

# RISTRUTTURAZIONE, ADEGUAMENTO E MESSA A NORMA DELL'OSPEDALE DI CIVITA CASTELLANA (VT)

## FASE 3: PRONTO SOCCORSO - PROGETTO ESECUTIVO -

### RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

- Arch. Marco Iobbi

### PROGETTAZIONE:

- Arch. Giuseppe Manara

Via del Babuino, 107 - 00187 Roma

- Ing. Vittorio Cassani

Via Muzio Clementi, 70 - 00193 Roma

- Ing. Massimo Arduini

Via Igino Garbini, 51 - 01100 Viterbo

### COORDINATORE ALLA SICUREZZA:

- Ing. Vittorio Cassani

Via Muzio Clementi, 70 - 00193 Roma

OGGETTO:

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

TAVOLA:

## PS\_G.02

DATA:

MARZO 2012

AGG.:

DATA

DESCRIZIONE

02

09/2014

SCALA:

1:100

FILE:

PS\_TESTATINE.dwg

DATA PROGETTO:

MARZO 2012

# Comune di Civita Castellana (VT)



## Relazione Geologica e Sismica

Località: “Ospedale Andosilla”



**Progetto:** Lavori di ristrutturazione ed ampliamento Ospedale Andosilla

**Committente:** Regione Lazio – AUSL Viterbo

Timbro e firma

**Redatto:** Dr. Geol. Vittorio Stocchi



**Data:** 18/09/14 n° 3320 - 14

---

## **Indice**

---

<i>1) Premessa e localizzazione</i>	<i>Pag. 3</i>
<i>2) Normativa di riferimento e metodi di indagine</i>	<i>Pag. 8</i>
<i>3) Inquadramento fisico generale</i>	<i>Pag.14</i>
<i>4) Geomorfologia dell'area</i>	<i>Pag.17</i>
<i>5) Geologia dell'area</i>	<i>Pag.20</i>
<i>6) Idrogeologia dell'area</i>	<i>Pag.23</i>
<i>7) Pericolosità sismica</i>	<i>Pag.26</i>
<i>8) Indagini in sito e modello geotecnico-sismico</i>	<i>Pag.33</i>
<i>9) Analisi Risposta Sismica Locale (RSL)</i>	<i>Pag.43</i>
<i>9.1 Scelta degli Accelerogrammi</i>	<i>Pag.43</i>
<i>9.2 Metodologia</i>	<i>Pag.47</i>
<i>9.3 Risultati Risposta Sismica Locale (RSL)</i>	<i>Pag.51</i>
<i>10) Conclusioni</i>	<i>Pag.58</i>
<b>ALLEGATI</b>	
<i>✓ Indagini geognostiche 09/2014</i>	<i>Pag.59</i>
<i>✓ Indagini geofisiche 09/2014</i>	<i>Pag.69</i>
<i>✓ Indagini Bibliografia</i>	<i>Pag.72</i>

---

## **1) Premessa e localizzazione**

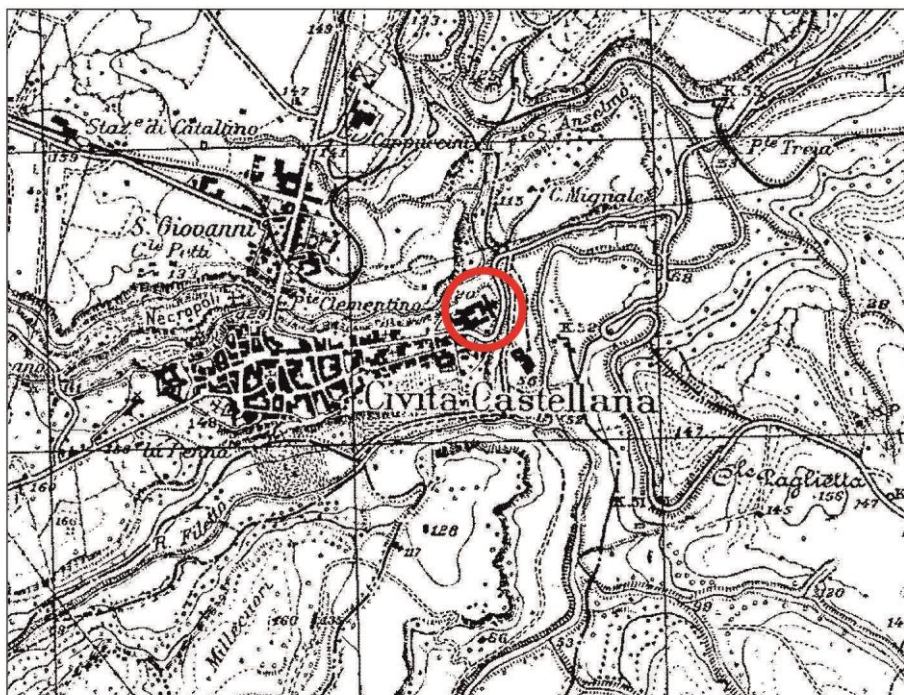
L'indagine è stata svolta su incarico dell'AUSL di Viterbo, al fine di verificare la compatibilità del progetto in esame, con le caratteristiche geologiche, sismiche idrogeologiche, geotecniche e geomorfologiche del terreno, in conformità alla normativa vigente.

Il progetto riguarda l'ampliamento e la ristrutturazione dell'Ospedale Andosilla, in particolare con la costruzione del nuovo Pronto Soccorso con struttura in cemento armato, multipiano e di due scale esterne, con struttura in metallo.

L'area oggetto d'indagine è situata nel comune di Civita Castellana, al margine orientale del centro storico, in via San Salvatore; è compresa interamente nel Foglio IGM 143 Bracciano, quadrante I, tavoletta NE Civita Castellana e nel Foglio CTR n°356104 Civita Castellana est (fig.1 – 2 - 3).

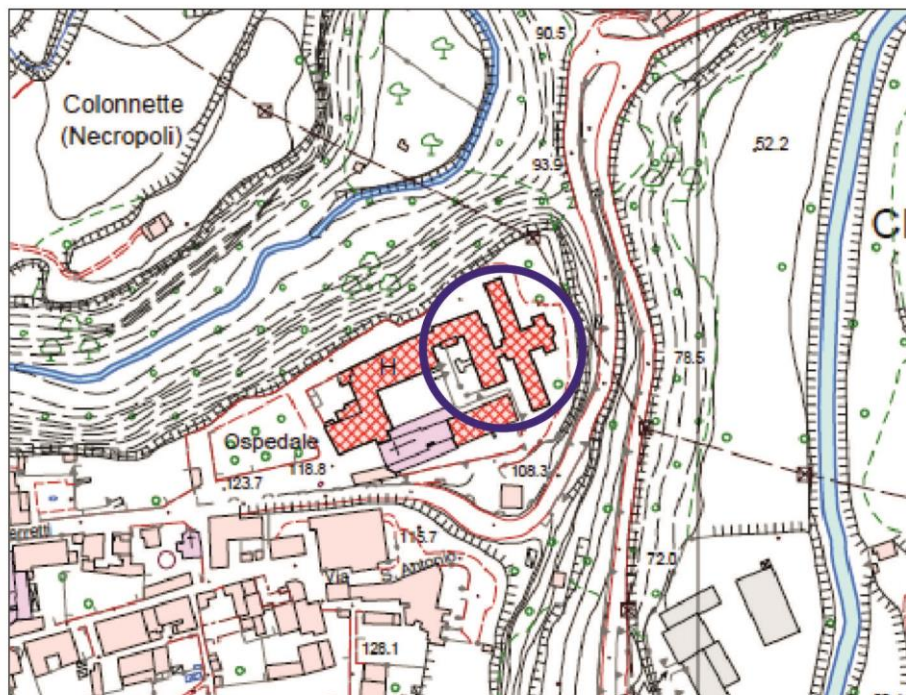
L'area è distinta al catasto al Foglio n° 30 particella n° 48, con un'estensione totale di alcuni ettari (fig.4).

Il terreno è in gran parte occupato dagli edifici dell'ospedale, con piccole porzioni a verde e si affaccia sulle valli incise dal fiume Treia e dal fosso Sant'Anselmo.

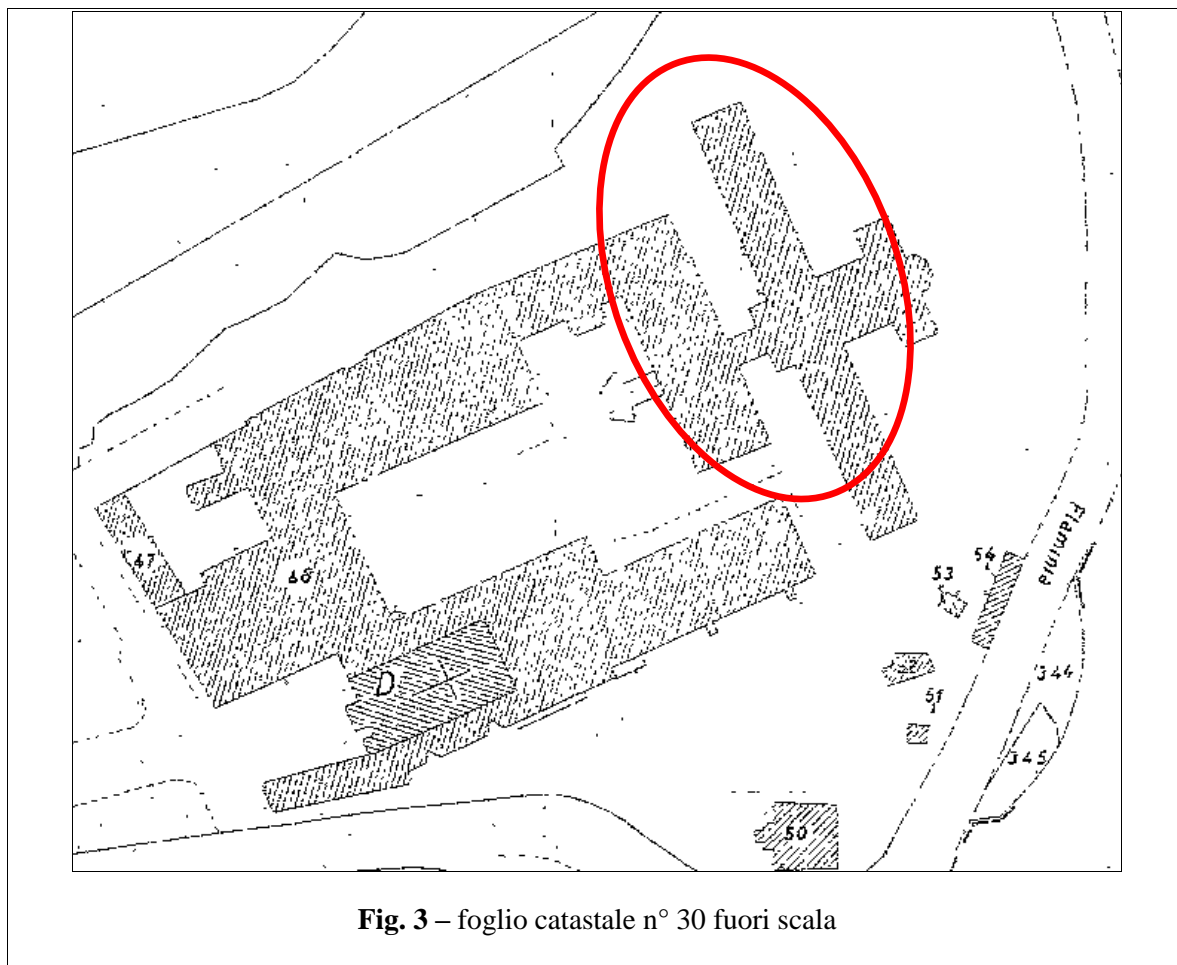


**Fig. 1** – scala 1:25.000 F. 143 Bracciano I NE Civita Castellana





**Fig. 2** – scala 1:5.000 CTR 356104 Civita Castellana Est





**Fig. 4** – ortofoto con ubicazione



## **2) Normativa di riferimento e metodi di indagine**

Lo studio è stato condotto secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia di costruzioni:

**Legge 02 febbraio 1974, n. 64.** Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

**Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988.** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Coordinato con la Circolare del Ministero Lavori Pubblici, 24 settembre 1988, n. 30483 - Istruzioni per l'applicazione.

**Ord.P.C.M. del 20 marzo 2003 n. 3274.** Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. e documenti correlati.

**D.M. 14 gennaio 2008** Ministero delle Infrastrutture e Trasporti - Norme Tecniche per le Costruzioni

**DPR 6 giugno 2001, n.380** Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (Testo A)

**Circolare 2 febbraio 2009**, n. 617. Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

**Circolare 11 dicembre 2009.** Entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Circolare 5 agosto 2009 - Ulteriori considerazioni esplicative

**D.G.R. Lazio n.545 del 26 Novembre 2010.** Linee guida per l'utilizzo degli indirizzi e criteri generali per gli studi di Microzonazione Sismica nel territorio della Regione Lazio e s.m.

**Regolamento Regione Lazio del 7 febbraio 2012 n.2.** Snellimento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico.

**D.G.R. Lazio n.489/2012** Modifiche all'allegato 2 della DGR n. 387/2009 Classi d'Uso delle strutture

**D.P.R. 328/01 art. 41** Modifiche ed integrazioni della disciplina dei requisiti per l'ammissione all'esame di Stato e delle relative prove per l'esercizio di talune professioni, nonché della disciplina dei relativi ordinamenti.

In accordo con il progettista, vista la consistenza delle opere e considerate le conoscenze geologiche della zona nonché la pericolosità media, la classe d'uso IV “Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di evento sismico” (da D.G.R. Lazio 489/2012) e la conseguente classe di rischio geologico medio alta (vedi tabelle allegato C Regolamento 2/2012), si è deciso di eseguire l'indagine mediante:

- a) il rilevamento geologico e strutturale dell'area,
- b) l'esecuzione di una prova MASW (foto 1), per la classificazione sismica del suolo,
- c) l'esecuzione di una prova HVSR (foto 2) per la determinazione della frequenza di risonanza del terreno,
- d) l'esecuzione di n° 3 prove DPSH (foto 3, 4 e 5), per la valutazione dei parametri geotecnici e per la verifica dell'assetto stratigrafico locale,
- e) la consultazione della bibliografia esistente e dei dati di archivio dell'autore.

Al fine di approfondire le conoscenze geologiche dell'area e di completare le operazioni richieste dalla normativa prima citata, i dati del presente studio sono stati integrati con quelli delle relazioni geologiche precedenti che comprendono: un sondaggio profondo con relativa prova Down Hole, una prova sismica MASW (2010), due prove DPSH a cura del dott. geol. Roberto Troncarelli (giugno 2014) e alcuni sondaggi a carotaggio continuo a cura del dott. geol. Giuseppe Pagano (maggio 2002).

### **TABELLE ALLEGATO B - C (DGR 2/12012)**

<b>PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO</b>
<b>TIPO A: BASSA PERICOLOSITA' GEOLOGICA:</b> Zone Sismiche 3A e 3B per le quali sussistano contemporaneamente le condizioni geomorfologiche descritte al comma 2 dell'art. 4 del Regolamento:
<b>TIPO B: MEDIA PERICOLOSITA' GEOLOGICA:</b> Zona Sismica 2B o Zone Sismiche 3A e 3B in cui si verifica una delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"><li>○ Contatto stratigrafico o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico- meccaniche e sismiche diverse;</li><li>○ <b>Zone Suscettibili di Amplificazione Sismica</b> identificate da studi di Microzonazione Sismica ai sensi della DGR Lazio n. 545/2010, e già validati dall'Ufficio Geologico o Sismico Regionale;</li><li>○ <b>Situazioni litostratigrafiche particolari</b>, quali riporti antropici, terreni scarsamente addensati, rocce molto fratturate e alterate, fenomeni di inversione della Vs;</li><li>○ Situazioni geomorfologiche particolari quali pendii con acclività &gt; 15°, cresta, conoide alluvionale, falda detritica.</li></ul>
<b>TIPO C: ALTA PERICOLOSITA' GEOLOGICA:</b> Zone Sismiche 1 e 2A o in tutte le zone sismiche in cui si verifica almeno una delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"><li>○ Area entro 50 mt da faglie attive e capaci effettivamente indicate dall'I.N.G.V.;</li><li>○ Fenomeni di Liquefazione, Fenomeni di Subsidenza o Sinkhole;</li><li>○ Presenza di cavità sotterranee;</li><li>○ Presenza di strati o terreni fortemente compressibili tipo limi o argille con presenza di torba;</li><li>○ Versanti in frana, in dissesto o instabilità diffusa;</li><li>○ Zone R3 e R4 delineate nei Piani delle Autorità di Bacino;</li><li>○ Zone Suscettibili di Instabilità, identificate da studi, validati dall'Ufficio Geologico e Sismico Regionale, ai sensi della DGR Lazio n. 545/2010</li></ul>

<b>CLASSI DI RISCHIO GEOLOGICO</b>				
<b>Classi d'uso</b>	<b>Pericolosità geologiche</b>	<b>Tipo A Bassa</b>	<b>Tipo B Media</b>	<b>Tipo C Alta</b>
		Zone Sismiche 3A – 3B o casi comma 2 art. 4	Zone Sismiche 2B - 3A – 3B o casi particolari tipo B	Zone Sismiche 1 - 2A o casi particolari tipo C
<b>1</b> (punto 2.4.2 DM 14.01.2008)	<b>Rischio Basso</b>	<b>Rischio Basso</b>	<b>Rischio Medio</b>	
<b>2</b> (punto 2.4.2 DM 14.01.2008)			<b>Rischio Medio - Alto</b>	
<b>3</b> (All. 2 DGR Lazio 387/09)	<b>Rischio Medio</b>	<b>Rischio Medio - Alto</b>	<b>Rischio Alto</b>	
<b>4</b> (All. 2 DGR Lazio 387/09)				



**Foto 1 – Masw 2014**



**Foto 2 – HVSr 2014**

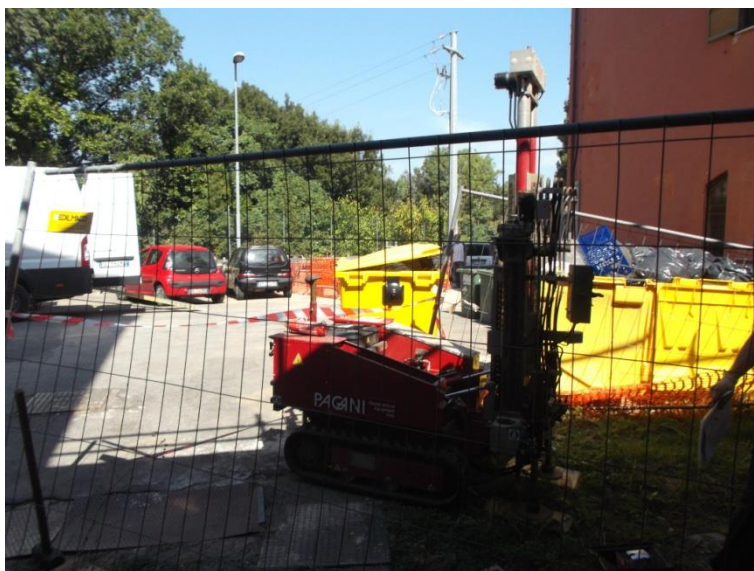


**Foto 3 – DPSH n.1 2014**





**Foto 4 – DPSH n.2 2014**



**Foto 5 – DPSH n.3 2014**

### **3) Inquadramento fisico generale**

L'area esaminata è situata sull'estremo margine sud orientale dell'apparato vulcanico vicano, la cui evoluzione è datata in un periodo compreso tra 900.000 e 95.000 anni fa, in cui sono state distinte quattro fasi principali, in base alle diverse attività vulcaniche.

La terza fase (0.2 – 0.15 Ma) è stata quella più importante, durante la quale furono emesse le varie formazioni piroclastiche ignimbritiche, ampiamente diffuse su tutto il territorio circostante.

In particolare il terzo deposito, Ignimbrite C (0.15 Ma), è quello affiorante in sito ed è il più noto poiché dotato di maggiore estensione areale.

E' conosciuto come "Tufo rosso a scorie nere", fu emesso in notevoli quantità e si estese per un raggio di decine di chilometri dal centro di emissione, ricoprendo gran parte del territorio, colmando le paleovalli e formando un esteso plateau localmente inclinato verso la valle del Tevere.

Questa emissione iniziò con la deposizione di pomici di ricaduta disperse nel settore sud ovest del vulcano, seguite da colate di pomici immerse in una matrice cineritica chiara, di spessore limitato ad alcuni metri.

Le caratteristiche di questo tufo sono la matrice cineritica omogenea, saldata, di colore rossastro – giallastro nella porzione alterata, o grigio scuro, in cui sono incluse numerose scorie nere porfiriche a leucite e sanidino, a tessitura orientata.

Localmente, il tufo può apparire nella sua facies incoerente pozzolanica nerastra,

specialmente nella sua porzione basale che ha la natura e l'aspetto delle pomici della facies normale litoide.

Il volume di emissione di quest'unità piroclastica fu notevole, intorno a 10 km<sup>3</sup>, legato sicuramente alla fase principale dello sprofondamento della caldera di Vico.

La presenza dei depositi di ricaduta pomicei, iniziali, fa pensare ad una colonna esplosiva i cui prodotti si depositarono sul fianco meridionale del vulcano, a questi seguirono le breccie caotiche che segnarono il passaggio da un'attività eruttiva centrale ad un'attività fissurale, legata alla prima fase di collasso calderico.

I notevoli volumi emessi successivamente e l'aspetto omogeneo dei depositi di notevole spessore, sono spiegabili con l'apertura di più fratture eruttive che hanno fornito un'alimentazione continua dell'attività vulcanica ed un'alta velocità di emissione.

L'intensa attività vulcanica descritta ha contribuito alla formazione di una zona a morfologia sub collinare, poco accentuata, che si affaccia sulla valle del Tevere, posta poco più ad est.

Il plateau vulcanico è attraversato da valli profondamente incise, le quali hanno l'aspetto di vere e proprie "forre", con dislivelli che raggiungono anche i 100 metri dalla sommità dei versanti, formando un reticolo idrografico facente parte dell'ampio bacino del Tevere.

Il reticolo idrografico ha un orientamento in direzione sud ovest - nord est e drena verso il bacino principale, appartenente al torrente Treia, che invece è orientato in direzione sud – nord.

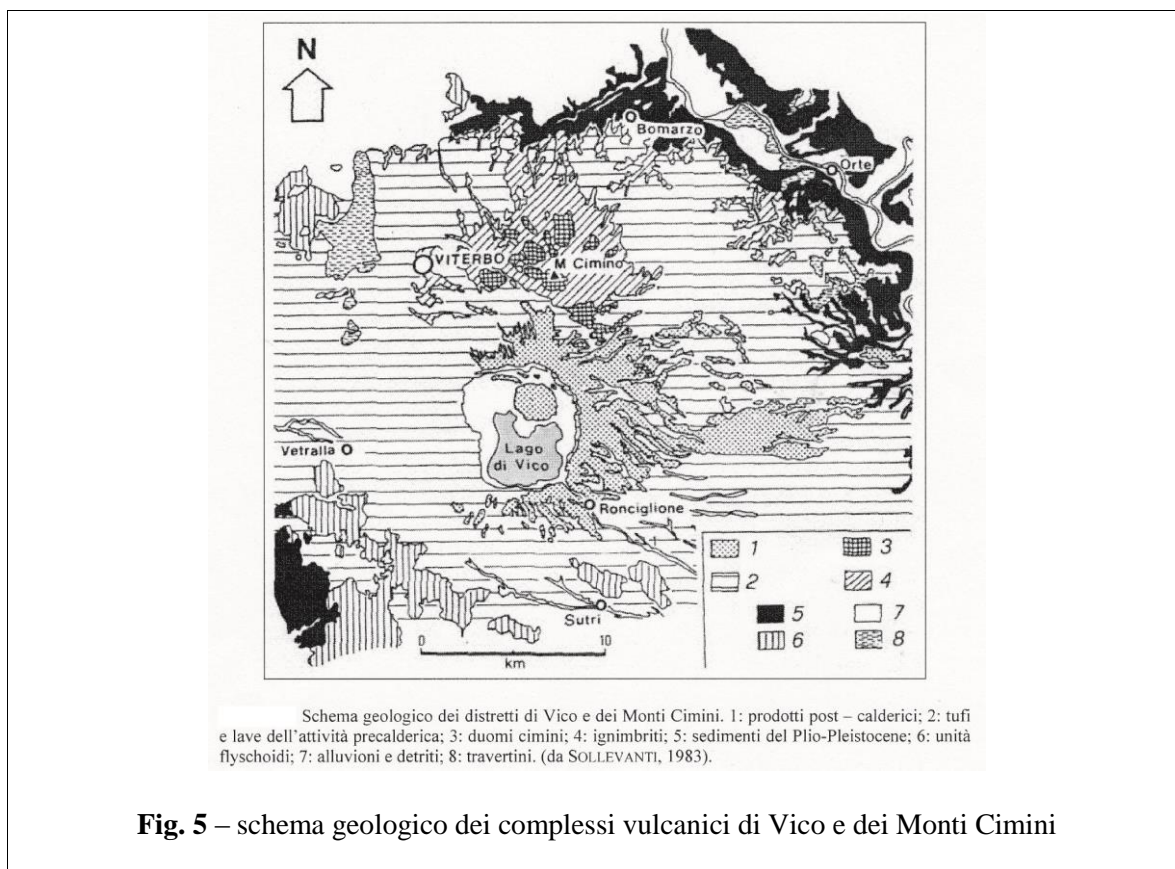
Tale reticolo è di tipo sub parallelo – sub angolare ed è stato notevolmente

influenzato dalla tettonica; si ipotizza pertanto che i fossi si siano impostati proprio lungo alcuni allineamenti, più facilmente erodibili, corrispondenti alle principali fratture.

Le scarpate dei versanti in cui affiorano depositi vulcanici di notevole potenza, sovrastano i terreni di origine sedimentaria.

I depositi sedimentari hanno sia origine continentale (fluviale) che marina e appartengono al plio – pleistocene; sono più facilmente erodibili, hanno matrice sabbio - ghiaiosa e sabbio – argillosa (fig. 5).

Dal punto di vista climatico le stazioni meteorologiche di Roma e Viterbo, le più prossime alla zona d'indagine, sono state classificate come zone 4C, (Profilo Climatico dell'Italia - ENEA, 1999).



#### **4) Geomorfologia dell'area**

Come evidenziato nel paragrafo precedente l'area in esame si trova in una zona già anticamente urbanizzata, che è stata parzialmente modificata dall'attività antropica.

In particolare, il fabbricato è posto sull'estremo lato orientale del centro storico del paese, quindi si trova lungo le forre che delimitano il borgo di Civita Castellana.

In particolare, l'area ospedaliera è compresa tra due scarpate: ad ovest si trova quella che immette nella valle incisa dal torrente Treia ed a nord quella che immette verso il fosso Sant'Anselmo; i due fossi scorrono circa 50 - 60 metri più a valle.

La quota media dell'intervento è di circa 118 metri sul livello del mare ed il terreno si presenta con acclività media, modesta (3 % circa), orientata localmente ad est.

In generale, quindi, l'area dell'ospedale è poco acclive e le pendenze aumentano notevolmente, soltanto in corrispondenza delle grandi scarpate, alte diverse decine di metri, laddove si raggiungono valori di pendenza molto elevati.

Le acque meteoriche, seguendo la pendenza naturale del terreno, drenano verso la strada San Salvatore, considerando chiaramente la presenza della rete fognaria cittadina.

Data la differenza di quota con i fossi, il sito non potrà essere coinvolto in fenomeni di piena.

Dal punto di vista geologico, le tipologie di dissesto franoso più frequenti che hanno interessato e che attualmente interessano i versanti della zona, appartengono alla categoria delle "frane per crollo", le quali si verificano quando i prismi rocciosi vengono a trovarsi privi di sostegno alla base.



Sono frequenti anche le “frane per ribaltamento”, caratterizzate dalla rotazione del materiale intorno ad un punto situato sotto il baricentro della massa.

In entrambi i casi, sono frequenti i rotolamenti a valle dei blocchi che vanno a costituire la diffusa coltre detritica di versante.

L'accumulo della coltre detritica di frana genera, a lungo termine, una stabilizzazione del versante stesso, che assume una forma convessa, in corrispondenza delle zone di accumulo.

I dissesti sono generati sia dalla presenza di particolari piani di fessurazione, legati alla messa in posto dell'ammasso tufaceo o, più frequentemente, da fenomeni di tensione lungo i margini degli affioramenti, che generano piani di fenditure parallele al versante.

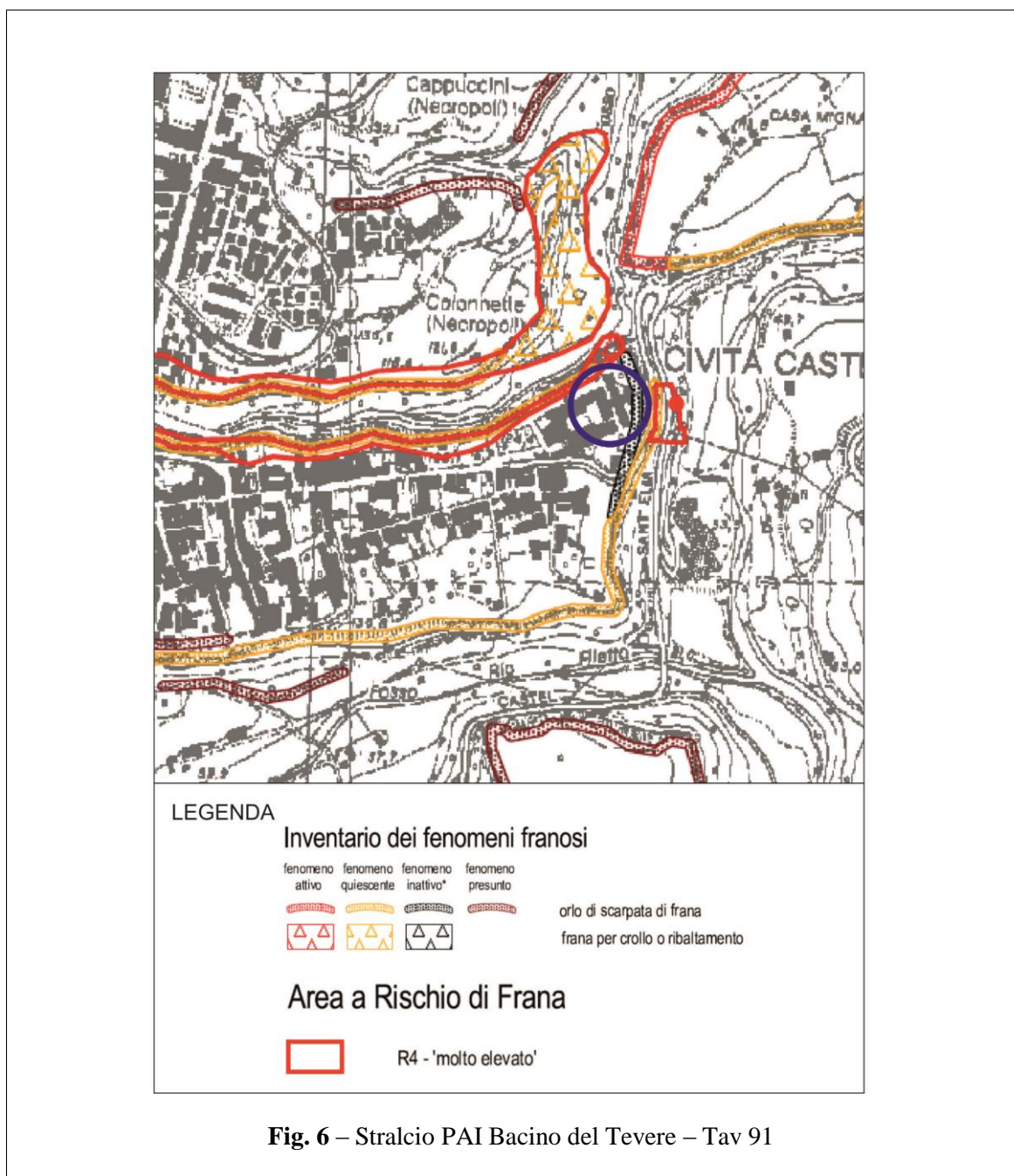
La vegetazione arborea, presente alla testa della scarpata, favorisce l'instabilità sia con il sovraccarico sia con l'azione divaricatrice degli apparati radicali, che tendono ad allargare le fessure di tensione, fino all'innescio di nuovi dissesti franosi.

Attualmente, in corrispondenza dell'area di imposta del fabbricato, non sono stati rilevati elementi che indichino la presenza di movimenti gravitativi o stress tensionali in atto ma sono possibili cavità sepolte.

Alcune porzioni di scarpata prossime all'ospedale si presentano, infatti, poco fratturate e dotate di opere di messa in sicurezza, quali reti e chiodature, che contribuiscono fortemente alla stabilità dei luoghi (foto 7).

Non si esclude la presenza di cavità di natura antropica, peraltro rilevate in altre aree dell'ospedale; in conclusione il lotto viene classificato nella categoria topografica T2.

Il sito non è compreso all'interno delle aree a rischio geomorfologico ed idraulico cartografate dalla Regione Lazio ma è a contatto con diverse situazioni di criticità geomorfologica, riportate nella suddetta cartografia PAI del Bacino del Tevere (fig. 6).



**Fig. 6** – Stralcio PAI Bacino del Tevere – Tav 91

## **5) Geologia dell'area**

Come già accennato precedentemente, i terreni affioranti appartengono al vulcanismo vicano e lungo il terreno in esame è possibile ritrovare la formazione ignimbratica che costituisce l'intero versante (fig. 7 – foto 7).

In zona si rileva la formazione nota come terza colata piroclastica od ignimbrite C (Locardi), a chimismo tefritico fonolitico e fonolitico, la quale caratterizza il paesaggio di molta parte del territorio circostante.

Questa unità costituisce il più esteso fenomeno eruttivo dell'intera storia del vulcano di Vico (raggio di espansione circa 25 km, superficie ricoperta circa 1.250 kmq) e la sua messa in posto risale a circa 180.000 anni fa.

La terza colata piroclastica è composta da un tufo rossiccio massivo, in zona parzialmente fratturato, con spessore stimato di oltre 20 metri, costituito da una matrice cineritica litificata, di colore rosso giallastro, con grosse scorie nere porfiriche, con pomici chiare e scure, con cristalli di leucite, sanidino e frammenti di lava.

Verso la superficie ed in alcune lenti, la terza colata piroclastica presenta una facies composta da tufo più alterato, a matrice sabbiosa e sabbio argillosa, marrone scuro e rossiccio, rilevata nei sondaggi e con spessore intorno ai 2 - 3 metri.

Il tufo rosso si presenta, in zona, parzialmente alterato ma compatto, senza fratturazione degna di nota e con giacitura sub orizzontale.

Sotto la formazione tufacea è presente il complesso ghiaioso e sabbio argilloso che costituisce il deposito sedimentario precedente l'arrivo della coltre vulcanica, dotato di

spessore discreto e composto inizialmente da banchi di materiale grossolano che sfumano, in profondità, su depositi prettamente argillosi ed argillo sabbiosi.

Il modello geologico medio, considerato sotto la copertura stradale, spessa circa 60 cm e non presente in ogni sito, può essere suddiviso in due orizzonti:

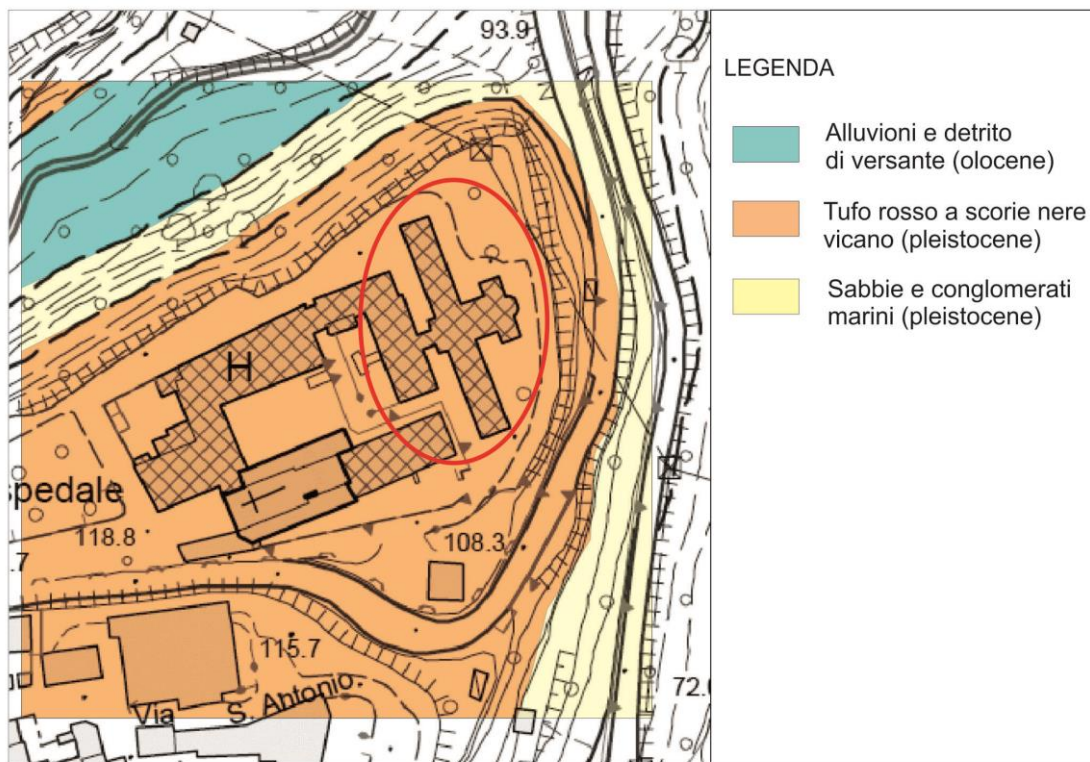
**orizzonte A:** tufo sabbio limoso e sabbio argilloso marrone e rossiccio, di consistenza terrosa o poco addensato e riporto antropico con spessore variabile dai 2,5 ai 6 metri circa;

**orizzonte B:** tufo rosso a scorie nere più compatto con la profondità e con spessore di almeno 25 metri ;



**Foto 7** – Affioramento di tufo rosso a scorie nere - lato est ospedale





**Fig. 7** – scala 1:2.500 - Carta Geologica



## **6) Idrogeologia dell'area**

Dal punto di vista idrogeologico il terreno che riguarda le opere di ampliamento dell'ospedale è mediamente costituito da una copertura di alterazione del tufo rosso sottostante, a matrice fine e quindi dotato di permeabilità primaria, per porosità, modesta.

Le acque superficiali locali, se non raccolte dalle rete fognaria, confluiscono velocemente verso l'alveo del torrente Treia.

Il torrente Treia è dotato di portata perenne ed abbondante, con ampie variazioni stagionali, ha un bacino idrografico di notevoli dimensioni e di forma rettangolare, allungata in direzione approssimata ovest – est, con versanti da mediamente a molto acclivi e pendenza media dell'alveo dell'1.0 %.

Il fosso fa parte del reticolo idrografico, inizialmente radiale centrifugo poi sub parallelo, che si diparte dalle alture sabatine e vicane, che qui è allineato in direzione approssimata sud ovest – nord est.

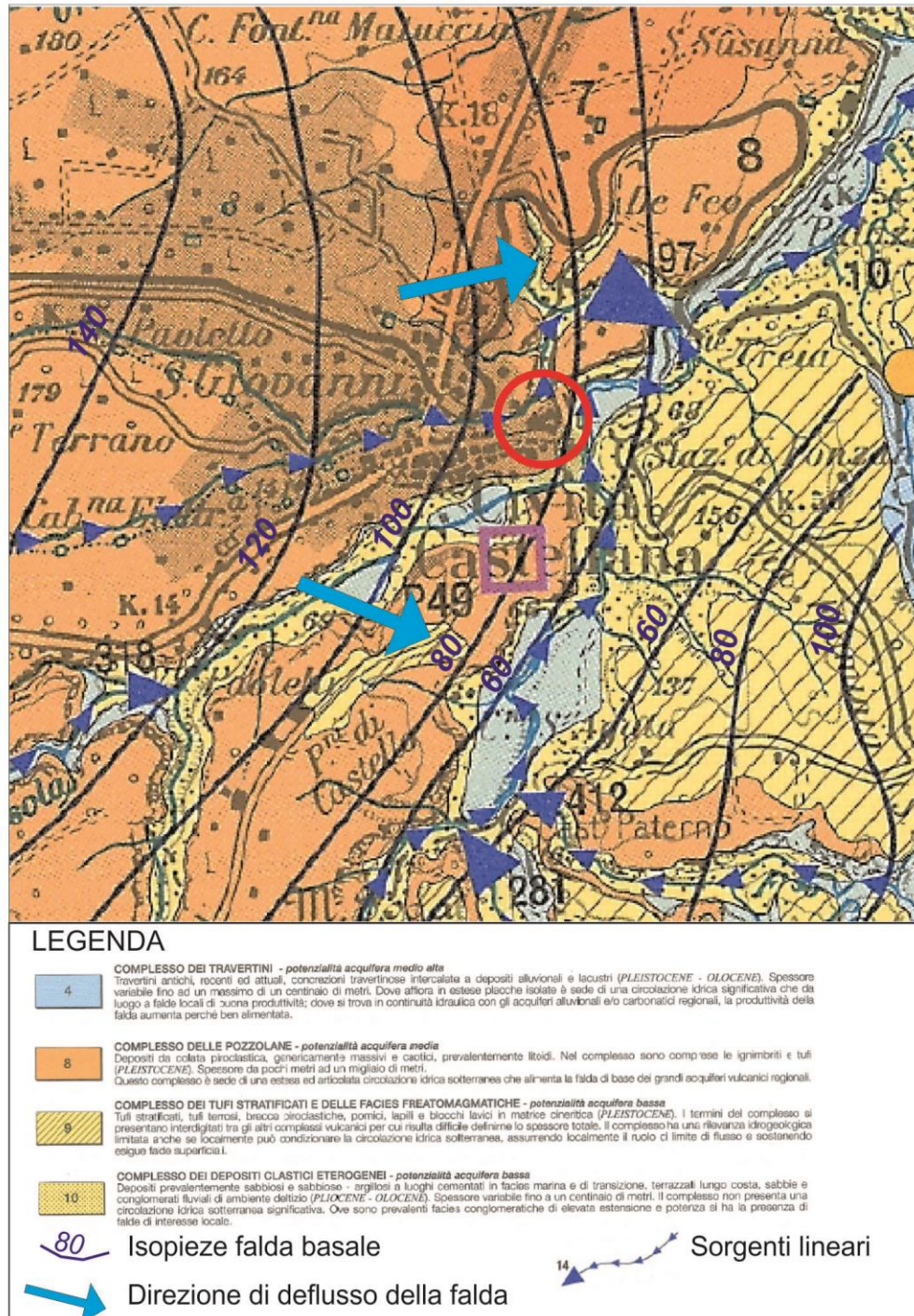
La quota della falda acquifera principale si attesta intorno agli 85 metri sul livello del mare, cioè a circa 25 metri dal piano di campagna locale con potenzialità discreta (fig. 8).

Sono possibili mineralizzazioni delle acque sotterranee nonché piccole falde sospese; nella valle la falda acquifera è sub affiorante, poiché drenata dal fiume Treia.

Il flusso idrico sotterraneo segue l'andamento di quello superficiale locale ed è diretto verso nord est; nella zona non sono segnalate sorgenti idriche degne di nota.

Eventuali fenomeni di piena non potranno interessare l'area in esame, data la notevole differenza di quota con l'alveo del torrente.

La piovosità media annuale della zona, relativa alla stazione di Civita Castellana, nel periodo 1968 – 1995, si attesta intorno ai 970 mm annui con una infiltrazione efficace media intorno al 30 %.



**Fig. 8** – stralcio Carta Idrogeologica Regionale

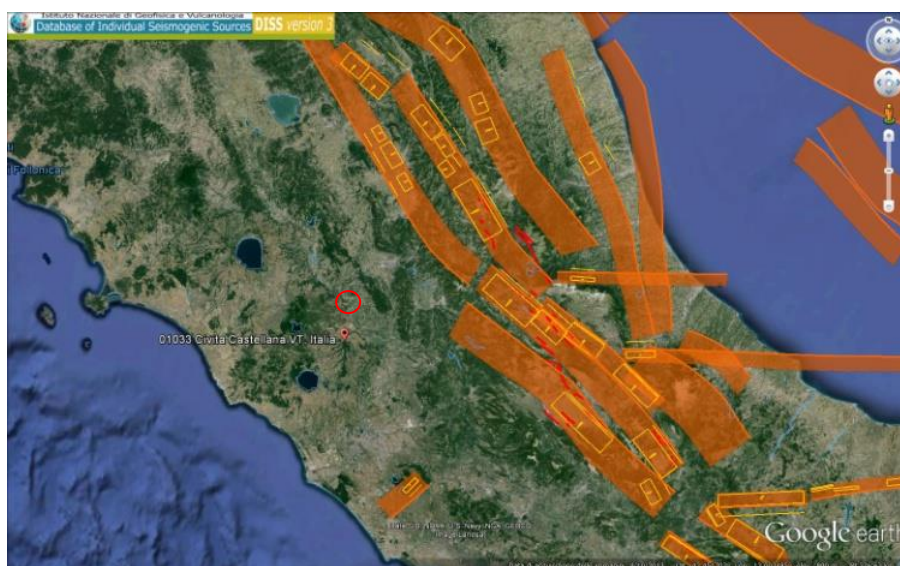


## 7) Pericolosità sismica

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al contesto tettonico-strutturale ed alla presenza di strutture geologicamente “attive”.

Per realizzare l'inquadramento sismo tettonico del sito sono stati utilizzati i database sviluppati da diversi gruppi di ricerca; dal punto di vista tettonico l'area non risulta particolarmente pericolosa e non sono segnalate faglie attive e capaci.

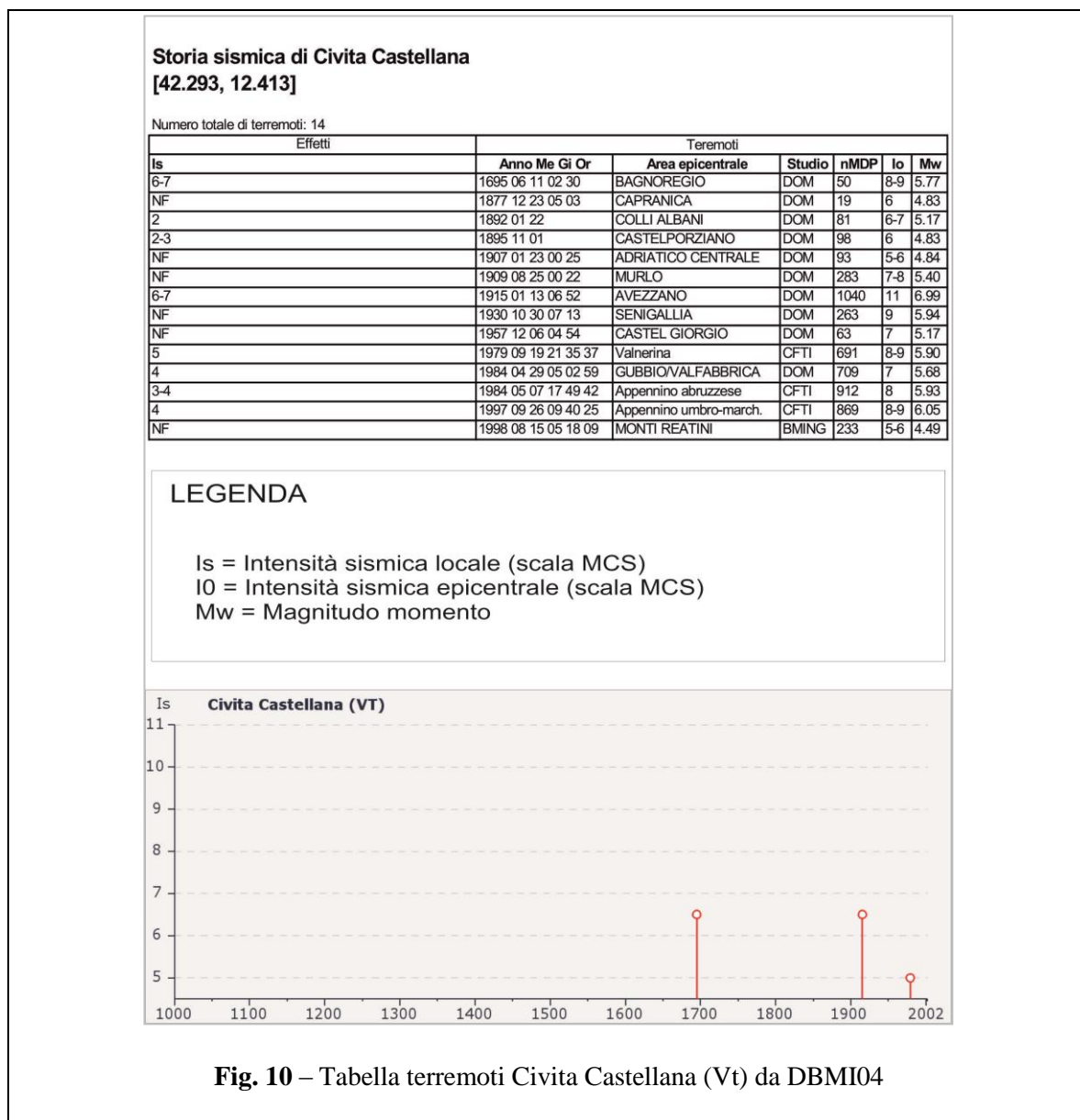
Infatti, l'area sembra risentire principalmente delle zone sismogenetiche più attive, relativamente vicine, come la fascia appenninica, come evidenziato dal database DISS 3.1.1. delle sorgenti sismogenetiche dell'INGV (<http://diss.rm.ingv.it>); una delle sorgenti sismogenetiche più vicine si trova in provincia di Terni ad una distanza intorno ai 50 km ad est (fig.9).



**Fig.9** – Zona in esame e sorgenti sismogenetiche italiane (DISS 3.1.1.)

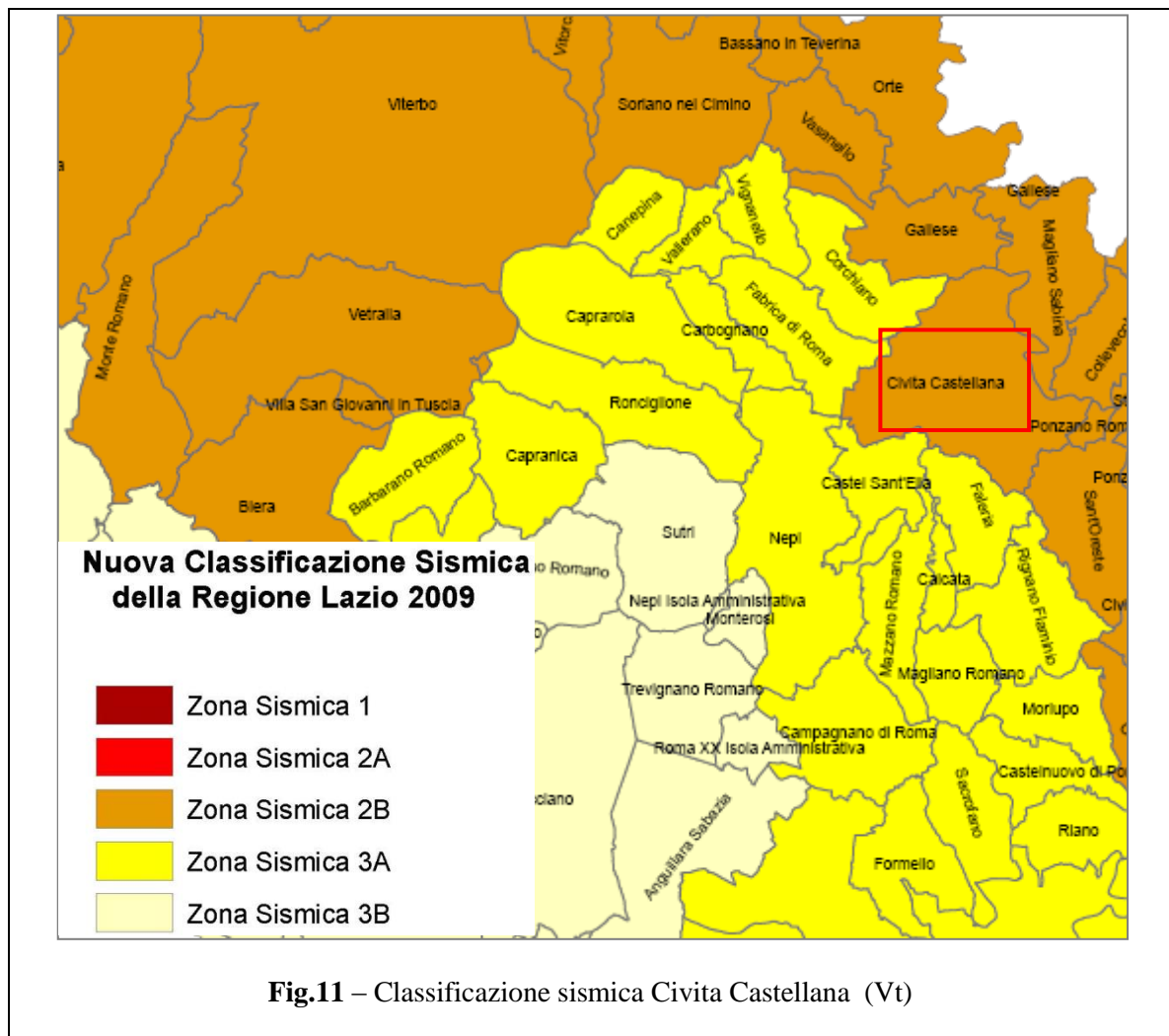
Dal Database Macrosismico Italiano (DBMI04 – INGV

<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>) sono stati estratti i terremoti che hanno interessato il comune, in cui si nota che l'area è stata coinvolta, negli ultimi 1000 anni, da pochi eventi con intensità sismica significativa tra i quali il terremoto di Bagnoregio nel 1695 (Is 6-7) e quello di Avezzano nel 1915 (Is 6-7) (fig. 10).

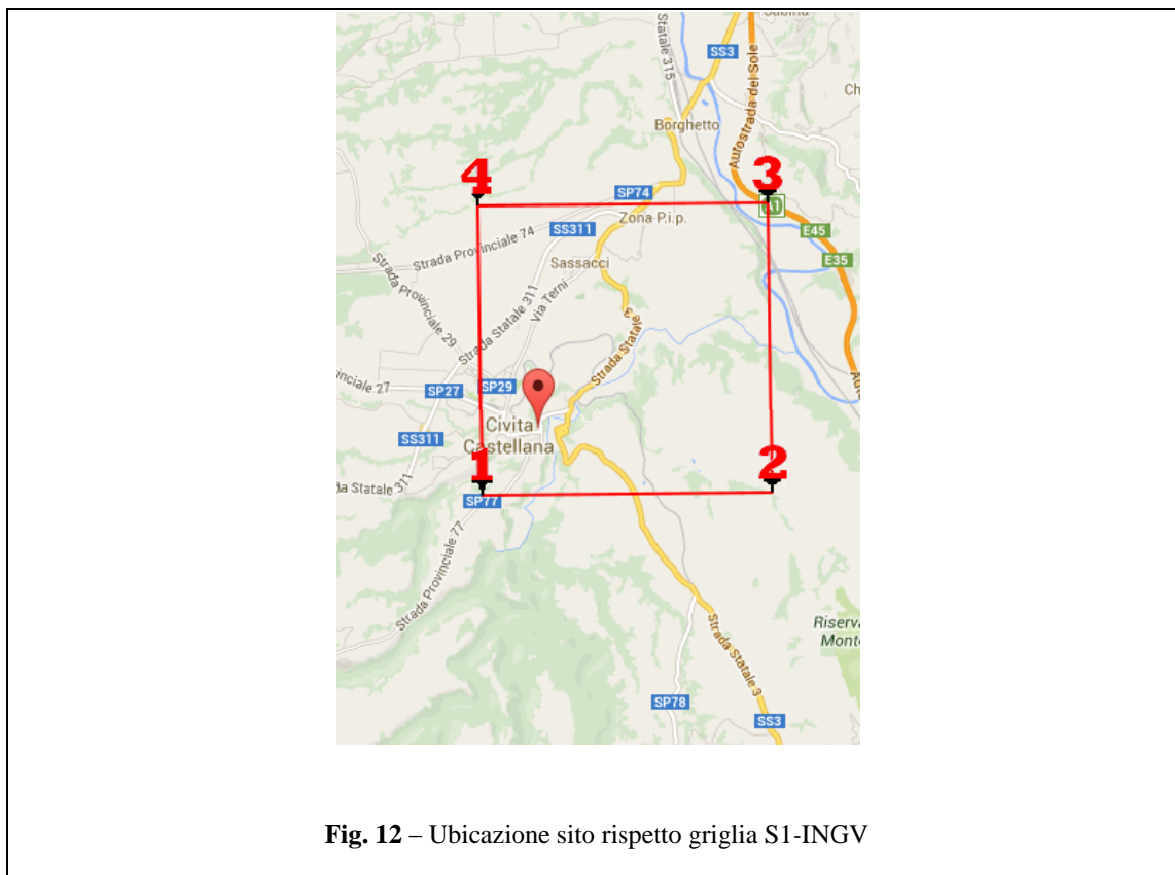




Il comune di Civita Castellana, in base all'O.P.C.M. n°3274, relativa alla riclassificazione sismica del territorio italiano ed alla sua adozione e parziale modifica da parte della Regione Lazio (D.G.R. n. 387 del 22/05/2009) è stato catalogato come **zona 2B** (fig.11).



Nella definizione della pericolosità sismica locale sono stati considerati i dati del progetto S1 INGV, variabili in funzione delle coordinate geografiche del sito ED 50 (LAT 42,291424 – LONG 12,422049) interpolate con la griglia nazionale (fig. 12).



In base alle coordinate geografiche dell'edificio, sono stati calcolati i parametri sismici di sito per i diversi tempi di ritorno  $T_R$  (da 120 a 2475 anni).

Il calcolo dei coefficienti sismici è stato condotto in relazione al tipo di edificio (classe d'uso e vita nominale), categoria di suolo e classificazione topografica:

- **CLASSE IV**
- **SUOLO B**
- **ASSETTO TOPOGRAFICO: T2**
- **VITA NOMINALE VN = 100 ANNI**
- **VITA REALE VR = 200 ANNI**

Nelle seguenti tabelle dei parametri sismici, sono evidenziati in grassetto i valori relativi allo SLV (Stato Limite Vita – Tr 712 e 949 anni) per i quali si è proceduto ad effettuare la RSL (Risposta Sismica Locale).

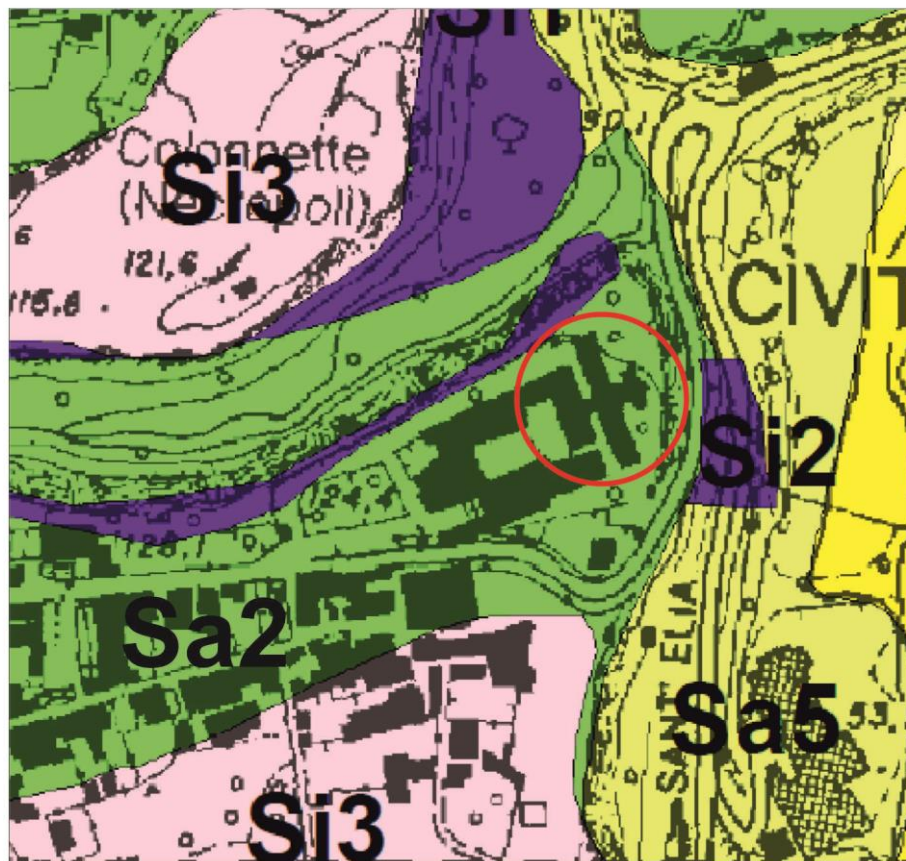
**TABELLE PARAMETRI SISMICI DI SITO**

STATO LIMITE	Tr (Anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T_c^*$ (s)
<b>SLO</b>	120	0,072	2,571	0,294
<b>SLD</b>	201	0,088	2,552	0,305
<b>SLV</b>	<b>1898</b>	<b>0,191</b>	<b>2,496</b>	<b>0,329</b>
<b>SLC</b>	2475	0,206	2,501	0,331

	Classe d'uso	I	II	III	IV
	Coefficiente $C_u$	0,70	1,00	1,50	2,00
TIPDI COSTRUZIONE	$V_N$	$V_R$			
Opere provvisorie -Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	10	35	35	35	35
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza	50	35	50	75	100
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	100	70	100	150	200

<b>Classi d'uso (C<sub>u</sub>)</b>	
Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie non pericolose per l'ambiente, opere infrastrutturali varie e ponti non ricadenti in classe III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non comporti situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	<b>Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B (DM 6792 - 05/11/2001) e C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica</b>

Secondo la Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) redatta per la Microzonazione Sismica di livello 1 del comune di Civita Castellana e validata dalla Regione Lazio, il sito ricade in un'area soggetta ad amplificazione sismica (Sa2); si segnalano inoltre a nord e sud dell'ospedale delle zone instabili dovute a presenza di possibili cavità sepolte (Si3) (fig. 13).



LEGENDA

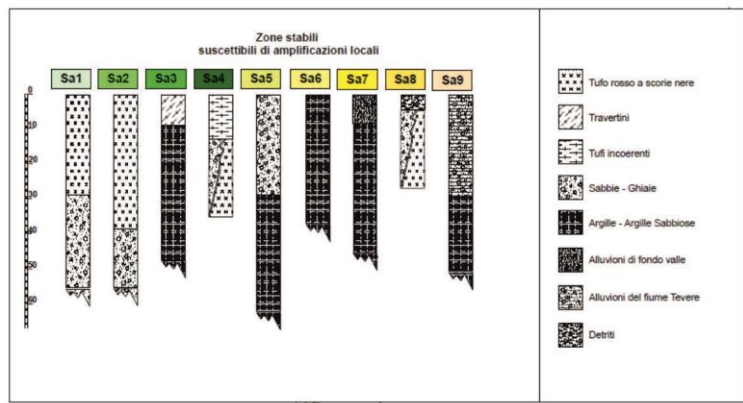


Fig. 13 – Carta delle MOPS – scala 1:5.000



## **8) Indagini in sito e modello geotecnico - sismico**

Al fine di qualificare il sito dal punto di vista geotecnico e sismico, in accordo con la normativa vigente, sono state eseguite nel cortile dell'edificio, oggetto di ampliamento, le seguenti indagini: n.3 prove penetrometriche dinamiche DPSH, n.1 Masw e n.1 HVSR per la frequenza di risonanza del sito.

Le indagini sono state integrate con quelle pregresse condotte da altri professionisti nel 2002 e nel 2014 ed in particolare: n°1 Down-Hole, n° 1 Masw e n°1 DPSH e n°3 sondaggi a carotaggio continuo, riportati in fig. 14 (pianta delle indagini).

Tutte le prove DPSH dell'attuale campagna geognostica hanno rilevato uno strato di copertura composto da riporto e/o tufo rosso a scorie nere alterato con spessore in aumento da sud a nord.

Al di sotto della copertura superficiale è presente ovunque la formazione tufacea nella sua facies inalterata, litoide, dotata di ottime proprietà geotecniche, rilevata nel sondaggio Down-hole fino a 30 m dal p.c. (vedi fig. 15 – sezione geologica).

A causa della variabilità degli spessori e della consistenza dei terreni, sono stati ricostruiti tre modelli geotecnici, riferibili rispettivamente alla scala sud (modello n°1) al nuovo pronto soccorso (modello n°2) ed alla scala nord (modello n°3), tutti rappresentativi del volume significativo di terreno, a partire dalla quota di -1 m dal piano di campagna, per i quali vengono riportate le seguenti proprietà geotecniche medie, desunte dalle prove DPSH.

## Modello n°1 (scala sud)

**Livello A: Riporto addensato** (spessore 2,7 m)

**Livello B: Tufo rosso a scorie nere litoide** (spessore minimo 27 m)

<b>LIVELLO A – Riporto addensato</b>	
Profondità dal p.c. (m)	-1 m
Spessore medio	1,7 m
Angolo di attrito interno	$\varphi'_K = 36^\circ$
Coesione drenata	$c'_K = 0 \text{ kg/cm}^2$
Peso di volume naturale	$\gamma = 1,60 \text{ t/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 85 \%$
Modulo Young	$E = 402 \text{ kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$E_d = 155 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di taglio	$G = 673 \text{ kg/cm}^2$
$N_{SPT}$ equivalente	$N_{SPT} = 33$

<b>LIVELLO B – Tufo rosso a scorie nere</b>	
Profondità dal p.c. (m)	2,7 m
Spessore medio	27 m
Angolo di attrito interno	$\varphi'_K = 41^\circ$
Coesione drenata	$c'_K = 0 \text{ kg/cm}^2$
Peso di volume naturale	$\gamma = 1,65 \text{ t/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 85 \%$
Modulo Young	$E = 481 \text{ kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$E_d = 205 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di taglio	$G = 838 \text{ kg/cm}^2$
$N_{SPT}$ equivalente	$N_{SPT} = 47$

## Modello n°2 (pronto soccorso)

**Livello A: Tufo rosso alterato** (spessore 3 m)

**Livello B: Tufo rosso a scorie nere litoide** (spessore minimo 27 m)

<b>LIVELLO A – Tufo rosso alterato</b>	
Profondità dal p.c. (m)	-1 m
Spessore medio	3 m
Angolo di attrito interno	$\varphi'_K = 34^\circ$
Coesione drenata	$c'_K = 0,1 \text{ kg/cm}^2$
Peso di volume naturale	$\gamma = 1,60 \text{ t/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 80 \%$
Modulo Young	$E = 336 \text{ kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$E_d = 119 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di taglio	$G = 540 \text{ kg/cm}^2$
$N_{SPT}$ equivalente	$N_{SPT} = 23$

<b>LIVELLO B – Tufo rosso a scorie nere</b>	
Profondità dal p.c. (m)	4 m
Spessore medio	26 m
Angolo di attrito interno	$\varphi'_K = 42^\circ$
Coesione drenata	$c'_K = 0 \text{ kg/cm}^2$
Peso di volume naturale	$\gamma = 1,65 \text{ t/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 85 \%$
Modulo Young	$E = 481 \text{ kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$E_d = 205 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di taglio	$G = 838 \text{ kg/cm}^2$
$N_{SPT}$ equivalente	$N_{SPT} = 47$

### Modello n°3 (scala nord)

**Livello A: Riporto - tufo rosso molto alterato** (spessore 3 m)

**Livello B: Tufo rosso alterato** (spessore 2,2 m)

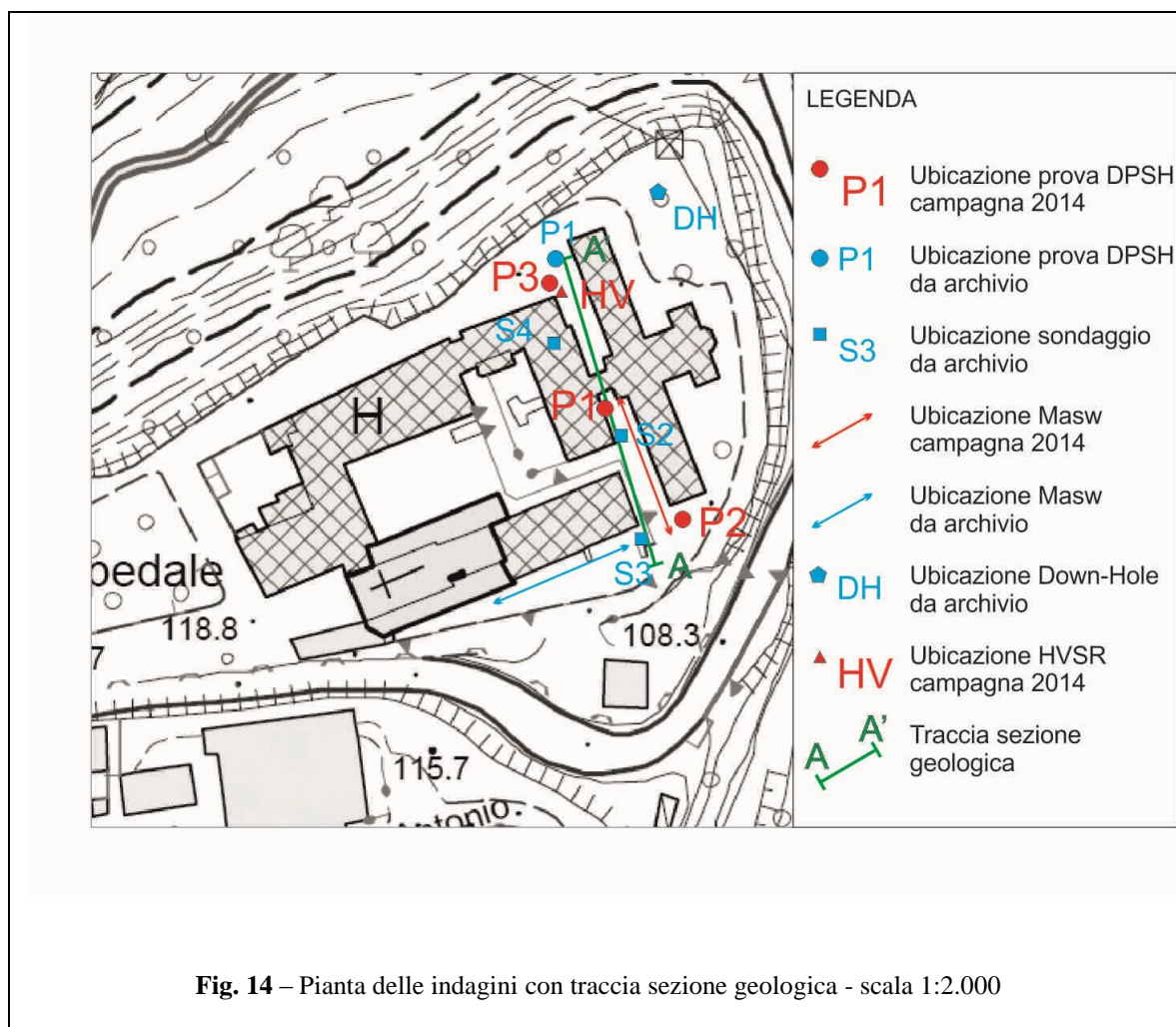
**Livello C: Tufo rosso a scorie nere litoide** (spessore minimo 24 m)

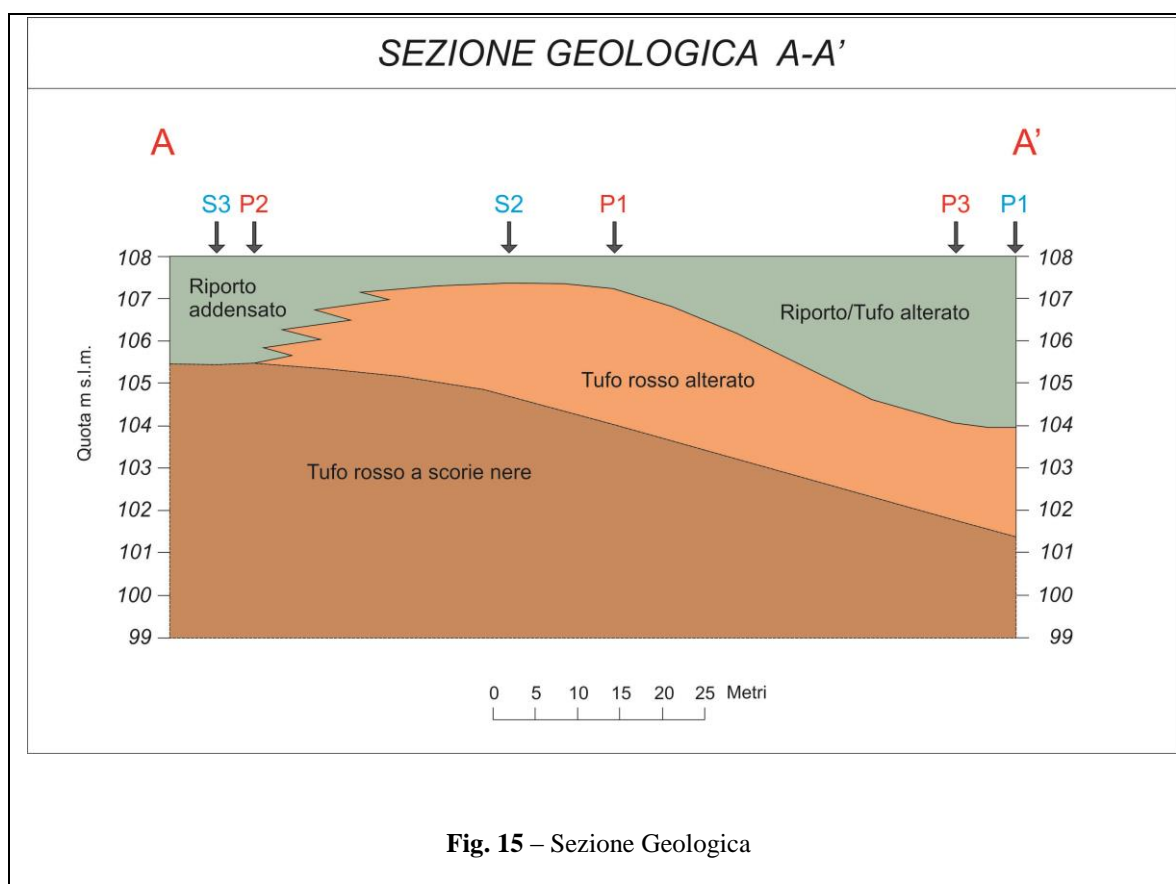
<b>LIVELLO A – Riporto - Tufo rosso molto alterato</b>	
Profondità dal p.c. (m)	-1 m
Spessore medio	3 m
Angolo di attrito interno	$\varphi'_K = 28^\circ$
Coesione drenata	$c'_K = 0 - 0,1 \text{ kg/cm}^2$
Peso di volume naturale	$\gamma = 1,50 \text{ t/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 35 \%$
Modulo Young	$E = 140 \text{ kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$E_d = 52 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di taglio	$G = 185 \text{ kg/cm}^2$
$N_{SPT}$ equivalente	$N_{SPT} = 4$

<b>LIVELLO B – Tufo rosso alterato</b>	
Profondità dal p.c. (m)	4 m
Spessore medio	2,2 m
Angolo di attrito interno	$\varphi'_K = 34^\circ$
Coesione drenata	$c'_K = 0,1 \text{ kg/cm}^2$
Peso di volume naturale	$\gamma = 1,65 \text{ t/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 66 \%$
Modulo Young	$E = 336 \text{ kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$E_d = 119 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di taglio	$G = 540 \text{ kg/cm}^2$
$N_{SPT}$ equivalente	$N_{SPT} = 23$

<b>LIVELLO C – Tufo rosso a scorie nere</b>	
Profondità dal p.c. (m)	6,2 m
Spessore medio	24 m
Angolo di attrito interno	$\varphi'_K = 42^\circ$
Coazione drenata	$c'_K = 0 \text{ kg/cm}^2$
Peso di volume naturale	$\gamma = 1,65 \text{ t/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 85 \%$
Modulo Young	$E = 481 \text{ kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$E_d = 205 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di taglio	$G = 838 \text{ kg/cm}^2$
$N_{SPT}$ equivalente	$N_{SPT} = 47$







Per la caratterizzazione sismica del sito, volta sia alla classificazione del suolo secondo la normativa vigente (NTC 2008 ed OPCM n. 3274), sono stati utilizzati i valori medi delle seguenti indagini geofisiche: Masw 2014  $V_{s30} = 460$  m/s, Masw archivio (2010)  $V_{s30} = 364$  m/s e Dowh-hole (2014)  $V_{s30} = 354$  m/s, le tre prove indicano valori al confine tra le due classi di suolo B e C, con un valore medio di  $V_{s30} = 393$  m/s, corrispondente ad una **classe B**.

I dati e grafici di tutte le indagini geofisiche vengono allegati di seguito alla relazione.

TABELLA CLASSIFICAZIONE SUOLI D.M. 14 – 01 – 2008

Classe	Descrizione	$S_s$
B Nel luogo	Rocce tenere e depositi, di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ( $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	$1,00 \leq 1,40 \cdot 0,40 F_{0,abedrock} \leq 1,20$

La metodologia HVSR è stata introdotta da Nakamura (1989) per la determinazione delle frequenze di risonanza dei terreni e la stima dell'amplificazione sismica locale, elementi di grande utilità per l'ingegneria sismica.

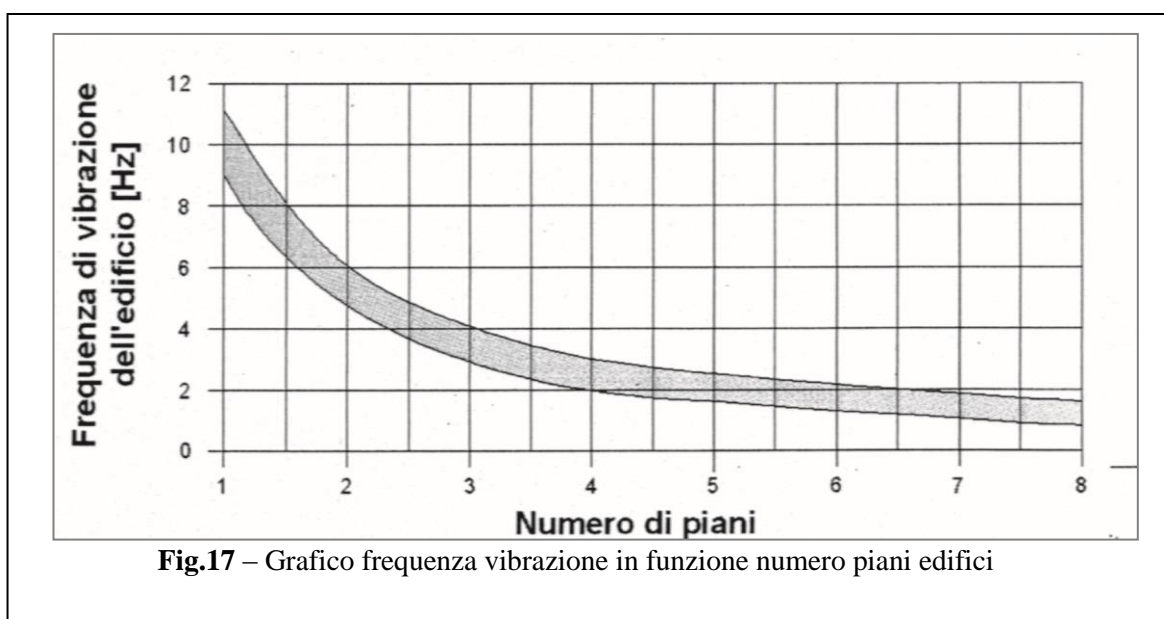
Il risultato dell'analisi effettuata in sito ha evidenziato due picchi significativi alle frequenze  $f = 4$  e  $11$  Hz, correlabili a contrasti stimabili da abachi del Dip. Prot. Civile (fig.16) rispettivamente a 20-30 metri (probabile contatto tra tufo e substrato sedimentario marino) ed a 5-10 metri (probabile contatto tra la coltre di riporto-tufo alterato e tufo litoide).

$f_0$ (Hz)	$h$ (m)
< 1	> 100
1 – 2	50 – 100
2 – 3	30 – 50
3 – 5	20 – 30
5 – 8	10 – 20
8 – 20	5 – 10
> 20	< 5

**Fig.16** – Abaco per stima profondità contrasto sismico da HVSR

La frequenza del sito è importante anche per la stima del rischio di doppia risonanza tra l'edificio ed il terreno.

Come regola generale, la frequenza di un immobile varia con una legge  $f_0 \approx 10$  Hz/ $n$  dove  $n$  è il numero di piani (vedi fig.17).



Da recenti studi geofisici ( Mucciarelli et al., 2012) eseguiti sugli edifici europei si segnala la seguente formula che correla l’altezza di un edificio con il periodo di risonanza (T), pari all’inverso della frequenza ( $T = 1/f_0$ ):

$$T = 0,016 H$$



## **9) Risposta Sismica Locale**

### **9.1 Scelta degli accelerogrammi**

La scelta del moto sismico di input è stata effettuata utilizzando n°7 accelerogrammi naturali estratti dalla Banca Dati Europea (ESD), mediante software REXEL 3.5 beta, sviluppato dalla ReLUIIS di Napoli.

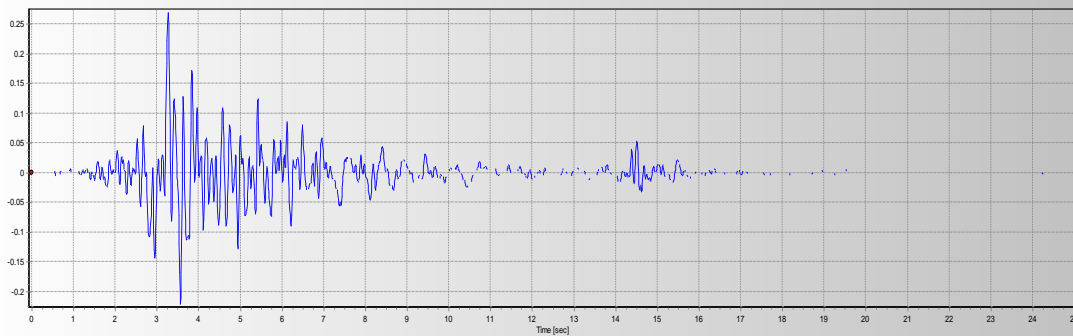
Gli accelerogrammi sono stati scelti inserendo dati di disaggregazione coppia Magnitudo – Distanza epicentrale :  $4,0 < M < 7$ , e  $0 < R < 30$  km.

Gli accelerogrammi selezionati sono:

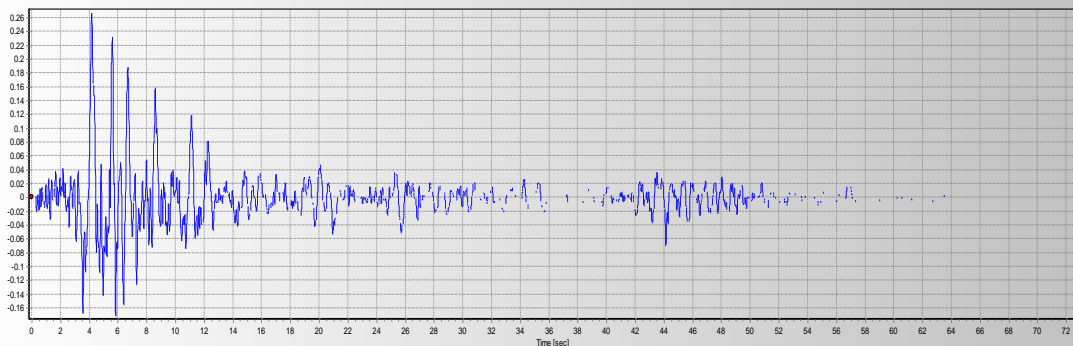
<b>Nome</b>	<b>PGA (g)</b>	<b>PGV (cm/s)</b>	<b>Fattore di scala</b>
000242ya_record	0,191	12,96	0,93
000287ya_record	0,191	32,19	1,05
000428ya_record	0,191	9,19	1,08
000665xa_record	0,191	10,30	1,02
004675ya_record	0,191	12,30	1,22
006335xa_record	0,191	24,99	1,50
000982xa_record	0,191	7,68	1,00

Di seguito vengono allegati i grafici degli accelerogrammi utilizzati per la RSL, relativi allo SLV.

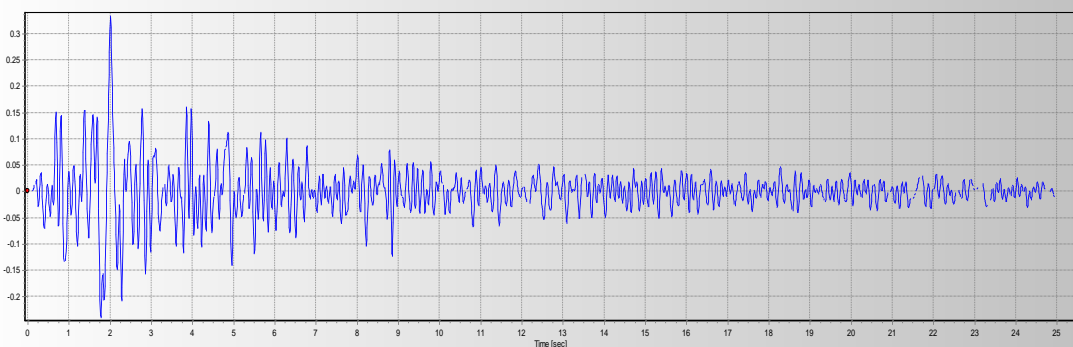
## Accelerogrammi al bedrock – SLV – Classe IV



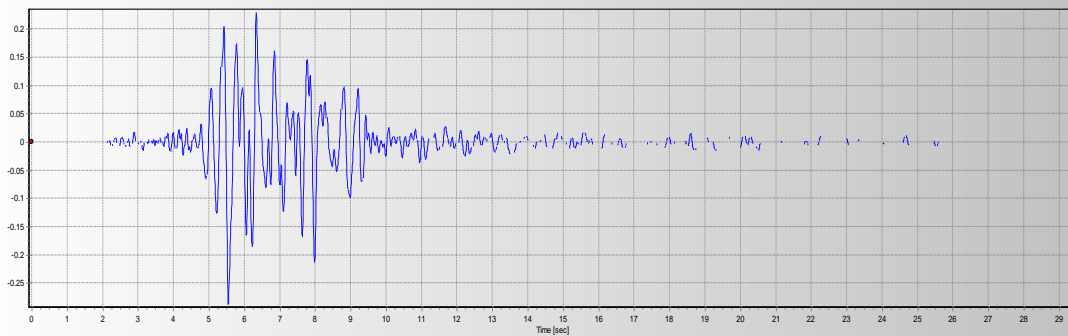
00242ya\_record



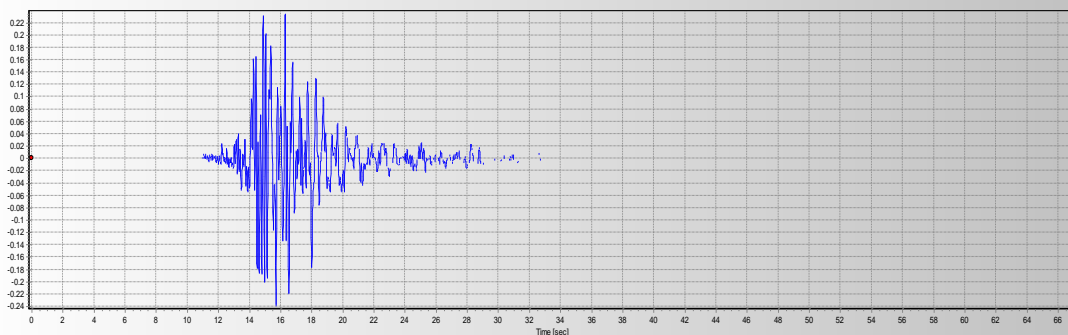
00287ya\_record



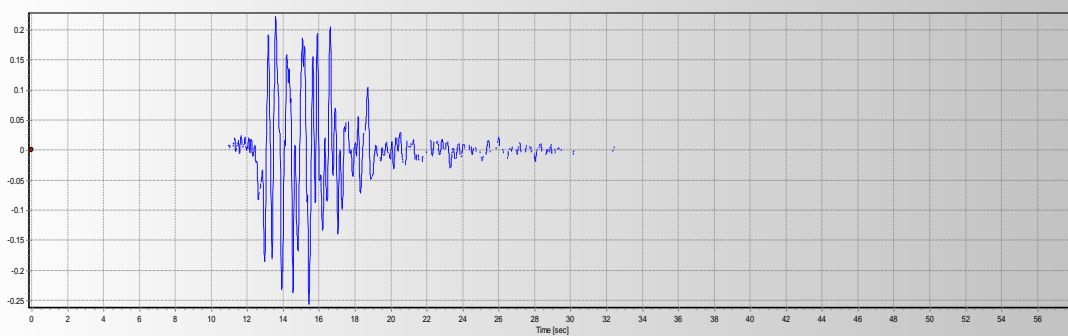
00428ya\_record



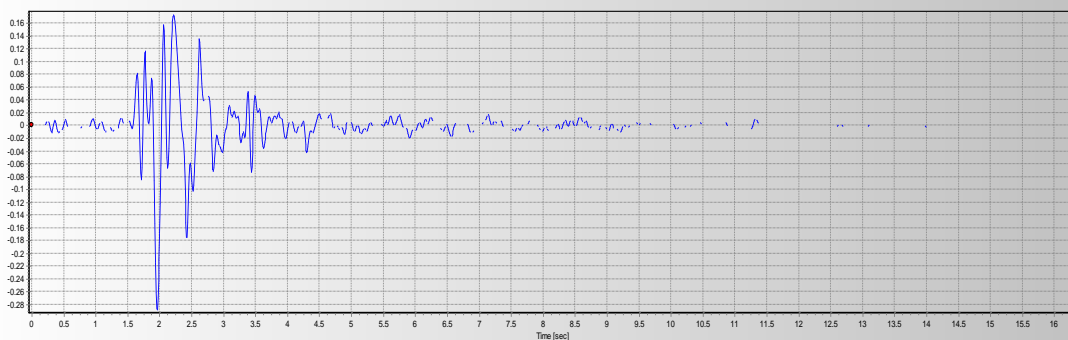
000665xa\_record



004675ya\_record



006335xa\_record

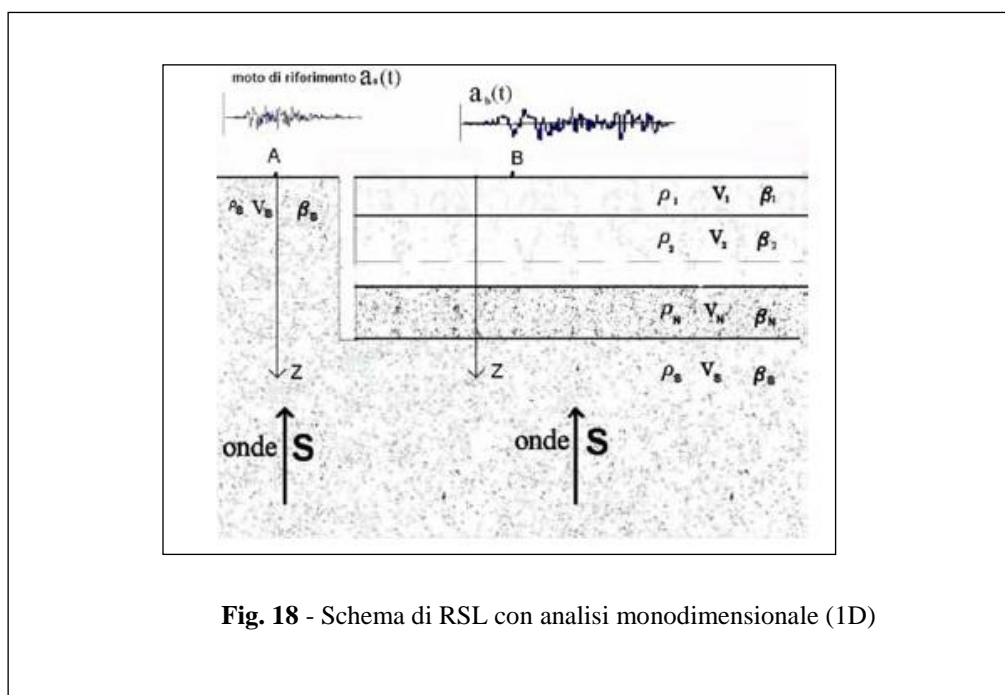


000982xa\_record

## 9.2 Metodologia

La RSL consente di determinare le modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico subisce attraversando degli strati di terreno sovrastanti un bedrock fino alla superficie; questo può essere effettuato con modelli unidimensionali 1D (come nel caso in esame) o bidimensionali (fig. 18).

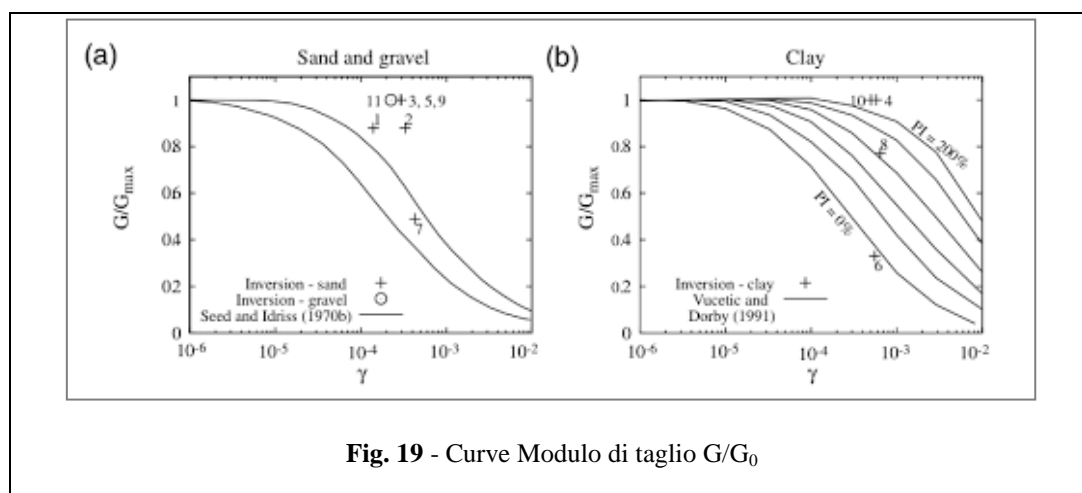
L'analisi monodimensionale è applicabile in presenza di stratificazione piano parallela, senza eteropie laterali rilevanti; l'area in questione è associabile a tale modello (1D) per la presenza di una diffusa copertura vulcanica di spessore significativo.





La RSL è stata effettuata secondo quanto previsto dalla normativa vigente ed in particolare mediante:

- 1) Indagini geotecniche e geofisiche del sottosuolo per la ricostruzione litostratigrafica e dei parametri geomeccanici e sismici necessari al modello di input (vedi Cap. 8);
- 2) Andamento del modulo di taglio ( $G$ - $\gamma$ ) e del rapporto di smorzamento ( $D$ - $\gamma$ ) in funzione della deformazione, dedotte dalla bibliografia per le litologie di riferimento (Seed and Idriss, 1970b) (fig. 19). Nel caso in questione sono state utilizzate le curve relative alle sabbie per i litotipi tufacei e le coperture antropiche.



- 3) Definizione del moto sismico di input. Questo è stato effettuato utilizzando i sette accelerogrammi naturali ricavati dal software REXEL 3.5 beta rilasciato dalla ReLUIIS di Napoli utilizzando come parametri di input la coppia Magnitudo –

Distanza epicentrale  $4,0 < M < 7$  e  $0 < R < 30$  km, ricavata dall'analisi di disaggregazione sismica per le coordinate del sito.

- 4) L'analisi numerica della RSL è stata condotta tramite il codice di calcolo STRATA (Kottle & Rathje, 2008). Questo codice è valido per un terreno schematizzabile come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da onde di taglio che incidono verticalmente le discontinuità tra i singoli strati. Ogni strato è contraddistinto dal valore dello spessore H, del modulo di taglio  $G_{\max}$  o dalla corrispondente  $V_{\max}$ , dal valore di smorzamento D, dal peso dell'unità di volume  $\gamma$  e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato  $(G/G_0 - \gamma)$  e le corrispondenti curve di smorzamento  $(D - \gamma)$ . Il codice di calcolo esegue un'analisi visco-elastica lineare equivalente utilizzando come input gli accelerogrammi di riferimento, con una serie di trasformazioni dirette FFT ed indirette IFFT fino al raggiungimento di un valore di convergenza. L'accuratezza del calcolo dipende dal numero di strati N utilizzati per schematizzare il deposito. La profondità del bedrock è stata desunta dall'andamento delle Vs nella prova sismica Down Hole, che ha indicato una velocità superiore ai 700 m/s a circa 35 m dal p.c.

Di seguito viene allegata la Tabella dei dati di input della RSL, con i relativi strati, profondità e spessori (m), associati alle Vs (m/s) ed ai valori dei pesi di volume naturale (KN/mq).

**Tabella 1 – Dati Input RSL**

<b>Strato</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Spess. (m)</b>	<b>Densità (KN/mq)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Litologia</b>
1	0	3.5	15	200	Riporto - tufo molto alterato
2	3.5	30	16	360	Tufo molto addensato
3	>35	-	20	700	Substrato sedimentario

### 9.3 Risultati Risposta Sismica Locale (RSL)

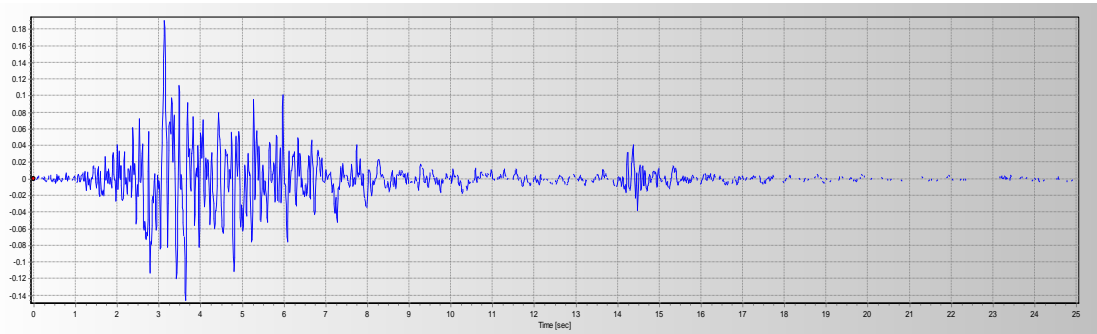
La risposta sismica locale ha permesso quindi di ricostruire lo spettro di risposta del moto atteso in sito in base all'input di riferimento (accelerogrammi) ed alle proprietà sismiche del sito ( $V_s$ ).

Lo spettro sismico di progetto si riferisce alla quota del piano di campagna.

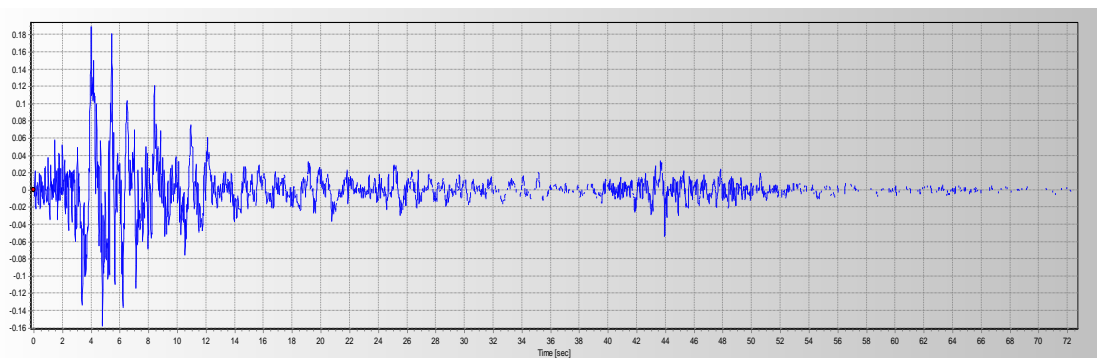
Dai risultati dell'esame di RSL sono stati adottati i cinque spettri tramite il codice di calcolo STRATA.

Il programma ha fornito i seguenti accelerogrammi di output in superficie relativi allo stato limite considerato (SLV).

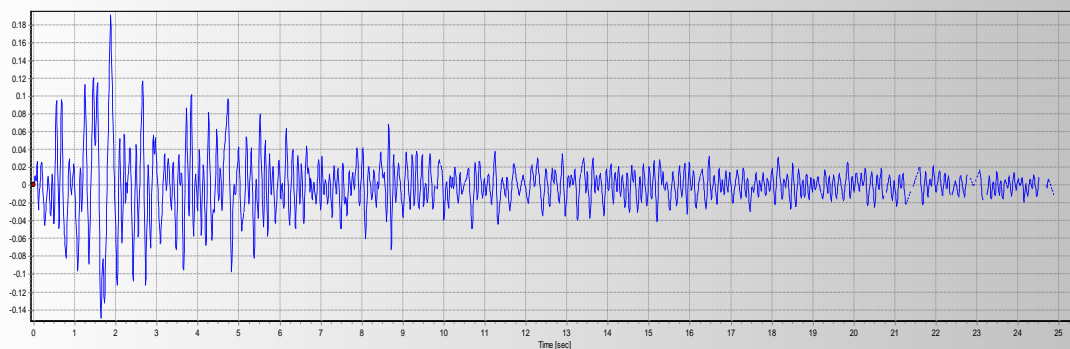
#### Accelerogrammi da RSL in superficie – SLV – Classe IV



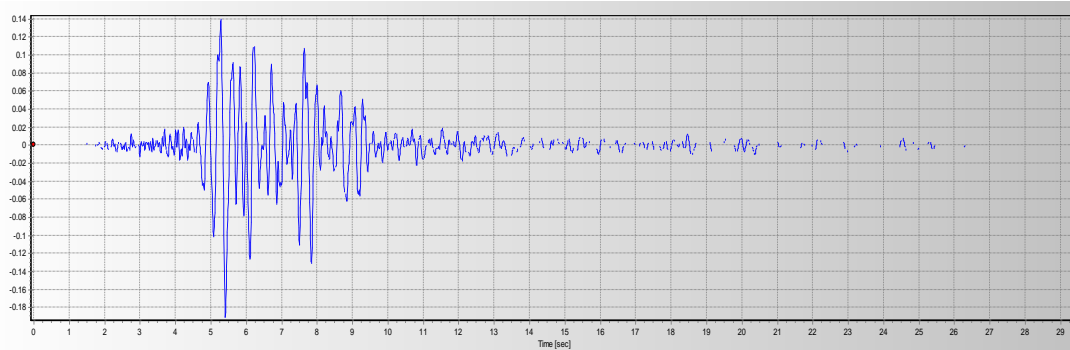
000242ya\_record



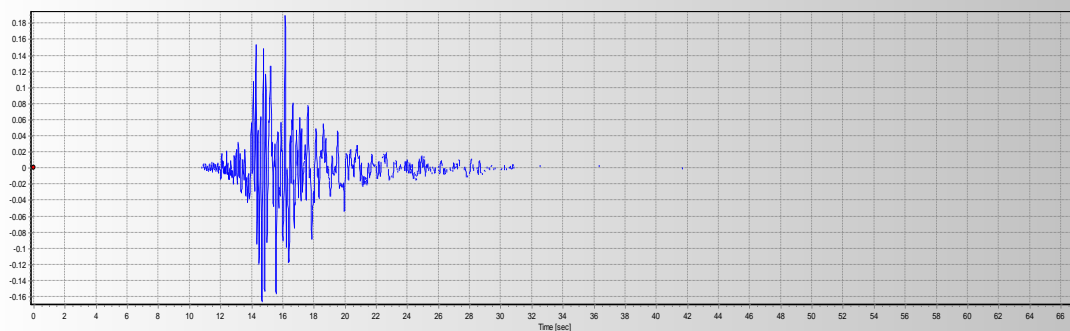
000287ya\_record



000428ya\_record

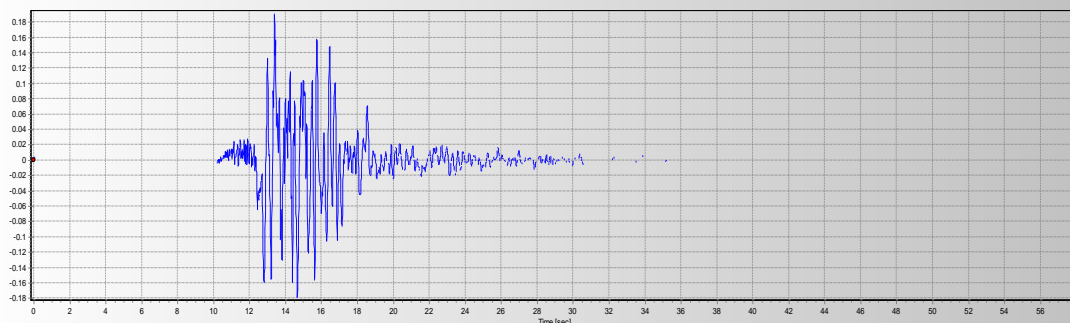


000665xa\_record

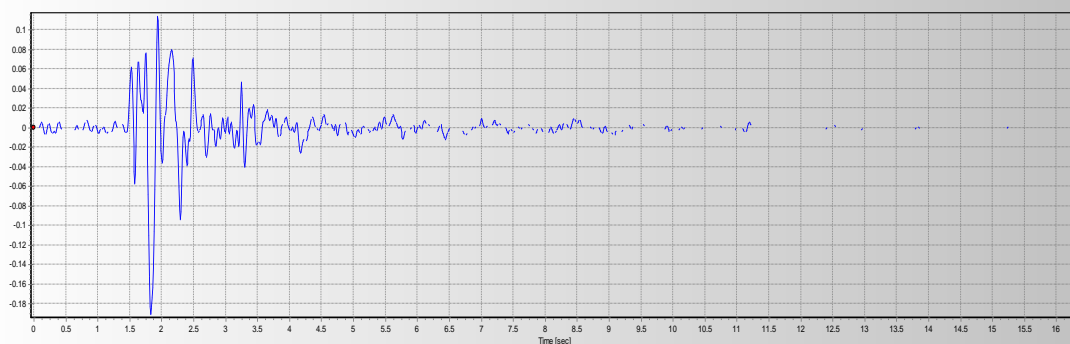


004675ya\_record



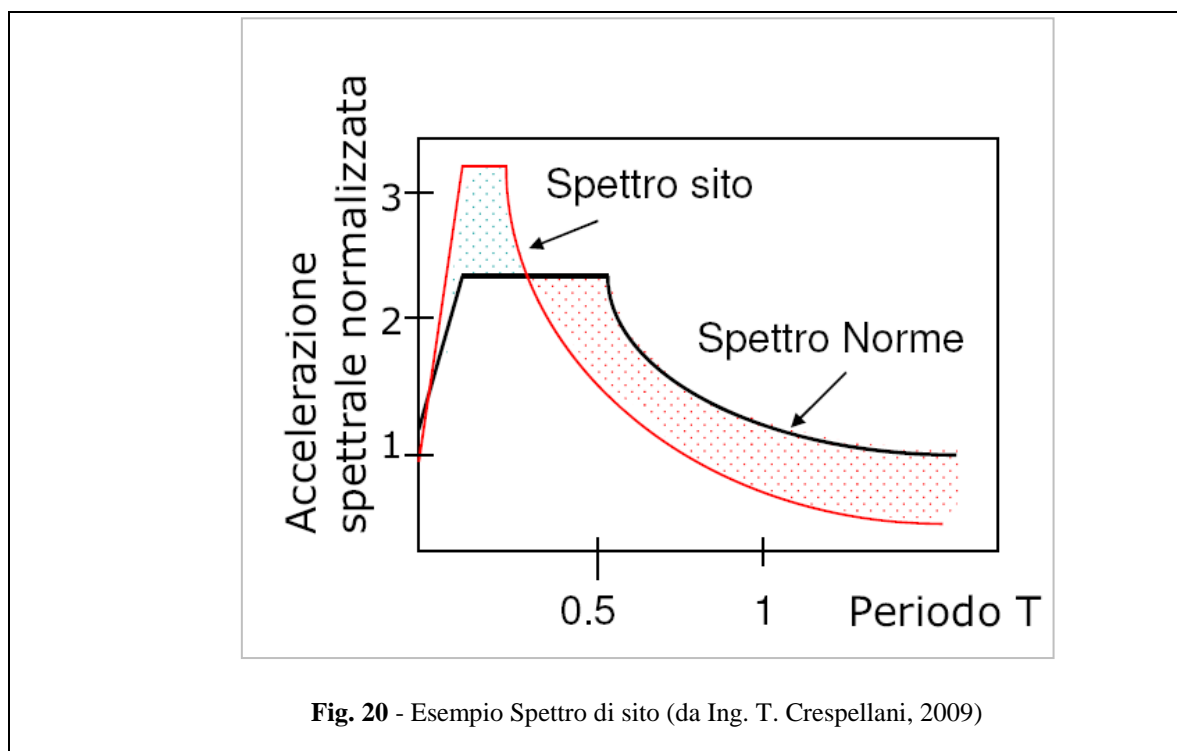


006335xa\_record



000982xa\_record

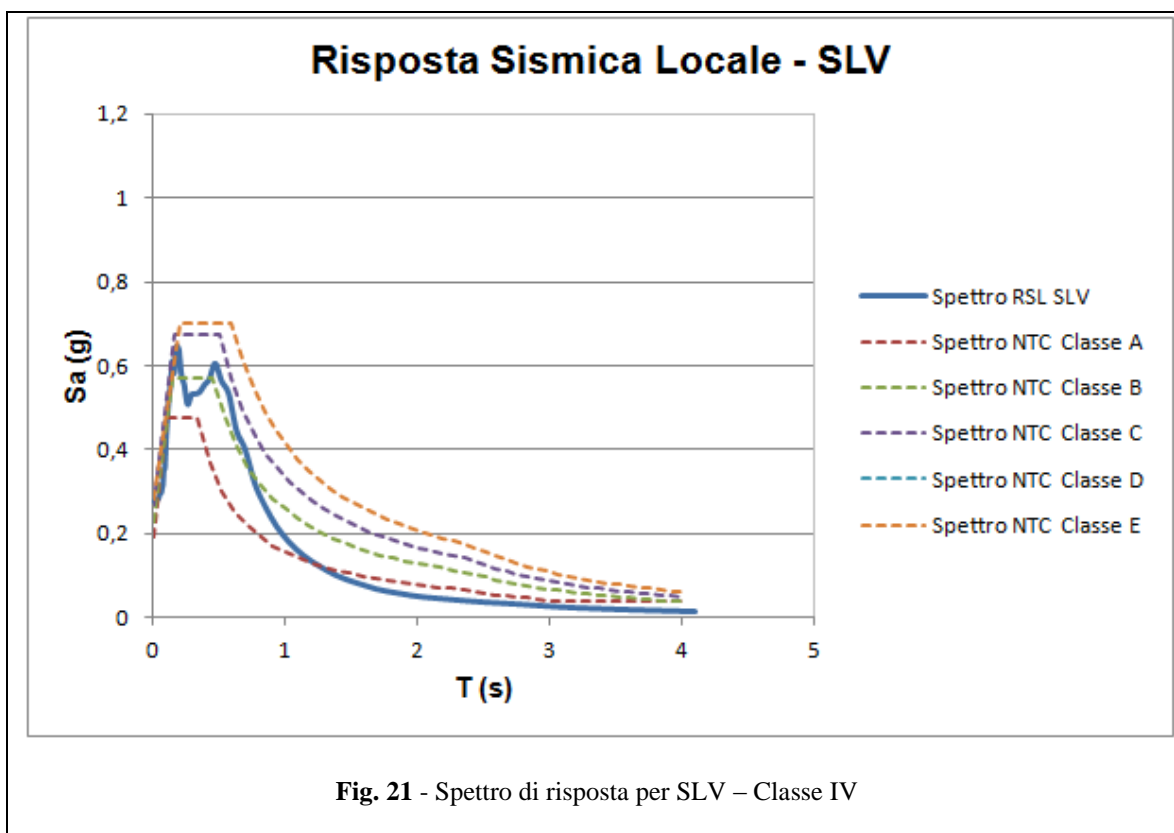
Il risultato di una RSL costituisce quindi il confronto tra lo spettro di sito e lo spettro di normativa (varie classi di suolo, in genere classe A) (fig.20).



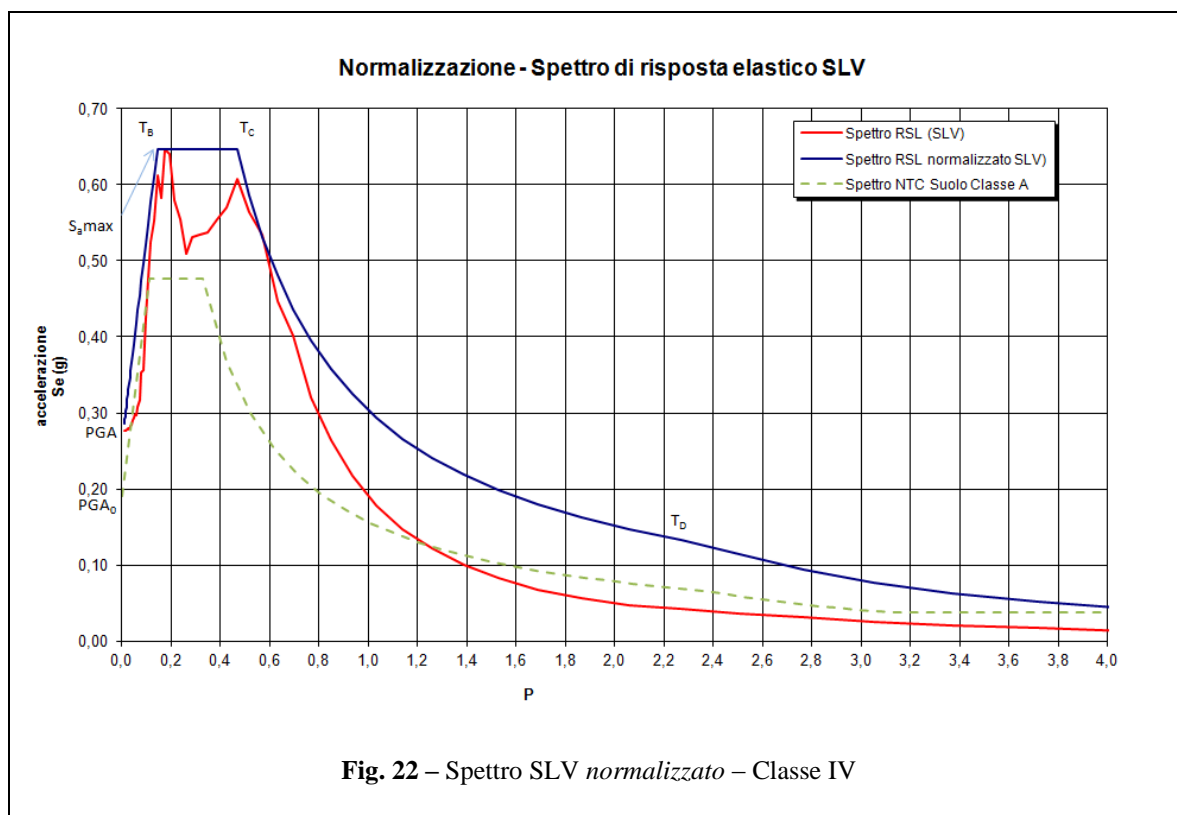
Come output finale, per l'opera in progetto, sono stati calcolati gli spettri allo SLV, al piano di campagna.

Lo spettro di risposta di sito è stato sovrapposto a quelli di normativa (Suoli A-B-C-D-E) per renderne più agevole il confronto (fig. 20); da tale figura si nota che l'output è compreso tra gli spettri di normativa relativi ai suoli B – C.

Lo spettro di RSL, confrontato con quello al bedrock (suolo A), ha mostrato, un fattore di amplificazione dell'accelerazione ( $PGA/PGA_0$ ) pari a **Fa = 1,450** (fig.21).



Al fine di identificare i periodi  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$  necessari ai calcoli strutturali, lo spettro calcolato della RSL è stato “normalizzato” per lo SLV secondo le equazioni indicate dalla normativa (fig. 22).



Nella successiva Tabella 2, la prima colonna si riferisce ai valori originari di output della RSL (programma STRATA), la seconda agli stessi dati “normalizzati” e nella terza colonna infine sono riportati i valori dello spettro di normativa al bedrock (suolo A).

**Tabella 2 - Dati Classe IV**

Spettro RSL (SLV)		Spettro RSL (SLV) normalizzato		Spettro NTC Suolo Classe A (SLV)	
Periodo (sec)	Se (g)	Periodo (sec)	Se (g)	Periodo (sec)	Se (g)
0,010	0,276	0,010	0,286	0,000	0,191
0,013	0,277	0,013	0,296	0,110	0,476
0,016	0,277	0,016	0,303	0,329	0,476
0,020	0,278	0,020	0,313	0,426	0,367
0,022	0,278	0,022	0,319	0,522	0,299
0,024	0,279	0,024	0,325	0,619	0,253
0,030	0,280	0,030	0,339	0,716	0,218
0,036	0,283	0,036	0,357	0,813	0,192
0,044	0,291	0,044	0,378	0,910	0,172
0,048	0,293	0,048	0,390	1,007	0,155
0,053	0,298	0,053	0,404	1,103	0,142
0,059	0,297	0,059	0,419	1,200	0,130
0,072	0,317	0,072	0,454	1,297	0,121
0,088	0,356	0,088	0,469	1,394	0,112
0,097	0,424	0,097	0,521	1,491	0,105
0,107	0,476	0,107	0,548	1,588	0,098
0,118	0,524	0,118	0,578	1,684	0,093
0,143	0,613	0,143	0,647	1,781	0,088
0,158	0,583	0,158	0,647	1,878	0,083
0,193	0,640	0,193	0,647	1,975	0,079
0,213	0,580	0,213	0,647	2,072	0,075
0,235	0,554	0,235	0,647	2,169	0,072
0,349	0,537	0,349	0,647	2,265	0,069
0,385	0,554	0,385	0,647	2,362	0,066
0,425	0,569	0,425	0,647	2,440	0,062
0,469	0,607	0,469	0,647	2,518	0,058
0,517	0,564	0,517	0,586	2,596	0,055
0,571	0,535	0,571	0,531	2,674	0,052
0,630	0,447	0,630	0,481	2,752	0,049
0,695	0,402	0,695	0,436	2,830	0,046
0,767	0,321	0,767	0,395	2,908	0,044
0,847	0,265	0,847	0,358	2,986	0,041
0,935	0,217	0,935	0,324	3,064	0,039
1,032	0,179	1,032	0,294	3,142	0,038
1,257	0,123	1,257	0,241	3,220	0,038
1,387	0,100	1,387	0,219	3,298	0,038
1,531	0,083	1,531	0,198	3,376	0,038
1,689	0,068	1,689	0,180	3,454	0,038
2,058	0,048	2,058	0,147	3,532	0,038
2,271	0,042	2,271	0,134	3,610	0,038
2,507	0,036	2,507	0,121	3,688	0,038
2,766	0,031	2,766	0,110	3,766	0,038
3,370	0,021	3,370	0,090	3,844	0,038
3,719	0,017	3,719	0,082	3,922	0,038
4,105	0,014	4,105	0,074	4,000	0,038



## **10) Conclusioni**

Dai risultati dello studio geologico tecnico e sismico eseguito si possono schematicamente trarre le seguenti conclusioni:

- Il sito in esame è interessato dagli affioramenti di una copertura superficiale di spessore variabile da 2,7 a 6,0 metri, formata sia da terreni di riporto con vario grado di addensamento, sia dalla porzione superiore del tufo rosso a scorie nere nella sua facies alterata (pedogenizzata). Questi ricoprono la formazione del tufo rosso a scorie nere diffusa in tutta l'area, in facies litoide, dotato di uno spessore medio stimato in circa 25 metri.
- Dal punto di vista geomorfologico, l'area è localmente sub pianeggiante, ma non molto distante dalle scarpate sub verticali prodotte dall'incisione fluviale, specialmente sul lato settentrionale, pertanto è classificabile in categoria T2.
- Le indagini geotecniche dell'attuale campagna geognostica, integrate da quelle precedenti, hanno evidenziato importanti discontinuità laterali e verticali dei terreni; questo ha suggerito la redazione di tre diversi modelli geotecnici per le opere in progetto (modello 1 - scala lato sud; modello 2 - pronto soccorso; modello 3 - scala lato nord).
- Le indagini geofisiche Masw e Down-hole hanno permesso di classificare il sito come **suolo di tipo B**, con un valore medio delle  $V_{s30}=393$  m/s.
- L'analisi HVSr ha evidenziato due picchi di frequenza del sito **f= 4 ed 11 Hz**.

- Dal punto di vista idrogeologico la falda acquifera è abbastanza profonda (circa 25 metri dal p.c.) e non va ad interferire con le fondazioni dell'edificio in progetto.
- Il risultato della RSL ha mostrato un'amplificazione delle accelerazioni rispetto al bedrock (suolo tipo A) pari ad **Fa = 1,45 (SLV)**.
- Il sito risulta idoneo alle opere in progetto, adottando gli opportuni accorgimenti tecnici nel calcolo della struttura, in funzione degli spettri di risposta calcolati con la R.S.L.

Ronciglione, 18/09/2014

**Dott. Geol. Vittorio Stocchi**

## ALLEGATI INDAGINI GEOGNOSTICHE 09/2014

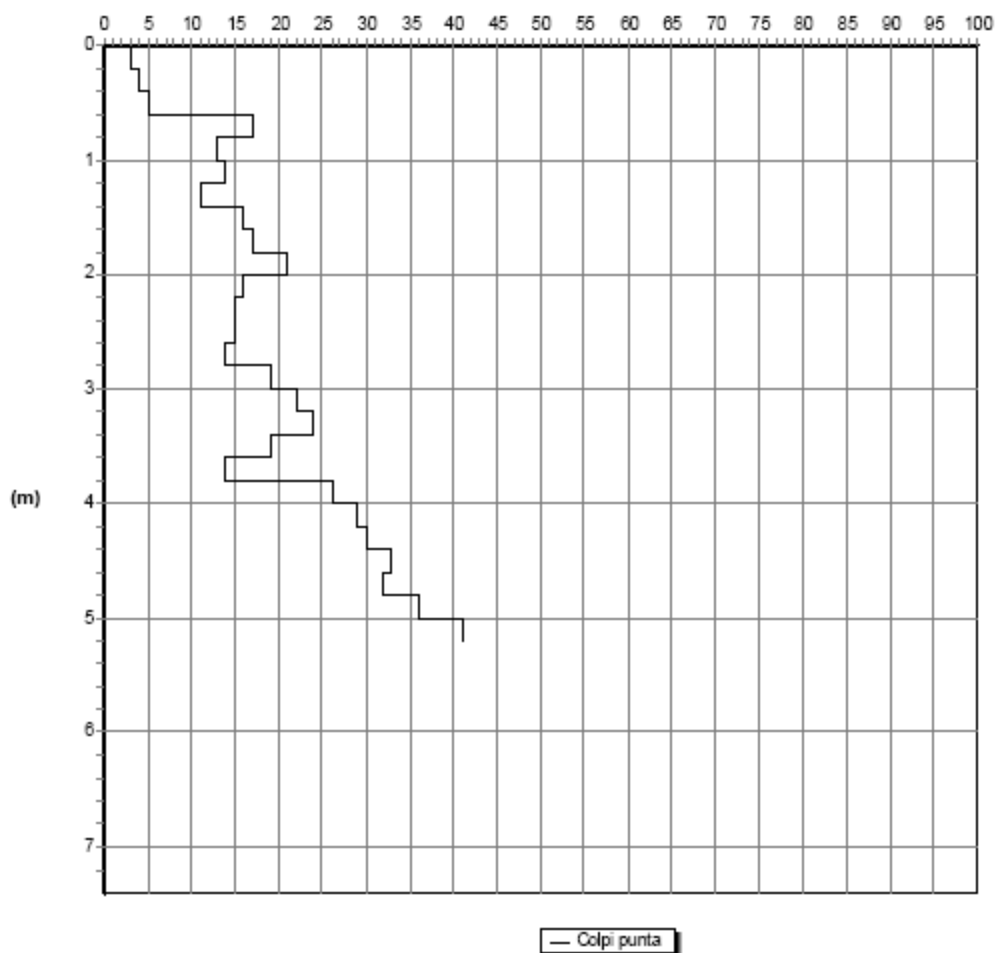


Geologi Associati Fantucci e Stocchi  
Via Vasiano Snc  
01037 Ronciglione (VT)0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
Località: Civita Castellana  
Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
Note:  
Quota(m): p.c.      Sigla: VP1

### Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): 25,0





Geologi Associati Fantucci e Stocchi  
Via Vasiano Snc  
01037 Ronciglione (VT)0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla

Località: Civita Castellana

Data: 09/09/2014

Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA

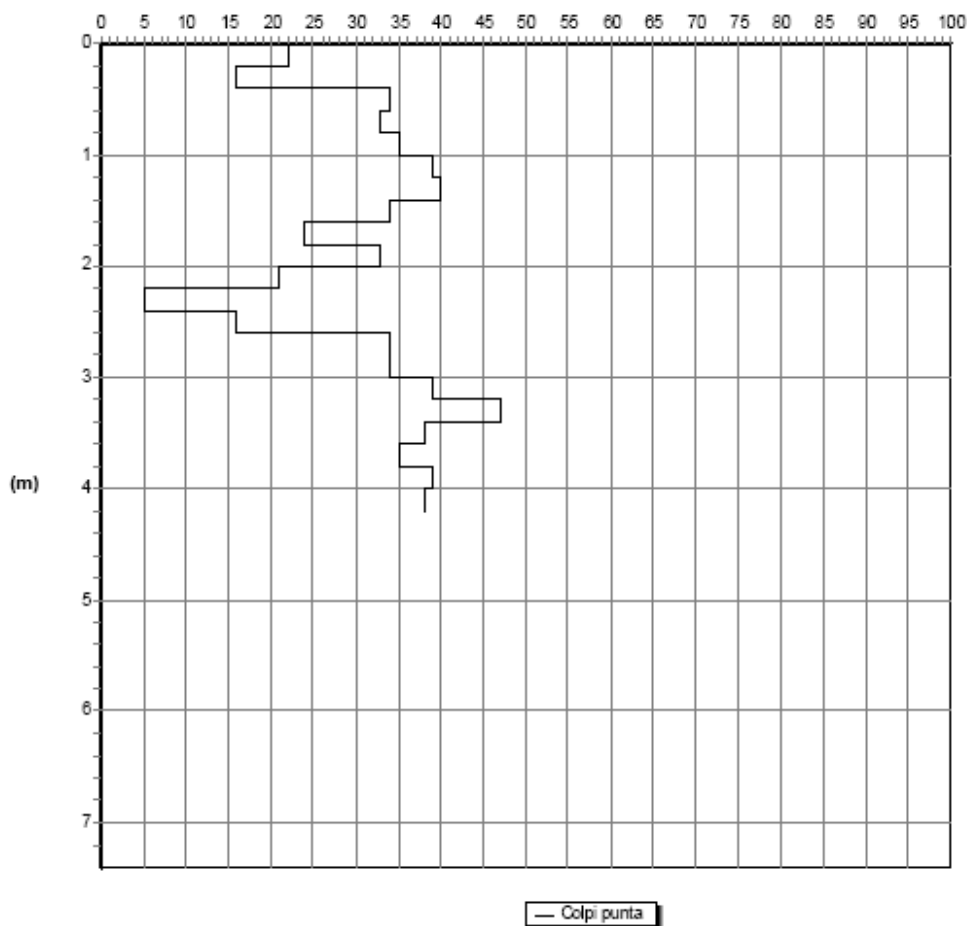
Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: IP2

### Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): 25,0



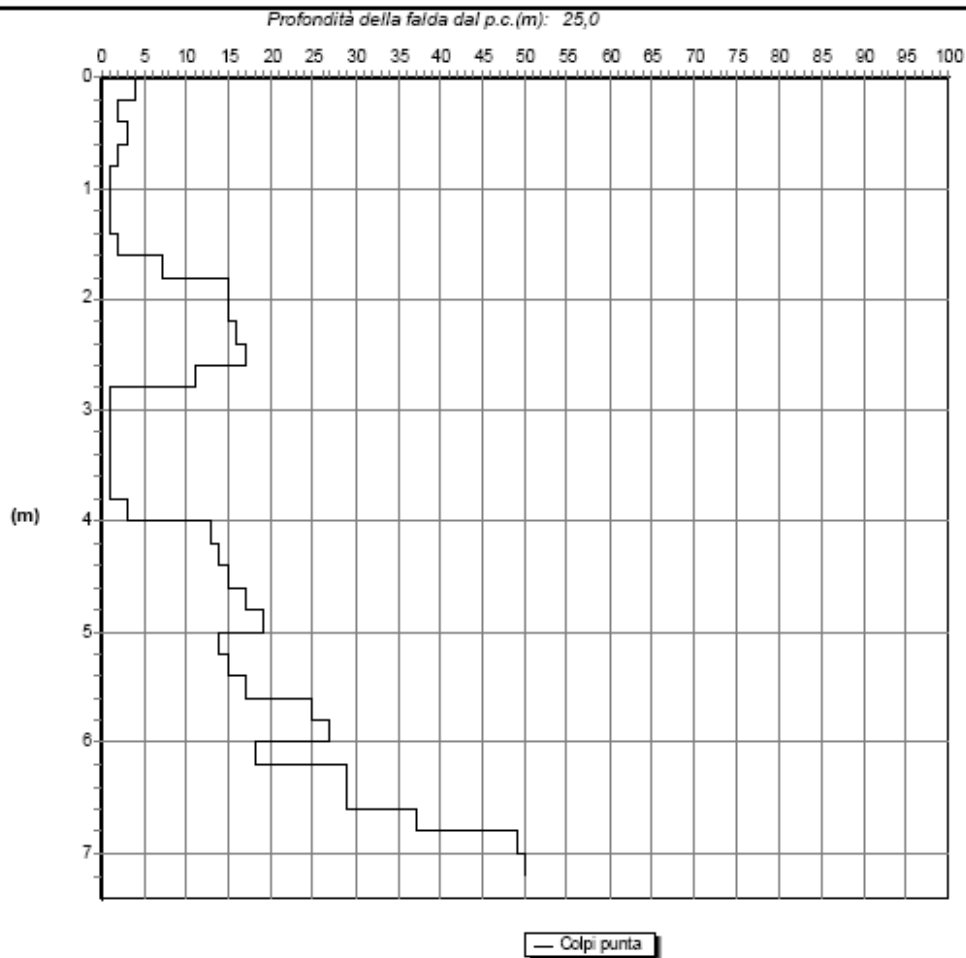





Geologi Associati Fantucci e Stocchi  
Via Vasiano Snc  
01037 Ronciglione (VT)0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
Località: Civita Castellana  
Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
Note:  
Quota(m): p.c.                      Sigla: \P3

### Grafico della prova



 Geologi Associati Fantucci e Stocchi  
Via Vasiano Snc  
01037 Ronciglione (VT)0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
Località: Civita Castellana  
Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
Note:  
Quota(m): p.c.      Sigla: VP1

### Tabulato della prova

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N.colpi del rivestimento	N. colpi SPT equivalenti	N. colpi del rivestimento corretto
0,2	3		4	
0,4	4		6	
0,6	5		7	
0,8	17		25	
1	13		19	
1,2	14		21	
1,4	11		16	
1,6	16		24	
1,8	17		25	
2	21		31	
2,2	16		24	
2,4	15		22	
2,6	15		22	
2,8	14		21	
3	19		28	
3,2	22		32	
3,4	24		35	
3,6	19		28	
3,8	14		21	
4	26		38	
4,2	29		43	
4,4	30		44	
4,6	33		49	
4,8	32		47	
5	36		53	
5,2	41		60	



Geologi Associati Fantucci e Stocchi  
Via Vasiano Snc  
01037 Ronciglione (VT)0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
Località: Civita Castellana  
Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
Note:  
Quota(m): p.c.      Sigla: VP2

### Tabulato della prova

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N.colpi del rivestimento	N. colpi SPT equivalenti	N. colpi del rivestimento corretto
0,2	22		32	
0,4	16		24	
0,6	34		50	
0,8	33		49	
1	35		51	
1,2	39		57	
1,4	40		59	
1,6	34		50	
1,8	24		35	
2	33		49	
2,2	21		31	
2,4	5		7	
2,6	16		24	
2,8	34		50	
3	34		50	
3,2	39		57	
3,4	47		69	
3,6	38		56	
3,8	35		51	
4	39		57	
4,2	38		56	



Geologi Associati Fantucci e Stocchi  
 Via Vasiano Snc  
 01037 Ronciglione (VT) 0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
 Località: Civita Castellana  
 Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
 Note:  
 Quota(m): p.c.      Sigla: \P3

### Tabulato della prova

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N.colpi del rivestimento	N. colpi SPT equivalenti	N. colpi del rivestimento corretto
0,2	4		6	
0,4	2		3	
0,6	3		4	
0,8	2		3	
1	1		1	
1,2	1		1	
1,4	1		1	
1,6	2		3	
1,8	7		10	
2	15		22	
2,2	15		22	
2,4	16		24	
2,6	17		25	
2,8	11		16	
3	1		1	
3,2	1		1	
3,4	1		1	
3,6	1		1	
3,8	1		1	
4	3		4	
4,2	13		19	
4,4	14		21	
4,6	15		22	
4,8	17		25	
5	19		28	
5,2	14		21	
5,4	15		22	
5,6	17		25	
5,8	25		37	
6	27		40	
6,2	18		26	
6,4	29		43	
6,6	29		43	
6,8	37		54	
7	49		72	
7,2	50		74	

**Geologi Associati Fantucci e Stocchi**  
 Via Vasiano Snc  
 01037 Ronciglione (VT)0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
 Località: Civita Castellana  
 Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
 Note:  
 Quota(m): p.c.                      Sigla: \P1

**Metodi di calcolo dei parametri geotecnici**

Profondità base strato(m)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Mod. edom. incoerenti (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Mod.edom. coesivi (kg/cm²)	Densità relativa (%)	Modulo di Young (kg/cm²)	Mod.dinamico di taglio incoerenti (kg/cm²)	Mod.dinamico di taglio coesivi (kg/cm²)	Rapporto di sovra consolidazione
0,6	Peck	Menzebach e Malcev Sabbia fine			Skempton 1986	Tornaghi et Al.	Crespellani e Vannucchi		
4	Peck	Menzebach e Malcev Sabbia fine			Skempton 1986	Tornaghi et Al.	Crespellani e Vannucchi		
5,2	Peck	Menzebach e Malcev Sabbia fine			Skempton 1986	Tornaghi et Al.	Crespellani e Vannucchi		

**Geologi Associati Fantucci e Stocchi**  
 Via Vasiano Snc  
 01037 Ronciglione (VT)0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
 Località: Civita Castellana  
 Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
 Note:  
 Quota(m): p.c.                      Sigla: \P1

**Parametri geotecnici**

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cm²)	Modulo di edom. incoerenti (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Mod.edom. coesivi (kg/cm²)	O. C. R.	Mod. dinamico di taglio (kg/cm²)	Pres. eff. strato (kg/cm²)
0,6	4	Suolo/Riperto	73	0,12	28	1,5	56	140	52				185	0,05
4	23	Tufo rosso alterato	147	0,4	34	1,6	80	336	119				540	0,36
5,2	45	Tufo rosso ben addensato	190	0,59	40	1,65	85	470	197				813	0,73

Profondità della falda (m): 25

**Geologi Associati Fantucci e Stocchi**  
 Via Vasiano Snc  
 01037 Ronciglione (VT)0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
 Località: Civita Castellana  
 Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
 Note:  
 Quota(m): p.c.                      Sigla: \P2

**Parametri geotecnici**

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cm²)	Modulo di edom. incoerenti (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Mod.edom. coesivi (kg/cm²)	O. C. R.	Mod. dinamico di taglio (kg/cm²)	Pres. eff. strato (kg/cm²)
2,6	33	Riperto eterogeneo	187	0,68	36	1,6	85	402	155				673	0,21
4,2	52	Tufo ben addensato	244	0,77	42	1,65	85	505	222				888	0,55

Profondità della falda (m): 25



Geologi Associati Fantucci e Stocchi  
 Via Vasiano Snc  
 01037 Ronciglione (VT) 0761/625484

Committente: Ospedale Andosilla  
 Località: Civita Castellana  
 Data: 09/09/2014      Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA  
 Note:  
 Quota(m): p.c.      Sigla: \P3

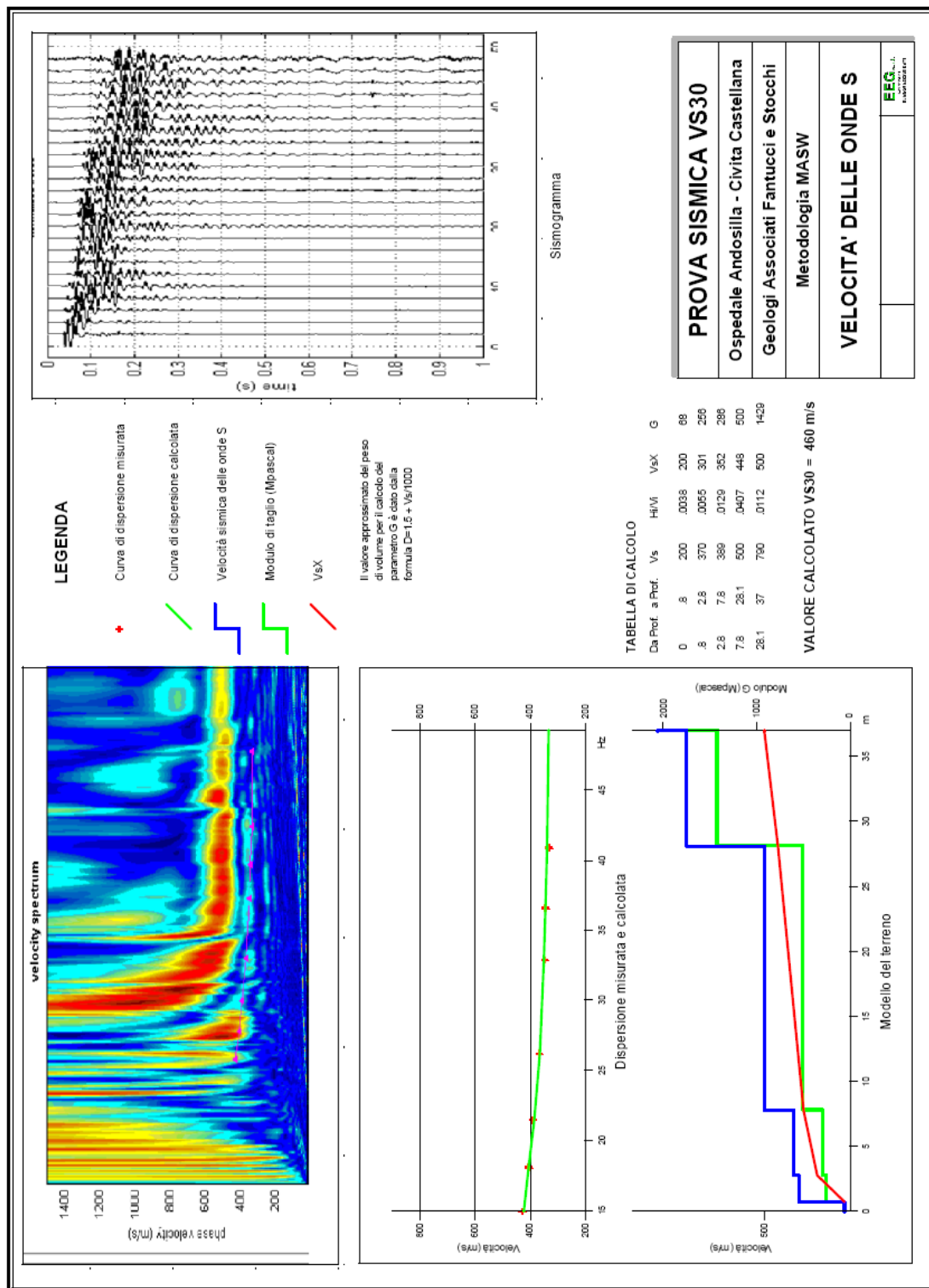
### Parametri geotecnici

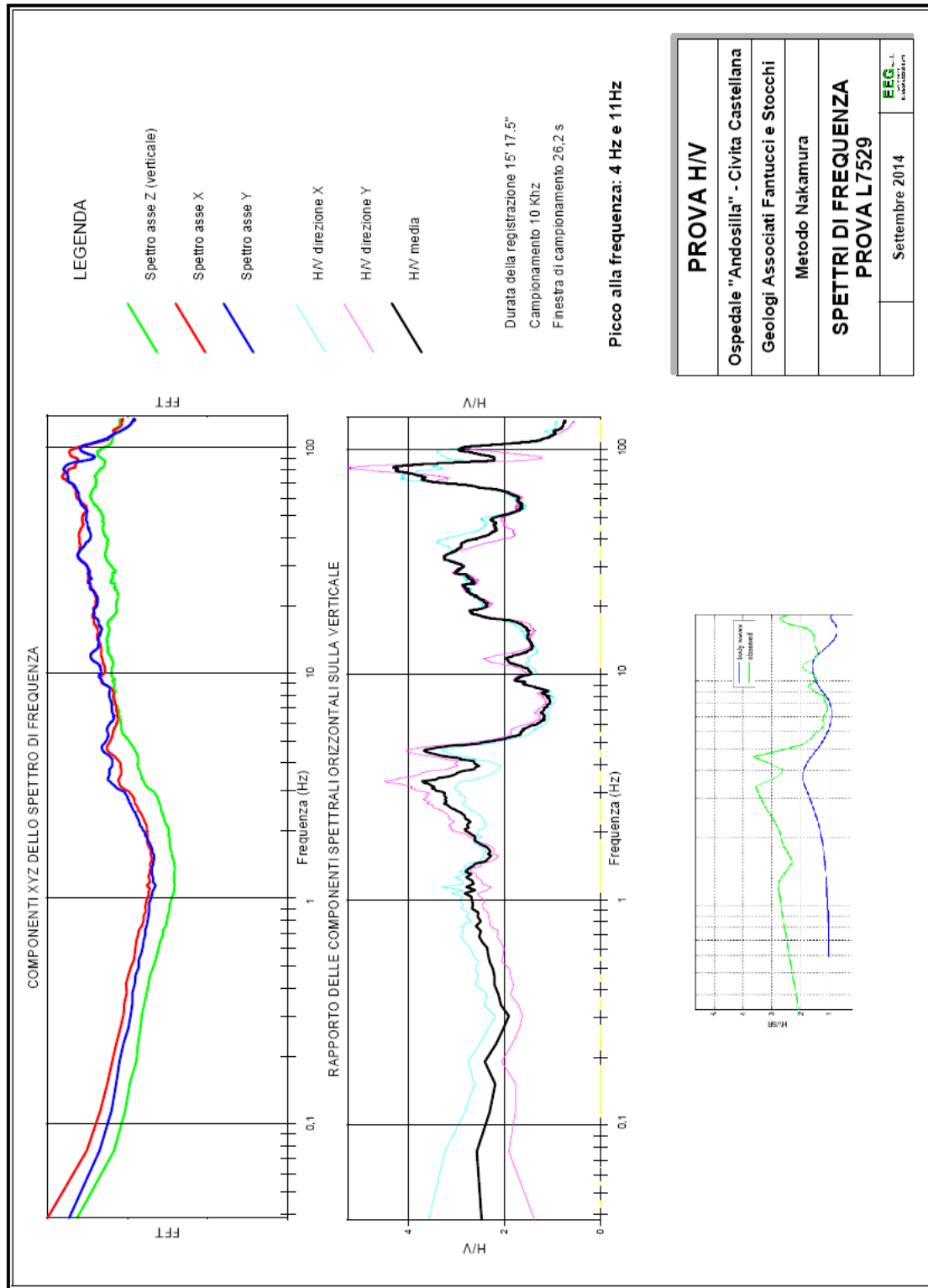
Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Modulo di edom. incoerenti (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Mod.edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Mod. dinamico di taglio (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
4	4	Riparto eterogeneo	142	0,07	28	1,5	35	140	52				185	0,3
6,2	23	Tufo rosso alterato	230	0,29	34	1,6	66	336	119				540	0,78
7,2	45	Tufo rosso addensato	273	0,49	40	1,65	85	470	197				813	1,03

Profondità della falda (m): 25



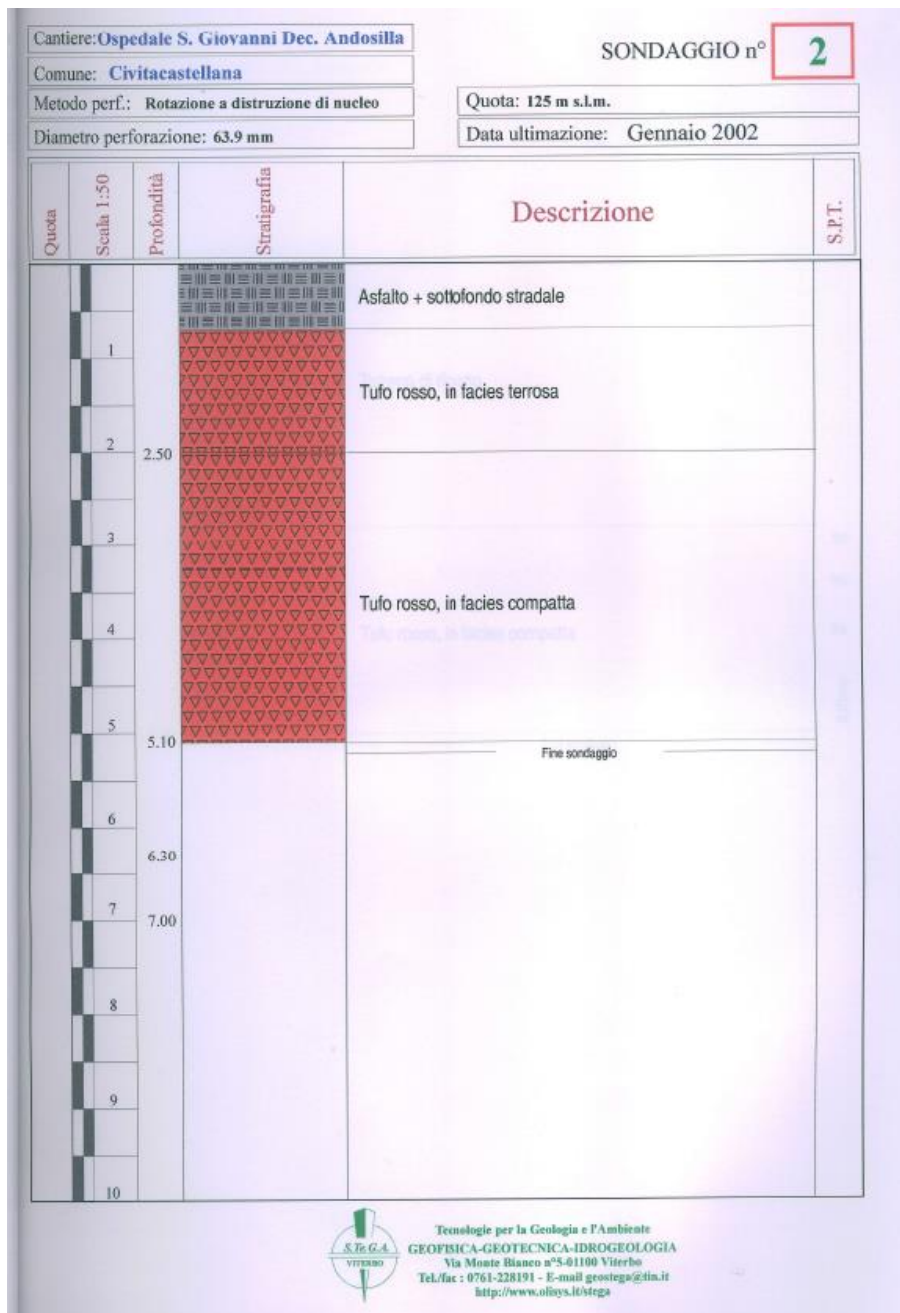
## ALLEGATI INDAGINI GEOFISICHE 09/2014



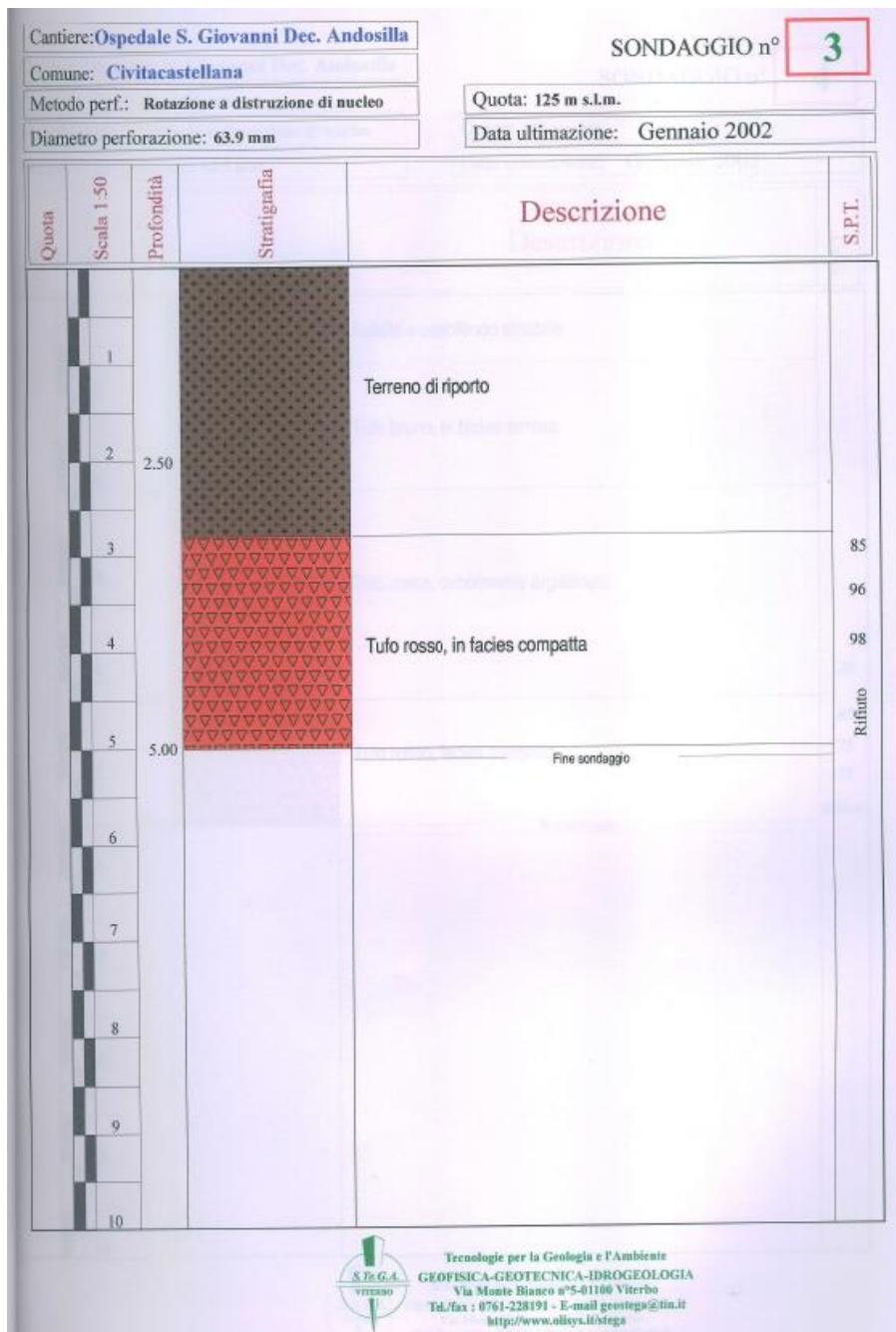


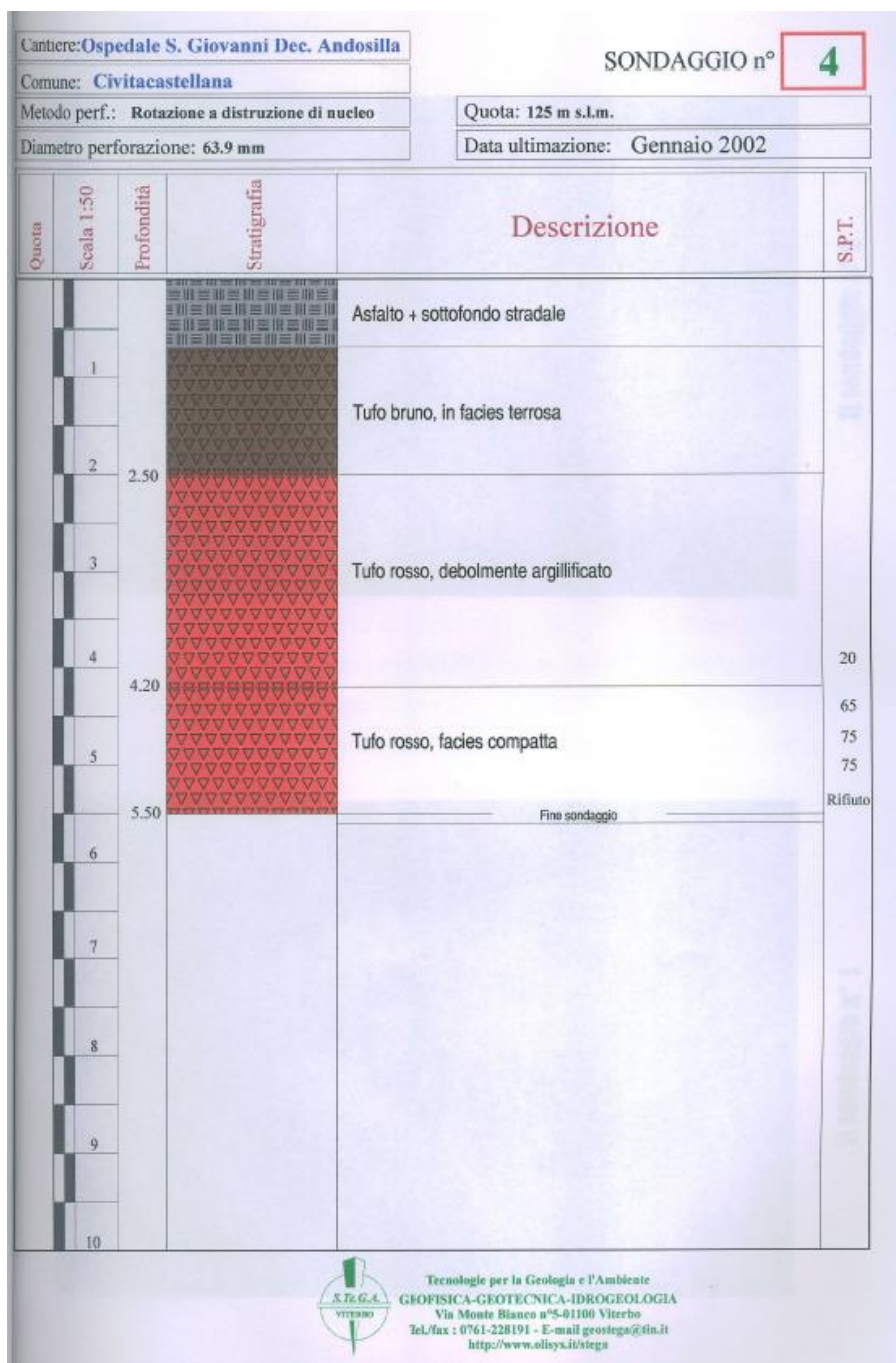
## ALLEGATI INDAGINI BIBLIOGRAFIA

**ALLEGATI CAMPAGNA INDAGINI 2002  
DR. GEOL. GIUSEPPE PAGANO**



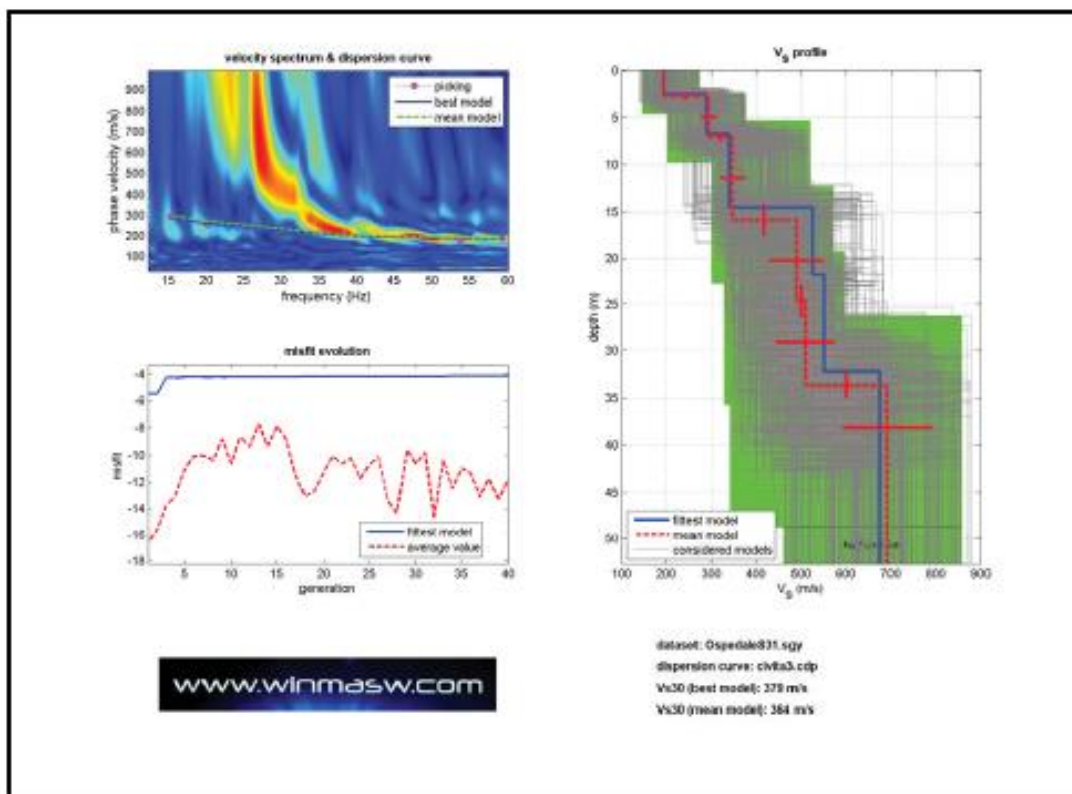






## ALLEGATI CAMPAGNA INDAGINI 2014 DR. GEOL. ROBERTO TRONCARELLI

### MASW BIBLIOGRAFIA



## SONDAGGIO DOWN - HOLE

Cantiere: Ospedale di Civita Castellana		SONDAGGIO n° <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">1</span>
Metodo perf.: Carotaggio continuo		Data inizio: 15/05/2014
Diametro perforazione: 101 mm	Quota: 100 m s.l.m.	Data ultimazione: 15/05/2014

Rivestimento perforazione	Manovre	Scala	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	% Carotaggio	Falda	Ponderale (Kg/cm)	Tensione test (kg/cm)	Campione	SPT	Carotaggio in roccia				Classificazione ai sensi dell'Ordinanza PCM 3294/03
												% RQD	Indice di fratturazione	T <sub>10</sub>	Indice di fratturazione	
			0,00		Terreno di riporto, eterogeneo											
			3,50		Depositi piroclastici, a litologia sabbiosa, debolmente limosa, da addensati a mediamente addensati, di colore marrone, con fenocristalli pirossenici neri e leucitici biancastri millimetrici											
			4													
			5													
			6													
			7													
			8													
			9													
			10													
			11													
			12													
			13													
			14													
			15													
			16													
			17													
			18													
			19													
			20													
			21													
			22													
			23													
			24													
			25													
			26													
			27													
			28													
			29													
			30													

### ANALISI SISMICA DOWN-HOLE

Ristrutturazione e messa a norma dell'Ospedale Andosilla  
 via V. Ferretti - Civita Castellana (VT)

#### DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO

Distanza = 1.35 [m]

#### PRIMI ARRIVI

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde S (Y) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]	Onde S (Y) (corretti) [ms]
1	1.00	2.90	6.60	12.20	1.73	3.93	7.26
2	2.00	8.60	14.80	13.50	7.13	12.27	11.19
3	3.00	10.30	13.50	14.80	9.39	12.31	13.50
4	4.00	10.50	17.10	17.10	9.95	16.20	16.20
5	5.00	11.40	23.60	22.80	11.01	22.78	22.01
6	6.00	12.70	27.30	28.20	12.39	26.63	27.51
7	7.00	13.00	31.80	29.80	12.76	31.22	29.26
8	8.00	15.10	35.00	30.50	14.89	34.51	30.07
9	9.00	16.30	35.00	31.80	16.12	34.61	31.45
10	10.00	16.80	36.30	35.00	16.65	35.97	34.69
11	11.00	17.30	37.60	36.40	17.17	37.32	36.13
12	12.00	18.50	40.40	38.60	18.38	40.15	38.36
13	13.00	19.50	41.70	39.00	19.40	41.48	38.79
14	14.00	20.80	43.20	40.70	20.70	43.00	40.51
15	15.00	21.60	45.50	43.10	21.51	45.32	42.93
16	16.00	21.20	47.60	47.60	21.12	47.43	47.43
17	17.00	22.40	49.90	51.00	22.33	49.74	50.84
18	18.00	23.30	53.30	54.50	23.23	53.15	54.35
19	19.00	23.70	54.50	55.50	23.64	54.36	55.36
20	20.00	24.40	56.80	58.40	24.34	56.67	58.27
21	21.00	25.70	61.30	62.40	25.65	61.17	62.27
22	22.00	26.40	64.60	64.60	26.35	64.48	64.48
23	23.00	27.30	66.90	67.90	27.25	66.79	67.78
24	24.00	27.90	72.60	72.90	27.86	72.49	72.78
25	25.00	28.30	73.80	73.00	28.26	73.69	72.89
26	26.00	29.30	74.90	73.80	29.26	74.80	73.70
27	27.00	29.00	80.50	80.10	28.96	80.40	80.00
28	28.00	29.70	81.80	81.10	29.67	81.71	81.01
29	29.00	30.10	82.90	82.20	30.07	82.81	82.11

#### VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	328
2	7	803
3	29	1274

#### PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	213	0.09	90738.0	197808	80409.0

2	8	294	0.39	172872..	480584	728157..
3	29	415	0.41	344450..	971348	1798792.0

PARAMETRI ONDE SY

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	211	0.10	89042.0	195892	81621.0
2	6	299	0.38	178802..	493493	685406..
3	29	397	0.42	315218..	895219	1865039.0

VELOCITA' MEDIE VS29

Geofono	VS29 [m/s]
orizzontale Sx	355.0
orizzontale Sy	352.9



## DPSH 1 - BIBLIOGRAFIA

