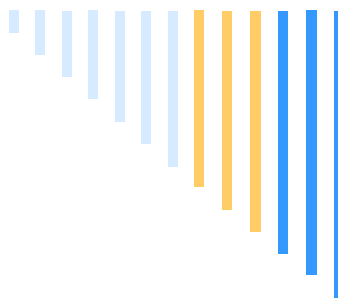
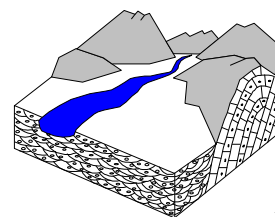


**COMUNE DI  
CAMERINO**  
PROVINCIA DI MACERATA



**SGA**



Geologia ambientale e difesa del suolo  
Geologia tecnica — Pianificazione territoriale

**RIPARAZIONE DEI DANNI E MIGLIORAMENTO SISMICO DEL  
PALAZZO DUCALE (DA VARANO) DANNEGGIATO DAGLI EVENTI  
SISMICI DEL 24 AGOSTO 2016 E SUCCESSIVI.**

Committente: **Università degli Studi di Camerino** RUP: ing. **Marucci Gianluca**

Località: **Camerino**

Identificato catastale: **Foglio 61, particelle 146, 261 e 181**

**RELAZIONE GEOLOGICA,  
RELAZIONE SISMICA  
RELAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE**

San Severino Marche, 7 marzo 2022

Iscrizione Elenco  
Speciale Professionisti  
EP\_009537\_2017

Prestazione Specialistica  
Geol. Marcello Maccari



**SGA STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO** Geol. ALESSANDRO ONORATI, Geol. MARCELLO MACCARI  
V.le G. Mazzini, 23 - 62027 SAN SEVERINO MARCHE – ITALY Tel. +39-733-645150, - P.I. 01080970435  
e-mail: [info@sgageo.com](mailto:info@sgageo.com) Web: [www.sgageo.com](http://www.sgageo.com)



## INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3. UBICAZIONE E RIFERIMENTI CARTOGRAFICI.....	6
4. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI.....	8
4.1 RILEVAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO.....	8
4.2 INDAGINE GEOGNOSTICA.....	9
4.3 INDAGINE GEOTECNICA .....	9
4.4 INDAGINE GEOFISICA.....	9
5. MODELLAZIONE GEOLOGICA .....	11
5.1 INQUADRAMENTO GEOSTRUTTURALE DELL'AREA .....	11
5.2 LITOSTRATIGRAFIA.....	14
5.3 GEOMORFOLOGIA E STABILITÀ DELL'AREA .....	15
5.4 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA .....	16
5.4.1 <i>Idrografia</i> .....	16
5.4.2 <i>Idrogeologia e piezometria</i> .....	17
5.4.3 <i>Permeabilità</i> .....	17
6. MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	18
6.1 PRINCIPALI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	18
6.2 ELABORAZIONE DEI VALORI GEOTECNICI CARATTERISTICI .....	18
6.2.1 <i>Litotipo 1:</i> .....	19
6.2.1 <i>Litotipo 2:</i> .....	19
7. MODELLAZIONE SISMICA.....	21
7.1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA.....	23
7.2 ATTIVITÀ SISMICA STORICA.....	26
7.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	29
7.4 RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO .....	32
7.4.1 <i>Categoria del suolo di fondazione</i> .....	33
7.4.2 <i>Coefficiente di amplificazione topografica</i> .....	37
7.5 AZIONE SISMICA.....	37
7.6 PARAMETRI SISMICI.....	38
7.7 FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO .....	40
7.8 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	41
8. RAPPORTI CON IL PAI.....	44
9. INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	44
10. CONFRONTO TRA GLI SPETTRI.....	47
11. INVARIANZA IDRAULICA .....	48
12. CONSIDERAZIONI SULLE FONDAZIONI.....	49
13. CONCLUSIONI.....	49

## INDICE DELLE FIGURE

<b>Figura 1</b>	Individuazione del complesso edilizio Palazzo Varano .....	6
<b>Figura 2</b>	Postazioni 1 e 2 di sismica passiva (HVSr) realizzate presso l'Orto Botanico.....	10
<b>Figura 3</b>	Postazione 3 di sismica passiva (HVSr) realizzata presso Piazza Cavour.....	10
<b>Figura 4</b>	Schema geologico dell'area Marchigiana (da DEIANA et alii, 2002 - modificato):.....	12
<b>Figura 5</b>	Mappa delle aree sismogenetiche nell'area umbro-marchigiana – Database DISS 3.2.1 INGV..	23
<b>Figura 6</b>	Schede contenenti le caratteristiche delle sorgenti sismogenetiche .....	25
<b>Figura 7</b>	Stralcio cartografico estratto da ITHACA – Catalogo delle faglie capaci. ....	25
<b>Figura 8</b>	sequenza storica dei terremoti occorsi e risentiti nella zona di Camerino aventi $I_s > 5$ .....	26
<b>Figura 9</b>	Ubicazione eventi della sequenza sismica dell'Italia Centrale del 2016-2017 .....	29
<b>Figura 10</b>	Carta del livello del rischio sismico delle Marche.....	30
<b>Figura 11</b>	Carta della pericolosità sismica nazionale. ....	31
<b>Figura 12</b>	Sezione lito-sismo stratigrafica .....	35
<b>Figura 13</b>	Reticolo sismico di riferimento e individuazione dei fabbricati. ....	37
<b>Figura 14</b>	Relazione tra la frequenza principale del primo modo flessionale ed altezza di edifici .....	40
<b>Figura 15</b>	Liquefazione: fusi granulometrici di riferimento. ....	43
<b>Figura 16</b>	Carta del Fattore di Amplificazione sismica nel periodo 0,1 - 0,5s.....	46
<b>Figura 17</b>	Carta del Fattore di Amplificazione sismica nel periodo 0,4 - 0,8s.....	47
<b>Figura 18</b>	Carta del Fattore di Amplificazione sismica nel periodo 0,7 - 1,1s.....	47

## INDICE DELLE TABELLE

<b>Tabella 1</b>	Terremoti al di sopra della soglia di danno risentiti nella zona di Camerino .....	27
<b>Tabella 2</b>	Profili delle velocità delle onde di taglio .....	36
<b>Tabella 3</b>	Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato (tab. 3.2. Il NTC2018) .....	36

## ALLEGATI AL TESTO

1.	N° 4 Tabelle delle caratteristiche geotecniche	
2.	Corografia	scala 1:25.000
3.	Carta Tecnica Regionale	scala 1:10.000
4.	Carta geologica (estratto CARG)	scala 1:10.000
5.	Carta delle MOPS (estratto Microzonazione sismica)	scala 1:10.000
6.	Stralcio cartografia PAI vigente	scala 1:10.000
7.	Stralcio cartografia PAI aggiornamento 2016	scala 1:10.000
8.	Foto aerea	scala 1:2.000
9.	Planimetria catastale	scala 1:1.000
10.	Planimetria indagini	scala 1:500
11.	Sezioni litostratigrafiche	scala 1:250
12.	Stratigrafie sondaggi reperiti	
13.	Indagine geofisica (Down hole + HVSr)	
14.	Correlazione lito sismo stratigrafica	scala 1:400
15.	Planimetrie del rilievo degli affioramenti	scala 1:500
16.	Documentazione fotografica	

## 1. PREMESSA

La recente crisi sismica iniziata il 24 agosto 2016 che ha coinvolto una vasta area compresa tra Lazio, Abruzzo, Marche ed Umbria, ha prodotto ingenti danni al relativo patrimonio edilizio coinvolgendo pesantemente anche il territorio comunale di Camerino e, nel caso particolare, il Palazzo Varano, sede della Facoltà di Giurisprudenza dell'Università di Camerino, sito nel centro storico, che è stato gravemente danneggiato riportando lesioni tali da renderlo INAGIBILE. Nello specifico si tratta di un complesso edilizio formato dalla coalescenza di più edifici, il cui nucleo originario risale al XII sec., interessati a più riprese da interventi di ampliamento, ristrutturazione e ricostruzione che si sono inframmezzati e stratificati in vari momenti storici.

A tal proposito, su incarico ricevuto dal responsabile dell'*Area Tecnica Edilizia Manutenzioni e Sicurezza* di UNICAM, ing. Gianluca Marucci, è stato eseguito il presente studio in modo da definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area di intervento e di un suo intorno significativo, nonché la stratigrafia, le caratteristiche geotecniche e sismiche locali, al fine di stabilire la tipologia di intervento e redigere un'opportuna progettazione nel rispetto delle nuove norme in materia di costruzione antisismica.

Lo studio descrive, in ottemperanza alle normative vigenti per le edificazioni in zona sismica e secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, il quadro geologico

generale della zona in cui ricade l'immobile in oggetto, illustrandone i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche di eventuali superfici di discontinuità, la successione litostratigrafica locale con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità, gli aspetti geomorfologici, nonché i processi morfologici ed i dissesti in atto e potenziali e la loro tendenza evolutiva; inoltre fornisce la descrizione della circolazione idrica superficiale e sotterranea e la definizione dei parametri fisico meccanici dei litotipi reperiti.

Per quanto riguarda il piano delle indagini specifiche sul terreno, viene definito ed attuato sulla base delle caratteristiche geologiche della zona ed in funzione dei dati che è necessario acquisire per ottenere un'appropriata conoscenza delle caratteristiche geologiche locali, utili alla caratterizzazione ed alla modellazione geotecnica del sottosuolo. Queste informazioni consentiranno al progettista di verificare le interazioni tra terreno, strutture di fondazione ed in elevazione, permettendogli di stabilire l'effettiva incidenza sul locale contesto geologico e quindi programmare soluzioni progettuali tali da garantire fattibilità e sicurezza dell'intervento in oggetto.

Per ciò che concerne la caratterizzazione geotecnica e le verifiche agli stati limite dei terreni di fondazione, esse saranno oggetto di apposita relazione geotecnica che, redatta dal progettista strutturale, costituisce ulteriore elaborato strettamente correlato alla presente relazione.

Lo studio è articolato nelle seguenti fasi:

- reperimento dati esistenti;
- definizione del piano delle indagini da attuare sul terreno;
- inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologiche dell'area dove insiste il complesso edilizio e di un suo intorno significativo;
- elaborazione del modello geologico e geomorfologico del sito in studio necessario alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali,

idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio;

- ricostruzione della successione litostratigrafica attraverso il rilievo geologico degli affioramenti del substrato presenti ed il reperimento delle stratigrafie di sondaggi geognostici precedentemente eseguiti;
- individuazione delle principali caratteristiche geotecniche dei terreni di appoggio delle murature di fondazione ricavate da dati reperiti, provenienti da prove di laboratorio eseguite su campioni, prelevati nell'ambito di indagini effettuate nel centro storico di Camerino, riguardanti terreni in tutto comparabili;
- definizione dell'azione sismica di progetto attraverso il reperimento di indagini di sismica attiva (down hole) eseguite dallo scrivente per gli studi di microzonazione sismica del centro di Camerino integrate con l'esecuzione di nuove indagini di sismica passiva (HVSr).

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo studio è stato eseguito nel rispetto della normativa vigente in materia ed in particolare:

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974: *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*
- D.P.R. n° 380 del 6 giugno 2001: *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.*
- OPCM 3274 del 20/03/03: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica: All. 1 - classificazione sismica del territorio italiano.*
- D.Lgs 152 del 3/04/2006 e s.m.i. - *Norme in materia ambientale.*
- Decreto 14 gennaio 2008: *Nuove norme tecniche per le costruzioni.*
- Circolare 2 febbraio 2009 n° 617 del C.S.LL.PP.: *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".*
- D.L. 189/2016; *"Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016"* convertito con modificazioni dalla Legge 229/2016;
- LEGGE 15 dicembre 2016, n° 229: *Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 17 ottobre 2016, n. 189, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016.*
- Ordinanza n. 12 del 09/01/2017: *Attuazione dell'art. 34 del D.L. 17/10/2016, n. 189, convertito con modificazioni dalla legge 15 dicembre 2016 n. 229.*
- D.L. n. 8 del 09/02/2017; *"Nuovi interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del 2016 e del 2017"* convertito con modificazioni dalla Legge 45/2017;
- Ordinanza n. 19 del 7 aprile 2017: *Misure per il ripristino con miglioramento sismico e la ricostruzione di immobili ad uso abitativo gravemente danneggiati o distrutti dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016.*
- Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017, Allegato 1: *Criteri per l'utilizzo dei risultati degli studi di Microzonazione Sismica per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016* (modificata con Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018, Allegato 1).
- D.M. 17 gennaio 2018 *Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni».* (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)
- Nota del C.S.LL.PP. n° 3187 del 21/03/2018: *Prima applicazione del DM 17.01.2018, riportante l'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", alle procedure autorizzative e di qualificazione del servizio tecnico centrale.*

- Circolare 21 gennaio 2019 n° 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti: *Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*
- L.R. Marche n° 13 del 25/05/1999: *Disciplina regionale della difesa del suolo.*
- DGR Marche n° 116 del 21 gennaio 2004: *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI).*
- Regione Marche, L.R. 22 del 23/11/2011 - *Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico e modifiche alle Leggi regionali 5 agosto 1992, n. 34 "Norme in materia urbanistica, paesaggistica e di assetto del territorio" e 8 ottobre 2009, n. 22 "Interventi della regione per il riavvio delle attività edilizie al fine di fronteggiare la crisi economica, difendere l'occupazione, migliorare la sicurezza degli edifici e promuovere tecniche di edilizia sostenibile".*

Per quanto riguarda le Relazioni specialistiche, di cui al capitolo C 10.1 Caratteristiche Generali della Circolare n° 7/2019 sopra menzionata, che fanno parte integrante del progetto, nel presente elaborato sono ricomprese, nel rispetto di quanto dettato dall'Aggiornamento delle NTC 2018, le seguenti:

- relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (§ 6.2.1 delle NTC e § C 6.2.1 della Circolare );
- relazione geotecnica sui risultati delle indagini e definizione dei valori caratteristici dei parametri fisico-meccanici dei terreni (§ 6.2.2 delle NTC e § C 6.2.2 della Circolare ).
- relazione sulla modellazione sismica concernente la *"pericolosità sismica di base e la definizione dell'azione sismica nel sito di costruzione"* (§ 3.2 delle NTC e § C 3.2 della Circolare);

### 3. UBICAZIONE E RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

Il complesso edilizio oggetto di intervento è posto nel centro storico di Camerino ed è parte integrante della cinta muraria con le sue murature di valle. Queste, impostate ai piedi della scarpata strutturale che borda il pianoro su cui insiste il centro storico, sono state costruite quasi in aderenza alla parete arenacea sviluppandosi, per poco più di 20 metri, dal piano dell'Orto Botanico fino al piano di piazza Cavour da dove inizia, per ulteriori altezze comprese tra 17 e 20 metri, la porzione di fabbricato completamente fuori terra.

Da un punto di vista topografico l'area è individuata nel Foglio 124 "Macerata", tavoletta III NW "Camerino"; per quanto riguarda i dati catastali il complesso edilizio è compreso nel foglio n° 61 e distinto con le particelle 146, 261 e 181.



**Figura 1** Individuazione del complesso edilizio Palazzo Varano

Le coordinate geografiche baricentriche per la sua identificazione sono le seguenti:

WGS84: Lat 43,135706° Lng 13,068801°  
ED50: Lat 43,136663° Lng 13,069732°

Per la caratterizzazione delle azioni sismiche, di cui al paragrafo 3.2 della normativa, e per la definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento si richiameranno le coordinate ED50.

## 4. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

I sopralluoghi effettuati nell'area hanno consentito di individuare le principali problematiche geologiche permettendo di pianificare tutte le indagini ritenute necessarie a definire le caratteristiche litostratigrafiche, fisico meccaniche e sismiche, relativamente al volume significativo di terreno interessato dai fabbricati in oggetto ed indispensabili alla progettazione.

In tale fase è stata eseguita la ricerca di dati a carattere geognostico, geotecnico e sismico esistente reperendo indagini tali (n° 11 sondaggi a carotaggio continuo di cui 1 attrezzato per down hole) da ritenere necessario e sufficiente eseguire, ad integrazione di queste, solamente le seguenti investigazioni:

- n° 3 stazioni di misura HVSR (prospezione di sismica passiva)

Nei paragrafi che seguono vengono illustrate le principali caratteristiche delle indagini eseguite e reperite per le cui risultanze si rimanda ai rispettivi e successivi capitoli.

### 4.1 RILEVAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

Attraverso vari sopralluoghi sono state acquisite informazioni sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche della zona di intervento nonché di un'adeguata area al contorno, rilevando altresì gli affioramenti rocciosi presenti all'interno del complesso edilizio.

Tale passaggio, che rappresenta la prima e obbligata operazione da porre in essere, ha consentito di identificare la tipologia dei terreni affioranti, le forme del paesaggio ed i depositi ad essi correlati, i processi superficiali generati dai vari agenti naturali ed antropici nonché la dinamica evolutiva dell'area. Ha altresì consentito di decidere e posizionare quelle specifiche indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche (scavi, carotaggi, prospezioni sismiche, prove geotecniche in situ e/o di laboratorio, ecc.) necessarie a caratterizzare l'area di intervento.

## 4.2 INDAGINE GEOGNOSTICA

L'individuazione di alcuni affioramenti del substrato, presenti all'interno del fabbricato ed evidenziati con il rilevamento geologico, e l'interpretazione delle indagini geognostiche reperite ha consentito di ricostruire l'assetto litostratigrafico locale senza dover eseguire ulteriori sondaggi o scavi geognostici.

## 4.3 INDAGINE GEOTECNICA

La caratterizzazione delle proprietà fisiche e meccaniche dei litotipi investigati è stata effettuata tramite il reperimento di prove penetrometriche e prove di laboratorio eseguite per indagini effettuate dallo scrivente relativamente a interventi operati all'interno del centro storico di Camerino e su edifici limitrofi.

## 4.4 INDAGINE GEOFISICA

Per lo sviluppo di questa indagine è stata utilizzata la metodologia sismica. Indirizzata alla caratterizzazione sismica del primo sottosuolo (30-50 metri), attraverso lo studio della propagazione delle onde elastiche, consente di individuare le principali unità geofisiche e l'eventuale presenza del bedrock sismico, non sempre coincidente con quello stratigrafico. Il risultato dell'indagine è dato dalla stima della velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio tra il piano campagna o la base di imposta delle fondazioni ed i successivi 30 metri di terreno ( $V_{s30}$ ), oppure, qualora il bedrock sismico ( $V_s > 800 \text{ m/s}$ ) risulti a profondità inferiori a 30 metri, nello spessore di terreno compreso ( $V_{seq}$ ). Ciò è necessario per contribuire a definire, sulla base del D.M. 17 gennaio 2018, la categoria del suolo di fondazione da cui derivare parametri e coefficienti sismici da adottare nella progettazione strutturale.

Nel caso specifico è stata utilizzata la prova Down hole realizzata per gli studi di microzonazione sismica di livello 3 redatti dallo scrivente per conto dell'amministrazione comunale di Camerino. Tale prova è stata integrata da

registrazioni (fig. 4) del rumore sismico ambientale (indagine sismica passiva), detto anche microtremore, la cui elaborazione con la metodologia dei rapporti spettrali HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) consente anche di misurare la frequenza fondamentale del terreno.



**Figura 2** Postazioni 1 e 2 di sismica passiva (HVSR) realizzate presso l'Orto Botanico



**Figura 3** Postazione 3 di sismica passiva (HVSR) realizzata presso Piazza Cavour

## 5. MODELLAZIONE GEOLOGICA

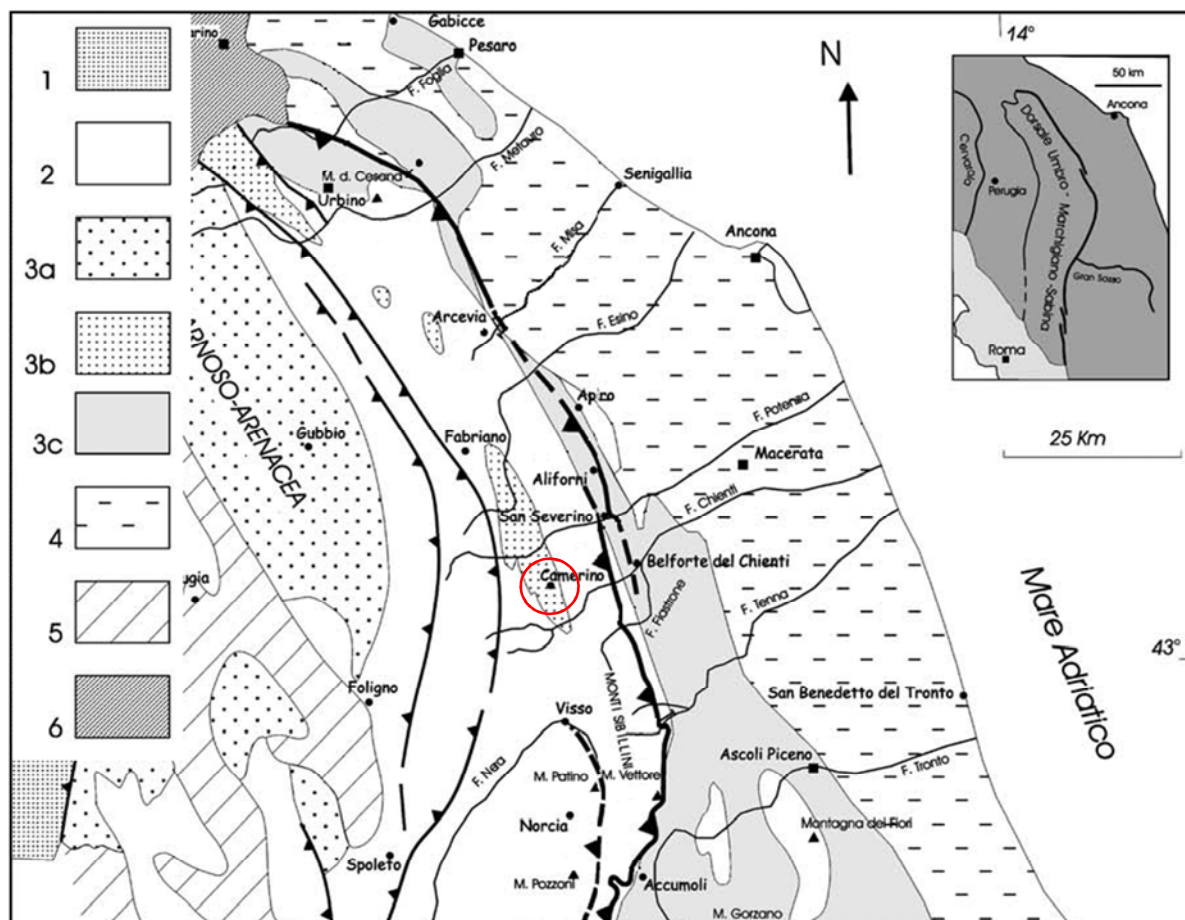
A partire dai caratteri geologico strutturali regionali, utili per comprendere l'evoluzione tettonica e la distribuzione dei terreni in affioramento e nel sottosuolo, vengono analizzati tutti gli aspetti utili alla caratterizzazione di una zona significativamente ampia, in relazione al tipo di intervento in progetto ed al contesto geologico in cui questo si colloca, ricostruendone i caratteri litologico-strutturali, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

### 5.1 INQUADRAMENTO GEOSTRUTTURALE DELL'AREA

L'assetto geologico regionale è fondato sulla sequenza di terreni mesozoici di piattaforma carbonatica e della sovrastante successione pelagica (simbolo 2 di figura 4), costituita da calcari, calcari marnosi e marne calcaree, intensamente piegata e fagliata a seguito della tettonica compressiva che, a partire dal neogene, ha dato luogo alla formazione della catena appenninica attraverso sovrascorrimenti (linee con triangoli di figura 4) a falde sovrapposte ed a vergenza nord-orientale. In tale fase (Tortoniano - Messiniano) hanno avuto origine una serie di dorsali e bacini in ambiente marino, tra cui quello di Camerino all'interno del quale si trova l'area in studio, allungati in direzione appenninica dove si incanalavano e si depositavano sedimenti torbiditici silico-clastici provenienti dalle zone emerse occidentali (simboli 3a, 3b e 3c di figura 4). In particolare questi sedimenti sinorogenici sono costituiti da peliti, arenarie, conglomerati poligenici e brecce.

Nel Pliocene inferiore la migrazione verso est dell'onda orogenica determina variazioni del quadro geodinamico generale caratterizzate da processi di sollevamento regionale e di tettonica estensionale, nella parte interna-occidentale della catena appenninica in emersione, e dall'impostazione, in regime blandamente compressivo, del bacino periadriatico marchigiano-abruzzese (articolato in piccole

dorsali e depressioni), dove si deposita, fino al Pleistocene inferiore (Siciliano), un consistente spessore di sedimenti clastici in ambiente marino (simbolo 4 di fig. 5).



**Figura 4** Schema geologico dell'area Marchigiana (da DEIANA et alii, 2002 - modificato):

1) Unità del Monte Falterona-Trasimeno. 2) Successione bacinale calcarea, calcareo-marnosa e marnosa o successione di piattaforma carbonatica/scarpata (Trias superiore-Miocene p.p.); 3) Depositi torbiditici silicoclastici miocenici del Preappennino (3a: Burdigaliano p.p.- Tortoniano p.p.), intrappenninici (3b: Serravalliano p.p.-Messiniano p.p.) e del Pedappennino (3c: Messiniano); 4) Successione plio-pleistocenica periadriatica; 5) Depositi plio-quaternari marini o continentali post-orogenici e vulcaniti della provincia laziale; 6) Colata della Val Marecchia.

Il sovrascorrimento del fronte montuoso umbro-marchigiano è rappresentato con triangoli e linea con tratto spesso, mentre triangoli e linee con tratto sottile rappresentano sovrascorrimenti minori. Il cerchio rosso indica l'area in studio.

La fase estensionale plio-quaternaria della zona di catena, tuttora attiva, agisce essenzialmente su direttrici NW-SE, determinando la formazione ed il continuo sviluppo di conche intramontane (Colfiorito, Norcia, Castelluccio, ecc..) dove si depositano spessori consistenti di sedimenti, prevalentemente grossolani, in ambiente continentale.

Relativamente al bacino periadriatico marchigiano-abruzzese la migrazione dell'onda orogenetica verso est determina, nel Pleistocene inferiore, il sollevamento differenziale e l'emersione della successione Plio-Pleistocenica, che assume una struttura monoclinale con blanda inclinazione verso Est di 3°-5°, e lo spostamento del fronte dei sovrascorrimenti al largo della costa (off-shore) adriatica.

Come sopra detto, la zona assiale della dorsale carbonatica dell'Appennino centrale umbro-marchigiano-abruzzese è una regione tettonicamente attiva dove faglie normali ad andamento NW-SE, per lo più organizzate in "fasci", presentano evidenze di attività quaternaria ed una stretta relazione con la diffusa sismicità dell'area che si manifesta con terremoti di  $M \leq 7,0$ . Sembra invece caratterizzata da sismicità sporadica ed a bassa intensità l'area del bacino periadriatico, mentre esternamente alla fascia costiera adriatica l'attività sismica torna ad essere rilevante e contraddistinta da terremoti di  $M \leq 6,0$  in regime di compressione.

Per ciò che riguarda più propriamente le caratteristiche dell'area in studio i litotipi del substrato sono rappresentati dalla sequenza di sedimenti torbiditici silicoclastici di età miocenica della Formazione delle Arenarie di Camerino (descritta in figura 1 dal simbolo 3b), costituita da alternanze di strati pelitici (argille ed argille siltose) ed arenacei organizzati in rapporti di continuità, sia laterale che verticale, abbastanza variabili e cartografati raggruppati in associazioni distinte secondo la prevalenza del litotipo (Ass.arenacea, arenaceo-pelitica ecc.).

In particolare si riconoscono pacchi di strati riconducibili a due associazioni: arenaceo-pelitica e pelitico-arenacea (vedere carta geologica allegata). La prima associazione è composta in prevalenza da strati di sabbie fini cementate, in strati medi, con intercalazioni di argille marnose; il rapporto sabbia/argilla è a favore della sabbia. La seconda associazione, che costituisce il terreno di fondazione per il fabbricato oggetto di intervento, è composta principalmente da argille marnose con intercalazioni di sabbie fini discretamente cementate, disposte generalmente in

strati sottili e medi.

L'assetto giaciturale degli strati, come si può desumere dall'allegata carta geologica di dettaglio (estratto CARG), è disposto in modo tale da creare una piccola sinclinale, al nucleo della quale si trova l'abitato di Camerino.

I sedimenti anzi descritti risultano sovraconsolidati (frazione argillosa), ben cementati (frazione arenacea) e ricoperti da una coltre detritica quaternaria il cui spessore, variabile in relazione alla morfologia, risulta generalmente esiguo nella parte alta del versante, per aumentare man mano che ci si sposta verso il fondo valle. Questa è rappresentata dai depositi eluvio-colluviali composti da una commistione di sabbie, limi ed argille in varie proporzioni e di vario colore (bruno, ocra, grigio, ecc..) inglobanti una percentuale variabile di elementi clastici arenacei di differenti dimensioni.

## 5.2 LITOSTRATIGRAFIA

La locale sequenza litostratigrafica viene ricostruita nel dettaglio tramite il rilievo degli affioramenti presenti all'interno del complesso edilizio in oggetto e i dati ricavati dai sondaggi geognostici reperiti; ciò ha permesso la distinzione dei seguenti litotipi presenti al di sotto delle murature di fondazione:

- a) Substrato:** è rappresentato dai litotipi della Formazione delle Arenarie di Camerino costituita da un pacco di strati dell'Associazione arenacea, di spessore di poco superiore a 20 metri, che forma il plateau su cui è stato edificato il centro storico di Camerino, poggiata su un pacco di strati dell'Associazione arenaceo-pelitica. L'Associazione arenacea è formata quasi completamente da strati arenacei ben cementati, molto resistenti all'erosione, di spessore anche superiore al metro, a geometria lenticolare, talora amalgamati o, più generalmente, separati da sottili strati pelitici. All'interno di questa associazione si possono individuare intervalli a

geometria lenticolare prevalentemente pelitici con spessore non superiore a 3 metri. I litotipi arenacei risultano fratturati ed il relativo grado di continuità può essere descritto come compreso tra “fratture ravvicinate” e “fratture moderatamente ravvicinate” con spaziatura mediamente contenuta tra 20 cm ed 1 metro; talora le fratture risultano riempite da calcite. La sottostante Associazione arenaceo-pelitica è costituita da arenarie, da mediamente a ben cementate, in strati da sottili a medi prevalenti sulle argille marnoso-siltose, anch'esse stratificate. I litotipi descritti risultano da poco alterati ad integri e contraddistinti da una colorazione generalmente grigia, a tratti avana limitatamente alla porzione arenacea. Laddove si è instaurata una seppur limitata circolazione idrica, favorita dalla presenza di fratture negli strati arenacei, questi mostrano una colorazione giallo ocracea ed una diminuzione del grado di cementazione.

Tale situazione litologica è ben rappresentata, per l'area in studio, nelle sezioni litostratigrafiche allegate.

### 5.3 GEOMORFOLOGIA E STABILITÀ DELL'AREA

L'aspetto morfologico d'insieme, cui si deve l'aspetto attuale, è prevalentemente guidato dalla litologia e dalla struttura. Alternanze di pacchi di strati prevalentemente arenacei (litologie dure e assai resistenti all'erosione) e pacchi di strati prevalentemente argillosi (litologie tenere e facilmente erodibili), a giacitura suborizzontale, danno luogo al colle di Camerino. Allineato in direzione NE-SW con versanti dalle forme non sempre regolarizzate e con una tipica morfologia a gradini, culmina con un'ampia superficie strutturale, sulla quale è stato edificato il centro storico, formata da un pacco di strati arenacei di spessore medio di poco superiore a 20 metri, bordato da una scarpata poligenica di pari altezza.

La morfologia che deriva dalla situazione litologico strutturale sopra

evidenziata è il frutto della continua incisione valliva operata dai corsi d'acqua a cui si accompagnano fenomeni franosi ed erosivi: in corrispondenza degli affioramenti argillosi sono evidenti scivolamenti e colate mentre nella parte arenacea si manifestano frane di crollo o ribaltamento; questi ultimi hanno coinvolto, in particolare, lo spesso plateau arenaceo sommitale che rappresenta, in conseguenza dell'azione retrogressiva dei fenomeni erosivi sottostanti, ciò che rimane di un'antica e ampia superficie strutturale (testimone di erosione).

La scarpata che borda lo spesso plateau arenaceo sommitale è stata protetta, negli ultimi secoli, dalla realizzazione di una possente cinta muraria cittadina che ha bloccato i fenomeni di erosione regressiva proteggendo altresì il substrato dall'azione di fenomeni d'alterazione fisica e chimica. Il fabbricato in parola fa parte, con le sue murature di valle, della detta cinta muraria.

Per ciò che concerne la dinamica geomorfologica vi è da dire che l'area in studio, densamente urbanizzata giacché rientra nel perimetro del centro storico, non risulta essere interessata da processi morfologici destabilizzanti attualmente attivi, né si evidenziano testimonianze di recenti attività, per cui si può considerare stabile. Tale condizione di sostanziale stabilità è ulteriormente confermata dal fatto che gli edifici esistenti, prossimi e circostanti al sito in studio e risalenti ad epoche remote, non presentano indizi di lesioni o cedimenti imputabili a movimenti gravitativi.

## 5.4 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

Nei paragrafi che seguono vengono illustrate le caratteristiche idrografiche dell'area in studio, le emergenze idriche naturali, nonché il ruolo idrogeologico dei vari litotipi riconosciuti.

### 5.4.1 Idrografia

L'idrografia dell'area in studio e di quelle immediatamente circostanti risulta inesistente sia per le caratteristiche geomorfologiche, sia per il grado di

antropizzazione in quanto la zona è da tempo urbanizzata per cui le acque correnti superficiali sono tutte canalizzate e regimate da opere antropiche (fossetti di scolo, canalette e fognature).

#### 5.4.2 Idrogeologia e piezometria

Il quadro idrogeologico generale della zona indagata non rivela, nelle vicinanze, la presenza di emergenze idriche degne di nota ne sono stati rilevati pozzi per l'estrazione di acqua. Riguardo la falda se ne può escludere l'esistenza in relazione alle caratteristiche geologico-stratigrafiche della zona. Dalle indagini geognostiche precedentemente eseguite non si segnala, nello spessore di terreno investigato, l'esistenza di percolazioni idriche ne tanto meno della falda freatica. Tuttavia dai sopralluoghi eseguiti è stata rilevata la presenza di stillicidi, emergenti dalle testate degli strati arenacei e legati alla presenza di fratture, raccolti in alcune piccole vasche poste nella parte bassa della scarpata, sia internamente che esternamente al complesso edilizio.

#### 5.4.3 Permeabilità

Rappresenta la proprietà dei terreni a lasciarsi attraversare dall'acqua e quindi esprime la capacità di assorbire le acque di pioggia e di far defluire le acque sotterranee. Riguardo tale caratteristica, i litotipi presenti nella zona possono essere così descritti:

- a) **Substrato:** nell'insieme viene classificato come "*impermeabile*" a causa della predominanza di strati marnoso-argillosi di spessore consistente e notevole continuità laterale che gli conferisce le caratteristiche di aquicludo.

## 6. MODELLAZIONE GEOTECNICA

Dai rilievi geologici, dalle stratigrafie dei sondaggi reperite nonché dall'indagine geofisica è stato possibile effettuare la ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo che viene riportata nelle relative sezioni allegate. In particolare si rileva la presenza del substrato, classificabile come roccia lapidea tenera, costituito dai litotipi arenacei stratificati della *Formazione delle Arenarie di Camerino*. Questa, mascherata localmente dalla cinta muraria, risulta affiorante in più punti all'interno dei numerosi vani che formano la porzione seminterrata dal Palazzo Da Varano.

### 6.1 PRINCIPALI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

I valori medi dei principali parametri geotecnici dei terreni investigati, interessati dalle murature di fondazione, vengono desunti dall'elaborazione dei risultati delle prove di laboratorio e prove penetrometriche dinamiche reperite, riguardanti altre progettazioni ricadenti nelle aree limitrofe e su terreni in tutto comparabili.

Nel complesso si possono così riassumere:

#### - **Litotipo 1: Substrato poco alterato - integro** (Arenarie)

$\gamma$	= peso di volume	= 2,33 – 2,45	g/cm <sup>3</sup>
$\phi$	= angolo di attrito	= 36° - 44°	
Cu	= coesione non drenata	= 10,26 - 23,34	Kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>s</sub>	= modulo di elasticità	= >600	kg/cm <sup>2</sup>
$\nu$	= coefficiente di Poisson	= 0,3	

#### - **Litotipo 2: Substrato poco alterato - integro** (Argille marnose)

$\gamma$	= peso di volume	= 2,15 – 2,29	g/cm <sup>3</sup>
$\phi'$	= angolo di attrito efficace	= 30° - 37°	
C'	= coesione drenata	= 0,2 - 0,7	Kg/cm <sup>2</sup>
Cu	= coesione non drenata	= 2,75 - 4,29	Kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>ed</sub>	= modulo di compressibilità	= 230-250	kg/cm <sup>2</sup>
$\nu$	= coefficiente di Poisson	= 0,3	

### 6.2 ELABORAZIONE DEI VALORI GEOTECNICI CARATTERISTICI

I dati geotecnici di ciascun litotipo individuato sono stati elaborati secondo il

concetto dei valori caratteristici ed espressi in termini statistici, considerando una distribuzione normale per  $\phi$ , e una distribuzione log-normale per  $c$  ed  $E$  come 5° percentile. Questi sono raccolti nelle tabelle allegate:

- **Tabella 1 e 2** - Proprietà indice e caratteristiche meccaniche Litotipo 1: Substrato da poco alterato ad integro, Arenarie – Valori caratteristici e di progetto).
- **Tabella 3 e 4** - Proprietà indice e caratteristiche meccaniche Litotipo 2: Substrato da poco alterato ad integro, Argille marnose – Valori caratteristici e di progetto).

Appresso si riassumono i principali valori geotecnici elaborati, precisati in caratteristici (**Xk**) e di progetto (**Xd**).

#### 6.2.1 Litotipo 1:

Per **GRANDI** volumi di rottura e distribuzione normale ( $\phi$ ) e distribuzione log-normale ( $Cu$ ) e ( $Ed$ ) (fondazioni superficiali, con  $B$  grande)

	$v$	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$Dr$ %	$\phi$	$E$ kg/cm <sup>2</sup>	$cu$ kg/cm <sup>2</sup>	$Ed$ kg/cm <sup>2</sup>
<b>Xk</b>	0,3	2,4			1573,91	12,31	
<b>Xd</b>	0,3	2,4			1259,13	8,80	

Per **PICCOLI** volumi di rottura e distribuzione normale ( $\phi$ ) e distribuzione log-normale ( $Cu$ ) e ( $Ed$ ) (piccoli plinti, pali, in situazioni di rottura locale)

	$v$	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$Dr$ %	$\phi$	$E$ kg/cm <sup>2</sup>	$cu$ kg/cm <sup>2</sup>	$Ed$ kg/cm <sup>2</sup>
<b>Xk</b>	0,3	2,4			1327,71	9,33	
<b>Xd</b>	0,3	2,4			1062,17	6,66	

#### 6.2.1 Litotipo 2:

Per **GRANDI** volumi di rottura e distribuzione normale ( $\phi$ ) e distribuzione log-normale ( $Cu$ ) e ( $Ed$ ) (fondazioni superficiali, con  $B$  grande)

	$v$	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$Dr$ %	$\phi'$	$C'$ kg/cm <sup>2</sup>	$Cu$ kg/cm <sup>2</sup>	$Ed$ kg/cm <sup>2</sup>
<b>Xk</b>	0,3	2,2		20,1	0,19	3,12	
<b>Xd</b>	0,3	2,2		16,3	0,16	2,23	

Per **PICCOLI** volumi di rottura e distribuzione normale ( $\phi$ ) e distribuzione log-normale ( $C_u$ ) e ( $E_d$ )  
(piccoli plinti, pali, in situazioni di rottura locale)

	$V$	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$D_r$ %	$\phi$	$E$ kg/cm <sup>2</sup>	$C_u$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_d$ kg/cm <sup>2</sup>
<b>Xk</b>	0,3	2,2		20,1	0,19	2,67	
<b>Xd</b>	0,3	2,2		16,3	0,16	1,90	

## 7. MODELLAZIONE SISMICA

La **sismicità** (frequenza e forza con cui si manifestano i terremoti) è una caratteristica fisica del territorio, strettamente connessa all'assetto tettonico strutturale che lo contraddistingue ed alla presenza o vicinanza di strutture sismogenetiche attive. Alla base di ogni stima di pericolosità sismica che lo riguarda vi è, oltre all'indispensabile conoscenza della geologia strutturale locale, la conoscenza della sua storia sismica la quale fornisce informazioni sulla frequenza ed energia (magnitudo) dei terremoti che lo hanno caratterizzato. Attribuendo un valore di probabilità al verificarsi, in un certo intervallo di tempo, di un evento sismico con assegnate caratteristiche possiamo distinguere e definire vari gradi di **pericolosità sismica** di un territorio. Tale elemento risulta fondamentale per stabilire, insieme alla **vulnerabilità** (predisposizione di una costruzione o struttura ad essere danneggiata) ed all'**esposizione** (probabilità di subire perdita di vite umane, danni economici e culturali), il **rischio sismico** cui un determinato territorio è soggetto. Quest'ultimo elemento rappresenta quindi la misura, zona per zona, dei danni attesi, in un dato intervallo di tempo, valutati in base al tipo di sismicità, resistenza delle costruzioni e grado di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti).

Ora se da un lato abbiamo molte possibilità per ridurre la vulnerabilità delle costruzioni attuando politiche di prevenzione e messa in sicurezza delle opere antropiche, riducendo con ciò anche l'esposizione, dall'altro non è possibile agire per modificare la pericolosità sismica di un territorio. Infatti la vulnerabilità e l'esposizione derivano da situazioni che dipendono dall'opera dell'uomo e possono essere controllate, mentre la sismicità è una caratteristica fisica del territorio, un fattore naturale che non è possibile controllare né, allo stato attuale, prevedere.

La **pericolosità sismica** può essere tuttavia valutata attraverso specifici studi che riguardano i livelli di scuotimento attesi in un determinato sito in un dato

intervallo di tempo. Essa si compone di due contributi: quello di base e quello locale.

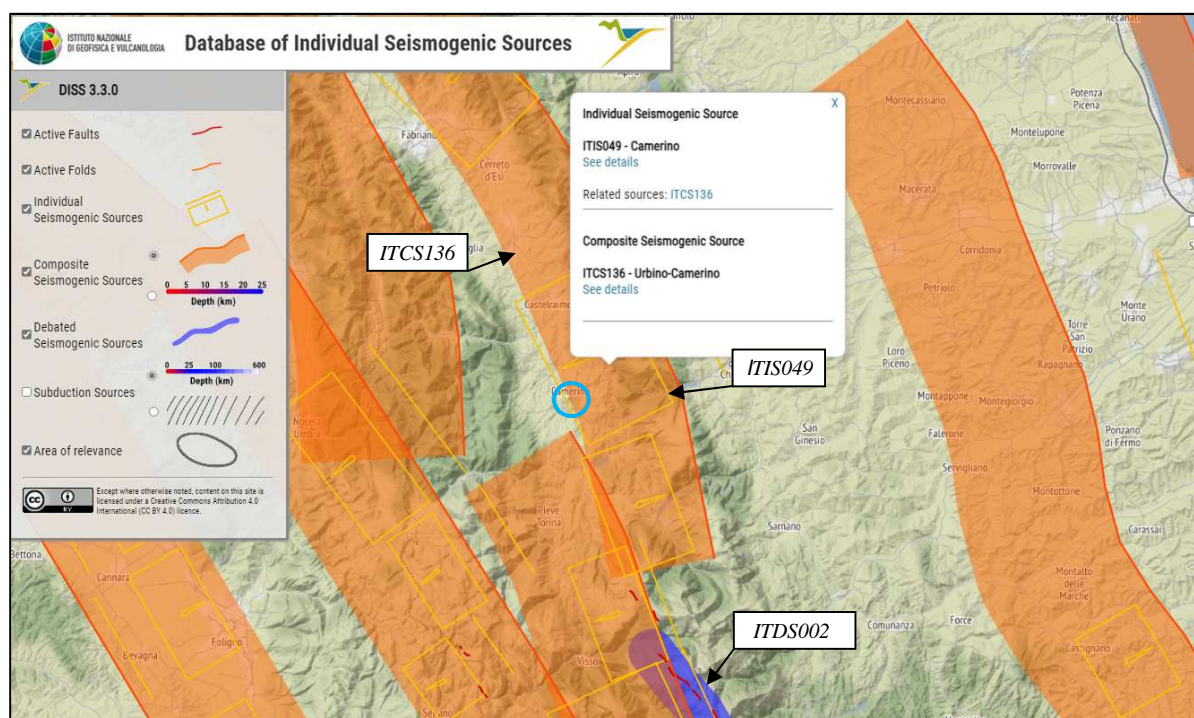
La **pericolosità sismica di base** è espressa mediante un parametro di scuotimento che viene calcolato al “bedrock sismico”, ovvero su una superficie rigida e piana, ed è proprio di ogni sito (accelerazione di picco, accelerazione spettrale, intensità, ecc.); esso deriva da un calcolo probabilistico utilizzato a fini normativi per la realizzazione di mappe di pericolosità a scala nazionale.

La **pericolosità sismica locale** è espressa da un parametro modificatore della pericolosità di base, che permette di valutare l’amplificazione o la deamplificazione attesa sulla base delle caratteristiche geologiche e morfologiche locali. Essa è definita attraverso studi specifici di **Risposta Sismica Locale** che simulano, a partire da un set di accelerogrammi naturali, la propagazione delle onde sismiche nel tratto finale del loro percorso e cioè in quello spazio di terreno compreso tra la formazione rocciosa rigida profonda, “bedrock sismico”, e la superficie. In assenza di tali studi specifici la pericolosità sismica locale può essere definita in maniera semplificata attraverso un coefficiente che deriva dalle caratteristiche litostratigrafiche e topografiche del sito.

Pertanto, nell’ambito della progettazione di opere che incidano a qualsiasi livello sul terreno, risulta basilare conoscere approfonditamente le caratteristiche del territorio, a partire da quelle geologico-strutturali e sismiche regionali, che includono sia la conoscenza delle faglie capaci di generare terremoti nonché deformazioni permanenti in superficie, sia la distribuzione storica ed areale degli eventi sismici passati, da aggiungere alle conoscenze geomorfologiche, idrogeologiche, stratigrafiche e geotecniche del sito di intervento. Queste ultime sono oltremodo utili a stabilire l’eventualità che nella propagazione delle onde sismiche si possano sviluppare effetti locali tali da produrre amplificazioni, anche notevoli, del moto del suolo, liquefazioni del terreno e fenomeni di instabilità.

## 7.1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

Le attuali conoscenze circa l'individuazione delle sorgenti sismiche capaci di generare terremoti potenzialmente distruttivi hanno spinto l'INGV a realizzare una banca dati, definita "Database of Individual Seismogenetic Sources - DISS 3.3.0" (<http://diss.ingv.it/diss330/>), che raccoglie e cartografa tutte le sorgenti sismiche ad ora conosciute relative all'intera penisola italiana (nella seguente fig. 5 si riporta lo stralcio cartografico dell'area umbro-marchigiana) aventi Mw superiore a 5,5.



**Figura 5** Mappa delle aree sismogenetiche nell'area umbro-marchigiana – Database DISS 3.3.0 INGV.

Le linee rosse indicano le faglie attive; i rettangoli gialli con la relativa parallela linea gialla rappresentano le singole sorgenti sismogenetiche e la proiezione in superficie della faglia associata (ITIS = *Sorgente sismogenetica individuale*); le linee e le relative fasce arancioni descrivono strutture comprendenti un numero imprecisato di sorgenti individuali non meglio definite (ITCS = *Sorgente sismogenetica composta*); le zone in blu identificano aree che comprendono faglie potenzialmente sismogenetiche (ITDS = *Sorgente sismogenetica dibattuta*). Il cerchio celeste indica la zona in studio. (DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenetic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) <http://doi.org/10.13127/diss3.3.0>

Dette sorgenti sismiche sono state raggruppate in tre categorie, ovvero: *Composite Sources* (ITCS, strutture sismogenetiche di portata regionale che seguono trend tettonici di cui non è sempre nota la segmentazione), *Individual Sources* (ITIS, segmenti di faglia riconosciuti come causa di uno specifico

terremoto) e *Debated Sources* (ITDS, elementi strutturali ritenuti sismogenetici da alcuni autori ma non completi di elementi e parametri geometrici e cinematici per cui il ruolo sismogenetico rimane dubbio). Per ognuna di queste categorie vengono individuate le strutture primarie, cioè quelle che si prendono carico della maggior parte della deformazione tettonica causando i terremoti principali.

Riguardo le sorgenti che ricadono nella categoria *Composite Sources*, si tratta di strutture interpretate mediante dati regionali, sia di superficie che di sottosuolo, volti ad individuare fasce di grande estensione piuttosto che singoli segmenti di faglia attivi. La lunghezza delle rotture attese non è pertanto definita ne vengono associati terremoti specifici a queste sorgenti sismogenetiche, poiché i dati non consentono una conoscenza di dettaglio; se ne indica però il potenziale sismogenetico attraverso la magnitudo massima attesa.

Le *Individual Sources* sono invece vincolate da dati geologici e geofisici e sono corredate da tutti i parametri geometrici (profondità, inclinazione, lunghezza, ecc...), cinematici (*rake* = dir. di scorrimento rispetto al piano di rottura in superficie) e sismologici (rigetto per singolo evento, magnitudo, tasso di scorrimento, intervallo di ricorrenza).

Le *Debated Sources* rappresentano sorgenti prive di sufficienti vincoli geologico-geofisici e/o di parametri necessari per renderle confrontabili con le altre due categorie e/o il cui ruolo sismogenetico resti dubbio o non suffragato.

In riferimento al DISS 3.3.0, si osserva che l'area interessata dal progetto ricade al bordo occidentale della zona sismogenetica *Urbino-Camerino* (ITCS136), la quale, caratterizzata nella figura 6b e vista come la parte orientale di tutto il sistema estensionale SW-immerso dell'Appennino centrale, risulta composta da un numero imprecisato di sorgenti sismiche distribuite lungo una fascia ben definita; tale fascia ricomprende altresì la sorgente sismica puntuale Camerino (ITIS049), caratterizzata nella figura 6a.

GENERAL INFORMATION				a
DISS-ID	ITIS049			
Name	Camerino			
Compiler(s)	Vannoli P.(1)			
Contributor(s)	Valensise G.(1), Vannoli P.(1), Maesano F.E.(1), Fracassi U.(1)			
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy			
Created	31/05/2005			
Updated	07/07/2020			
Related sources	<a href="#">ITCS136</a>			
PARAMETRIC INFORMATION				
Parameter	Quality	Evidence		
Location [Lat/Lon]	43.17 / 13.09	OD	Based on macroseismic data of the associated earthquake and geological data.	
Length [km]	14.0	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).	
Width [km]	9.5	OD	Based on geological cross sections.	
Min depth [km]	3.0	OD	Based on geological cross sections.	
Max depth [km]	7.8	OD	Based on geological cross sections.	
Strike [deg]	153	OD	Based on geological data.	
Dip [deg]	30	OD	Based on geological cross sections.	
Rake [deg]	270	EJ	Inferred from seismological and geodetic data.	
Slip Per Event [m]	0.70	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).	
Slip rate [mm/y] min...max	0.1000... 0.5000	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.	
Recurrence [y] min... max	1400... 7000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.	
Magnitude [Mw]	6.2	LD	Value adopted from the earthquake catalogue CPTI15.	
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement				
INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES				
Latest Earthquake	28 Jul 1799 CPTI15.			
Penultimate Earthquake	Unknown See Commentary for information.			

GENERAL INFORMATION				b
DISS-ID	ITCS136			
Name	Urbino-Camerino			
Compiler(s)	Vannoli P. (1), Valensise G. (1), Maesano F. E. (1)			
Contributor(s)	DISS W. G. (1)			
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy			
Created	12/10/2020			
Updated	12/10/2020			
Related sources	<a href="#">ITIS049</a>			
PARAMETRIC INFORMATION				
Parameter	Quality	Evidence		
Min depth [km]	2.8	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.	
Max depth [km]	9.2	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.	
Strike [deg] min... max	130...170	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.	
Dip [deg] min... max	20...50	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.	
Rake [deg] min... max	260...280	EJ	Inferred from regional geological data.	
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1000... 0.5000	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.	
Max Magnitude [Mw]	6.9	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.	
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement				

Figura 6 Schede contenenti le caratteristiche delle sorgenti sismogenetiche

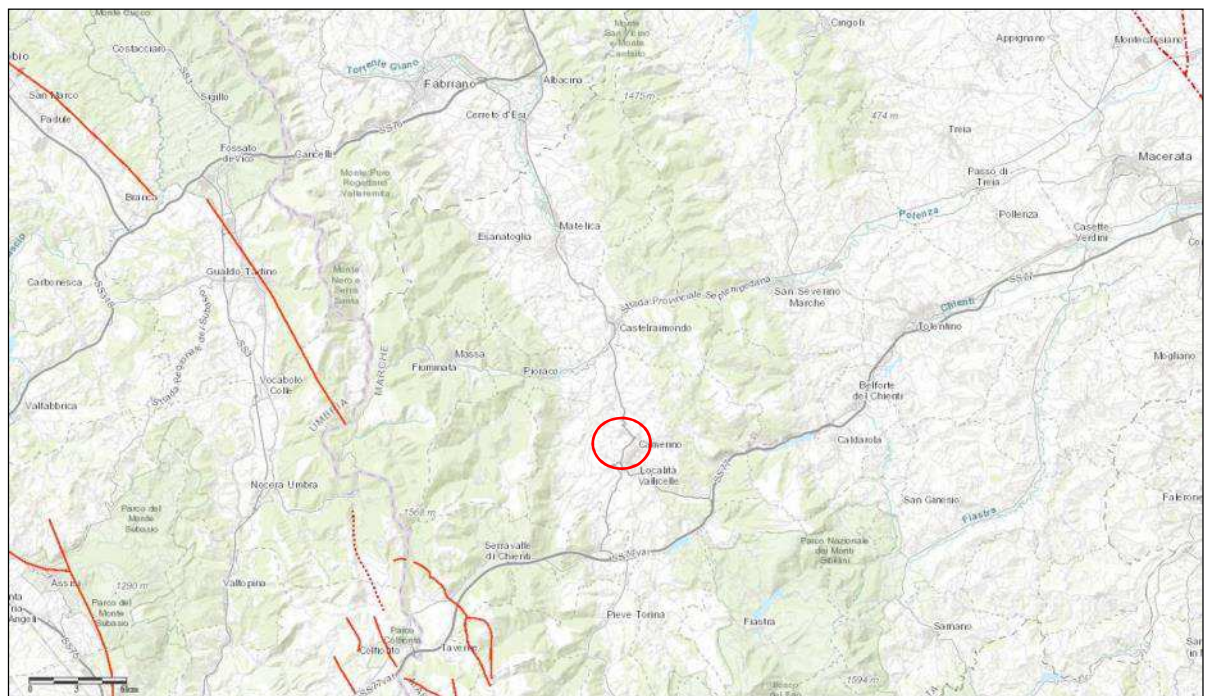


Figura 7 Stralcio cartografico estratto da ITHACA – Catalogo delle faglie capaci.

Le linee rosse continue indicano faglie dirette, quelle tratto-punto indicano faglie inverse e quelle punto-punto faglie oblique. Il cerchio rosso indica l'area in studio

(ITHACA Working Group (2019). ITHACA (Italy HAZard from Capable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRa Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>)

**SGA** V.le G. Mazzini, 23 – 62027 SAN SEVERINO MARCHE (MC) P.IVA 01080970435

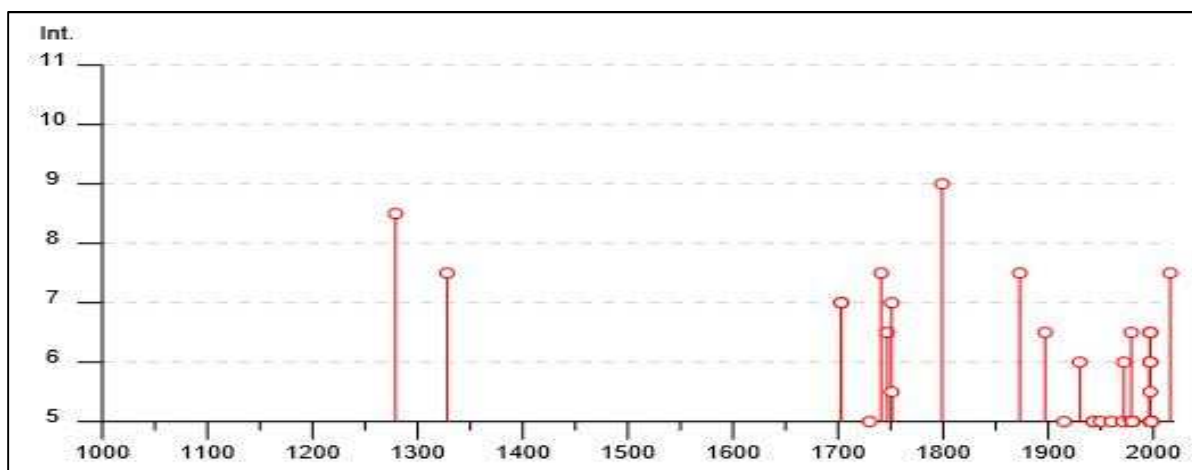
Tel. e Fax +39-0733-645150 email: [info@sgageo.com](mailto:info@sgageo.com) - web: [www.sgageo.com](http://www.sgageo.com)

OPERA DELL'INGEGNO - RIPRODUZIONE VIETATA - OGNI DIRITTO RISERVATO - ART. 99 L. 633/41

Tuttavia da un punto di vista tettonico è stato possibile escludere per il territorio indagato, anche in relazione ai dati pubblicati da ISPRA (vedi fig. 7, Progetto ITHACA) la presenza o la vicinanza di faglie in grado di produrre deformazioni tettoniche permanenti in superficie (faglie attive e capaci).

## 7.2 ATTIVITÀ SISMICA STORICA

Conoscere la storia sismica di un territorio (ubicazione, cadenza temporale, potenza, area investita, ecc. da un terremoto) rappresenta il punto di partenza per un'analisi di pericolosità finalizzata ad una valutazione del corrispondente rischio cui un territorio è soggetto. Tale esercizio si fonda quindi sulla consultazione dei dati di intensità macrosismica, relativi ai terremoti italiani, resi disponibili dall'INGV attraverso il Database Macrosismico Italiano (DBMI15 v3.0), aggiornato alla finestra temporale 1000-2017. Da qui deriva che le conoscenze storiche locali, collegate ad eventi sismici, iniziano solo a partire dal 1279 (figura 8 – Tabella 1). Queste testimoniano che la zona, oltre ad essere stata sede di epicentri sismici di una certa importanza, ha risentito anche dei terremoti che negli ultimi 740 anni hanno avuto per lo più epicentro nell'Appennino centrale e centro meridionale.



**Figura 8** sequenza storica dei terremoti occorsi e risentiti nella zona di Camerino aventi  $I_s > 5$  (da Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>)

Terremoti al di sopra della soglia di danno accaduti o risentiti nella zona di Camerino (1279-2017)						
Numero totale degli eventi: 27						
Effetti	Terremoti					
Is	Anno Me Gi Or Mi Se	Area epicentrale	nMDP	Io	Mw	
8-9	1279 04 30 18	Camerino	17	9	6.20	
7-8	1328 12 01	Valnerina (Norcia)	13	10	6.49	
7	1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6.62	
7	1703 01 16 13 30	Appennino Laziale-abruzzese	22			
5	1730 05 12 04 45	Valnerina (Norcia)	115	9	6.04	
7-8	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9	6.17	
6-7	1747 04 17	App. umbro-marchigiano (Fiuminata)	63	9	6.05	
7	1751 07 27 03	App. umbro-marchigiano (G.Tadino)	66	10	6.38	
5-6	1751 10 03	App. umbro-marchigiano	1	5-6	4.40	
9	1799 07 28 22 05	App. marchigiano (Camerino)	70	9	6.18	
7-8	1873 03 12 20 04	App. marchigiano	196	8	5.85	
6-7	1897 09 21	Marche settentrionali	44	7	5.40	
5	1915 01 13 06 52 43	Marsica	1041	11	7.08	
6	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83	
5	1943 03 25	Marche meridionali	15	6	4.85	
5	1943 10 03 08 28 29	Ascolano (Offida)	170	8	5.67	
5	1950 05 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5.69	
5	1960 02 24 01 51	Appennino umbro-marchigiano	25	5	4.32	
5	1971 04 02 01 43 54	Valnerina	68	6	4.50	
6	1972 11 26 16 03	Marche meridionali (Montefortino)	73	8	5.48	
6-7	1979 09 19 21 35 37	Valnerina	694	8-9	5.83	
5	1980 02 28 21 04 40	Valnerina	146	6	4.97	
5	1980 05 24 20 16 04	Monti Sibillini	58	5-6	4.48	
5	1980 11 23 18 34 52	Irpinia - Basilicata	1394	10	6.81	
6-7	1997 09 26 09 40 25	Appennino umbro-march.	869	8-9	5.97	
5	1998 03 26 16 26 17	Appennino umbro-march.	409	6	5.26	
7-8	2016 10 30 06 40 17	Valnerina	379	6	6.61	

**Tabella 1** Terremoti al di sopra della soglia di danno risentiti nella zona di Camerino (da Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>) (orario di riferimento UTC - Universal Time Coordinated)

Is=intensità localmente risentita; nMDP=numero di osservazioni; Io=Intensità epicentrale; Mw=magnitudo momento

La tabella precedente riassume gli eventi più importanti che hanno interessato il territorio comunale con l'esclusione delle cosiddette "repliche", ovvero scosse registrate entro 90 giorni e ad una distanza di 30 km dall'epicentro di un evento

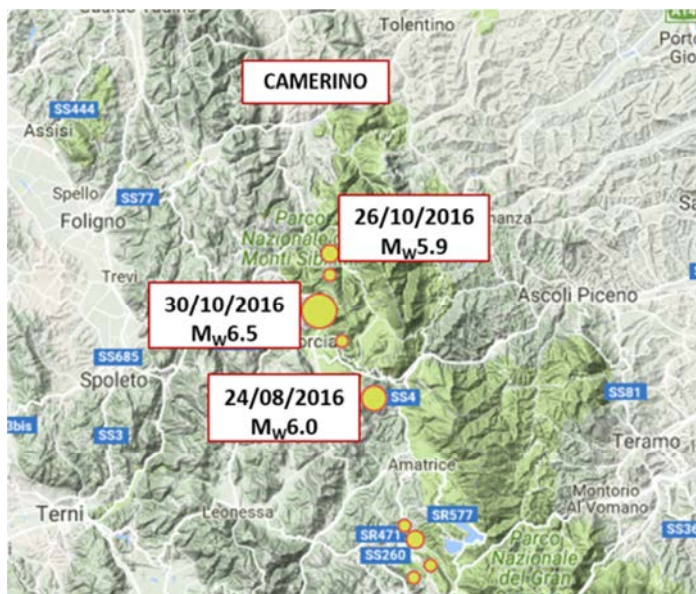
individuato come principale all'interno di una sequenza.

Da questa tabella si evince un andamento temporale dei terremoti più forti abbastanza irregolare. Infatti a quelli distruttivi del 1279 (area epicentrale vicina o addirittura coincidente con quella della crisi sismica del 1997) e del 1328 è seguito, secondo i cataloghi, un periodo di attività sismica abbastanza modesta (completezza delle informazioni storiche permettendo), interrotto bruscamente, all'inizio del secolo XVIII, dal grande terremoto dell'appennino reatino (1703 – tre forti scosse del 14, 16 gennaio e 2 febbraio, la prima delle quali rase al suolo Norcia), al quale ha fatto seguito un periodo di intensa attività sismica durato tutto il secolo XVIII. Infatti in tale periodo una serie di eventi ha prodotto gravi danni nella zona, culminando con il terremoto distruttivo del 1799 con epicentro stimato nelle vicinanze di Camerino.

Nei due secoli successivi l'attività sismica è stata elevata, senza tuttavia raggiungere i livelli del XVIII secolo. Gli ultimi decenni hanno invece fatto riscontrare una consistente ripresa dell'attività sismica che ha interessato vaste porzioni dell'Appennino Centrale [Valnerina 1979, Umbria-Marche 1997, Aquilano 2009, Abruzzo-Umbria-Marche-Lazio 2016] con sequenze che hanno perdurato per parecchi mesi.

Tra queste, quella del 1997 ha provocato numerosi e diffusi danneggiamenti, anche con livelli elevati, per lo più al patrimonio edilizio vecchio, con rari fenomeni di crollo. Talora hanno subito gravi danni anche gli edifici più nuovi, specialmente laddove le particolari condizioni litostratigrafiche e geomorfologiche hanno dato luogo ad amplificazioni del moto sismico. Riguardo la crisi sismica recente (figura 9), che ha prodotto gli eventi dei giorni 24 agosto 2016 (Mw massima di 6.1), 26 ottobre (Mw massima di 5.9) e 30 ottobre (Mw massima di 6.61), si rileva un livello di danneggiamento diffuso, riferibile a fenomeni di intensità **Is** valutabile superiore a 8, di larga parte del patrimonio edilizio antico e di una consistente percentuale di

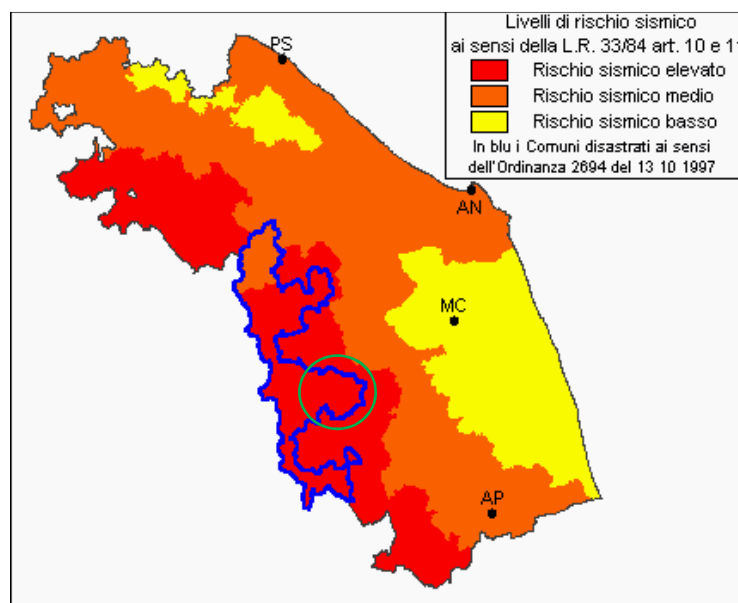
quello risalente al secolo scorso con crolli parziali e, più raramente totali, degli edifici. Come anche per la precedente crisi sismica del 1997 hanno subito gravi danni anche numerosi edifici di recente o nuova costruzione laddove si sono verificati, a causa delle particolari condizioni litostratigrafiche e geomorfologiche, fenomeni di amplificazione sismica.



**Figura 9** Ubicazione eventi della sequenza sismica dell'Italia Centrale del 2016-2017 caratterizzati da magnitudo momento superiore a 5.

### 7.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Il comune Camerino è classificato sismico fin dal 1983 a seguito del DM 10 febbraio 1983 che, emanato ai sensi della legge sismica 64/74, lo includeva nella seconda categoria di sismicità (grado di sismicità  $S=9$ ) su una base di 3 gradi istituiti a livello nazionale (alta  $S=12$ , media  $S=9$  e bassa sismicità  $S=6$ ). In conseguenza di questa classificazione la Regione Marche ha emanato la L.R 33/1984 "Norme per le costruzioni in zona sismica", seguita dalla Circolare 15/1990 che classificava i comuni su tre livelli di rischio sismico, A (elevato), B (medio), C (basso) come rappresentato in figura 10, facendo ricadere il comune di Camerino nel livello di rischio elevato.

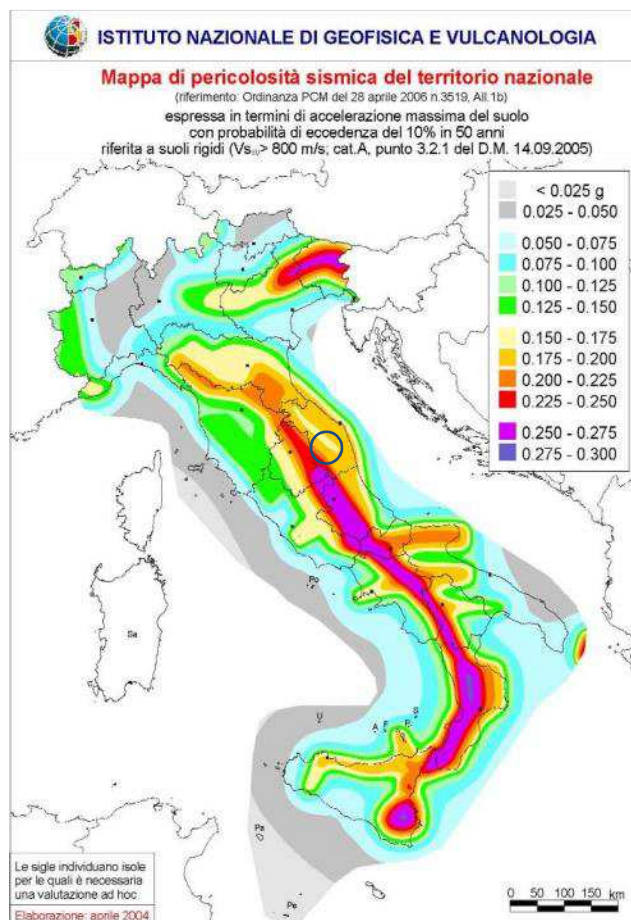


**Figura 10** Carta del livello del rischio sismico delle Marche. Il cerchio verde comprende il territorio comunale di Camerino.

Successivamente, l'aggiornamento della classificazione sismica nazionale, stabilita con Ordinanza 3274 del 20.03.2003, recepita dalla Regione Marche con DGR 1046 del 29.07.2003 e aggiornata con DGR 136 del 17.02.2004, distingue il comune nella Zona 2, come riportato graficamente nella mappa di cui all'allegato B dell'Ordinanza 3519 del 28.04.2006 (figura 11), assegnando poi con l'Ordinanza 3907 del 13.11.2010 - allegato 7, un valore di base di accelerazione massima del suolo  $a_g$  pari a **0,217273**.

Relativamente alle costruzioni, l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione dalle NTC 2018, viene definita a partire dalla "*pericolosità sismica di base*" del sito di costruzione.

Questa si può ritenere precisata quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti in condizioni di campo libero su suolo rigido ( $V_s > 800$  m/s), con superficie topografica orizzontale.



**Figura 11** Carta della pericolosità sismica nazionale. Il cerchio verde comprende il territorio comunale di Camerino.

Le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri valutati in condizioni ideali di sito, come definiti nell'Allegato A alle NTC08:

$a_g$  = *accelerazione orizzontale massima* (espressa in g/10);

$F_0$  = *valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale* (adimensionale);

$T^*_c$  = *periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale* (espresso in secondi).

I valori di questi parametri vengono forniti dall'Allegato B delle NTC08, per 10.751 punti che definiscono i nodi di un *reticolo di riferimento*, a maglia quadrata con lato di circa 10 km, in cui è suddiviso tutto il territorio nazionale.

Poiché la stima dei parametri spettrali deve essere effettuata direttamente per il sito in esame, qualora questo non ricada in uno dei suddetti nodi del *reticolo di riferimento*, i valori possono essere calcolati, attraverso l'espressione [3] dell'allegato A del D.M. 14/01/2008, come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame.

#### 7.4 RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO

Come detto i valori dei parametri sopra elencati sono riferiti a situazioni geologiche equivalenti ad un sito con assenza di effetti locali, ovvero con presenza di substrato sismico ( $V_s > 800 \text{ m/s}$ ) affiorante o subaffiorante ed in condizioni morfologiche pianeggianti. Nella realtà il moto generato da un sisma in un determinato sito dipende anche dalle particolari condizioni locali e cioè: conformazione morfologica (superficiale e sepolta), assetto stratigrafico dei terreni e degli ammassi rocciosi e relative proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono, caratteristiche idrogeologiche, presenza di cavità e discontinuità tettoniche. Tutti questi elementi contribuiscono a determinare, in particolare nei passaggi tra mezzi con proprietà nettamente differenti (ad es. substrato roccioso rigido e terreni superficiali soffici), modifiche alla propagazione di un segnale sismico (risposta sismica locale) potendo generare nell'area di nostro interesse amplificazioni del moto del suolo e/o ulteriori elementi di pericolosità come liquefazione dei terreni sabbiosi saturi, compattazione dei terreni granulari non saturi, fenomeni di instabilità dei pendii, sia rapidi (crolli e colate) sia lenti (scivolamenti e deformazioni), e subsidenza. Vanno quindi valutati gli effetti della **Risposta Sismica Locale**, nonché esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di instabilità o di grandi deformazioni del suolo (v. D.M. 17/01/2018 - Risposta sismica e stabilità del sito e C7.11.3.1).

Tuttavia, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni non assumano particolari connotazioni di variabilità, in alternativa agli studi di risposta sismica locale la normativa consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico tramite un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di:

- *categoria del suolo di fondazione* mediante la stima del parametro  $V_{S,eq}$  e, di conseguenza, la valutazione dell'incremento sull'azione sismica (tabella 3.2.IV, Cap 3.2 D.M. 17/01/2018);
- *categoria topografica* e relativo coefficiente di amplificazione (tabelle 3.2.III e 3.2.V, Cap 3.2 D.M. 17/01/2018).

#### 7.4.1 Categoria del suolo di fondazione

La definizione della categoria di suolo di fondazione si basa sulla profondità del **substrato sismico** ( $V_s > 800$  m/s) la quale è riferita al piano di imposta per le fondazioni superficiali ed alla testa dei pali per quelle profonde. Per le opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera, mentre per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per le zone in cui la profondità del substrato sismico è inferiore a 30 metri, la velocità delle onde di taglio è definita dal parametro  $V_{S,eq}$  ottenuta ponendo nella seguente formula  $H$  uguale alla profondità del substrato stesso, considerando quindi le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità; diversamente, qualora la profondità del substrato sismico risultasse superiore a 30 metri allora la velocità delle onde di taglio verrebbe definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo nella seguente formula  $H=30$  metri, tenendo parimenti conto delle proprietà dei terreni fino a tale profondità.

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (3.2.1 \text{ delle NTC})$$

dove:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;

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

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s (substrato sismico).

Per quanto riguarda il complesso edilizio oggetto di intervento, avendo esso fondazioni superficiali, si considererà una profondità media della base di imposta di un metro.

La caratterizzazione geofisica necessaria a definire la categoria di suolo di fondazione è stata eseguita tramite l'utilizzo della prova Down Hole, realizzata dallo scrivente per il progetto di microzonazione sismica comunale, e lo studio delle curve H/V (HVSr) riguardanti tre acquisizioni, di cui due effettuate all'interno dell'Orto Botanico, ai piedi delle mura di valle, ed una in piazza Cavour. Dall'elaborazione dei dati delle prove anzi dette e dalla loro interpolazione è stato costruito il modello sismostratigrafico sulla base del quale sono state valutate le  $V_s$  per ciascun sismostrato. Come si può vedere dal modello (figura 12 e relativo allegato), nell'ambito di uno stesso sismostrato si riscontrano delle differenze di velocità dovute al detensionamento dei litotipi per la prossimità al piano campagna o per lo stato di fratturazione ed alterazione; in particolare nella zona dell'Orto Botanico gli strati marnosi mostrano una velocità più bassa, in quanto prossimi al piano campagna, rispetto a quanto rilevato sulla verticale di Piazza Cavour dove sottostanno ad uno spessore di oltre 20 metri di arenarie.

Riguardo la definizione della categoria di suolo di fondazione secondo la formula 3.2.1 delle NTC, poiché le murature di fondazione poggiano direttamente sui litotipi del substrato, non è stato tenuto conto, rispetto ai profili delle velocità delle onde di taglio emerse dalle prove Down hole e HVSr, dei primi 2-3 metri di terreno corrispondenti prevalentemente a riporti e/o colluvioni. Al di sotto di questi si rileva, per ulteriori 2-4 metri di spessore, il substrato alterato con velocità delle onde

di taglio comprese tra 300 e 420 m/s per la zona dell'Orto Botanico e di 450 m/s per la zona di Piazza Cavour, quindi la parte pressoché integra del substrato dove le velocità delle onde di taglio superano, anche se di poco, gli 800 m/s. All'interno della porzione integra si individuano, nondimeno, alcuni livelli di spessore medio di 5 metri che presentano velocità delle onde di taglio intorno a 500 m/s.

L'oggettiva valutazione di queste inversioni di velocità ha, in fase di analisi, indotto a valutare superiore a 40 metri la profondità del substrato sismico rispetto al piano delle fondazioni; ciò ha portato a definire la velocità delle onde di taglio secondo il parametro  $V_{S,30}$ .

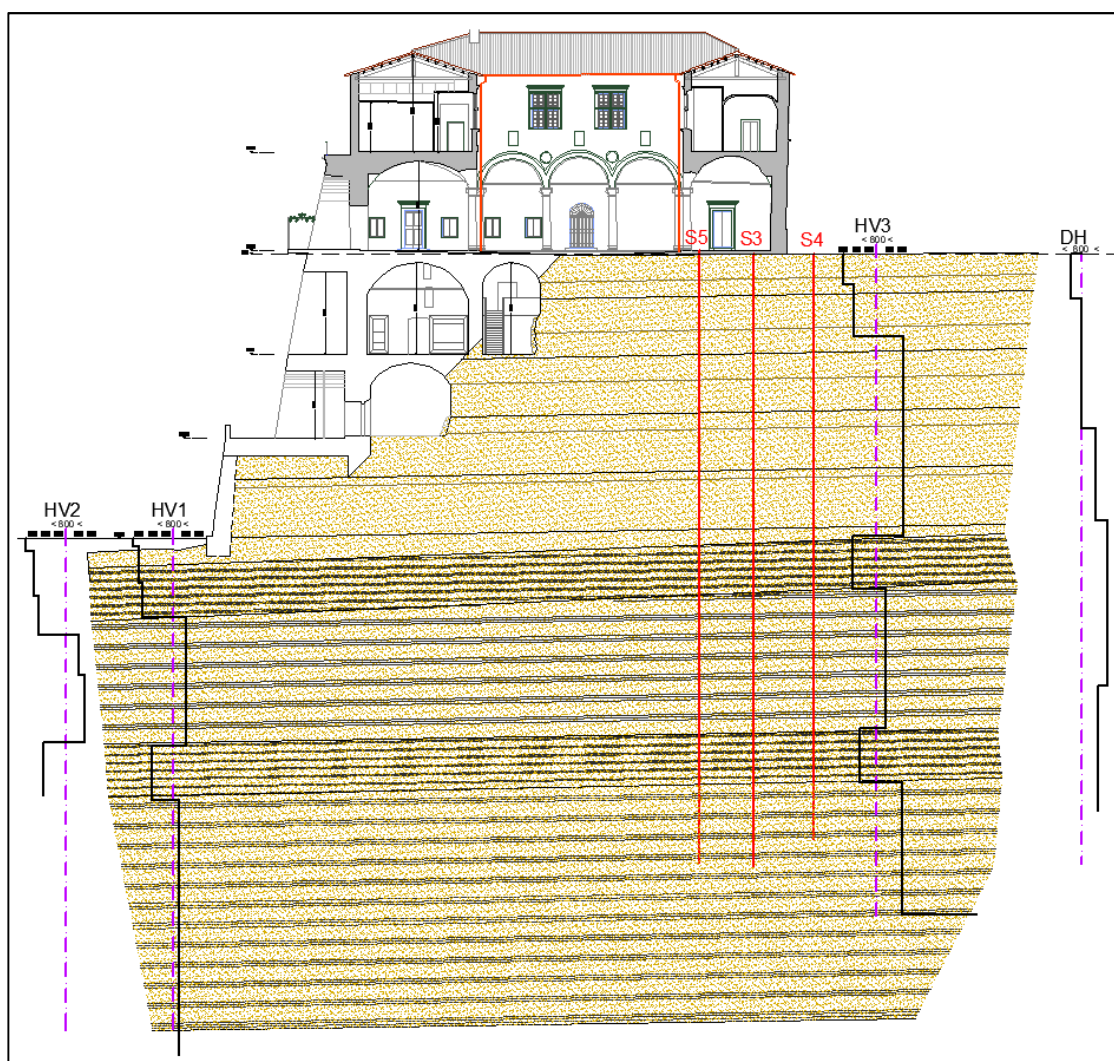


Figura 12 Sezione lito-sismo stratigrafica

L'elaborazione dei dati, tenendo conto di quanto sopra detto, ha fornito i seguenti profili verticali delle Vs:

1 - Orto Botanico		2 - Piazza Cavour	
Spessore (m)	Vs	Spessore (m)	Vs
2.0	300	3.9	450
2.9	420	15.0	950
9.2	850	4.0	450
4.0	480	7.1	830
11.9	830		

**Tabella 2** Profili delle velocità delle onde di taglio

Nel caso particolare, nello spessore di terreno compreso tra la base fondale ed il substrato sismico si calcolano, applicando la formula 3.2.1 delle NTC ai dati di cui sopra, le seguenti velocità medie:

$$1) V_{seq} = 637 \text{ m/s}$$

$$2) V_{seq} = 716 \text{ m/s}$$

Dalle prove geofisiche eseguite si rilevano, quindi, dei differenti comportamenti del terreno alle sollecitazioni sismiche che tuttavia convergono, nella valutazione globale del sistema geologico, a definire un terreno di fondazione di categoria **B**.

Appresso si riporta la tabella 3.2.II delle NTC 2018 in cui vengono dettagliate le categorie di suolo di fondazione per l'utilizzo dell'approccio semplificato:

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

**Tabella 3** Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato (tab. 3.2.II NTC2018)

#### 7.4.2 Coefficiente di amplificazione topografica

Dato che il complesso edilizio oggetto di intervento comprende una scarpata di altezza inferiore a 30 metri posta al culmine di un versante contraddistinto da una pendenza media inferiore a  $15^\circ$ , in base alla tabella 3.2.III del cap. 3.2 delle NTC la zona è ascrivibile alla categoria **T1** applicando, in riferimento alla tabella 3.2.V del cap. 3.2 delle NTC, un valore del *coefficiente di amplificazione topografica*  $S_T = 1,0$ .

### 7.5 AZIONE SISMICA

In relazione alle suddivisione del territorio nazionale in un reticolo a maglia quadrata di circa 10 km di lato, in cui ciascun nodo è contrassegnato da un diverso valore dei parametri spettrali ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_c$ ) si allegano le tabelle che seguono relative ad ogni singolo fabbricato, ricavate con il software GEOSTRU (Geostru-PS), utile per individuare i parametri sismici per un tempo di ritorno assegnato in funzione del periodo di riferimento ed in base alla corrispondente probabilità di superamento.



**Figura 13** Reticolo sismico di riferimento e individuazione dei fabbricati.

Il *Periodo di riferimento*  $V_R$  è calcolato in funzione della *Vita nominale*  $V_N$  dell'opera da realizzare e del *Coefficiente d'uso*  $C_U$  dipendente dalla sua classe d'uso. Nel caso specifico, trattandosi di strutture cui sono richieste prestazioni ordinarie, la vita nominale, definita come il numero di anni nel quale queste, purché soggette a manutenzione ordinaria, devono potere essere usate per lo scopo al quale sono destinate, viene definita pari a 50 anni.

Per ciò che concerne la classe d'uso, il complesso edilizio, essendo destinato all'insegnamento e ad uffici, rientra nella 3 da cui deriva un coefficiente d'uso pari a 1,5.

## 7.6 PARAMETRI SISMICI

Di seguito si allega la tabella dei parametri sismici, da utilizzare per il calcolo delle fondazioni, elaborati tramite l'applicazione **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>.

## Tabella parametri sismici

### Sito in esame.

latitudine: 43,136663 [°]

longitudine: 13,069732 [°]

Classe d'uso: **III** – *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi*

Vita nominale: **50** [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

### Siti di riferimento

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	22970	43,133930	13,010500	4815,9
Sito 2	22971	43,134190	13,079010	801,5
Sito 3	22749	43,184200	13,078660	5335,2
Sito 4	22748	43,183930	13,010130	7141,1

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **B**

Categoria topografica: **T1**

Periodo di riferimento: **75 anni**

Coefficiente  $c_u$ : **1,5**

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	Ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	45	0,078	2,438	0,285
Danno (SLD)	63	75	0,097	2,432	0,295
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,221	2,544	0,332
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,277	2,584	0,343

### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,410	1,000	0,019	0,009	0,921	0,200
SLD	1,200	1,400	1,000	0,023	0,012	1,144	0,200
SLV	1,180	1,370	1,000	0,073	0,036	2,552	0,280
SLC	1,110	1,360	1,000	0,086	0,043	3,014	0,280

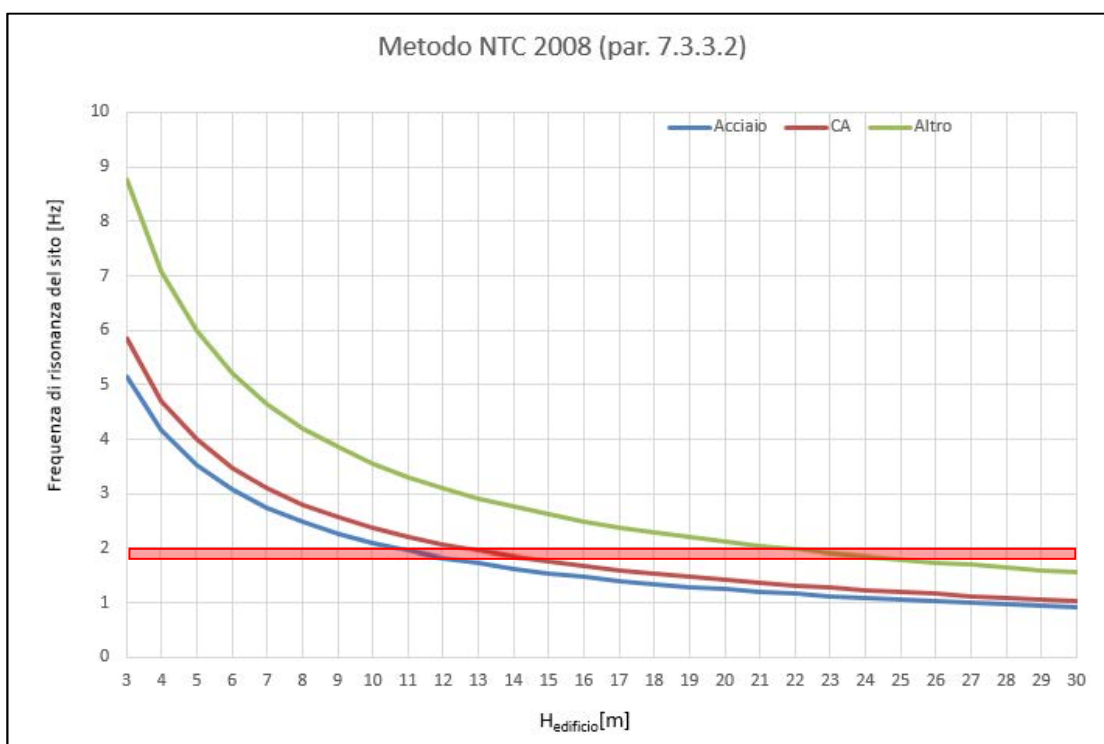
Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

## 7.7 FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO

Conoscere la frequenza di risonanza di un sito è di fondamentale importanza poiché una delle cause di danneggiamento strutturale in occasione di un terremoto è data dal fenomeno della doppia risonanza, cioè coincidenza delle frequenze proprie della struttura e del sottosuolo.

Una struttura si ritiene salva dalla possibilità di doppia risonanza col terreno solo quando la frequenza propria differisce (mediamente entro un 30%) da quelle principali del terreno. Riguardo tale aspetto l'acquisizione dei microtremori ha messo in evidenza la presenza di un contrasto di impedenza sismica, localizzato all'interno delle frequenze di interesse ingegneristico, solamente per la HVS2, ubicata all'interno dell'Orto Botanico, che viene di seguito riportato:

$$\text{HVS2} = f_0 \text{ 1,8 Hz} \quad A_0 = 2,7 \text{ H/V}$$



**Figura 14** Relazione tra la frequenza principale del primo modo flessionale ed altezza di edifici in acciaio, cemento armato e muratura.

Nel contesto degli studi per la mitigazione degli effetti dei terremoti è ormai opinione concorde che le azioni sismiche di progetto per le costruzioni debbano essere inclusive degli effetti di sito e che pertanto è bene tenere nella debita considerazione anche questo ulteriore tipo di informazione.

Nel caso specifico valuti il progettista se la tipologia di edificio in oggetto, per il quale è possibile determinare, in via teorica piuttosto che in via diretta, il modo di vibrare nonché la frequenza (in funzione dell'altezza e della tipologia), possa esibire frequenze prossime o coincidenti con quelle del terreno e tali da manifestare l'insorgenza del fenomeno della "doppia risonanza".

## 7.8 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione riguarda i depositi superficiali di terreni incoerenti o debolmente coerenti, in presenza di falde acquifere, ed è una delle manifestazioni idrogeologiche più evidenti che possono essere causate da un terremoto. Esso è dato dall'annullamento temporaneo della resistenza al taglio del terreno, in particolare durante lo scuotimento sismico, che conduce ad un comportamento meccanico tipico dei fluidi. Alla base del fenomeno c'è un aumento repentino delle pressioni interstiziali all'interno di un volume di terreno sciolto, saturo in condizioni non drenate. Questo aumento di pressione dell'acqua circolante nei pori ha come conseguenza la riduzione, fino all'annullamento, della resistenza al taglio del deposito. Se si esprime la resistenza al taglio  $\tau$  con la relazione di Coulomb

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$$

dove:

$c$  = coesione del terreno

$\sigma_{v0}$  = pressione litostatica totale agente alla profondità di indagine

$u$  = pressione interstiziale dell'acqua

$\varphi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno

è evidente che la grandezza  $\tau$  si può annullare solo nel caso in cui siano verificate

le condizioni:

**a)**  $c = 0$

**b)**  $(\sigma_{v0} - u) = 0$

La condizione **a)** vieta che il fenomeno possa avvenire in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione **b)** si verifica quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata, ad una data profondità, dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ( $\sigma_{v0} = u$ ).

Questo fenomeno è profondamente influenzato dal numero dei cicli  $N$  del terremoto, dalla densità relativa  $D_r$  e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di  $N$ .

In definitiva il fenomeno della liquefazione può manifestarsi preferibilmente in depositi sciolti (sabbie, sabbie limose), non coesivi, posti sotto falda ed in seguito ad eventi, quali quelli sismici, che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua. Infatti le azioni cicliche di un sisma hanno l'effetto di generare fenomeni di sovrappressione interstiziale in condizioni non drenate in quanto la rapidità dei processi di sollecitazione non consente la dissipazione delle pressioni che si accumulano nel fluido.

Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa di terreno resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità. I depositi potenzialmente liquefacibili, sottoposti allo scuotimento sismico, tendono ad addensarsi dando luogo a deformazioni permanenti significative e l'acqua, costretta a trovare una via di fuga, risale verso l'alto portando con sé del materiale che sottrae dal sottosuolo e deposita in superficie.

Come prescritto dalle N.T.C. 2018 (par. 7.11.3.4) il sito in cui è ubicato un

manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione. Qualora non lo fosse e gli effetti ipotizzati tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati profondi non soggetti a liquefazione.

Secondo quanto disposto dalla suddetta normativa, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 13 **a** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 13 **b** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

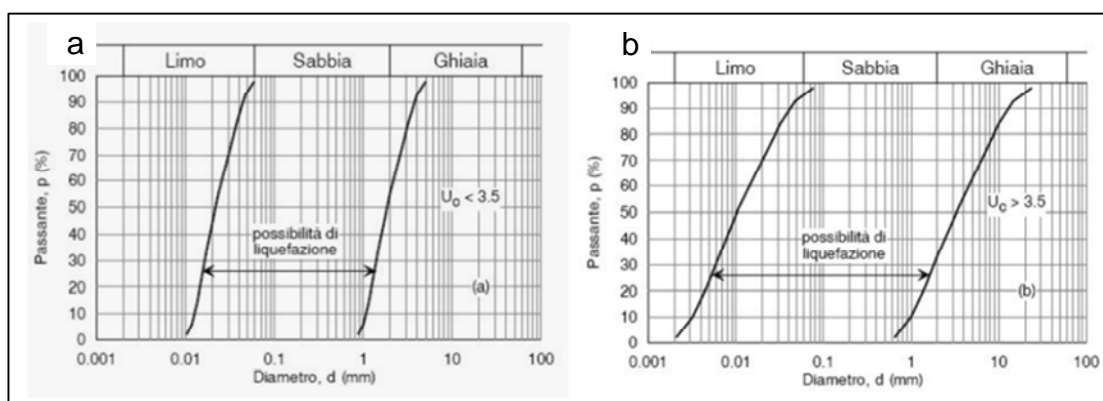


Figura 15 Liquefazione: fusi granulometrici di riferimento.

Le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni di appoggio del fabbricato (substrato lapideo costituito da alternanze di arenarie e marne argillose) e l'assenza della falda rendono non necessaria la verifica alla liquefazione.

## 8. RAPPORTI CON IL PAI

L'intera area in studio non è compresa nelle perimetrazioni di rischio e pericolosità rilevate dal PAI (Piano Assetto Idrogeologico) per cui non vi sono, in rapporto a questi aspetti, interferenze e limitazioni. A tal proposito si riporta in allegato lo stralcio cartografico estratto dal sito dell'AdB delle Marche riguardante il PAI vigente, conseguente all'Aggiornamento generale redatto nel 2016.

## 9. INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA

La zona, in cui ricade il complesso edilizio oggetto di intervento, rientra in quelle caratterizzate nell'ambito delle indagini di microzonazione sismica di **primo e terzo livello**, attraverso le quali è stato suddiviso il territorio edificato del comune di Camerino in aree qualitativamente omogenee realizzando la *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)*, della quale si riporta in allegato lo stralcio contenente l'area di interesse, e la conseguenziale *Carta della Microzonazione Sismica*.

La prima carta definisce, sulla base della raccolta di dati geologici e geomorfologici integrati da valutazioni ed analisi dei dati litostratigrafici, geotecnici e geofisici, il territorio in unità che presentano medesime caratteristiche sotto il profilo dell'acclività, della stratigrafia (tipologia dei litotipi e spessori), delle proprietà geotecniche e geomeccaniche dei terreni presenti. Alla definizione di queste unità concorre, inoltre, la potenziale suscettibilità dei terreni ad alterazioni derivanti da fenomenologie indotte dal sisma quali: amplificazione del moto del suolo, innesco di frane, modificazioni permanenti del suolo, liquefazione dei terreni, cedimenti differenziali etc. In ultima analisi tali unità vengono distinte in tre diverse categorie a cui si associano differenti comportamenti sotto sollecitazione sismica:

- 1) zone stabili prive di amplificazioni locali; zone dove non si ipotizzano effetti locali di rilievo (in genere, aree con substrato affiorante o sub-affiorante,

caratterizzato da velocità delle onde di taglio maggiori ad 800 m/sec., in presenza di topografia con acclività inferiore a 15°).

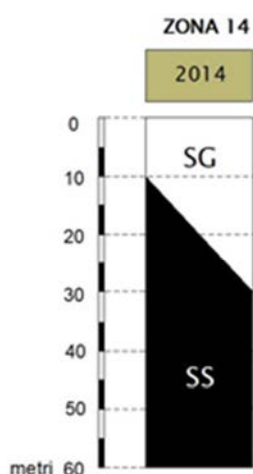
2) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: zone dove sono attese amplificazioni del moto sismico condizionate dalla morfologia locale e dalla litostratigrafia; in particolare:

- ✓ assetto topografico; aree caratterizzate da scarpate con altezza superiore ai 10 metri, creste e cocuzzoli con inclinazione dei versanti superiore a 15°;
- ✓ assetto stratigrafico; aree con substrato affiorante o sub-affiorante, caratterizzato da velocità delle onde di taglio inferiori ad 800 m/sec; aree con depositi di versante e quelle lungo le vallate con depositi a granulometria grossolana o medio-fine. In presenza di depositi medio-fini si attendono i massimi effetti di amplificazione locale.

3) zone suscettibili di instabilità; zone dove gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del suolo (aree caratterizzate da instabilità di versante, liquefazioni, cedimenti differenziali, faglie attive e capaci).

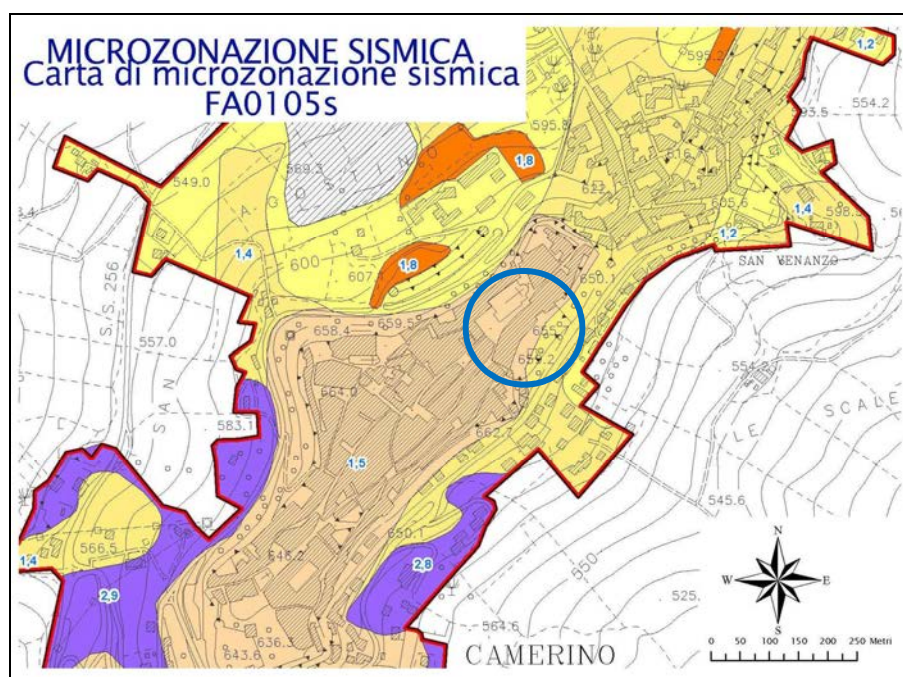
Sulla base delle categorie sopra esposte e delle tipologie e spessori dei terreni sono state determinate varie successioni stratigrafiche che definiscono e rappresentano le diverse microzone.

Riguardo l'area in studio, essa ricade nella categoria delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ed in particolare nella microzona 2014 che, nella relazione accompagnatoria agli studi di primo livello, viene così descritta:



l'area è caratterizzata dall'affioramento del substrato geologico distinto, per uno spessore che va da 10 a 30 metri, in non rigido in quanto rappresentato dalla porzione alterata e decompressa dei litotipi che costituiscono la *Formazione delle Arenarie di Camerino* e la *Formazione dello Schlier*, poggiante su un substrato geologico rigido costituito dalla porzione integra delle stesse formazioni. Tale distinzione che ha portato a considerare la porzione alterata del substrato come non rigido e la porzione integra come rigido, è scaturita da considerazioni effettuate sulla base delle interpretazioni dei dati emersi principalmente dall'esecuzione dei down hole.

La *Carta della Microzonazione Sismica* discende dalle analisi di risposta sismica locale, eseguite attraverso modellazioni 1D e 2D applicate alla carta delle MOPS, e riporta i fattori di amplificazione sismica differenziati per aree ritenute omogenee. Questo elaborato è distinto in tre cartografie, secondo i seguenti periodi di riferimento: 0,1-0,5s, 0,4-0,8s e 0,7-1,1s di cui si riportano gli stralci nelle seguenti figure; a queste classificazioni si farà riferimento sulla base dei periodi attribuibili alle differenti tipologie di strutture. In particolare si osserva che per l'area in cui ricade il complesso edilizio in oggetto il fattore di amplificazione sismica FA è, rispettivamente, pari a 1,5, 1,4 e 1,4.



**Figura 16** Carta del Fattore di Amplificazione sismica nel periodo 0,1 - 0,5s.

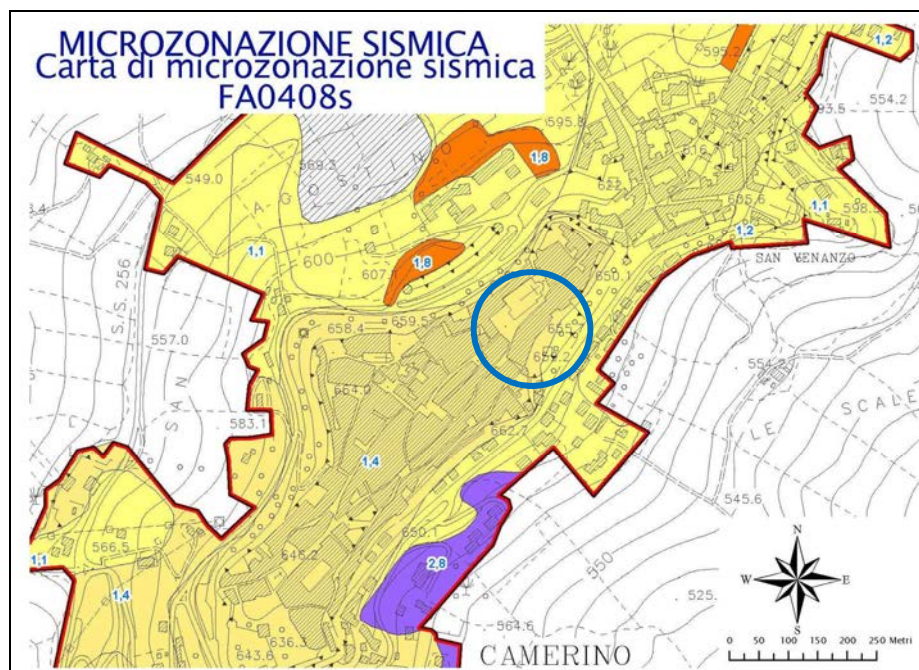


Figura 17 Carta del Fattore di Amplificazione sismica nel periodo 0,4 - 0,8s.

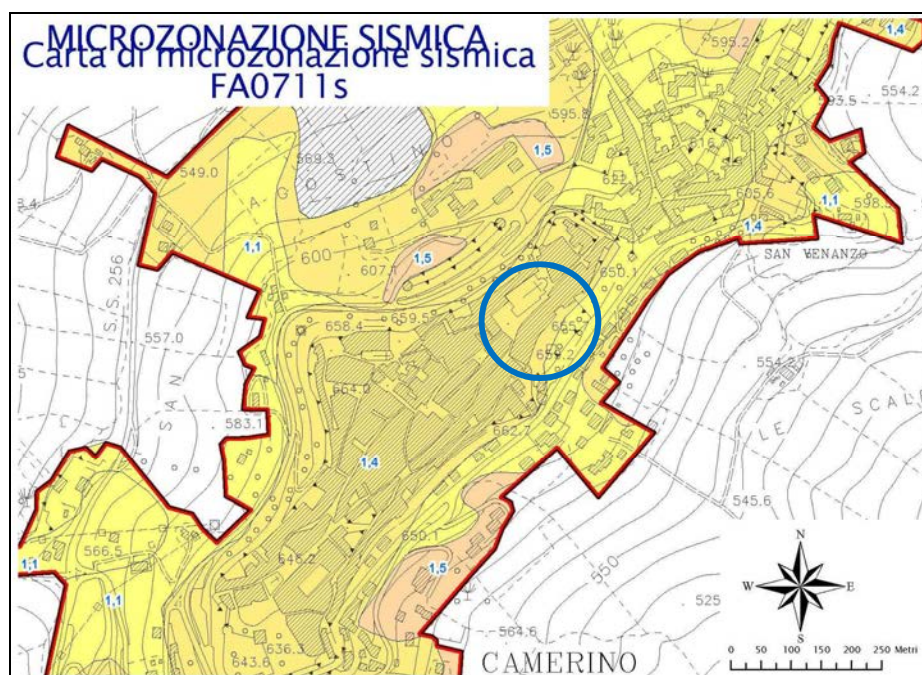


Figura 18 Carta del Fattore di Amplificazione sismica nel periodo 0,7 - 1,1s.

## 10. CONFRONTO TRA GLI SPETTRI

L'Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018, nella quale sono contenute le modifiche all'Ordinanza n° 24 del 12 maggio 2017 riguardanti in particolare l'Allegato 1 "Criteri

per l'utilizzo degli studi di Microzonazione Sismica per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016", stabilisce che, relativamente alle Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, si debba confrontare lo spettro di risposta medio regolarizzato, o normalizzato, ottenuto dallo studio di MS3 della microzona di interesse con quello ottenuto con l'approccio semplificato della normativa sismica, per la categoria di sottosuolo in corrispondenza del manufatto e per il tempo di ritorno di 475 anni.

Tale confronto, stabilito l'intervallo di periodi da considerare per l'edificio oggetto della progettazione, osserverà le seguenti due condizioni:

- a. lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
- b. l'integrale dello spettro di MS3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di norma.

Se nessuna delle due condizioni viene verificata, allora sarà possibile utilizzare l'approccio semplificato della normativa sismica. Se almeno una delle condizioni di cui sopra viene verificata, allora lo spettro previsto dall'approccio semplificato della normativa potrà ritenersi significativamente meno conservativo di quello di MS3 per cui si dovrà procedere a dettagliare il modello di sottosuolo nell'area di interesse del manufatto al fine di valutare le condizioni di applicabilità dell'approccio semplificato, oppure utilizzare lo spettro di MS3, ovvero procedere con un'analisi di RSL.

Tutto ciò detto, poiché è stato espressamente richiesto dalla struttura di progettazione di procedere direttamente all'analisi di RSL per lo SLV viene ovviamente omesso il confronto degli spettri che, a questo punto, risulterebbe superfluo.

## 11. INVARIANZA IDRAULICA

Per ciò che riguarda i lavori in oggetto, trattandosi di un intervento per il quale,

---

**SGA** V.le G. Mazzini, 23 – 62027 SAN SEVERINO MARCHE (MC) P.IVA 01080970435  
Tel. e Fax +39-0733-645150 email: [info@sgageo.com](mailto:info@sgageo.com) - web: [www.sgageo.com](http://www.sgageo.com)

rispetto all'attuale, non vengono realizzati aumenti di superfici impermeabili o semipermeabili, ne' modifiche all'assetto morfologico, non è previsto l'assoggettamento alla valutazione di invarianza idraulica né tanto meno è necessario predisporre misure compensative.

## 12. CONSIDERAZIONI SULLE FONDAZIONI

Per tutti i corpi di fabbrica che compongono il complesso edilizio oggetto di intervento si riscontra una tipologia di fondazione superficiale, costituita da murature in pietrame intestate nel substrato (arenarie litoidi ben cementate) ed in appoggio alla scarpata strutturale che borda il centro storico di Camerino.

Riguardo le lesioni sulle strutture murarie, queste non sono imputabili a fenomeni di cedimento del terreno di fondazione il quale, avendo già subito nel tempo gli effetti della consolidazione dovuti al peso degli edifici stessi, garantisce caratteristiche geotecniche eccellenti tali da assicurare stabilità anche a seguito dei previsti interventi di rafforzamento delle strutture esistenti.

## 13. CONCLUSIONI

L'indagine eseguita ha avuto come indirizzo quello di consentire una conoscenza delle condizioni geologico-stratigrafiche, geotecniche ed idrogeologiche del sottosuolo e delle caratteristiche di risposta sismica dei terreni, necessarie alla progettazione dell'intervento di riparazione dell'edificio danneggiato dalle scosse sismiche susseguitesesi dal mese di ottobre 2016.

Riguardo le caratteristiche geomorfologiche non sono state rilevate evidenze che possano far ritenere la zona soggetta a processi di instabilità idrogeologica, in atto e/o potenziali, o esposta a situazioni di pericolosità tali da rendere necessarie prescrizioni particolari.

Non sono state ravvisate interazioni dirette degli edifici né con il reticolo idrografico naturale, né con il regime idrogeologico sotterraneo.

Per ciò che concerne le caratteristiche stratigrafiche si rileva, al di sotto degli edifici, la presenza dei litotipi del substrato, definibili come roccia lapidea tenera, dotati peraltro di ottime caratteristiche geotecniche, sui quali poggiano direttamente le murature di fondazione.

La situazione litostratigrafica riscontrata e l'assenza di acqua di falda esclude problematiche legate alla liquefazione dei terreni.

Riguardo la definizione dell'azione sismica è stato utilizzato il metodo semplificato distinguendo, per il sito in studio, una condizione topografica "T1" ed una categoria di suolo "B".

Data la richiesta del gruppo di progettazione si procederà, con apposito elaborato accluso alla presente, alla redazione dell'indagine di RSL per lo SLV.

Nella realizzazione dell'intervento in progetto non si riscontra la necessità di mantenere, in merito alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche e di stabilità, particolari accorgimenti oltre alle normali cautele quali quella di assicurare il controllo di eventuali perdite nonché di mantenimento dell'efficienza delle condotte di approvvigionamento idrico e del sistema di raccolta delle acque di gronda e delle condotte di smaltimento delle acque bianche e nere.

San Severino Marche, 7 marzo 2022

Dott. Geol. Marcello Maccari





Tab. 2 Valori caratteristici e di progetto per i terreni

LITOTIPO: 1      Formazione arenacea integra

5° percentile distribuzione della media  
(fondazioni superficiali, con B grande)

Per GRANDI volumi di rottura e distribuzione normale (φ) e distribuzione log-normale (Cu)

G	γ	Ko	φ'	φr	C'	E'	Cu	Eed
	t/m³				kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
Xk	2,4					1573,91	12,31	
Xd	2,4					1259,13	8,80	

MOLTI DATI (≥5)

POCHI DATI (<5)

Per Cu c' e Ed  
metodo di Angus

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2 \left(1 + \frac{S^2}{2}\right)}$$

Per Cu c' e Ed  
metodo di Cox

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

Per (φ)

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{n-1}} \right)$$

Per (φ)

$$x_k = \bar{x} - 1.645 \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Per C' e Cu con n=1

$$x_k = \frac{1}{\log n(0.05, Y, S)}$$

$$\mu = t(n-1) \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

PER POCHI DATI, GENERALMENTE n<5  
COV Φ :  
7 per ghiaie (Harr, 1988)  
10 per sabbie (Baecher and Christian, 2003)  
13 per campioni con frazione coesiva limoso-argillosa (Phoon & Kulhawy, 1999)  
COV c': tra 25 e 30 (Baecher and Christian, 2003)  
COV Cu: 30 come scelta consigliata  
COV Ed: 40 (Schneider)

5° percentile distribuzione del campione

(piccoli plinti, pali, in situazioni di rottura locale)

Per PICCOLI volumi di rottura e distribuzione normale (φ) e distribuzione log-normale (Cu)

G	γ	Ko	φ'	φr	C'	E'	Cu	Eed
	t/m³				kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
Xk	2,4					1327,71	9,33	
Xd	2,4					1062,17	6,66	

MOLTI DATI (≥5)

POCHI DATI (<5)

Per Cu c' e Ed

$$x_k = \frac{1}{\log n(0.05, \sigma_{\log n}, \mu_{\log n})}$$

Per Cu c' e Ed

$$x_k = \frac{1}{\log n(0.05, Y, S)}$$

Per (φ)

$$x_k \approx \bar{x} - 1.645 * S$$

Per (φ)

$$x_k \approx \bar{x} - 1.645 * \sigma$$



Tab. 4 Valori caratteristici e di progetto per i terreni

LITOTIPO: 2      Formazione pelitico-arenacea integra

5° percentile distribuzione della media  
(fondazioni superficiali, con B grande)

Per GRANDI volumi di rottura e distribuzione normale (φ) e distribuzione log-normale (Cu)

G	γ	Ko	φr	C'	E'	Cu	Eed
	t/m³			kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
Xk	2,2			0,19		3,12	
Xd	2,2			0,16		2,23	

MOLTI DATI (≥5)

Per Cu c' e Ed  
metodo di Angus

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2(1 + \frac{S^2}{2})}$$

Per (φ)

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{n-1}} \right)$$

$$\mu = t(n-1) \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

POCHI DATI (<5)

Per Cu c' e Ed  
metodo di Cox

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

Per (φ)

$$x_k = \bar{x} - 1.645 \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Per C' e Cu con n=1

$$x_k = \frac{1}{\log n(0.05, Y, S)}$$

PER POCHI DATI, GENERALMENTE n<5  
COV φ :  
7 per ghiale (Harr, 1988)  
10 per sabbie (Baecher and Christian, 2003)  
13 per campioni con frazione coesiva limoso-argillosa (Phoon & Kulhawy, 1999)  
COV c': tra 25 e 30 (Baecher and Christian, 2003)  
COV Cu: 30 come scelta consigliata  
COV Ed: 40 (Schneider)

5° percentile distribuzione del campione

(piccoli plinti, pali, in situazioni di rottura locale)

Per PICCOLI volumi di rottura e distribuzione normale (φ) e distribuzione log-normale (Cu)

G	γ	Ko	φr	C'	E'	Cu	Eed
	t/m³			kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
Xk	2,2			0,19		2,67	
Xd	2,2			0,16		1,90	

MOLTI DATI (≥5)

Per Cu c' e Ed

$$x_k = \frac{1}{\log n(0.05, \sigma_{\log n}, \mu_{\log n})}$$

Per (φ)

$$x_k \approx \bar{x} - 1.645 * \sigma$$

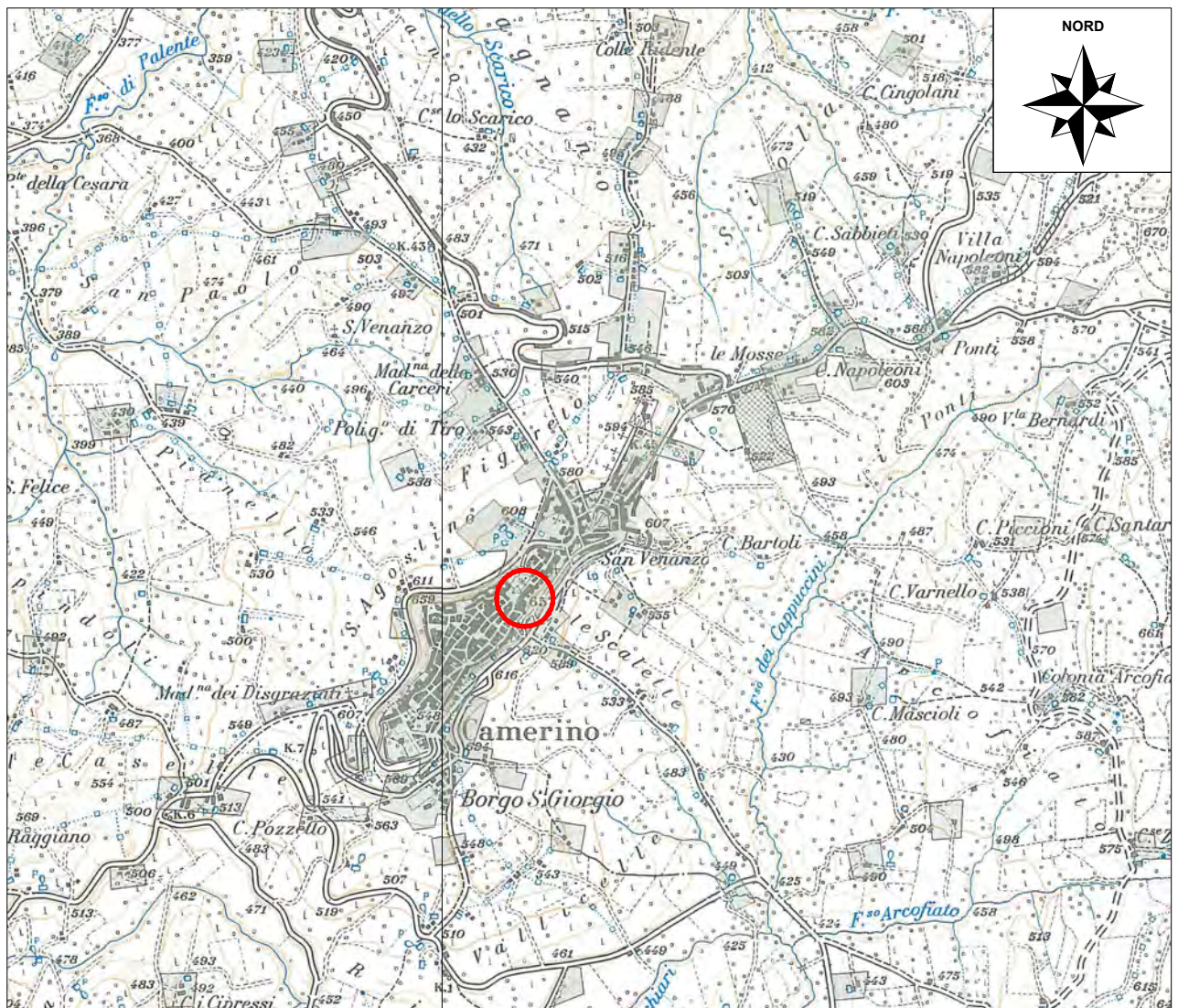
POCHI DATI (<5)

Per Cu c' e Ed

$$x_k = \frac{1}{\log n(0.05, Y, S)}$$

Per (φ)

$$x_k \approx \bar{x} - 1.645 * \sigma$$



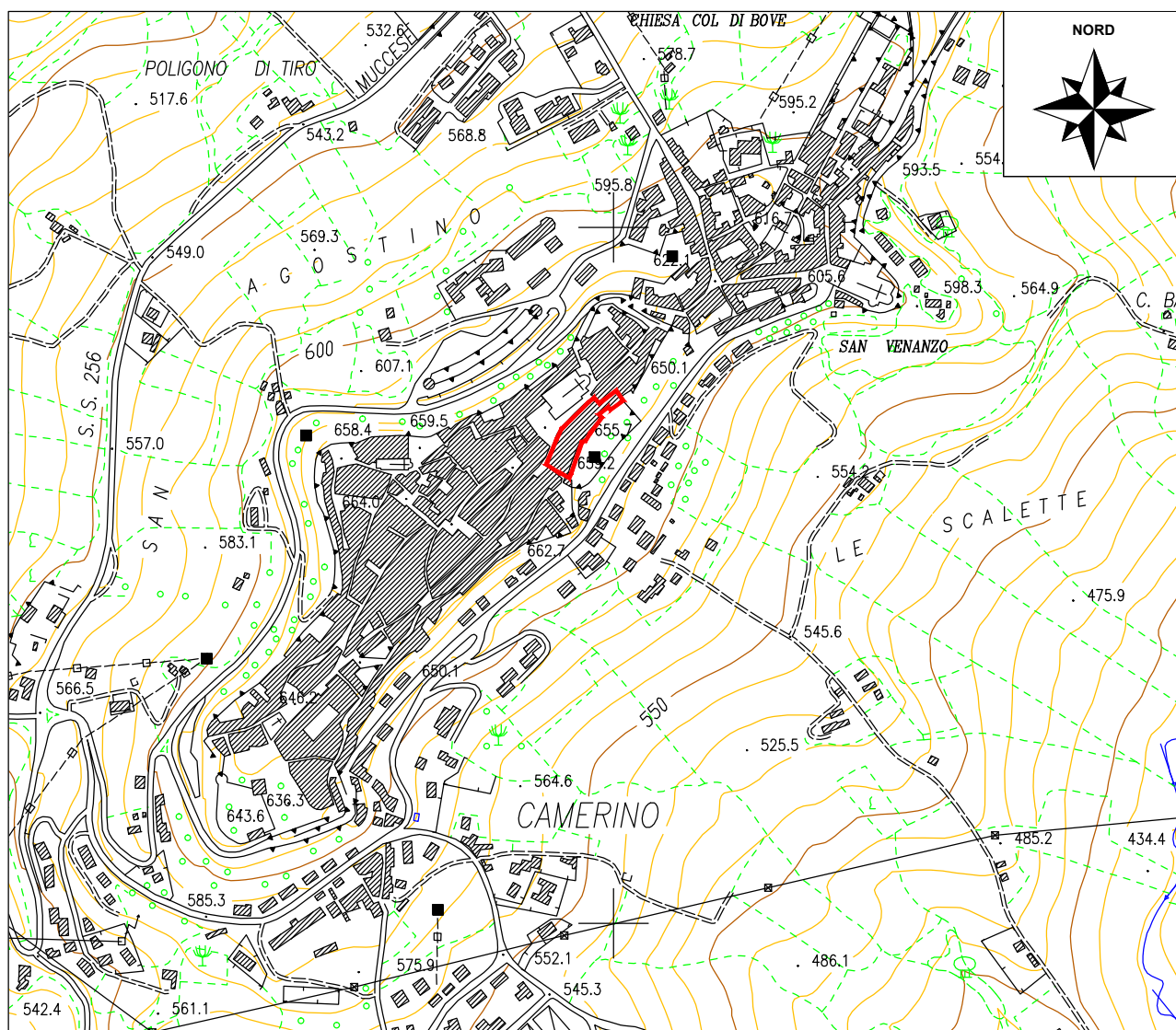
## COROGRAFIA

Foglio 124 III NO

(scala 1:25.000)



Zona dell'intervento



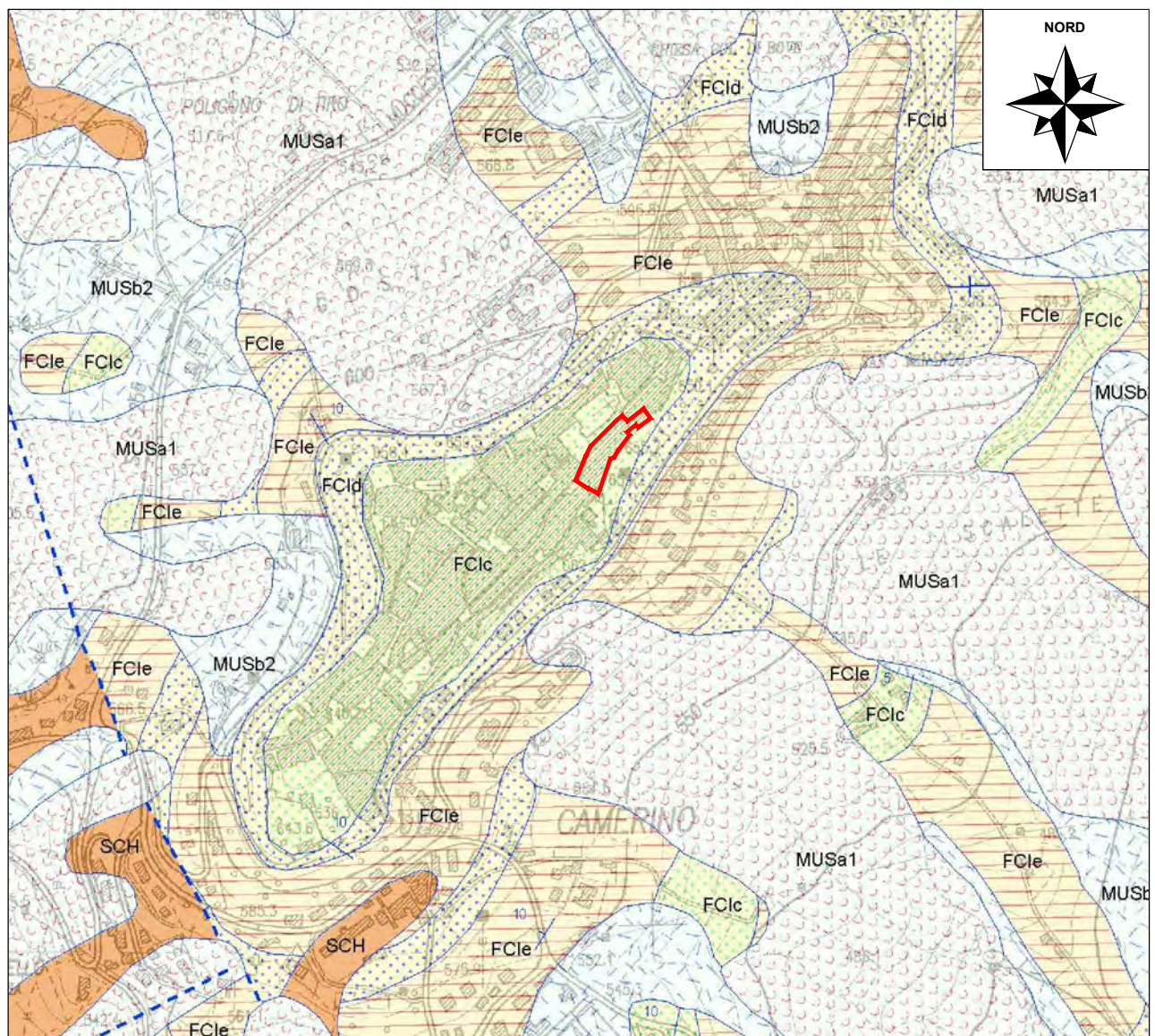
## CTR Carta Tecnica Regionale

Sezione n 313050

scala 1:10.000



Palazzo Da Varano



Stralcio Carta geologica CARG

## Carta geologica

scala 1:10.000



Palazzo Da Varano

# Legenda carta geologica

	MUSa1	Frane in evoluzione
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali

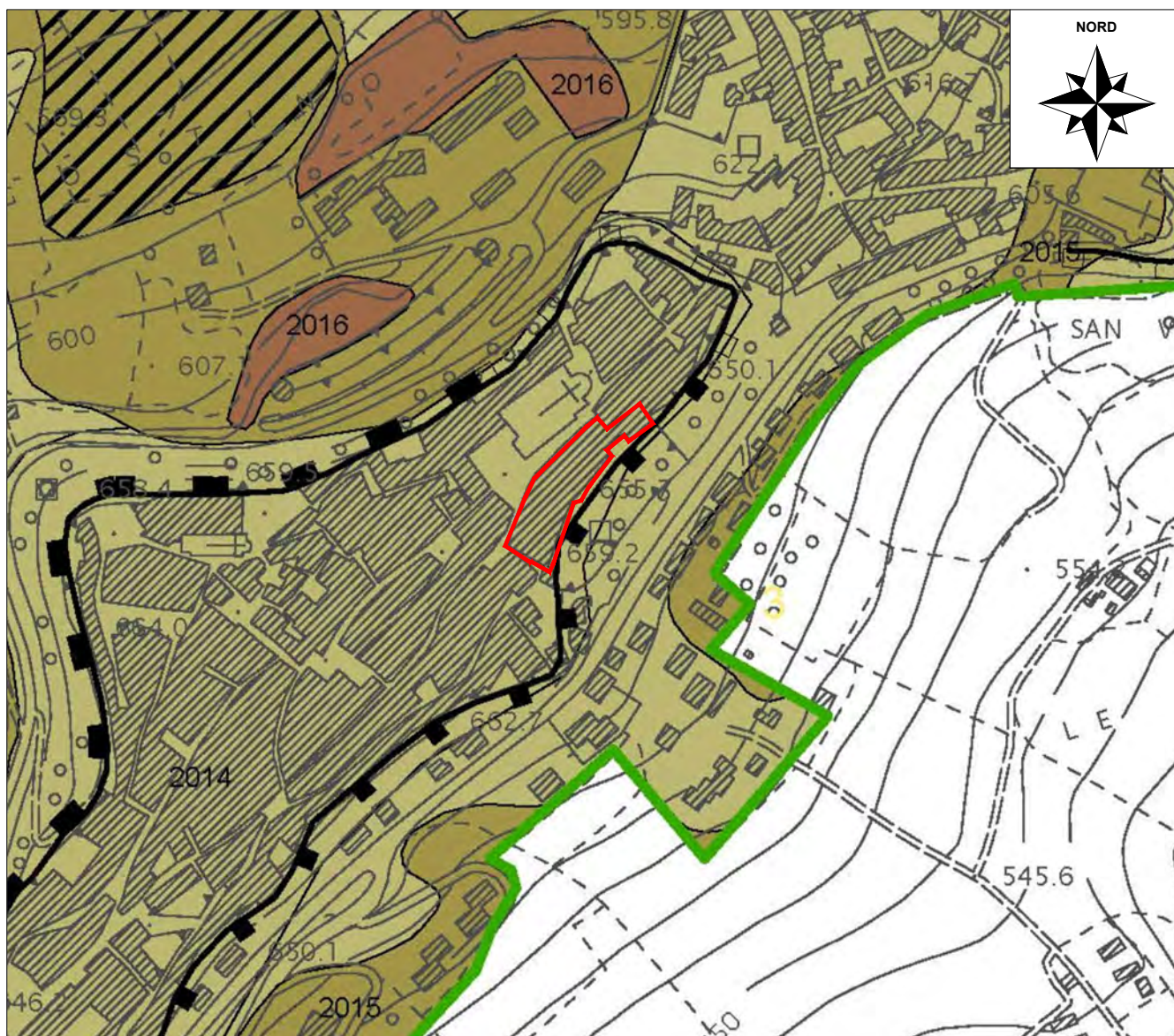
## SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA

### SUCCESSIONE MIOCENICA

	FCic	FORMAZIONE DI CAMERINO litofacies arenacea Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.
	FCId	FORMAZIONE DI CAMERINO litofacies arenaceo-pelitica Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.
	FCle	FORMAZIONE DI CAMERINO litofacies pelitico-arenacea Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.

### SUCCESSIONE CALCAREO E/O MARNOSA CRETACICO-MIOCENICA

	SCH	SCHLIER Langhiano - Messiniano
		Contatto stratigrafico e/o litologico
		Faglia
		Stratificazione diritta
		Stratificazione orizzontale diritta



Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica  
**MOPS**  
(scala 1:5.000)



Zona dell'intervento

# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

## MOPS

### LEGENDA

Zone stabili suscettibili  
di amplificazioni locali

2014	Zona 1
2015	Zona 2
2016	Zona 3

Zone di attenzione per  
instabilità di versante

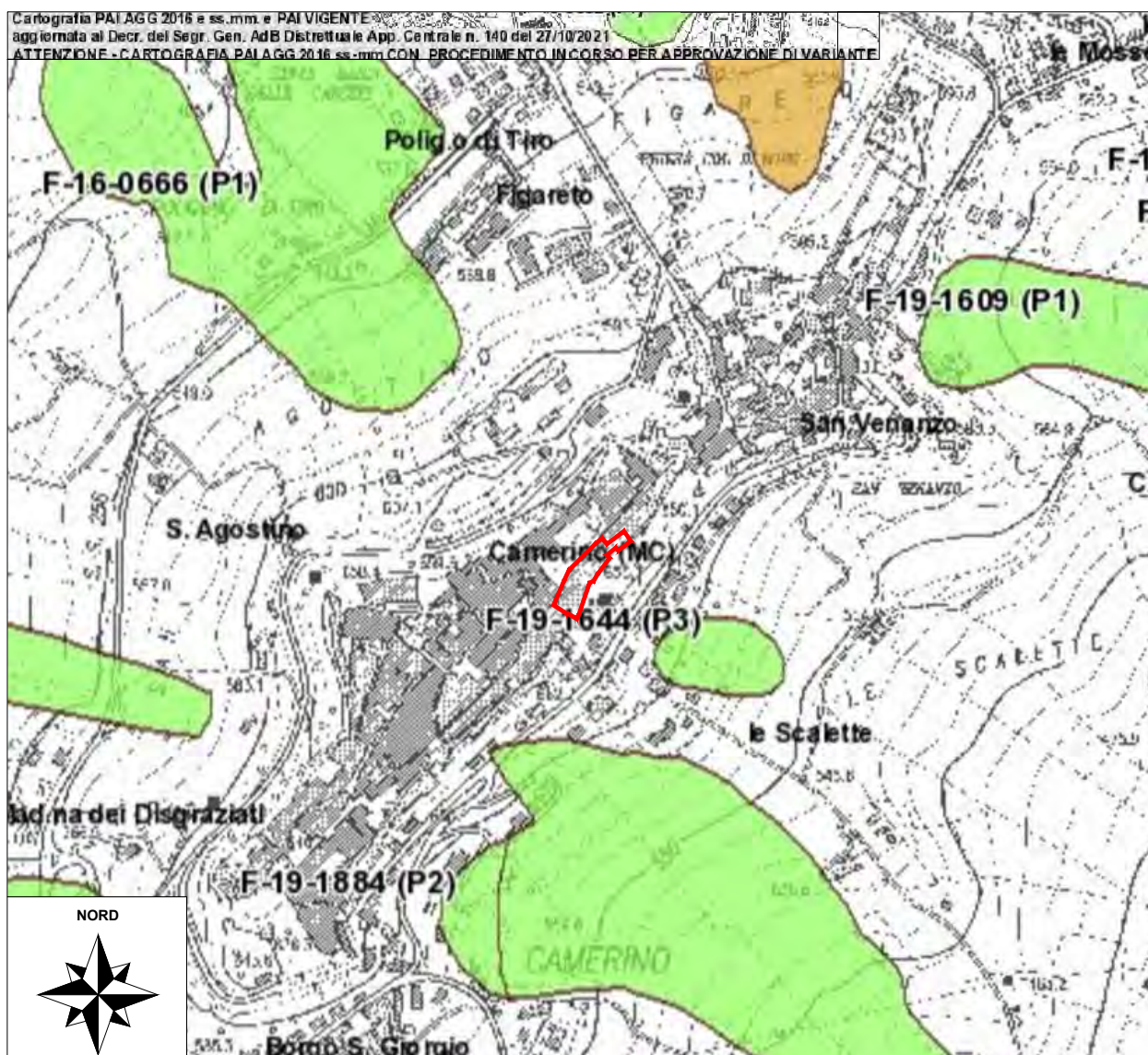
30142015	ZA <sub>FR</sub> - Zona 2
30242015	ZA <sub>FR</sub> - Zona 2

Forme di superficie e sepolte

	Orlo di scarpata morfologica (10-20m)
	Orlo di scarpata morfologica (>20m)



Limite aree microzonazione sismica di livello 3



Aggiornamento decreti al 27/10/2021

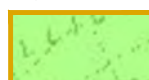
## Stralcio Cartografia PAI

Estratto dal sito dell'ex AdB delle Marche

**VIGENTE**

### AREE A RISCHIO FRANA

(Codice F - XX - XXXX)



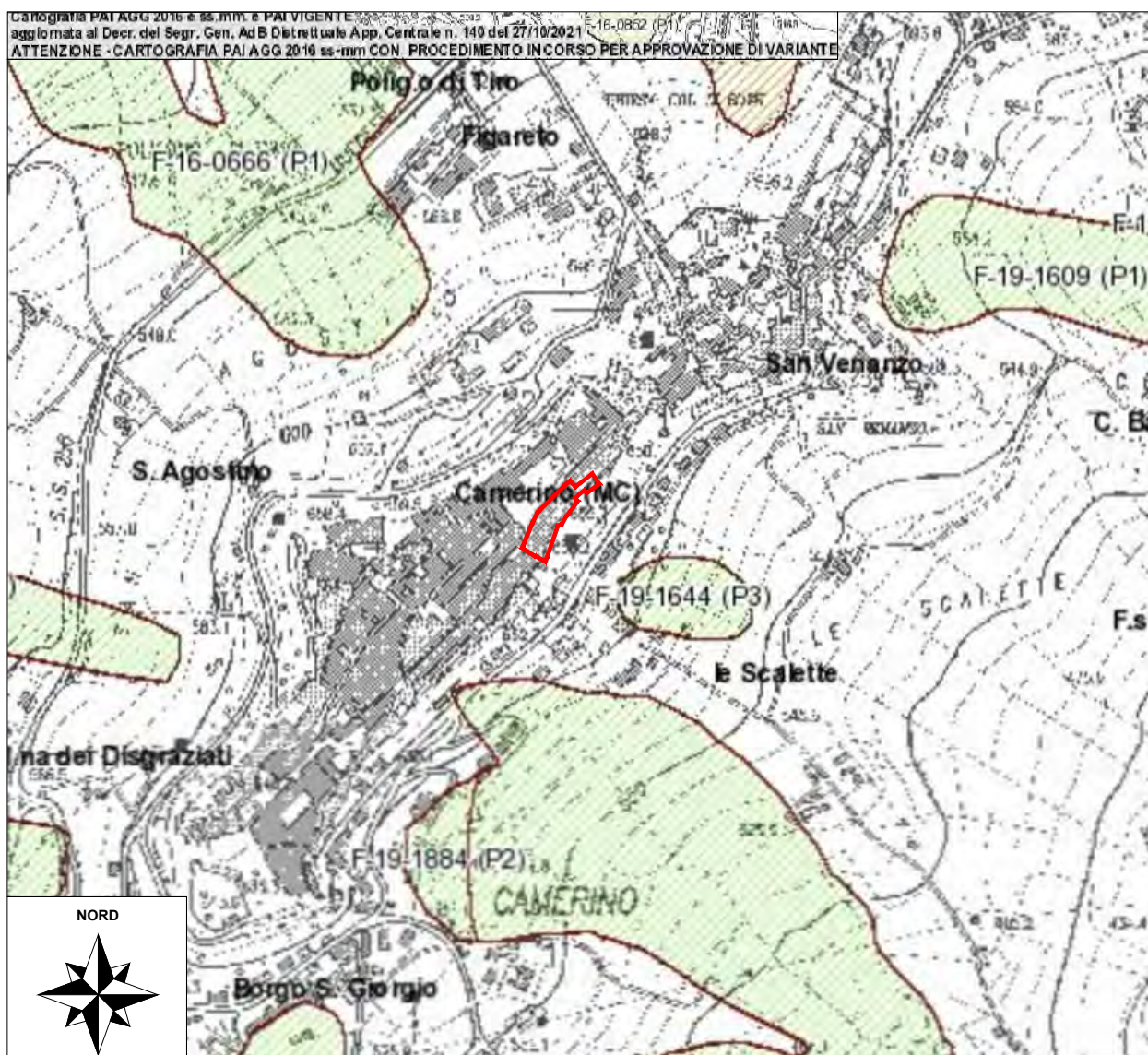
Rischio moderato (R1)



Rischio elevato (R3)



Area in studio



Aggiornamento decreti al 27/10/2021

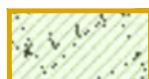
## Stralcio Cartografia PAI

Estratto dal sito dell'ex AdB delle Marche

### AGGIORNAMENTO 2016

#### AREE A RISCHIO FRANA

(Codice F - XX - XXXX)



Rischio moderato (R1)



Rischio elevato (R3)



Area in studio



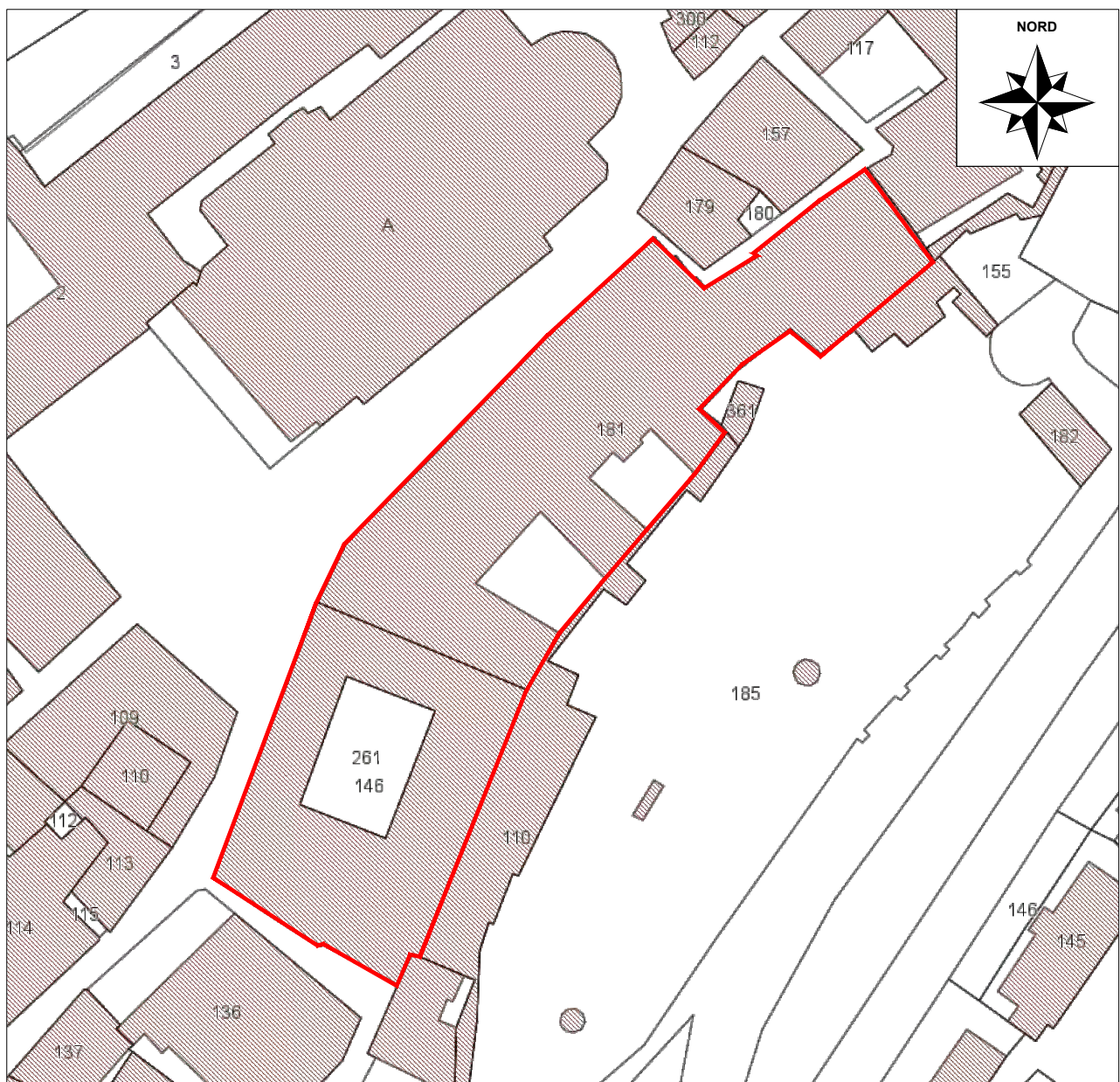
foto estratta da Google Maps

## FOTO AEREA

(scala 1:5.000)



Palazzo Da Varano

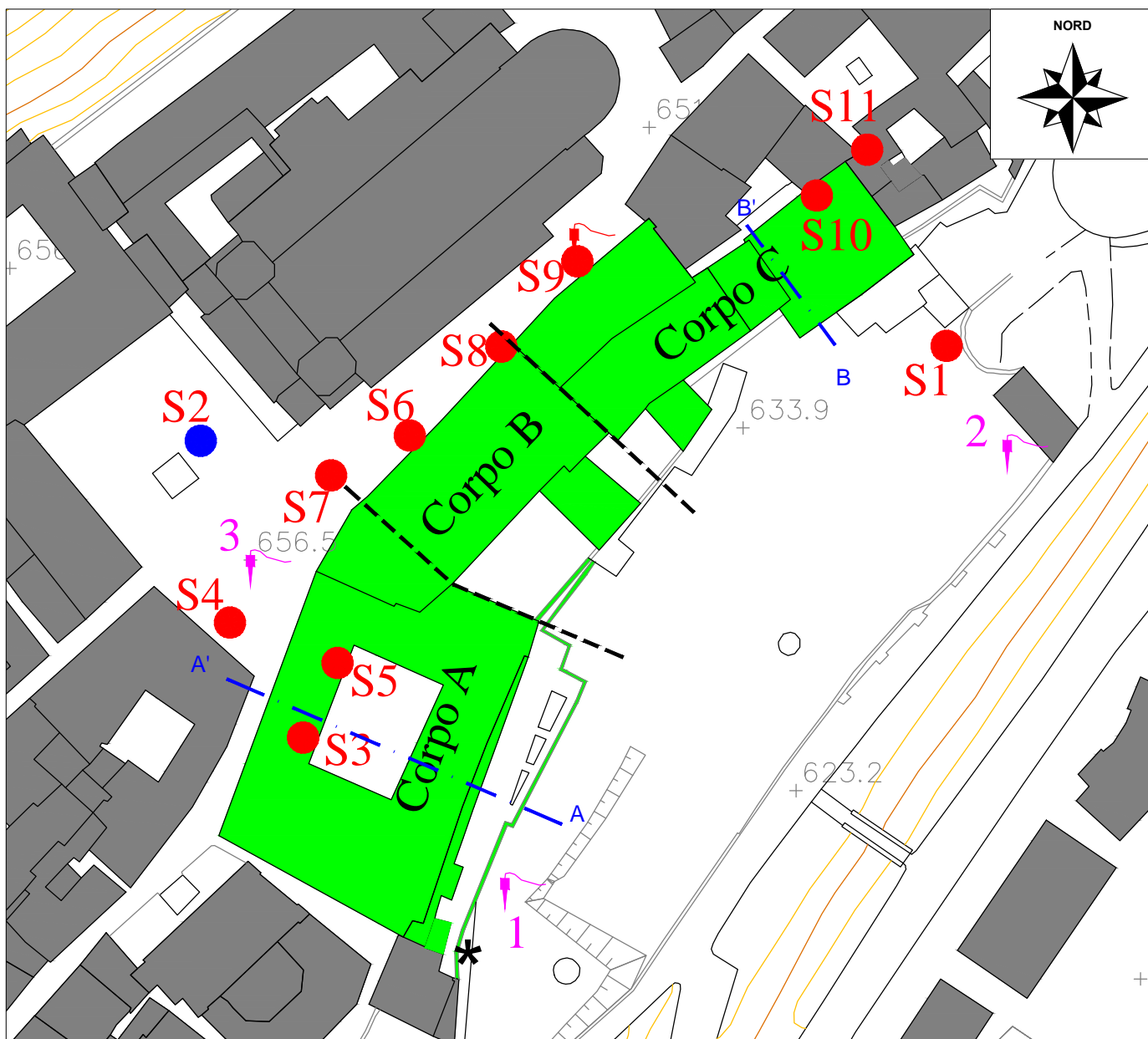


## PLANIMETRIA CATASTALE

(scala 1:1.000)

Foglio 61 - Particelle 146-261-181

 Area oggetto di intervento



## PLANIMETRIA INDAGINI

(scala 1:200)



Complesso edilizio oggetto di intervento



Sondaggio geognostico reperito, attrezzato per down hole



Sondaggi geognostici reperiti



Prospezione sismica passiva (HVSr)



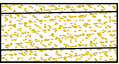

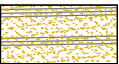
Affioramento del substrato




Traccia di sezione litostratigrafica

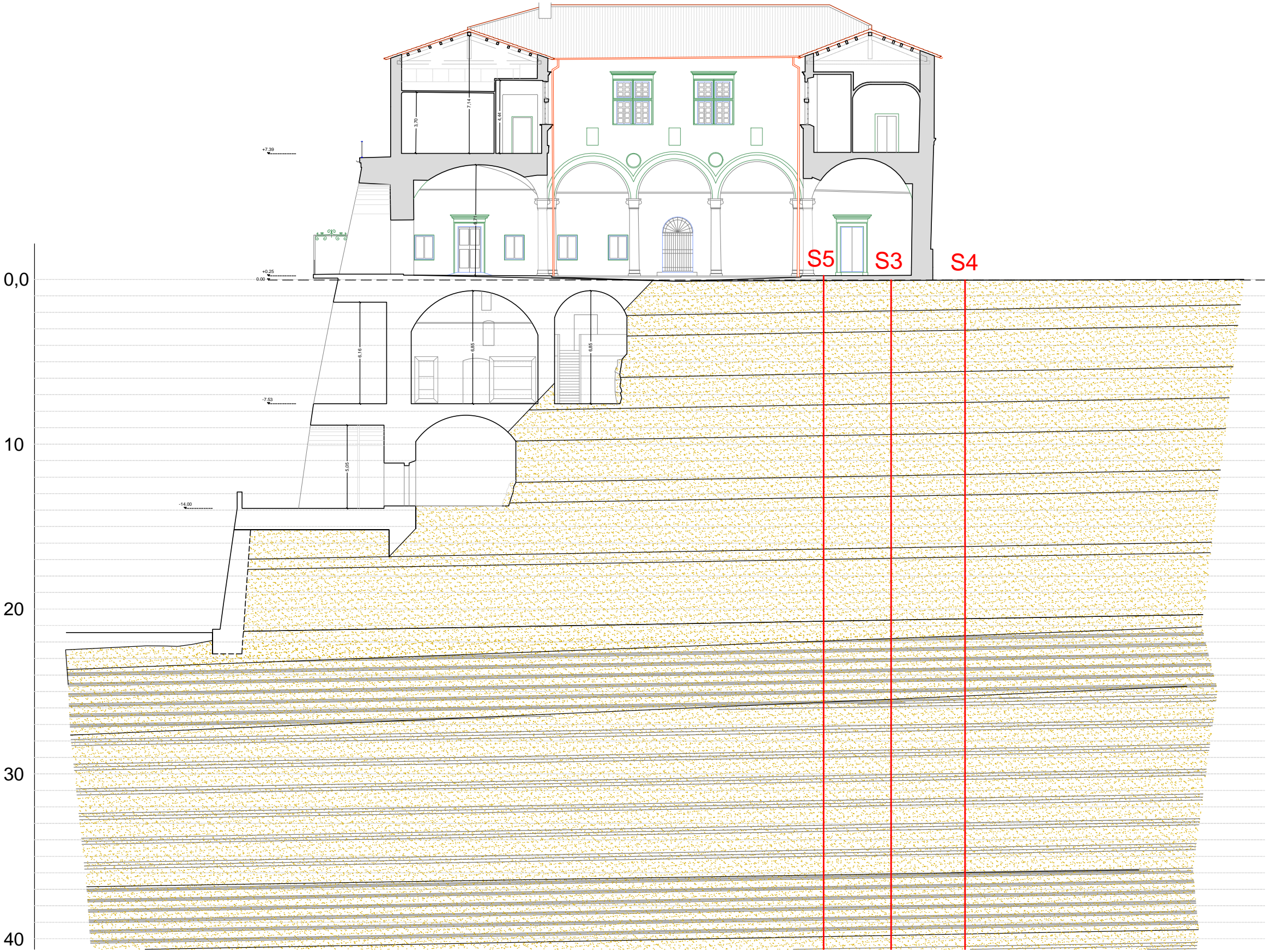
SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA A-A'  
(scala 1:250)

LEGENDA

-  Arenarie
-  Marne argillose
-  Alternanze di arenarie e marne
- S3



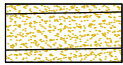
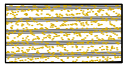
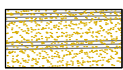
Sondaggio geognostico  
reperito



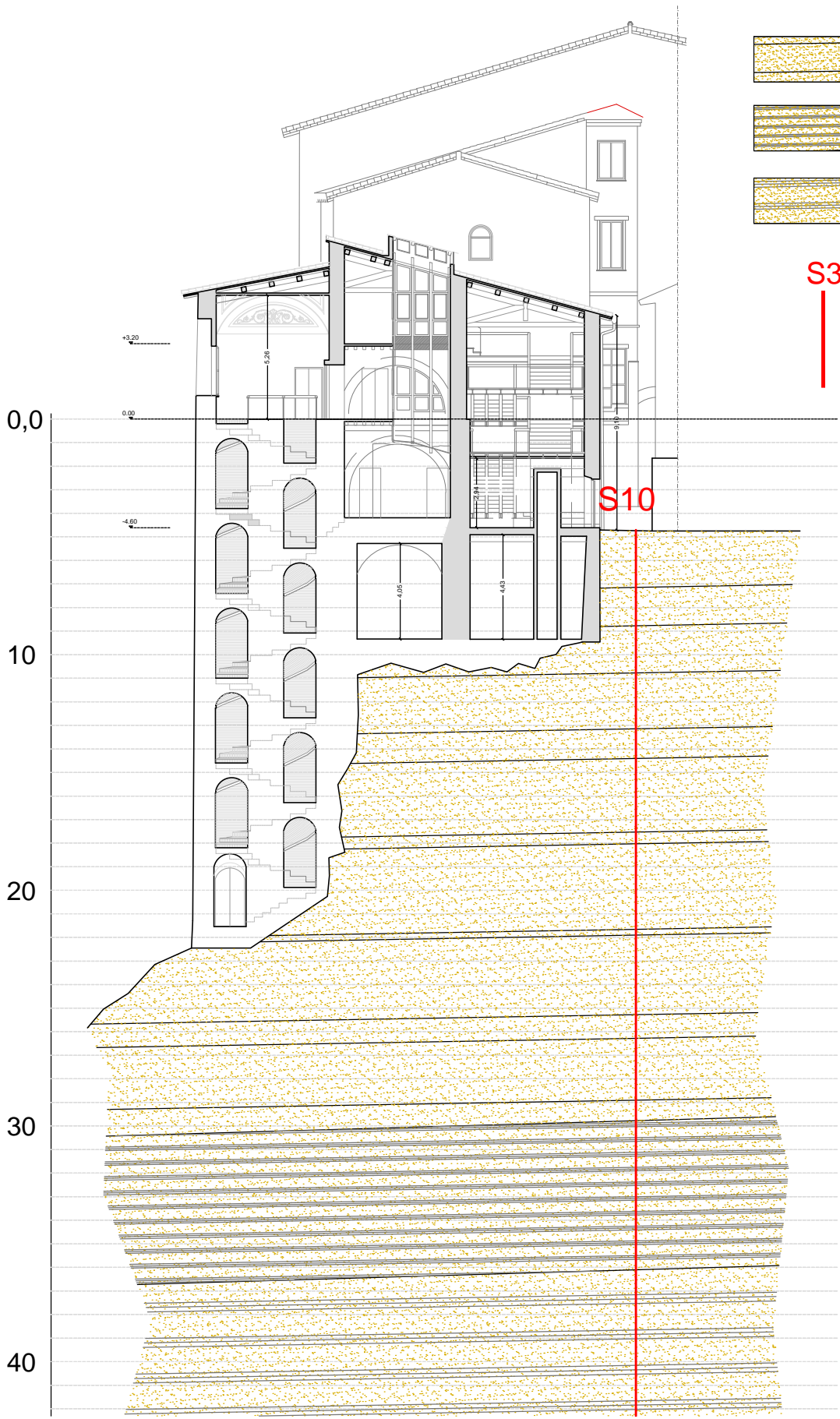
# SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA B-B'

(scala 1:250)

## LEGENDA

-  Arenarie
-  Marne argillose
-  Alternanze di arenarie e marne

**S3** Sondaggio geognostico  
reperito





SGA STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO

SONDAGGIO n. 2

COMMITTENTE: Università degli Studi di Camerino

LOCALITA' : Orto Botanico


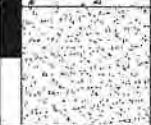


COMUNE : Camerino

DATA:

Metodo di perforazione : Rotazione

Ø di perforazione : 100 mm.

Quota di inizio : m.s.l.m.

Spess. STRATI	PROFONDITA' IN METRI	STRATIGRAFIA	% CAROTTAGGIO	CAMPIONI	PROFONDITA' CAMPIONI	DESCRIZIONE	POCKET PENETROMETER	VANE TEST		STANDARD PENETRATION TEST		H <sub>2</sub> O	
								valore max	valore residuo	m.	colpi		
2,3	2,3					Terreno di riporto Limi argilloso sabbiosi di colore marro- ne scuro con resti di laterizi talora abbondanti							
1,7	4					Sabbie debolmente limose di colore giallo scuro							
						Argille marnose grige con intercalazio- ni di sottili strati arenacei Percolazioni idriche a -5 metri con livello di falda in costante e lenta risalita.							
													

Sondaggio reperito 1

Geologi: Maccari M., Onorati A. , Pesaresi A.

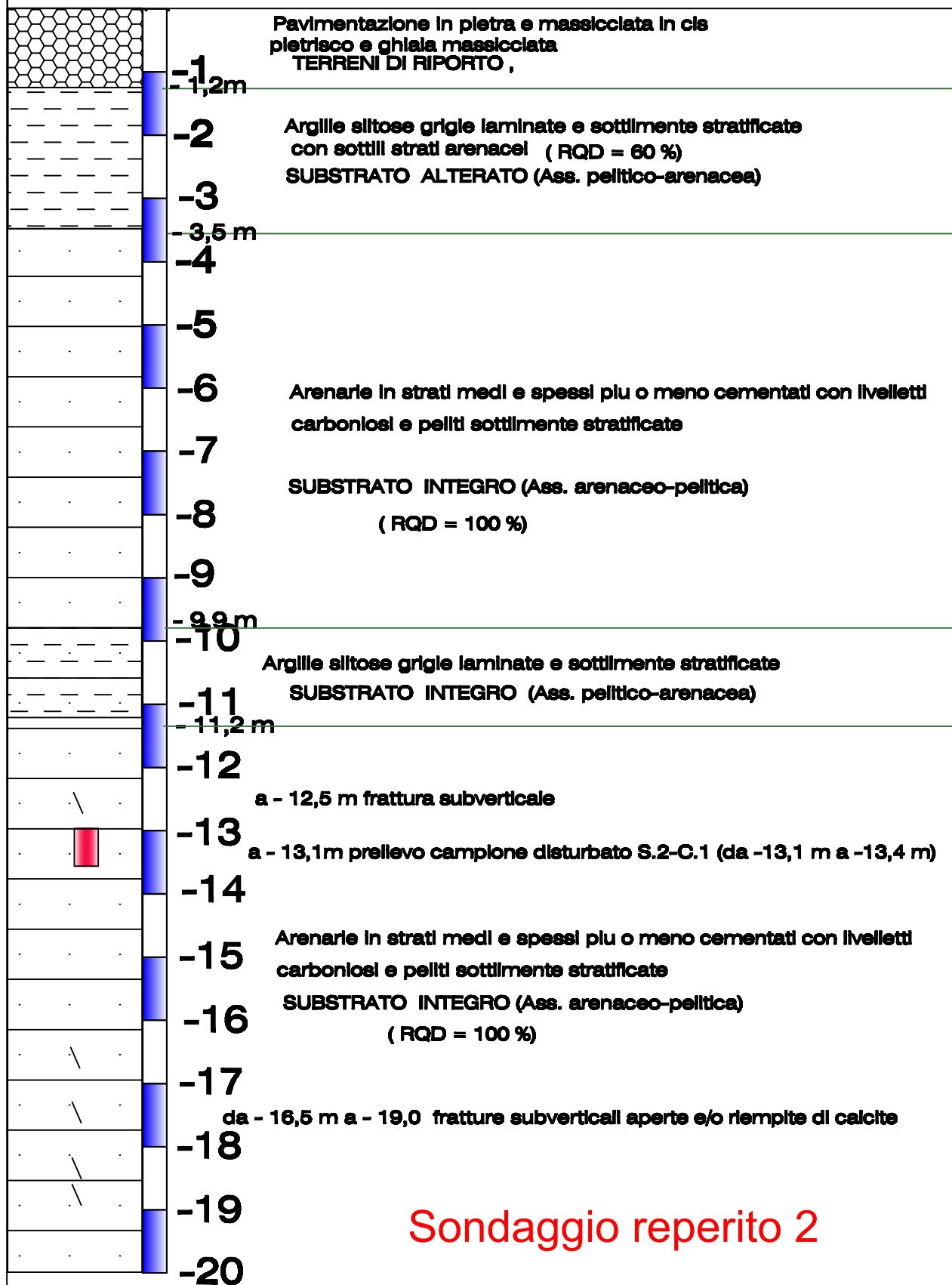
CAMERINO (MC)

MZS livello 3

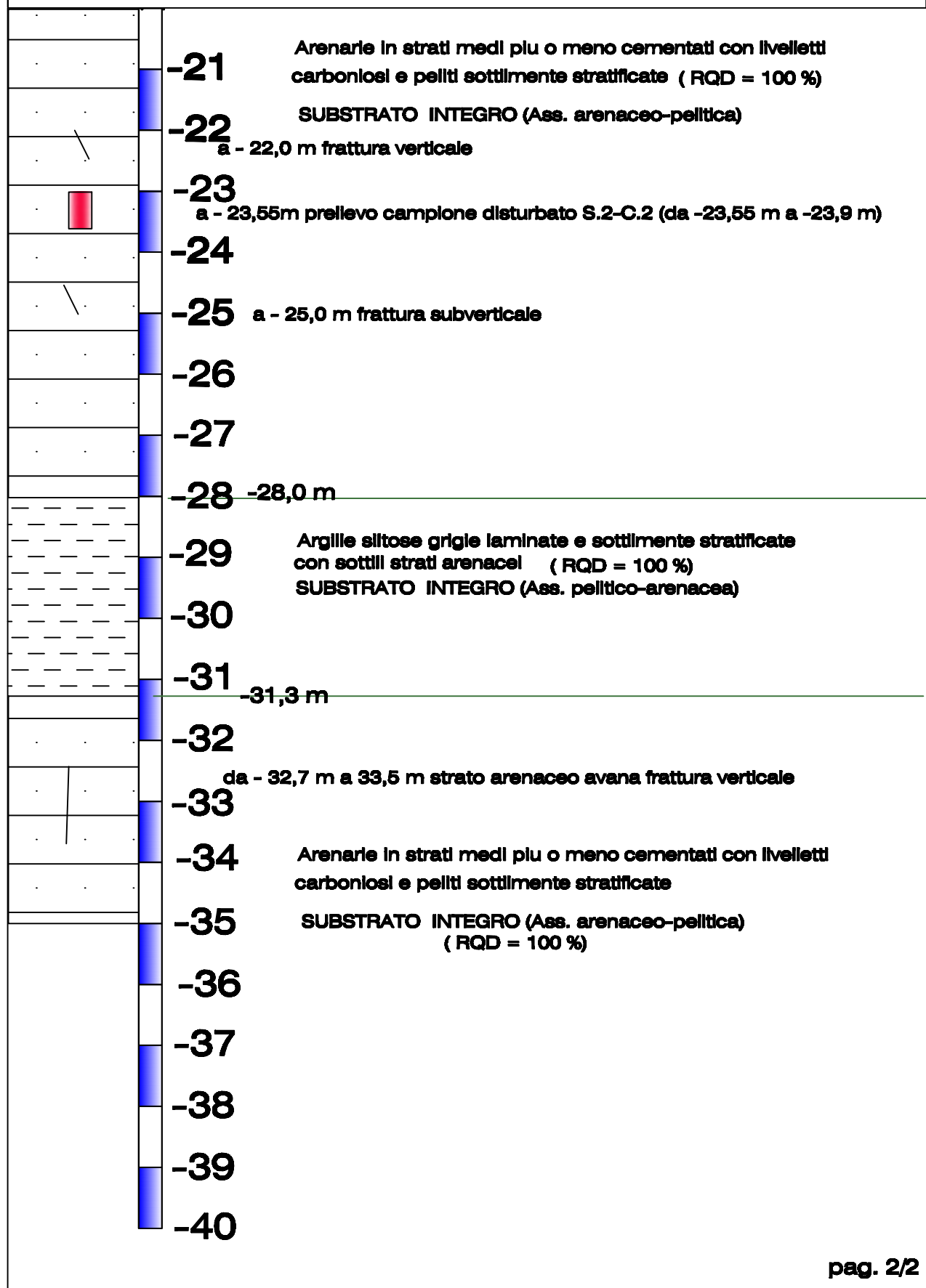
Sondaggio n° 2

Località " PIAZZA CAVOUR " - Comune di Camerino (MC)

data 23/08/2017



Sondaggio reperito 2



SONDAGGIO N. 2 Località “PIAZZA CAVOUR” CAMERINO (MC)



**CAR.BEN. (sas)**

DOCUMENTAZIONE REPERITA

Sondaggio n°19

Committente: Amministrazione Comunale di Camerino

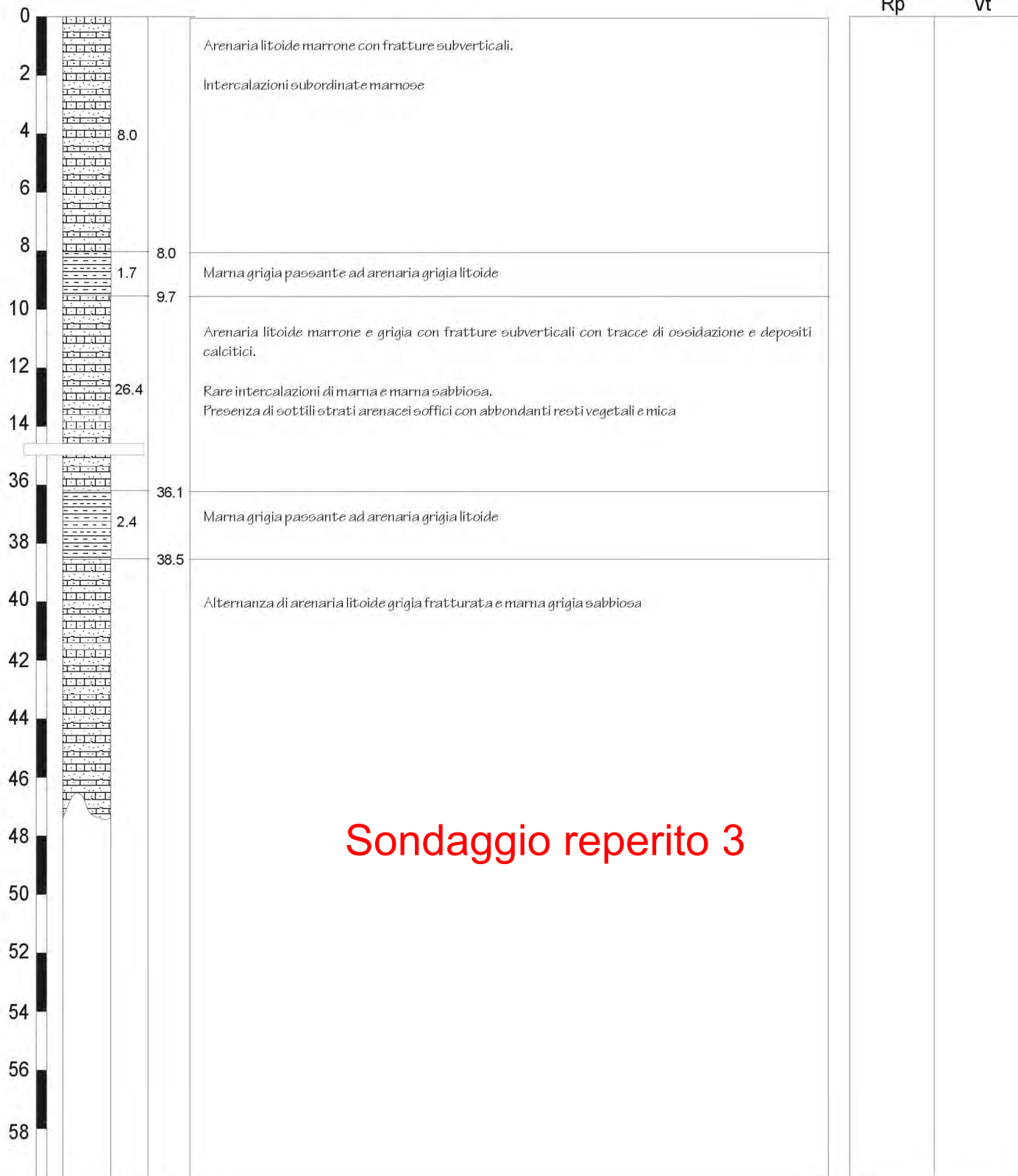
Località: CAMERINO ( MC)

Data: Maggio 2000

Rp= peneirometro tascabile Kg/cmq  
Vt = scissometro tascabile Kg/cmq

SPESSORE

## LITOLOGIA



CAR.BEN. (sas)

DOCUMENTAZIONE REPERITA

Sondaggio n°20

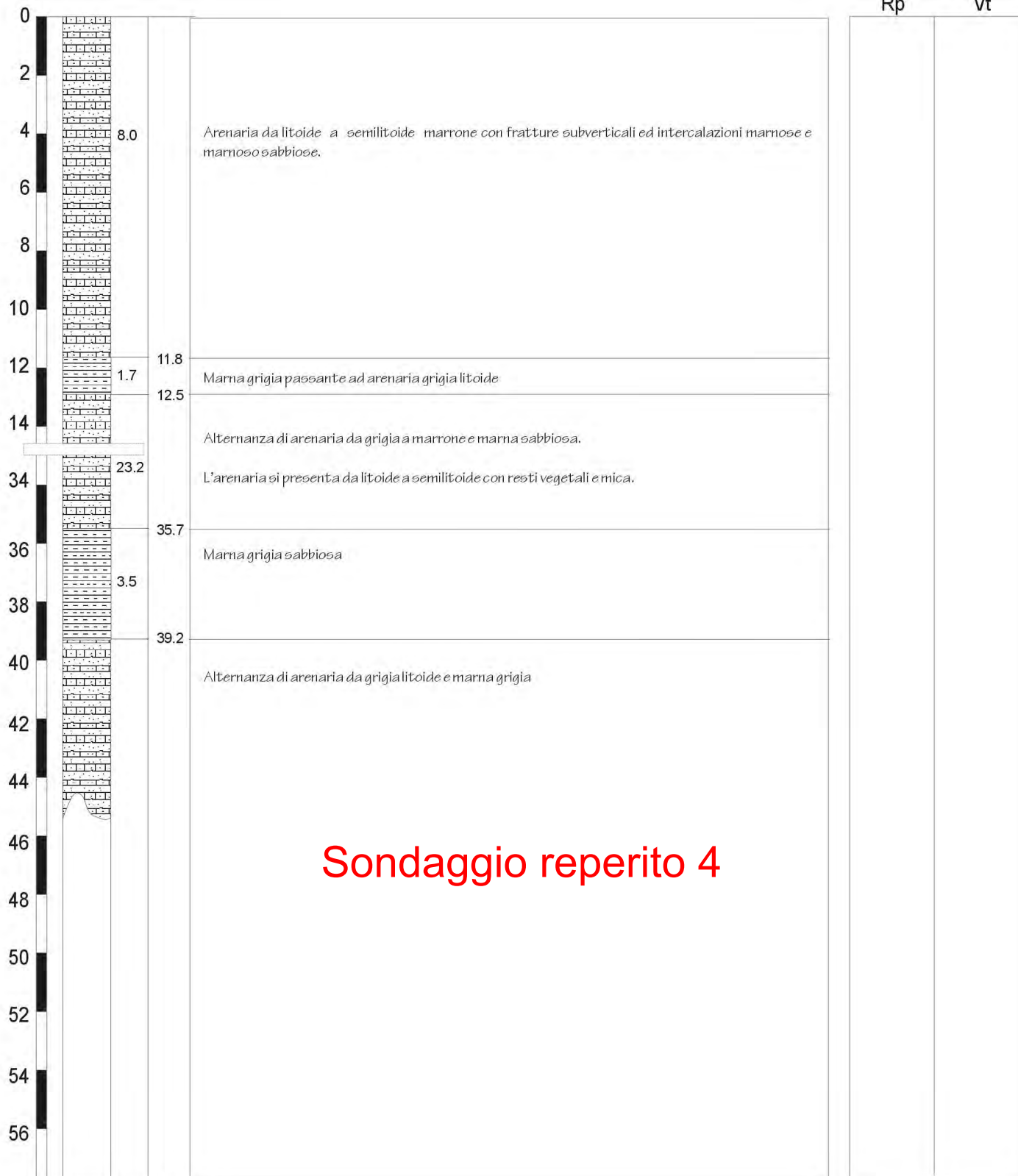
Committente: Amministrazione Comunale di Camerino

Località: CAMERINO (MC)

Rp= penetrometro tascabile Kg/cmq  
Vt = scissometro tascabile Kg/cmq

SPESSORE

## LITOLOGIA



CAR.BEN. (sas)

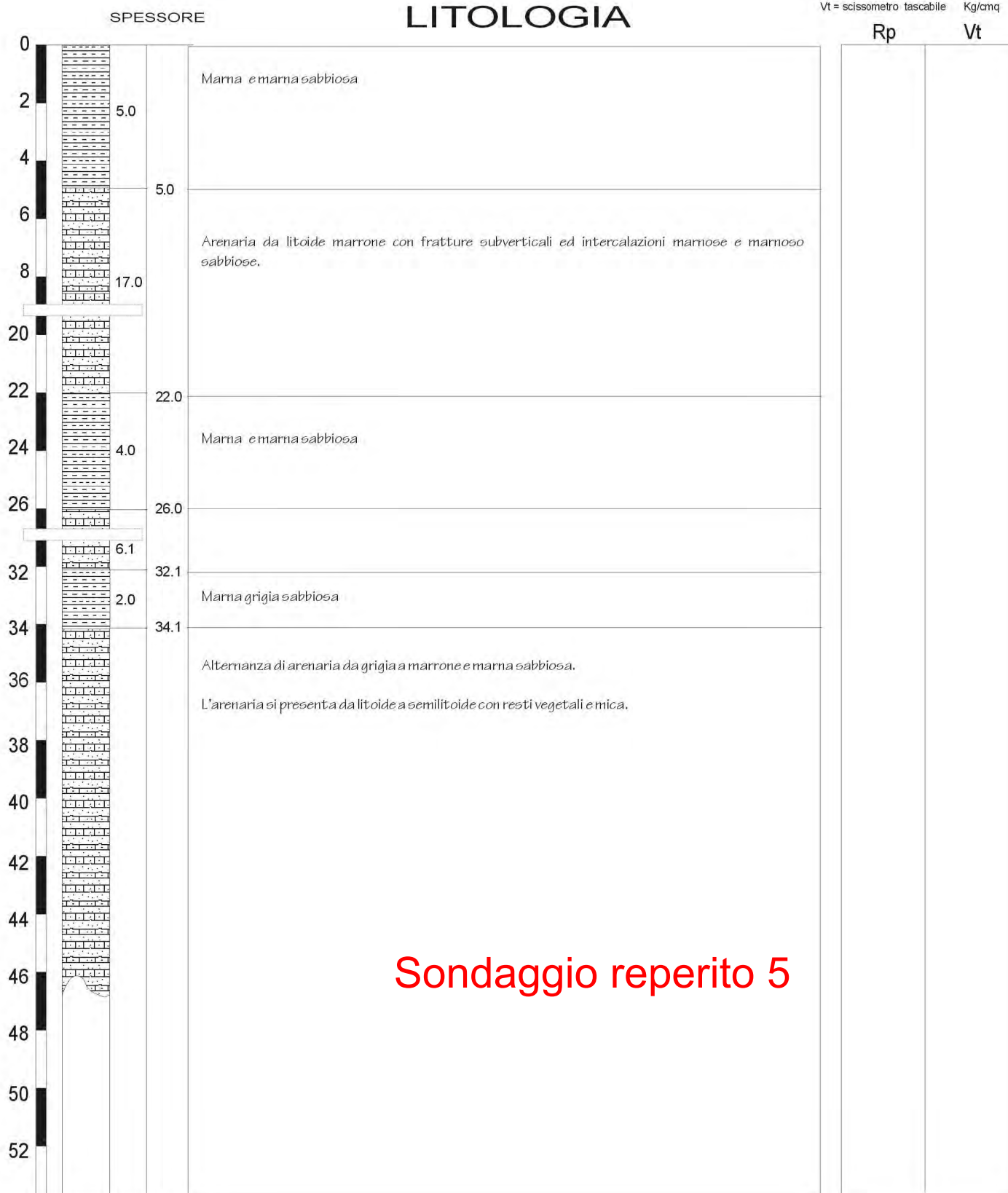
DOCUMENTAZIONE REPERITA

Sondaggio n°21

Committente: Amministrazione Comunale di Camerino

Località: CAMERINO (MC)

Rp= penetrometro tascabile Kg/cmq  
Vt = scissometro tascabile Kg/cmq



**CAR.BEN. (sas)**

DOCUMENTAZIONE REPERITA

Sondaggio n°22

Committente: Amministrazione Comunale di Camerino

Località: CAMERINO ( MC)

Rp= penetrometro tascabile Kg/cmq

Vt = scissometro tascabile Kg/cmq

SPESORE

## LITOLOGIA



**CAR.BEN. (sas)**

DOCUMENTAZIONE REPERITA

Sondaggio n°23

Committente: Amministrazione Comunale di Camerino

Località: CAMERINO (MC)

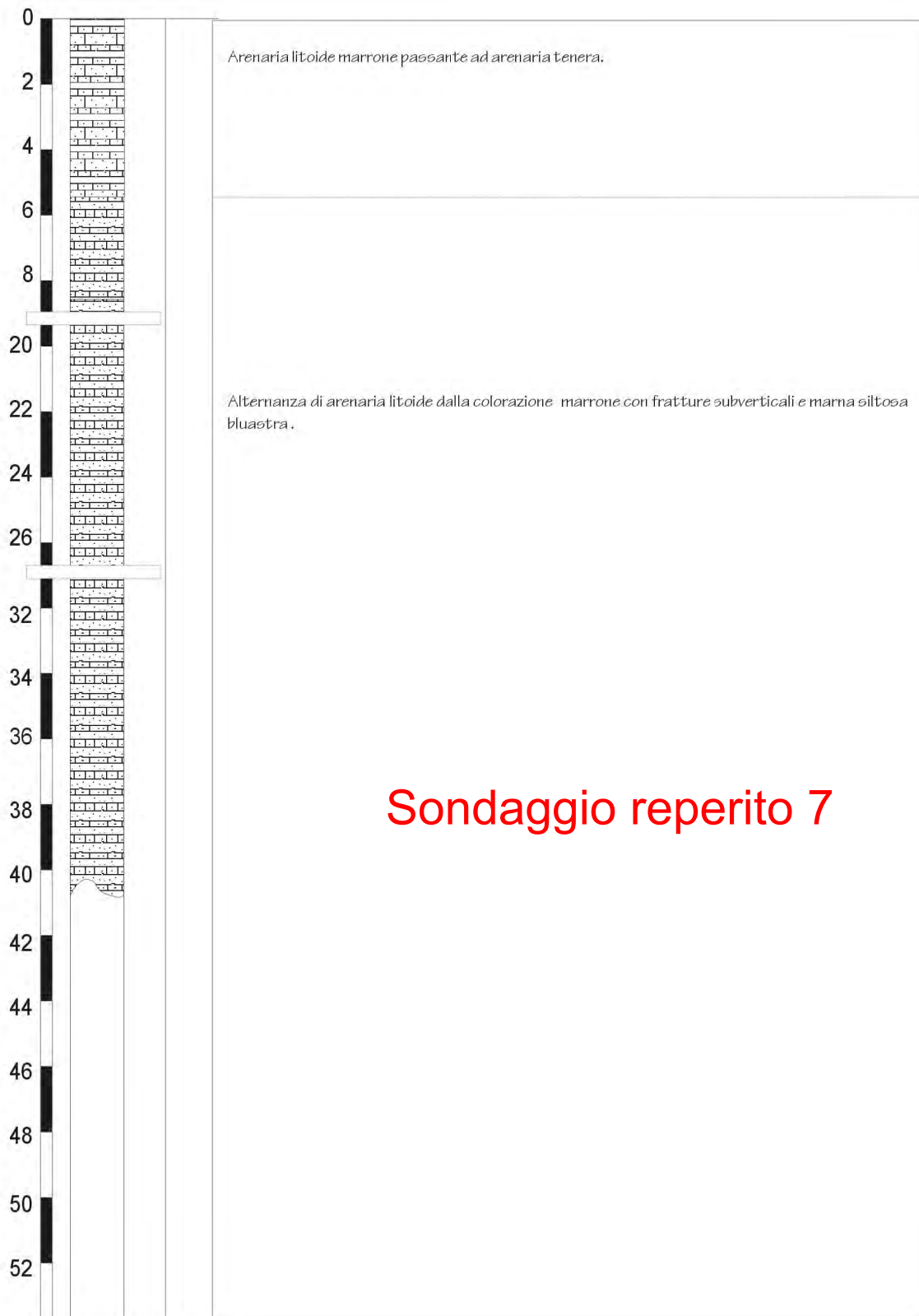
Rp= peneirometro tascabile Kg/cmq  
Vt = scissometro tascabile Kg/cmq

SPESSORE

## LITOLOGIA

Rp

Vt



Sondaggio reperito 7

**CAR.BEN. (sas)**

DOCUMENTAZIONE REPERITA

Sondaggio n°24

Committente: Amministrazione Comunale di Camerino

Località: CAMERINO ( MC)

Rp= penetrometro tascabile Kg/cmq  
Vt = scissometro tascabile Kg/cmq

SPESSORE

## LITOLOGIA



Rp

Vt

**Sondaggio reperito 8**

CAR.BEN. (sas)

DOCUMENTAZIONE REPERITA

Sondaggio n°25

Cantiere: Palazzo Ducale

Località: CAMERINO ( MC)

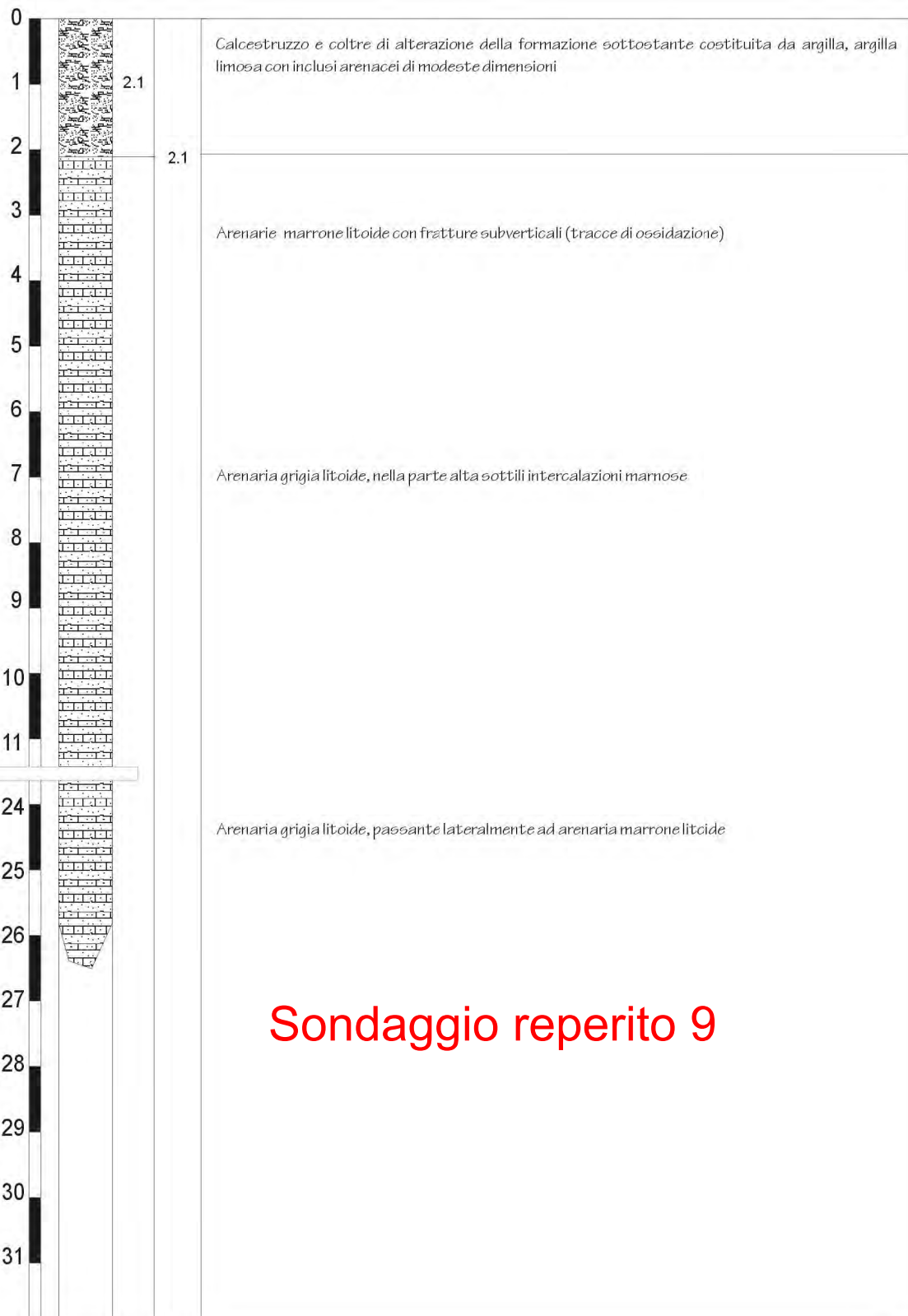
Rp= penetrometro tascabile Kg/cmq  
Vt = scissometro tascabile Kg/cmq

SPESSORE

## LITOLOGIA

Rp

Vt



Sondaggio reperito 9

Località: CAMERINO ( MC)

Rp= penetrometro tascabile Kg/cmq  
Vt = scissometro tascabile Kg/cmq

SPESSORE

## LITOLOGIA

Rp

Vt



Sondaggio reperito 10

Località: CAMERINO (MC)

Rp= peneiro metro tascabile Kg/cmq  
Vt = scissometro tascabile Kg/cmq

SPESSORE

## LITOLOGIA

Rp

Vt





Committente: CENTRO MS

Cantiere: CAMERINO Centro stc

Sondaggio: S2

Prof. sondaggio [m]: 37

Data esecuzione: 30/09/2017

Pagina: 1/3

Prova: DH2

## PROVA DOWN-HOLE

### MODALITÀ DI ACQUISIZIONE

Acquisitore tipo

**Sismografo 24bit**

Numero di geofoni / sensori per geofono

**3(X-Y-Z) +1 boccaforo**

Canali impiegati

**CH1; CH2; CH3; CH4**

Intervallo acquisizione [ms]

**0.064**

Tempo di campionamento [ms]

**200**

Filtri in acquisizione [Hz]

**200**

### MODALITÀ ESECUTIVE

Sequenza misure

**2 orizzontali (DX-SN)**

**1 verticale (V)**

Passo di misura [m]

**1.00**

N. Battute /misura

**2 per DX e SN**

**1 per V**

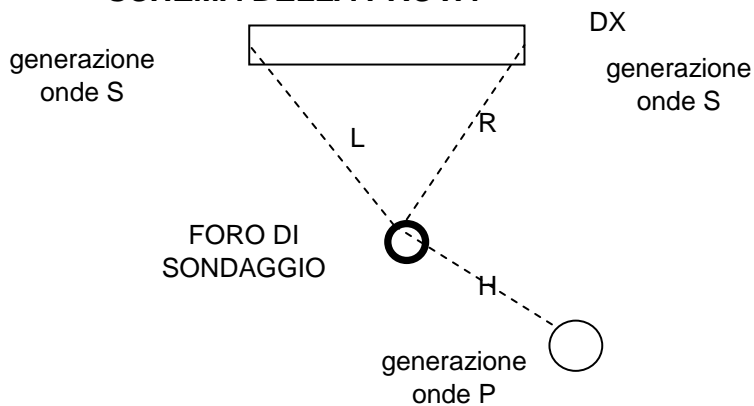
Prof. max misure [m]

**35.00**

Note:

### SCHEMA DELLA PROVA

H=L=R=3.40m



## INTERPRETAZIONE - PROFILI DI VELOCITÀ

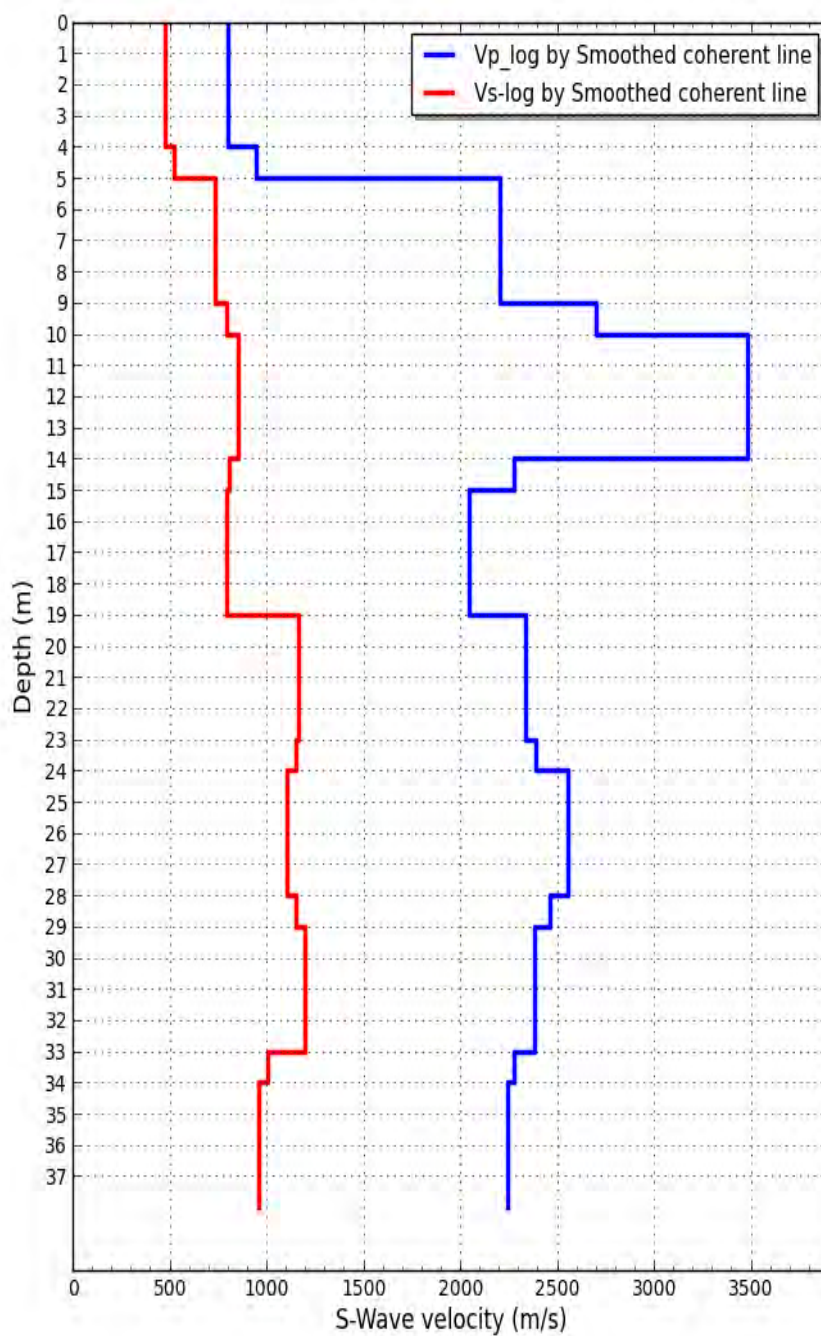
Cantiere: CAMERINOcentro stor Sondaggio: S2

Prova: DH2

z	V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>	v
[m]	[m/s]	[m/s]	[-]
1.00	798	475	0.23
2.00	798	475	0.23
3.00	798	475	0.23
4.00	798	475	0.23
5.00	950	522	0.28
6.00	2208	737	0.44
7.00	2208	737	0.44
8.00	2208	737	0.44
9.00	2208	737	0.44
10.00	2702	792	0.45
11.00	3482	856	0.47
12.00	3482	856	0.47
13.00	3482	856	0.47
14.00	3482	856	0.47
15.00	2278	807	0.43
16.00	2043	792	0.41
17.00	2043	792	0.41
18.00	2043	792	0.41
19.00	2043	792	0.41
20.00	2337	1166	0.33
21.00	2337	1166	0.33
22.00	2337	1166	0.33
23.00	2337	1166	0.33
24.00	2388	1151	0.35
25.00	2553	1109	0.38
26.00	2553	1109	0.38
27.00	2553	1109	0.38
28.00	2553	1109	0.38
29.00	2464	1152	0.36
30.00	2381	1199	0.33
31.00	2381	1199	0.33
32.00	2381	1199	0.33
33.00	2381	1199	0.33
34.00	2279	1009	0.38
35.00	2247	958	0.39
36.00	2247	958	0.39
37.00	2247	958	0.39

z: profondità geofono 3D

v: coefficiente di Poisson



## INTERPRETAZIONE - SISMOSTRAGRAFIA

Cantiere: CAMERINOcentro stor Sondaggio: S2

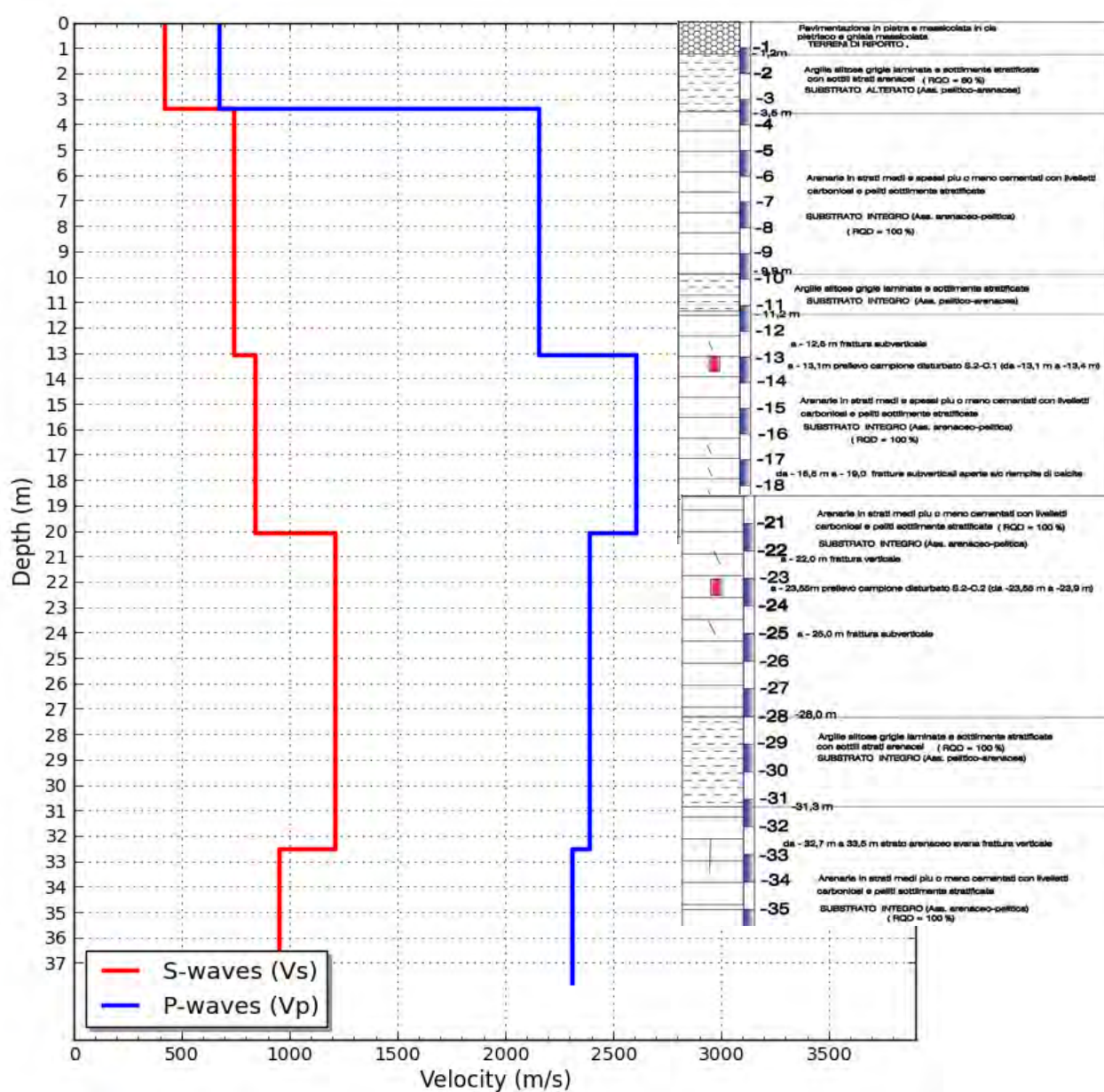
Prova: DH2

z	h	V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>	v
[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[-]
3.40	3.4	675	419	0.19
13.09	9.69	2154	744	0.43
20.06	6.97	2604	839	0.44
32.50	12.44	2387	1208	0.33
>37.78	>5.28	2307	954	0.40

z: profondità base sismostrato

v: coefficiente di Poisson

h: spessore



# INDAGINE GEOFISICA

## tramite tecnica HVSR

Strumento acquisizione: *SR04Geobox (4,5 Hz)*



Software elaborazione dati: *Easy HVSR*



### Dati generali

Nome progetto: Riparazione danni e miglioramento sismico del Palazzo Ducale (da Varano), danneggiato dagli eventi sismici del 24 agosto 2016 e successivi  
Committente: UNICAM Università degli Studi di Camerino  
Località: Piazza Cavour - 62032 - Camerino (MC) - Marche - Italia  
Operatore: Geol. Marcello Maccari  
Responsabile: Geol. Marcello Maccari  
Data: 07/02/2022 00:00:00

### HVSR 1 Orto Botanico



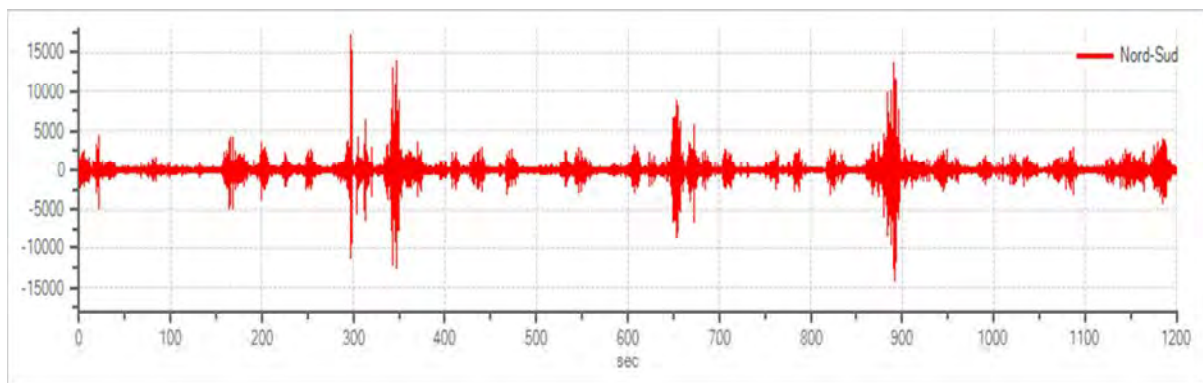
Ubicazione prova sismica HVSR

## Tracce in input

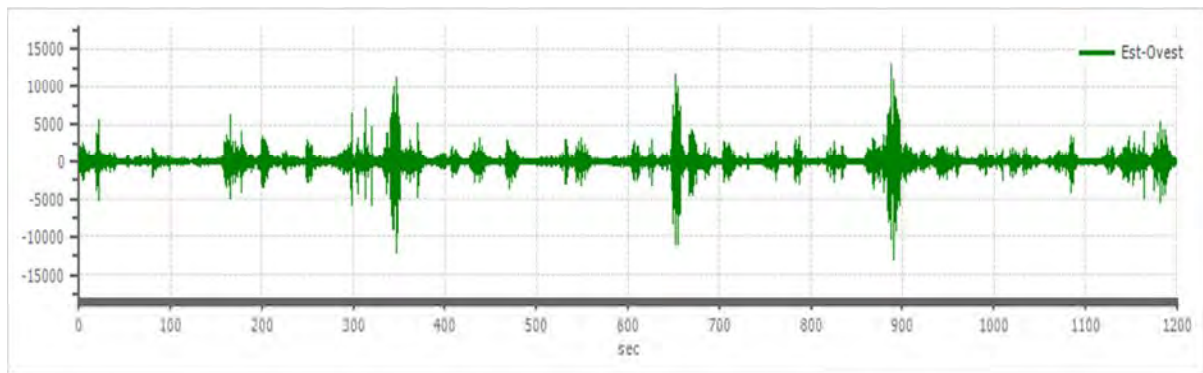
### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Numero campioni:	360000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

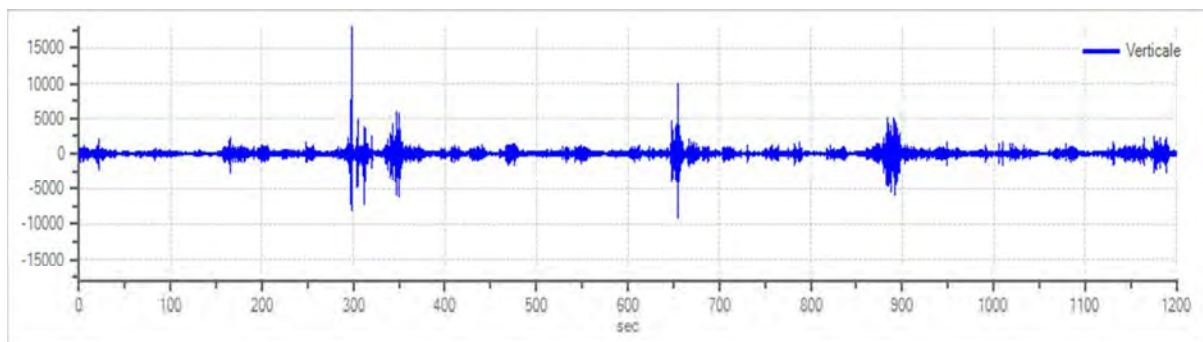
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

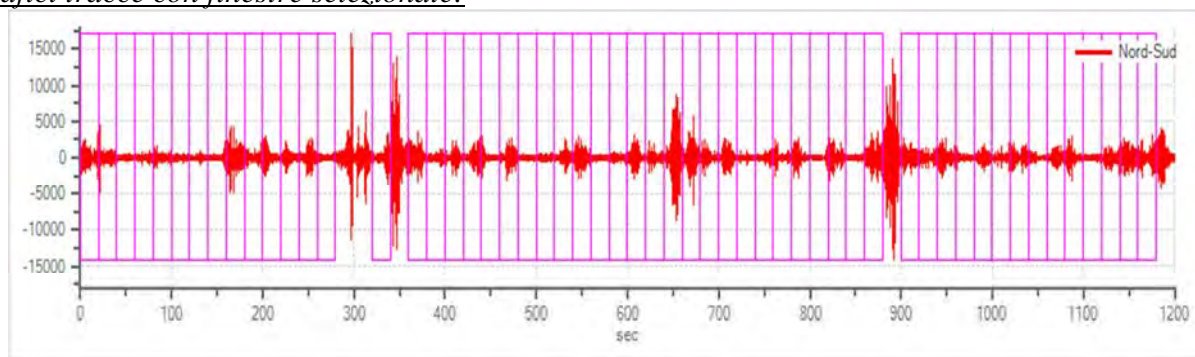
Numero totale finestre selezionate: 55  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 55  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %  
 Coefficiente di banda: 40.00

### Tabella finestre:

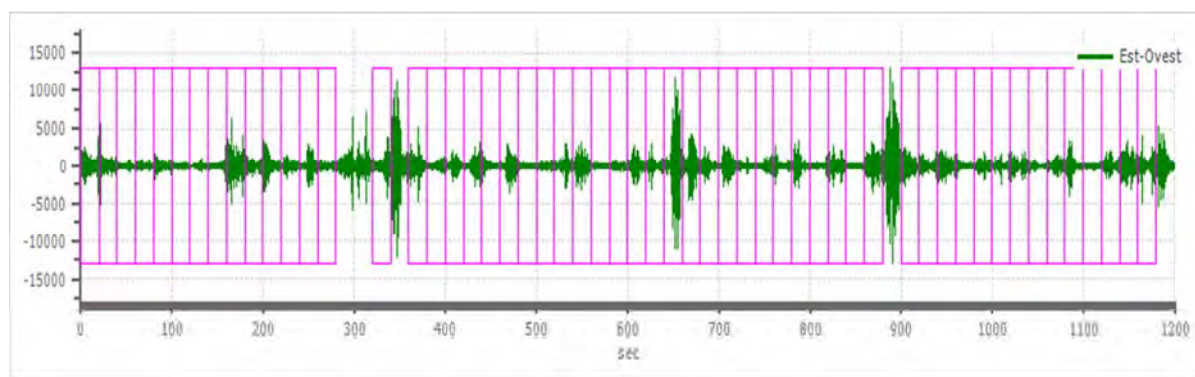
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	360	380	Inclusa
17	380	400	Inclusa
18	400	420	Inclusa
19	420	440	Inclusa
20	440	460	Inclusa
21	460	480	Inclusa
22	480	500	Inclusa
23	500	520	Inclusa
24	520	540	Inclusa
25	540	560	Inclusa
26	560	580	Inclusa
27	580	600	Inclusa
28	600	620	Inclusa
29	620	640	Inclusa
30	640	660	Inclusa
31	660	680	Inclusa
32	680	700	Inclusa
33	700	720	Inclusa
34	720	740	Inclusa
35	740	760	Inclusa
36	760	780	Inclusa
37	780	800	Inclusa
38	800	820	Inclusa
39	820	840	Inclusa
40	840	860	Inclusa
41	860	880	Inclusa

42	900	920	Inclusa
43	920	940	Inclusa
44	940	960	Inclusa
45	960	980	Inclusa
46	980	1000	Inclusa
47	1000	1020	Inclusa
48	1020	1040	Inclusa
49	1040	1060	Inclusa
50	1060	1080	Inclusa
51	1080	1100	Inclusa
52	1100	1120	Inclusa
53	1120	1140	Inclusa
54	1140	1160	Inclusa
55	1160	1180	Inclusa

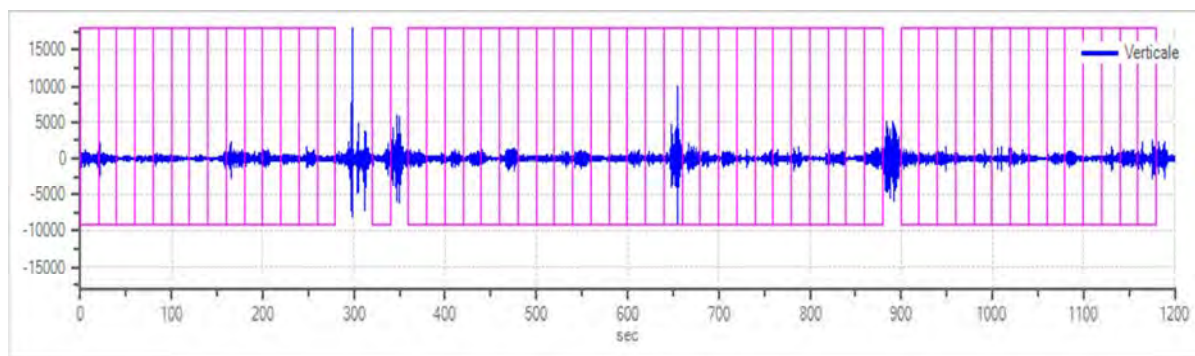
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

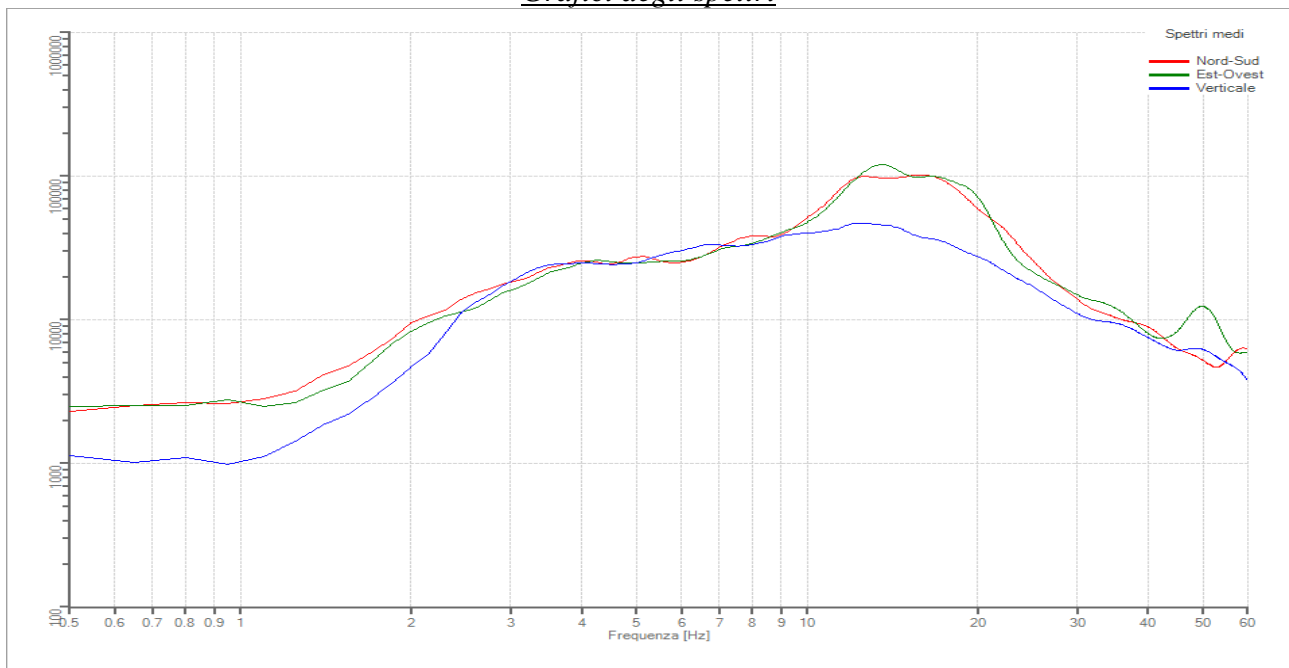


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

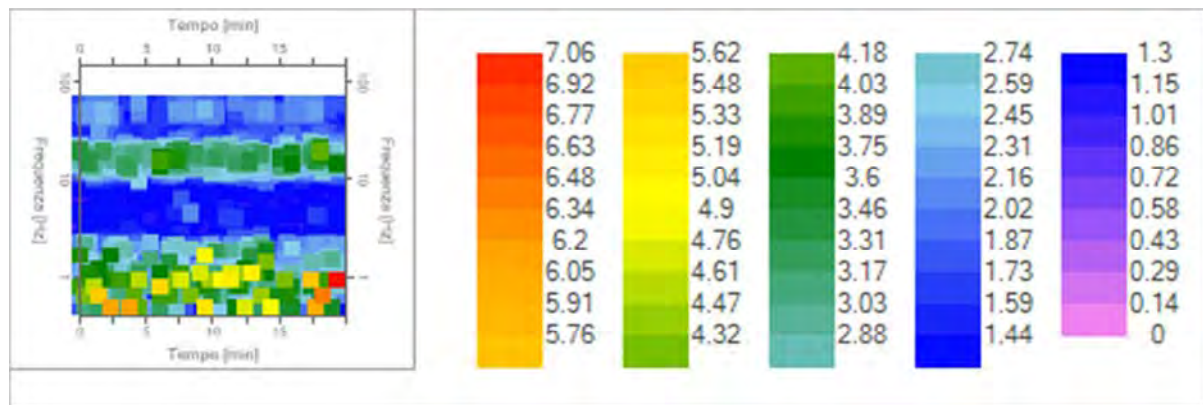


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

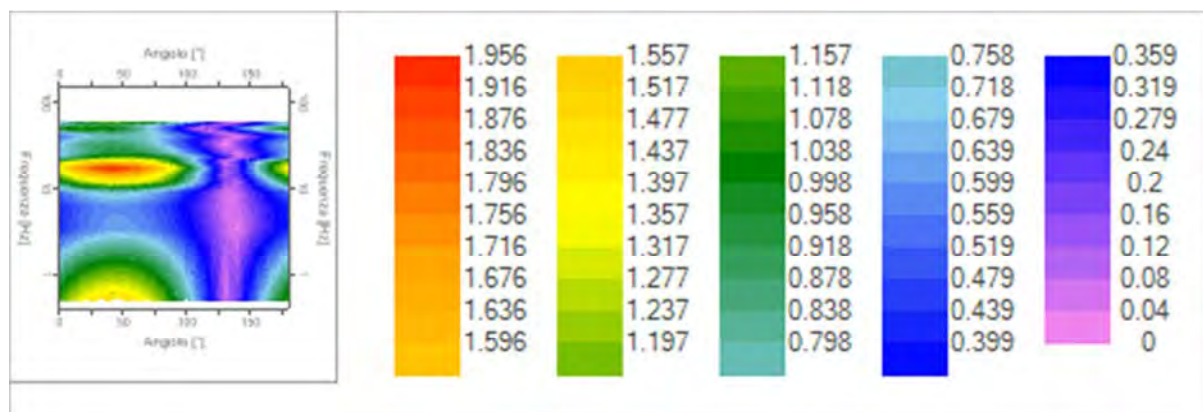
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

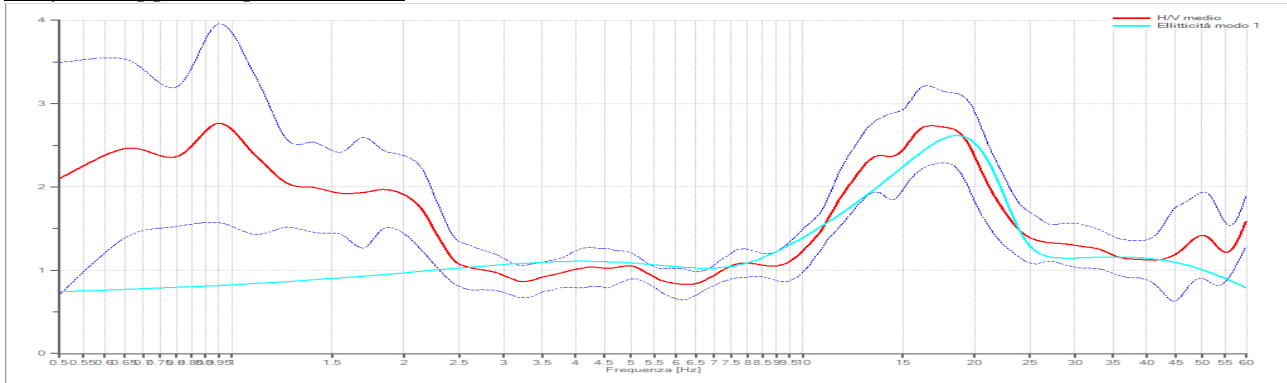
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 60.00 Hz  
Frequenza minima: 0.50 Hz  
Passo frequenza: 0.15 Hz  
Tipo lisciamiento:: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %  
Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.95 Hz  $\pm$  0.43 Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME:

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

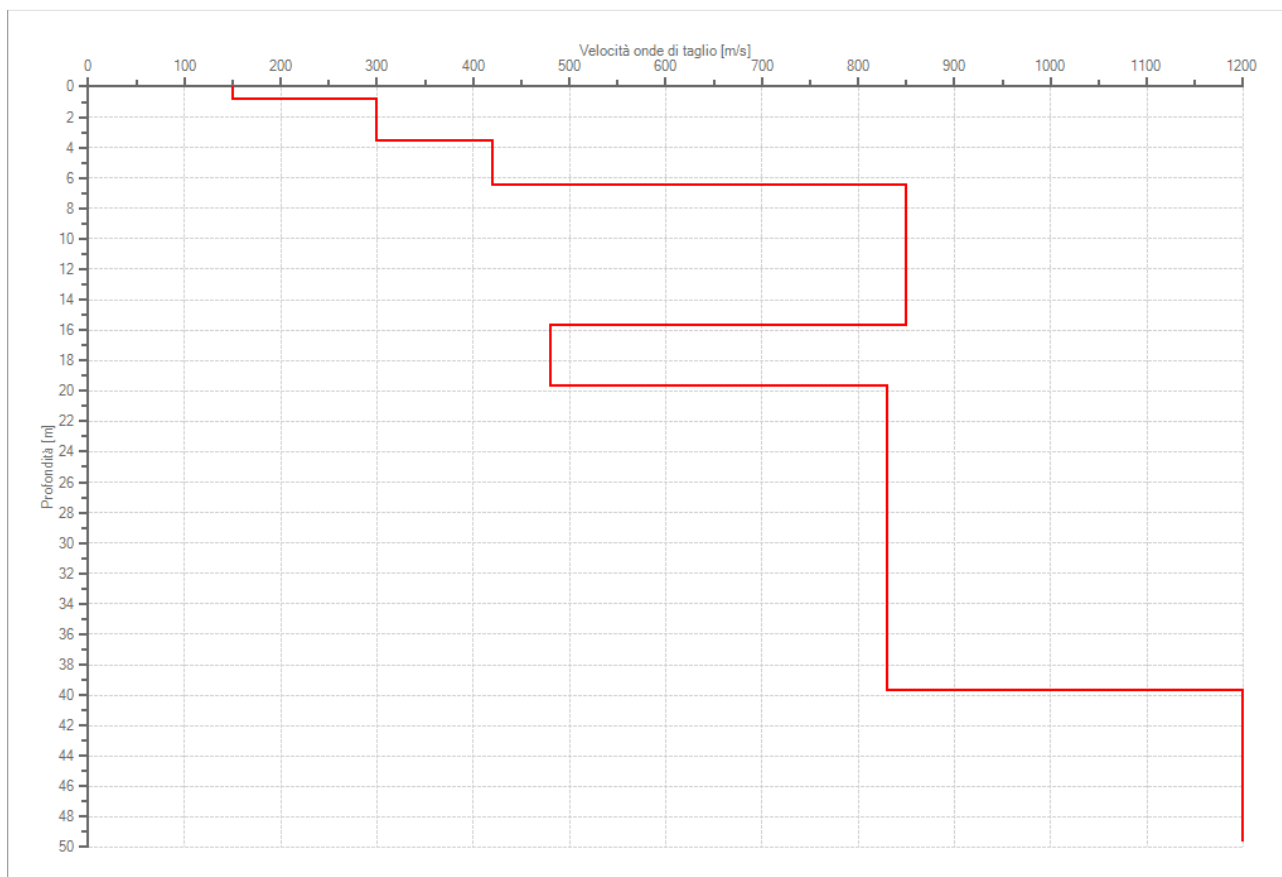
## Modello stratigrafico

### Dati riepilogativi:

Numero strati: 7  
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 18.65 Hz  
 Valore di disadattamento: -1.00  
 Valore Vseq: 301.32 m/s

### Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	0.8	19	0.3	150
2	0.8	2.8	20	0.3	300
3	3.6	2.9	21	0.3	420
4	6.5	9.2	23	0.3	850
5	15.7	4	21	0.3	480
6	19.7	20	23	0.3	830
7	39.7	10	24	0.3	1200



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

# INDAGINE GEOFISICA

## tramite tecnica HVSR

Strumento acquisizione: *SR04Geobox (4,5 Hz)*



Software elaborazione dati: *Easy HVSR*



### Dati generali

Nome progetto: Riparazione danni e miglioramento sismico del Palazzo Ducale (da Varano), danneggiato dagli eventi sismici del 24 agosto 2016 e successivi  
Committente: UNICAM Università degli Studi di Camerino  
Località: Piazza Cavour - 62032 - Camerino (MC) - Marche - Italia  
Operatore: Geol. Marcello Maccari  
Responsabile: Geol. Marcello Maccari  
Data: 16/02/2022 00:00:00

## HVSR 2 Orto Botanico



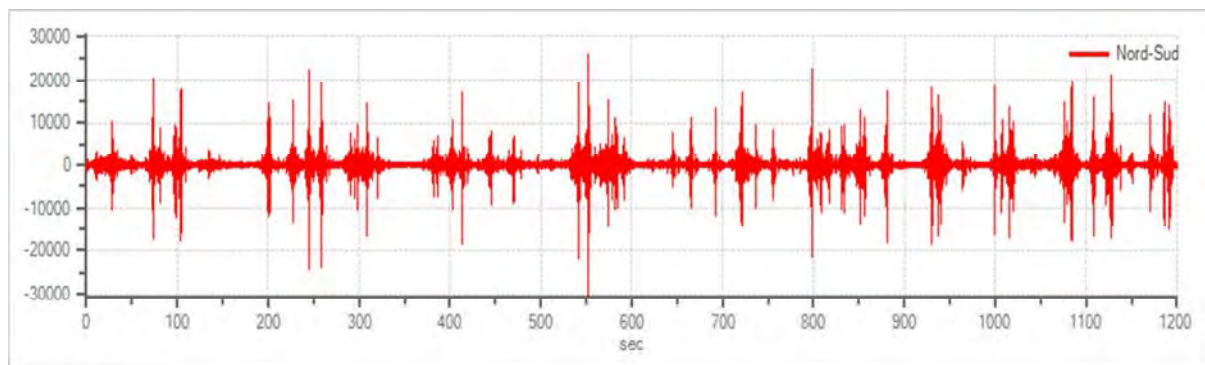
Ubicazione prova sismica HVSR

## Tracce in input

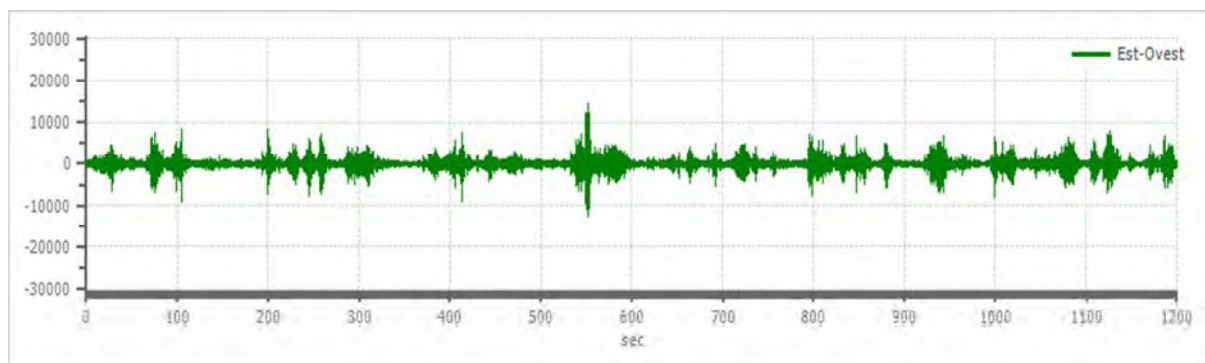
### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Numero campioni:	360000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

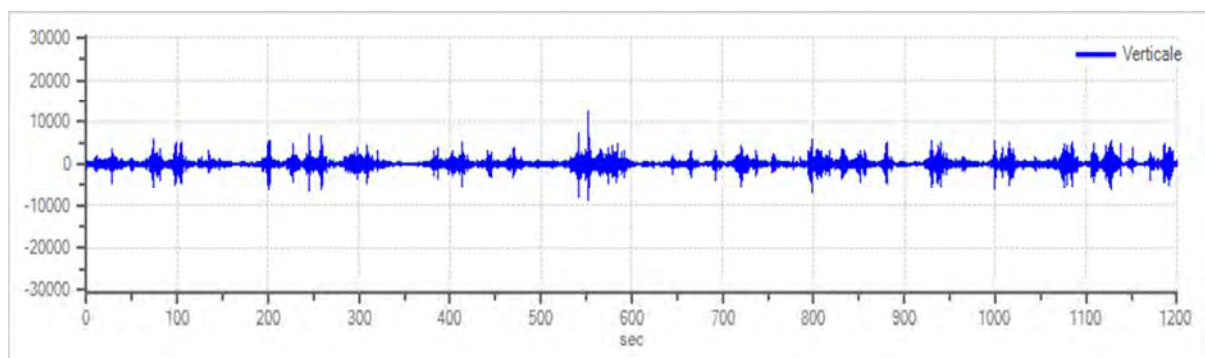
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

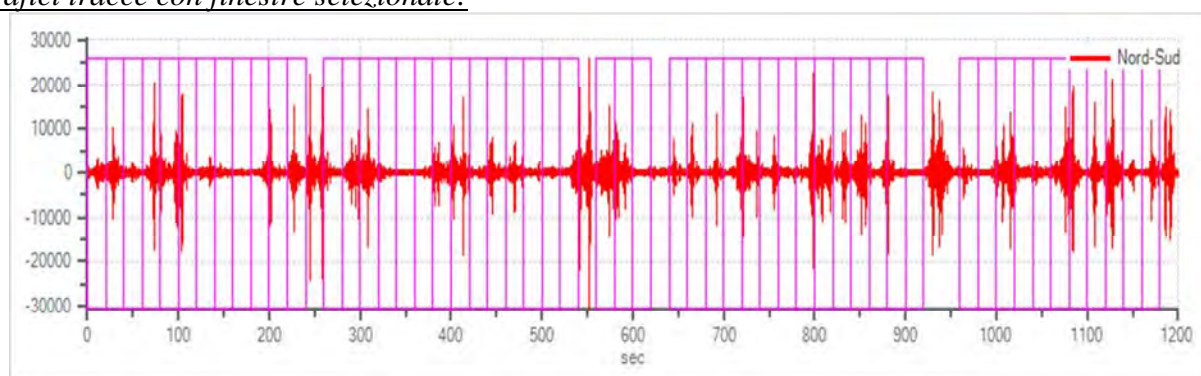
Numero totale finestre selezionate: 54  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 54  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %  
 Coefficiente di banda: 40.00

### Tabella finestre:

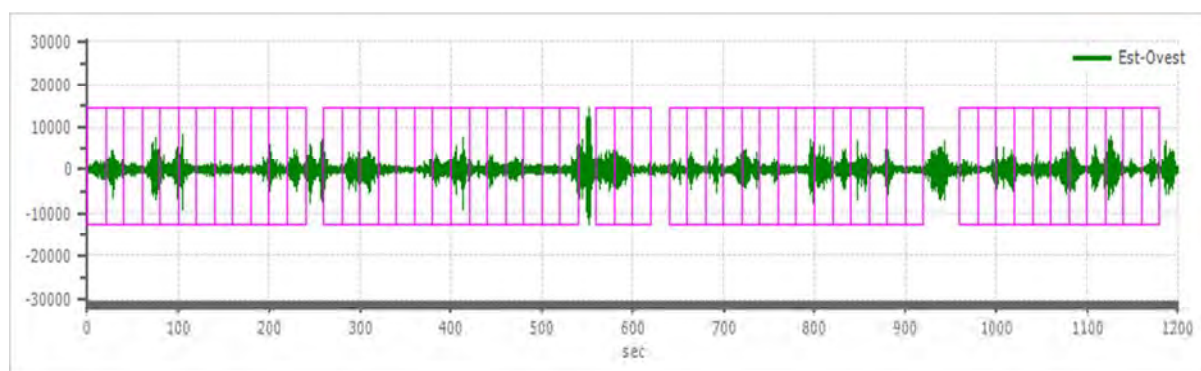
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	260	280	Inclusa
14	280	300	Inclusa
15	300	320	Inclusa
16	320	340	Inclusa
17	340	360	Inclusa
18	360	380	Inclusa
19	380	400	Inclusa
20	400	420	Inclusa
21	420	440	Inclusa
22	440	460	Inclusa
23	460	480	Inclusa
24	480	500	Inclusa
25	500	520	Inclusa
26	520	540	Inclusa
27	560	580	Inclusa
28	580	600	Inclusa
29	600	620	Inclusa
30	640	660	Inclusa
31	660	680	Inclusa
32	680	700	Inclusa
33	700	720	Inclusa
34	720	740	Inclusa
35	740	760	Inclusa
36	760	780	Inclusa
37	780	800	Inclusa
38	800	820	Inclusa
39	820	840	Inclusa
40	840	860	Inclusa
41	860	880	Inclusa

42	880	900	Inclusa
43	900	920	Inclusa
44	960	980	Inclusa
45	980	1000	Inclusa
46	1000	1020	Inclusa
47	1020	1040	Inclusa
48	1040	1060	Inclusa
49	1060	1080	Inclusa
50	1080	1100	Inclusa
51	1100	1120	Inclusa
52	1120	1140	Inclusa
53	1140	1160	Inclusa
54	1160	1180	Inclusa

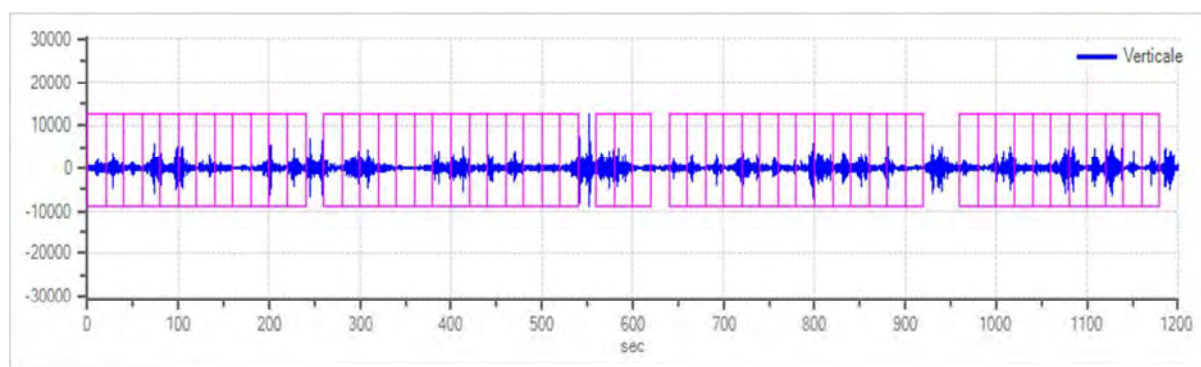
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

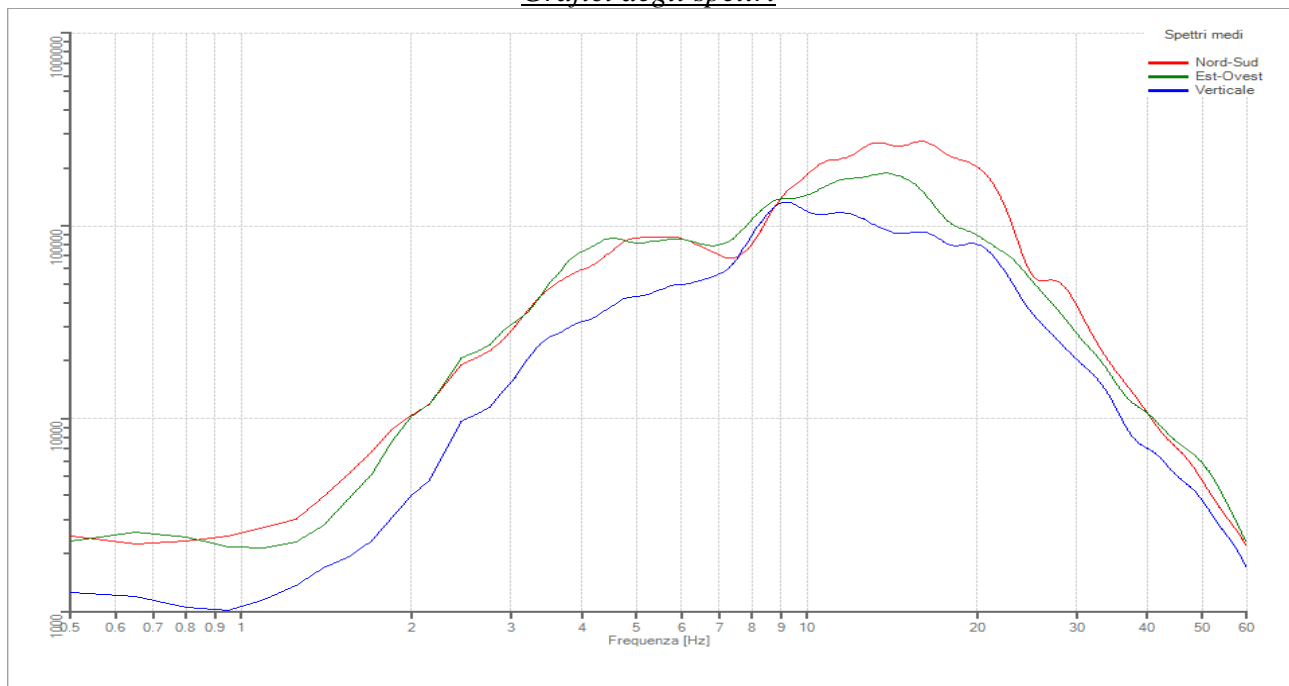


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

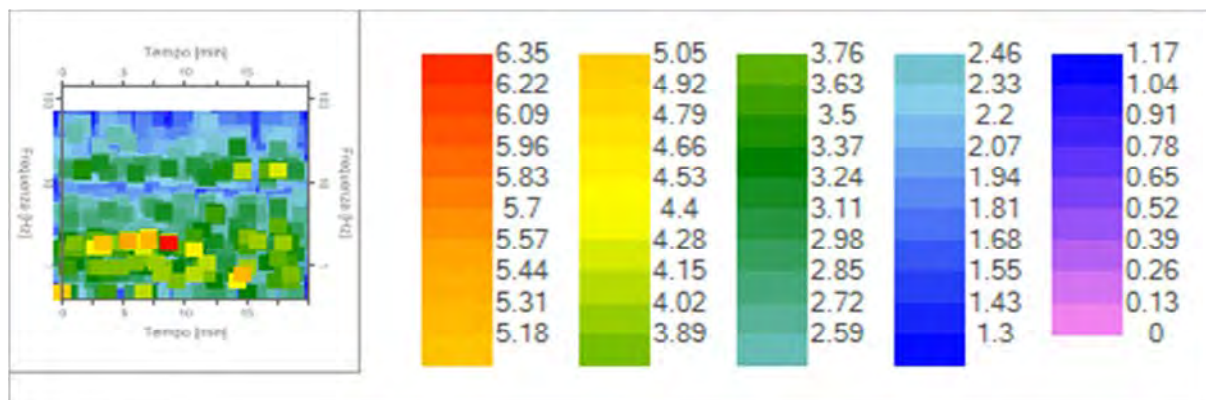


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

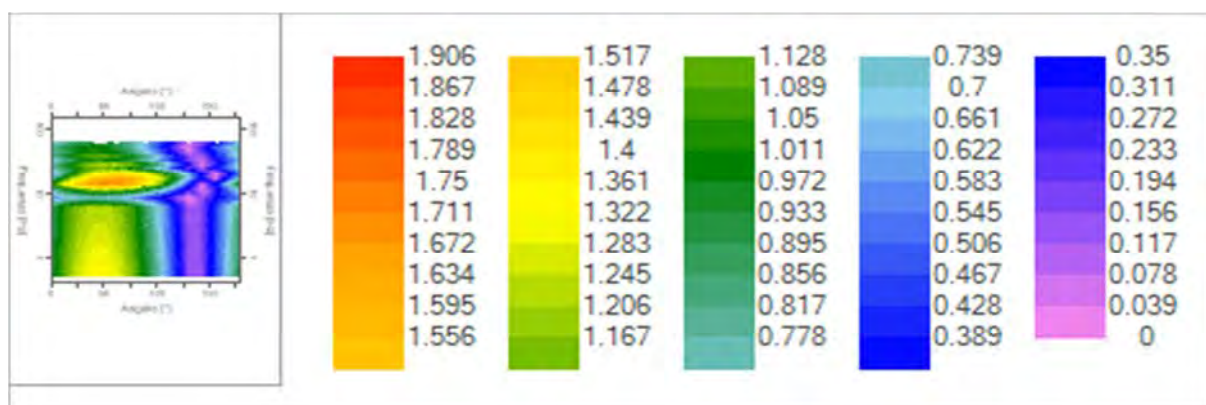
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

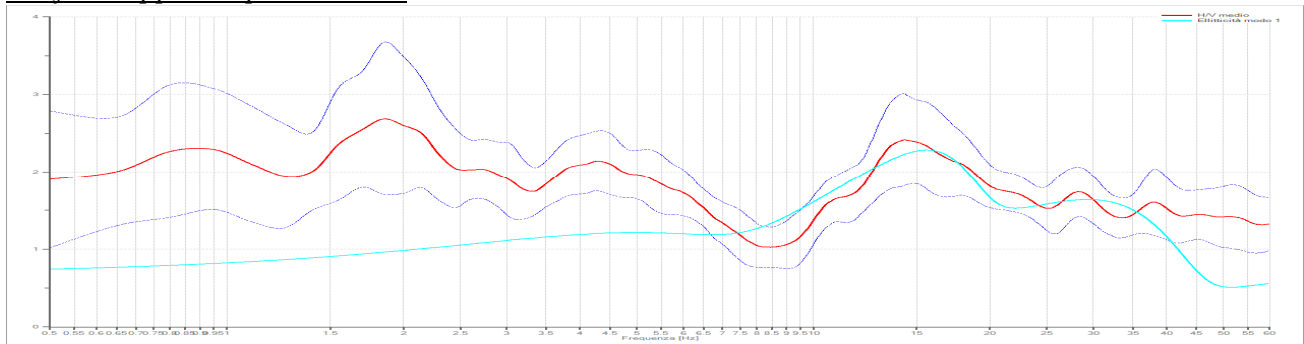
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 60.00 Hz  
Frequenza minima: 0.50 Hz  
Passo frequenza: 0.15 Hz  
Tipo lisciamiento:: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %  
Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.85 Hz  $\pm 0.37$  Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME:

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

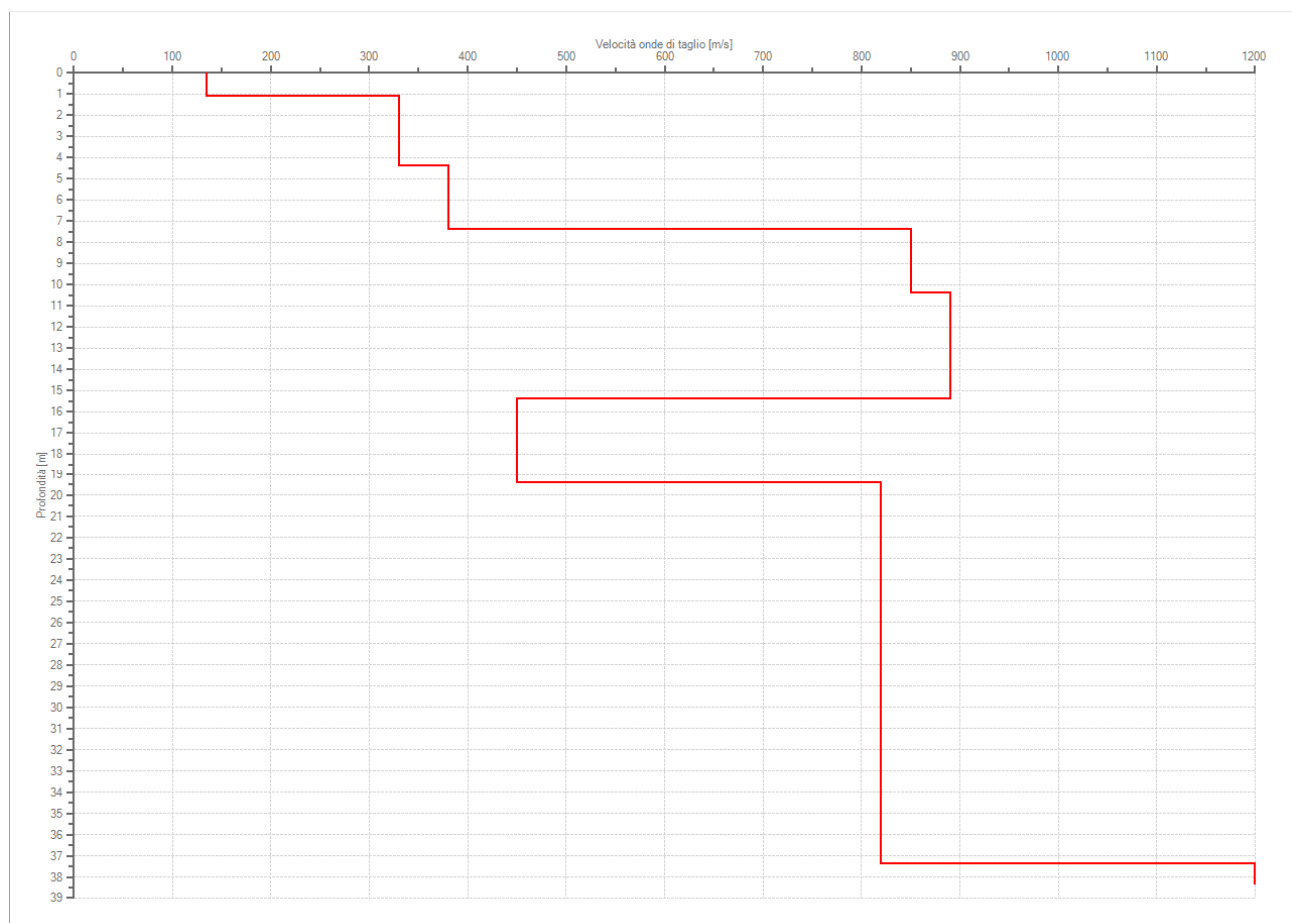
## Modello stratigrafico

### Dati riepilogativi:

Numero strati: 8  
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 15.65 Hz  
 Valore di disadattamento: 0.18  
 Valore Vseq: 284.15 m/s

### Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.1	18.5	0.3	135
2	1.1	3.3	20	0.3	330
3	4.4	3	21	0.3	380
4	7.4	3	22	0.3	850
5	10.4	5	23	0.3	890
6	15.4	4	22	0.3	450
7	19.4	18	23	0.3	820
8	37.4	1	24	0.3	1200



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

# INDAGINE GEOFISICA

## tramite tecnica HVSR

Strumento acquisizione: *SR04Geobox (4,5 Hz)*



Software elaborazione dati: *Easy HVSR*



### Dati generali

Nome progetto: Riparazione danni e miglioramento sismico del Palazzo Ducale (da Varano), danneggiato dagli eventi sismici del 24 agosto 2016 e successivi  
Committente: UNICAM Università degli Studi di Camerino  
Località: Piazza Cavour - 62032 - Camerino (MC) - Marche - Italia  
Operatore: Geol. Marcello Maccari  
Responsabile: Geol. Marcello Maccari  
Data: 14/02/2022 00:00:00

## HVSR 3 Piazza Cavour



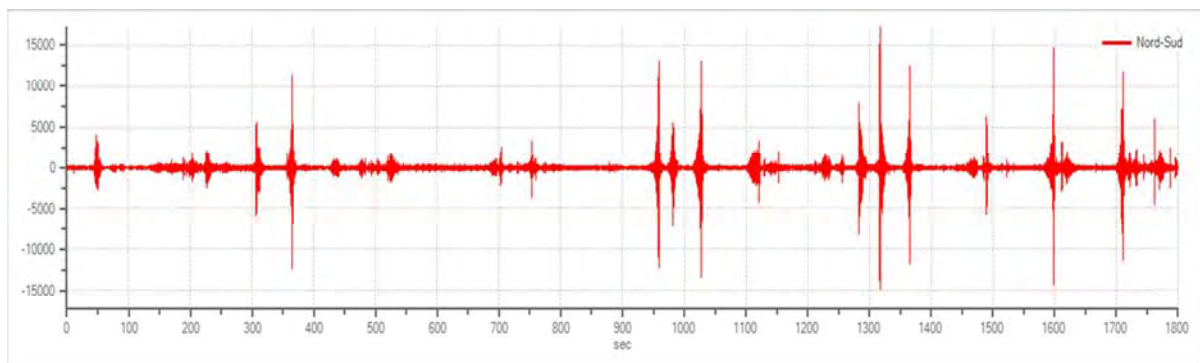
Ubicazione prova sismica HVSR

## Tracce in input

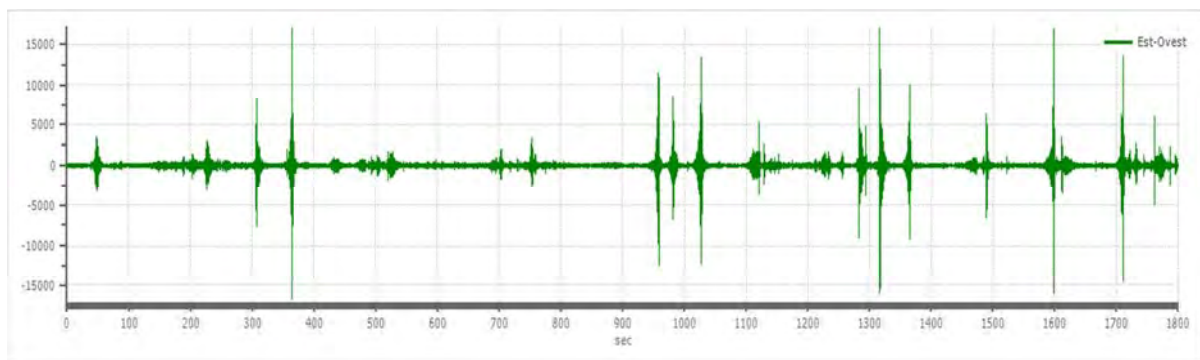
### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1800 s  
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz  
Numero campioni: 540000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

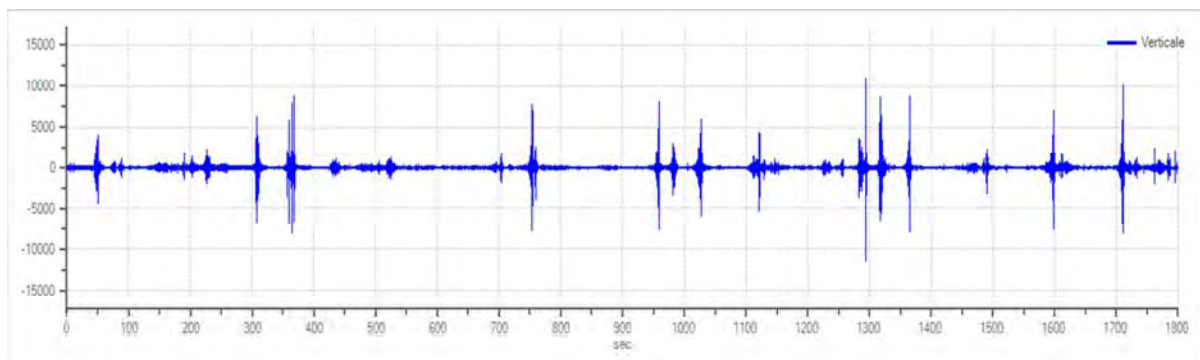
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

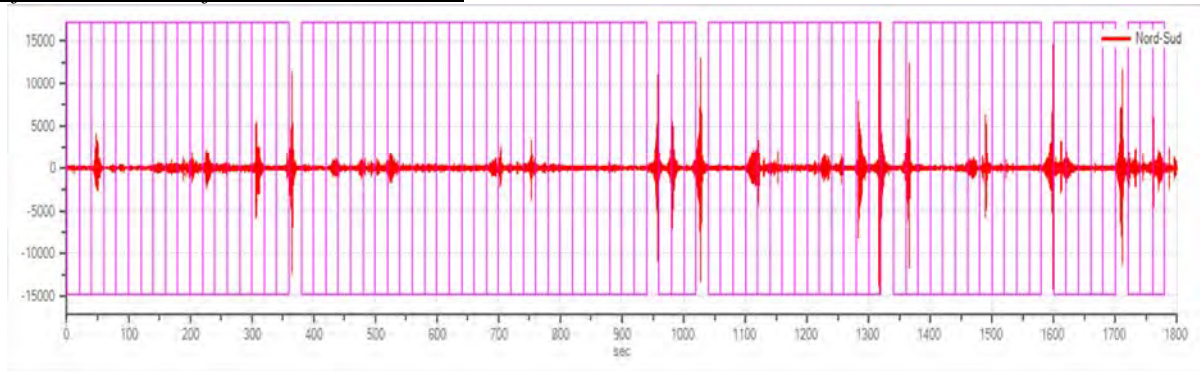
Numero totale finestre selezionate: 83  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 83  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %  
 Coefficiente di banda: 40.00

### Tabella finestre:

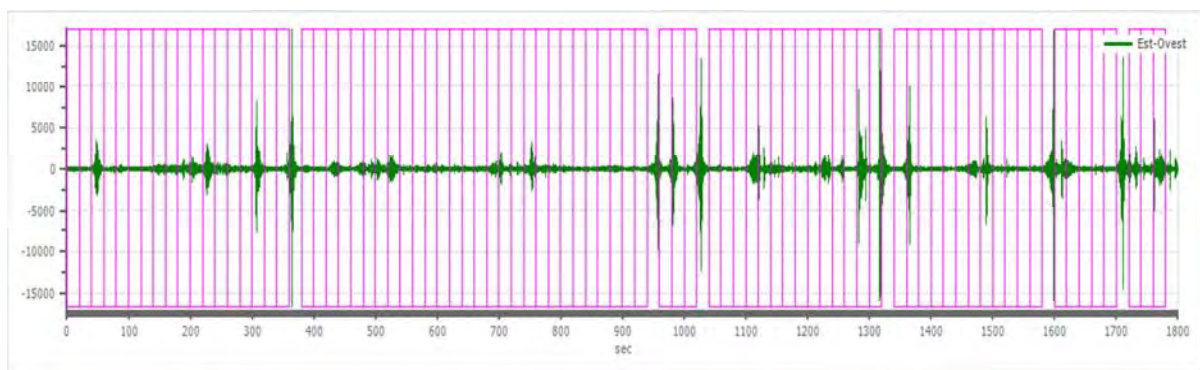
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa
17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	380	400	Inclusa
20	400	420	Inclusa
21	420	440	Inclusa
22	440	460	Inclusa
23	460	480	Inclusa
24	480	500	Inclusa
25	500	520	Inclusa
26	520	540	Inclusa
27	540	560	Inclusa
28	560	580	Inclusa
29	580	600	Inclusa
30	600	620	Inclusa
31	620	640	Inclusa
32	640	660	Inclusa
33	660	680	Inclusa
34	680	700	Inclusa
35	700	720	Inclusa
36	720	740	Inclusa
37	740	760	Inclusa

38	760	780	Inclusa
39	780	800	Inclusa
40	800	820	Inclusa
41	820	840	Inclusa
42	840	860	Inclusa
43	860	880	Inclusa
44	880	900	Inclusa
45	900	920	Inclusa
46	920	940	Inclusa
47	960	980	Inclusa
48	980	1000	Inclusa
49	1000	1020	Inclusa
50	1040	1060	Inclusa
51	1060	1080	Inclusa
52	1080	1100	Inclusa
53	1100	1120	Inclusa
54	1120	1140	Inclusa
55	1140	1160	Inclusa
56	1160	1180	Inclusa
57	1180	1200	Inclusa
58	1200	1220	Inclusa
59	1220	1240	Inclusa
60	1240	1260	Inclusa
61	1260	1280	Inclusa
62	1280	1300	Inclusa
63	1300	1320	Inclusa
64	1340	1360	Inclusa
65	1360	1380	Inclusa
66	1380	1400	Inclusa
67	1400	1420	Inclusa
68	1420	1440	Inclusa
69	1440	1460	Inclusa
70	1460	1480	Inclusa
71	1480	1500	Inclusa
72	1500	1520	Inclusa
73	1520	1540	Inclusa
74	1540	1560	Inclusa
75	1560	1580	Inclusa
76	1600	1620	Inclusa
77	1620	1640	Inclusa
78	1640	1660	Inclusa
79	1660	1680	Inclusa
80	1680	1700	Inclusa
81	1720	1740	Inclusa
82	1740	1760	Inclusa
83	1760	1780	Inclusa

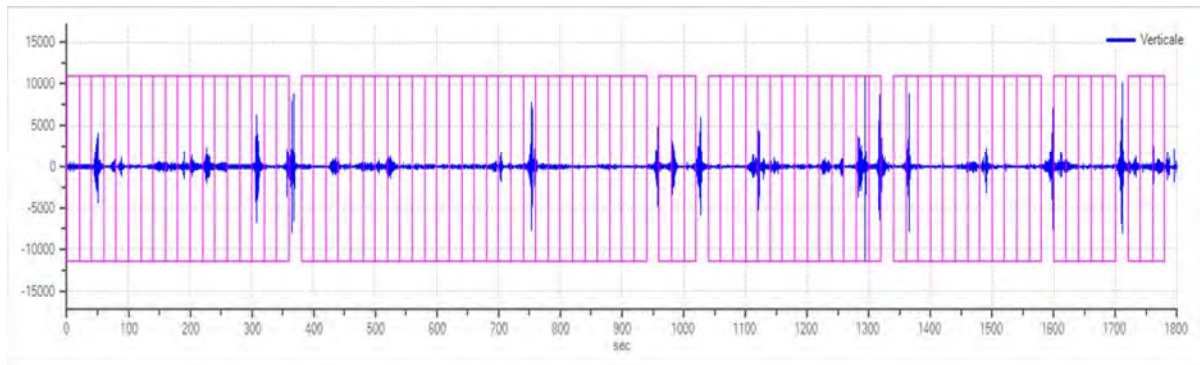
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

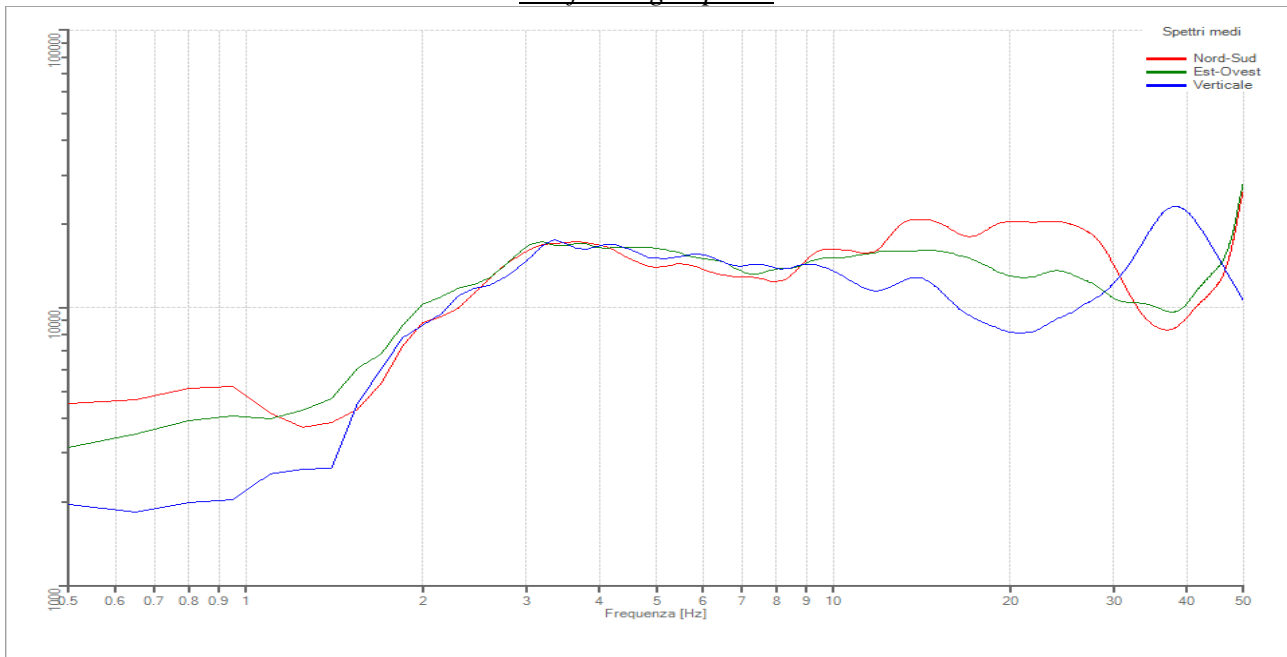


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

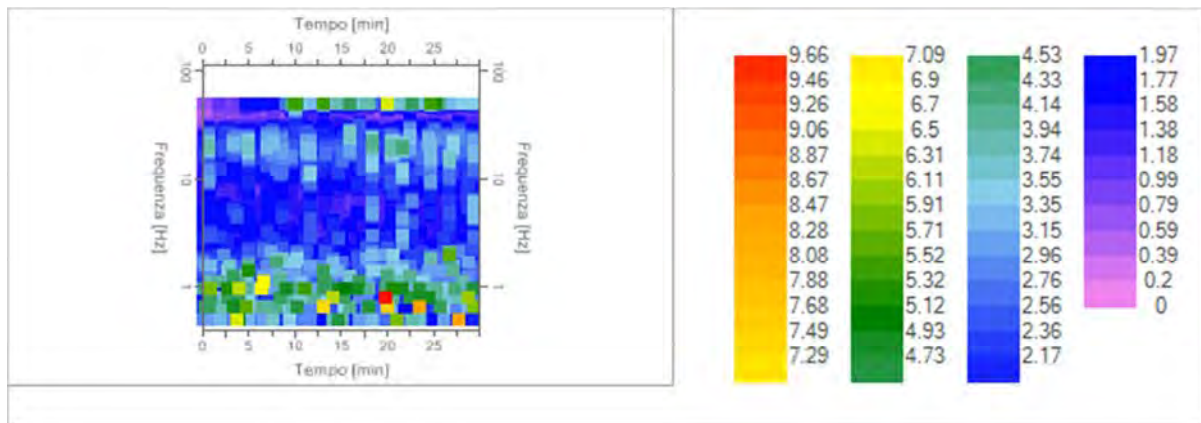


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

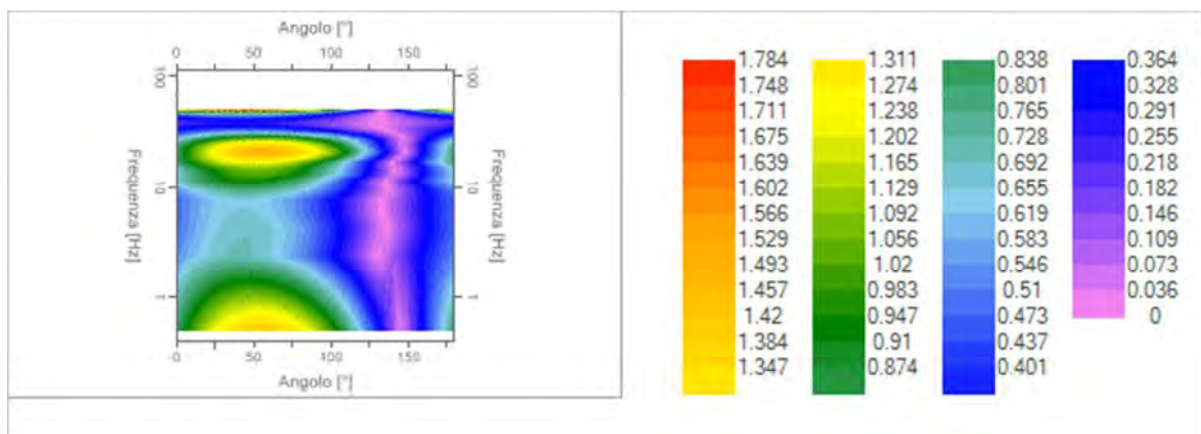
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

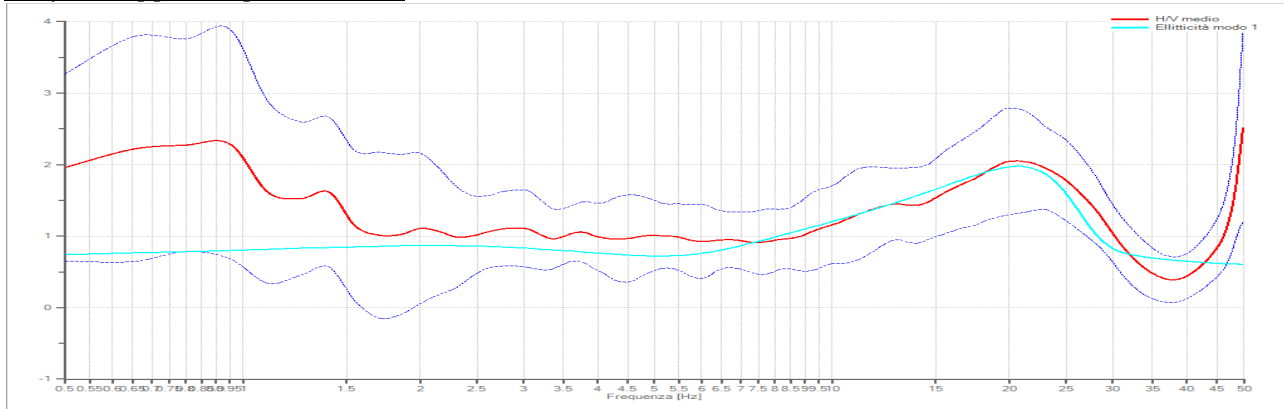
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 50.00 Hz  
Frequenza minima: 0.50 Hz  
Passo frequenze: 0.15 Hz  
Tipo lisciamiento:: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %  
Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 49.85 Hz  $\pm 0.52$ Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME:

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

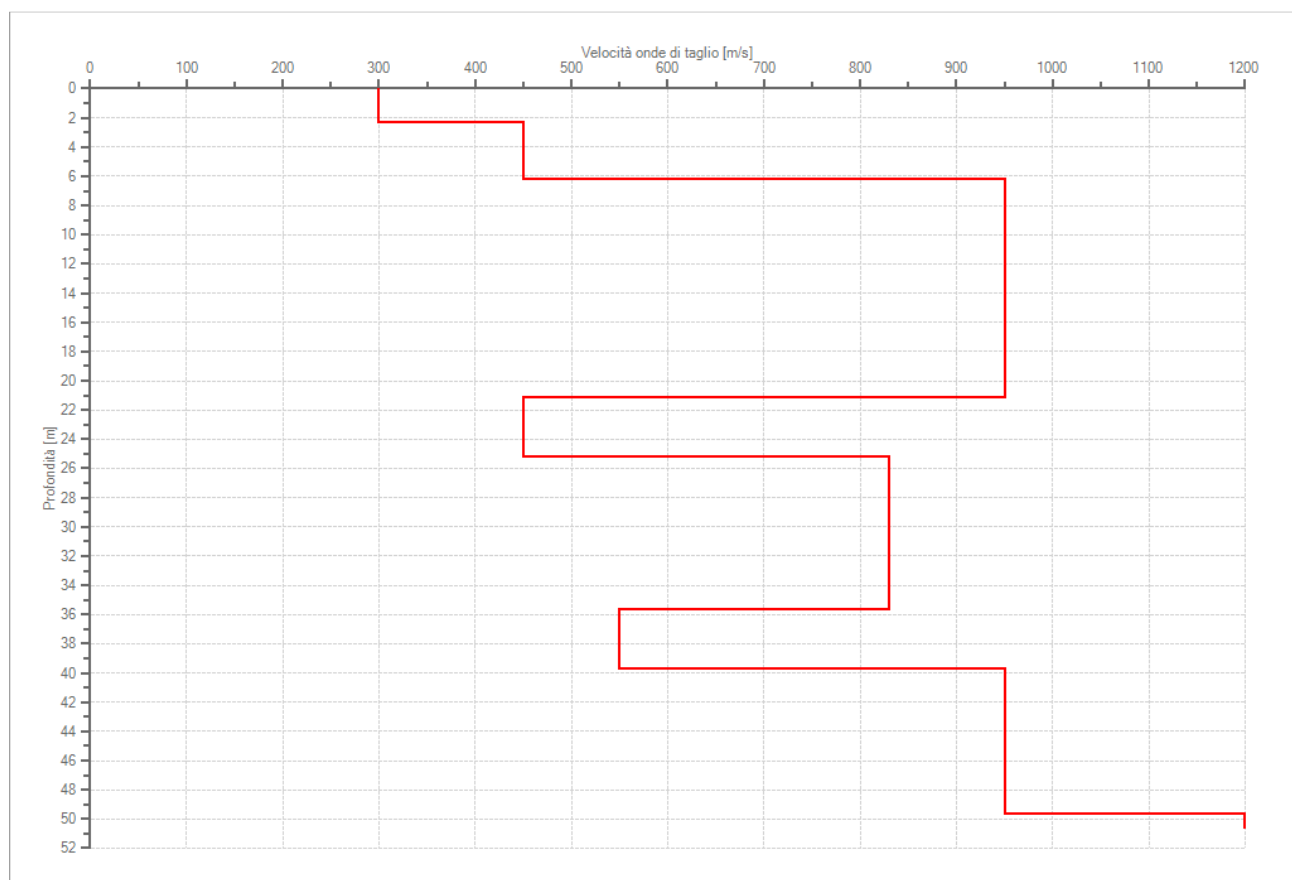
## Modello stratigrafico

### Dati riepilogativi:

Numero strati: 8  
Frequenza del picco dell'ellitticità: 20.75 Hz  
Valore di disadattamento: -1.00  
Valore Vseq: 379.59 m/s

### Dati della stratigrafia:

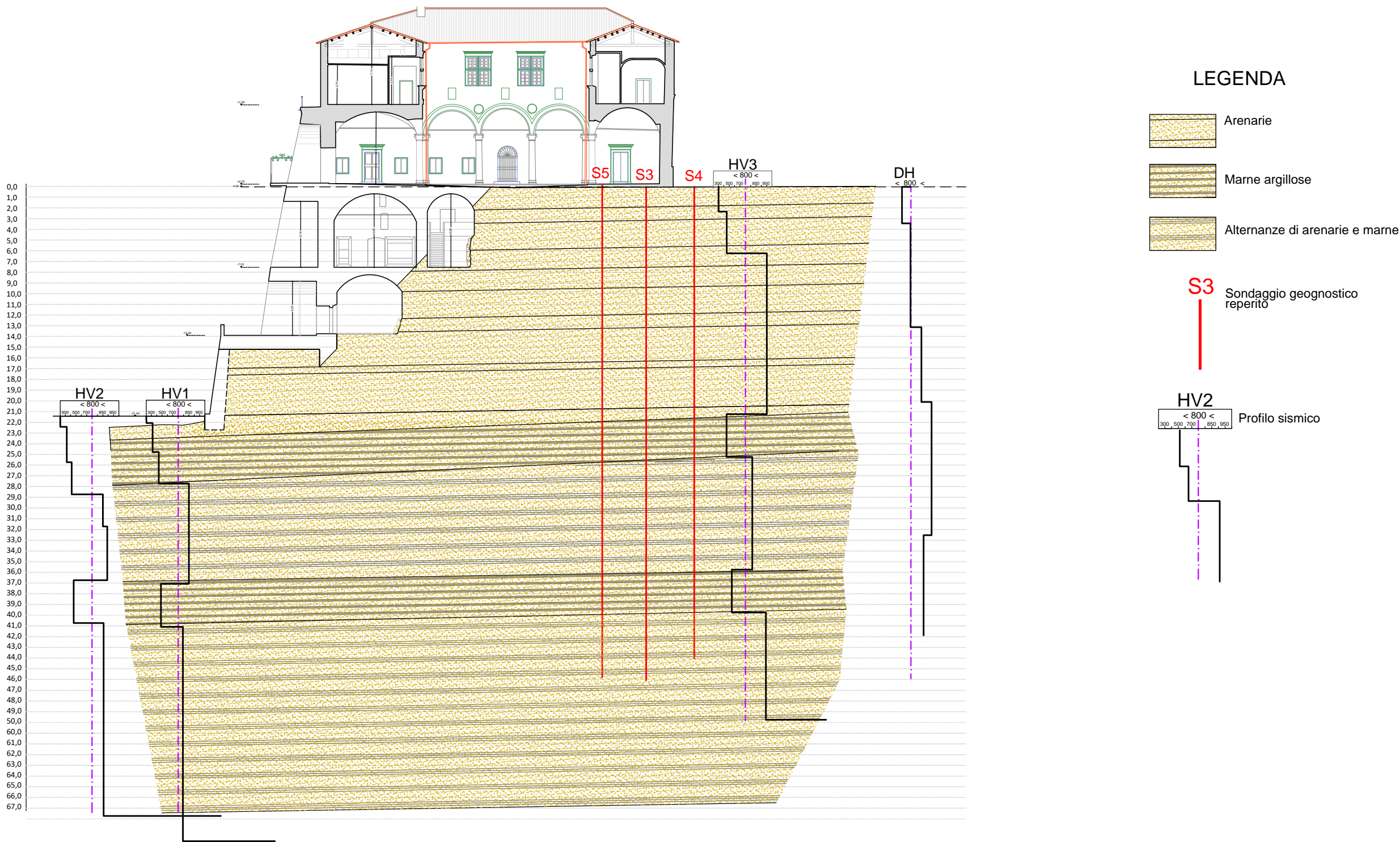
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.3	19	0.3	300
2	2.3	3.9	20	0.3	450
3	6.2	15	23	0.3	950
4	21.2	4	22	0.3	450
5	25.2	10.5	23	0.3	830
6	35.7	4	22	0.3	550
7	39.7	10	23	0.3	950
8	49.7	1	23	0.3	1200



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

# CORRELAZIONE LITO-SISMO STRATIGRAFICA

(scala 1:400)



Scala 1:500

Pianta PIANO GRANDI VOLTE (-8,40)

11 ➤ Punto di vista fotografico

[illegible]

Scala 1:500

Pianta PIANO DELLE GRANDI VOLTE (-14,00)

SALA SOTTO LE GRANDI VOLTE 12

AMBITO DEGRADATO 13

CISTERNE CONSERVATI

SERBA

CISTERNA

CISTERNA CONSERVATI

11 ➤ Punto di vista fotografico

# Documentazione fotografica



Foto 1



Foto 2



Foto 3

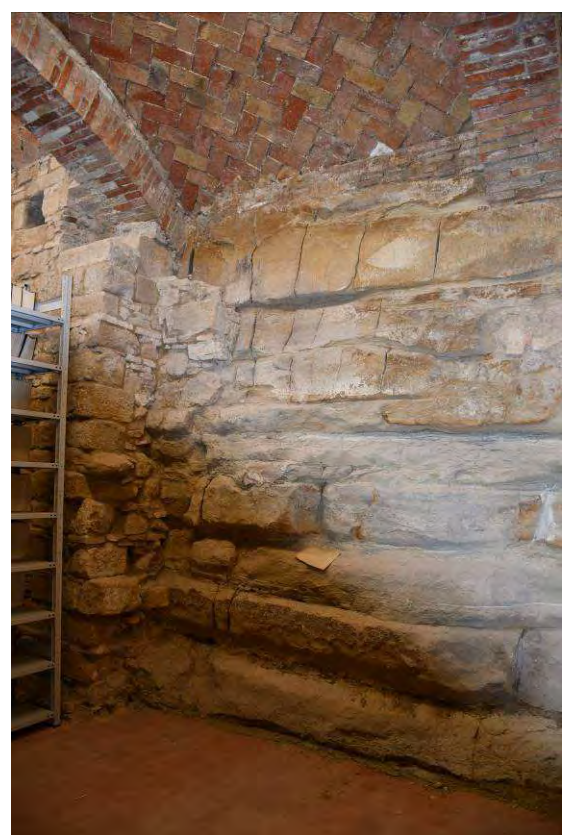


Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12



Foto 13



Foto 14



Foto 15



Foto 16

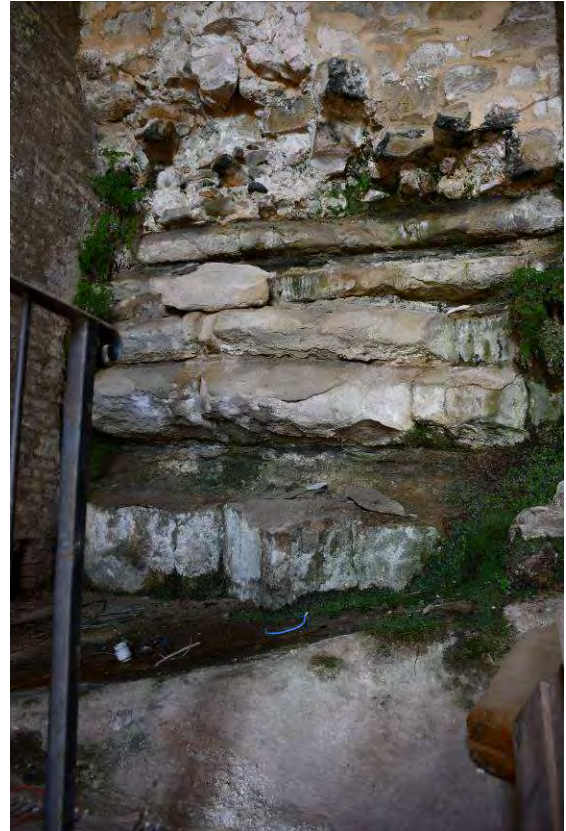


Foto 17



Foto 18