

ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE  
**Mauro CATALDI**  
 Geologo Specialista  
 N. 857  
 ALBO SEZIONE A

## INDICE

1.0 PREMessa E METODOLOGIA DI INDAGINE .....	4
2.0 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....	7
3.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, COROGRAFICO E TOPOGRAFICO DEL SITO. ....	9
4.0 QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO E CONFORMITA' IN MATERIA URBANISTICA, AMBIENTALE E PAESAGGISTICA.....	11
4.1 PIANIFICAZIONE DI LIVELLO NAZIONALE.....	12
4.2 PIANIFICAZIONE DI LIVELLO REGIONALE E PROVINCIALE.....	14
4.3 PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	15
5.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO .....	16
5.1 ASPETTI LITOSTRATIGRAFICI E STRUTTURALI GENERALI DELL'AREA DI STUDIO ...	16
5.2 STRATIGRAFIA E MODELLO GEOLOGICO DEL TERRENO .....	18
5.3 TETTONICA E SUBSIDENZA .....	20
5.4 ASPETTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO E DEL SITO DEGLI INTERVENTI .....	21
5.5 ASPETTI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO.....	23
5.6 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO IN ESAME E DEL SITO OGGETTO DEGLI INTERVENTI .....	25
6.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO .....	28
6.1 SISMICITA' STORICA .....	28
6.2 SISMICITA' RECENTE .....	29
6.3 CONDIZIONE SISMICA LOCALE .....	30
6.3.1 ACCELERAZIONE E ZONAZIONE SISMICA .....	30
6.3.2 ZONAZIONE SIMOGENETICA E VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO.....	33
6.3.3 MISURA DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA - METODO HVSr .....	34
6.3.4 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO .....	38
6.3.5 TIPO DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	40
6.3.6 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA E SPETTRI DI RISPOSTA .....	42
6.4 VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEL TERRITORIO .....	42
6.5 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	43

7.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO .....	44
7.1 CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI E DELLE ROCCE (VALORI NOMINALI) .....	44
8.0 FONDAZIONI E CEDIMENTI .....	46
8.1 STATO LIMITE ULTIMO .....	46
8.2 STATO LIMITE ESERCIZIO .....	48
8.3 COSTANTE DI SOTTOFONDO .....	49
9.0 CONCLUSIONI .....	51

TAVOLE NEL TESTO:

- INQUADRAMENTO GEOGRAFICO (TAVOLA 01 – SCALA 1: 25.000)
- INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO (TAVOLA 02 – SCALA 1: 10.000)
- INQUADRAMENTO CATASTALE CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI (TAVOLA 03 – SCALA 1: 500)
- PIANTE E PROSPETTI STATO ATTUALE (TAVOLA 04 – SCALA 1: 200)
- PIANTE E PROSPETTI STATO DI PROGETTO (TAVOLA 05 – SCALA 1: 200)
- SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE (TAVOLE 06 – SCALA 1: 100)

ALLEGATI NEL TESTO:

- RAPPORTO TECNICO INDAGINI GEOTECNICHE E GEOFISICHE ESEGUITE:
  - N. 3 STRATIGRAFIE SONDAGGI A DISTRUZIONE DI NUCLEO CHE HANNO RAGGIUNTO IL SUBSTRATO GEOLOGICO (Geol. Cataldi, agosto 2017)
  - N. 1 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH (ABGeo, luglio 2019)
  - N. 1 ANALISI MASW ONDE DI RAYLEIGH, ANALISI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA HVSR (ABGeo, settembre 2019)
  - N. 1 ANALISI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA HVSR (Geol. Cataldi, agosto 2017)
- VALORI DI PROGETTO DEI PARAMETRI SISMICI (<http://geoapp.eu/parametrisismici2018/>)

## 1.0 PREMESSA E METODOLOGIA DI INDAGINE

La presente relazione è stata redatta su incarico della sig.ra Caterina Vincioni, interessata a lavori di ricostruzione di un immobile ad uso abitativo, situato nel Comune di Caldarola, in località Pievefavera, gravemente danneggiato dagli eventi sismici del 24 agosto 2016 e successivi, ai sensi del D.L. n. 189 del 17 ottobre 2016 *“Interventi urgenti a favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016”*, convertito con modificazioni dalla Legge n. 229 del 15 dicembre 2016 ed ai sensi dell’Ordinanza n. 19 del 7 aprile 2017, con le successive modificazioni apportate dalle Ordinanze n. 21 del 28 aprile 2017, n. 28 del 9 giugno 2017, n. 46 del 10 gennaio 2018 e n. 62 del 3 agosto 2018, n. 69 del 30 ottobre 2018, n. 70 del 31 dicembre 2018, n. 76 del 23 maggio 2019, n. 80 del 6 giugno 2019 e n. 85 del 24 gennaio 2020.

*Si avverte che i contenuti di questa indagine sono finalizzati esclusivamente alla redazione di un modello geologico e sismico, imprescindibile dalla successiva caratterizzazione e modellazione geotecnica, di cui, nella presente, se ne fa comunque accenno. Eventuali verifiche in condizioni statiche agli Stati Limite Ultimi (SLU – “Capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possono compromettere l’incolumità delle persone, ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l’opera”) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE – “Capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio”) ed eventuali verifiche in condizioni sismiche agli Stati Limite della Vita (SLV) e agli Stati Limite di Danno (SLD) presenti in tale relazione, hanno valore prettamente indicativo. Tali verifiche dovranno essere approfondite in apposita relazione geotecnica.*

Lo studio, in conformità con le linee guida indicate dal Consiglio Nazionale dei Geologi per la redazione della Relazione Geologica (Progetto Qualità 2010 e Raccomandazioni per la redazione della “Relazione geologica” ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni) ed in congruità con la Circolare n. 177/15RE dell’Ordine dei Geologi delle Marche (Linee guida per la valutazione degli elaborati geologici, geotecnici e sismici di competenza della figura del geologo) è stato articolato nel modo di seguito indicato:

### *Indagini preliminari*

- Ricerca ed analisi dei dati esistenti: cartografie tecnico-scientifiche pubblicate, dati catastali, vincolistica, sismicità storica, sondaggi geognostici e/o scavi ispezionabili, prove in situ o in laboratorio geotecnico, dati bibliografici, indagini geologiche, geofisiche e/o geotecniche precedenti.
- Esecuzione di una analisi aero-satellitare dell’area indagata.
- Pianificazione del programma di indagine e progettazione dello stesso sulla base dell’inquadramento geologico della zona e in funzione dei dati che è necessario acquisire per pervenire ad una ricostruzione geologica di dettaglio che possa risultare adeguata ed utile per la caratterizzazione e la modellazione geologica del sottosuolo.



### Indagini di terreno

- Esecuzione di sopralluoghi volti a individuare gli aspetti geologici (riconoscimento delle formazioni, acquisizione delle giaciture e delle strutture tettoniche), geomorfologici ed idrogeologici dell'area interessata dall'opera in progetto, per un intorno significativo, con particolare riferimento sia a processi morfologici e dissesti attivi o quiescenti e loro tendenza evolutiva e sia a processi erosivi connessi al ruscellamento superficiale e all'evoluzione del reticolo idrografico. Analisi delle interferenze con i manufatti circostanti.
- Esecuzione di n. 3 sondaggi geognostici, eseguiti mediante rotazione con trivella a secchio Ø500, per la conoscenza del dettaglio delle litologie presenti nel sottosuolo (Grado di qualità Q2, Tabella 1).

Tabella 1 – Classi di qualità dei campioni (Da A.G.I., 1977 – modificato).

Caratteristiche geotecniche determinabili	Grado di qualità				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
a) Profilo stratigrafico	X	X	X	X	X
b) Composizione granulometrica		X	X	X	X
c) Contenuto d'acqua naturale			X	X	X
d) Peso dell'unità di volume				X	X
e) Caratteristiche meccaniche (resistenza, deformabilità, etc.)					X
Campioni disturbati o rimaneggiati			A disturbo limitato		Indisturbati

- Esecuzione n. 1 prova penetrometrica dinamica super-pesante DPSH.
- Acquisizione di n. 2 misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (metodo di Nakamura o metodo HVSR – da *Horizontal to Vertical Spectral Ratios* o semplicemente H/V).
- Acquisizione di n. 1 MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

*Elaborazione dei dati raccolti*

- Caratterizzazione e modellazione geologica.
- Descrizione dei risultati ottenuti e delle difficoltà incontrate. Esposizione ed interpretazione dei dati risultanti dalle indagini e dalle prove eseguite - caratteristiche intrinseche delle singole unità litologiche (terreni o rocce) con particolare riguardo ad eventuali disomogeneità, discontinuità, stati di alterazione e fattori che possano indurre anisotropia delle proprietà fisiche dei materiali.
- Analisi e ricostruzione degli aspetti idraulici, idrologici ed idrogeologici dell'area fornendo eventualmente lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea. Valutazione delle permeabilità/trasmissività. Definizione geometrica e dinamica degli acquiferi e delle relazioni fra acque superficiali e sotterranee.
- Eventuali considerazioni generali sulla stabilità dei versanti (opportunamente estese ad un intorno significativo) tenendo conto di quanto previsto dal P.A.I., I.F.F.I. - o altro strumento di programmazione idrogeologica e dell'analisi delle forme e dei processi geomorfologici, processi erosivi e dinamiche evolutive del reticolo idrografico. Definizione dell'eventuale modello concettuale di franosità ed individuazione delle possibili tipologie di evento potenzialmente atteso (caratteristiche geometriche ed evolutive del versante) anche sulla base di deduzioni relativa alla franosità pregressa.
- Modellazione sismica. Analisi e descrizione della sismicità storica. Definizione del terremoto di progetto, magnitudo. Definizione delle forme spettrali. Eventuale analisi della risposta sismica locale e calcolo della  $V_{s,eq}$  per la definizione della categoria del suolo di fondazione. Spettro di risposta elastico. Potenziale di liquefazione.
- Accenno alla caratterizzazione e modellazione geotecnica.
- Stesura degli elaborati grafici (cartografie e sezioni litostratigrafiche) e descrittivi (tabelle, figure, eventuali indagini in situ ed allegati vari).
- Stesura finale della presente relazione con sintesi di quanto realizzato, giudizio sulla fattibilità geologica dell'opera in progetto ed eventuale esplicazione degli interventi previsti per rendere il manufatto e/o l'opera compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area ed in particolare con le pericolosità ambientali definite in funzione delle indagini eseguite.

## 2.0 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

L'indagine è stata predisposta nel rispetto delle norme e disposizioni recate dai seguenti provvedimenti:

- D.P.R. n. 328 del 05.06.2001, *Modifiche ed integrazioni della disciplina dei requisiti per l'ammissione all'esame di Stato e delle relative prove per l'esercizio di talune professioni, nonché della disciplina dei relativi ordinamenti.*
- D.M. 17.01.2018, *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".*
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Circolare del 21.01.2019, *Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17.01.2018.*
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, *Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.* Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003, *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.*
- O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006, *Criteri generali per l'individuazione delle Zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.*
- O.P.C.M. n. 3316, *Modifiche ed integrazioni dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003.*
- Eurocodice 8 (1998), *Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.* Stesura finale 2003.
- Eurocodice 7.1 (1997), *Progettazione geotecnica - Parte I: Regole Generali.* UNI.
- Eurocodice 7.2 (2002), *Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio.* UNI.
- Eurocodice 7.3 (2002), *Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita con prove in sito.* UNI.
- D.M. LL.PP. 11.03.1988, *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e il sostegno delle terre e delle opere di fondazione.* G.U. Repubblica Italiana n. 127.
- D.M. LL.PP. 16.01.1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.* G.U. Repubblica Italiana n. 29 del 05.02.1996.
- D.L. 03.03.2006 n. 152, *Norme in materia ambientale.* (G.U. Repubblica Italiana n. 88 del 14.04.2006 - S.O. n. 96).
- Deliberazione di Consiglio Regionale del 21.01.2004 n. 116, *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).* Supplemento n. 5 BUR Marche n. 15 del 13.02.2004.
- D.A.C.R. del 03.11.1989 n. 197, *Piano Paesistico Ambientale Regionale (P.P.A.R.).*

Deliberazione di Consiglio Provinciale del 11.12.2001 n. 75, *Piano Territoriale di Coordinamento provinciale (P.T.C.)*.

Nell'elaborazione della presente indagine sono state consultate le seguenti pubblicazioni e cartografie:

- Antonini G., et alii (1993) – *Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche ed aree limitrofe (scala 1: 100.000)*. CNR – IRPI Perugia, CNR – GNDICI. Pubbl. CNDCI n. 580.
- Barchi M., et alii (1988) – *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano*. Boll. Soc. Geol. It., 107: 109-130.
- Bisci C., et alii (1990) – *Carta delle regioni e dei sistemi riconosciuti nell'area marchigiana*. Atti Convegno GNDT. Pisa, 25-27 giugno 1990.
- Boni C., et alii (1986) – *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35: 991-1012.
- Cantalamessa G. ed altri – *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "bacini minori" ... Il Bacino della Laga*. Studi Geologici Camerti, VII.
- Cantalamessa G. ed altri – *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "bacini minori" ... Il Bacino della Laga. Carta geologica del Bacino della Laga tra in F. Potenza ed il T. Fiastrella*. Studi Geologici Camerti, VII.
- Centamore E. (1986) - *Carta Geologica delle Marche (scala 1: 250.000)*. Litografia Artistica Cartografica - Firenze.
- Centamore E., Deiana G. (1986) - *La geologia delle Marche*. Numero speciale, Studi Geologici Camerti.
- Centamore E. et alii (1991) - *Carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica delle Marche (scala 1: 100.000)*. A cura della Regione Marche, Assessorato Urbanistica - Ambiente. S.E.L.C.A. - Firenze.
- Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (1990) – *Zonazione e riclassificazione sismica*. Atti del Convegno. Pisa, 25-27 Giugno 1990. Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Istituto di Geologia - Università di Camerino - *Carta geologica dei depositi neogenico-quadernari tra il F. Potenza e il F. Tronto*.
- Regione Marche - Giunta Regionale (1991) - *L'ambiente fisico delle Marche: geologia, geomorfologia, idrogeologia*.
- Regione Marche - Autorità di Bacino Regionale (2001) - *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*.
- Regione Marche - Ufficio Urbanistica e Cartografia (1999-2001) - *Carta geologica regionale (scala 1: 10.000)*.

### 3.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, COROGRAFICO E TOPOGRAFICO DEL SITO.

L'area oggetto di studio è ubicata nel territorio comunale di Caldarola (Regione Marche, Provincia di Macerata), più specificatamente nell'abitato di Pievefavera, poco a monte della strada comunale che successivamente conduce alla località Castiglione di Croce.

Essa si estende intorno alla quota di 390 m s.l.m. (altitudine di riferimento  $a_s$ ), nella parte alta di un versante immergente verso E ( $\sim 27\%$ ) verso il Fosso delle Lame (Figura 1), immissario in destra idrografica del Lago di Borgiano (o Lago di Caccamo).



Figura 1 – Inquadramento aero-satellitare con indicata l'area oggetto di intervento.

Le coordinate geografiche, espresse in gradi decimali (DD) del sito oggetto di studio, sono le seguenti:

	Lat. (°)	Lon. (°)
WGS84	43,138944	13,195580
ED50	43,139900	13,196509

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Si forniscono al

progettista i valori dei parametri per la determinazione della velocità base di riferimento  $v_b$ , considerando che il sito oggetto di studio ricade nella Zona 3 (Tabella 3.3.I delle N.T.C. 2018):

- $v_{b,0}$  [m/s]                      27
- $a_0$  [m]                              500
- $k_s$                                       0,37

Per la definizione del coefficiente di esposizione  $c_e$ , strettamente legato alla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione, viene offerto un valore della distanza media dalla costa corrispondente a circa 47 km (Figura 3.3.2 delle N.T.C. 2018). Il coefficiente di topografia  $c_t$  viene posto pari a 1. Pertanto, assumendo una Classe di rugosità del terreno (Tabella 3.3.III delle N.T.C. 2018) pari a B (*Aree urbane, suburbane...*), i parametri per la definizione del coefficiente di esposizione (Tabella 3.3.II delle N.T.C. 2018) vengono consigliati come segue:

- Categoria di esposizione del sito      IV
- $k_r$                                       0,22
- $z_0$  [m]                                  0,30
- $z_{min}$  [m]                              8

Per quanto riguarda l'azione della neve, ricadendo l'area in Zona II ( $a_s > 200$  m), viene posto il carico  $q_s$  pari a 1,41 kN/m<sup>2</sup> (Figura 3.4.1 delle N.T.C. 2018). Il coefficiente di esposizione  $C_E$  utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera si assumerà uguale a  $C_E = 1,0$ .

Nella cartografia ufficiale, il sito è presente nella *Carta Topografica d'Italia - Foglio 124 "Macerata" - Quadrante III, Tavoletta NE "Polverina"* (Tavola 01, scala 1: 25.000).

In particolare, con maggiore precisione, l'area ricade nella *Carta Tecnica delle Marche - Foglio 313 "Camerino" - Sezione 313070 "Caldarola"* (Tavola 02, scala 1: 10.000).

Catastralmente, l'area oggetto di studio si colloca nel Foglio n. 12 del Comune di Caldarola, P.IIa 220 (Tavola 03, scala 1: 500).



#### **4.0 QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO E CONFORMITA' IN MATERIA URBANISTICA, AMBIENTALE E PAESAGGISTICA.**

Il quadro di riferimento programmatico è stato sviluppato allo scopo di fornire gli elementi conoscitivi sulle relazioni tra l'opera progettata e gli strumenti di pianificazione e programmazione settoriale e territoriale.

In seguito, sarà evidenziata la coerenza tra il progetto e gli indirizzi di pianificazione a diversa scala.

Per lo svolgimento del lavoro, sono stati esaminati gli strumenti di pianificazione/programmazione vigenti per il territorio in esame e per i settori che hanno relazione diretta o indiretta con il progetto.

Tali strumenti sono pubblicamente disponibili ai seguenti link:

<http://www.sit.provincia.mc.it:8081/pmapper/map.phtml>

<http://sitap.beniculturali.it/index.php>

La normativa e gli strumenti di programmazione che possono avere una relazione diretta o indiretta con il progetto in esame sono:

##### Livello nazionale

- R.D. del 30/12/1923 n. 3267, *Vincolo Idrogeologico*.
- D.P.R. dell'08/09/1997 n. 357, *Regolamento recante attuazione della direttiva 92/43 CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e semi naturali, nonché della flora e della fauna selvatica*.
- D.L. del 22/01/2004 n. 42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*.
- D.L. dell'11/05/1999 n. 152, *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane*.
- L. del 05/01/1994 n. 36, *Disposizioni in materia di risorse idriche*.

##### Livello regionale e provinciale

- Deliberazione di Consiglio Regionale del 21.01.2004 n. 116, *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*. Supplemento n. 5 BUR Marche n. 15 del 13.02.2004.
- D.A.C.R. del 03.11.1989 n. 197, *Piano Paesistico Ambientale Regionale (P.P.A.R.)*.
- Deliberazione di Consiglio Provinciale del 11.12.2001 n. 75, *Piano Territoriale di Coordinamento provinciale (P.T.C.)*.

#### 4.1 PIANIFICAZIONE DI LIVELLO NAZIONALE

Il Regio decreto-legge n. 3267/1923 prevede il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani. In particolare, tale decreto vincola, per scopi idrogeologici, i terreni di qualsiasi natura e destinazione che possono subire denudazioni, perdere la stabilità o turbare il regime delle acque; un secondo vincolo è posto sui boschi che per loro speciale ubicazione, difendono i terreni o fabbricati da caduta di valanghe, dal rotolamento di sassi o dalla furia del vento.

Per i territori vincolati, sono segnalate una serie di prescrizioni sull'utilizzo e la gestione; il vincolo idrogeologico deve essere tenuto in considerazione soprattutto nel caso di territori montani dove tagli indiscriminati e/o opere di edilizia possono creare gravi danni all'ambiente.

Le trasformazioni dei terreni soggetti a vincolo devono essere autorizzate dal Corpo Forestale (art. 7).

Nella Regione Marche, con l'entrata in vigore della Legge Forestale Regionale (L.R. 6/2005), le aree sottoposte a vincolo idrogeologico sono state estese a tutte le aree boscate (art. 11).

L'area oggetto di intervento NON RICADE all'interno del vincolo idrogeologico (Figura 2).



 **VNC\_AMB\_Vincolo\_Idrogeologico**

Figura 2 - Vincolo idrogeologico. Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di indagine.

Il D.P.R. 08/09/1997 n. 357 prevede, ai fini della salvaguardia delle biodiversità mediante la conservazione di definiti habitat naturali e di specie della flora e della fauna, l'istituzione di "Siti di Importanza Comunitaria - SIC" e di "Zone Speciali di Conservazione". In tali aree sono previste norme di tutela per le specie faunistiche e vegetazionali (art.li 8, 9 e 10).

Successivamente a tale decreto, è stato emesso il D.M. 03 Aprile 2000 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con il quale è stato reso pubblico l'elenco dei siti di importanza comunitaria proposti, ai sensi della direttiva 92/43/CEE, unitamente all'elenco delle zone di protezione speciale designate ai sensi della direttiva 79/409/CEE del Consiglio del 02 Aprile 1979, concernente la conservazione degli uccelli selvatici.

La Regione Marche ha, a sua volta, emanato la delibera della G.R. n. 1791 dell'01/08/2000 con la quale, in recepimento delle direttive 79/409/CEE e 92/43/CEE, sono state individuate le "Zone a Protezione Speciale - ZPS" e definiti gli adempimenti procedurali in ordine della valutazione di incidenza di cui all'art. 5 del D.P.R. 357/97. Tali aree si aggiungono ai SIC già definiti per adempiere agli obblighi comunitari.

L'area oggetto di intervento NON RICADE in siti di interesse comunitario SIC e ZPS (Figura 3).

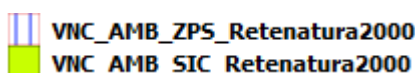


Figura 3 – Vincolo SIC e ZPS. Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di indagine.

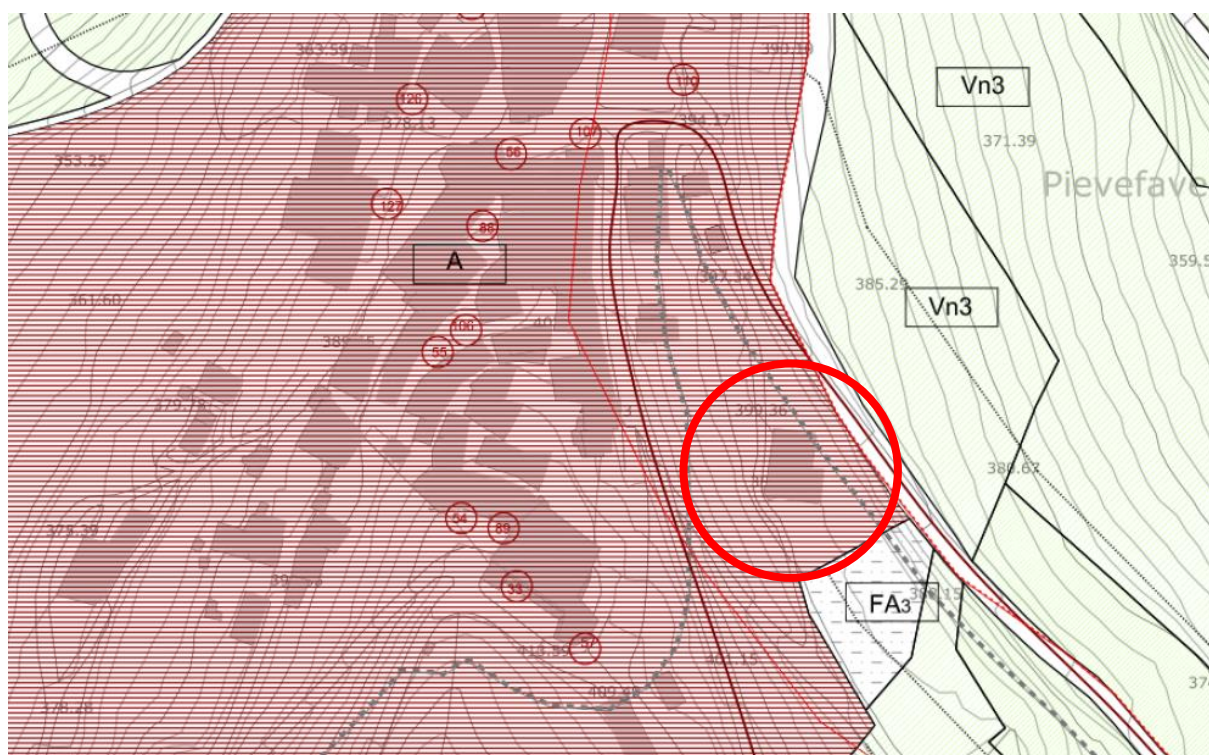


Il Decreto Legislativo del 22 Gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'art. 10 della legge 6 Luglio 2002, n. 137", già L. 1497/39, abrogando il precedente D.L. 490/99, detta una nuova classificazione degli oggetti e dei beni da sottoporre a tutela e introduce diversi elementi innovativi per quanto concerne la gestione della tutela stessa.

In particolare, il nuovo decreto identifica, all'art. 1, come oggetto di tutela e valorizzazione il "patrimonio culturale" costituito dai "beni culturali e paesaggistici" (art. 2).

Il Codice è suddiviso in 5 parti delle quali la Parte II è relativa ai beni culturali (es. siti di interesse artistico, archeologico, con storia politica, militare o letteraria, ville, parchi, giardini, siti minerari) e la Parte III ai beni paesaggistici (es. singolarità geologica, bellezza naturale, parchi, bellezza panoramiche, fiumi, corsi d'acqua, boschi e foreste, zone umide, vulcani).

L'area oggetto di intervento RICADE all'interno di tale vincolistica (Figura 4).



#### **VINCOLI SOPRINTENDENZA PER I BENI AMBIENTALI E ARCHITETTONICI**

**VINCOLO AI SENSI DEL DECRETO LGS. N°42/2004**  
(GIÀ VINCOLO DECRETO P.G.R. N°10093 DEL 23/12/82)

Figura 4 - Vincolo D.L. 42/2004. Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di indagine.

#### **4.2 PIANIFICAZIONE DI LIVELLO REGIONALE E PROVINCIALE**

La pianificazione a valenza ambientale nella Regione Marche viene attuata attraverso la delibera n. 8 del 23.12.1985 ("galassini") ed il Piano Paesistico Ambientale Regionale, approvato

con delibera n. 197 del 03/11/1989. Tale Piano ha seguito quanto disposto dalla ex L. 431/85, ora D.L. 42/04.

A livello provinciale si seguono le direttive dettate dal Piano Territoriale di Coordinamento provinciale (P.T.C.), approvato con deliberazione di Consiglio Provinciale del 11.12.2001 n. 75.

Dall'analisi degli strumenti sotto riportati (Figura 5), risulta che l'area oggetto di intervento NON RICADE all'interno di tale vincolistica.

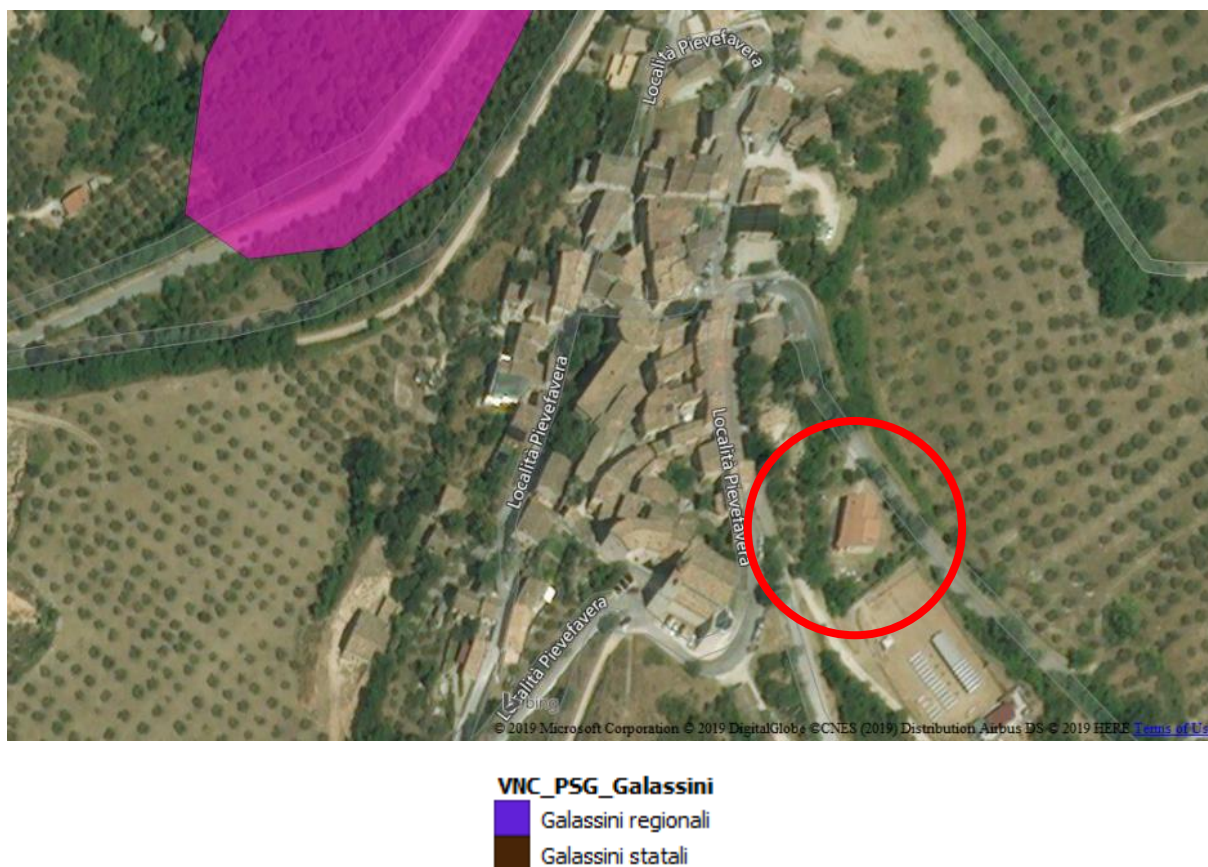


Figura 5 - Vincolo Del. n.8 del 23.12.1985 “galassini” e P.T.C.. Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di indagine.

#### 4.3 PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'area oggetto di intervento ricade nella giurisdizione dell'Autorità di Bacino della Regione Marche, attraverso lo strumento denominato Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico - P.A.I. (Deliberazione di Consiglio Regionale del 21.01.2004 n. 116, Supplemento n. 5 BUR Marche n. 15 del 13.02.2004). Nel 2016, in prima adozione con D.C.I. n. 68 del 08/08/2016 e D.G.R. n. 982 del 08/08/2016 è stato approvato l'aggiornamento. Gli elaborati tecnici dell'aggiornamento sono stati approvati con Decreto n. 55 del 26/09/2016 e n. 61 del 24/10/2016.



Dall'analisi della cartografia allegata (Figura 6), tratta dalla Tavola RI 57 c della Carta del Rischio Idrogeologico - Aggiornamento 2016 - si nota che l'area oggetto di indagine, NON RISULTA affatto essere coinvolta in processi morfogenici dovuti alla forza di gravità o all'azione delle acque correnti superficiali, risultando pertanto in prima analisi, stabile.

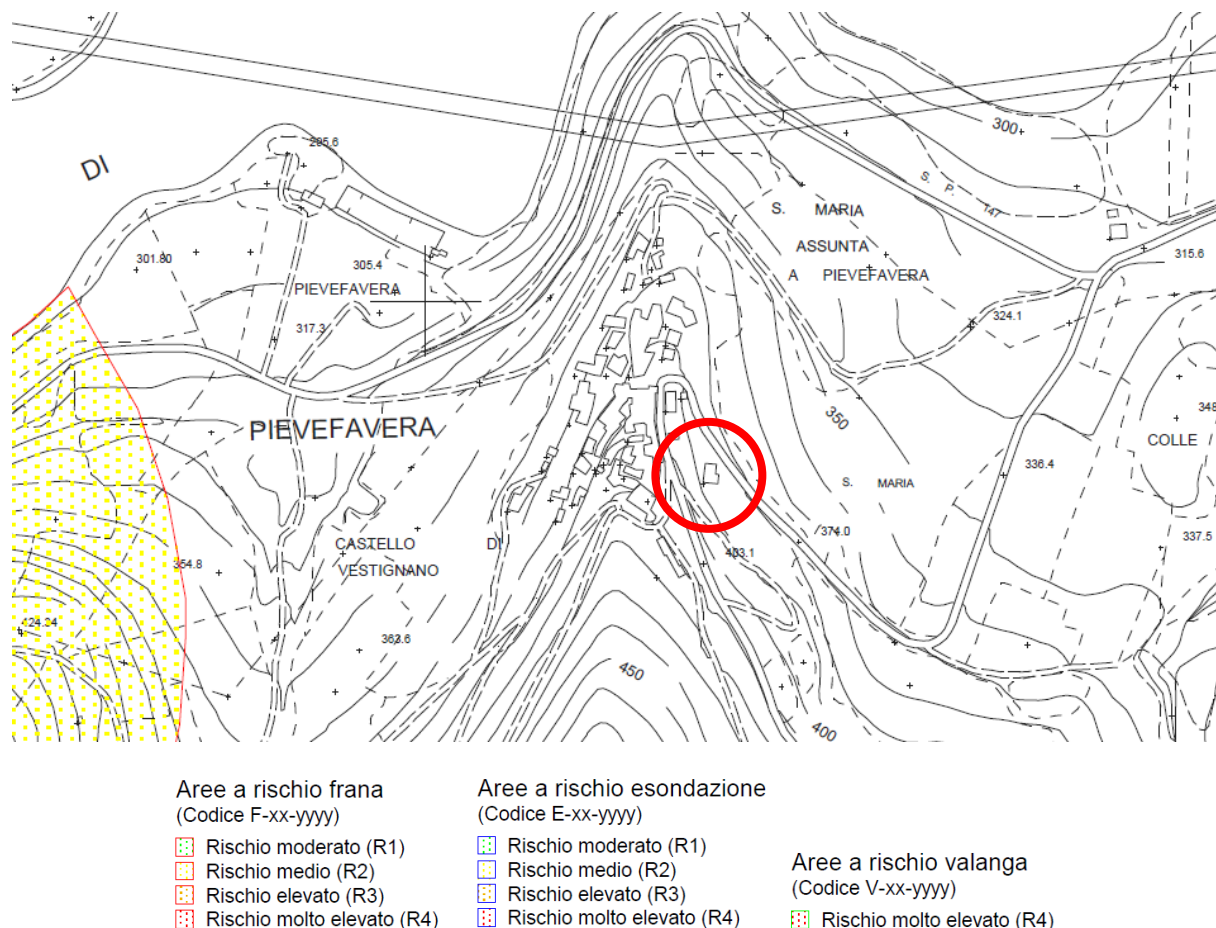


Figura 6 - Vincolo P.A.I.. Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di intervento.

## 5.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consistono nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica e geomorfologica del territorio.

### 5.1 ASPETTI LITOSTRATIGRAFICI E STRUTTURALI GENERALI DELL'AREA DI STUDIO

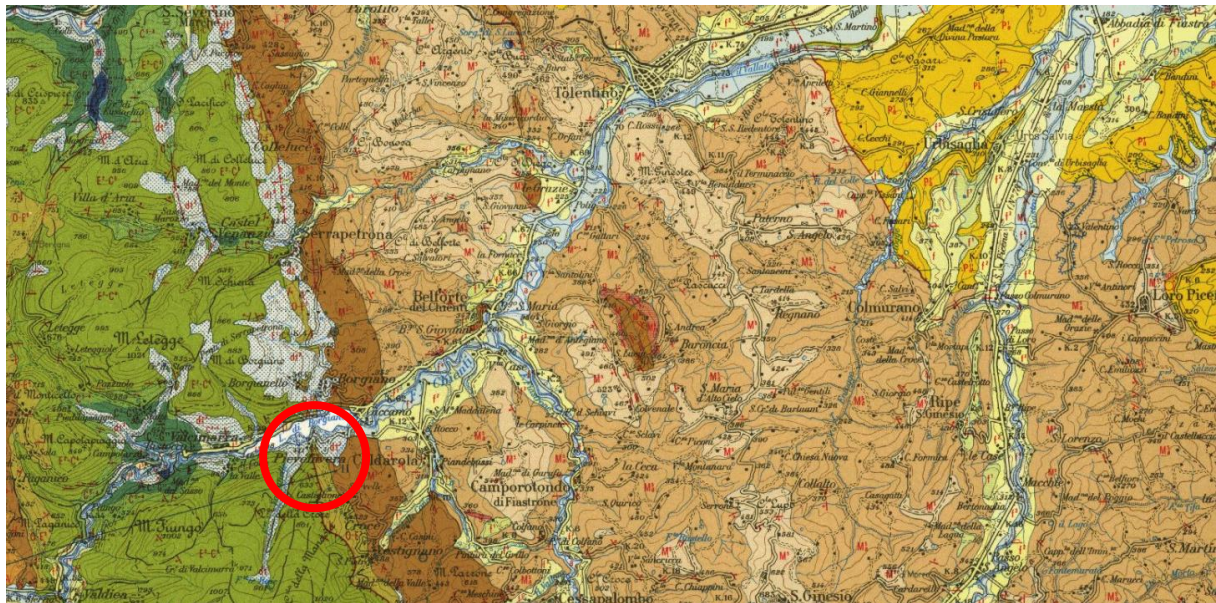
L'area oggetto della presente indagine, secondo un'analisi omogenea dal punto di vista del rilievo, dell'assetto morfologico complessivo e della posizione geografica precedentemente presa



in considerazione, effettuata a partire dalla Carta Geologica delle Marche (1: 250.000) e dalla Carta Geologica d'Italia (1: 100.000), appartiene alla regione fisiografica "Massicci e dorsali montuose", tra i Sistemi "Aa" e "Ad", rispettivamente caratterizzati dalla presenza di catene montuose calcaree dell'Appennino umbro-marchigiano e marchigiano e di zone di raccordo tra tali rilievi montuosi calcarei e/o calcareo-marnosi e le adiacenti depressioni: sono presenti calcari stratificati, calcari marnosi, marne calcaree e calcari selciferi depositi a partire dal Cretacico superiore, con assetto strutturale stratificato e piegato.

Nel caso in esame (Figura 7), è ben visibile come i litotipi presenti, depositi in periodi a partire dal Cenomaniano (100,5 Ma) in ambiente pelagico, siano riconducibili ad unità appartenenti alle formazioni della Scaglia rossa e della Scaglia variegata e cinerea: la prima è rappresentata da calcari e calcari marnosi rossi/rosati con selce rossa in liste e noduli e con intercalazioni di calcare detritico e brecciole nummulitiche; l'altro litotipo invece è costituito generalmente da marne e calcari marnosi grigio/verdastri, variegati di rosso, a frattura scheggiata passanti a marne grigio/verdastre nella parte alta.

I depositi superficiali frequenti nei sistemi "Aa" e "Ad" sono rappresentati dai detriti stratificati di versante che regolarizzano ampie aree e che possono presentare anche spessori di diversi metri (alla base di scarpate, in corrispondenza di valli concave, ecc...).



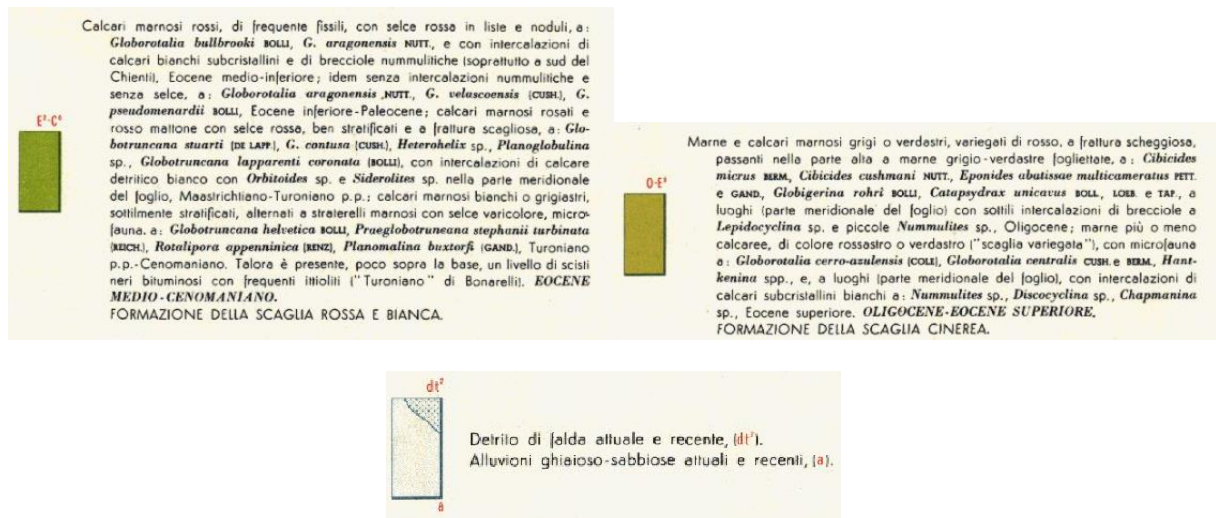


Figura 7 - Inquadramento geologico. Stralcio della Carta Geologica d'Italia (scala 1: 100.000) - Foglio 124 "Macerata". Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di indagine.

## 5.2 STRATIGRAFIA E MODELLO GEOLOGICO DEL TERRENO

In riferimento alla figura seguente (Figura 8) e ad un rilievo geologico effettuato, è possibile determinare, dal termine più recente a quello più antico, la seguente successione stratigrafica:

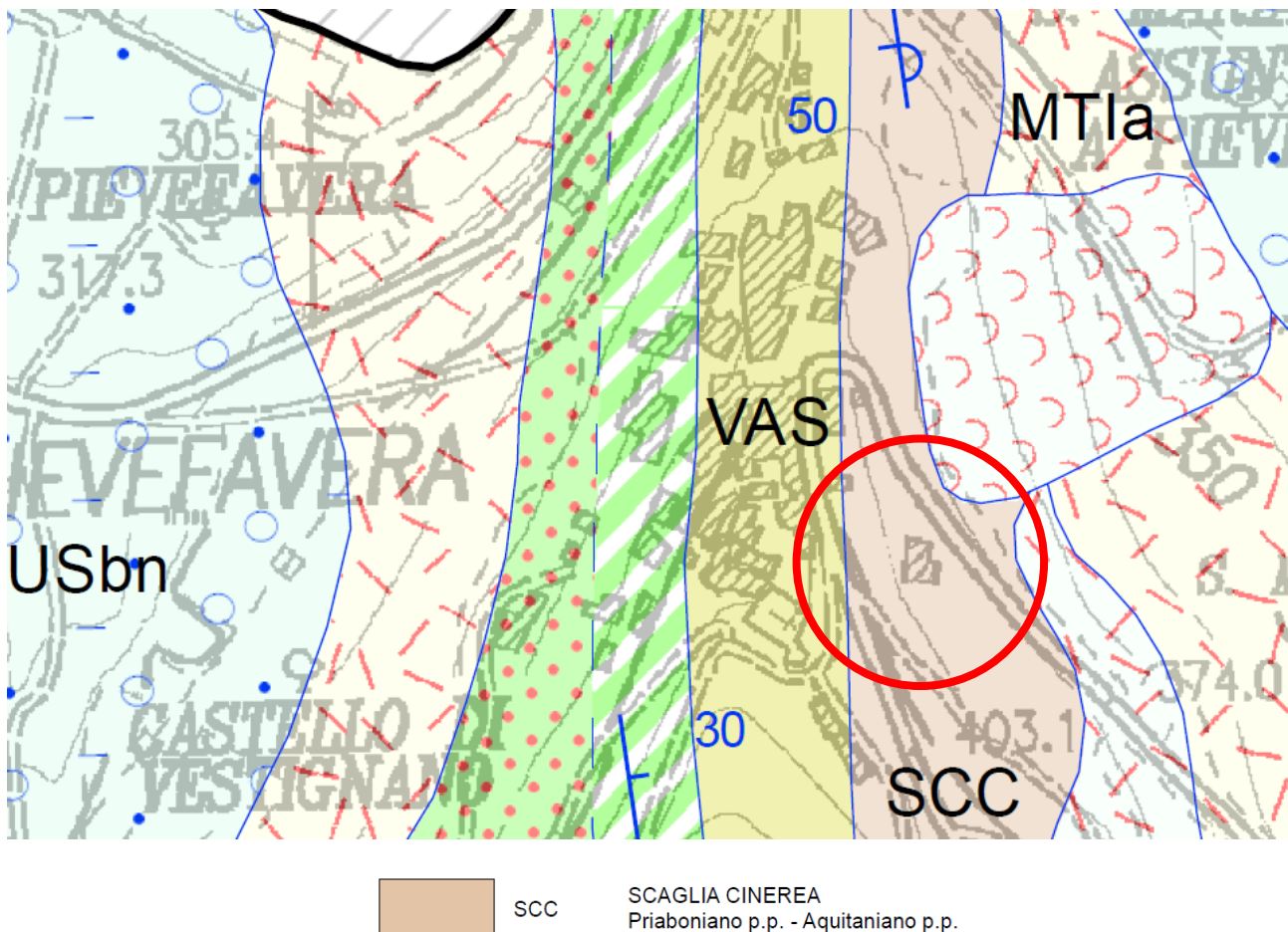


Figura 8 – Stralcio della Carta Geologica Regionale (scala 1: 10.000) – Sezione 313070 “Caldarola”. Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di intervento.

## COPERTURA

### SINTEMA DI MATELICA

#### DEPOSITI DI VERSANTE [MTIa] (*Pleistocene superiore*)

Si tratta di accumuli di frammenti calcarei a spigoli vivi, appiattiti, di piccole dimensioni (generalmente di 2-5 cm di lunghezza) e depositi in livelli, sia *open work*, sia più ricchi in matrice, inclinati dai 15° ai 30° secondo il pendio, talvolta dislocati da movimenti gravitativi. Le rocce di origine sono rappresentate essenzialmente dai calcari della Scaglia rossa e della Maiolica. I detriti di versante vengono riferiti a processi di gelifrazione su versanti privi di vegetazione, di ruscellamento diffuso e di soliflusso in ambiente periglaciale. Spesso si interdigitano con i depositi alluvionali del 2° e 3° ordine. Si osservano a diverse latitudini sui versanti, dove riempiono spesso incisioni ed irregolarità preesistenti, ed alla loro base, dove raggiungono talora dimensioni imponenti.

## SUBSTRATO

### **SCAGLIA CINEREA APPENNINICA [SCC] (*Priaboniano p.p. – Aquitaniano p.p.*)**

È l'unità che chiude la sedimentazione del gruppo cretacico-paleogenico. Essa è formata dall'alternarsi di marne calcaree, calcari marnosi, marne e marne argillose e, subordinatamente, di micriti. Nella parte inferiore della formazione prevalgono le litofacies più calcaree in strati sottili o medi, con una colorazione rossastra, mentre in quella medio-superiore, di colore grigio-verdastro, si osserva un progressivo e deciso aumento del contenuto marnoso-argilloso. L'unità, di spessore variabile da 100 a 250 m, è frequentemente interessata da diffuso clivaggio che spesso oblitera la stratificazione.

### 5.3 TETTONICA E SUBSIDENZA

Come già messo in evidenza da diversi autori, la regione marchigiana è interessata da uno stile tettonico prevalentemente plicativo, con pieghe ad andamento NW-SE, cioè grosso modo parallelo al bordo costiero adriatico e spesso rovesciate verso oriente.

Nel Foglio 124 "Macerata" già visto (Figura 7) possono essere individuate più strutture: l'area oggetto di indagine viene fatta ricadere all'interno dell'anticlinale "Monte San Vicino – Monte Letegge – Monte Fiegni – Monte Sassotetto".

In particolare, nell'area oggetto di intervento, la struttura anticlinalica presenta motivi di rovesciamento verso oriente, con sovrascorrimento al di sopra dei litotipi dell'Eocene.

A seguito del rilievo geologico eseguito, non sono comunque state individuate sul terreno strutture disgiuntive tipo faglie o fratture.



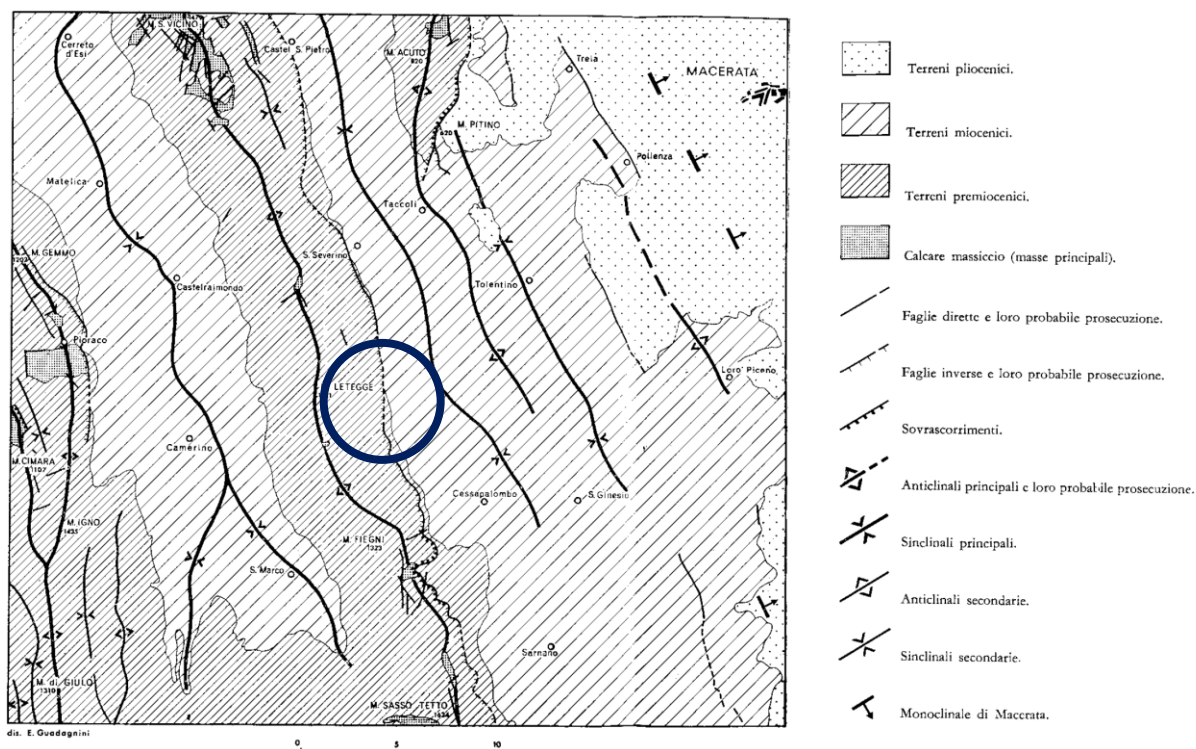


Figura 9 – Schema strutturale del Foglio 124 “Macerata”. Nel cerchio, in blu, l'area oggetto di intervento.

#### 5.4 ASPETTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO E DEL SITO DEGLI INTERVENTI

Per quanto concerne le forme del terreno e i processi geomorfici, l'area mostra i caratteri tipici della regione fisiografica precedentemente denominata “*Massicci e dorsali montuose*”: le quote sono variabili, anche superiori agli 800 m, il rilievo è medio-alto, spesso superiore al centinaio di metri e l'acclività medio-alta, frequentemente compresa tra il 20% e il 40%, con versanti generalmente non regolarizzati (articolati in sezioni a diversa pendenza - Figura 10).

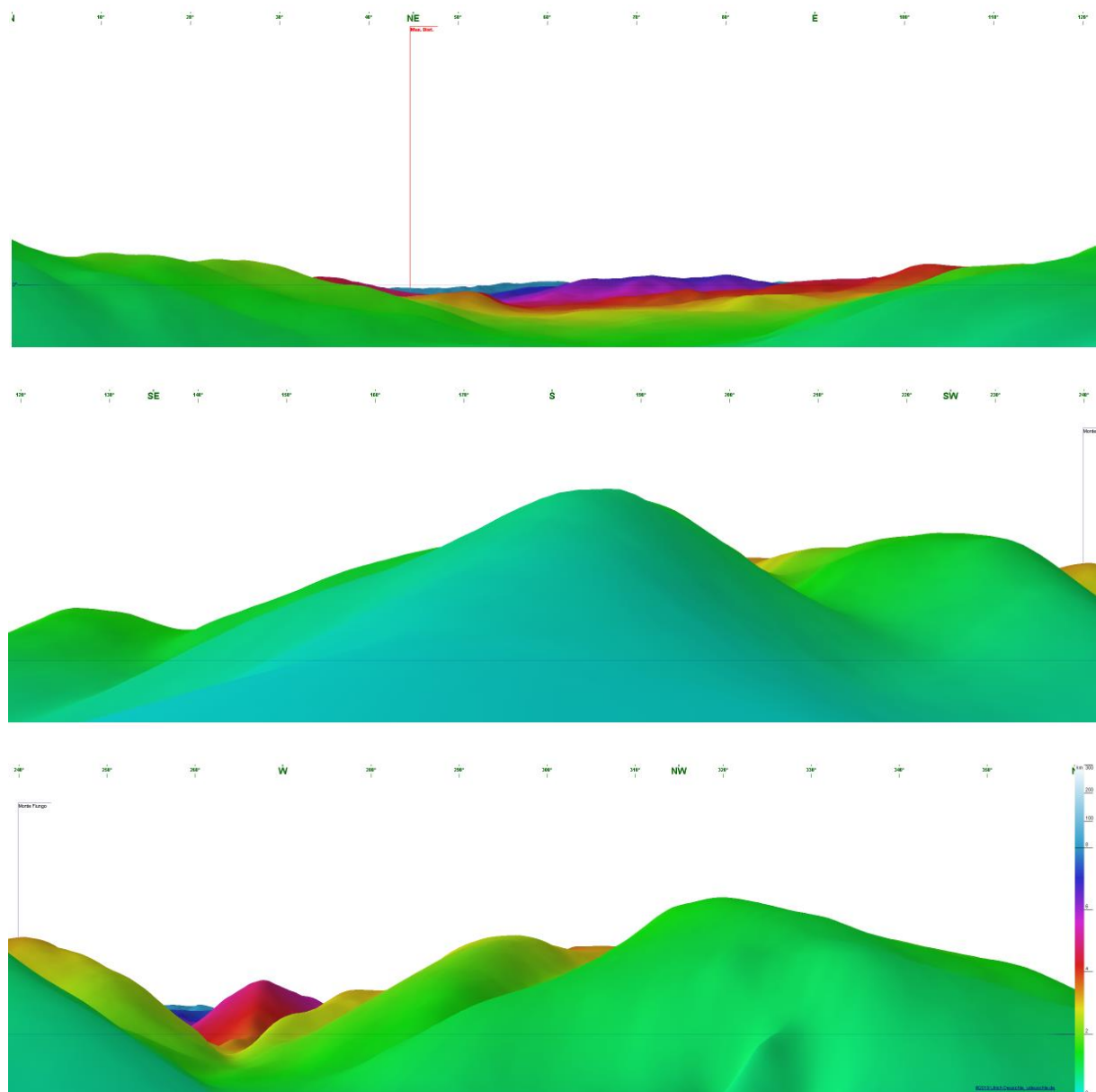


Figura 10 - Assetto geomorfologico: ricostruzione 3D delle morfologie presenti nel sito oggetto di intervento. ([http://www.udeutschle.selfhost.pro/panoramas/makepanoramas\\_en.htm](http://www.udeutschle.selfhost.pro/panoramas/makepanoramas_en.htm)).

In genere, in tali aree, oltre ai diffusi ruscellamenti, i processi morfogenici prevalenti sono rappresentati dalle frane di tipo colamento, scorrimento rotazionale e soprattutto di tipo misto (scorrimento + colamento) che interessano generalmente le coperture alteritiche dei litotipi marnoso-argillosi e, talora, anche parte del substrato roccioso. Possono essere presenti importanti accumuli di frane antiche di vario tipo posti al passaggio con la catena montuosa dell'Appennino.

Dall'analisi della cartografia esistente (Figura 11) e nel corso del sopralluogo eseguito nell'intorno del sito oggetto di intervento e come già accennato nell'inquadramento geografico, l'area, costituita da litotipi prevalentemente calcareo-marnoso e marnoso, si estende intorno alla



quota di 390 m s.l.m., nella parte alta di un versante immergente verso E (~27%) verso il Fosso delle Lame (Figura 1), immissario in destra idrografica del Lago di Borgiano (o Lago di Caccamo).

Non si rilevano sul terreno, interagenti direttamente con il sito di intervento, incidenze negative e dirette da parte delle acque meteoriche (forme di erosione dovute al ruscellamento diffuso e/o concentrato, ristagni idrici, etc...).

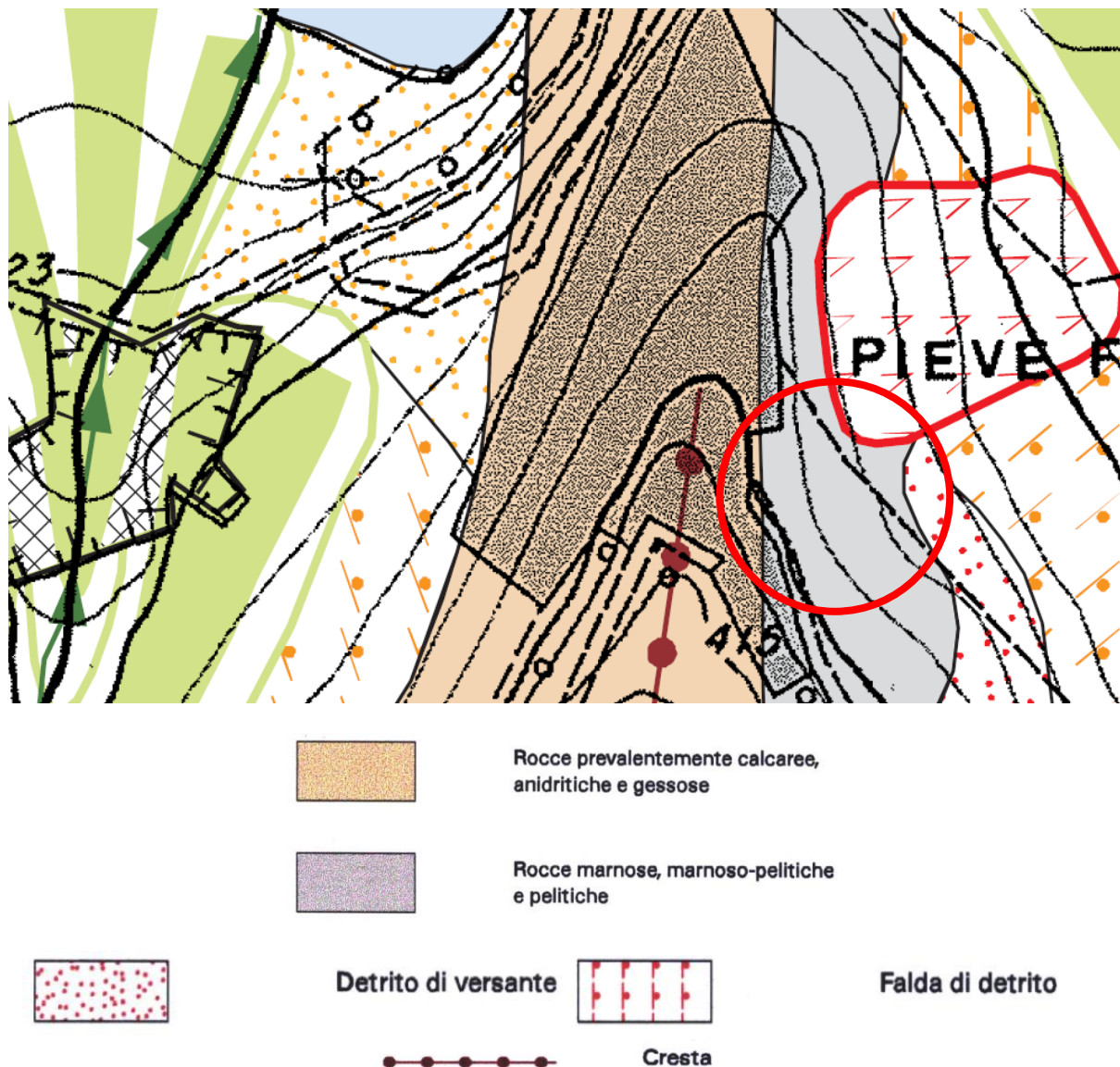


Figura 11 - Stralcio della Carta Geomorfologica della Regione Marche (scala 1: 10.000) - Sezione 313070 "Caldarola". Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di intervento.

### 5.5 ASPETTI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

Per quanto riguarda le caratteristiche idrologiche dell'area oggetto di intervento, la via di drenaggio naturale e preferenziale per le acque superficiali è rappresentata dal fosso che borda

l'abitato di Pievofavera ad E, denominato Fosso delle Lame, immissario in destra idrografica del Lago di Borgiano o di Caccamo.

Dal punto di vista idrogeologico (Figura 12), l'area viene definita come "Complesso idrogeologico della Scaglia": è costituito dai litotipi della Scaglia bianca, rossa e variegata ed è sostenuto dall'acquicluda delle Marne a Fucoidi. Tale complesso alimenta il maggior numero di sorgenti delle dorsali carbonatiche, con portate massime generalmente inferiori a 10 l/s e raramente superiori a 50 l/s. Le sorgenti con portate più basse vengono alimentate da bacini di modesta estensione in cui il segnale stagionale, termico e del chimismo è sempre presente. In alcuni casi l'estensione del bacino di alimentazione è tale da attenuare il segnale stagionale, in altri casi il bacino di alimentazione è caratterizzato da cospicue riserve e da tempi di circolazione elevati. Tale complesso è caratterizzato da una doppia circolazione: veloce per fessurazione e carsismo e lenta per microfratturazione.

La facies idrochimica è bicarbonato-calcica con tenore salino tra 0,3 e 0,5 g/l. Il coefficiente di esaurimento varia da  $1 \times 10^{-2}$  a  $5 \times 10^{-3}$  g<sup>-1</sup>; i tassi di rinnovamento vanno dal 50% al 95%; i tempi di rinnovamento variano da 1,1 a 1,5 anni e l'infiltrazione efficace da 550 a 650 mm/anno.

La vulnerabilità degli acquiferi e delle sorgenti della Scaglia è molto alta; in particolare quella delle sorgenti dipende principalmente dalle caratteristiche idrogeologiche e morfologiche delle zone di emergenza piuttosto che dai caratteri idrodinamici del bacino di alimentazione. Macrofessurazione e condotti carsici nell'area prossima all'emergenza permettono un rapido apporto delle acque di pioggia, attraverso la zona insatura, alle sorgenti. La pericolosità potenziale di inquinamento di questo complesso è molto bassa ed è dovuta essenzialmente ai rari insediamenti abitativi, all'attività zootecnica ed all'allevamento allo stato brado.

Gli interventi di ricostruzione dell'edificio gravemente danneggiato dal sisma, in ogni caso, non alterano il locale regime idrogeologico.

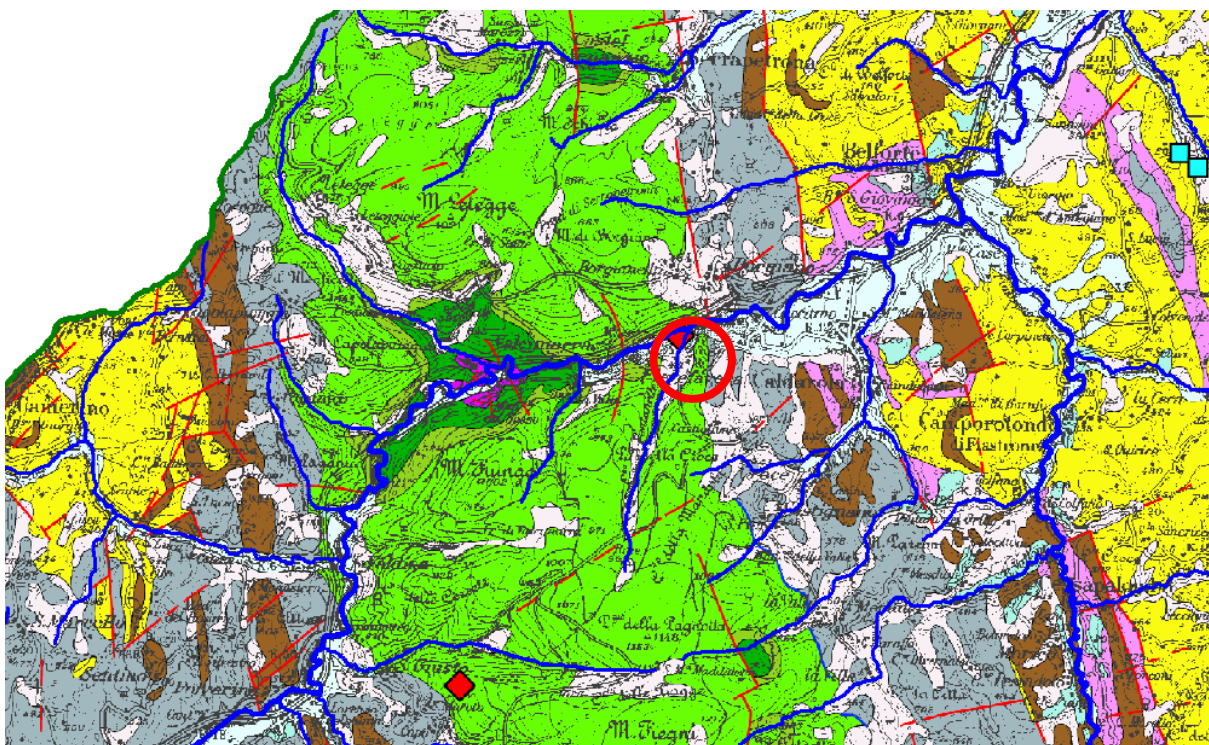


Figura 12 - Stralcio dello Schema idrogeologico della Regione Marche, 2002 (scala 1: 100.000). Il “verde (10)” indica la presenza del Complesso idrogeologico della Scaglia (Priaboniano-Cenomaniano p.p.). Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di intervento.

#### 5.6 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO IN ESAME E DEL SITO OGGETTO DEGLI INTERVENTI

Per pericolosità geologica, si intende quella relativa a processi erosivi, franosi, alluvioni e legata esclusivamente alla natura litologica del terreno.

Il rischio viene invece definito come “valutazione dell'intensità del fenomeno” dove per fenomeno si intende tutta la tipologia dei processi visti in precedenza.

Già il P.A.I. identifica e quantifica le situazioni di degrado sotto il profilo idrogeologico ed individua le relative presumibili cause, in funzione del livello di conoscenza già raggiunto e con la previsione di aggiornamenti dinamici in funzione del completamento delle conoscenze e dell'evoluzione dei fenomeni. In particolare, sono individuate:

- le situazioni di pericolosità dell'assetto fisico-territoriale (assetto idrogeologico), che si determinano in seguito dell'alterazione degli equilibri naturali del sistema stesso sotto il profilo della stabilità del terreno (frane ed erosioni) e di regolamentazione del deflusso delle acque;



- le situazioni di rischio per il sistema antropico, che si determinano quando esso interferisce con la dinamica del sistema fisico-territoriale, provocando danni a persone o cose.

Attualmente, come si è visto sia dalla cartografia esistente del P.A.I. sopra-citata (Figura 6), dallo stralcio della cartografia dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI – Figura 13) e dal rilievo geologico e geomorfologico eseguito, l'area oggetto di studio NON RISULTA essere interessata nell'intorno da processi morfogenici dovuti alla gravità.



- ▨ Aree soggette a crolli/ribaltam
- ▨ Aree soggette a sprofondam
- ▨ Aree soggette a frane superfic
- ▨ DGPV
- Crollo/ribaltamento
- Scivolamento rotazionale/trasl
- Espansione
- Colamento lento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Complesso

Figura 13 - Sovrapposizione della carta delle frane, presente nel Geoportale Nazionale, con la cartografia satellitare, ottenuta mediante software QGIS 2.18.3 – Las Palmas. Nel cerchio, in rosso, il sito oggetto di intervento.

Per quanto riguarda l'attribuzione del grado di pericolosità dell'area, alla stregua dell'allegato "B" del P.A.I., *Ricognizione dei dissesti gravitativi*, si fa riferimento all'analisi critica dei dissesti presenti, in particolare alla tipologia e stato di attività che nel caso specifico, alla data della stesura della presente relazione, non vengono mostrati segni di attivazioni recenti. Pertanto, viene confermato il grado di PERICOLOSITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA NULLA.

Tabella 2 - Attribuzione grado di pericolosità (Allegato "B" - Ricognizione dei dissesti gravitativi, Piano Assetto Idrogeologico P.A.I.).

<i>Definizione grado di pericolosità</i>	<i>Indice di pericolosità</i>	<i>Tipologia di frane (secondo Varnes)</i>
MOLTO ELEVATA	P4	Crollo attivo Debris flow Mud flow
ELEVATA	P3	Crollo quiescente Crollo inattivo Scivolamento attivo Colamento attivo Frana complessa attiva
MEDIA	P2	Scivolamento quiescente Colamento quiescente Frana complessa quiescente D.G.P.V. attiva Soliflusso
MODERATA	P1	Scivolamento inattivo Colamento inattivo Frana complessa inattiva D.G.P.V. quiescente o inattivo Soliflusso

I gradi di rischio vengono stimati dall'incrocio tra il livello di pericolosità e l'esposizione di beni potenzialmente coinvolgibili dal dissesto (edifici, infrastrutture e popolazione), corrispondono alle definizioni di "rischio" contenute nel D.P.C.M. del 29.09.1998, legate sostanzialmente alle interferenze dei dissesti gravitativi con il territorio antropizzato:

- R1: RISCHIO MODERATO, ossia marginali danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale;
- R2: RISCHIO MEDIO, ossia possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- R3: RISCHIO ELEVATO, ossia possibili problemi all'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici ed alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, interruzione delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- R4: RISCHIO MOLTO ELEVATO, ossia possibile perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, distruzione di attività socio-economiche.

Dato il grado di pericolosità nulla già attribuito e l'esposizione dei beni potenzialmente coinvolgibili, allo stato attuale viene conferito il GRADO DI RISCHIO NULLO.

Sulla base di tali considerazioni, viene esclusa qualsiasi analisi di stabilità dell'area in esame rispetto a potenziali movimenti gravitativi.

## 6.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

L'O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006, *Criteri generali per l'individuazione delle Zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone* e il D.M. 17.01.2018, *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"*, pongono l'attenzione del progettista sulla determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

### 6.1 SISMICITA' STORICA

È stata compiuta una ricerca degli eventi sismici più rilevanti dal DataBase Macrosismico Italiano 2015, utilizzato per la composizione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (vers. CPTI15), disponibile per un lasso di tempo che va dall'anno 1000 fino al 2015 e che fornisce un set omogeneo di intensità da diverse fonti relativo a terremoti con intensità massima  $\geq 5$  (Figura 14).

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
8	1799	07	28	22	05		Appennino marchigiano	70	9	6.18			
4-5	1899	11	28	19	10		Monti Sibillini	10	4-5	4.19			
4	1899	12	08				Gargano	122	7	5.47			
4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87			
F	1893	08	02	00	59		Valnerina	84	5-6	4.55			
NF	1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50			
2-3	1895	05	20	15	32	5	Valle Umbra	27	5-6	4.49			
2-3	1895	08	09	17	38	2	Adriatico centrale	103	6	5.11			
2-3	1895	08	25	00	17	1	Sellano	13	5	4.25			
6	1897	09	21				Marche settentrionali	44	7	5.40			
F	1897	10	28	10	40		Fermano	25	4-5	4.16			
3-4	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7	5.09			
4	1898	06	27	23	38		Reatino	186	8	5.50			
4	1898	08	25	16	37	4	Valnerina	67	7	5.03			
5	1898	11	27	01			San Ginesio	35	5-6	4.39			
3	1899	04	21	00	57	5	Narni	45	4	3.96			
3-4	1899	06	22	13	20		Corridonia	30	5	4.08			
4-5	1903	11	02	21	52		Valnerina	33	6	4.81			
3	1904	06	20	01	24		Assisi	24	5	4.10			
5	1904	09	02	11	21		Maceratese	59	5-6	4.63			
2-3	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10			
4	1905	11	30	22			Caldarola	9	4	3.70			
3	1905	12	09	21	41		Valle Umbra	42	5	4.24			
3	1906	02	05	16	34		Valnerina	55	5	4.41			
3-4	1907	01	23	00	25		Adriatico centrale	93	5	4.75			
5	1908	03	17	03	59		Marche meridionali	54	5-6	4.61			
3	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36			
3	1910	06	29	13	52		Valnerina	58	7	4.93			
3	1910	12	22	12	34		Monti della Laga	19	5	4.30			
4	1910	12	26	16	30		Monti della Laga	50	5-6	4.56			
3	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26			
7	1921	08	28	10	45		Monti Sibillini	12	7	4.66			
6-7	1922	06	08	07	47		Valle del Chienti	47	6	4.73			
2-3	1930	11	09	01	33		Monti Sibillini	17	5	4.31			
4	1933	09	26	03	33	2	Maiella	325	9	5.90			
7-8	1936	12	09	07	34		Caldarola	31	6-7	4.76			
5-6	1943	10	03	08	28	2	Ascolano	170	8	5.67			
6-7	1951	09	01				Monti Sibillini	80	7	5.25			
4-5	1960	02	24	01	51		Appennino umbro-marchigiano	25	5	4.32			
5-6	1962	10	05	23	00	4	Appennino maceratese	16	5-6	4.35			
3	1971	04	02	01	43	5	Valnerina	68	6	4.50			
5	1972	11	26	16	03		Marche meridionali	73	8	5.48			
6	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83			
5	1980	02	28	21	04	4	Valnerina	146	6	4.97			
5-6	1980	05	24	20	16	0	Monti Sibillini	58	5-6	4.48			
4-5	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62			
3	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46			
3	1989	09	11	02	46	2	Marche meridionali	60	5	4.04			
2-3	1989	12	22	06	48	1	Valle Umbra	114	5	4.44			
3-4	1993	06	04	21	36	5	Valle del Topino	90	5-6	4.39			
3-4	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6	4.72			
4-5	1995	12	30	15	22	0	Fermano	106	5	4.19			



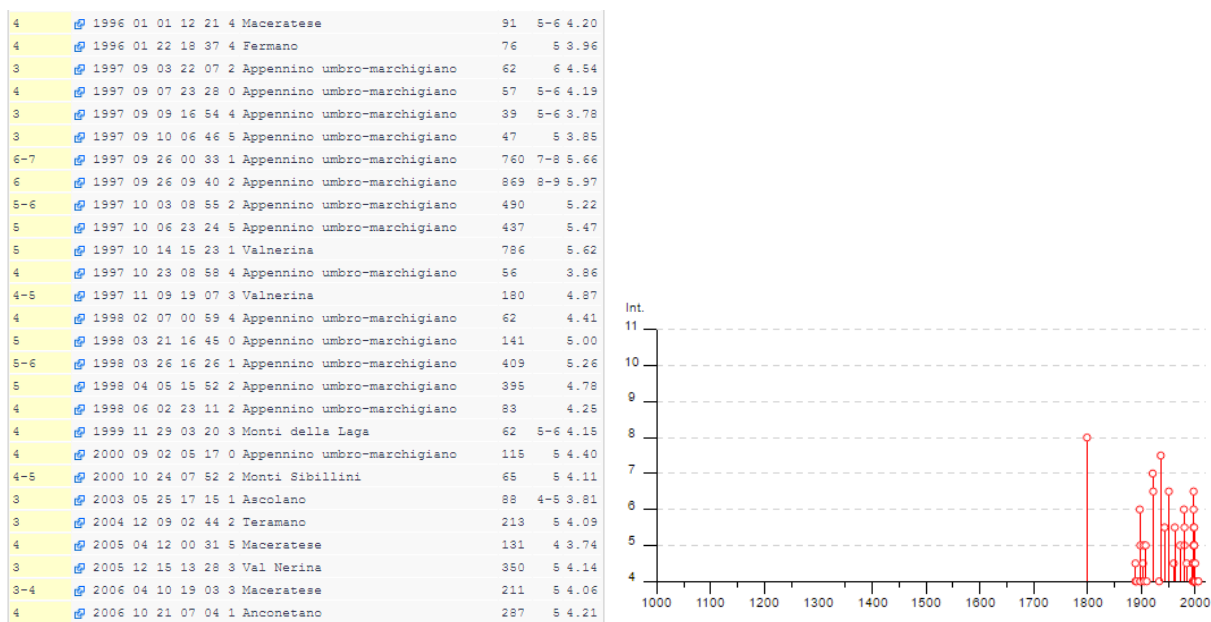


Figura 14 – Risultato dell'interrogazione per località ([http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)).

L'interrogazione ha fornito l'estrazione di 79 risultati: di essi viene posta l'attenzione sugli eventi particolarmente significativi in termini di danni occorsi il 28/07/1799 (Appennino Marchigiano,  $M_w$  6,18), il 21/09/1897 (Marche settentrionali,  $M_w$  5,40), il 28/08/1921 (Monti Sibillini,  $M_w$  4,66), l'08/06/1922 (Valle del Chienti,  $M_w$  4,73), il 09/12/1936 (Caldarola,  $M_w$  4,76), l'01/09/1951 (Monti Sibillini,  $M_w$  5,25), il 19/09/1979 (Valnerina,  $M_w$  5,83) ed il doppio evento del 26/09/1997 (Appennino umbro-marchigiano,  $M_w$  5,66 e 5,97).

Parallelamente è stato indagato il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04) da cui, oltre agli eventi già riportati e per un raggio di 25 km con centro Caldarola, possono essere citati come storicamente significativi anche il seguente evento: il 12/03/1873 (Marche meridionali,  $M_w$  5,88).

## 6.2 SISMICITA' RECENTE

È stata compiuta una ricerca degli eventi sismici recenti più rilevanti attraverso l'Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-basE (I.S.I.D.E. - Figura 15), servizio di sorveglianza sismica nazionale dell'INGV.

L'interrogazione, effettuata per un periodo superiore a due anni, compreso tra l'Agosto 2016 e la data della stesura del presente paragrafo (Dicembre 2018) e che ha riguardato un raggio di 30 km dal Comune di Caldarola e una magnitudo  $M_w$  compresa tra 2,0 e 10,0, ha fornito 4.608 risultati aventi magnitudo elevata ( $M_w$  max 5,9) e localizzati in dorsale appenninica, per lo più in prossimità dei comuni di Pieve Torina, Fiordimonte, Visso, Ussita, Fiastra, ecc... e che rappresentano l'intensa sequenza sismica tuttora in atto seguente alle violente scosse di Amatrice,

Accumuli e Norcia del 24/08/2016 ( $M_w$  6,0 e 5,3), di Castelsantangelo sul Nera e Visso del 26/10/2016 ( $M_w$  5,4 e 5,9), ancora Norcia del 30/10/2016 ( $M_w$  6,5) e Montereale, Capitignano del 18/01/2017 ( $M_w$  5,1, 5,5, 5,4 e 5,0) con ipocentri tra gli 8 e 11 km.

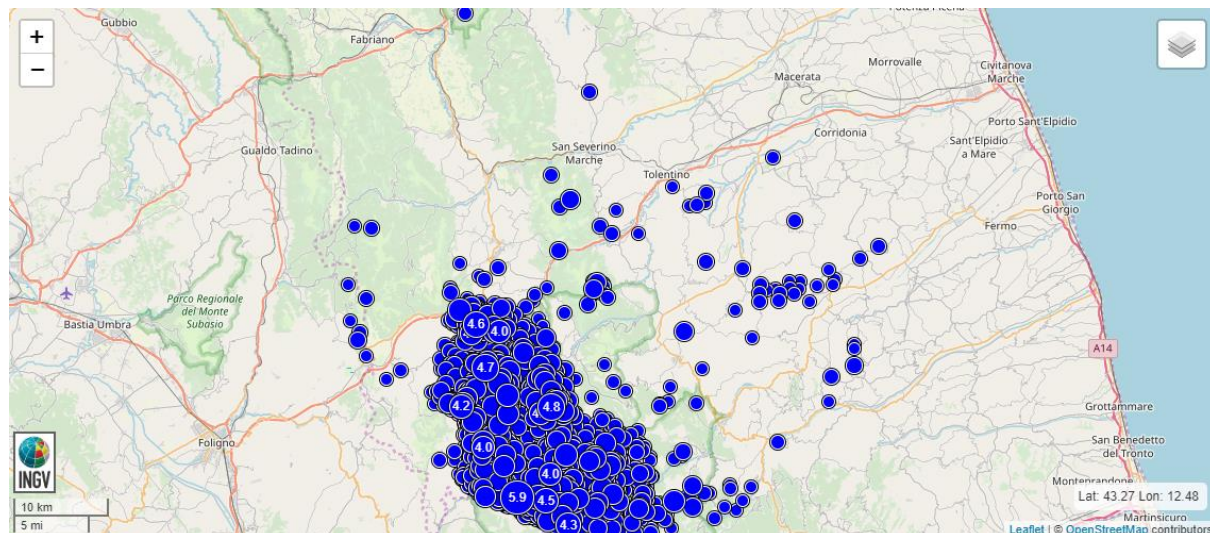


Figura 15 - Localizzazione degli ultimi eventi sismici significativi registrati (<http://cnt.rm.ingv.it/>).

### 6.3 CONDIZIONE SISMICA LOCALE

#### 6.3.1 ACCELERAZIONE E ZONAZIONE SISMICA

Per la determinazione delle azioni sismiche, l'elemento di conoscenza primario è costituito dalla pericolosità sismica. I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica (Figura 16) sono stati definiti dall'O.P.C.M. n. 3519/2006 che ha suddiviso l'intero territorio nazionale (*local hazard*) in quattro zone sismiche (Tabella 3) sulla base del valore di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  (*reference peak ground acceleration*) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A) e che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Viene poi mostrata la disaggregazione della pericolosità sismica (Figura 17), operazione che permette di valutare i contributi delle diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito; la forma proposta è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che consente di definire il contributo delle sorgenti sismogenetiche poste a distanza R e capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altre parole, la disaggregazione dei valori di  $a_g$  dei terremoti occorsi in magnitudo-distanza fornisce statisticamente il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito oggetto di intervento (scuotimento stimato in termini probabilistici).

Tabella 3 – Zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ).

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta. Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media, dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa. È la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse	$a_g < 0,05g$

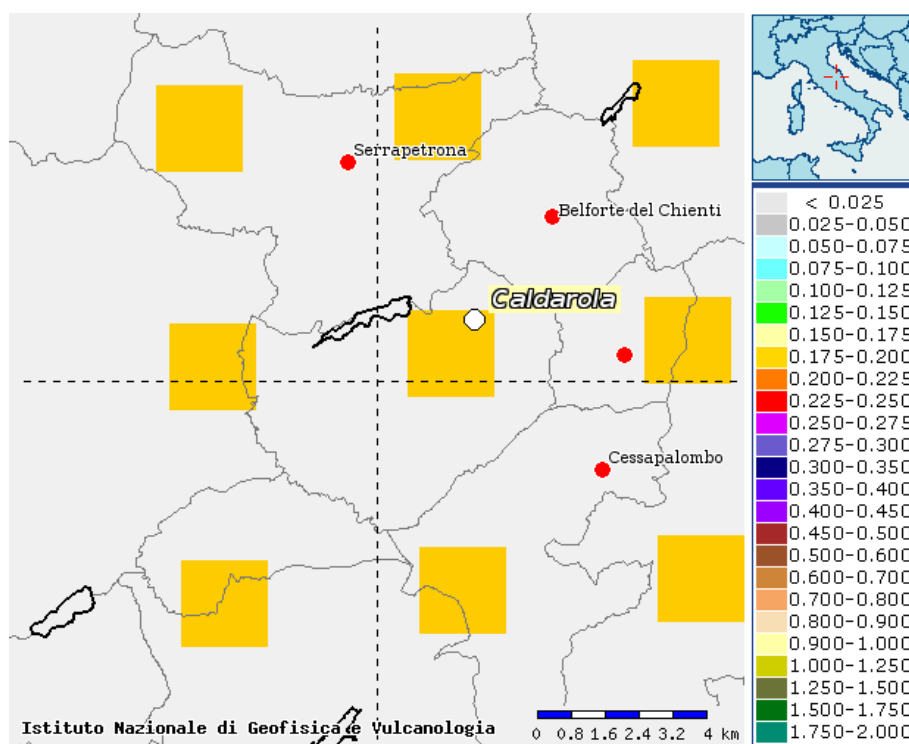


Figura 16 - Mapa interattiva di pericolosità sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

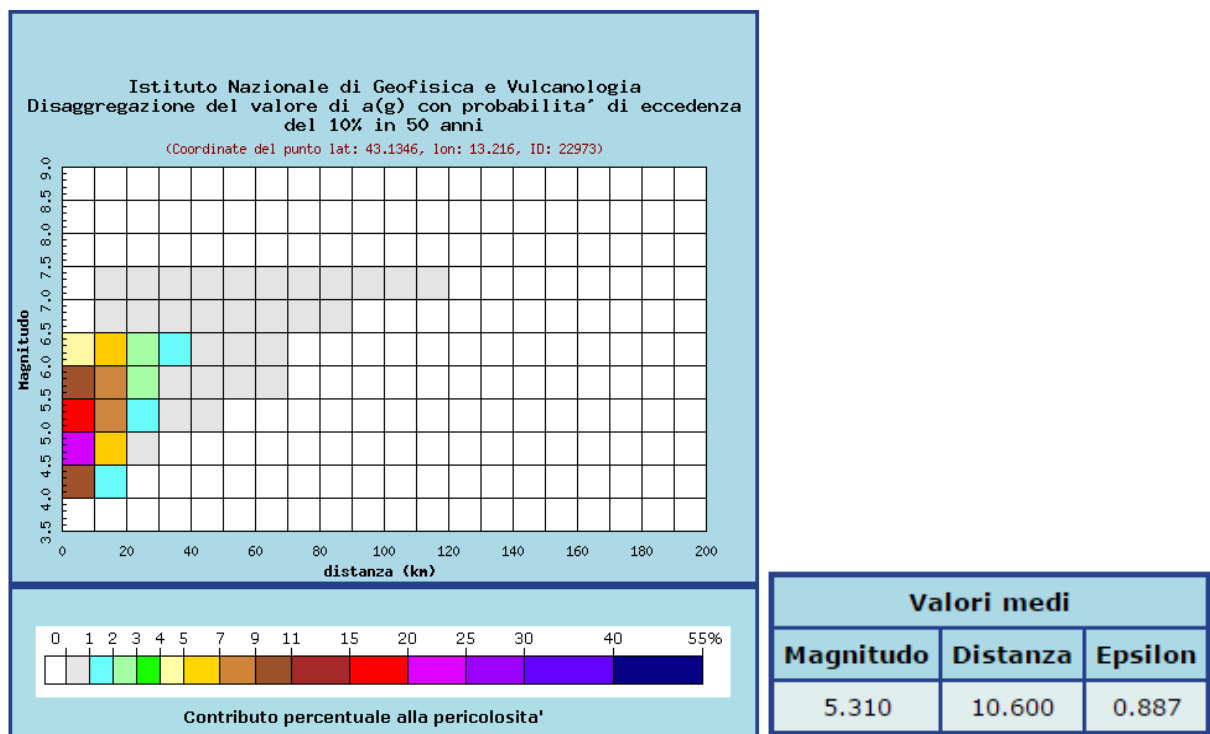


Figura 17 – Grafico di disaggregazione del valore di  $a_g$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.  
(<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Dal grafico si può osservare immediatamente come per tempi di ritorno uguali a 475 anni, il sito in esame sia caratterizzato da terremoti modesti ( $M_w$  5,310 – terremoto di scenario) originati da sorgenti sismiche anche piuttosto vicine ( $R \approx 10$  km). Tuttavia, sono possibili sismi forti aventi magnitudo di circa  $M_w$  6,5 da sorgenti ubicate fino a 40 km dal sito oggetto di intervento.

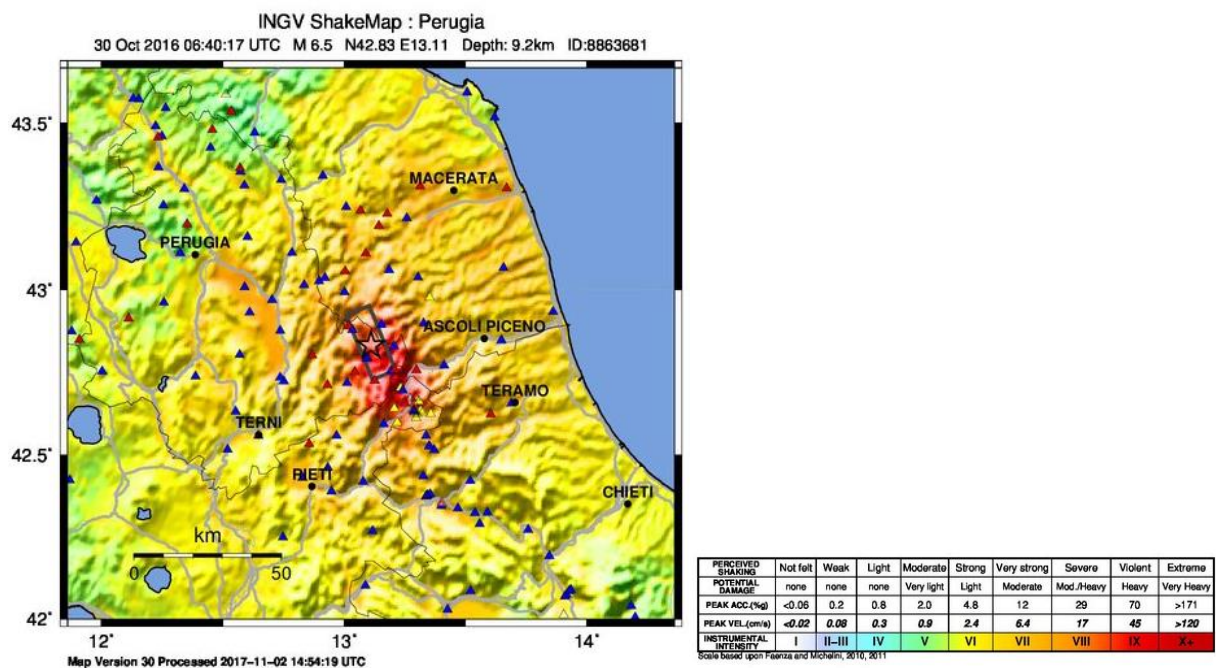




Figura 18 – Elaborazione ShakeMap del sisma occorso il 30/10/2016, per la stima dei parametri di scuotimento del suolo sulla base dei dati registrati dai sismometri e degli accelerometri e delle successive interpolazioni basate sulle conoscenze sismologiche (<http://cnt.rm.ingv.it/event/8863681>).

### 6.3.2 ZONAZIONE SISMOGENETICA E VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO

Per quanto riguarda la zonazione sismogenetica al fine di determinare la massima magnitudo attesa, è stata compiuta un'analisi partendo dal Database of Individual Seismogenic Sources (D.I.S.S. version 3.2.1) dell'INGV. Da esso (Figura 19) è risultato che l'area oggetto di intervento è ubicata all'interno della sorgente sismogenetica "Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (ITCS027)", a cui viene associata una magnitudo massima ( $M_w$ ) di 6,2 (terremoto di progetto).

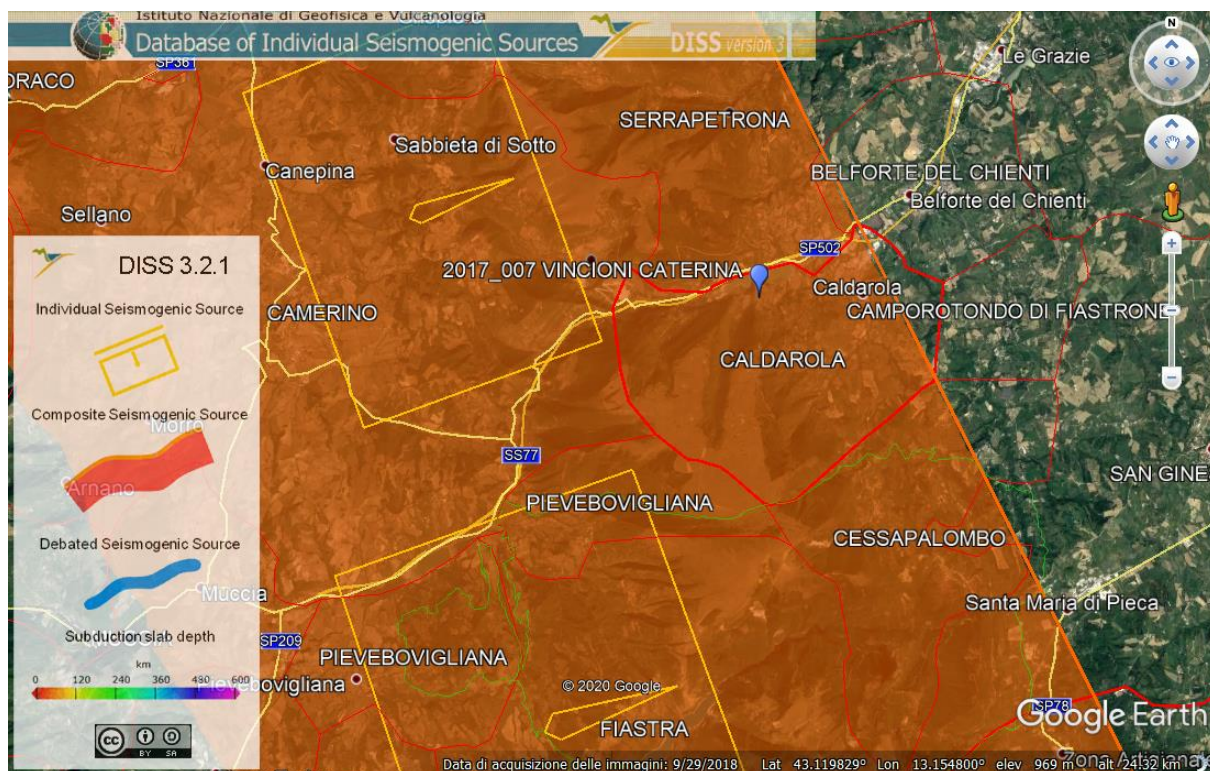


Figura 19 - Database delle strutture sismogeniche (DISS vers. 3.2.1).

All'interno di essa troviamo la sorgente singola denominata "Camerino (ITIS049)", capace di dar luogo ad eventi di magnitudo massima  $M_w$  5,8 valutata usando la relazione di Wells and Coppersmith (1994) e la sorgente denominata "Sarnano (ITIS055)" con associata una magnitudo massima possibile di 6,0. Di entrambe non è possibile determinare alcun tempo di ritorno ma si ritengono responsabili degli eventi del 1799 e 1873 di cui si è in precedenza parlato.

Dalla figura seguente si nota come l'area oggetto di studio fa parte della zona "B", area in cui si ha transizione tra due regimi tettonici opposti: distensione della crosta superficiale nella dorsale appenninica con terremoti poco profondi (zona "A"), compressione della porzione superficiale della crosta nel settore esterno e Adriatico (zona "C"). La zona "B" risulta caratterizzata da



possibili eventi sismici per estensione della parte superficiale della crosta oppure contrazione della parte inferiore di essa.

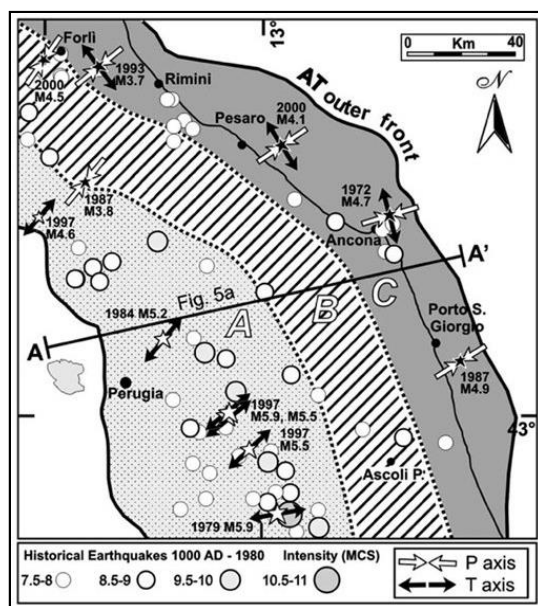


Figura 20 - Fasce sismiche dell'Italia centrale.

### 6.3.3 MISURA DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA – METODO HVSR

Scopo della normativa vigente in Italia (O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003; D.M. 14.01.2008; D.M. 17.01.2018) e derivante dalla normativa europea (Eurocodice 8) è lo sviluppo di una classificazione dei suoli al fine di stimare lo spettro di risposta elastico per la componente orizzontale del moto. Quest'ultimo, ed in particolare la frequenza principale di risonanza del sottosuolo, costituisce il parametro fondamentale per gli ingegneri, i quali devono assolutamente evitare la concomitanza di risonanza, vera causa delle distruzioni da terremoto.

La scelta del  $V_{S,30}$  come parametro di riferimento deriva innanzitutto dall'evidenza "ovvia" che quanto più un terreno è rigido, tanto più esso offre una base solida per l'edificazione.

Infatti, poiché la rigidità  $\mu$  è legata alla velocità delle onde S e alla densità  $\rho$  come:

$$\mu = \rho \times V_S^2$$

si evince che una velocità  $V_S$  bassa vicino alla superficie indica terreno poco rigido. Il secondo motivo è che particolari combinazioni di valori di  $V_S$  e relativi spessori dei sedimenti possono portare all'insorgere della *concomitanza di risonanza*.

In linea di principio, visto che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto. Queste frequenze vengono determinate dalle proprietà meccaniche e dalla morfologia attorno al punto di misura. Nella prassi

ingegneristica la misura delle frequenze di risonanza avviene applicando ad un corpo una sollecitazione nota, solitamente un impulso singolo oppure una sollecitazione sinusoidale, e misurando poi la risposta del corpo in termini di spostamenti o accelerazioni. La risposta del suolo può essere studiata in questa maniera utilizzando come funzione di eccitazione le onde di un terremoto o di una sorgente artificiale. Esiste un'alternativa, allo stesso tempo efficace, assolutamente non invasiva e gratuita: l'utilizzo del rumore sismico di fondo come funzione di eccitazione.

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 21, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo "minimo" di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il "massimo" di tale rumore, e dove i picchi a 0,14 e 0,07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste. Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda.

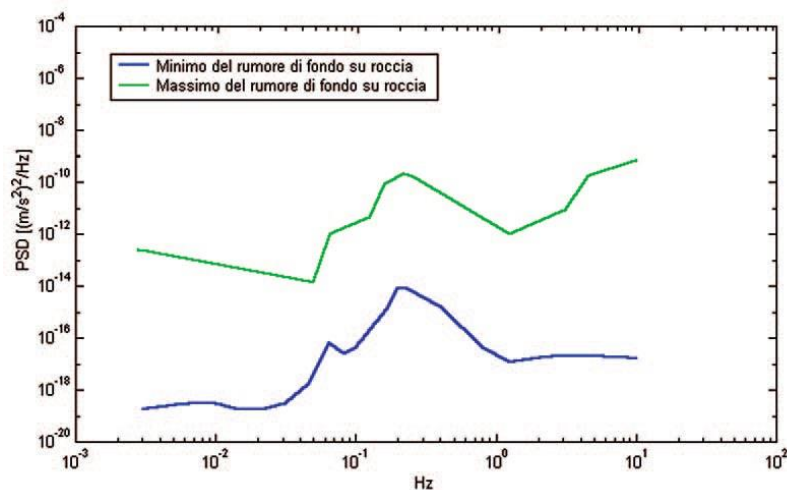


Figura 21 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra (secondo USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S (vedi ad es. Lachet e Bard, 1994), il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001; solo per citarne alcune).

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Figura 22 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$f_r = V_{s1} / (4H) \quad [1]$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

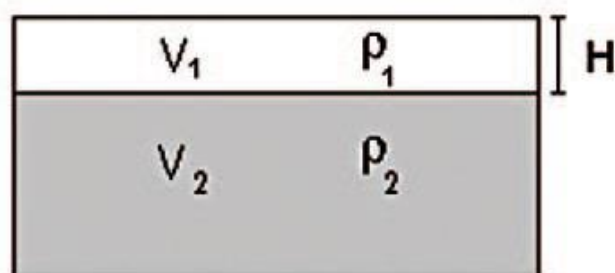


Figura 22 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità  $\rho$  e velocità di propagazione delle onde sismiche  $V$ .

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto, il modello di strato piano al disopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere

piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (per le basi teoriche si veda ad es. Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981; Arai e Tokimatsu, 2004).

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (per un riassunto cfr. Gallipoli et al., 2000; Castellaro et al., 2005).

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. es. Pratt).

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{frequenza naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H) \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200\text{-}300 \text{ m/s} / (4H) \quad [5]$$

Uno studio italiano effettuato da Masi *et alii* (2007) su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, ha evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5], ottenendo la relazione illustrata in Figura 23.

L'Eurocodice 8 forniva comunque una relazione finalizzata alla determinazione del periodo elastico in funzione dell'altezza totale H in quanto, più di ogni altro parametro, riassume il rapporto tra la rigidezza e la massa dell'edificio:

$$T_1 = C_t H^{3/4}$$

Dove  $C_t$  è una costante che vale:

0,085 per costruzioni con struttura a telaio di acciaio o di legno;  
 0,075 per costruzioni con struttura a telaio di calcestruzzo armato;  
 0,050 per costruzioni in muratura o per qualsiasi altro tipo di struttura.

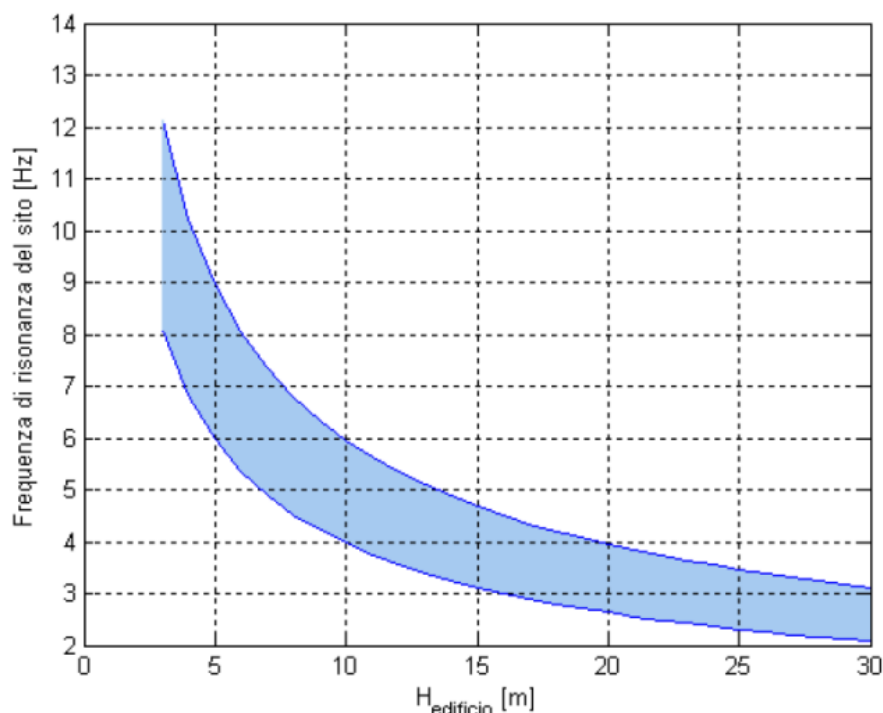


Figura 23 – Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di concomitanza di risonanza.

In allegato è presente il report completo delle n. 2 misure a stazione singola secondo il metodo *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, HVSR o H/V, per la stima della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo che mostrano un rapporto H/V con un picco ( $f_0$ ) intorno a 8,149 Hz e ulteriori picchi dovuti a probabili disturbi antropici.

#### 6.3.4 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Tabella 4 - Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per diversi tipi di costruzioni (da N.T.C. 2018).

Tipi di costruzione		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10



2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevate	100

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Tabella 5 - Classi d'uso (da N.T.C. 2018).

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso come mostrato qui sotto:

Tabella 6 - Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  (da N.T.C. 2018).

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0,7	1	1,5	2

Se  $V_R \leq 35$  anni, si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

### 6.3.5 TIPO DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si è fatto riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

Con:

$h_i$  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, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$  ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per il caso in esame si ha il seguente valore, determinato attraverso l'esecuzione di un'indagine MASW congiunta Onde di Rayleigh + Onde di Love:

**MASW**

$$V_{s,eq} = V_{s,9} \quad \mathbf{519 \text{ m/s}}$$

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella sottostante.

Tabella 7 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (da N.T.C. 2018).

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

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tabella 8 - Categorie topografiche (da N.T.C. 2018).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Nel caso specifico, come descritto nel paragrafo relativo agli aspetti geomorfologici, l'immobile oggetto di intervento insiste nella parte alta di un versante immergente verso E (~27%) verso il Fosso delle Lame: per la definizione della categoria topografica, è stata tracciata una sezione E-W perpendicolare al versante da cui è stata ricavata la pendenza del versante stesso:

Pendenza media versante est ( $\alpha_1$ ) = 27,2% = 15,11°



Figura 24 – In rosso, traccia della sezione perpendicolare al pendio e determinazione pendenza.

#### 6.3.6 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA E SPETTRI DI RISPOSTA

La rappresentazione principale dell'azione sismica in un assegnato punto della superficie libera è lo spettro di risposta elastico (*elastic response spectrum*).

Vengono riportati in allegato i valori di progetto dei parametri sismici ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) per gli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC tipici del luogo in esame e i coefficienti sismici ( $k_h$ ,  $k_v$ ) orizzontali e verticali per le fondazioni. Attraverso tali valori è possibile generare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontali e verticali.

#### 6.4 VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEL TERRITORIO

Da un'analisi della Tav. EN\_07b del P.T.C. della Provincia di Macerata (Figura 25), risulta che il Comune di Caldarola, caratterizzato da una popolazione residente pari a 1.758 (ISTAT



all'01/01/2018), possieda un grado di sismicità pari a 9 e un indice di sismicità pari a 0,4673: essendo quest'ultimo superiore alla media nazionale (0,0455), il sito oggetto di intervento viene fatto ricadere nella categoria "Comuni ad elevato rischio sismico".



Figura 25 – Intensità massime osservate nei comuni nella Provincia di Macerata (PTC Tav. EN\_07b).

#### 6.5 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono 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 di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

In base al D.M. 17.01.2018, *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"*, la verifica a liquefazione può essere omessa qualora sia verificata almeno una delle seguenti condizioni (§ 7.11.3.4.2):

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

- profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{cIN} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{cIN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna a determinate fasce critiche (Figura 26).

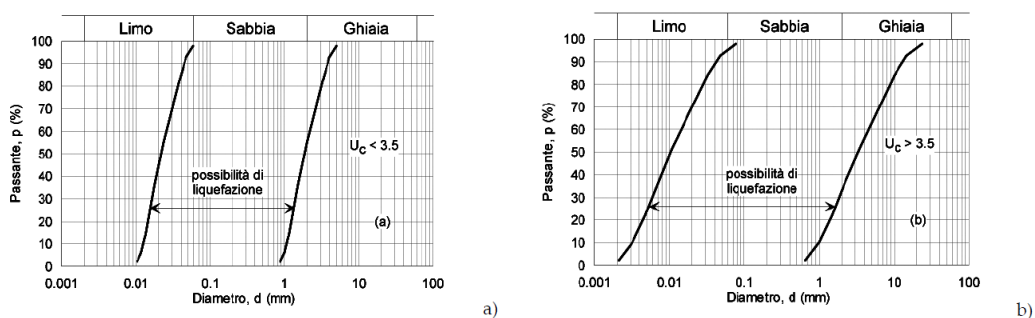


Figura 26 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nel caso in esame, la verifica alla suscettibilità alla liquefazione e/o la valutazione del potenziale viene omessa in quanto, a seguito delle indagini eseguite, non è stata individuata alcuna falda idrica.

## 7.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Vengono esplicitati i risultati ottenuti da eventuali indagini e prove geotecniche, descritte la caratterizzazione e la modellazione geotecnica dei terreni interagenti con l'opera. Inoltre, vengono riassunti i risultati delle analisi svolte per la verifica delle condizioni di sicurezza e, se richiesto, la valutazione delle prestazioni nelle condizioni di esercizio del sistema costruzione – terreno. L'intero studio riguarda essenzialmente il volume significativo.

### 7.1 CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI E DELLE ROCCE (VALORI NOMINALI)

Per quanto riguarda la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico si è ricorso all'esecuzione di n. 3 sondaggi a distruzione di nucleo che hanno raggiunto il substrato geologico e n. 1 prova penetrometrica dinamica super-pesante DPSH.

Ciò ha permesso la ricostruzione di n. 2 sezioni litostratigrafiche esemplificative del modello geologico e geotecnico di sottosuolo presente (Tavola 06, scala 1: 100).

Tali dati, trattati con spirito critico e con esperienza geologica acquisita in zona, vengono illustrati di seguito.

#### **Litotipo "RI" - TERRENO DI RIPORTO**

*(S1: 0,00 - 0,70 m; S2: 0,00 - 0,70 m; S3: 0,00 - 1,50 m; DPSH: 0,00 - 0,40 m dal p.c.)*

Costituito da ghiaie spigolose rossastre addensate in matrice limosa marrone. Viene omessa la caratterizzazione geomeccanica in quanto ritenuto influente ai fini progettuali e destinato alla rimozione prima della realizzazione dell'opera.

#### **Litotipo "SW" - LIMO SABBIOSO CON PEZZAME MARNOSO**

*(S1: 0,70 - 3,70 m; S2: 0,70 - 4,50 m; S3: 1,50 - 4,00 m; DPSH: 0,40 - 2,00 m dal p.c.)*

Scarsamente consistente. Costituito da limo sabbioso e/o sabbia limosa con pezzame grossolano marnoso e/o calcareo-marnoso grigiastro sparso. Possiede stabilità buona e capacità portante accettabile.

Peso unità di volume	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,54
Peso unità di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,96
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\phi'$ (°)	29,85
Resistenza non drenata	$c_u$ (kPa)	> 400
Modulo di Young	$E'$ (kPa)	8.826 - 10.626
Modulo edometrico	$E_{\text{ed}}$ (kPa)	10.437
Numero dei colpi	$N_{\text{SPT}}$	14,7

#### **Litotipo "SFALS" PEZZAME MARNOSO E CALCAREO MARNOSO**

*(DPSH1: > 1,20 m dal p.c.)*

Tale litotipo rappresenta la porzione alterata della formazione della Scaglia cinerea appenninica.

Peso unità di volume	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,75
----------------------	-------------------------------	------

Peso unità di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,09
Angolo di resistenza al taglio efficace	$\phi'$ (°)	> 38
Modulo di Young	$E'$ (kPa)	> 20.760
Modulo edometrico	$E_{\text{ed}}$ (kPa)	> 25.049
Numero dei colpi	$N_{\text{SPT}}$	> 35,28

Sulla base degli accorgimenti contenuti nelle N.T.C. del 17.01.2018, si consiglia di considerare i parametri geotecnici precedentemente riportati come valori medi (valori nominali) e non caratteristici (stima ragionata e cautelativa del valore considerato nello stato limite considerato) o di progetto.

## 8.0 FONDAZIONI E CEDIMENTI

Con il termine “fondazione” si intende l’elemento strutturale di raccordo tra l’opera ed il terreno che vincola la sovrastruttura al terreno stesso e vi trasmette i carichi agenti.

La soluzione del problema consiste nell’ipotizzare una certa dimensione della fondazione e verificarne l’adeguatezza: essa non deve crollare sotto le azioni di progetto, nel senso che il terreno non deve rompersi sotto carico (SLU) e i cedimenti attesi devono essere compatibili con l’uso della struttura (SLE).

### 8.1 STATO LIMITE ULTIMO

Le azioni applicate dalla sovrastruttura alla fondazione devono essere inferiori alla resistenza offerta dal terreno. Con l’entrata in vigore delle N.T.C. 2008, le verifiche richieste nella redazione di un progetto strutturale sono di tipo prestazionale, ovvero finalizzate a verificare la rispondenza delle caratteristiche di un’opera rispetto alle prestazioni per le quali essa è progettata.

Deve essere verificata la relazione fondamentale che regge la formulazione dello SLU:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto delle azioni o degli effetti delle azioni mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza disponibile.

Il valore di  $E_d$  viene calcolato a partire dai valori caratteristici delle azioni elementari (forza peso, azioni antropiche, vento, neve, etc...) che vengono “amplificate” mediante l’utilizzo di coefficienti parziali moltiplicatori ( $\gamma_F$ ) generalmente maggiori di 1.

Il valore di  $R_d$  viene calcolato utilizzando le formule di capacità portante nelle quali vengono introdotti coefficienti riduttivi sia dei parametri geotecnici ( $\gamma_M$ ), sia della capacità risultante



dell'applicazione delle formule ( $\gamma_R$ ). Le metodologie si basano sui criteri e schemi di Prandtl (*Über die Eindringungsfestigkeit plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden*, 1921) o Terzaghi (*Theoretical Soil Mechanics*, 1943) che fanno riferimento alla formula trinomia elaborata da diversi autori: l'entrata in vigore delle N.T.C. 2008 non ha modificato in maniera sostanziale gli aspetti teorici alla base di tali formulazioni.

Per il caso specifico, in condizioni statiche, si consiglia l'adozione della formulazione di Brinch - Hansen (*A revised and extended formula for bearing capacity*, 1970) la quale costituisce un'estensione dell'equazione di Buisman (1935) e Terzaghi, ottenuta dalla sovrapposizione di soluzioni relative a meccanismi diversi. Essa in condizioni drenate viene espressa come segue:

$$q_{lim} = c' N_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma D N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0,5 B \gamma' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

con

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} K_P \quad N_c = (N_q - 1) \tan \phi' \quad N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \phi' \quad [\text{modificata EC7}]$$

La formulazione di Brinch - Hansen (1970) è quella che contiene un sufficiente numero di informazioni per il calcolo ingegneristico della capacità portante: coefficienti di forma ( $s_c$   $s_q$   $s_\gamma$ ), coefficienti di inclinazione del carico ( $i_c$   $i_q$   $i_\gamma$ ), coefficienti di affondamento o profondità ( $d_c$   $d_q$   $d_\gamma$ ), coefficienti di inclinazione della base della fondazione ( $b_c$   $b_q$   $b_\gamma$ ) e coefficienti di inclinazione del piano campagna ( $g_c$   $g_q$   $g_\gamma$ ). Per eventuali approfondimenti, oltre a Brinch - Hansen (1970) e all'EC7, viene consigliato: De Beer (*Experimental determination of the shape factor and the bearing capacity factor on sand*, 1970) e Vesic (*Analysis of ultimate loads of shallow foundations*, 1973).

In condizioni non drenate (terreno puramente coesivo  $\phi' = 0$ ), la formulazione di Brinch - Hansen, viene così espressa:

$$q_{lim} = (2 + \pi) c_u s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma D$$

Per quanto riguarda il calcolo della capacità portante in condizioni non drenate, recentemente Salgado (*The engineering of foundations*, 2008) ha proposto una formulazione trinomia del tipo sopra riportato: tale formulazione conduce però a valori di capacità portante decisamente più elevati rispetto all'applicazione di Brinch - Hansen, pertanto deve essere usata esclusivamente in presenza di un modello geotecnico estremamente dettagliato, con valori di coesione non drenata molto affidabili.

Per la verifica della capacità portante delle fondazioni superficiali in presenza di carichi sismici, le classiche formulazioni in campo statico non risultano assolutamente esaustive per questo tipo di problema in quanto, durante un terremoto, il passaggio delle onde sismiche crea delle forze di inerzia nel terreno le quali sono equilibrate da uno stato tensionale di natura dinamica principalmente legato al taglio orizzontale e, nello stesso tempo, in fondazione si manifestano altre forze dovute all'inerzia della sovrastruttura.

Il problema della capacità portante in campo sismico è legato alle caratteristiche sismiche del sito, sia in termini di eventi attesi, in funzione delle prestazioni richieste dall'opera, sia in termini di risposta sismica locale. In particolare, tali caratteristiche vengono espresse attraverso l'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) attesa al suolo per sito di riferimento rigido, e il fattore di amplificazione ( $S = S_s \times S_t$ ) che tiene conto delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche proprie del sito di costruzione, sulla base di approcci semplificati o, in alternativa, studi specifici di

risposta sismica locale. Dalla  $a_g$  e dal fattore di amplificazione si ottengono i coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$ . Per eventuali approfondimenti si rimanda al capitolo 6.3.4 o ai parametri sismici allegati alla presente relazione.

Di seguito vengono riportati i metodi che la recente bibliografia ci propone e che vengono consigliati al progettista per la determinazione della capacità portante in condizioni sismiche.

Condizioni drenate (terreni granulari):

- Metodo di Richards (*Seismic bearing capacity and settlement of foundation*, 1993);
- Metodo di Paolucci e Pecker (*Seismic bearing capacity of shallow strip foundation of dry soil*, 1997);
- Metodo di Maugeri (*Adeguamento e miglioramento sismico delle fondazioni di edifici esistenti*, 2008);
- Metodo di Kumar (*Seismic bearing capacity factors for spread foundation*, 2002);
- Metodo di Choudhury (*Seismic bearing capacity of shallow strip foundation*, 2005);
- Metodo EC8, Annex F;
- Metodo di Cascone (Effetto dell'azione sismica sulla valutazione del fattore  $N_v$ ).

In condizioni non drenate (terreni coesivi) prendere in considerazione esclusivamente il metodo di Paolucci e Pecker o le istruzioni contenute nell'EC8.

## 8.2 STATO LIMITE ESERCIZIO

La verifica consiste nel garantire le prestazioni della fondazione nei confronti delle condizioni di esercizio. Il requisito da rispettare è il seguente:

$$E_d \leq C_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni (carichi in condizioni di esercizio) e  $C_d$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione.

Per quanto concerne la verifica, la Circolare applicativa ne dà la seguente definizione: "gli stati limite di esercizio si riferiscono al raggiungimento di valori critici di spostamenti e rotazioni, assoluti e/o relativi e distorsioni che possono compromettere la funzionalità dell'opera. È quindi necessario valutare, utilizzando i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze dei materiali, gli spostamenti e le rotazioni delle opere, nonché il loro andamento nel tempo."

Sia la norma che la circolare non riportano prescrizioni in merito al valore di  $C_d$ ; resta allo strutturista l'onere di decidere e stabilire i limiti di accettabilità delle deformazioni in funzione dell'opera in progetto. Ci sono molte tabelle e grafici che vari autori hanno proposto su base statistica definendo dei limiti di accettabilità dei cedimenti assoluti o differenziali compatibili con varie tipologie di opere. Come nel caso degli SLU, vengono suggerite al progettista i seguenti riferimenti bibliografici:

- Skempton & McDonald (*The allowable settlement of buidings*, 1956);
- Ricceri e Soranzo (*An analysis on allowable settlements of structure*, 1985);
- Sowers (*Shallow Foundations*, 1962);
- Bjerrum (*Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils*, 1973);
- Viggiani (*Fondazioni*, 1999);
- Lambe & Whitman (*Meccanica dei terreni*, 1979).

Per quanto riguarda i metodi tradizionali di calcolo dei cedimenti, vengono proposti i metodi sotto-riportati.

Condizioni drenate (terreni granulari/incoerenti):

- Metodo di Schmertmann (*Static cone to compute static settlement over sand*, 1970 e *Guidelines for Cone Penetration Test performance and design*, 1978);
- Metodo di Burland & Burbidge (*Settlement of foundations on sand and gravel*, 1985);
- Metodo di Berardi & Lancellotta (*Stiffness of granular soil from field performance*, 1991);
- Metodo di Mayne & Poulos (*Approximate displacement influence factors for elastic shallow foundations*, 1999);
- Metodo probabilistico di Sivakugan & Johnson (*Settlements prediction in granular soil: a probabilistic approach*, 2004).

Condizioni non drenate (terreni coesivi):

- Metodo di Terzaghi (*Theoretical Soil Mechanics*, 1943);
- Metodo di Skempton & Bjerrum (*A contribution to the settlement analysis of foundations on clay*, 1957).

### 8.3 COSTANTE DI SOTTOFONDO

La costante di sottofondo o coefficiente di Winkler ( $K$  o  $K_s$ ), rappresenta una forza esercitata sul suolo elastico alla Winkler (*Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit*, 1867), su un'area di 1 cm<sup>2</sup> che provoca l'abbassamento di 1 cm. Per suolo alla Winkler si intende un suolo puramente ideale, paragonabile ad un letto di molle. Tale costante rappresenta un elemento fondamentale nella fase di progettazione di un'opera: viene valutata attraverso diverse relazioni, tra cui Vesic (*Beams on elastic subgrade and the Winkler's hypothesis*, 1961) e Bowles (*Foundation Analysis and Design*, 1988).

Per appurare con esattezza il valore reale di questo coefficiente, occorrono molte e costose indagini geotecniche. In alternativa ci si accontenta di valori cautelativi, utilizzando dei coefficienti di sicurezza appropriati per le verifiche strutturali delle fondazioni e della sovrastruttura.

Di seguito si riportano alcuni valori indicativi per il coefficiente di sottofondo.

MODULO DI REAZIONE "VERTICALE" DEL TERRENO [WINKLER]		MODULO DI REAZIONE "ORIZZONTALE" DEL TERRENO [per paratie]		MODULO DI TAGLIO DEL TERRENO	
<i>Tabella dei Moduli di Winkler secondo POZZATI</i>		<i>Rif.: FONDAZIONI Joseph E. BOWLES</i>			
Natura del terreno	K [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Natura del terreno	Ks [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Natura del terreno	G [MPa]
torba leggera	0.6 ~ 1.2	Terreno Sabbioso :		argilla molto molle	0.7 ~ 5.3
torba pesante	1.2 ~ 1.8	Sciolti	0.49 ~ 1.63	argilla molle	1.7 ~ 8.9
terra vegetale	1.0 ~ 1.5	Mediamente compatto	0.98 ~ 8.16	argilla media	5.8 ~ 22.7
depositi recenti	1.0 ~ 2.0	Compatto	6.53 ~ 13.50	argilla dura	19.2 ~ 45.5
sabbia di mare, fina	1.5 ~ 2.0	Terreno Argilloso:		argilla sabbiosa	9.6 ~ 104.2
sabbia poco coerente	2.0 ~ 4.0	qu < 2 daN/cm <sup>2</sup>	1.22 ~ 2.45	detrito glaciale sciolti	4.0 ~ 60.0
terra molto umida	2.0 ~ 3.5	qu < 4 daN/cm <sup>2</sup>	2.45 ~ 4.89	detrito glaciale compatto	60.0 ~ 288.0
terra poco umida	3.0 ~ 6.0	qu > 4 daN/cm <sup>2</sup>	4.98 ~ 48.95	detrito glaciale molto compatto	200.0 ~ 576.0
terra secca	5.0 ~ 10.0	Sabbia argillosa mediamente compatta	3.26 ~ 8.16	loess	5.8 ~ 27.3
argilla con sabbia	8.0 ~ 10.0	Sabbia limosa mediamente compatta	2.45 ~ 4.89	sabbia limosa	1.8 ~ 7.1
argilla grassa	10.0 ~ 12.0			sabbia sciolta	3.6 ~ 8.9
sabbia compatta	8.0 ~ 15.0			sabbia compatta	7.8 ~ 28.6
ghiaia con sabbia	10.0 ~ 25.0			sabbia e ghiaia in miscuglio sciolte	16.7 ~ 50.0
ghiaia compatta	20.0 ~ 30.0			sabbia e ghiaia in miscuglio compatte	27.8 ~ 55.5
				argilloscisto	53.6 ~ 1785.7
				limo	0.7 ~ 7.7

Figura 27 – Valori indicativi dei moduli di reazione.

Si fa presente, comunque, che risulta formalmente errato definire un valore del parametro  $K_s$  senza tener conto della tipologia e dimensione della fondazione che si andrà a realizzare. Inoltre, una limitazione dell'utilizzo del modello alla Winkler è l'assunto che il suolo di fondazione abbia un comportamento elastico-lineare: è ormai risaputo che il terreno si comporta in maniera non elastica anche per piccoli spostamenti, pertanto è consigliabile non fare riferimento al  $K_s$  ma ad altri metodi più recenti ben documentati ed affidabili, esempio Köenig & Sherif (*Rafts and beams on compressible subsoil. Tables for the calculation of soil pressure, settlement, shear forces and moments according to the moduls of compressibility-motodh*, 1975).

Al punto 6.4.2 delle N.T.C. 2008, si legge: "il piano di fondazione deve essere situato sotto (...) lo strato di terreno interessato da significative variazioni stagionali del contenuto di acqua". Questa prescrizione è formulata in maniera quantomeno semplicistica in quanto l'individuazione univoca e stabile del livello soggetto a variazioni stagionali del grado di saturazione, in relazione anche al tempo di vita della struttura, risulta allo stato attuale estremamente aleatorio dal punto di vista tecnico e scientifico. In generale, gli elementi di rischio dovuti a tale aspetto sono:

- variazioni di volume del terreno di fondazione in funzione del contenuto in acqua tipico dei terreni argillosi;



- variazione delle caratteristiche meccaniche e di deformabilità in condizioni di parziale saturazione.

Allo stato attuale non si trovano ancora formulazioni semplici e di facile applicabilità nella pratica professionale, soprattutto in relazione alla caratteristica variabilità delle condizioni di saturazione dei terreni superficiali. Nonostante non esista una metodologia di lavoro assodata che metta al riparo da queste situazioni, sussistono una serie di accorgimenti che possono aiutare a limitare gli effetti:

- approfondimento del piano di posa delle fondazioni al di sotto del livello di ritiro e rigonfiamento (se individuato);
- realizzazione di interrati sull'intero corpo di fabbrica;
- unica quota di imposta delle fondazioni;
- particolare cura nel controllo della funzionalità di pluviali, scarichi, fogne;
- attenzione agli effetti della suzione collegati alla presenza di essenze arboree, in particolare negli edifici esistenti.

## 9.0 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto spiegato nel presente elaborato, si possono sintetizzare le sottoelencate conclusioni.

- ✓ Il rilievo geologico e geomorfologico eseguito in un intorno significativo dell'area oggetto di intervento e confrontato con la cartografia ufficiale, con n. 3 sondaggi a distruzione di nucleo che hanno raggiunto il substrato geologico e con n. 1 prova penetrometrica dinamica super-pesante DPSH, attesta la presenza di depositi di versante pleistocenici costituiti da limo sabbioso con pezzame marnoso (litotipo "SW") poggianti su substrato costituito dai calcari marnosi e marne calcaree attribuite alla formazione della Scaglia cinerea appenninica (SCC) e caratterizzata da stabilità e capacità portante da buona a ottima.
- ✓ Allo stato attuale non si segnala la presenza di processi morfogenici attivi interagenti con l'area oggetto di intervento: pertanto viene assegnato un grado di pericolosità geologica e geomorfologica nulla e di rischio nullo. Perciò, viene esclusa qualsiasi analisi di stabilità.
- ✓ Fino alla profondità indagata viene esclusa la presenza di alcuna falda idrica.
- ✓ L'indagine MASW in Onde di Love effettuata fornisce un valore della  $V_{s,eq} = V_{s,9} \sim 519$  m/s che, mediante approccio semplificato e considerando la presenza di un substrato sismico con  $V_s > 800$  m/s entro i primi 30 m, fa ricondurre il sottosuolo ad una

categoria di tipo B. La categoria topografica, attribuita a seguito del calcolo analitico della pendenza media del pendio, risulta essere T2.

- ✓ Al fine di considerare il maggiore onere degli interventi compiuti su edifici posti in siti dove è maggiore l'azione sismica di progetto, si fa presente che la pericolosità sismica di base ( $a_g$ ) risulta essere pari a 0,179 g, il parametro  $S_s$  pari a 1,20 e il parametro  $S_t$  pari a 1,20. Pertanto, essendo il prodotto  $a_g \times S_s \times S_t$  pari a 0,258 g, i costi parametrici sono incrementati con il seguente criterio:

$0,25g \geq a_g \times S \geq 0,35g$  "incremento del 5% per gli interventi di miglioramento sismico e del 2% per i casi di ricostruzione totale".

- ✓ N. 2 misure HVSR mettono in luce la presenza di un contrasto di impedenza intorno alla frequenza di 8,149 Hz oltre a diversi picchi di natura antropica.
- ✓ L'area, classificata come Zona sismica 2, è ubicata all'interno della sorgente sismogenica individuata nel D.I.S.S. versione 3.2.1 denominata "Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (ITCS027)", a cui viene associata una magnitudo massima ( $M_w$ ) di 6,2 (terremoto di progetto). L'eventuale terremoto di scenario, derivato invece da calcoli di disaggregazione del valore di  $a_g$ , è pari a  $M_w$  5,310 e distanza di circa 10 km. Tuttavia, sono possibili sismi forti, aventi magnitudo di circa  $M_w$  6,5 da sorgenti ubicate fino a 40 km dal sito oggetto di intervento. Il rischio sismico è dunque elevato.
- ✓ La verifica alla suscettibilità al fenomeno della liquefazione e/o la valutazione del potenziale è stata omessa in quanto, a seguito delle indagini eseguite, non è stata individuata alcuna falda idrica.

# TAVOLE e ALLEGATI



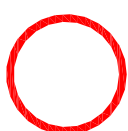
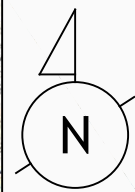
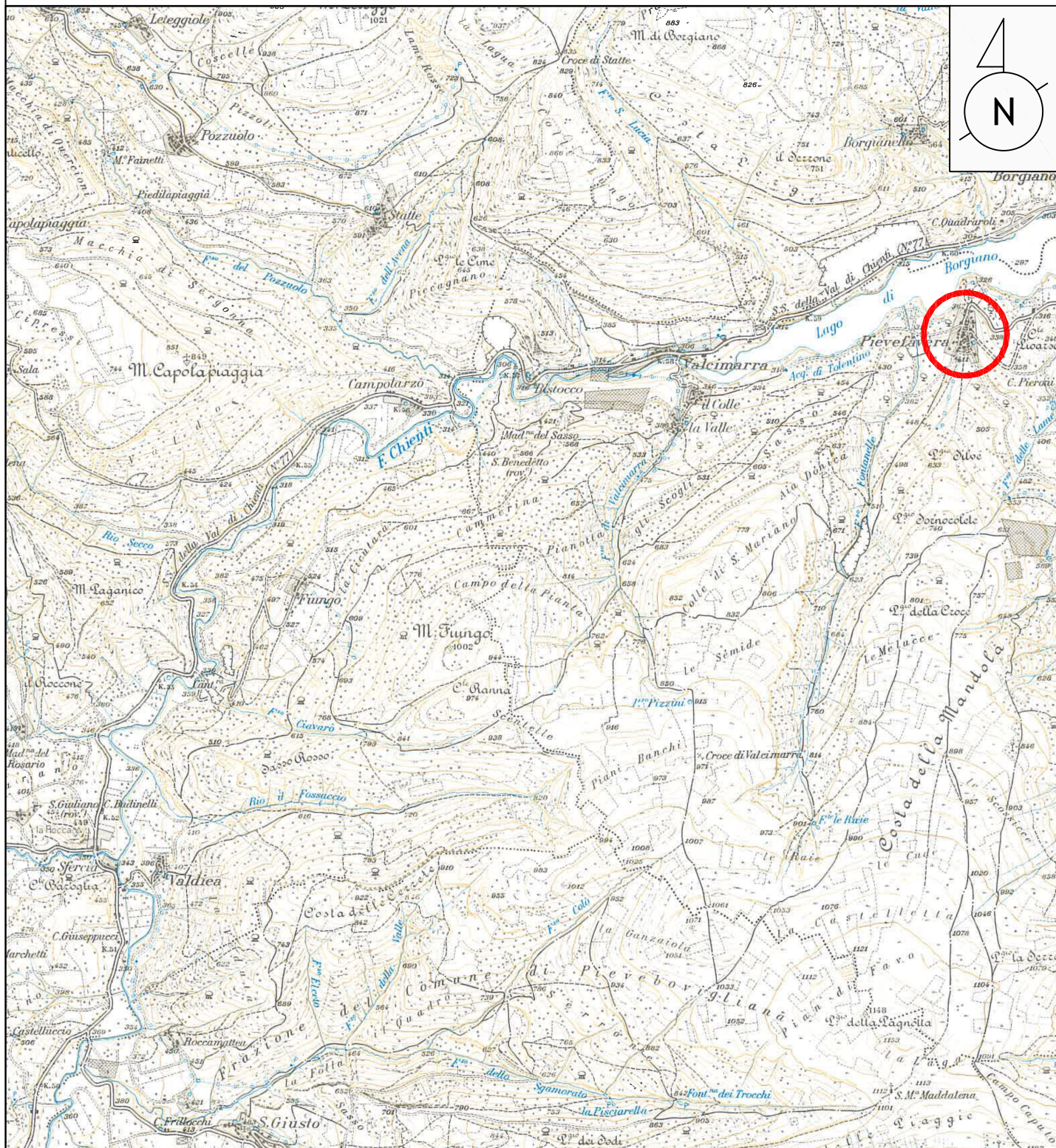
# INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

CARTA TOPOGRAFICA D'ITALIA

FOGLIO 124 "MACERATA" – QUADRANTE III – TAVOLETTA NE "POLVERINA"

SCALA 1: 25.000

TAVOLA 01



Area oggetto di indagine



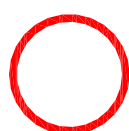
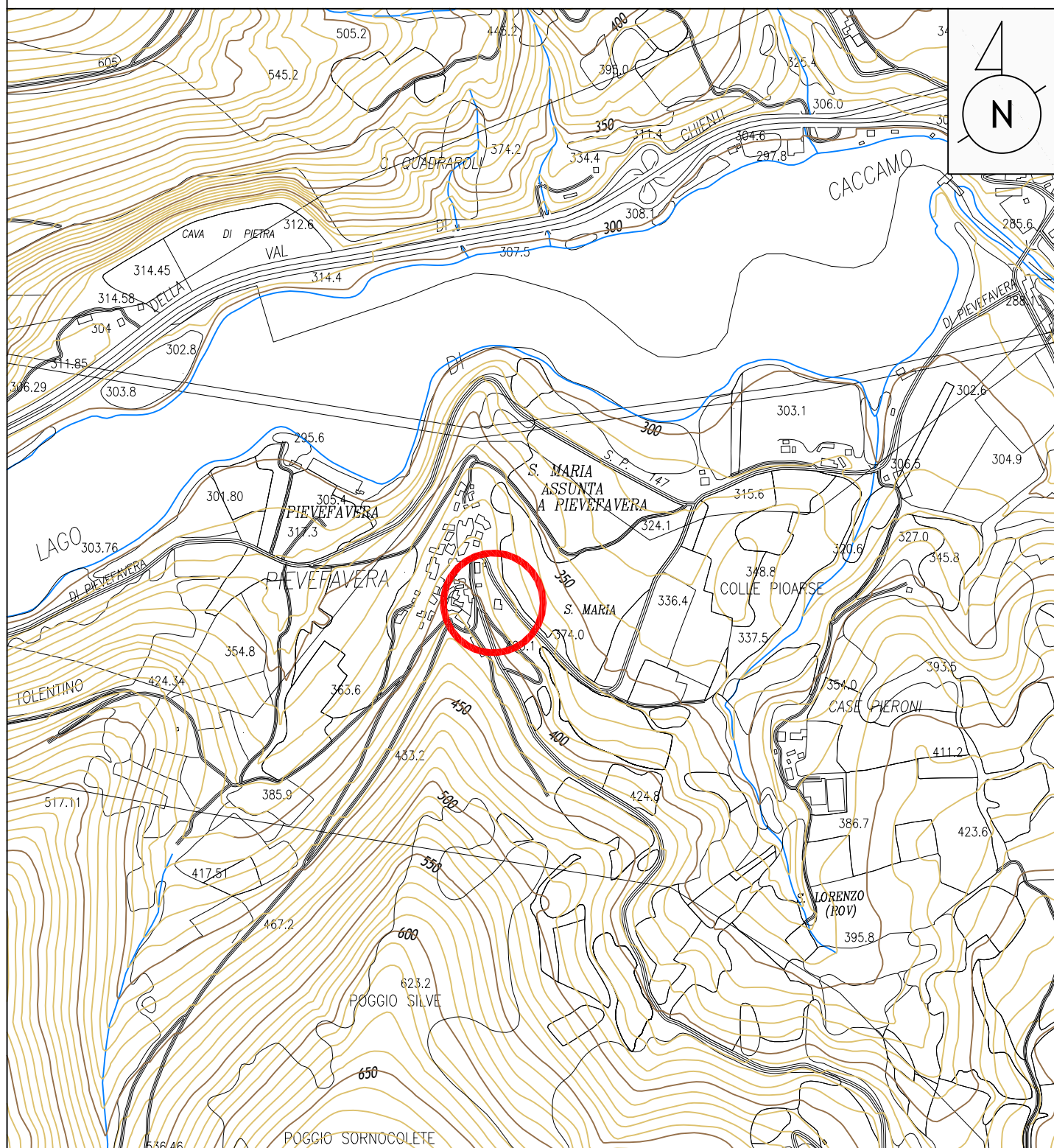
# INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

CARTA TECNICA REGIONALE

FOGLIO 313 "CAMERINO" – SEZIONE 313070 "CALDAROLA"

SCALA 1: 10.000

TAVOLA 02



Area oggetto di indagine

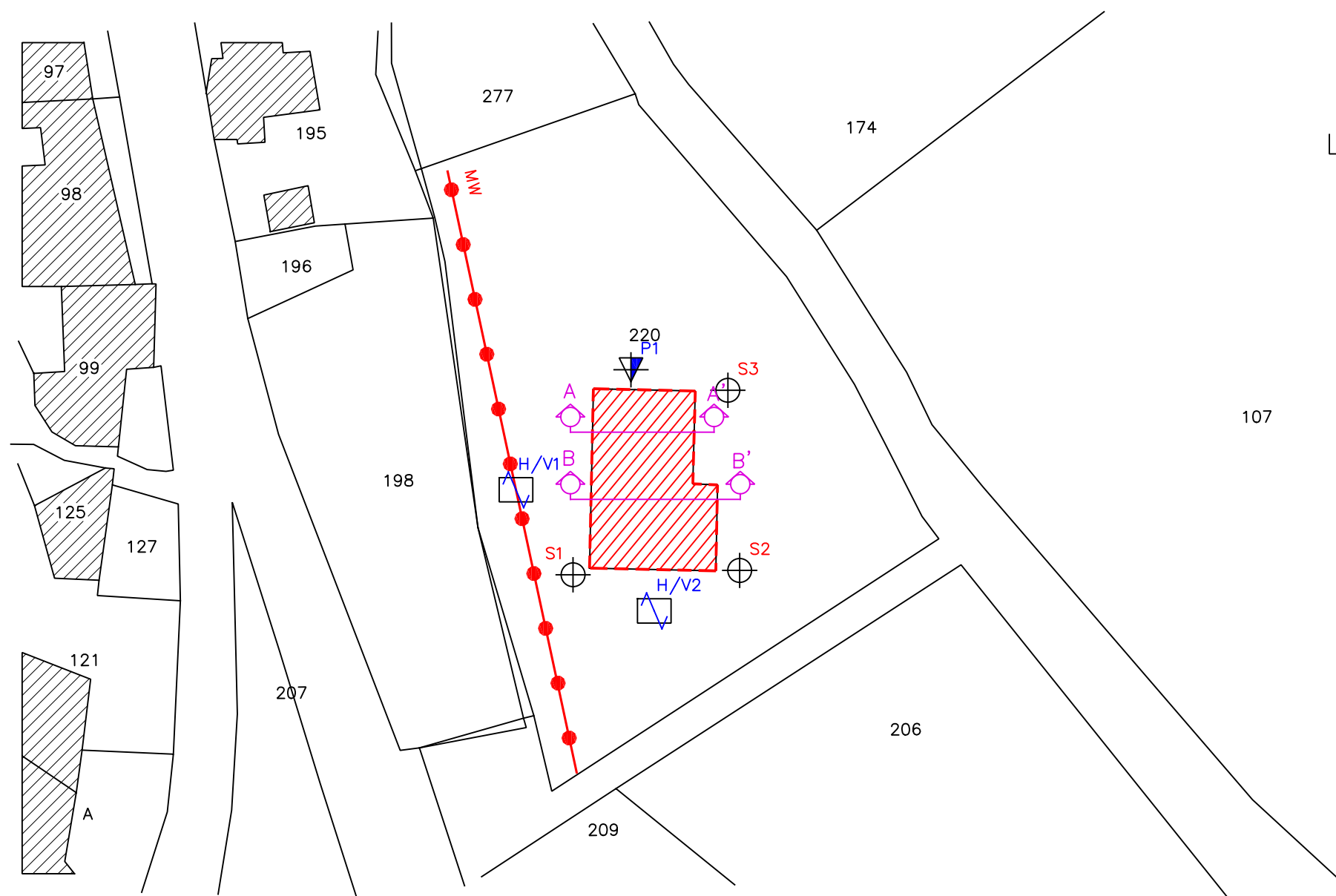


# INQUADRAMENTO CATASTALE CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

COMUNE DI CALDAROLA – FOGLIO 12, P.LLA 220

SCALA 1: 500

TAVOLA 03



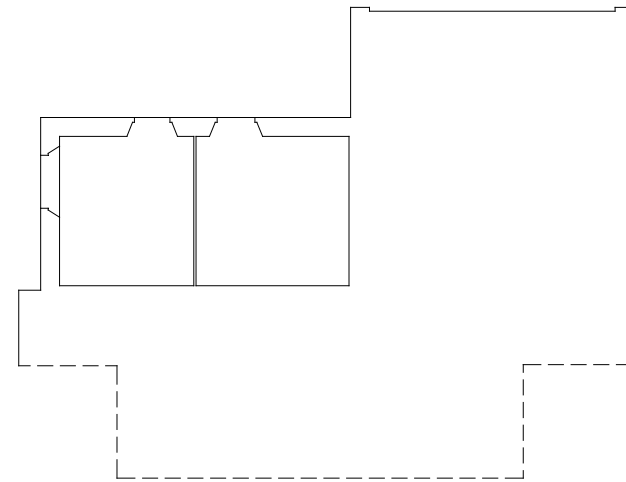
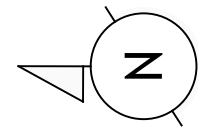
## Legenda

- S1** Sondaggio a distruzione di nucleo  
(ex-novo – Geol. Mauro Cataldi, agosto 2017)
- P1** Prova penetrometrica dinamica super-pesante DPSH  
(ex-novo – ABGeo, luglio 2019)
- H/V1** Misura di rumore sismico ambientale a stazione singola HVSR  
(ex-novo – ABGeo, settembre 2019)
- H/V2** Misura di rumore sismico ambientale a stazione singola HVSR  
(ex-novo – Geol. Mauro Cataldi, agosto 2017)
- MW** MASW  
(ex-novo – ABGeo, settembre 2019)
- A** Traccia sezione litostratigrafica
- Edificio oggetto di intervento di demolizione e ricostruzione

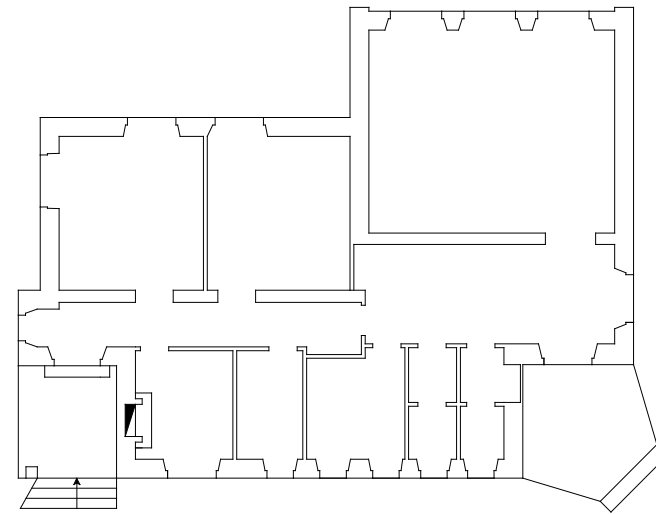
# PIANTE E PROSPETTI STATO ATTUALE

SCALA 1: 200

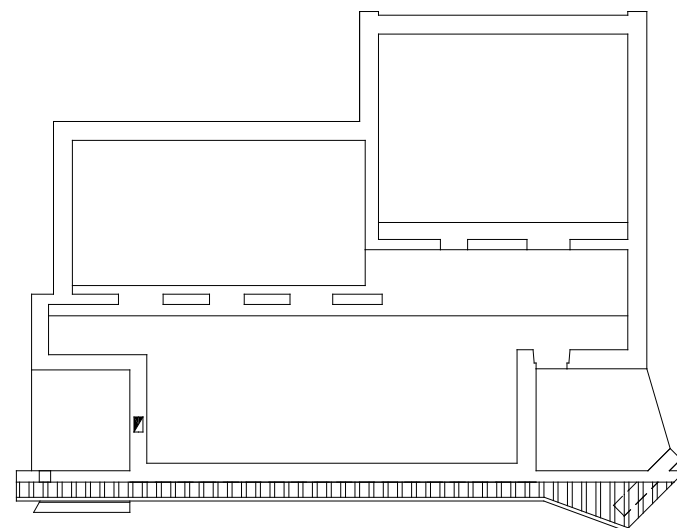
TAVOLA 04



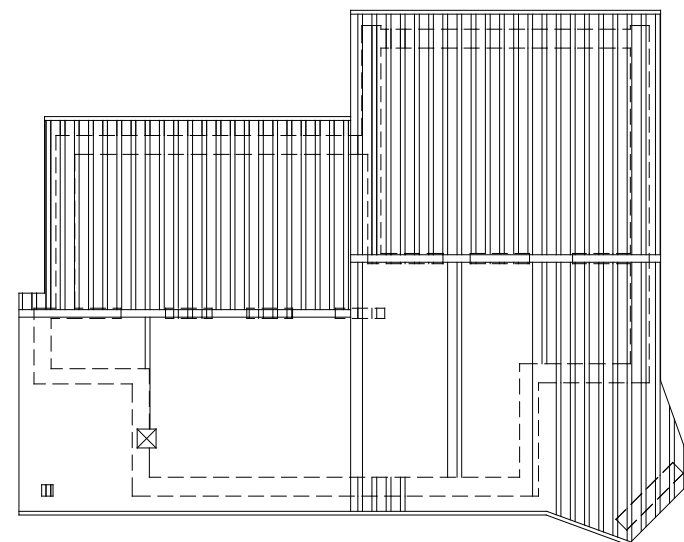
PIANO SEMINTERRATO



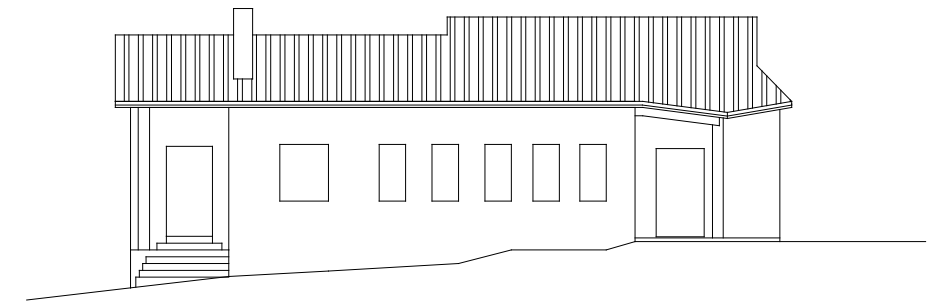
PIANO TERRA



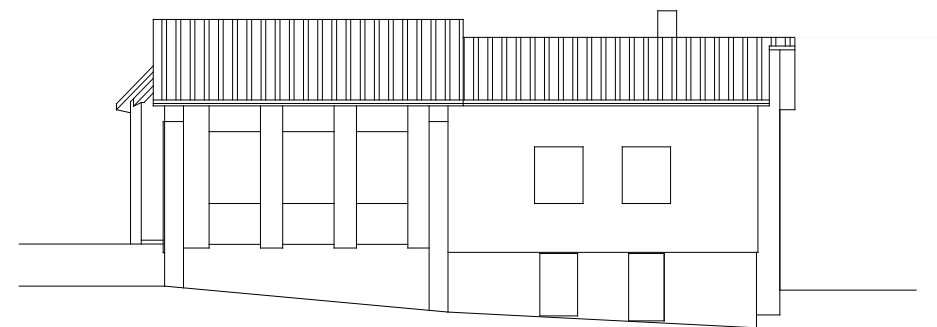
PIANO SOTTOTETTO



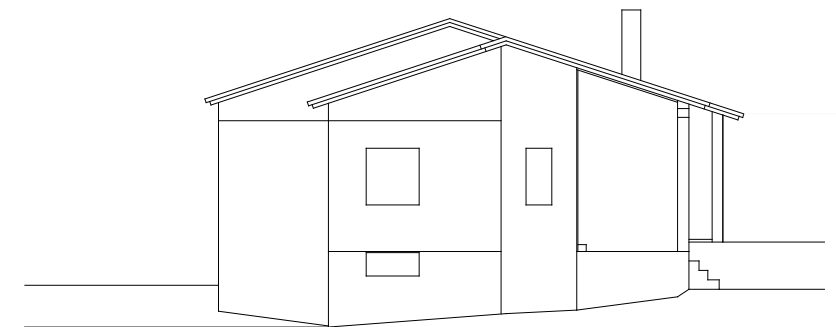
PIANO COPERTURA



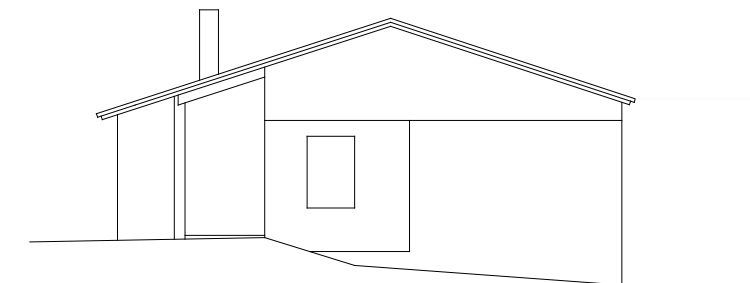
PROSPETTO OVEST



PROSPETTO EST



PROSPETTO NORD

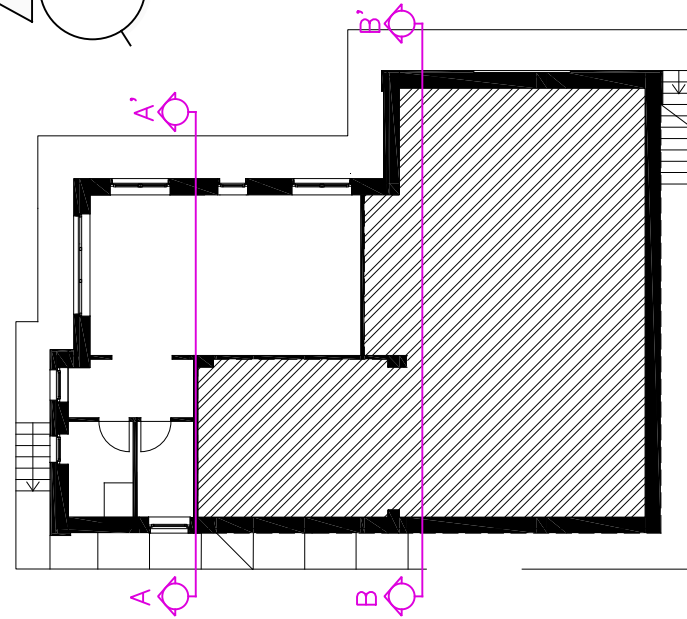
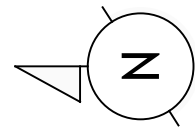


PROSPETTO SUD

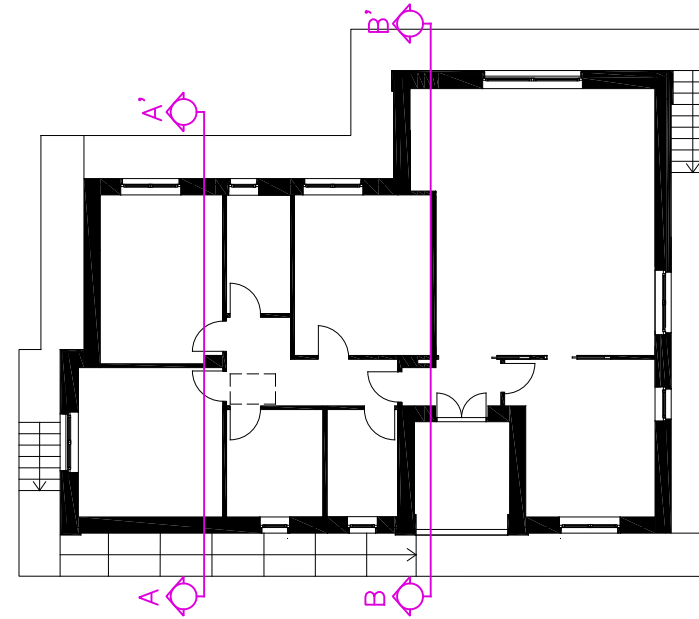
# PIANTE E PROSPETTI STATO DI PROGETTO

SCALA 1: 200

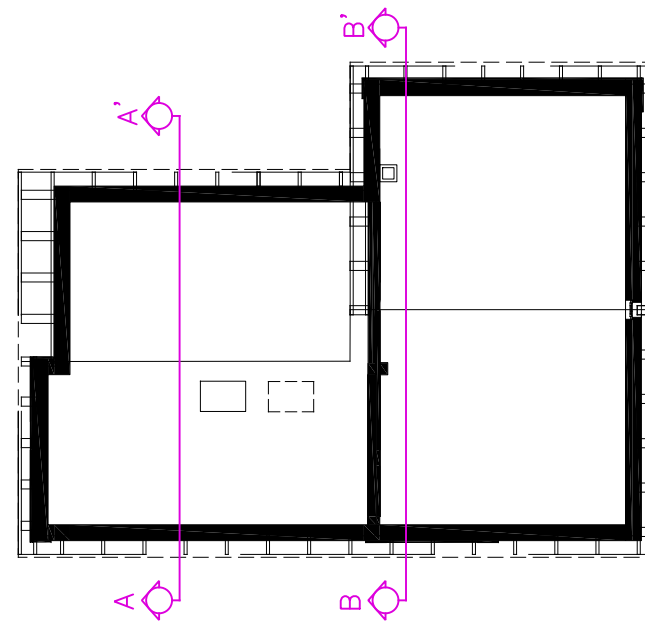
TAVOLA 05



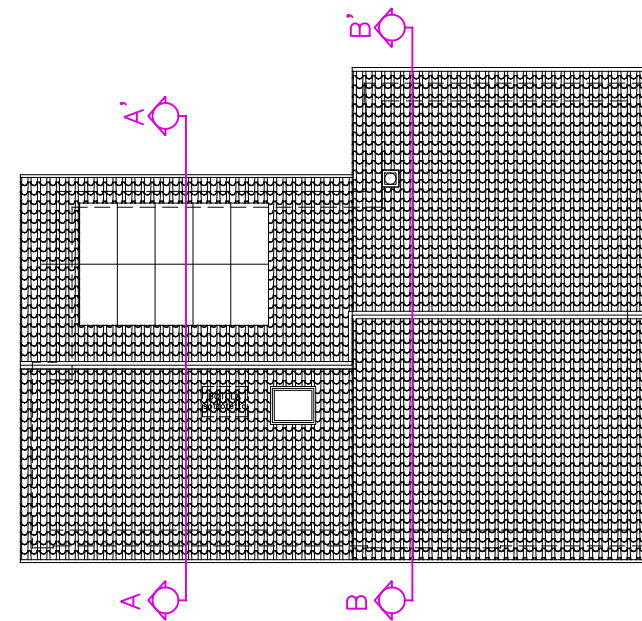
PIANO SEMINTERRATO



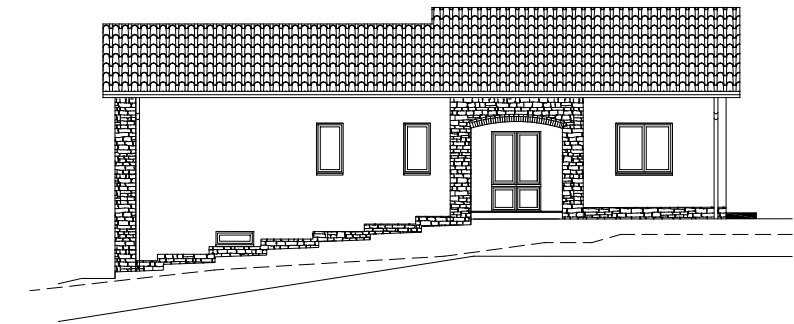
PIANO TERRA



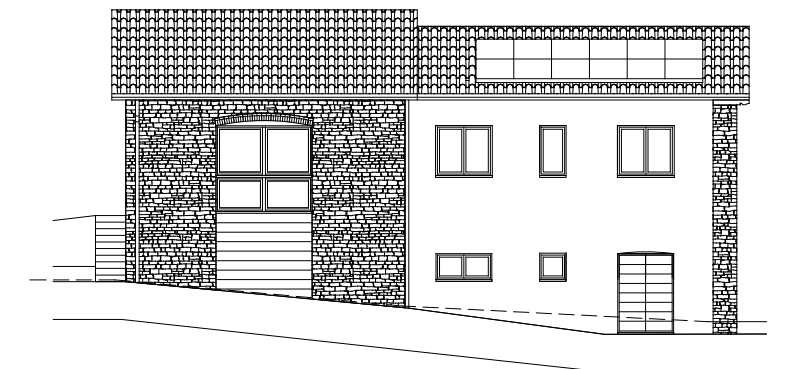
PIANO SOTTOTETTO



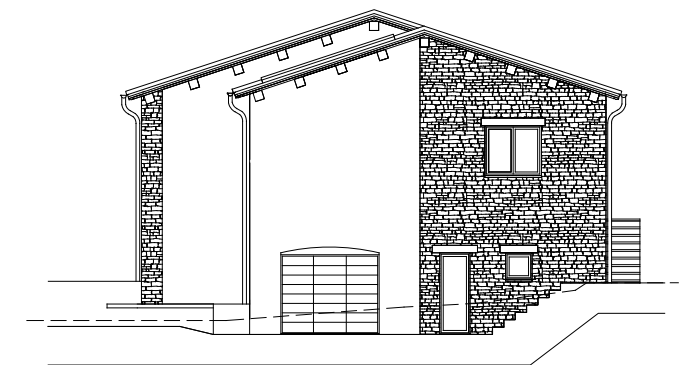
PIANO COPERTURA



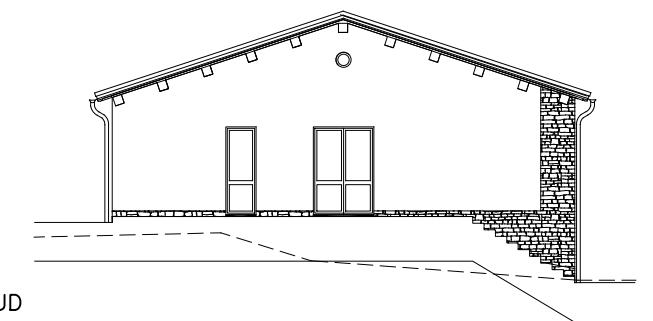
PROSPETTO OVEST



PROSPETTO EST



PROSPETTO NORD

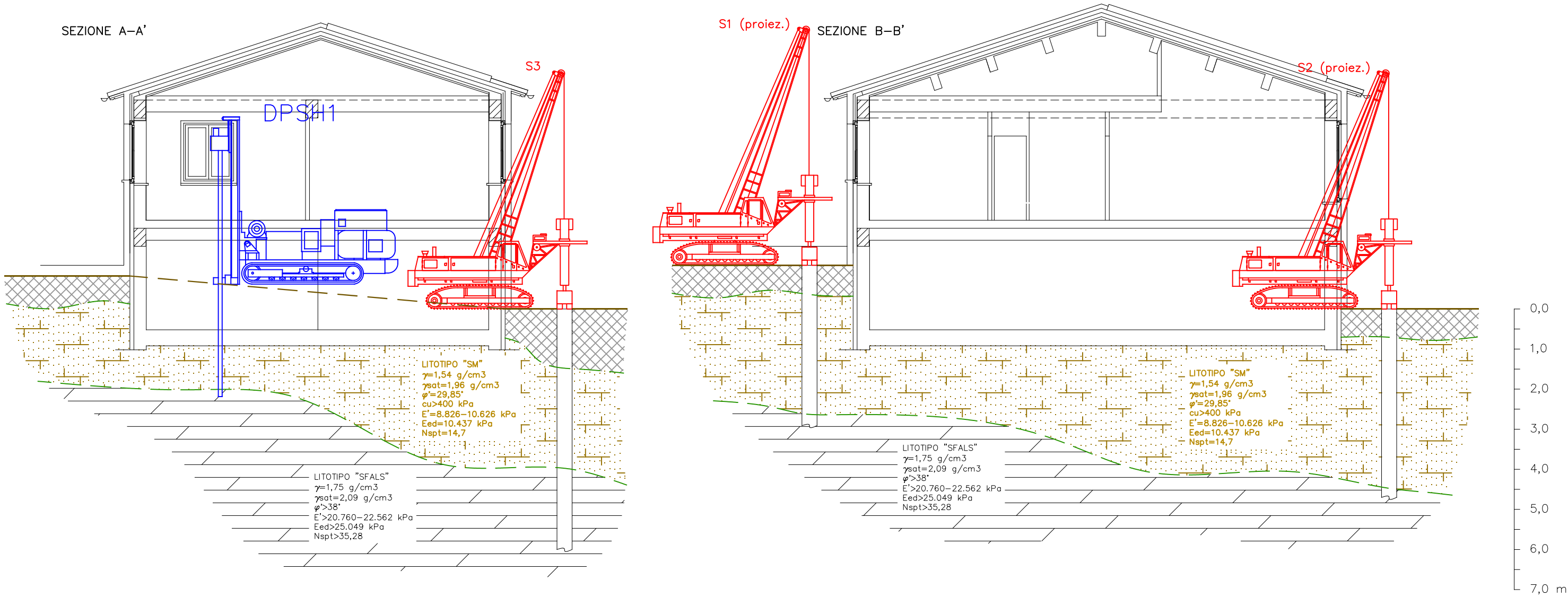


PROSPETTO SUD

SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

SCALA 1: 100

TAVOLA 06



Legenda

- |  |  |  |
|--|--|--|
|  | LITOTIPO "Ri"<br>Terreno di riporto                    |  |
|  | LITOTIPO "SW"<br>Limo sabbioso con pezzame marnoso     | DEPOSITI DI VERSANTE<br>(Pleistocene superiore?)                                 |
|  | LITOTIPO "SFALS"<br>Pezzame marnoso e calcareo-marnoso | FORMAZIONE DELLA SCAGLIA CINEREA APPENNINICA<br>(Priaboniano p.p.-Aquitano p.p.) |
|  | Limite litologico                                      |  |
|  | Piano campagna   |  |




dr. MAURO CATALDI  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2695525  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: VINCIONI CATERINA - MEO FABRIZIO
Località: LOCALITA' PIEVEFAVERA - CALDAROLA (MC)
Data inizio/fine: 24/08/2017
Metodo perforazione: ROTAZIONE CON TRIVELLA A SECCHIO
Diametro perforazione (mm): 500

SONDAGGIO N.

1

Quota s.l.m. (m): 395
Coordinate WGS84: 4777822,5 / 353242,7
Scala: 1: 100

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione	Campione Indisturbato Rimangiato	Pocket penetrom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Vane test (kg/cm <sup>2</sup> )	Carotaggio (%)	S.P.T.	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
0,7	0,7		Terreno di riporto costituito da ghiaie spigolose rossastre addensate in matrice limosa									
3,0	3,0		Limo sabbioso e/o sabbia limosa scarsamente consistente con pezzame grossolano marnoso e/o calcareo-marnoso grigiastro sparso  [DEPOSITI DI VERSANTE]									Asciutto
3,7 4,0			Pezzame grossolano e scaglioso di natura marnosa e/o calcareo-marnosa di colore grigio-cinereo, fratturato ma tenace alla perforazione.  [SUBSTRATO FRATTURATO]									Asciutto
			<div> <div>FINE SONDAGGIO</div>  </div>									





dr. MAURO CATALDI  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2695525  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: VINCIONI CATERINA - MEO FABRIZIO

Località: LOCALITA' PIEVEFAVERA - CALDAROLA (MC)

Data inizio/fine: 24/08/2017

Metodo perforazione: ROTAZIONE CON TRIVELLA A SECCHIO

Diametro perforazione (mm): 500


SONDAGGIO N.

2

Quota s.l.m. (m): 394

Coordinate WGS84: 4777822,8 / 353263,1

Scala: 1: 100

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione	Campione Indisturbato Rimangiato	Pocket penetrom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Vane test (kg/cm <sup>2</sup> )	Carotaggio (%)	S.P.T.	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
0,7	0,7		Terreno di riporto costituito da ghiaie spigolose rossastre addensate in matrice limosa marrone									Umido
3,8	3,8		Limo sabbioso e/o sabbia limosa scarsamente consistente con pezzame grossolano marnoso e/o calcareo-marnoso grigiastro sparso  [DEPOSITI DI VERSANTE]									Asciutto
4,5 4,7		FINE SONDAGGIO	Pezzame grossolano e scaglioso di natura marnosa e/o calcareo-marnosa di colore grigio-cinereo, fratturato ma tenace alla perforazione.  [SUBSTRATO FRATTURATO]  									Asciutto



dr. MAURO CATALDI  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2695525  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: VINCIONI CATERINA - MEO FABRIZIO

Località: LOCALITA' PIEVEFAVERA - CALDAROLA (MC)

Data inizio/fine: 24/08/2017

Metodo perforazione: ROTAZIONE CON TRIVELLA A SECCHIO

Diametro perforazione (mm): 500

SONDAGGIO N.

3

Quota s.l.m. (m): 393

Coordinate WGS84: 4777838,9 / 353261,2

Scala: 1: 100

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione	Campione Indisturbato Rimangiato	Pocket penetrom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Vane test (kg/cm <sup>2</sup> )	Carotaggio (%)	S.P.T.	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
	1,5		Terreno di riporto costituito da ghiaie grossolane e ciottoli biancastri poco addensati in matrice limosa marrone scuro									Asciutto
	2,5		Limo sabbioso e/o sabbia limosa scarsamente consistente e rossastro con pezzame grossolano marnoso e/o calcareo-marnoso grigiastro sparso  [DEPOSITI DI VERSANTE]									Poco umido
	4,0		Pezzame grossolano e scaglioso di natura marnosa e/o calcareo-marnosa di colore grigio-cinereo, fratturato ma tenace alla perforazione.  [SUBSTRATO FRATTURATO]									Asciutto
	4,7		FINE SONDAGGIO									





# AB Geo

Indagini geofisiche e geotecniche

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH



**Comune:** Caldarola (MC)

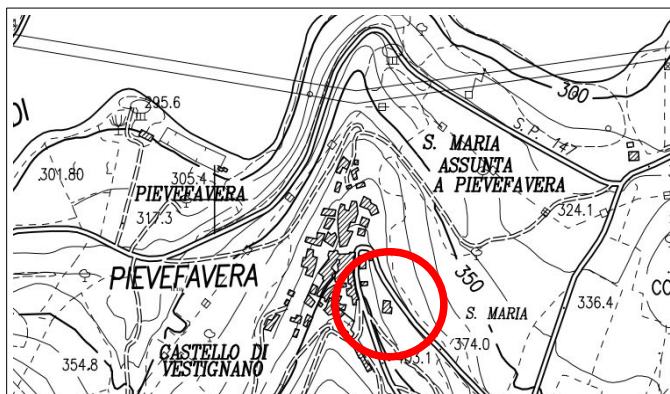
**Località:** Ex-Scuola Pievefavera

**Committente:** Sig. Meo – Sig.ra Vincioni

**Data:** 29/07/2019

## INTRODUZIONE

Per il sito individuato presso l'Ex-Scuola di Pievefavera – Comune di Caldarola (MC), su incarico del Dott. Geol. Cataldi Mauro, su commissione del Sig. Meo e della Sig.ra Vincioni, è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica DPSH al fine di caratterizzare i terreni presenti nell'area.



**Fig. 1:** Stralcio CTR 313070 "Caldarola" e ubicazione area d'indagine.<sup>1</sup>



**Fig. 2:** Foto aerea con ubicazione indicativa punti d'indagine.<sup>2</sup>

## STRUMENTAZIONE

### PAGANI TG 63-200

DPSH		CPT	
Rif. Norme	DIN 4094	Rif. Norme	ASTM D3441-86
Peso Massa Battente	63,5 Kg	Diametro Punta Conica Meccanica	35,7 mm
Altezza Caduta Libera	0,75 m	Angolo Apertura Punta	60 °
Peso Sistema Battuta	0,63 Kg	Area Punta	10 cm <sup>2</sup>
Diametro Punta Conica	51,00 mm	Altezza Manicotto Laterale	13,3 cm
Area di Base Punta	20,43 cm <sup>2</sup>	Superficie Manicotto	150 cm <sup>2</sup>
Avanzamento Punta	20 cm	Passo	20 cm
Angolo di Apertura Punta	90 °	Peso Manicotto Ancoraggio	2 Kg




1 - Gli stralci CTR utilizzati sono di proprietà della regione Marche.

2 - Tutte le foto aeree del presente elaborato sono reperite tramite Google.



## PROVA DPSH

Luogo Esecuzione:	Ex-Scuola Pievefavera Comune di Caldarola (MC)	
Profondità raggiunta:	2,8 metri	
Note:	-	

## LETTURE

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	2	0,855	17,96	21,01	0,90	1,05
0,40	11	0,851	98,33	115,58	4,92	5,78
0,60	3	0,847	24,50	28,93	1,23	1,45
0,80	7	0,843	56,93	67,50	2,85	3,38
1,00	5	0,840	40,49	48,22	2,02	2,41
1,20	4	0,836	32,26	38,57	1,61	1,93
1,40	10	0,833	80,32	96,43	4,02	4,82
1,60	7	0,830	51,74	62,38	2,59	3,12
1,80	10	0,826	73,63	89,11	3,68	4,46
2,00	13	0,773	89,57	115,84	4,48	5,79
2,20	18	0,770	123,52	160,40	6,18	8,02
2,40	30	0,717	191,71	267,33	9,59	13,37
2,60	52	0,614	264,52	430,65	13,23	21,53
2,80	>90	0,611	455,72	745,35	22,79	37,27



## PROPOSTA DI ELABORAZIONE DPSH

*i risultati di seguito proposti e le successive tabelle sono da considerarsi come una mera stima e dovranno essere validati da parte del Geologo incaricato, sulla base delle sue esclusive conoscenze geologiche e stratigrafiche del sito in esame.*

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Tensione efficace (kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,0 - 0,4	6,5	68,3	\\	\\	1,47	9,56	terreno vegetale
0,4 - 1,2	4,75	45,81	Incoerente - coesivo	0,07	1,47	6,98	limo
1,2 - 2,0	10	90,94	Incoerente	0,22	1,47	14,7	limo sabbioso
2,0 - 2,4	24	213,86	Incoerente - coesivo	0,34	1,47	35,28	substrato alterato
2,4 - 2,8	>71	>588	\\	\\	1,47	>104,37	substrato



## TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH

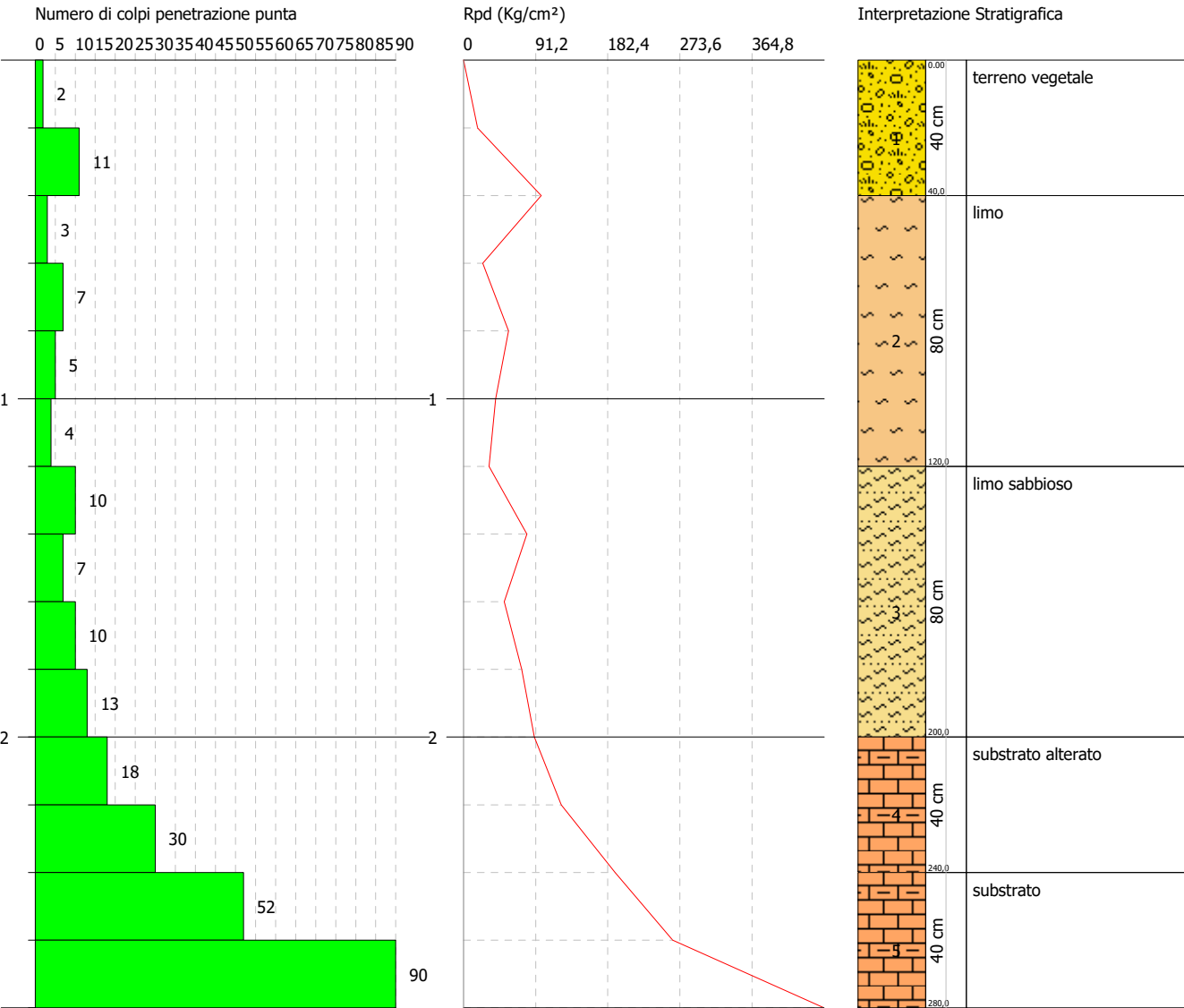
[illegible]

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Sig. Meo - Sig.ra Vincioni  
 Descrizione: Penetrometrica DPSH  
 Località: Ex-Scuola Pievefavera - Caldarola (MC)

Data: 29/07/2019

Scala 1:20





# AB Geo

Indagini geofisiche e geotecniche

## INDAGINI GEOFISICHE

**Analisi MASW Onde di Rayleigh**

**Analisi microtremori a stazione singola HVSR**



**Comune:**

**Caldarola (MC)**

**Località:**

**Ex-Scuola di Pievefavera**

**Committente:**

**Sig. Meo – Sig.ra Vincioni**

**Data:**

**05/09/2018**

*Dott. Geol. Alessandrini Andrea*



*Dott. Geol. Bassano Francesco*



**AB Geo – Indagini Geofisiche e Geotecniche**

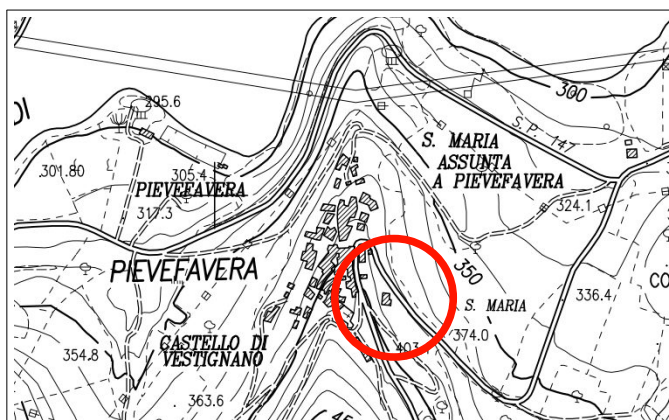
**Via Dante Alighieri n° 1, 62029 Tolentino (MC)**

**email: [studiogeologico.abgeo@gmail.com](mailto:studiogeologico.abgeo@gmail.com) Cell. 3802511024 – 3358164581**

**WWW.ABGEO.ORG**

## 1 - INTRODUZIONE

Le presenti indagini sono state eseguite presso l'ex-Scuola di Pievefavera – Comune di Caldarola (MC), su incarico del Dott. Geol. Cataldi Mauro, per commissione del Sig. Meo e della Sig. Vincioni, allo scopo di effettuare una stima della  $V_{s,eq}$  del sito in esame tramite l'esecuzione di una indagine M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves) in Onde di Rayleigh e una stima delle frequenze d'interesse di sito mediante indagini HVSR.



**Fig. 1:** Stralcio CTR 313070 "Caldarola" e ubicazione area d'indagine.



**Fig. 2:** Foto aerea con ubicazione area d'indagine.<sup>1</sup>

## 2 - HARDWARE & SOFTWARE

Sismografo PASI GEA24 - 24 Canali
Geofoni verticali e orizzontali da 4.5 Hz
Piattello, traversina e mazza da 10 kg
WinMASW 7.2 Academy
Terna Triassiale



<sup>1</sup> - Tutte le foto aeree del presente elaborato sono reperite tramite Google



### 3 - METODOLOGIE – MASW E HVSR

#### Metodologia M.A.S.W.

La tecnica M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una procedura non invasiva che consente di estrapolare il valore della  $V_{s,eq}$  sulla base della stima di un possibile profilo verticale della velocità delle onde di taglio  $V_s$  nei primi metri di sottosuolo sulla base delle attuali norme vigenti [NTC 2018]; si contraddistingue per l'utilizzo di una sorgente impulsiva che genera onde superficiali, la cui propagazione, dipendente dalle caratteristiche stratigrafiche del sito, viene registrata da una serie di sensori (geofoni) posti lungo uno stendimento.

#### Metodologia HVSR

La tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una procedura non invasiva, che non necessita di perforazioni o lunghi stendimenti e che consente lo studio di possibili frequenze d'interesse del sito.

L'indagine è contraddistinta dall'assenza di sorgenti impulsive artificiali, andando a registrare i rumori ambientali (microtremori), sempre presenti in natura, in quanto generati da fenomeni quali onde, vento e attività antropiche.

I fondamenti teorici su cui questi metodi si basano si riferiscono ad un semispazio stratificato, con strati paralleli ed orizzontali; la presenza di strati con inclinazioni eccessive (superiori a circa  $15^\circ$ ) richiede sicuramente un'attenzione particolare nell'analisi dei dati, generando un maggior grado di incertezza nei risultati finali.

Un'importante considerazione riguarda il concetto di non univocità dell'interpretazione dei dati, che affligge in diverso grado tutte le tecniche geofisiche; difatti, il risultato dell'elaborazione di un dato acquisito può portare alla definizione di differenti modelli tutti in accordo con il dato di partenza; a tal proposito, onde limitare quanto possibile tale caratteristica dei metodi geofisici, è sempre raccomandabile effettuare analisi congiunte che utilizzino differenti approcci.

La disponibilità di conoscenze geologiche e stratigrafiche del sito in esame provenienti da altre indagini (sondaggi, penetrometrie, ecc.), è fondamentale per diminuire quanto più possibile il grado di incertezza insito nelle metodologie stesse.

## 4 - MISURAZIONE HVSR

Per il sito in esame è stata eseguita una misurazione HVSR, di seguito si riportano i dati ottenuti.

Lo strumento è stato accoppiato direttamente su terreno.

Sito di Indagine:	ex-Scuola di Pievefavera – Caldarola (MC)
Lunghezza registrazione:	20 minuti
Frequenza di campionamento:	300 Hz

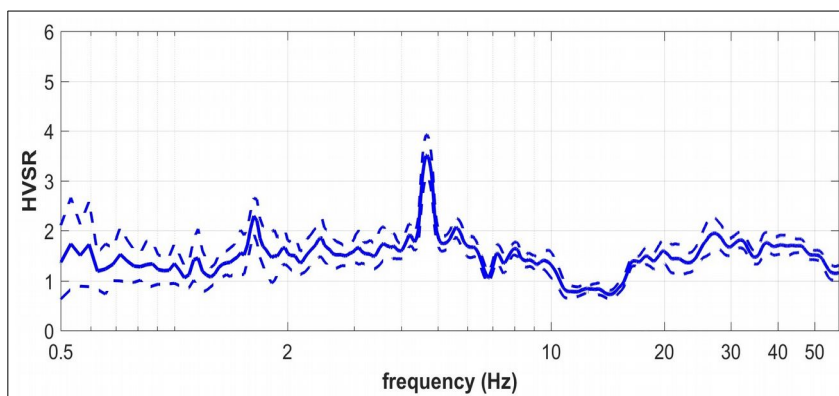


Fig. 3: Curva HVSR .

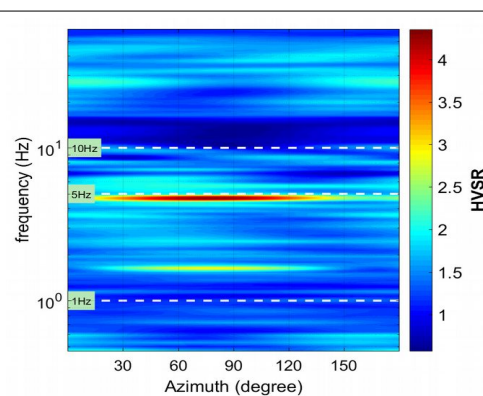


Fig. 4: Direzionalità.

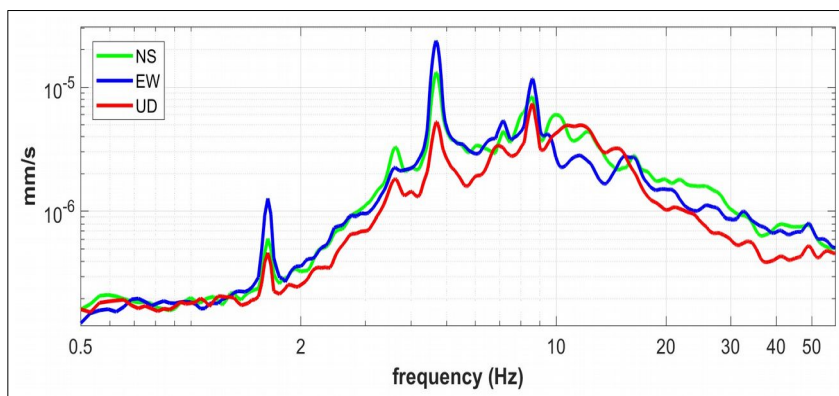


Fig. 5: Spettri delle singole componenti HVSR.

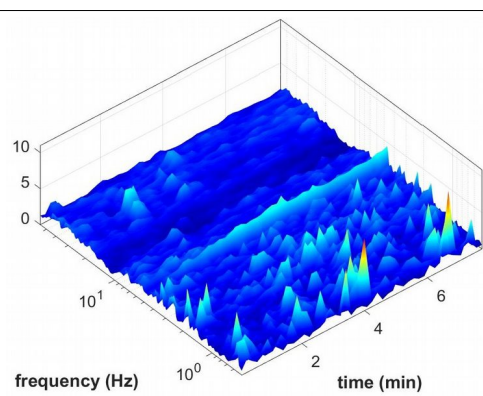


Fig. 6: Persistenza.

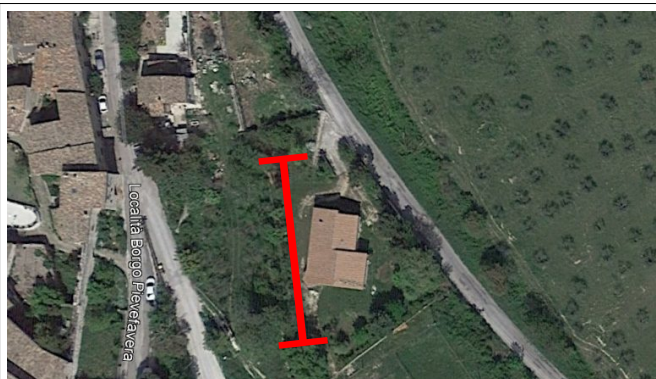
## 5 - ACQUISIZIONE MASW

Sito di Indagine:	ex-Scuola Pievefavera – Caldarola (MC)
Lunghezza Stendimento:	55 m
Distanza Intergeofonica:	5 m
Periodo di Campionamento:	125 $\mu$ s

N°	Nome	Onda Acquisita	Offset Battuta (m)	Lunghezza acquisizione ( $\mu$ s)	Stacking n° colpi
1	ZVFDX5MO4	Rayleigh	4	1500	5
2	ZVFDX5MO2	Rayleigh	2	1500	5
3	THFDX5MO4	Love	4	1500	5
4	THFDX5MO49	Love	9	1500	5



**Fig. 7:** Stendimento MASW.



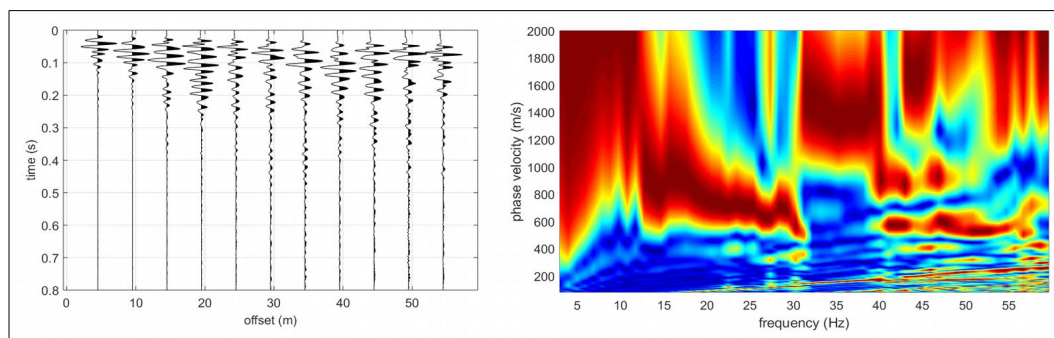
**Fig. 8:** Ubicazione indicativa stendimento.



**Fig. 9:** Energizzazione.



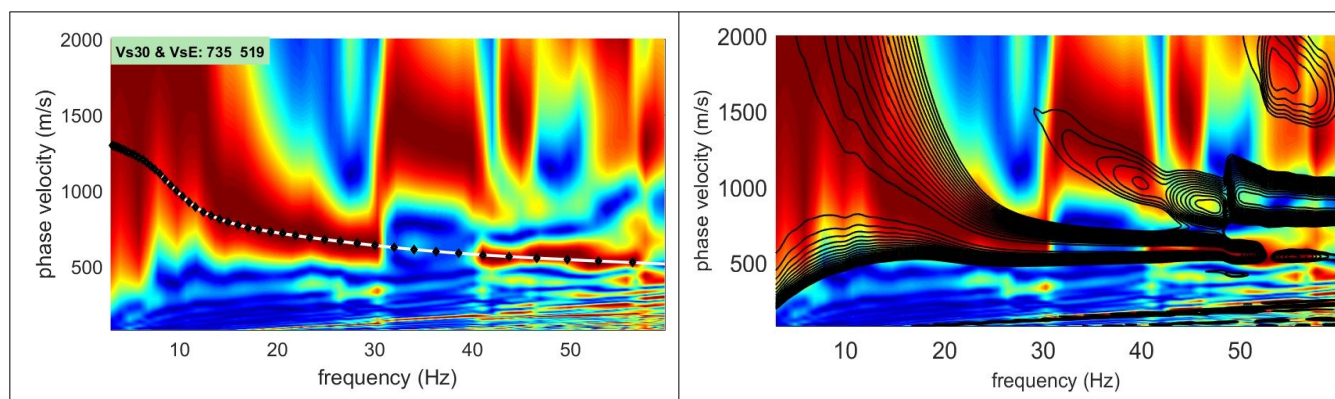
Nelle figure seguenti si riportano i dati acquisiti e i relativi Spettri di Velocità del sito in esame; tali dati, in quanto non ancora elaborati, rappresentano il dato oggettivo acquisito in campagna.



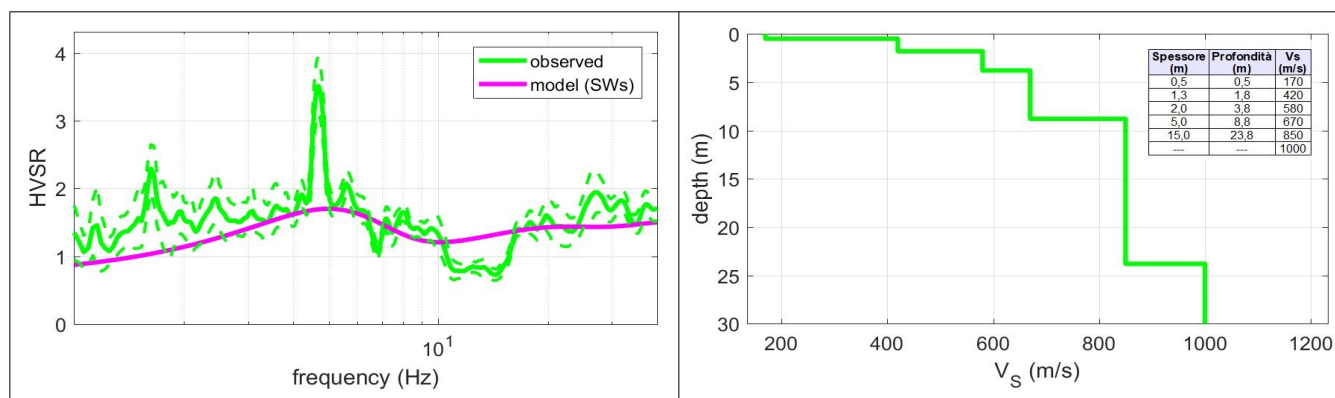
**Fig. 10:** Dataset e spettro - Onde di Rayleigh.

## 6 – ANALISI ONDE DI RAYLEIGH

Si riportano di seguito i risultati dell'elaborazione effettuata, consistenti negli Spettri di Velocità ottenuti dai datasets acquisiti e la curva modale relativa al modello estrapolato ad essi sovrapposto. La Fig. 13 mostra un modello sismostratigrafico ritenuto plausibile per il sito in oggetto anche sulla base delle conoscenze geologiche e stratigrafiche dell'area forniteci dal tecnico incaricato.



**Fig. 11:** Spettro con curva modale a sinistra e spettri sintetici a destra.



**Fig. 12:** Fitting curva HVSR.

**Fig. 13:** Profilo verticale  $V_s$  ipotizzato.



## 7 - CONCLUSIONI

Le presenti indagini, svolte su incarico del Dott. Geol. Cataldi Mauro, per commissione del Sig. Meo e della Sagra Vincioni, hanno come finalità la stima del valore della  $V_{s,eq}$ , caratterizzante l'area presso l'Ex-Scuola di Pievefavera – Comune di Caldarola (MC).

- Il modello estrapolato sulla base dei dati MASW (Analisi congiunta Onde di Rayleigh + Onde di Love) permette di stimare un valore della  **$V_{s,eq}$  riferito al p.c. pari a 519 m/s**. Tale valore viene calcolato sulla base dell'ipotetica profondità del substrato sismico che per il presente caso viene stimato intorno ai 8,8 metri di profondità.
- Per quanto riguarda la misurazione HVSR, la curva si presenta disturbata da evidenti elementi antropici; non si individuano picchi significati all'interno delle comuni frequenze d'interesse ingegneristico.

L'utilizzo di tali valori va considerato alla luce delle caratteristiche proprie del sito in oggetto, dell'intervento che si intende effettuare e dei limiti delle metodologie stesse.

Si riporta di seguito una tabella esplicativa che mostra il valore della  $V_{s,eq}$  rapportato a diverse profondità di riferimento rispetto all'attuale piano campagna, in accordo con le NTC 2018

PROFONDITÀ	MASW $V_{s,eq}$ (m/s)
0 m	519
1 m	609
2 m	644
3 m	656

Tolentino, 05/09/2018

Dott. Geol. Alessandrini Andrea

Dott. Geol. Bassano Francesco



La presente relazione è particolare espressione del lavoro intellettuale e come tale è tutelata dalla legge 633/1941, ne è pertanto vietato qualsiasi altro utilizzo diverso di quello per cui è stata commissionata.

**STATION INFORMATION**

*Station code:* 001

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

**PLACE INFORMATION**

*Place ID:* 001

*Address:* LOCALITA' PIEVEFAVERA

*Latitude:* 4777817.6

*Longitude:* 353252.4

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 0 m s.l.m.

*Weather:* VENTO DEBOLE, NO PIOGGIA

*Notes:* -

## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 400 Hz

*Recording start time:* 2017/08/26 16:52:44

*Recording length:* 20 min

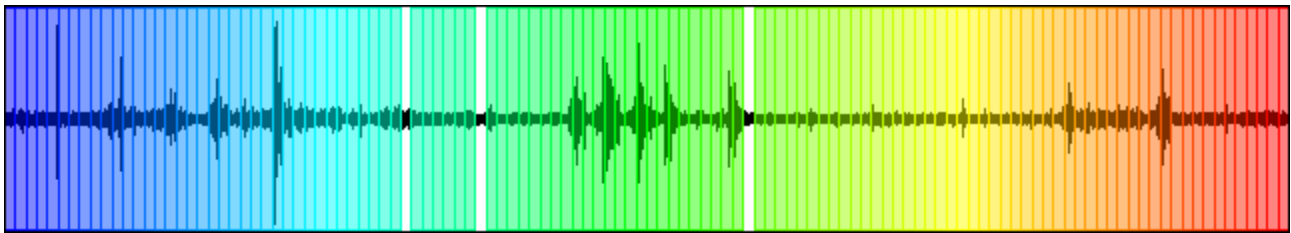
*Windows count:* 117

*Average windows length:* 10

*Signal coverage:* 97.5%

1333 Counts

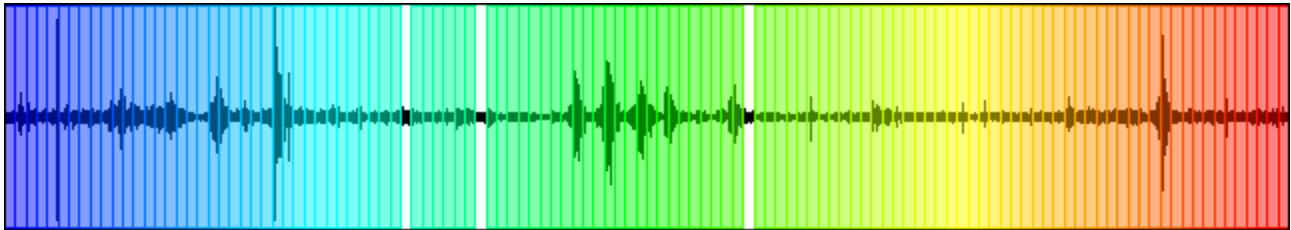
CHANNEL #1 [V]



-1251 Counts

3332 Counts

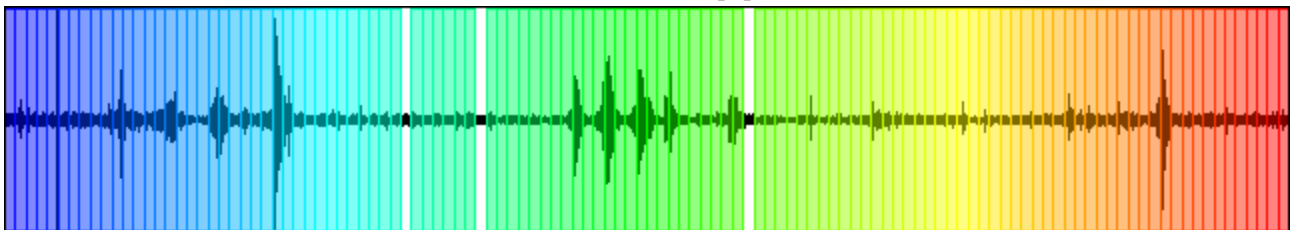
CHANNEL #2 [N]



-3103 Counts

4186 Counts

CHANNEL #3 [E]



-4245 Counts



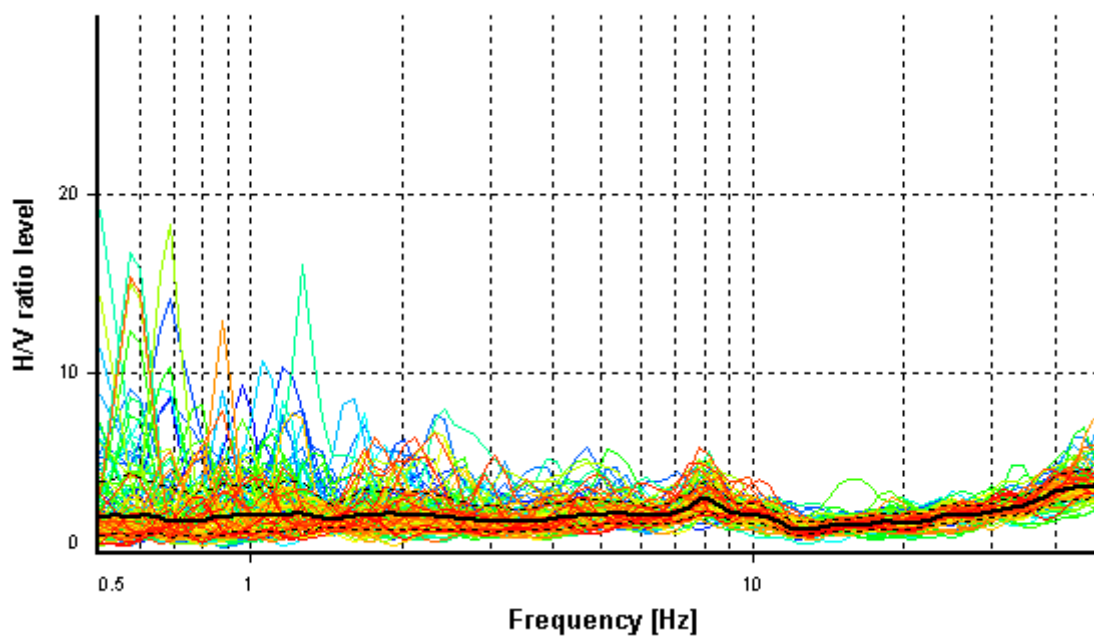
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

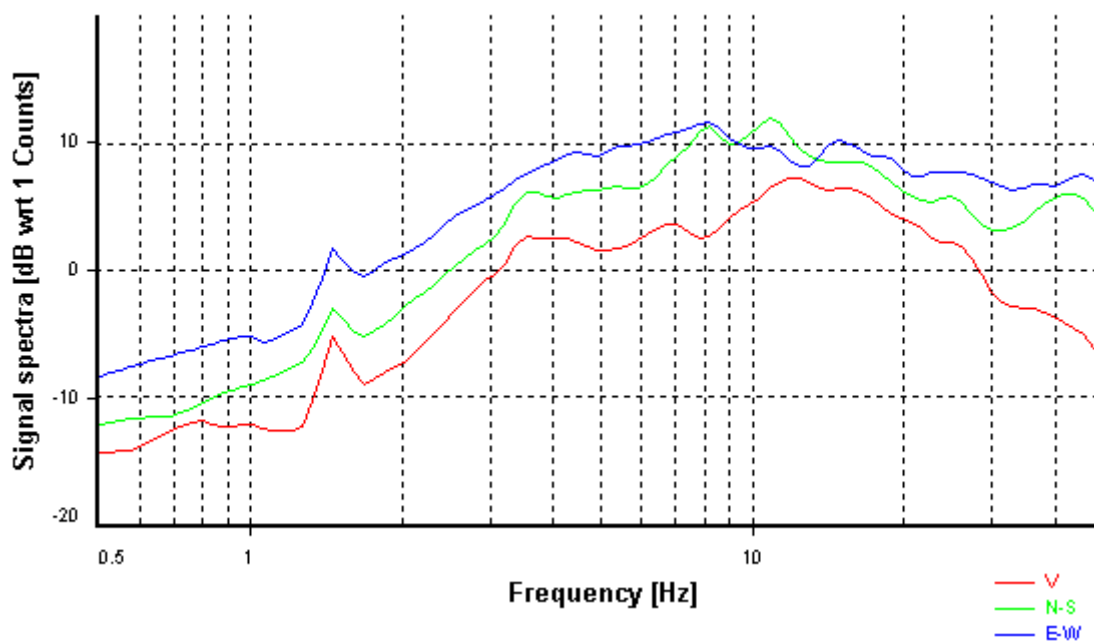
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

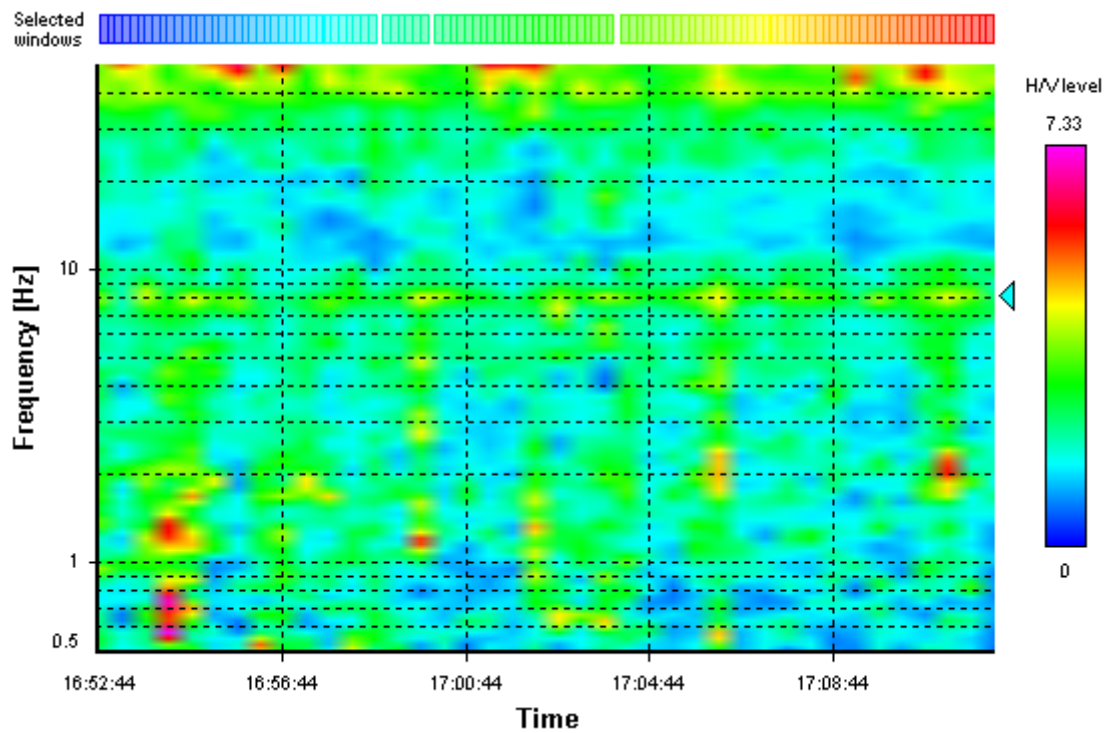
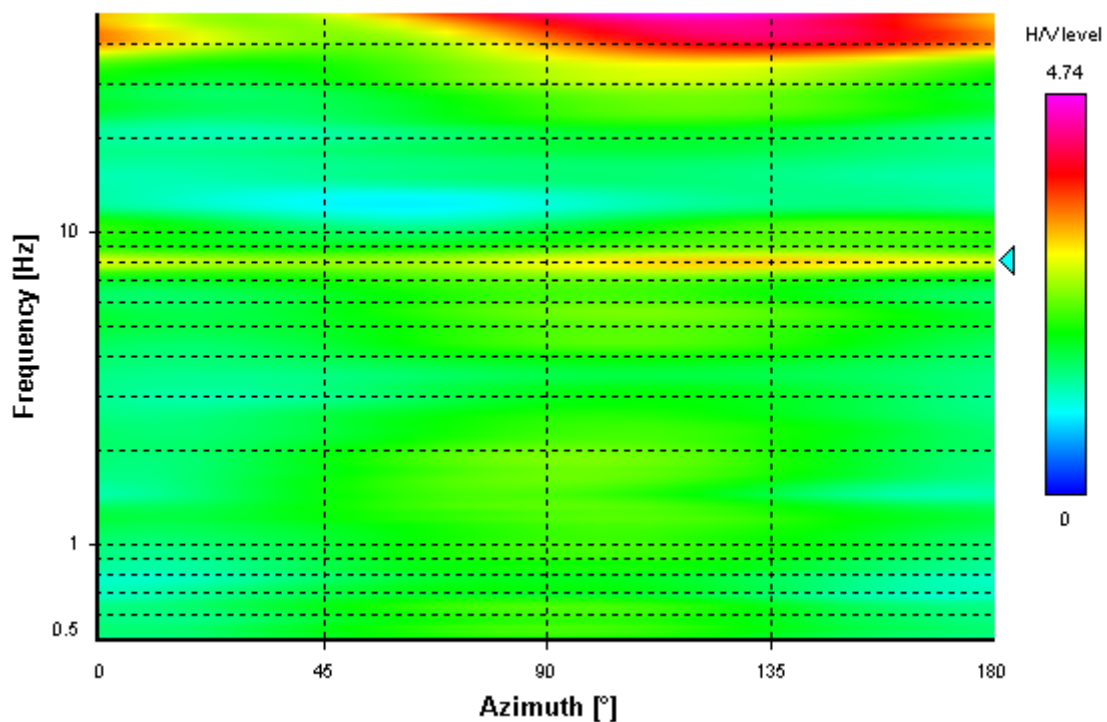
*Instrumental correction:* Disabled

### HVSR average



### Signal spectra average



**HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)****HVSR directional analysis**

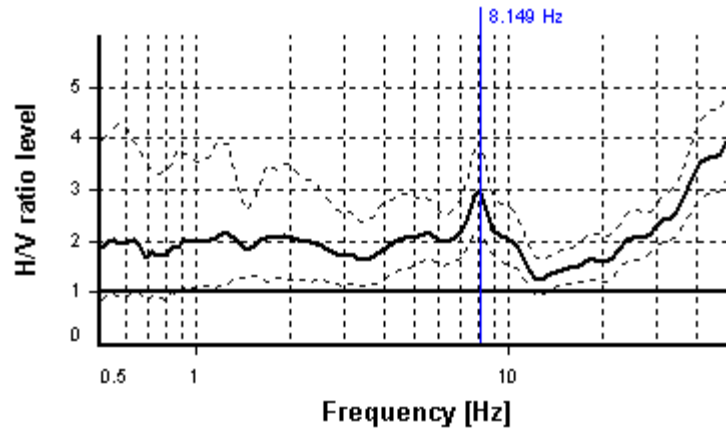
## SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**8.149 Hz**

**$A_0$  amplitude = 2.962**

**Average  $f_0 = 7.938 \pm 1.002$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	117 valid windows (length > 1.23 s) out of 117	OK
$n_c(f_0) > 200$	9534.04 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	11.82245 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.96 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.0018 >= 0.40744	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.33062 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Indirizzo

Coordinate

Isole

Indirizzo

WGS84: Lat 43.138944 - Lng 13.195580

ED50: Lat 43.139900 - Lng 13.196509

Mappa

Satellite

Località Borgo Pievefavera

Località Borgo Pievefavera

Località Borgo Pievefavera

Chiesa di Santa Maria Assunta

Località Borgo Pievefavera

Località Borgo Pievefavera

Google

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale

50

Interpolazione

Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> * [s]
Operatività (SLO)	30	0.060	2.489	0.277
Danno (SLD)	50	0.075	2.474	0.289
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.179	2.500	0.334
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.231	2.537	0.342
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

1

0.1

Cat. Sottosuolo

B

Cat. Topografica

T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,17
CC Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,37	1,36
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.017	0.022	0.062	0.091
kv	0.009	0.011	0.031	0.045
Amax [m/s²]	0.848	1.062	2.534	3.177
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280