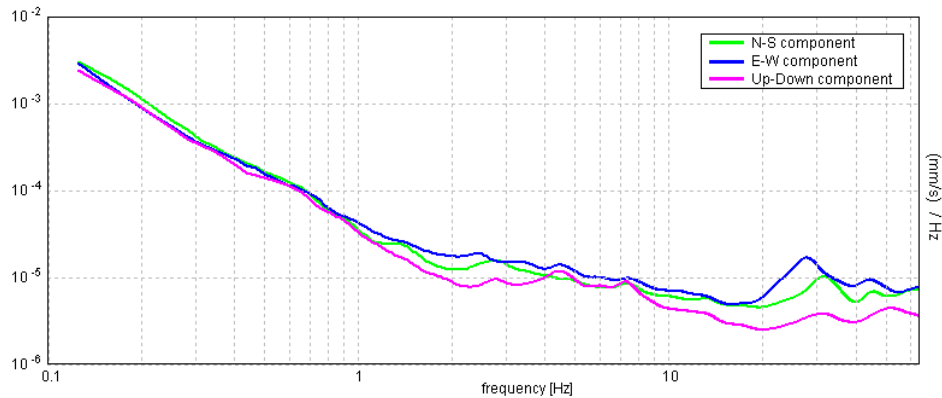
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di [Grilla](#) prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 28.03 ± 0.99 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).					
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]					
$f_0 > 10 / L_w$	28.03 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	23546.3 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1346	OK			
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]					
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	12.25 Hz	OK			
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO		
$A_0 > 2$	3.01 > 2	OK			
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01728  < 0.05$	OK			
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.48442 < 1.40156	OK			
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2642 < 1.58	OK			
$L_w$	lunghezza della finestra				
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi				
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi				
$f$	frequenza attuale				
$f_0$	frequenza del picco H/V				
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V				
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$				
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$				
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$				
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## **Sintesi dei dati**

### **Modello Litotecnico**

La sintesi dei dati puntuali rilevati ha permesso di elaborare un modello geologico-tecnico e di definire unità a caratteristiche fisico-tecniche omogenee derivante dalle prove penetrometriche eseguite in prossimità della chiesa di San giuliano e assimilabile sia geologicamente che litologicamente alla situazione locale.

Si individua una stratigrafia costituita schematicamente da tre livelli, caratterizzati come da tabella seguente:

Profondità (m)	Descrizione litologica dello strato	Angolo d'attrito (°)	Peso di volume naturale (KN/mc)
0,00-0,80	Terreno vegetale	-	-
0,80 – 2,20	Piroclastite scarsamente addensata	26-29	16,0
Oltre 2,20	Piroclastite con grado di addensamento medio	32-35	17,5

Si ribadisce infine che la suddetta caratterizzazione geotecnica riguarda la zona relativa alla chiesa di San Giuliano, pertanto non è da escludere la presenza di altre criticità quali la presenza di una rete di cunicoli/cavità.



### Modellazione sismica

In base alla nuova zonazione sismica definita dalla O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e ss.mm.ed ii., nonché dalla DGR Lazio 387/09, il Comune di Barbarano Romano è classificato in Categoria 3, sottozona A.

Ai fini della determinazione dell'azione sismica, si definiscono le seguenti classi di litotipo con le seguenti caratteristiche:

Categoria suolo	Tipo	N <sub>SPT</sub>	C <sub>u</sub> (kPa)	Velocità onde di taglio
A	Ammassi rocciosi o terreni molto rigidi			V <sub>s</sub> > 800 m/sec
<b>B</b>	<b>Rocce tenere e terreni a grana grossa molto addensati o terreni fini molto consistenti</b>	<b>N &gt; 50</b>	<b>C<sub>u</sub> &gt; 250</b>	<b>360 m/sec &lt; V<sub>s</sub> &lt; 800 m/sec</b>
C	Terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni fini mediamente consistenti	15 < N < 50	70 < C <sub>u</sub> < 250	180 m/sec < V <sub>s</sub> < 360 m/sec
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni fini scarsamente consistenti	N < 15	C <sub>u</sub> < 70	V <sub>s</sub> < 180 m/sec
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 metri, posti sul substrato di riferimento			V <sub>s</sub> come C e D nello strato superficiale su un substrato con V <sub>s</sub> come A
S1	Depositi di terreni, che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche		10 < C <sub>u</sub> < 20	V <sub>s</sub> < 100 m/s
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.			

Tenendo conto delle disposizioni delle suddette normative, e in base ai risultati delle indagini in situ, è possibile classificare il volume significativo di sottosuolo interessato dalla costruzione dell'opera come tipo B ( $360 \text{ m/s} < V_{s30} < 800 \text{ m/s}$ ).

Secondo le NTC di cui al D.M. 14/01/08 la stima della pericolosità sismica di base o locale, intesa come accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  su suolo rigido e orizzontale, viene definita mediante un approccio "sito dipendente", ovvero la stima dei parametri spettrali, necessari per la definizione dell'azione sismica sia per la valutazione della sicurezza e sia per il progetto degli interventi, è calcolata direttamente per il sito in esame (in coordinate geografiche nel sistema di riferimento ED50).

Le azioni sismiche nei confronti degli stati limite sono individuate riferendosi alle prestazioni della costruzione e valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_r$  con la seguente relazione:

$$V_r = V_n \text{ (vita nominale della struttura)} \times C_u \text{ (coefficiente d'uso)}.$$

Le forme spettrali relative a ciascuno degli stati limite, cui corrispondono determinate probabilità di superamento  $P_{V_r}$  nel periodo di riferimento, sono definite in condizioni di campo libero a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido e orizzontale:

- $a_g$  (o  $P_{ga}$ ) accelerazione massima al sito determinata su un reticolo a maglia inferiore a 10 Km (corrispondente all'ordinata spettrale per  $t = 0$ );
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio di tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale su suolo rigido.
- $T_0$  L'azione tellurica è caratterizzata da tre componenti, due orizzontali (x,y) ed una verticale (z), cui corrispondono due distinti spettri di risposta.

Tramite il software sperimentale SPETTRI 1.03 del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti è possibile stimare i parametri per la definizione dell'azione sismica per i vari stati limite considerati e per il sito, tenendo conto delle seguenti condizioni:

- Coordinate del sito: Lat 42.2602 e Long 12.0755;
- Vita nominale  $V_N$ : 50 anni;
- Classe d'uso: III (*costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi*)
- coefficiente  $C_u = 1.5$ ;
- Vita di riferimento  $V_R = V_N \times C_u = 75$  anni

Ai quattro stati limite, Stato limite di immediata operatività (SLO), Stato limite di danno (SLD), Stato limite di salvaguardia della Vita (SLV) e Stato limite di prevenzione del Collasso (SLC) sono stati attribuiti (v. Tabella 3.2.1 delle NTC) i valori della probabilità di superamento  $P_{Vr}$  nel periodo di riferimento pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%, cui corrispondono periodi di ritorno di anni 45, 75, 712, 1462.

I parametri di azione sismica per i diversi stati limite sono riportati in tabella:

Stato limite	$T_r$ (anni)	$a_g$ (m/s <sup>2</sup> )	$F_o$	$T_c^*$ (s)
SLO	45	0.044	2.576	0.256
SLD	75	0.055	2.535	0.271
SLV	712	0.130	2.492	0.299
SLC	1462	0.163	2.515	0.305

L'azione di progetto deve essere determinata considerando la categoria di sottosuolo, nella fattispecie tipo B, e la categoria topografica, nella fattispecie T2  $h/H=1$ ).

### Definizione degli interventi

Tale paragrafo descrive per sommi capi gli interventi tipo che si consiglia di poter mettere in atto.

Sarà necessario, in fase esecutiva, far precedere qualsiasi intervento, da una decespugliazione delle superfici da trattare, così da mettere completamente a nudo le situazioni più onerose e definire con un dettaglio maggiore e definitivo gli interventi più idonei, caso per caso.

In ogni caso, per le pareti piroclastiche che ricadono nell'areale di intervento, deve prevedersi il disgaggio dei blocchi in cui è evidente, fin dall'inizio, un precario equilibrio per eliminare situazioni di instabilità locale di piccola entità che rappresentano un rischio per gli escursionisti.

Si consiglia invece la chiodatura per i blocchi con volumetria in generale superiore al metro cubo.



### **Considerazioni Conclusive**

Il presente studio si è sviluppato prevedendo una fase di rilevamento in campagna dei caratteri geologico – geomorfologici dell'area, a cui è seguita una ricerca bibliografica di indagini eseguite in prossimità della Chiesa di San Giuliano.

La sintesi delle indagini ha permesso di ricostruire un modello geologico e geotecnico del terreno di sedime interessato dal progetto di restauro conservativo della Tomba del Cervo, situata nel comune di Barbarano Romano, mediante il quale sono stati valutati i coefficienti sismici sul terreno.

Le operazioni di rilevamento e di indagini dirette sono state difficoltose a causa dell'asperità del territorio e della fitta copertura vegetale. I dati rilevati, confrontati con quelli bibliografici, sono stati utilizzati per l'elaborazione della carta geologica e della carta geomorfologica.

Tale dato consente di affermare come la realizzazione dell'intervento di adeguamento in progetto non debba presumibilmente indurre modificazioni sostanziali nell'equilibrio geodinamico locale.

Per il prosieguo dell'attività di progettazione sarà necessario predisporre una campagna di rilievi allo scopo di approntare una adeguata cartografia di base nonché caratterizzare gli ammassi rocciosi con tutte le sue singolarità strutturali per la corretta definizione degli interventi.

Viterbo, 14 aprile 2012

  
Geol. Roberto Troncarelli



# DOCUMENTAZIONE

## FOTOGRAFICA





Foto n. 1 – Ingresso Tomba del Cervo





Foto n. 2

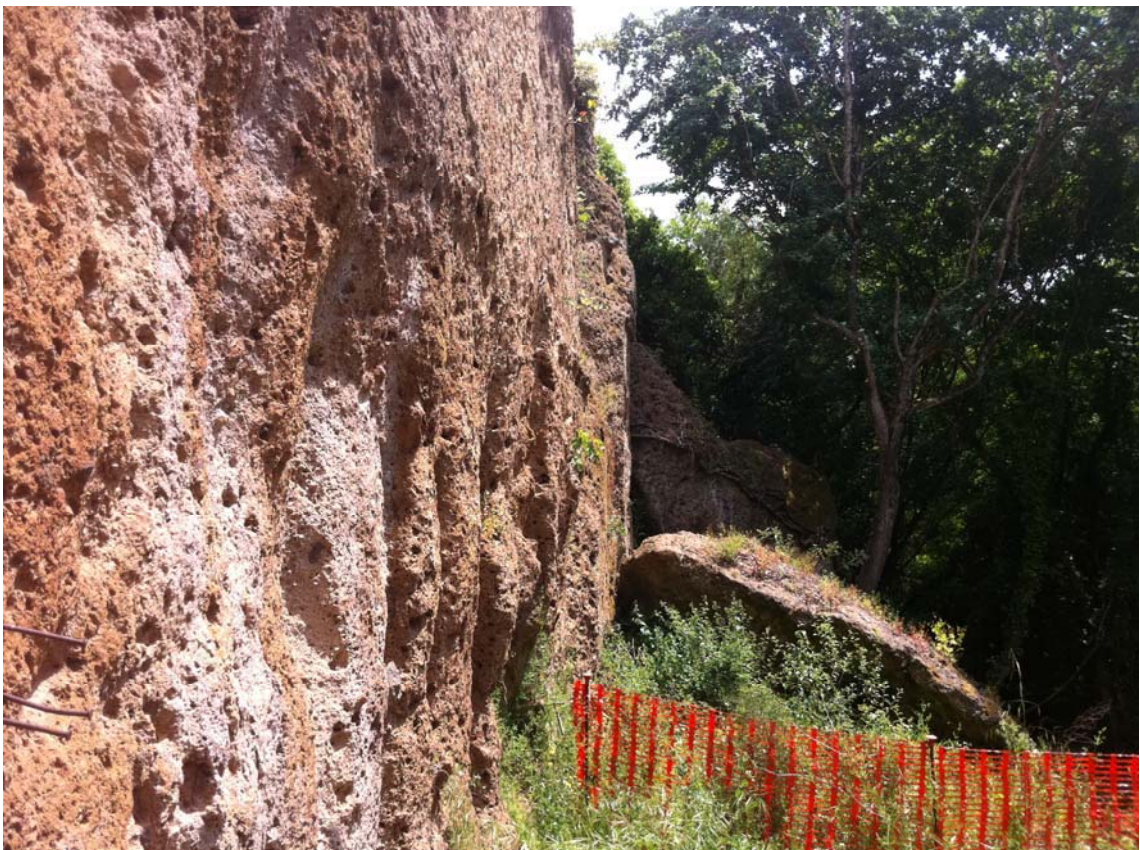


Foto n.3





Foto n. 4



Foto n. 5





Foto n. 6





Foto n.7 – Ubicazione della prospezione sismica



Foto n.8 – Ubicazione del tromino





Foto n.9 – Ubicazione del tromino