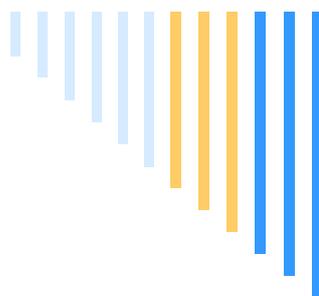
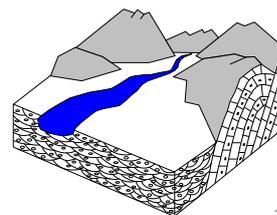


**COMUNE DI
CAMERINO**
PROVINCIA DI MACERATA



SGA



Geologia ambientale e difesa del suolo
Geologia tecnica — Pianificazione territoriale

**PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA CON
DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DI UN EDIFICIO AD USO
ABITATIVO DANNEGGIATO DAL SISMA 2016.**

INAGIBILITÀ DICHIARATA CON ORDINANZA SINDACALE n. **1145** del **08/05/2017**

Committente: **Sig.ra Simonetta Maccari**

Indirizzo: **Località Tuseggia 10, CAMERINO**

Identificato catastale: **Foglio 20, particella 14**

**RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E DI
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

Iscrizione Elenco Speciale Professionisti
EP_009537_2017

PRESTAZIONE SPECIALISTICA

Geol. Marcello Maccari



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

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. UBICAZIONE E RIFERIMENTI CARTOGRAFICI	5
4. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	6
4.1. Rilevamento geologico-geomorfologico.....	7
4.2. Indagine geognostica	7
4.3. Indagine geotecnica	7
4.3.1. Prova penetrometrica	7
4.4. Indagine geofisica	8
4.4.1. MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	9
4.4.2. Frequenza fondamentale del sito.....	11
5. MODELLO GEOLOGICO.....	12
5.1. Inquadramento geostrutturale dell'area	13
5.2. Litostratigrafia	16
5.3. Geomorfologia e stabilità dell'area.....	17
5.4. Idrografia e idrogeologia	18
5.4.1. Idrografia	18
5.4.2. Idrogeologia e piezometria	18
5.4.3. Permeabilità.....	18
6. RAPPORTI CON IL PAI	19
7. INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO	19
8. MODELLO GEOTECNICO	21
8.1. Principali caratteristiche geotecniche.....	21
8.2. Elaborazione dei valori geotecnici caratteristici	22
9. MODELLO SISMICO.....	23
9.1. Caratterizzazione sismica dell'area.....	25
9.2. Attività sismica storica	29
9.3. Classificazione sismica comunale e pericolosità sismica di base	33
9.4. Risposta sismica e stabilità del sito.....	35
9.5. Categoria del suolo di fondazione.....	36
9.6. Coefficiente di amplificazione topografica.....	38
9.7. Azione sismica	38
9.8. Suscettibilità alla liquefazione	41
9.9. Frequenza fondamentale del sito.....	43
10. DESCRIZIONE DEL FABBRICATO E DELLE FONDAZIONI	44
11. CONCLUSIONI	45

Allegati nel testo:

N° 2 Tabelle delle caratteristiche geotecniche

1. Corografia	scala 1:25.000
2. Carta Tecnica Regionale	scala 1:10.000
3. Foto aerea di dettaglio	scala 1:2.000
4. Carta geologica (estratto CARG)	scala 1:10.000
5. Stralcio cartografia PAI	scala 1:10.000
6. Stralcio cartografia PAI Aggiornamento 2016	scala 1:10.000
7. Stralcio carta delle MOPS (Microzonazione Sismica di livello 1)	scala 1:10.000
8. Planimetria catastale	scala 1:2.000
9. Planimetria indagini	scala 1:500
10. Sezioni litostratigrafiche	scala 1:100
11. Stratigrafia sondaggio geognostico reperito	
12. Prova penetrometrica	
13. Indagini geofisiche (MASW e HVSr)	

1. PREMESSA

La recente crisi sismica iniziata il 24 agosto 2016 che ha coinvolto una vasta area compresa tra Lazio, Abruzzo, Marche ed Umbria, ha prodotto ingenti danni al relativo patrimonio edilizio coinvolgendo pesantemente anche il territorio comunale di Camerino e, nel caso particolare, l'edificio posto in località Tuseggia che è stato gravemente danneggiato riportando lesioni tali da renderlo inutilizzabile e classificabile con grado di danno "E" secondo il protocollo AeDES.

A tal proposito, su incarico ricevuto dai proprietari, sig. Simonetta Maccari, è stato eseguito il presente studio in modo da definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area di intervento e di un suo intorno significativo, nonché la stratigrafia, le caratteristiche geotecniche e sismiche locali, al fine di stabilire la tipologia di intervento e redigere un'opportuna progettazione nel rispetto delle nuove norme in materia di costruzione antisismica.

Lo studio descrive, in ottemperanza alle normative vigenti per le edificazioni in zona sismica e secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, il quadro geologico generale della zona in cui ricade l'immobile in oggetto, illustrandone i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche di eventuali superfici di discontinuità, la successione litostratigrafica locale con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione, fratturazione e degradabilità, gli aspetti geomorfologici, nonché i processi morfologici ed i dissesti in atto, con la loro tendenza evolutiva, e/o potenziali; inoltre fornisce la descrizione della circolazione idrica superficiale e sotterranea e la definizione dei parametri fisico meccanici dei litotipi reperiti.

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

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

Lo studio è articolato nelle seguenti fasi:

- reperimento dati esistenti;
- definizione del piano delle indagini da attuare sul terreno;
- rilevamento geologico, geomorfologico ed idrogeologiche dell'area dove insiste l'edificio e di un suo intorno significativo;
- elaborazione del modello geologico e geomorfologico del sito in studio necessario alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio;
- ricostruzione della successione stratigrafica attraverso il reperimento della stratigrafia di un sondaggio eseguito in precedenza per lo stesso fabbricato relativamente a studi redatti dal sottoscritto, il rilievo degli affioramenti del substrato e l'interpretazione dei dati ricavati dall'esecuzione di una prova penetrometrica spinta fino al reperimento

del substrato;

- individuazione delle principali caratteristiche geotecniche dei terreni ricavate da dati della prova penetrometrica appositamente eseguita e da prove penetrometriche e di laboratorio su campioni di terreno indisturbato, effettuate nelle aree limitrofe che presentano terreni analoghi;
- definizione dell'azione sismica di progetto attraverso l'esecuzione di un'apposita indagine costituita da prospezioni di sismica attiva (MASW) e passiva (HVSr).

Riguardo la programmazione delle indagini sul terreno, la tipologia e la loro disposizione planimetrica è stato fatto riferimento agli elaborati progettuali forniti dal progettista, arch. Leone Alessandro.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974: *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*
- D.P.R. n° 380 del 6 giugno 2001: *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.*
- OPCM 3274 del 20/03/03: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica: All. 1 - classificazione sismica del territorio italiano.*
- D.Lgs 152 del 3/04/2006 e s.m.i. - *Norme in materia ambientale.*
- Decreto 14 gennaio 2008: *Nuove norme tecniche per le costruzioni.*
- Circolare 2 febbraio 2009 n° 617 del C.S.LL.PP.: *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".*

- D.L. 189/2016; *“Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016”* convertito con modificazioni dalla Legge 229/2016;
- LEGGE 15 dicembre 2016, n° 229: *Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 17 ottobre 2016, n. 189, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016.*
- Ordinanza n. 12 del 09/01/2017: *Attuazione dell’art. 34 del D.L. 17/10/2016, n. 189, convertito con modificazioni dalla legge 15 dicembre 2016 n. 229.*
- D.L. n. 8 del 09/02/2017; *“Nuovi interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del 2016 e del 2017”* convertito con modificazioni dalla Legge 45/2017;
- Ordinanza n. 19 del 7 aprile 2017: *Misure per il ripristino con miglioramento sismico e la ricostruzione di immobili ad uso abitativo gravemente danneggiati o distrutti dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016.*
- Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017, Allegato 1: *Criteri per l’utilizzo dei risultati degli studi di Microzonazione Sismica per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016* (modificata con Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018, Allegato 1).
- D.M. 17 gennaio 2018 *Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni».* (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)
- Nota del C.S.LL.PP. n° 3187 del 21/03/2018: *Prima applicazione del DM 17.01.2018, riportante l’aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, alle procedure autorizzative e di qualificazione del servizio tecnico centrale.*
- Circolare 21 gennaio 2019 n° 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti: *Istruzioni per l’applicazione dell’ “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*
- L.R. Marche n° 13 del 25/05/1999: *Disciplina regionale della difesa del suolo.*

- DGR Marche n° 116 del 21 gennaio 2004: *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI)*.
- Regione Marche, L.R. 22 del 23/11/2011 - *Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico e modifiche alle Leggi regionali 5 agosto 1992, n. 34 "Norme in materia urbanistica, paesaggistica e di assetto del territorio" e 8 ottobre 2009, n. 22 "Interventi della regione per il riavvio delle attività edilizie al fine di fronteggiare la crisi economica, difendere l'occupazione, migliorare la sicurezza degli edifici e promuovere tecniche di edilizia sostenibile"*.

Per quanto riguarda le relazioni specialistiche, di cui al capitolo C 10.1 punto 5.1 della Circolare n° 617/2009 sopra menzionata, nel presente elaborato sono ricomprese, nel rispetto di quanto dettato dall'Aggiornamento delle NTC 2018, le seguenti:

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

3. UBICAZIONE E RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

L'immobile oggetto dell'intervento, posto ad una quota media di 515 metri slm, si individua immediatamente a nord est dell'abitato di Camerino in località Tuseggia. Topograficamente ricade nel foglio 124 “Macerata”, tavoletta III NE “Polverina”, mentre relativamente ai dati catastali è parte integrante della Particella n° 7 distinta al foglio n° 20.

Le coordinate geografiche (ED 50) baricentriche per l'identificazione sulla carta dell'area di intervento sono le seguenti:

latitudine Nord: 43,167253
longitudine Est: 13,081321

A tali coordinate si farà riferimento per la caratterizzazione delle azioni sismiche di cui al paragrafo 3.2 della normativa e per la definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento.

4. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

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

Le indagini geofisiche e geotecniche sono state eseguite dalla ditta **AB Geo Snc** di Tolentino. In particolare sono state eseguite:

- n° 1 prova penetrometrica dinamica DPSH
- n° 1 stendimento MASW (prospezione di sismica attiva)
- n° 1 stazioni di misura HVSR (prospezione di sismica passiva)

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

La raccolta e la sintesi di questi dati ed il successivo confronto con quelli relativi a studi precedenti eseguiti dal sottoscritto sia per lo stesso edificio (un sondaggio geognostico) sia in aree limitrofe (1 HVSR) e su terreni comparabili, si rivela fondamentale per individuare i diversi aspetti (naturali, antropici, geologici, ecc.) della zona in studio nonché funzionali alla progettazione dell'intervento.

4.1. Rilevamento geologico-geomorfologico

Attraverso vari sopralluoghi sono state acquisite informazioni sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche della zona di intervento nonché di un'adeguata area al contorno.

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

4.2. Indagine geognostica

Per la determinazione della successione litostratigrafica dell'area di costruzione non è stato ritenuto necessario eseguire sondaggi in quanto la stratigrafia è stata ricostruita attraverso il rilievo degli affioramenti del substrato presenti all'interno del piano interrato e nelle aree circostanti, l'interpretazione dei dati della prova penetrometrica confortata dai dati stratigrafici in possesso dello scrivente in relazione a precedenti lavori eseguiti per il medesimo fabbricato.

4.3. Indagine geotecnica

La caratterizzazione delle proprietà fisiche e meccaniche dei litotipi investigati è stata effettuata tramite la prova penetrometrica appositamente eseguita, i dati reperiti relativi a prove penetrometriche realizzate nelle zone limitrofe per precedenti studi redatti dallo scrivente, e prove di laboratorio eseguite su campioni di terreno in tutto comparabili a quelli reperiti nel sito di indagine.

4.3.1. Prova penetrometrica

Eseguita dalla ditta **AB Geo Indagini geofisiche e geotecniche** di Tolentino

(vedere relazione tecnica allegata), è stata effettuata nella sola modalità dinamica (DPSH “dinamic penetrometer super heavy”).

Questo tipo di prova è autoperforante, ovvero non richiede l’esecuzione di un foro, e consiste nell’infiggere nel terreno una punta conica metallica, di caratteristiche geometriche note, collegata ad un’asta di acciaio prolungabile; l’utensile è infisso a percussione e il dato misurato è il numero di colpi necessario per ottenere un determinato avanzamento; per questa tipologia di prova sono contemplati quattro modelli di attrezzatura sulla base della massa del maglio e le modalità esecutive sono standardizzate nelle Procedure internazionali di Riferimento elaborate dall’ISSMFE (1988):

TIPO	Sigla di riferimento	Massa battente M (kg)	Prof. max di indagine (m)
Leggero	DPL (light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (medium)	$10 < M < 40$	20 - 25
Pesante	DPH (heavy)	$40 < M < 60$	25
Super pesante	DPSH (super heavy)	$M \geq 60$	25

Nel caso in studio è stato utilizzato un penetrometro DPSH modello Pagani 63-200, con massa battente di 63,5 kg, altezza di caduta 75 cm e passo in avanzamento di 20 cm.

Le informazioni fornite da questo tipo di prova sono di tipo continuo e consentono di riconoscere direttamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza del terreno; inoltre è possibile risalire, attraverso elaborazioni successive dei dati raccolti durante la prove, ai parametri geotecnici significativi.

4.4. Indagine geofisica

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l’individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità del bedrock geofisico, non sempre coincidente con quello stratigrafico, stimando altresì

la velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino al raggiungimento del substrato sismico ($V_{S,eq}$); qualora questo risultasse a profondità superiori la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro V_{S30} . Ciò è necessario per la definizione del suolo di fondazione sulla base del D.M. 17 gennaio 2018, il quale fornisce i criteri progettuali generali in materia antisismica.

Per valutare gli effetti dell'azione sismica è stata eseguita una prova geofisica attiva, cioè con perturbazione sismica generata artificialmente, definita MASW nonché una passiva la quale, attraverso la registrazione del *rumore sismico ambientale*, detto anche *microtremore*, consente di misurare la frequenza fondamentale del terreno.

4.4.1. MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo si basa sulla misura e sull'analisi delle onde che si propagano sulla superficie terrestre (onde di Rayleigh). Queste, generate in modo artificiale nel terreno (semispazio stratificato) attraverso l'uso di un energizzatore ad impatto verticale (perpendicolare al terreno), vengono registrate da un sismografo attraverso un dispositivo lineare di sensori sismici (geofoni) posti sul terreno.

Si tratta di una tecnica d'indagine geofisica non invasiva (non necessita di perforazioni o scavi) che permette di definire, con opportune elaborazioni, il profilo verticale di velocità (V) delle onde di taglio (onde S) e quindi caratterizzare il terreno secondo le NTC 2018.

Quando si energizza il sito di indagine in un punto della sua superficie libera, si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare si generano onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte; se la sorgente è parallela si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love.

Nel metodo MASW si usano le sole onde di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde P e SV, poiché intervengono due aspetti che rendono il contributo

delle onde di Rayleigh prevalente su quello delle altre onde. Il primo è che le onde Rayleigh trasportano circa i 2/3 dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, poiché si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

Come già detto le onde di Rayleigh viaggiano in prossimità della superficie terrestre in una fascia profonda circa 1÷2 volte la lunghezza d'onda. Poiché sono dispersive, nel senso che componenti del segnale a lunghezza d'onda differente si propagano a diversa velocità in funzione delle caratteristiche del mezzo attraversato: componenti ad alta frequenza (breve lunghezza d'onda), più lente, permettono d'investigare gli strati più superficiali mentre quelle a bassa frequenza (lunghezza d'onda maggiore), generalmente con velocità di propagazione maggiore, forniscono informazioni sugli strati più profondi.

Questo metodo ha il vantaggio di superare i problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici, nonché gli inconvenienti legati alla presenza della falda.

L'attrezzatura di prova consiste in:

- sismografo digitale a 12-24 canali;
- 12-24 geofoni verticali (o accelerometri) a frequenza propria uguale o inferiore a 4.5 Hz disposti ad interasse costante, normalmente compreso tra 0,5 e 3m;
- sorgente dell'impulso costituita da mazza battente (5-10 Kg) con piastra di ripartizione appoggiata al suolo, oppure energizzatori impulsivi oleopneumatici e/o a gravità, fucili sismici, ecc.. da scegliere in funzione della scala delle indagini.

Laddove possibile la prova potrà essere eseguita lungo due stendimenti ortogonali tra loro, spostando altresì la sorgente dell'impulso ai due estremi dello

stendimento con almeno 3 misure per ogni lato.

Gli obiettivi dell'acquisizione sono quelli di fornire dati relativi alla propagazione di onde superficiali in una banda di frequenza più ampia possibile poiché ciò consente di ottenere informazioni sulle proprietà degli strati profondi, che influenzano le componenti a bassa frequenza, e di descrivere con adeguata risoluzione gli strati più superficiali, che influenzano in maniera significativa soprattutto le componenti ad alta frequenza.

Il campionamento temporale deve garantire che tutto il treno d'onda relativo alla propagazione delle onde superficiali sia registrato, quindi la durata dell'acquisizione deve essere maggiore o uguale al tempo necessario per l'armonica più lenta a raggiungere il sensore più lontano. L'intervallo di campionamento deve garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento (frequenza di campionamento almeno doppia della frequenza più alta da registrare).

Le informazioni sulla velocità delle onde di taglio Vs del sito fornite sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità.

4.4.2. Frequenza fondamentale del sito

La misura della frequenza fondamentale del sito viene eseguita mediante metodologia sismica passiva (HVSR) che prevede la registrazione del *rumore sismico ambientale*, sempre presente nel sottosuolo, detto anche *microtremore* in quanto riguarda oscillazioni molto piccole, inferiori di molti ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti.

La composizione del *rumore sismico ambientale* è data da una combinazione di onde di volume e onde superficiali, provenienti da sorgenti sia vicine che lontane (generati da fenomeni naturali, come vento ed onde marine, e dalle attività antropiche), ed i metodi che si basano sull'acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non viene generato ad hoc, tramite esplosioni e/o colpi sul terreno, come

invece nel caso della sismica tradizionale attiva.

Il campo d'onda di cui è costituito il *microtremore* dipende sia dalle proprietà della singola sorgente, sia dalla posizione relativa fra la sorgente e il ricevitore e, infine, dalle caratteristiche del sottosuolo attraversato; se le sorgenti sono indipendenti e distribuite in modo statisticamente uniforme attorno al punto di misura, allora la parte persistente del campo d'onda sarà quella associata alle sole caratteristiche comuni a tutti i treni d'onda registrati, ovvero alle caratteristiche strutturali del terreno.

Lo strumento utilizzato per tali misurazioni è sostanzialmente un sismografo di dimensioni molto contenute, comprendente tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), progettato specificamente per le acquisizioni di *microtremori* all'interno di un range di frequenze compreso tra 0.1 e 400 Hz

Il metodo di indagine utilizzato (tecnica dei rapporti spettrali o HVSR) è quello dell'acquisizione in stazione singola del segnale sismico ambientale e del calcolo dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (rapporto H/V). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

Questa tecnica di acquisizione non necessita di nessun tipo di perforazione, stendimenti di cavi e di energizzazione esterne ed è utilizzabile ovunque consentendo di monitorare le situazioni più disparate e garantendo allo stesso tempo la massima efficienza di esecuzione della campagna di misura.

5. MODELLO GEOLOGICO

A partire dai caratteri geologico strutturali regionali, utili per comprendere la distribuzione dei terreni in affioramento e nel sottosuolo così come le loro caratteristiche intrinseche, vengono analizzati tutti gli aspetti utili alla

caratterizzazione di una zona significativamente ampia, in relazione al tipo di intervento in progetto ed al contesto geologico in cui questo si colloca, ricostruendone i caratteri litologico-strutturali, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

5.1. Inquadramento geostrutturale dell'area

L'assetto geologico generale è rappresentato dalla sequenza di terreni mesozoici di piattaforma carbonatica con la sovrastante successione pelagica (simbolo 2 di figura 1), costituita da calcari, calcari marnosi e marne calcaree, intensamente piegata e fagliata a seguito della tettonica compressiva che, a partire dal neogene, ha dato luogo alla formazione della catena appenninica attraverso sovrascorrimenti (distinti da linee con triangoli di figura 1) a falde sovrapposte ed a vergenza nord-orientale. In tale fase (Tortoniano - Messiniano) hanno avuto origine una serie di bacini in ambiente marino (simboli 3a, 3b e 3c di figura 1), tra cui quello di Camerino all'interno del quale si trova l'area in studio, allungati in direzione appenninica dove si incanalavano e si depositavano sedimenti torbiditici silico-clastici provenienti dalle zone emerse occidentali. In particolare questi sedimenti sinorogenici sono costituiti da peliti, arenarie, conglomerati poligenici e breccie.

Nel Pliocene inferiore la migrazione verso est dell'onda orogenica determina variazioni del quadro geodinamico generale caratterizzate da processi di sollevamento regionale e di tettonica estensionale nella parte interna-occidentale della catena in emersione e dall'impostazione, in regime blandamente compressivo, del bacino periadriatico marchigiano-abruzzese (articolato in piccole dorsali e depressioni), dove si deposita un consistente spessore di sedimenti clastici marini.

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

ambiente continentale.

Relativamente al bacino periadriatico marchigiano-abruzzese, nel Pleistocene inferiore si ha un sollevamento differenziale della successione Plio-Pleistocenica che assume una struttura monoclinale con blanda inclinazione verso Est di 3°-5°.

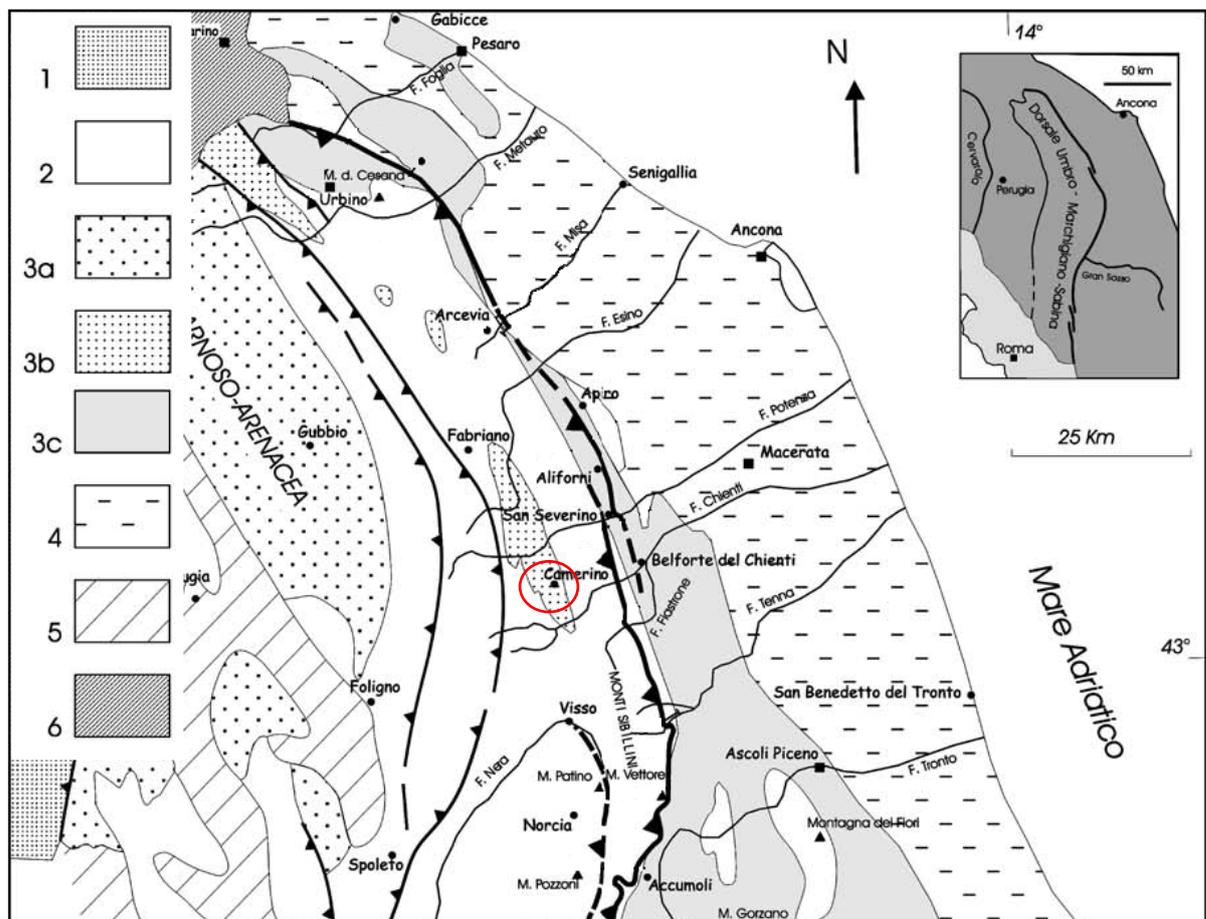


Figura 1: Schema geologico dell'area Marchigiana (da DEIANA *et alii*, 2002 - modificato). 1) Unità del Monte Falterona-Trasimeno. 2) Successione bacinale calcarea, calcareo-marnosa e marnosa o successione di piattaforma carbonatica/scarpata (Trias superiore-Miocene *p.p.*); 3) Depositi torbiditici silicoclastici miocenici del Preappennino (3a: Burdigaliano *p.p.*- Tortoniano *p.p.*), intrappenninici (3b: Serravalliano *p.p.*-Messiniano *p.p.*) e del Pedepennino (3c: Messiniano); 4) Successione plio-pleistocenica periadriatica; 5) Depositi plio-quadernari marini o continentali post-orogenici e vulcaniti della provincia laziale; 6) Colata della Val Marecchia.

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

Come sopra detto, la zona assiale della dorsale carbonatica dell'Appennino centrale umbro-marchigiano-abruzzese è una regione tettonicamente attiva dove faglie normali ad andamento NW-SE, per lo più organizzate in "fasci", presentano

evidenze di attività quaternaria ed una stretta relazione con la diffusa sismicità dell'area che si manifesta con terremoti di $M \leq 7,0$.

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

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

L'assetto giaciturale degli strati, come si può desumere dall'allegata carta geologica di dettaglio (estratto CARG), è disposto in modo tale da creare una piccola anticlinale, lungo la quale si trova il fabbricato in oggetto.

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

(bruno, ocra, grigio, ecc..) inglobanti una percentuale variabile di elementi clastici arenacei di differenti dimensioni.

Da un punto di vista tettonico nella zona non si riconoscono tracce di faglie antiche importanti ne, tanto meno, evidenze di attività tettonica recente che possano indicare riattivazioni di strutture tettoniche sepolte.

5.2. Litostratigrafia

La locale sequenza litostratigrafica viene ricostruita nel dettaglio attraverso le stratigrafie dei sondaggi geognostici reperiti e la visione di affioramenti disposti all'intorno dell'area di indagine; ciò ha permesso la distinzione dei seguenti litotipi:

- a) Depositi colluviali ed eluviali:** prendono origine dalla disgregazione ed erosione dei terreni presenti a monte e dal successivo trasporto a valle e messa in posto generata dalle acque di dilavamento (colluvium) nonché dalla forte alterazione del substrato in posto (eluvium) del quale non si conservano le caratteristiche macrostrutturali; si tratta di un aggregato composto in prevalenza da sabbie limoso argillose, di colore nocciola con presenza di concrezioni carbonatiche. Lo spessore è di poco superiore a 1 metro.
- b) Substrato:** nell'area in studio è rappresentato dai litotipi dell'Associazione pelitico-arenacea, costituita prevalentemente da argille marnoso-siltose stratificate a cui si alternano strati da sottili a medi di arenarie mediamente cementate. La porzione superficiale, limitata ad 1 - 1,5 metri di spessore, è molto alterata e, pur conservando le caratteristiche macrostrutturali, è contraddistinta da una colorazione nocciola e dalla pressoché assenza della cementazione (arenarie) e di consistenza (argille). Nella sottostante porzione appaiono via via più evidenti le macrostrutture, migliorano le caratteristiche geomeccaniche e i litotipi assumono una colorazione grigio-azzurra presentandosi asciutti e duri, anche se variamente fratturati. I

litotipi integri si estendono in profondità per diverse decine di metri mantenendo le medesime condizioni litologiche.

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

5.3. Geomorfologia e stabilità dell'area

L'aspetto morfologico d'insieme è di tipo conforme in quanto guidato dalla struttura e dalla litologia. Infatti i litotipi del substrato più tenaci e resistenti all'erosione, costituiti da pacchi di strati dell'Associazione arenaceo-pelitica, danno luogo a scarpate strutturali, di altezza compresa tra 5 e 10 metri, formatesi nel tempo per erosione regressiva dei sottostanti depositi via via più erodibili, rappresentati da pacchi di strati dell'Associazione pelitico-arenacea, che articolano il versante meridionale del colle Lancianello.

Detto versante si raccorda superiormente con l'ampia superficie a debole pendenza del dosso collinare di Lancianello e inferiormente con il fondo valle del fosso di Gorgiano; le pendenze sono generalmente comprese tra 12° e 16°.

Oltre alle suddette forme strutturali non si riscontra l'esistenza di altre forme legate a fenomeni di dissesto o altri processi geomorfologici.

Riguardo la morfologia antropica, poiché la zona è abitata fin da tempi remoti, si riscontra la presenza di ripiani e scarpate, di limitata entità e disposte per lo più ai bordi delle strade, nonché l'assenza del reticolo idrografico naturale sostituito da canalette e fognature.

Per ciò che concerne la stabilità, l'area in cui insiste il fabbricato oggetto di intervento ed un suo intorno significativo, sia per la particolare condizione litostratigrafica (substrato da affiorante a sub affiorante), sia per l'assenza di processi morfologici destabilizzanti, in atto o potenziali, che possano modificare l'attuale morfologia del luogo, si può ritenere naturalmente sicura. Tale stabilità è inoltre testimoniata dal fatto che gli edifici esistenti nella zona, risalenti anche ad

epoche remote, non presentano indizi di lesioni o cedimenti imputabili a movimenti gravitativi.

5.4. Idrografia e idrogeologia

Nel presente capitolo vengono illustrate le caratteristiche generali della zona in studio riguardanti il reticolo idrografico, le emergenze naturali, nonché il ruolo idrogeologico dei vari litotipi riconosciuti.

5.4.1. Idrografia

L'idrografia dell'area in studio e di quelle immediatamente circostanti è praticamente inesistente in quanto la zona è da tempo antropizzata per cui le acque correnti superficiali sono tutte canalizzate e regimate da opere antropiche (fossetti di scolo, canalette e fognature).

5.4.2. Idrogeologia e piezometria

Il quadro idrogeologico generale della zona non rivela, nelle vicinanze, la presenza di emergenze idriche ne sono stati rilevati pozzi per l'estrazione di acqua. Relativamente all'area oggetto di intervento non è stata evidenziata, a seguito delle indagini, l'esistenza di percolazioni idriche ne tanto meno della falda freatica.

5.4.3. Permeabilità

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

- a) Riporti:** terreni a permeabilità variabile, sia laterale che verticale, dovuta all'eterogeneità litologica in quanto costituiti da una commistione di limi, argille e sabbie in differenti proporzioni; nel complesso si possono classificare come "*terreni a permeabilità medio bassa*".
- b) Depositi colluviali ed eluviali:** aggregato composto in prevalenza da

sabbie e sabbie limose con presenza di concrezioni carbonatiche, che può essere classificato come "terreno a permeabilità da medio bassa a bassa".

c) Substrato: è classificato come "impermeabile" a causa della predominanza di strati marnoso-argillosi di spessore consistente e notevole continuità laterale che gli conferisce le caratteristiche di acquiclude.

6. RAPPORTI CON IL PAI

L'intera area in studio non è compresa nelle perimetrazioni di rischio e pericolosità rilevate dal PAI (Piano Assetto Idrogeologico) per cui non vi sono, in rapporto a questi aspetti, interferenze e limitazioni. A tal proposito si riportano in allegato gli stralci cartografici estratti dal sito dell'Autorità di Bacino delle Marche riguardanti sia le perimetrazioni derivanti dai successivi decreti di modifica alle cartografie originarie, sia le perimetrazioni di cui all'Aggiornamento generale al PAI redatto nel 2016. In attesa della definitiva approvazione del detto Aggiornamento valgono le misure di misure di salvaguardia, applicando la previsione normativa di maggiore cautela ai fini della prevenzione del rischio idrogeologico.

7. INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO

La zona oggetto di intervento rientra nelle aree studiate nell'ambito delle indagini di microzonazione sismica di primo livello, attraverso le quali è stato suddiviso il territorio edificato del comune di Camerino in aree qualitativamente omogenee realizzando la *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)*, della quale si riporta in allegato lo stralcio relativo all'abitato di Tuseggia.

Tale carta definisce, sulla base di dati geologici e geomorfologici integrati da valutazioni ed analisi dei dati litostratigrafici, geotecnici e geofisici, il territorio in unità che presentano medesime caratteristiche sotto il profilo dell'acclività, della

stratigrafia (tipologia dei litotipi e spessori), delle proprietà geotecniche e geomeccaniche. Inoltre tiene conto della potenziale suscettibilità dei terreni derivante da fenomenologie indotte dal sisma quali: amplificazione del moto del suolo, innesco di frane, modificazioni permanenti del suolo, liquefazione dei terreni, cedimenti differenziali etc. In particolare nel detto territorio si riconoscono tre categorie differenti a cui si associano differenti comportamenti sotto sollecitazione sismica:

- zone stabili prive di amplificazioni locali; aree con substrato affiorante o sub-affiorante, in presenza di topografia con acclività inferiore a 15°.
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: aree caratterizzate dall'affioramento dei litotipi del substrato o da materiali con caratteristiche geotecniche e geomeccaniche buone e discrete, dove sono comunque ipotizzabili amplificazioni del moto sismico condizionate da:
 - assetto topografico; aree caratterizzate da scarpate con altezza superiore ai 10 metri;
 - assetto stratigrafico; aree con depositi di versante e quelle lungo le vallate con depositi a granulometria grossolana o medio-fine. In presenza di depositi medio-fini si attendono i massimi effetti di amplificazione locale.
- zone suscettibili di instabilità; aree caratterizzate da materiali con caratteristiche geotecniche scadenti o mediocri che possono condurre, a seguito di una scossa sismica, all'innesco di movimenti gravitativi, liquefazioni, cedimenti differenziali, deformazioni permanenti del suolo, oltre a fenomeni di amplificazione del moto.

La suddivisione del territorio nelle suddette tre categorie deriva dal fatto che al suo interno non sono state individuate le ulteriori seguenti zone:

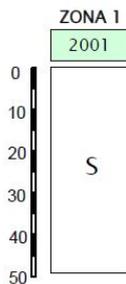
- zone di attenzione per faglie attive e capaci.

– zone di attenzione per fenomeni di liquefazione o cedimenti differenziali.

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

Rispetto alle suddette categorie, l'area in studio ricade in quella delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ed in particolare nella seguente microzona:

- **ZONA 1** - l'area è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, con uno spessore che può arrivare fino ai 50 metri, in cui sono state raggruppate le litologie dell'Associazione *pelitico-arenacea*, *arenaceo-pelitica* ed *arenacea* e la porzione alterata dei litotipi dello *Schlier* e della *Scaglia cinerea*.



8. MODELLO GEOTECNICO

Dalle indagini geognostiche eseguite e da quelle reperite per studi effettuati su aree limitrofe, dai rilievi geologici di superficie e dall'interpretazione dell'indagine geofisica è stato possibile effettuare la ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo che viene riportata nella relativa sezione allegata.

8.1. Principali caratteristiche geotecniche

I valori geotecnici medi dei terreni investigati vengono desunti dall'elaborazione della prova penetrometrica dinamica, appositamente eseguita, e da dati relativi a prove penetrometriche, statiche e dinamiche, ed indagini effettuate dallo scrivente per altre progettazioni ricadenti in aree limitrofe e su terreni in tutto comparabili; i dati relativi ai litotipi del substrato sono stati altresì confrontati con i risultati delle numerose prove di laboratorio eseguite su campioni della stessa litologia (argille marnose del Miocene), prelevati indisturbati, riguardanti indagini

eseguite in precedenza dal sottoscritto nella zona di Camerino; in particolare vengono assunti cautelativamente solo quelli riferibili alla componente argillosa, localmente più rappresentata, che risultano con valori inferiori rispetto a quelli della componente arenacea.

Di seguito si riportano i valori geotecnici medi dei terreni investigati che nel complesso si possono così riassumere:

- **Litotipo 1: Depositi colluviali:** sono costituiti da una commistione di sabbie, limi ed argille a comportamento coesivo ed a tratti attritivo:

γ	= peso di volume	= 1,9 - 2,07	g/cm ³
ϕ	= angolo d'attrito	= 29° - 35°	
C_u	= coesione non drenata	= 1,0 - 1,8	kg/cm ²
E_d	= modulo edometrico	= 64 - 122	kg/cm ²

- **Litotipo 2: Substrato poco alterato - integro** (Associazione Pelitico-arenacea): si tratta di terreni coesivi, stratificati, sovraconsolidati a consistenza variabile tra compatta e molto compatta; sono classificabili come argille inorganiche ad alta plasticità (CH secondo Casagrande):

γ	= peso di volume	= 2,1 - 2,4	g/cm ³
ϕ	= angolo d'attrito	= 33° - 37,5°	
C_u	= coesione non drenata	= 2,5 - 4,0	kg/cm ²
E_d	= modulo edometrico	= 200 - 300	kg/cm ²

8.2. Elaborazione dei valori geotecnici caratteristici

I parametri geotecnici individuati sono stati elaborati nei modi espressi nelle tabelle allegate (**Tabella 1 e 2** - *Proprietà indice e caratteristiche meccaniche del substrato poco alterato - integro – Valori caratteristici e di progetto*) secondo il concetto dei valori caratteristici ed espressi in termini statistici, considerando una distribuzione normale per ϕ e una distribuzione log-normale per c e E_d come 5° percentile dei valori geotecnici individuati.

Appresso si riportano i valori geotecnici elaborati, precisati in caratteristici (**Xk**)

e di progetto (**X_d**), riguardanti i soli litotipi del substrato che costituiscono il terreno di appoggio del fabbricato in oggetto.

Litotipo 2: Substrato poco alterato - integro

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

	γ g/cm ³	K_0	Φ	C' (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	Ed (Kg/cm ²)
X_k	2,20		32,92		2,63	194,51
X_d	2,20		27,39		1,88	138,94

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

	γ g/cm ³	K_0	Φ	C' (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	Ed (Kg/cm ²)
X_k	2,20		29,97		1,99	147,35
X_d	2,20		24,77		1,42	105,25

9. MODELLO SISMICO

La **sismicità** (frequenza e forza con cui si manifestano i terremoti) è una caratteristica fisica del territorio della quale bisogna tener conto e con la quale ci si deve confrontare. Conoscendo frequenza ed energia (magnitudo) dei terremoti che hanno caratterizzato una data area ed attribuendo un valore di probabilità al verificarsi, in un certo intervallo di tempo, di un evento sismico con assegnate caratteristiche possiamo distinguere e definire vari gradi di **pericolosità sismica** di un territorio. Tale elemento risulta fondamentale per stabilire, insieme alla **vulnerabilità** (predisposizione di una costruzione o struttura ad essere danneggiata) ed all'**esposizione** (probabilità di subire perdita di vite umane, danni economici e culturali), il **rischio sismico** cui un determinato territorio è soggetto. Quest'ultimo elemento rappresenta quindi la misura, zona per zona, dei danni attesi, in un dato intervallo di tempo, valutati in base al tipo di sismicità, resistenza delle costruzioni e grado di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti).

Ora se da un lato abbiamo molte possibilità per ridurre la vulnerabilità delle costruzioni attuando politiche di prevenzione e messa in sicurezza delle opere antropiche, riducendo con ciò anche l'esposizione, dall'altro non è possibile agire per modificare la pericolosità sismica di un territorio. Infatti la vulnerabilità e l'esposizione derivano da situazioni che dipendono dall'opera dell'uomo e possono essere controllate, mentre la sismicità è una caratteristica fisica del territorio, un fattore naturale che non è possibile controllare né (allo stato attuale) prevedere e quantificare. Tuttavia attraverso specifici studi, sviluppati soprattutto negli ultimi anni, è possibile individuare aree ad estensione regionale che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità (*macrozonazione sismica o pericolosità di base*) e, all'interno di queste, studi di maggior dettaglio permettono di valutare, attraverso procedure il cui insieme costituisce la *microzonazione sismica o pericolosità locale*, differenze di intensità massima attesa e innesco di dissesti dovuti a particolari situazioni geologiche, geomorfologiche e topografiche locali. È noto infatti che le azioni sismiche possono assumere in una stessa area, come più volte dimostrato dalla differente distribuzione dei danni ad edifici simili su distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale e sepolta, presenza e profondità della falda freatica, sequenza litostratigrafica e proprietà geotecniche dei terreni, presenza di faglie, etc.).

Pertanto, nell'ambito della progettazione di opere che incidano a qualsiasi livello sul terreno, risulta basilare conoscere approfonditamente le caratteristiche del territorio, a partire da quelle geologico-strutturali e sismiche regionali, che includono sia la conoscenza delle faglie capaci di generare terremoti sia la distribuzione storica ed areale degli eventi sismici passati, fino a quelle geomorfologiche, idrogeologiche, stratigrafiche e geotecniche del sito di intervento. Queste ultime sono oltremodo utili a stabilire l'eventualità che nella propagazione delle onde

sismiche si possano sviluppare effetti locali tali da produrre amplificazioni, anche notevoli, del moto del suolo, liquefazioni del terreno e fenomeni di instabilità.

9.1. Caratterizzazione sismica dell'area

Le attuali conoscenze circa l'individuazione delle sorgenti sismiche capaci di generare terremoti potenzialmente distruttivi hanno spinto l'INGV a realizzare una banca dati, definita "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3.2.1" (<http://diss.rm.ingv.it/diss>), che raccoglie e cartografa tutte le sorgenti sismiche ad ora conosciute relative all'intera penisola italiana (nella seguente fig. 2 si riporta lo stralcio cartografico dell'area umbro-marchigiana) aventi M_w superiore a 5,5.

Dette sorgenti sismiche sono state raggruppate in tre categorie, ovvero: *Composite Sources (ITCS*, strutture sismogenetiche di portata regionale che seguono trend tettonici di cui non è sempre nota la segmentazione), *Individual Sources (ITIS*, segmenti di faglia riconosciuti come causa di uno specifico terremoto) e *Debated Sources (ITDS*, elementi strutturali ritenuti sismogenetici da alcuni autori ma non completi di elementi e parametri geometrici e cinematici per cui il ruolo sismogenetico rimane dubbio). Per ognuna di queste categorie vengono individuate le strutture primarie, cioè quelle che si prendono carico della maggior parte della deformazione tettonica causando i terremoti principali.

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

Le *Individual Sources* sono invece vincolate da dati geologici e geofisici e sono corredate da tutti i parametri geometrici (profondità, inclinazione, lunghezza, ecc...),

cinematici (*rake* = dir. di scorrimento rispetto al piano di rottura in superficie) e sismologici (rigetto per singolo evento, magnitudo, tasso di scorrimento, intervallo di ricorrenza).

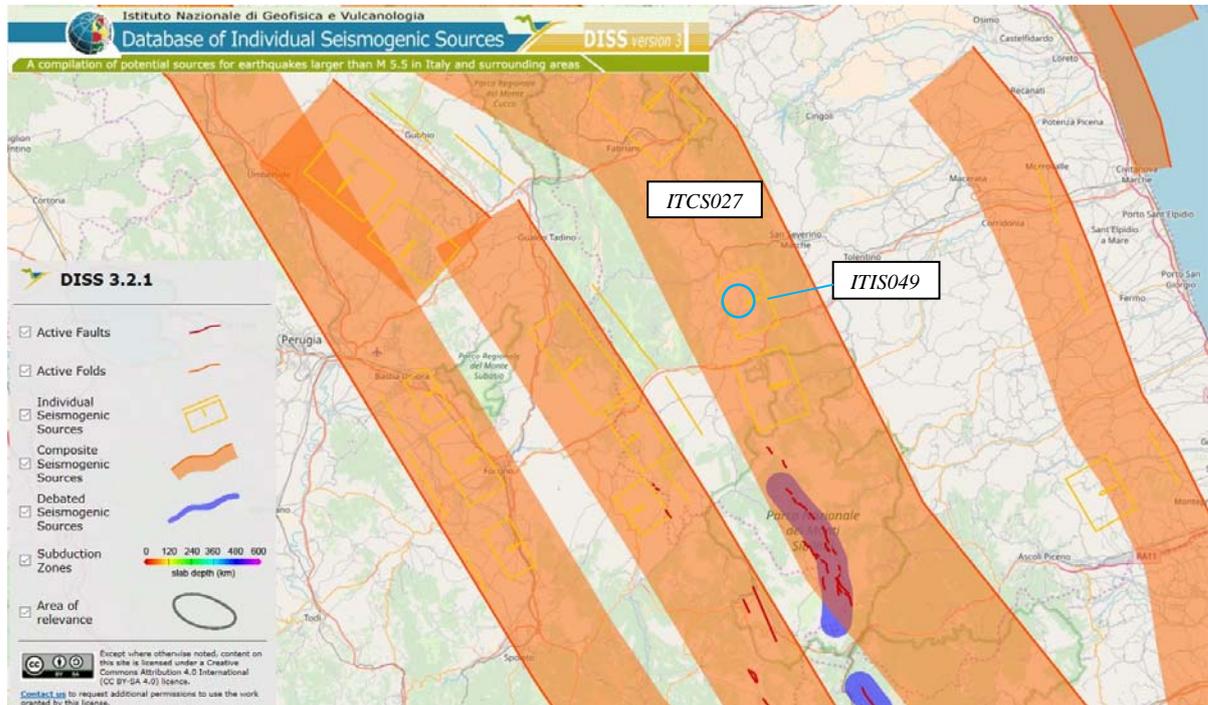


Figura 2: Mappa delle aree sismogenetiche nell'area umbro-marchigiana – Database DISS 3.2.1 dell'INGV. Le linee rosse indicano le faglie attive; i rettangoli gialli con la relativa linea parallela gialla rappresentano le singole sorgenti sismogenetiche e la proiezione in superficie della faglia associata; le linee e le relative fasce arancioni descrivono strutture comprendenti un numero imprecisato di sorgenti individuali non meglio definite. Le sigle *ITIS* = *Sorgente sismogenetica individuale* e *ITCS* = *Sorgente sismogenetica composta*. Il cerchio celeste indica la zona in studio.

(DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1)

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

In riferimento al suddetto DISS 3.2.1, si osserva che l'area interessata dal progetto ricade all'interno della zona sismogenetica *Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga* (*ITCS027*), la quale, caratterizzata nella figura 3b e vista come la parte orientale di tutto il sistema estensionale SW-immerso dell'Appennino centrale, risulta composta da un numero imprecisato di sorgenti sismiche distribuite lungo una

fascia ben definita; tale fascia ricomprende altresì la sorgente sismica puntuale definita *Camerino (ITIS049)*, caratterizzata nella figura 3a.

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITIS049		
Name	Camerino		
Compiler(s)	Mariano S. (1)		
Contributor(s)	Valensise G. (1), Burrato P. (1), Mariano S. (1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	31-May-2005		
Updated	31-May-2005		
Related sources	ITCS027		

a

PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	43.16 / 13.10	LD	Primarily based on the location of the associated earthquake.
Length [km]	8.0	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Width [km]	6.0	OD	Based on geological cross sections.
Min depth [km]	14.0	OD	Based on geological cross sections.
Max depth [km]	16.1	OD	Based on geological cross sections.
Strike [deg]	160	OD	Based on structural geology and geological data from various authors.
Dip [deg]	20	OD	Based on structural geology and geological data from various authors.
Rake [deg]	90	EJ	Inferred from geological data.
Slip Per Event [m]	0.4	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min...max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence [y] min...max	800...4000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	5.8	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS027		
Name	Boro-Montefeltro-Fabriano-Laga		
Compiler(s)	Burrato P. (1), Mariano S. (1)		
Contributor(s)	Burrato P. (1), Mariano S. (1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	08-Jan-2005		
Updated	17-May-2012		
Related sources	ITIS058 ITIS047 ITIS048 ITIS049 ITIS055 ITIS135		

b

PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	12.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	22.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min... max	90...160	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip [deg] min... max	20...55	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake [deg] min... max	70...110	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 3: schede contenenti le caratteristiche delle sorgenti sismogenetiche che, evidenziate nella figura precedente, interessano direttamente l'area in studio.

Questa fascia, posta esternamente alle zone sismogenetiche dell'Appennino umbro-marchigiano, è stata direttamente interessata in tempi storici da vari terremoti distruttivi. Ovviamente anche i terremoti che si verificano nelle altre zone sismogenetiche (Appennino interno e area costiera) fanno risentire qui, seppur con minore intensità, i loro effetti.

Le informazioni contenute in questa banca dati ed il continuo aggiornamento rappresentano, nello studio e nella gestione del territorio, una base di conoscenza fondamentale ed un elemento indispensabile per riconoscere quelle zone responsabili della sismicità, quantificarne il loro grado di attività e considerarne l'effetto sull'area di interesse, contestualizzando il tutto nel quadro delle conoscenze scientifiche acquisite ed in parte consolidate.

Nella seguente figura sono indicati i principali allineamenti di faglie attive ovest immergenti (fault systems regionali) causa degli eventi sismici in Appennino, capaci di produrre fenomeni di fagliazione superficiale.

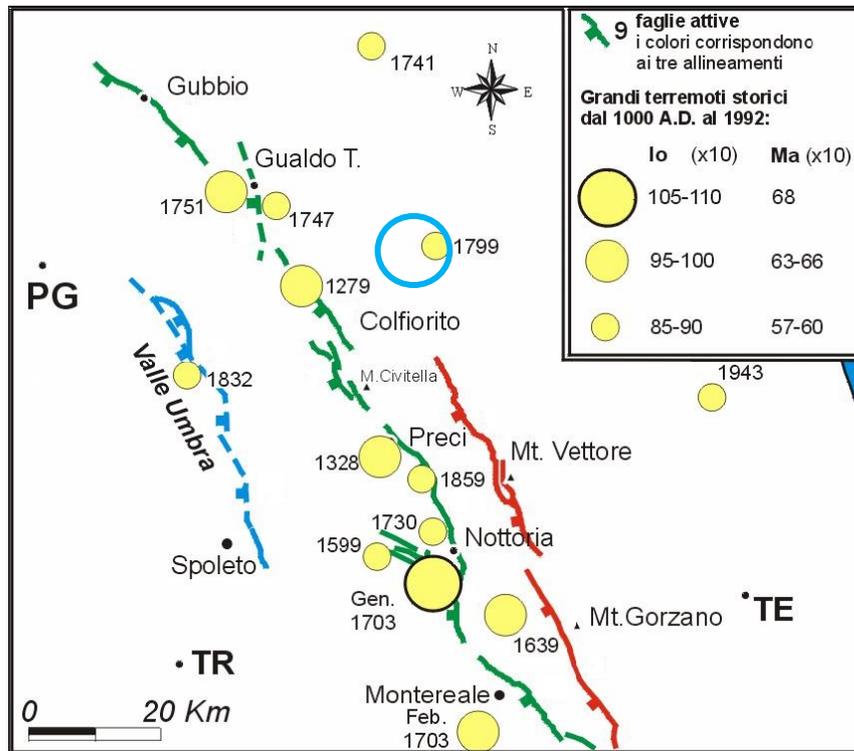


Figura 4: Mappa degli epicentri macrosismici dei principali terremoti storici dell'ultimo millennio (da catalogo C.P.T.I., 1999) rilevati nell'appennino umbro-marchigiano. Il cerchio celeste indica la zona in studio. I principali allineamenti di faglie attive ovest immergenti sono così individuati: 1) allineamento esterno "M.te Vettore-Gran Sasso" (rosso); 2) allineamento intermedio "Gubbio-Aremogna" (verde); 3) allineamento interno "Valle Umbra-Barrea" (blu).

Inoltre per l'area in studio si può analizzare quanto riportato nei lavori svolti dal G.N.D.T. (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti). A tal fine è stata presa in considerazione la zonazione sismogenetica del territorio italiano denominata ZS9, recentemente pubblicata dall'INGV, che considera 42 zone-sorgente identificate con numeri da 901 a 936 e lettere da A ad F. Dalla figura 5 si nota come tutto l'arco appenninico centrale sia stato distinto in 5 fasce longitudinali, parallele alla catena. L'area oggetto di studio ricade all'interno della zona-sorgente 918, alla quale è associata una magnitudo $M_{w_{max}}$ pari a 6,37. Questa rappresenta una zona di transizione, compresa tra la porzione interna appenninica in distensione e la fascia costiera in compressione, dove i meccanismi di fagliazione sono indeterminati e le sorgenti sismiche in genere non manifestano espressioni superficiali. In questa zona

le profondità ipocentrali risultano essere mediamente comprese tra 12 e 20 km.

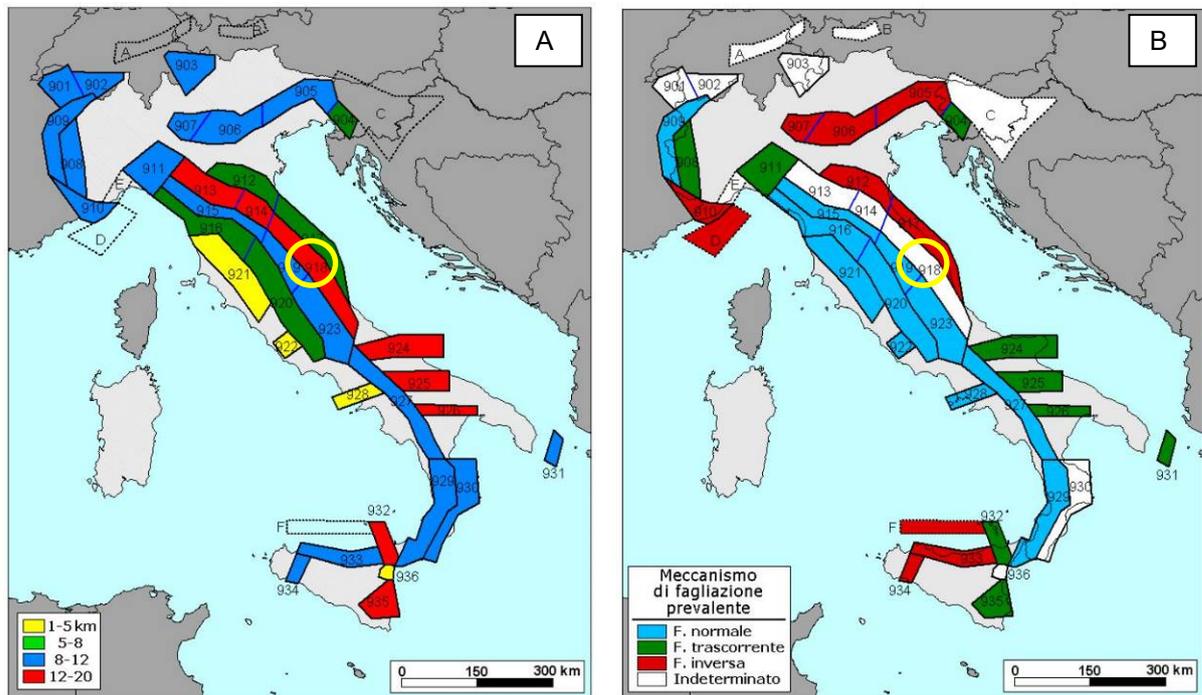


Figura 5: Zonazione sismogenetica ZS9 (da INGV). A: zone sismogenetiche distinte per classi di profondità. B: zone sismogenetiche distinte per meccanismi di fagliazione. - Il cerchio indica la zona in studio

9.2. Attività sismica storica

Conoscere la storia sismica del proprio territorio non rappresenta un puro argomento culturale, ma un presupposto imprescindibile, necessario a fissare il concetto che i terremoti non sono solo parte della storia (spesso dimenticata) ma che essi possono ripetersi, con tempi di ritorno più o meno lunghi, nel futuro. Gli eventi recenti hanno messo in evidenza come gran parte dei danni subiti dagli edifici derivi non soltanto dal mancato impiego di accorgimenti costruttivi dettati dalle norme di buona pratica edile e/o dalla trascurata applicazione delle prescrizioni di legge in materia, ma anche da una insufficiente o disinteressata conoscenza delle caratteristiche del terreno in cui essi sono fondati e del territorio in cui si inseriscono. Questo modo di operare, invero, è il frutto di un impoverimento culturale prima e materiale poi, che ci fa dimenticare che le catastrofi naturali

possono ripetersi. Nel caso particolare la conoscenza storica dei terremoti (ubicazione, cadenza temporale, potenza, area investita, ecc.) rappresenta il punto di partenza per un'analisi di pericolosità sismica finalizzata ad una valutazione del rischio sismico cui un territorio è soggetto; ciò contribuisce altresì ad essere preparati ad affrontare questi eventi ed a comprendere che la sicurezza non è un obbligo ma un sicuro investimento per il futuro.

La sismicità che interessa attualmente l'Appennino centrale, e quindi anche la zona in oggetto, è prevalentemente legata a processi di estensione crostale che, con un movimento orientato NE-SW, si esplica mediante deformazioni lungo faglie disposte a direzione NW-SE. Il tasso di spostamento, misurato grazie ad una fitta rete Gps realizzata dall'INGV, è di qualche millimetro all'anno (1–3 mm), ma ad oggi non si conosce ancora quanta di questa deformazione viene rilasciata con spostamenti asismici e quanta con forti terremoti. Comunque questi ultimi hanno recentemente interessato vaste porzioni dell'appennino [Valnerina 1979, Irpinia-Basilicata 1980, Umbria-Marche 1997, Aquilano 2009, Emilia 2012] con sequenze che spesso hanno perdurato per parecchi mesi. Attualmente, seppur con eventi via via più radi e di intensità per lo più trascurabile, è ancora in corso lo sciame sismico che, iniziato il 24 agosto 2016 con la distruzione di Amatrice, sta interessando una vasta zona compresa tra Abruzzo-Lazio-Umbria-Marche con eventi che hanno raggiunto la magnitudo di 6.5 (30 ottobre 2016), coinvolgendo pesantemente anche il territorio comunale di Camerino.

Le conoscenze storiche locali collegate ad eventi sismici, nonostante la città di Camerino sia esistente già in epoca romana, iniziano solo a partire dal 1279 (figura 6 – Tabella 1). Queste testimoniano che la zona, oltre ad essere stata sede di epicentri sismici di una certa importanza, ha risentito anche dei terremoti che negli ultimi 740 anni hanno avuto per lo più epicentro nell'Appennino centrale e centro meridionale.

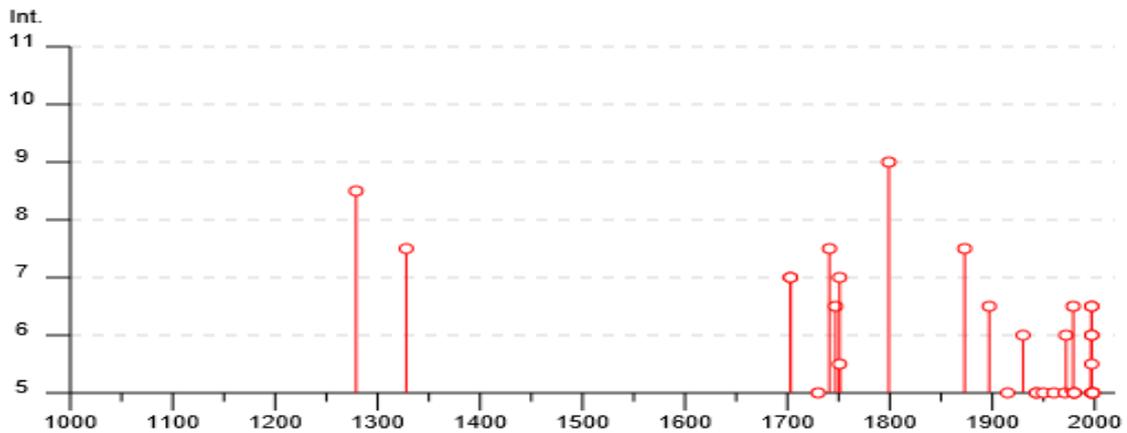


Figura 6: sequenza storica dei terremoti occorsi e risentiti nella zona di Camerino aventi $I_s > 5$ (da Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>)

La tabella seguente riassume gli eventi più importanti che hanno colpito il territorio comunale con l'esclusione delle cosiddette "repliche", ovvero scosse registrate entro 90 giorni e ad una distanza di 30 km dall'epicentro di un evento individuato come principale all'interno di una sequenza. Tra questi vale la pena ricordare quelli distruttivi del 1279 e 1799, con epicentro proprio nel camerinese, e quelli del 1328, 1741 e 1873 che produssero nel territorio comunale danni paragonabili al settimo-ottavo grado MCS.

Terremoti al di sopra della soglia di danno accaduti o risentiti nella zona di Camerino (1279-2014)										
Numero totale degli eventi: 26										
Effetti	Terremoti									
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	Area epicentrale	nMDP	Io	Mw
8-9	1279	04	30	18			Camerino	17	9	6.20
7-8	1328	12	01				Valnerina (Norcia)	13	10	6.49
7	1703	01	14	18			Valnerina	197	11	6.62
7	1703	01	16	13	30		Appennino Laziale-abruzzese	22		
5	1730	05	12	04	45		Valnerina (Norcia)	115	9	6.04
7-8	1741	04	24	09	20		Fabrianese	135	9	6.17
6-7	1747	04	17				App. umbro-marchigiano (Fiuminata)	63	9	6.05
7	1751	07	27	03			App. umbro-marchigiano (G.Tadino)	66	10	6.38
5-6	1751	10	03				App. umbro-marchigiano	1	5-6	4.40

9	1799 07 28 22 05	App. marchigiano (Camerino)	70	9	6.18
7-8	1873 03 12 20 04	App. marchigiano	196	8	5.85
6-7	1897 09 21	Marche settentrionali	44	7	5.40
5	1915 01 13 06 52 43	Marsica	1041	11	7.08
6	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
5	1943 03 25	Marche meridionali	15	6	4.85
5	1943 10 03 08 28 29	Ascolano (Offida)	170	8	5.67
5	1950 05 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5.69
5	1960 02 24 01 51	Appennino umbro-marchigiano	25	5	4.32
5	1971 04 02 01 43 54	Valnerina	68	6	4.50
6	1972 11 26 16 03	Marche meridionali (Montefortino)	73	8	5.48
6-7	1979 09 19 21 35 37	Valnerina	694	8-9	5.83
5	1980 02 28 21 04 40	Valnerina	146	6	4.97
5	1980 05 24 20 16 04	Monti Sibillini	58	5-6	4.48
5	1980 11 23 18 34 52	Irpinia - Basilicata	1394	10	6.81
6-7	1997 09 26 09 40 25	Appennino umbro-march.	869	8-9	5.97
5	1998 03 26 16 26 17	Appennino umbro-march.	409	6	5.26

Tabella 1: terremoti al di sopra della soglia di danno risentiti nella zona di Camerino (da Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>- modificato)

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

Di recente, la crisi sismica del 1997 ha interessato diffusamente il territorio comunale con seri danneggiamenti alla maggior parte degli edifici più antichi ed alle infrastrutture (acquedotti e fognature in particolare) e rari fenomeni di crollo. Talora hanno subito gravi danni anche gli edifici attuali, specialmente laddove le particolari condizioni litostратigrafiche e geomorfologiche hanno dato luogo ad amplificazioni del moto sismico.

Riguardo la sequenza sismica attuale (fig. 7), che ha prodotto gli eventi dei giorni 24

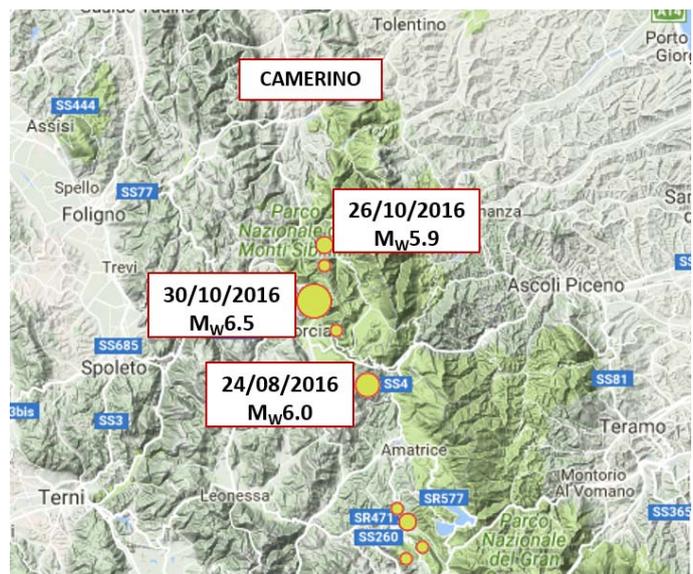


Figura 7: Localizzazione degli eventi della sequenza sismica dell'Italia Centrale del 2016-2017 caratterizzati da magnitudo momento superiore a 5.

agosto 2016 (Mw massima di 6.01), 26 ottobre (Mw massima di 5.9) e 30 ottobre (Mw massima di 6.5), si rileva un livello di danneggiamento diffuso con danni riferibili a fenomeni di intensità **Is** valutabile superiore a 8. A tal proposito si evidenzia che l'ultima scossa, avvenuta nella zona a Sud-Est di Norcia (magnitudo 6,5), rappresenta l'evento più violento avvenuto in Italia a partire dal 1980, ossia dal terremoto che colpì l'Irpinia.

9.3. Classificazione sismica comunale e pericolosità sismica di base

Il comune di Camerino è classificato sismico fin dal 1983 a seguito del DM 10 febbraio 1983 che, emanato ai sensi della legge sismica 64/74, lo includeva nella seconda categoria di sismicità (grado di sismicità S=9) su una base di 3 gradi istituiti a livello nazionale

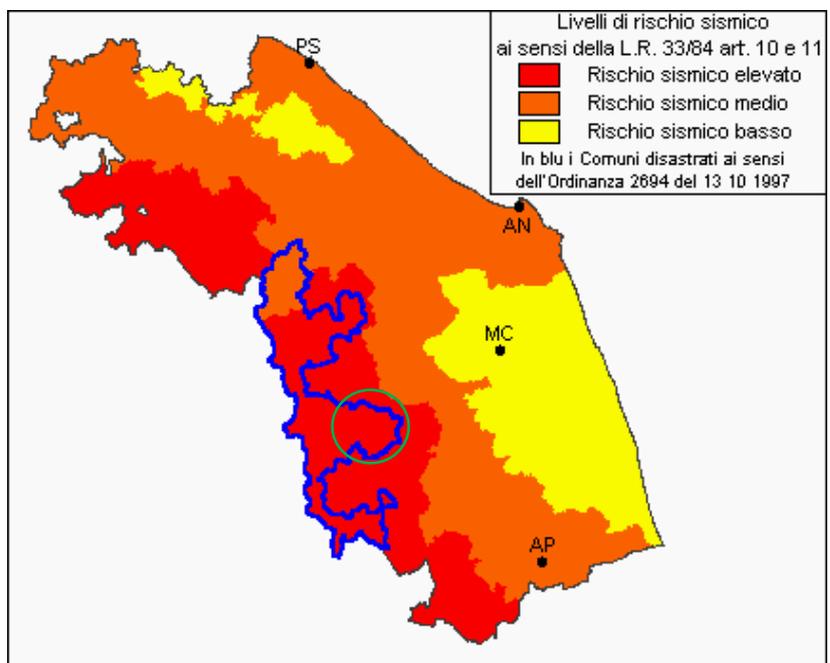


Figura 8: Il cerchio verde comprende il territorio comunale di Camerino

(*alta S=12, media S=9 e bassa sismicità S=6*). In conseguenza di questa classificazione la Regione Marche ha emanato la L.R 33/1984 "Norme per le costruzioni in zona sismica" a cui ha fatto seguito la Circolare 15/1990 che classificava i comuni della regione su tre livelli di rischio sismico, A (elevato) , B (medio), C (basso) come rappresentati in figura 8, facendo ricadere il comune di Camerino nel livello di rischio elevato.

Successivamente, l'aggiornamento della classificazione sismica nazionale, stabilita con Ordinanza 3274 del 20.03.2003, recepita dalla Regione Marche con

DGR 1046 del 29.07.2003 e aggiornata con DGR 136 del 17.02.2004, distingue il comune di Camerino nella Zona 2, come riportato graficamente nella mappa di cui all'allegato B dell'Ordinanza 3519 del 28.04.2006 (figura 9), assegnando poi con l'Ordinanza 3907 del 13.11.2010 - allegato 7, un valore di base di accelerazione massima del suolo a_g pari a 0,217273.

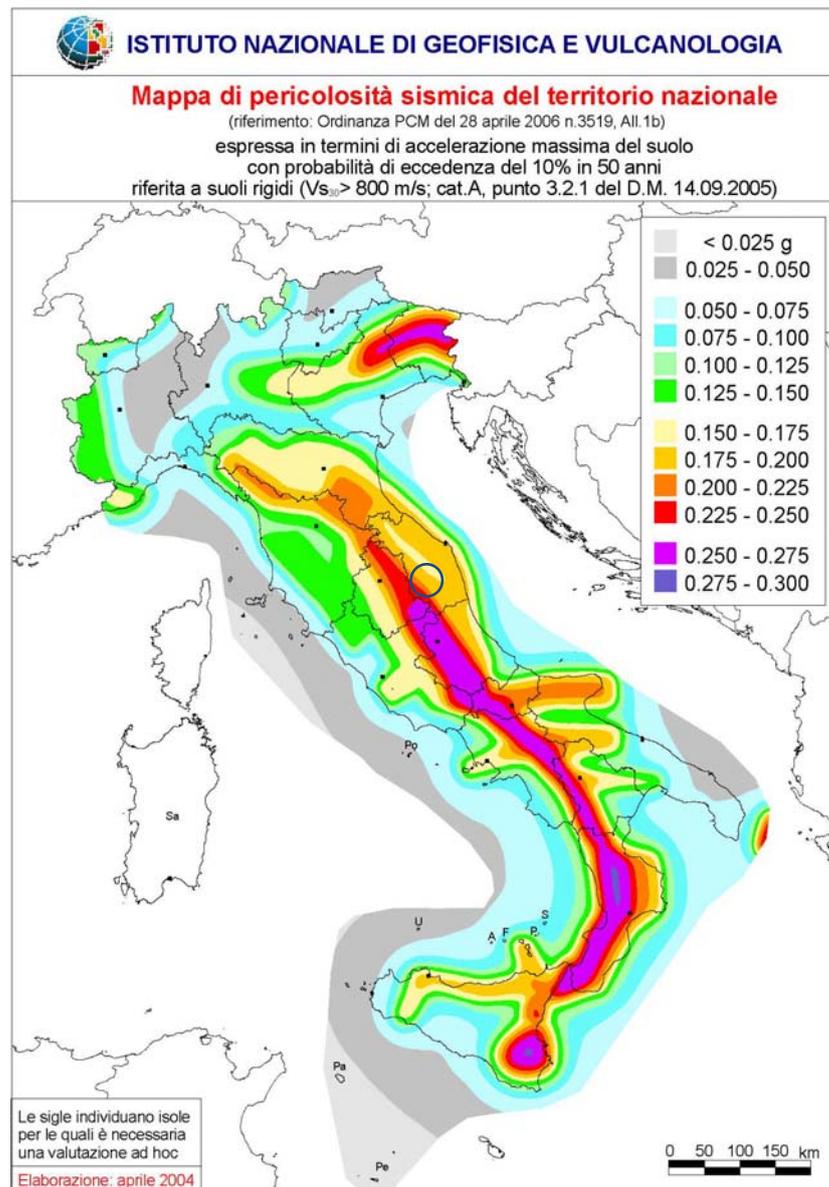


Figura 9: Il cerchio blu indica il territorio comunale Camerino

Relativamente alle costruzioni, l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione dalle NTC 2018,

viene definita a partire dalla “*pericolosità sismica di base*” del sito di costruzione. Questa si può ritenere precisata quando vengono designati un’accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti in condizioni di campo libero su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), con superficie topografica orizzontale.

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

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

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

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

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

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

9.4. Risposta sismica e stabilità del sito

Come detto i valori dei parametri sopra elencati derivano da situazioni geologiche equivalenti ad un sito con assenza di effetti locali, ovvero con presenza di substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante o subaffiorante ed in condizioni morfologiche pianeggianti. Nella realtà il moto generato da un sisma in un

determinato sito dipende anche dalle particolari condizioni locali e cioè: conformazione morfologica (superficiale e sepolta), assetto stratigrafico dei terreni e degli ammassi rocciosi e relative proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono, caratteristiche idrogeologiche, presenza di cavità. Tutti questi elementi contribuiscono a determinare modifiche alla propagazione di un segnale sismico (risposta sismica locale) potendo generare nell'area di nostro interesse amplificazioni del moto del suolo e/o ulteriori elementi di pericolosità come liquefazione dei terreni sabbiosi saturi, compattazione dei terreni granulari non saturi, fenomeni di instabilità dei pendii, sia rapidi (crolli e colate) sia lenti (scivolamenti e deformazioni), e subsidenza. Vanno quindi valutati gli effetti amplificativi della risposta sismica locale e gli effetti topografici, nonché esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di instabilità o di grandi deformazioni.

Per ciò che riguarda più strettamente la definizione dell'*azione sismica di progetto* si deve valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, tramite studi specifici di risposta sismica locale (v. *Risposta sismica e stabilità del sito*, Cap. 7.11.3). In assenza di tali analisi si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II) e sulle condizioni topografiche (Tab. 3.2.III) verificando:

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

9.5. Categoria del suolo di fondazione

L'elaborazione dei dati delle prospezioni sismiche ad uopo eseguite permette di stimare la velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio V_s

utilizzando la seguente formula:

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

dove:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

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

N = numero di strati;

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

Per le zone in cui la profondità del substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) è inferiore a 30 metri, la velocità delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita ponendo nella precedente espressione H uguale alla profondità del substrato stesso, considerando quindi le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità; diversamente, qualora la profondità del substrato sismico risultasse superiore a 30 metri allora la velocità delle onde di taglio verrebbe definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo nella precedente espressione $H=30$ metri.

La situazione sismostratigrafica individuata fa rilevare, in linea generale, valori delle V_s crescenti senza comunque raggiungere, almeno fino alla profondità di 30mt, gli 800 m/s (vedere indagine sismica allegata).

Ora, applicando la formula 3.2.1 delle NTC ai dati di cui al profilo sismostratigrafico ottenuto dalla prova eseguita, si calcola la seguente velocità media con il metodo diretto delle onde sismiche nei primi 30 metri di terreno:

$$V_{S30} = 412 \text{ m/s}$$

I terreni descritti nel capitolo 5, vengono pertanto classificati, come previsto dal *Testo Unico*, in base alle categorie di suolo di fondazione che vengono appresso riportate:

A - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per quanto sopra detto, il terreno di fondazione si può associare, utilizzando il metodo semplificato, alla categoria:

B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti
----------	--

9.6. Coefficiente di amplificazione topografica

Dato che l'edificio oggetto di intervento impegna una zona in cui si raggiungono acclività di poco superiori a 15°, in base alla tabella 3.2.III del cap. 3.2 delle NTC, questa è ascrivibile alla categoria **T2** applicando, in riferimento alla tabella 3.2.V del cap. 3.2 delle NTC, un valore del *coefficiente di amplificazione topografica* $S_T = 1,2$.

9.7. Azione sismica

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



Figura 10: reticolo sismico di riferimento e posizione della zona di indagine.

Il *Periodo di riferimento* V_R è calcolato in funzione della *Vita nominale* V_N dell'opera da realizzare e del *Coefficiente d'uso* C_U dipendente dalla sua classe d'uso. Nel caso specifico, trattandosi di un fabbricato di civile abitazione la vita nominale, definita come il numero di anni nel quale essa, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, viene definita pari a 50 anni. Per ciò che concerne la classe d'uso rientra nella 2 da cui deriva un coefficiente d'uso pari a 1.

La tabella di seguito allegata è stata elaborata per i calcoli delle fondazioni.

Parametri sismici per le fondazioni

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

Sito in esame.

latitudine: 43,167253 [°]
longitudine: 13,081321 [°]

Classe d'uso: **II** – *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti*
Vita nominale: **50** [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	22749	43,184200	13,078660	1896,7
Sito 2	22750	43,184420	13,147210	5673,7
Sito 3	22972	43,134430	13,147510	6492,4
Sito 4	22971	43,134190	13,079010	3681,2

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **B**
Categoria topografica: **T2**
Periodo di riferimento: **50 anni**
Coefficiente cu: **1**

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	Ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,063	2,458	0,277
Danno (SLD)	63	50	0,078	2,461	0,288
Salvaguardi a della vita (SLV)	10	475	0,185	2,514	0,330
Prevenzion e dal collasso (SLC)	5	975	0,236	2,560	0,339

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,420	1,200	0,018	0,009	0,888	0,200
SLD	1,200	1,410	1,200	0,023	0,011	1,109	0,200
SLV	1,200	1,370	1,200	0,064	0,032	2,616	0,240
SLC	1,160	1,370	1,200	0,092	0,046	3,223	0,280

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

9.8. Suscettibilità alla liquefazione

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

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

dove:

c = coesione del terreno

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità di indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno

è evidente che la grandezza τ si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

a) $c = 0$

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

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

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

Questo fenomeno è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno

incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N .

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

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

Come prescritto dalle N.T.C. 2018 (par. 7.11.3.4) il sito in cui è ubicato un manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione. Qualora non lo fosse e gli effetti ipotizzati tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati profondi non soggetti a liquefazione.

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

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace

verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 11 **a** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 11 **b** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

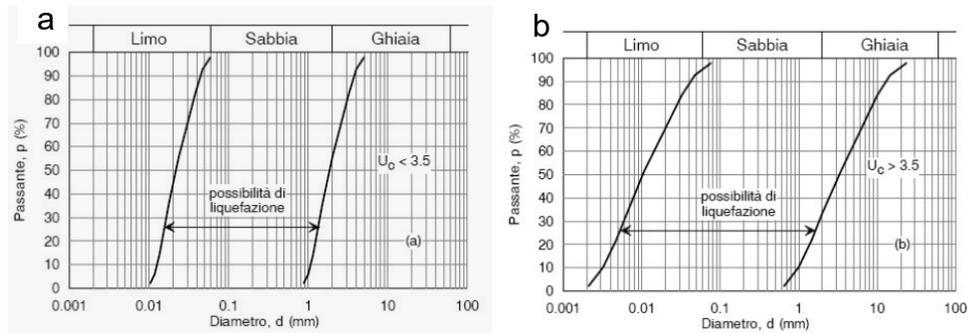


Figura 11: fusi granulometrici di riferimento.

Le caratteristiche idrogeologiche (assenza della falda) e geotecniche dei terreni di appoggio del fabbricato (argille marnose sovraconsolidate ed a comportamento coesivo), rendono non necessaria la verifica alla liquefazione.

9.9. Frequenza fondamentale del sito

Come già detto, conoscere la frequenza di risonanza di un sito è di fondamentale importanza poiché una delle cause di danneggiamento strutturale in occasione di un terremoto è data dal fenomeno della doppia risonanza, cioè coincidenza di frequenze tra struttura e sottosuolo.

Una struttura si ritiene salva dalla possibilità di doppia risonanza col terreno solo quando la frequenza propria differisce (mediamente entro un 30%) da quelle principali del terreno. Riguardo tale aspetto l'acquisizione dei microtremori ha messo in evidenza la presenza di contrasti di impedenza sismica con picco e frequenza significativi.

Il picco e la relativa ampiezza segnalati nella relazione di prospezione sismica allegata sono i seguenti:

$$f_0 = 8,1 \text{ Hz}, \quad A_0 = 3,4 \text{ H/V}$$

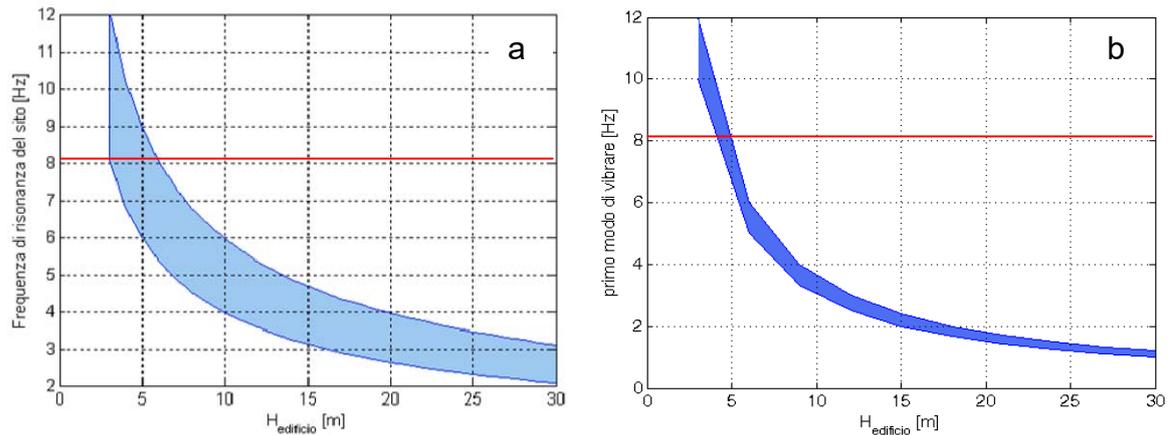


Figura 12: Relazione tra frequenze del primo modo flessionale di vibrare ed altezza di edifici: a) in cemento armato, b) in muratura

Dai grafici di figura 12, che evidenziano la relazione tra primo modo flessionale di vibrare e le altezze di strutture in c.a. e muratura, si deduce che per l'edificio in oggetto, descritto nel grafico b) in quanto realizzato in muratura portante e di altezza media di circa 8 metri, si potrebbero determinare fenomeni di doppia risonanza ovvero di concordanza tra la frequenza di risonanza del terreno (linea rossa del grafico) e quella del fabbricato.

Nel contesto degli studi per la mitigazione degli effetti dei terremoti è ormai opinione concorde che le azioni sismiche di progetto per le costruzioni debbano tener conto anche di questo ulteriore tipo di informazione.

10. DESCRIZIONE DEL FABBRICATO E DELLE FONDAZIONI

Il fabbricato in oggetto, costruito nella prima metà nel secolo scorso con struttura in muratura portante, è stato realizzato immediatamente a valle della strada di accesso alla frazione di Tuseggia tramite l'esecuzione di uno sbancamento con il quale è stata asportata la totalità dei depositi di copertura, per cui le murature portanti poggiano direttamente sui litotipi del substrato da poco alterato ad integro.

Composto da un piano seminterrato, da un primo piano posto al livello della strada suddetta e da un sottotetto parzialmente praticabile, il fabbricato misura circa 15 metri di lunghezza, 4,5 di larghezza, per un'altezza, al culmine del tetto, di 8

metri.

11. CONCLUSIONI

L'indagine eseguita ha avuto come indirizzo quello di consentire una conoscenza delle condizioni geologico-stratigrafiche, geotecniche ed idrogeologiche del sottosuolo, necessarie alla progettazione dell'intervento di ricostruzione dell'edificio seriamente danneggiato dalle scosse sismiche susseguitesesi dalla fine di ottobre 2016.

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

Non sono state ravvisate interazioni dirette dell'edificio ne con il reticolo idrografico naturale, ne con il regime idrogeologico sotterraneo.

Per ciò che concerne le caratteristiche stratigrafiche, al di sotto del piano di sbancamento originario si rinvengono i litotipi del substrato, definibili come roccia lapidea tenera, dotata peraltro di ottime caratteristiche geotecniche, sui quali poggiano le strutture di fondazione dell'edificio.

Questa situazione stratigrafica, unita all'assenza della falda, esclude problematiche legate alla liquefazione dei terreni.

La caratterizzazione sismica eseguita con il metodo semplificato ha definito, per il sito in studio, un suolo di categoria "B".

Geol. Marcello Maccari

Tab. 2 Valori caratteristici e di progetto per i terreni

LITOTIPO 2: Substrato poco alterato/integro

5° percentile distribuzione della media

(fondazioni superficiali, con B grande)

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

	G	γ g/cmc	K σ	ϕ	Ed (Kg/cm ²)	E (Kg/cm ²)	cu (Kg/cm ²)
Xik		2,20		32,92	194,51		2,63
Xdl		2,20		27,39	138,94		1,88

MOLTI DATI (≥ 5)

Per Cu c' e Ed
metodo di Angus

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

Per (Φ)

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0,95} \left(\frac{S}{\sqrt{n-1}} \right)$$

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

POCHI DATI (<5)

Per Cu c' e Ed
metodo di Cox

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

Per (Φ)

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

Per C' e Cu con n=1

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

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

5° percentile distribuzione del campione

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

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

	G	γ g/cmc	K σ	ϕ	Ed (Kg/cm ²)	E (Kg/cm ²)	cu (Kg/cm ²)
Xik		2,20		29,97	147,35		1,99
Xdl		2,20		24,77	105,25		1,42

MOLTI DATI (≥ 5)

Per Cu c' e Ed

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

Per (Φ)

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

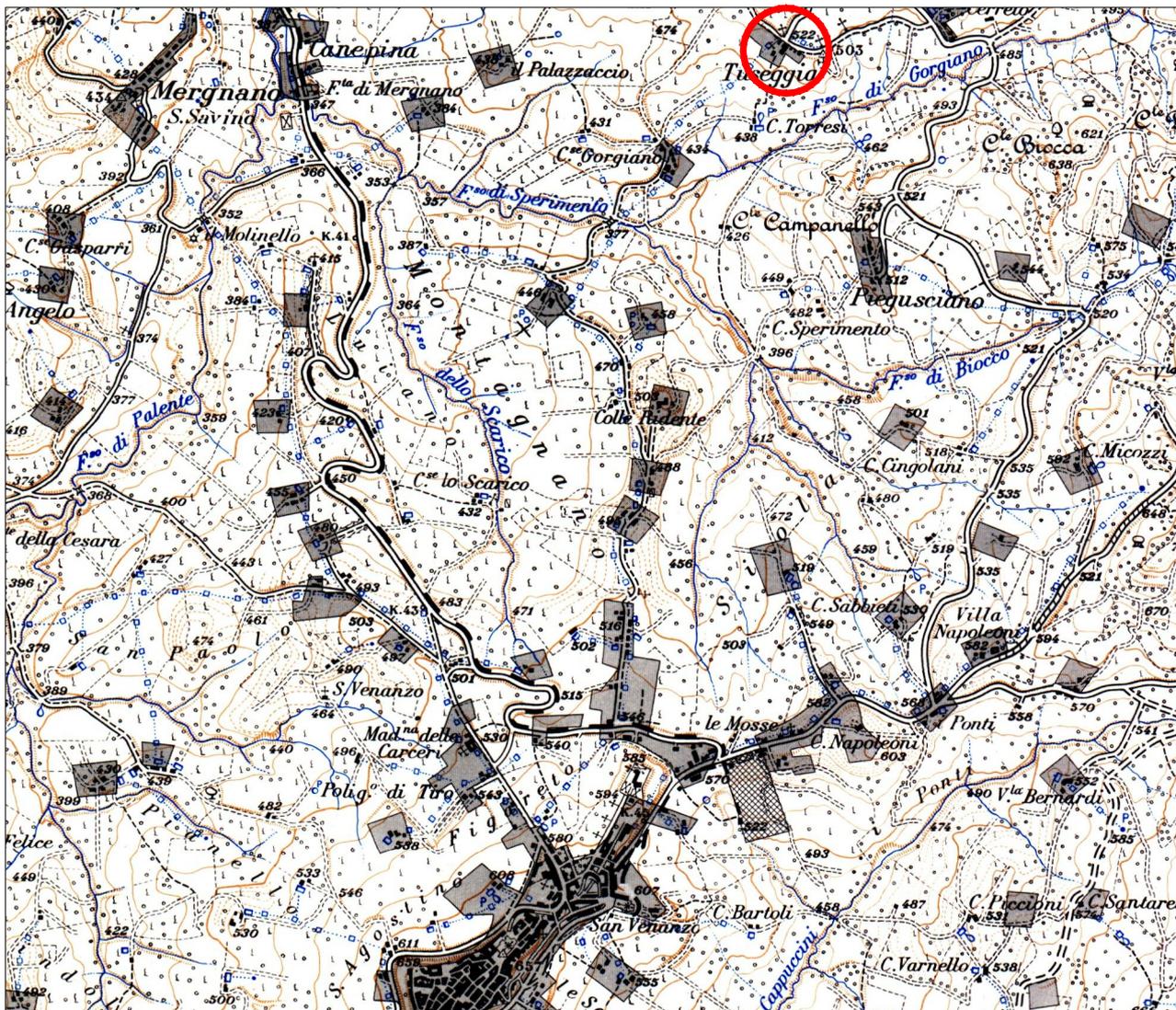
POCHI DATI (<5)

Per Cu c' e Ed

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

Per (Φ)

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



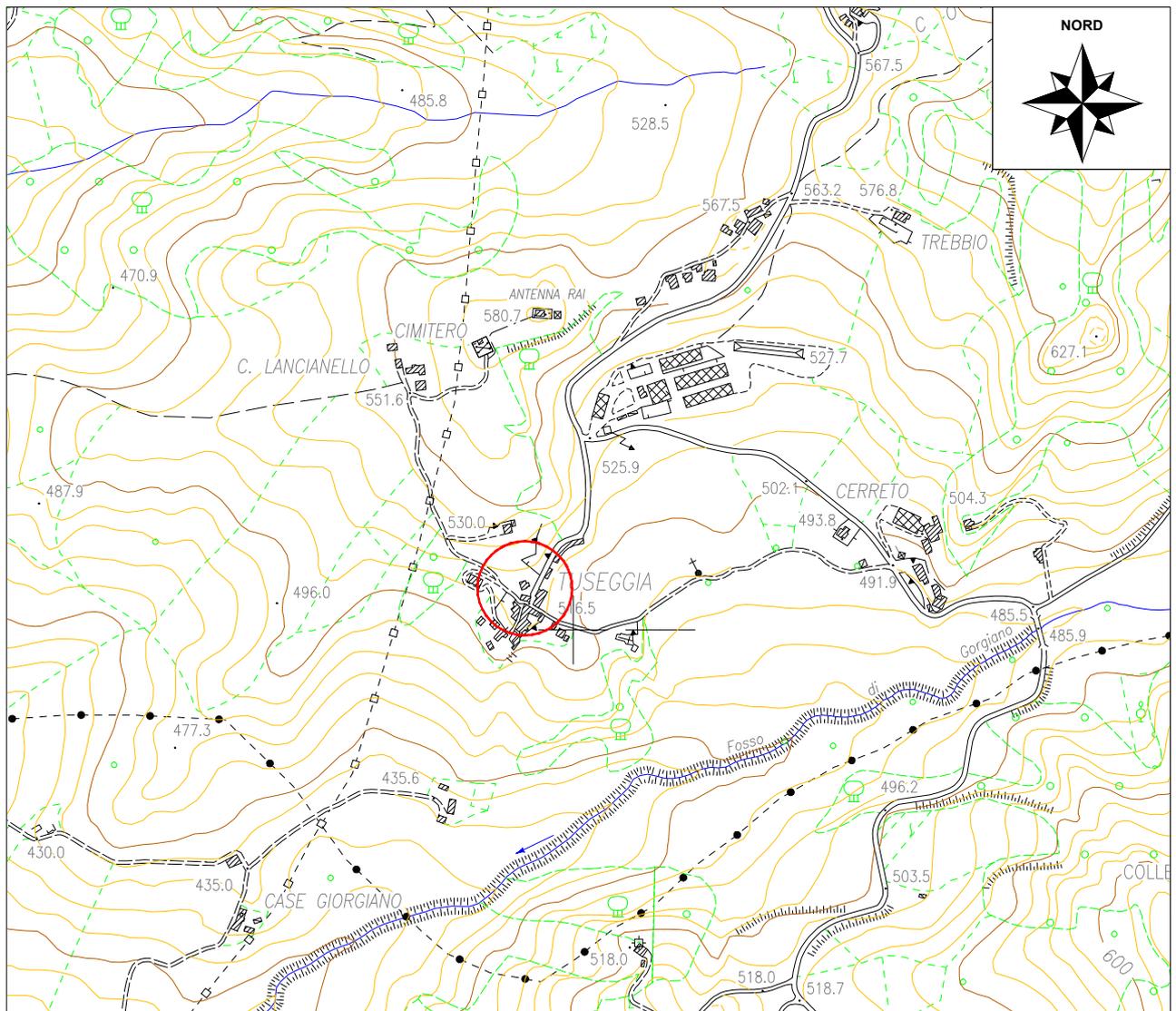
COROGRAFIA

Foglio 124 III-NO

(scala 1:25.000)



Area di intervento



CTR Carta Tecnica Regionale

Sezione n 313010

scala 1:10.000

 Area in studio

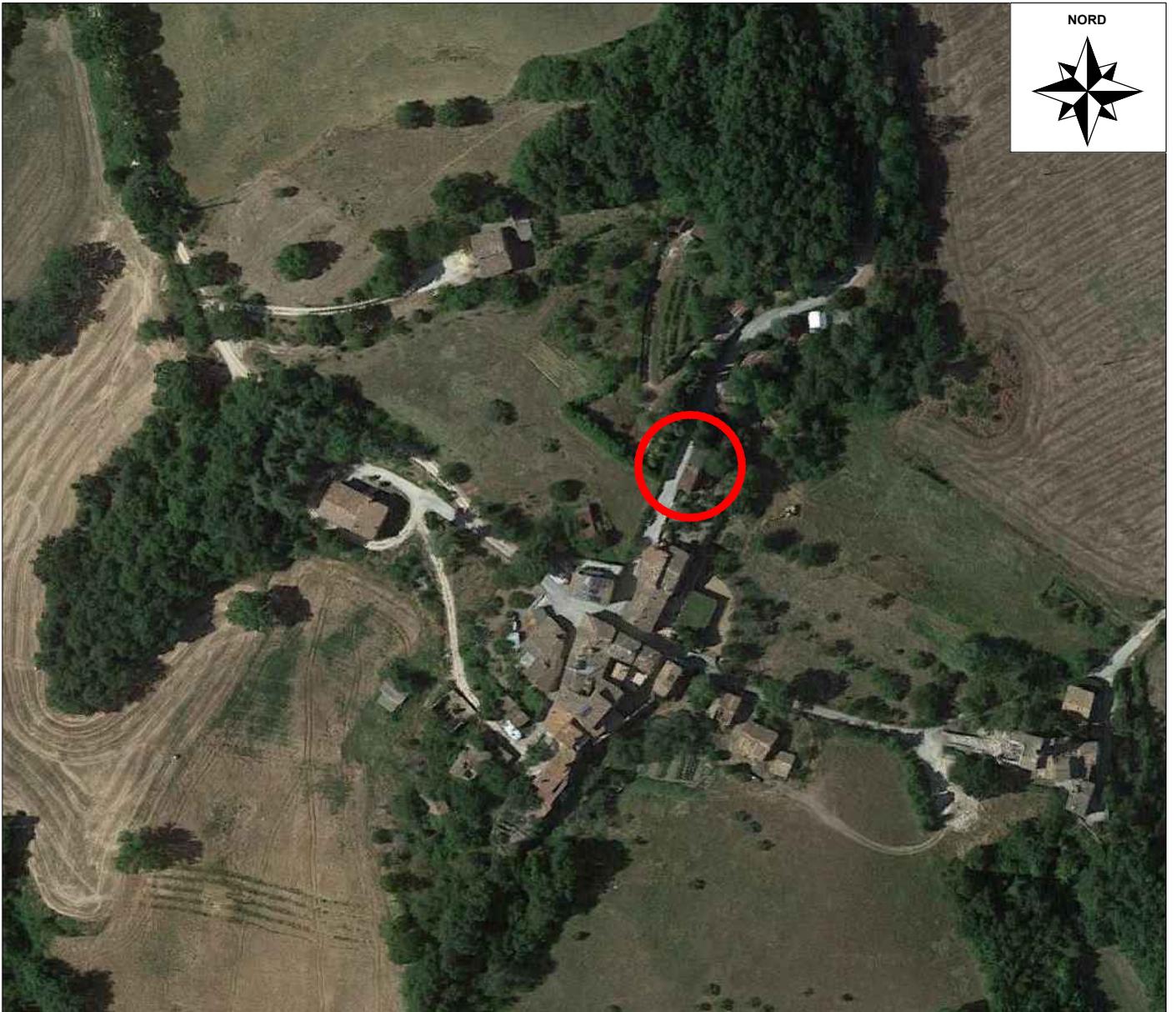


Foto aerea
(scala 1:2.000)



Area in studio

Legenda carta geologica

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI VERSANTE MARCHIGIANO

SISTEMA DEL MUSONE (OLOCENE)



MUSa1 Frane in evoluzione



MUSb2 Depositi eluvio-colluviali

SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA SUCCESSIONE MIOCENICA



FClc FORMAZIONE DI CAMERINO
litofacies arenacea
Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.



FCld FORMAZIONE DI CAMERINO
litofacies arenaceo-pelitica
Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.



FCle FORMAZIONE DI CAMERINO
litofacies pelitico-arenacea
Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.



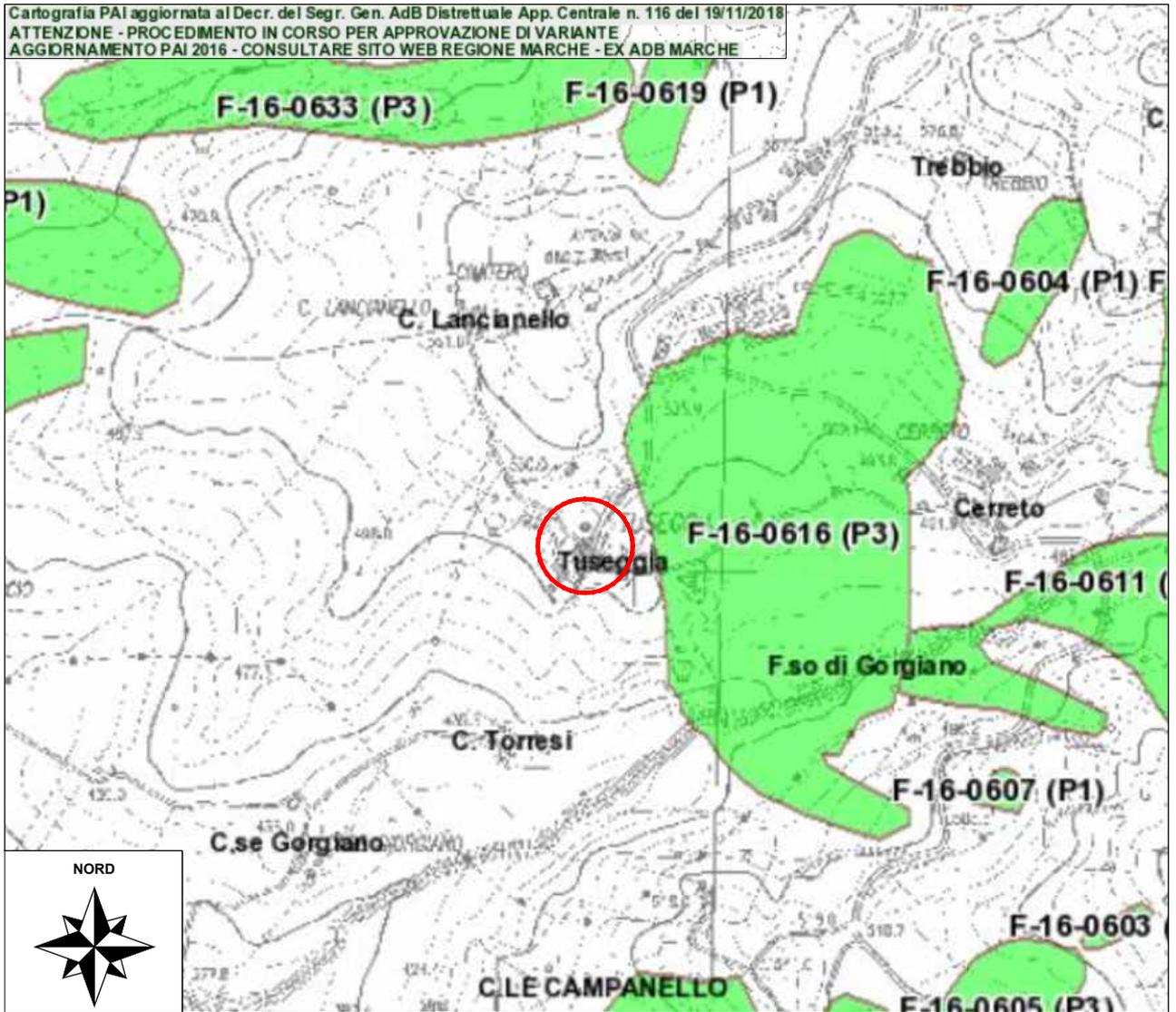
Stratificazione diritta



Stratificazione orizzontale diritta



Stratificazione rovesciata



Stralcio Cartografia PAI
 Stampa dal sito dell'AdB delle Marche

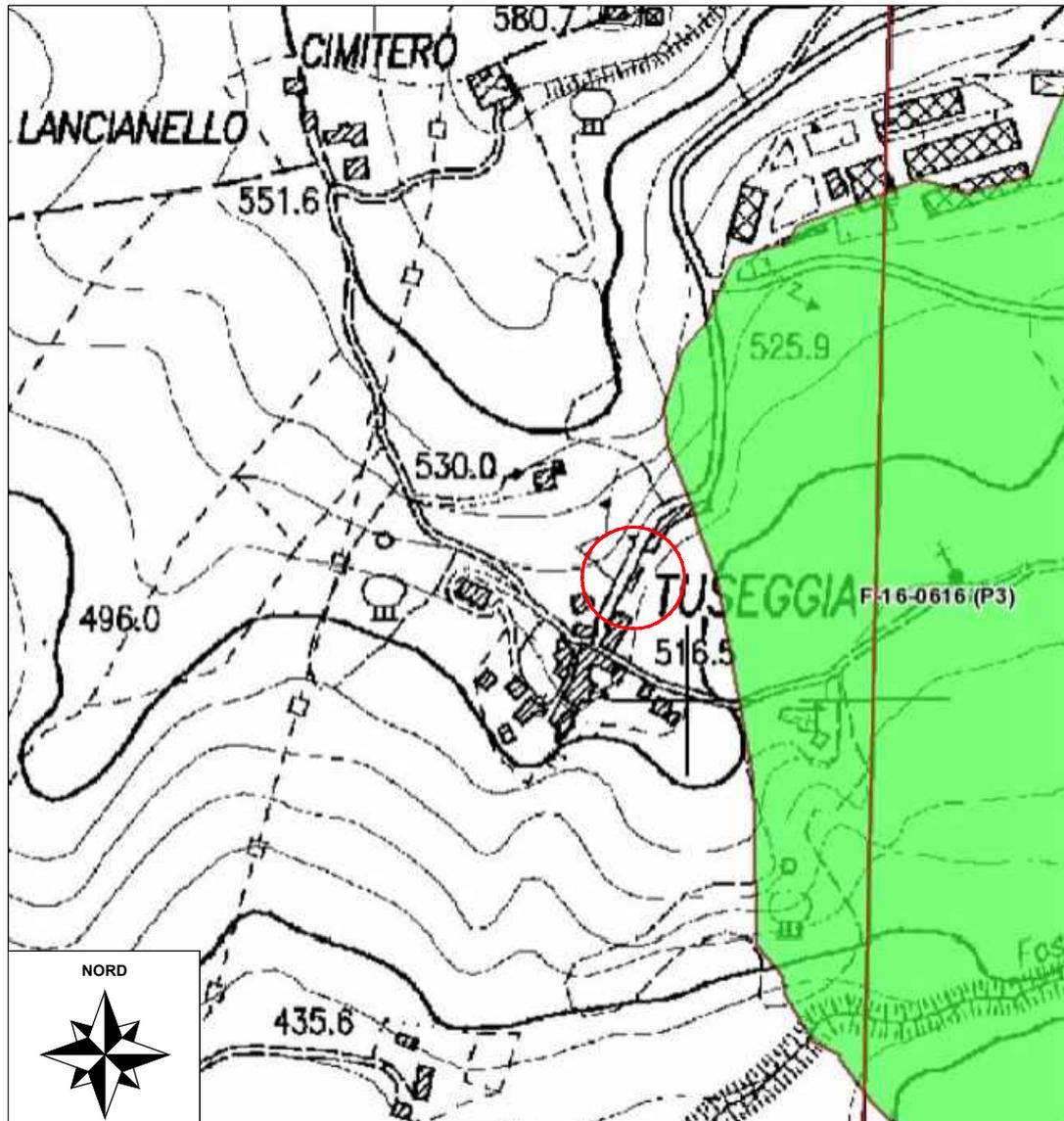
AREE A RISCHIO FRANA
 (Codice F - XX - XXXX)



Rischio moderato (R1)



Area in studio



Stralcio Cartografia PAI - Aggiornamento 2016
Stampa dal sito dell'AdB delle Marche
Scala 1:5.000

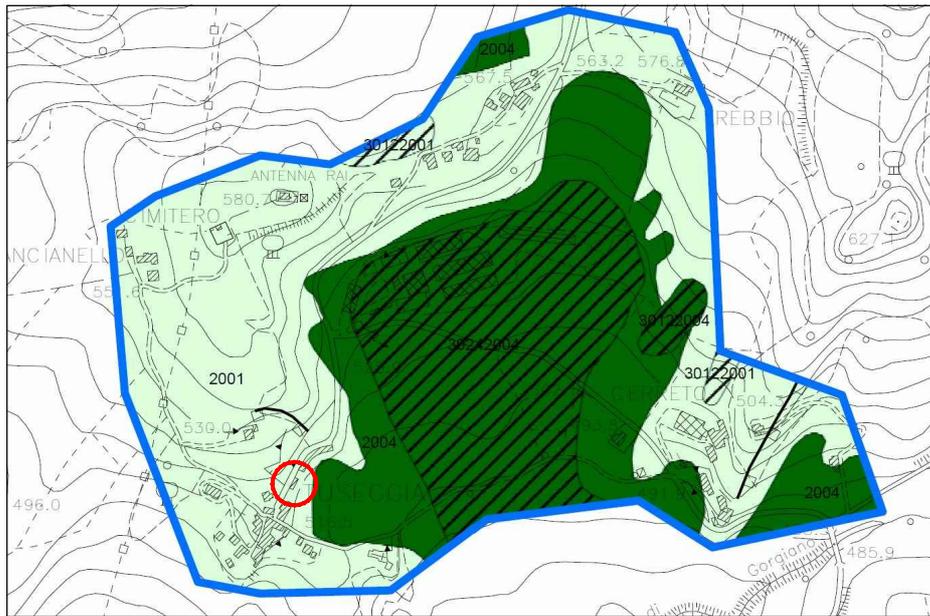
AREE A RISCHIO FRANA
(Codice F - XX - XXXX)



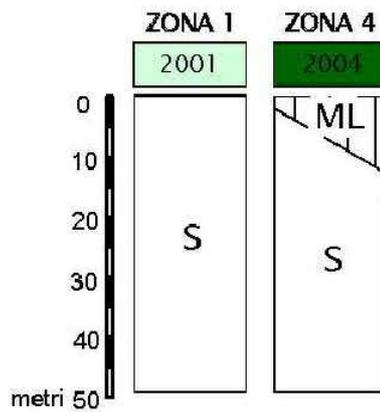
Rischio moderato (R1)



Area in studio



ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



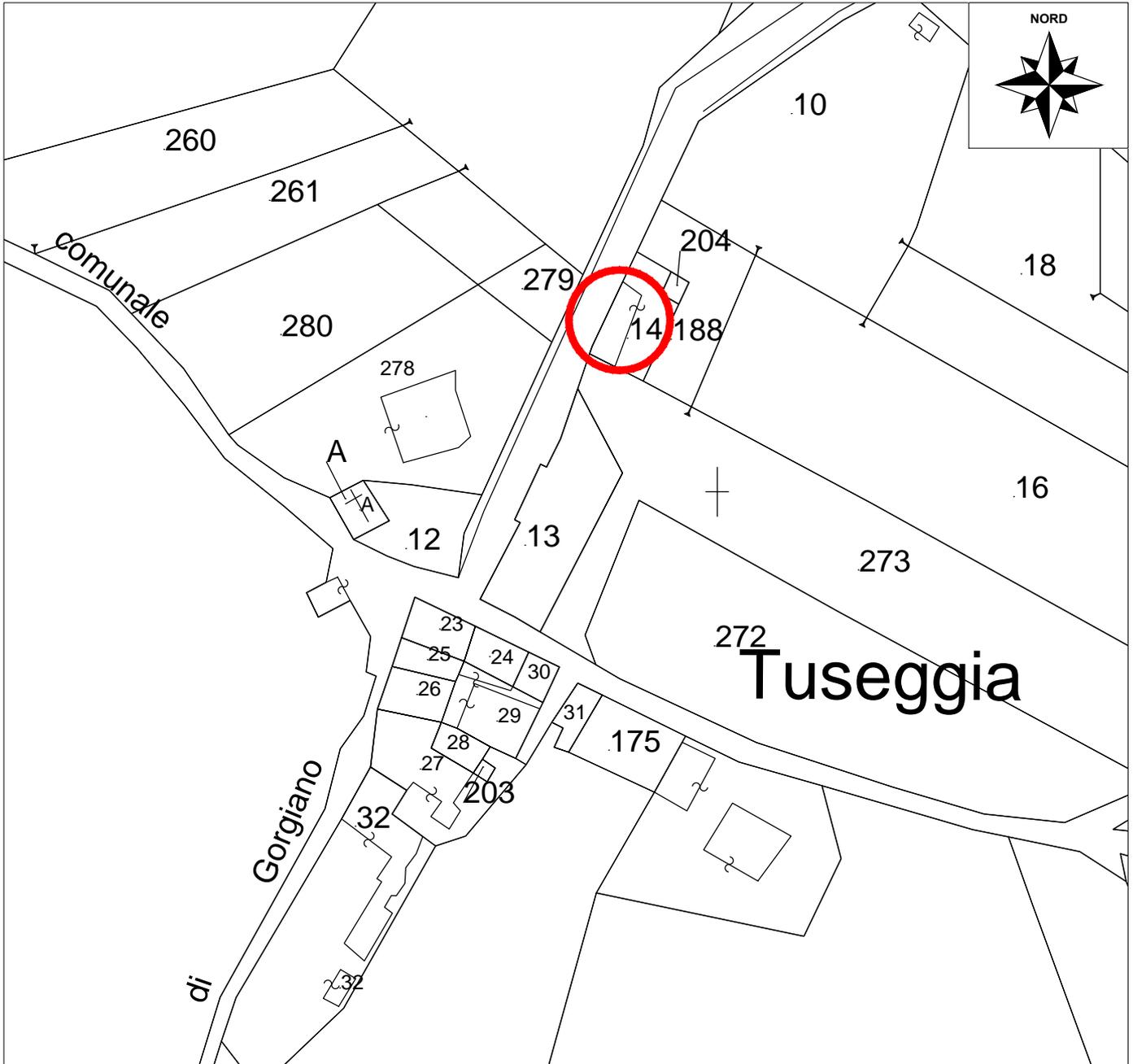
Zone di attenzione per instabilità di versante



CARTA DELLE MOPS

Microzonazione sismica di livello 1
 (scala 1:10.000)

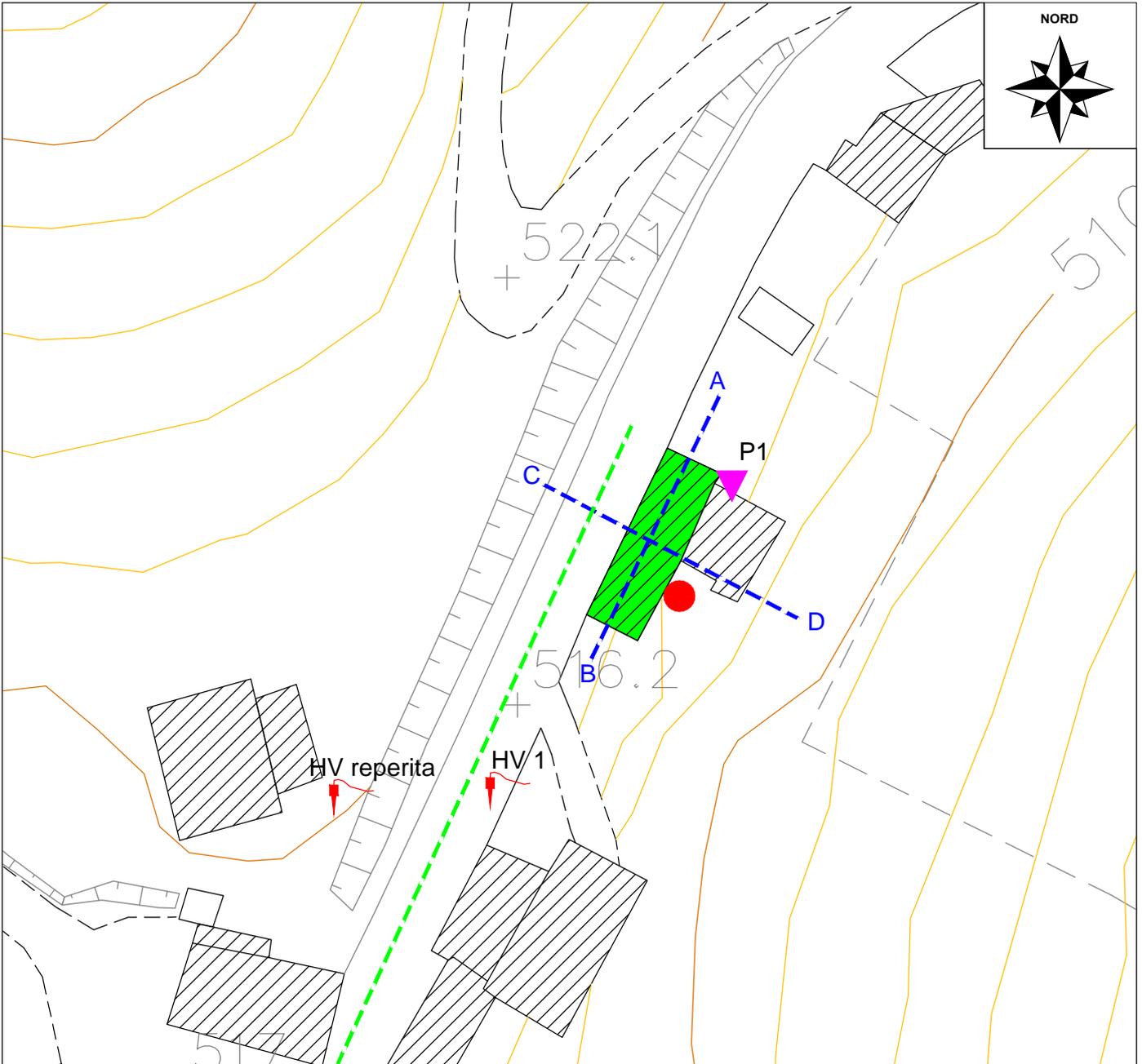
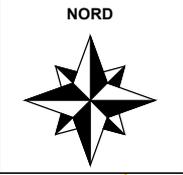
 Area in studio



PLANIMETRIA CATASTALE
(scala 1:1.000)

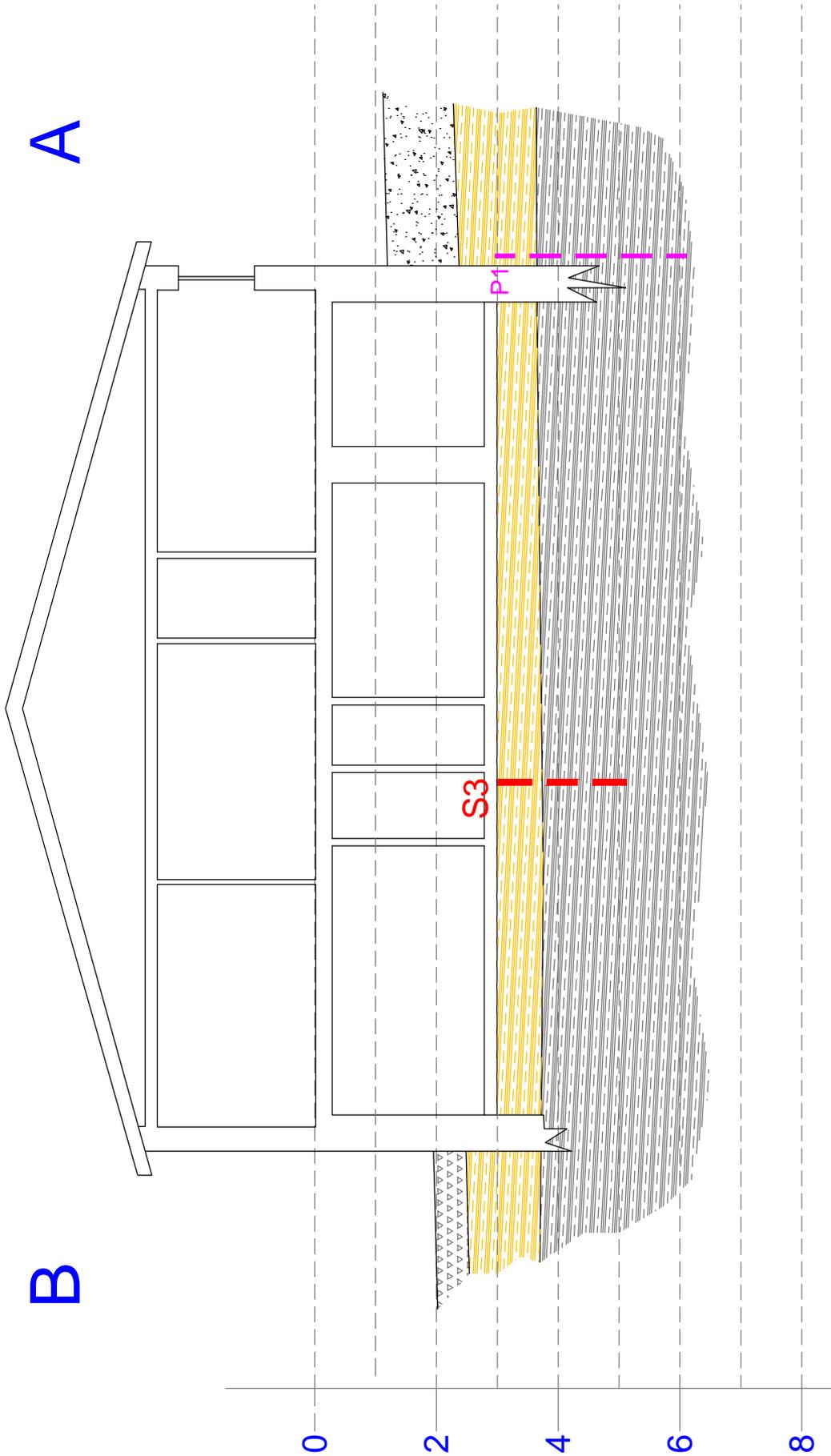
Foglio 20 - Particella 14

 Fabbricato oggetto di intervento



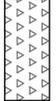
Planimetria indagini
 (scala 1:500)

-  Edificio oggetto di intervento
-  Sondaggio geognostico reperito
-  Prova penetrometrica
-  HV
Prospezione sismica passiva HVSR
-  Prospezione sismica attiva MASW
-  Traccia di sezione litostratigrafica



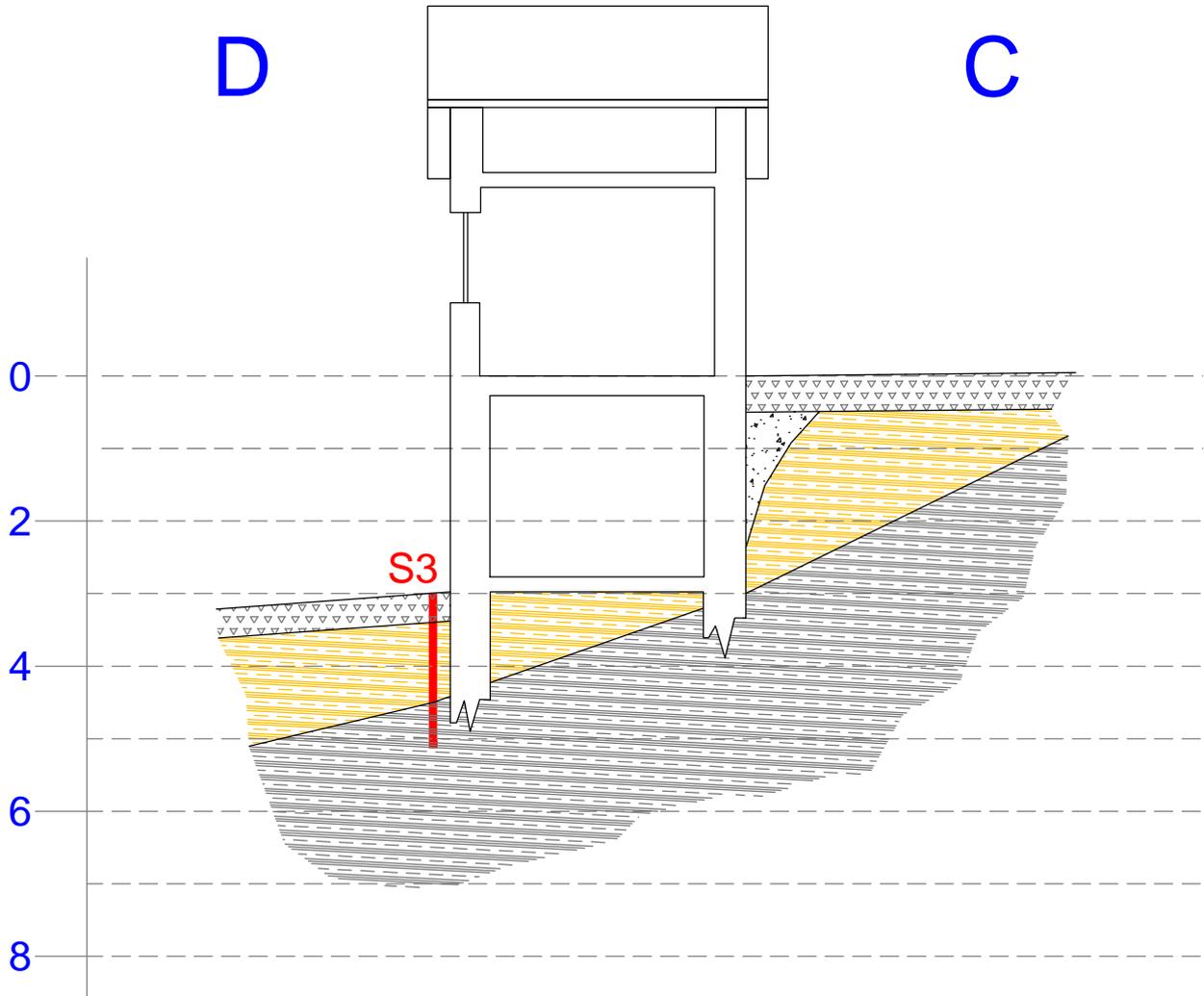
Sezione litostratigrafica

scala 1:200

LEGENDA	
	Massicciata
	Terrano di riporto
	Substrato alterato
	Substrato integro
	Sondaggio geognostico (in tratteggio la proiezione)
	Prova penetrometrica (in tratteggio la proiezione)

SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA

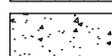
Scala 1:100



LEGENDA



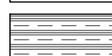
Massicciata



Terreno di riporto



Substrato alterato



Substrato integro

S1



Sondaggio geognostico
(in tratteggio la proiezione)

P2



Prova penetrometrica
(in tratteggio la proiezione)



SGA STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO

SONDAGGIO n.

COMMITTENTE: Strina Fortunato

LOCALITA' : Tuseggia

COMUNE : Camerino

DATA:

Metodo di perforazione : Scavo

Ø di perforazione : mm.

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

Spess. STRATI	PROFONDITA' IN METRI	STRATIGRAFIA	% CAROTTAGGIO	CAMPIONI PROFONDITA' CAMPIONI	DESCRIZIONE	POCKET PENETROMETER	VANE TEST		STANDARD PENETRATION TEST		H ₂ O
							valore max	valore residuo	m.	colpi	
1,5	1,5				Argille marnose avana con livelli sabbiosi giallastri (formazione alterata)						
					Argille marnose grigio scure con livelli sabbiosi grigi (formazione integra)						
<p>SONDAGGIO REPERITO</p>											



AB Geo

Indagini geofisiche e geotecniche

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH



Comune: Camerino (MC)

Località: Tuseggia

Committente: Sig.ra Maccari Simonetta

Data: 02/03/2019

INTRODUZIONE

Per il sito individuato presso la località Tuseggia – Comune di Camerino (MC), su incarico del Dott. Geol. Maccari Marcello, su commissione della Sig.ra Maccari Simonetta, è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica DPSH al fine di caratterizzare i terreni presenti nell'area.

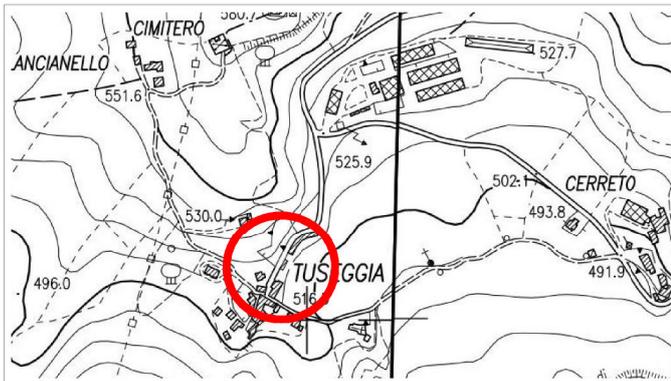


Fig. 1: Stralcio unione CTR 313010 "Collina" e CTR 313020 "Letegge" e ubicazione area d'indagine



Fig. 2: Foto aerea con ubicazione indicativa punti d'indagine.¹

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 ²
Diametro Punta Conica	51,00 mm	Altezza Manicotto Laterale	13,3 cm
Area di Base Punta	20,43 cm ²	Superficie Manicotto	150 cm ²
Avanzamento Punta	20 cm	Passo	20 cm
Angolo di Apertura Punta	90 °	Peso Manicotto Ancoraggio	2 Kg



¹ - Tutte le foto aeree del presente elaborato sono reperite tramite Google.

PROVA DPSH

Luogo Esecuzione:	Loc. Tuseggia Camerino (MC)	
Profondità raggiunta:	6,2 metri	
Note:	-	

LETTURE

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (kg/cm ²)	Res. dinamica (kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,98	10,51	0,45	0,53
0,40	6	0,851	53,64	63,04	2,68	3,15
0,60	6	0,847	49,01	57,86	2,45	2,89
0,80	5	0,843	40,66	48,22	2,03	2,41
1,00	5	0,840	40,49	48,22	2,02	2,41
1,20	5	0,836	40,32	48,22	2,02	2,41
1,40	7	0,833	56,22	67,50	2,81	3,38
1,60	10	0,830	73,92	89,11	3,70	4,46
1,80	11	0,826	81,00	98,02	4,05	4,90
2,00	10	0,823	73,35	89,11	3,67	4,46
2,20	12	0,820	87,70	106,93	4,38	5,35
2,40	13	0,767	88,87	115,84	4,44	5,79
2,60	15	0,764	94,94	124,23	4,75	6,21
2,80	18	0,761	113,51	149,07	5,68	7,45
3,00	19	0,759	119,38	157,35	5,97	7,87
3,20 Valore non considerato	58	0,606	291,09	480,34	14,55	24,02
3,40	21	0,703	122,33	173,92	6,12	8,70
3,60	16	0,751	92,93	123,77	4,65	6,19
3,80	20	0,748	115,79	154,71	5,79	7,74
4,00	18	0,746	103,88	139,24	5,19	6,96



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (kg/cm ²)	Res. dinamica (kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kg/cm ²)
4,20	22	0,694	118,05	170,18	5,90	8,51
4,40	26	0,691	139,06	201,12	6,95	10,06
4,60	25	0,689	125,04	181,42	6,25	9,07
4,80	36	0,637	166,44	261,25	8,32	13,06
5,00	27	0,685	134,22	195,94	6,71	9,80
5,20	27	0,683	133,83	195,94	6,69	9,80
5,40	42	0,581	177,10	304,79	8,85	15,24
5,60	69	0,579	273,09	471,55	13,65	23,58
5,80	64	0,577	252,49	437,38	12,62	21,87
6,00	53	0,575	208,44	362,21	10,42	18,11
6,20	>71	0,574	278,38	485,22	13,92	24,26

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.

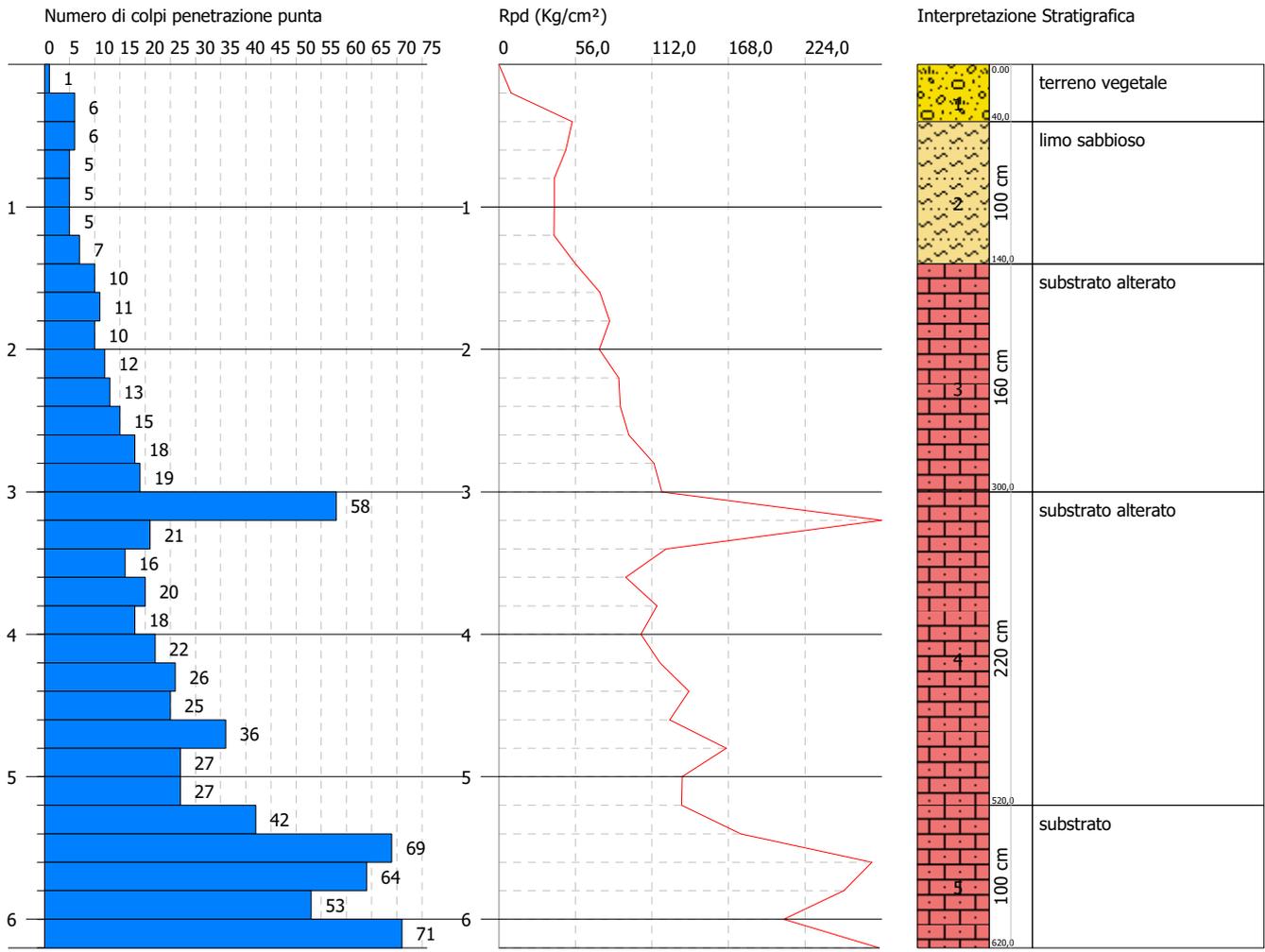
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (kg/cm ²)	Tipo	Tensione efficace (kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,0 - 0,4	3,5	36,78	∩∩∩	∩∩∩	1,47	5,14	terreno vegetale
0,4 - 1,4	5,6	54	Incoerente - coesivo	0,1	1,47	8,23	limo sabbioso
1,4 - 3,0	13,5	116,21	Incoerente - coesivo	0,36	1,47	19,85	substrato alterato
3,0 - 5,2	23,8	179,75	Incoerente - coesivo	0,78	1,47	34,99	substrato alterato
5,2 - 6,2	>59,8	∩∩∩	Incoerente - coesivo	∩∩∩	1,47	>87,91	substrato

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

Committente: Sig.ra Maccari Simonetta
 Descrizione: Penetrometriche DPSH
 Località: Tuseggia - Camerino (MC)

Data: 02/03/2019

Scala 1:50





AB Geo

Indagini geofisiche e geotecniche

INDAGINI GEOFISICHE

Analisi congiunta MASW Onde di Rayleigh + Onde di Love
Analisi microtremori a stazione singola HVSr



Comune: Camerino (MC)

Località: Tuseggia

Committente: Sig.ra Maccari Simonetta

Data: 02/03/2019

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 Cell. 3802511024 – 3358164581
WWW.ABGEO.ORG

1 - INTRODUZIONE

Le presenti indagini sono state eseguite presso località Tuseggia – Comune di Camerino (MC), su incarico del Dott. Geol. Maccari Marcello, per commissione della Sig.ra Maccari Simonetta, 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 in Onde di Love e una stima delle frequenze d'interesse di sito mediante indagini HVSr.

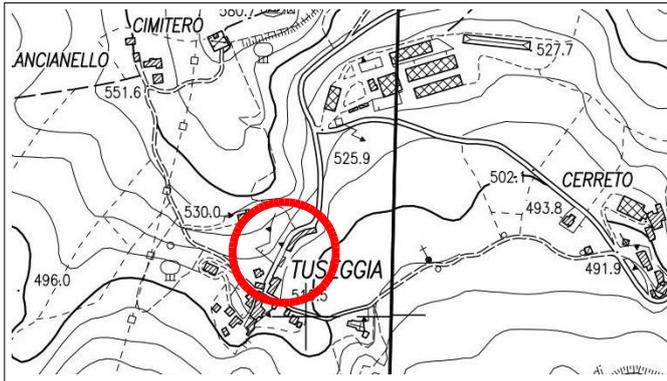


Fig. 1: Stralcio unione CTR 313010 “Collina” e CTR 313020 “Letegge” e ubicazione area d’indagine



Fig. 2: Foto aerea con ubicazione area d’indagine.¹

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	

¹ - 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°) 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 con il terreno.

Sito di Indagine:	Loc. Tuseggia – Camerino (MC)
Lunghezza registrazione:	20 minuti
Frequenza di campionamento:	250 Hz



Fig. 3: Terna triassiale in posto per la misurazione.



Fig. 4: Orientazione terna triassiale.

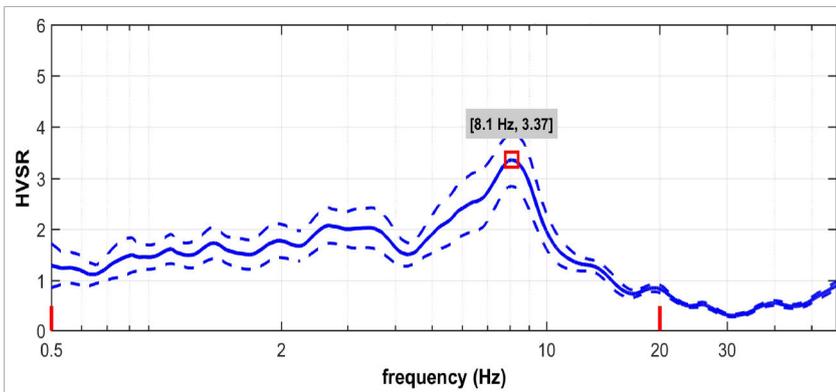


Fig. 5: Curva HVSR .

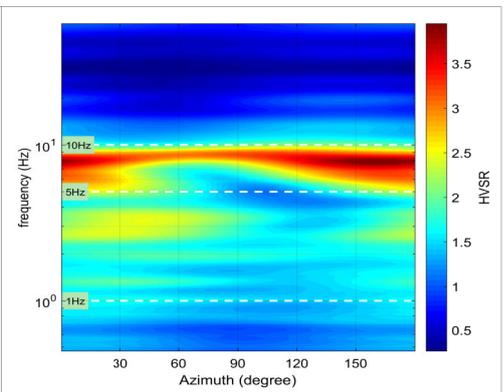


Fig. 6: Direzionalità.

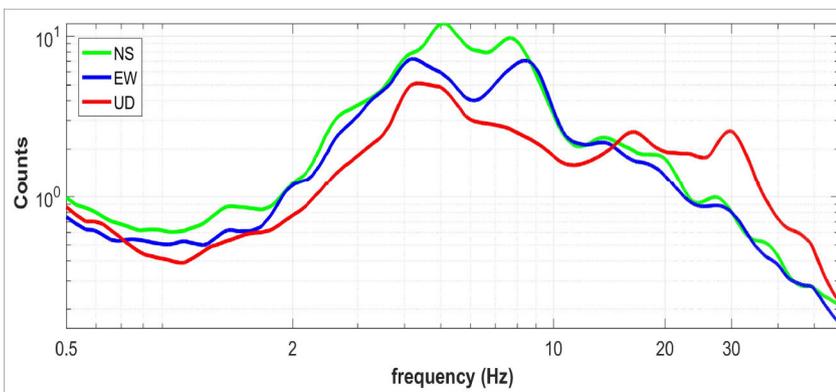


Fig. 7: Spettri delle singole componenti HVSR.

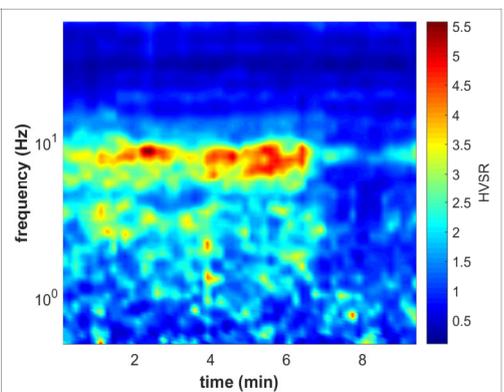


Fig. 8: Persistenza.



CRITERI SESAME HVSR

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$8,098 > 0.5$	OK
$n_c(f_0) > 200$	$9231 > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	-	OK

H/V Peak at $\approx 8,1$ Hz – Peak Value $\approx 3,4$

Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2,2 Hz	OK
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	10,6 Hz	OK
$A_0 > 2$	$3,4 > 2$	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	-	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3,151 > 0,405$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1,042 < 1,58$	OK

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

5 - ACQUISIZIONE MASW

Sito di Indagine:	Località Tuseggia Comune di Camerino (MC)
Lunghezza Stendimento:	55 m
Distanza Intergeofonica:	5 m
Periodo di Campionamento:	125 μ s

N°	Nome	Onda Acquisita	Offset Battuta (m)	Lunghezza acquisizione (μ s)	Stacking n° colpi
1	THFDX5MO5	Love	5	2000	3
2	THFDX5MO7.5	Love	7,5	2000	3
3	ZVFDX5MO5	Rayleigh	5	2000	3
4	ZVFDX5MO7,5	Rayleigh	7,5	2000	3



Fig. 9: Stendimento MASW.



Fig. 10: Ubicazione indicativa stendimento.



Fig. 11: Energizzazione Onde di Rayleigh.



Fig. 12: Energizzazione Onde di Love.

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.

Nello specifico, Fig. 13 vengono illustrati i dataset e Spettro di Velocità relativi alle Onde di Rayleigh , in Fig. 14 i dati relativi alle Onde di Love.

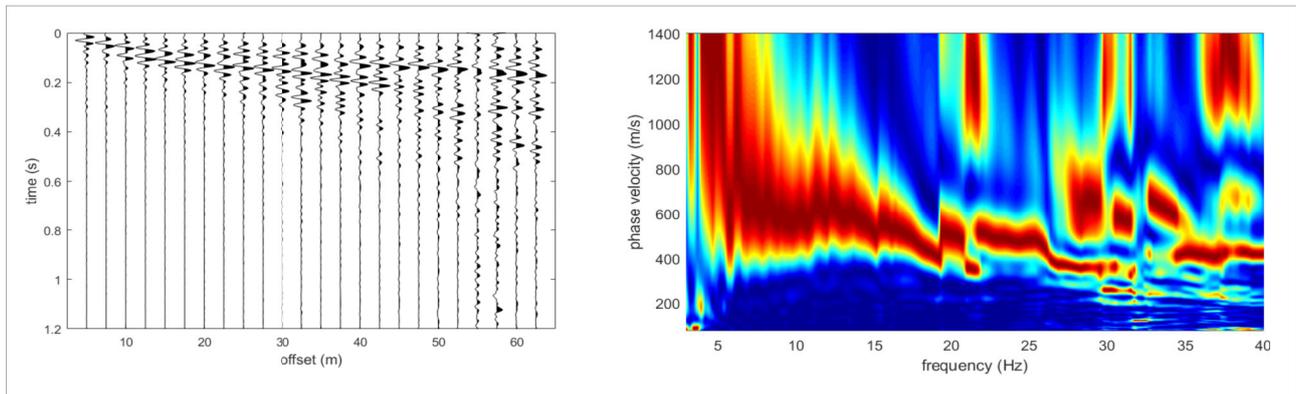


Fig. 13: Dataset e spettro - Onde di Rayleigh.

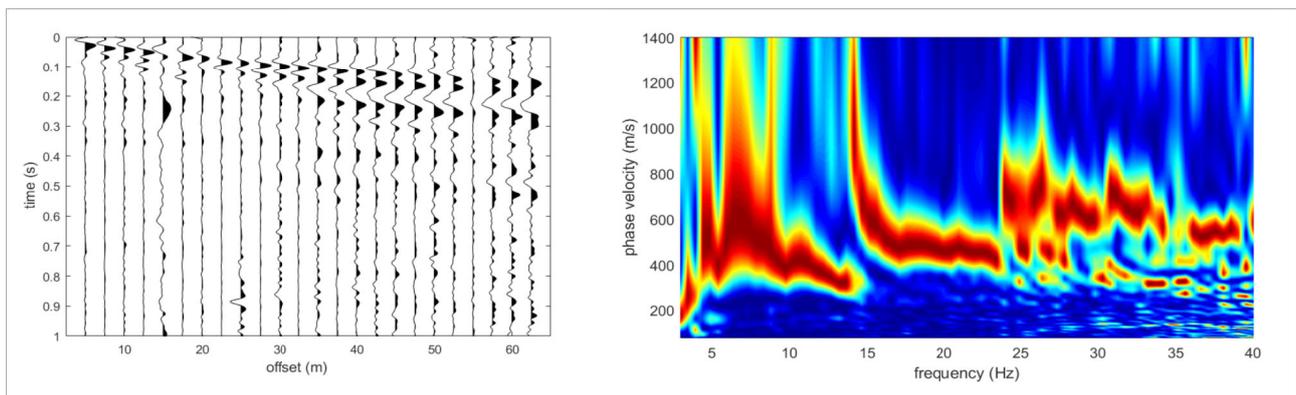


Fig. 14: Dataset e spettro - Onde di Love.

6 – ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH E ONDE DI LOVE

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. In Fig. 15 si riporta il risultato relativo alle Onde di Rayleigh, in Fig. 16 si riporta il risultato relativo alle Onde di Love. La Fig. 17 mostra il fitting fra la curva HVSR osservata in campagna con la curva modellizzata, la Fig. 18 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.

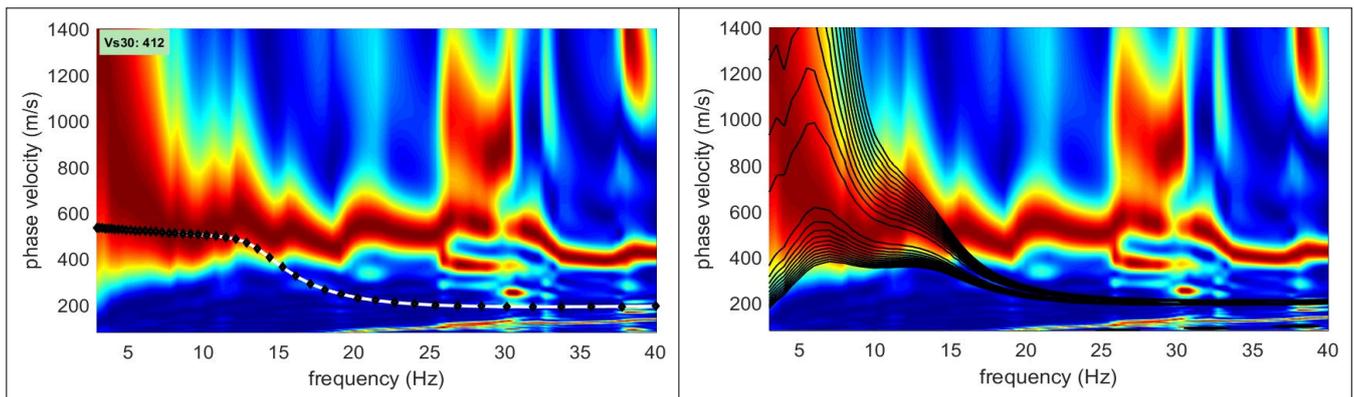


Fig. 15: Spettro con curva modale a sinistra e spettri sintetici a destra – Onde di Rayleigh.

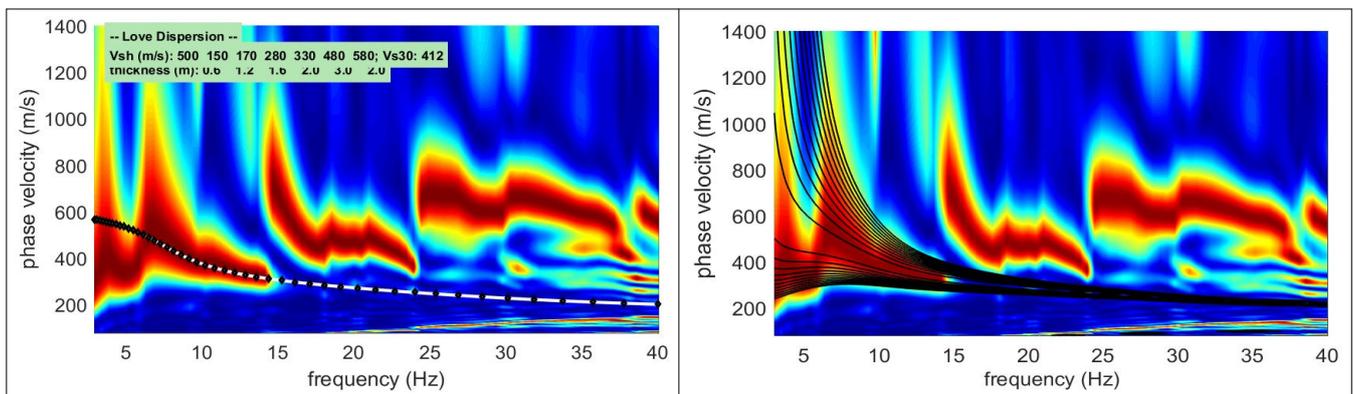


Fig. 16: Spettro con curva modale a sinistra e spettri sintetici a destra – Onde di Love.

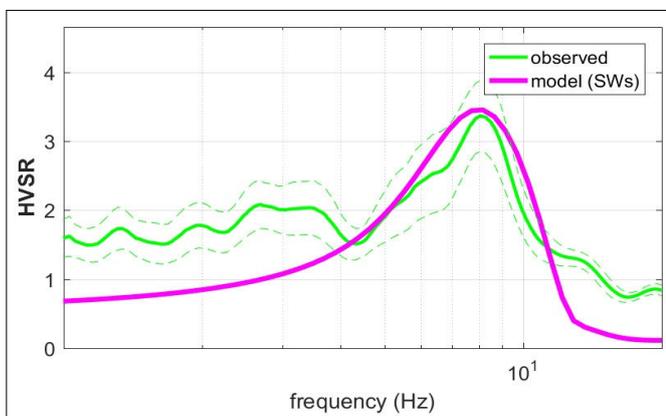


Fig. 17: Fitting curva HVSR

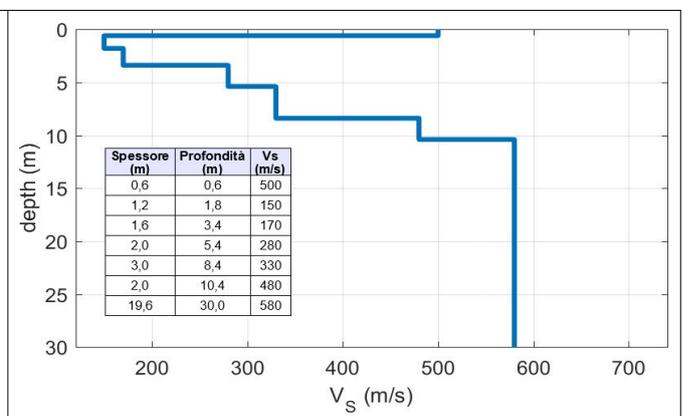


Fig. 18: Profilo verticale V_s ipotizzato.²

² Il sismogramma deve essere considerato come una stima, a cui va applicata una certa tolleranza [di base almeno un 10-15%]. Tale tolleranza tende ad aumentare con l'aumentare della profondità, dove la tecnica tende a perdere risoluzione; gli strati più profondi in genere devono essere presi in considerazione solo come una discretizzazione dell'aumento della velocità con la profondità.

7 - CONCLUSIONI

Le presenti indagini, svolte su incarico del Dott. Geol. Maccari Marcello, per commissione della Sig. Maccari Simonetta, hanno come finalità la stima del valore della $V_{s,eq}$, caratterizzante l'area sita presso la località Tuseggia – Comune di Camerino (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 412 m/s.
- Per quanto riguarda la misurazione HVSr, la curva individua un picco intorno alla frequenza di circa 8,1 Hz, che dovrà essere tenuto attentamente in considerazione in quanto ricadente all'interno delle frequenze di comune 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.

PROFONDITA'	MASW $V_{s,eq}$ (m/s)
0 m	412
1 m	425
2 m	455
3 m	486

Tolentino, 02/03/2019

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.