



1.0	PREMESSA E METODOLOGIA DI INDAGINE.....	4
2.0	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO .....	7
3.0	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, COROGRAFICO E TOPOGRAFICO DEL SITO .....	9
4.0	QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO E CONFORMITÀ IN MATERIA URBANISTICA, AMBIENTALE E PAESAGGISTICA.....	11
4.1	PIANIFICAZIONE DI LIVELLO NAZIONALE .....	12
4.2	PIANIFICAZIONE DI LIVELLO REGIONALE E PROVINCIALE.....	15
4.3	PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	16
5.0	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO .....	17
5.1	ASPETTI LITOSTRATIGRAFICI E STRUTTURALI GENERALI DELL'AREA DI STUDIO .....	17
5.2	STRATIGRAFIA E MODELLO GEOLOGICO DEL TERRENO .....	19
5.3	TETTONICA E SUBSIDENZA.....	21
5.4	ASPETTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO E DEL SITO DEGLI INTERVENTI .....	21
5.5	ASPETTI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO.....	23
5.6	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO IN ESAME E DEL SITO OGGETTO DEGLI INTERVENTI.....	24
5.7	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO IDRAULICO DEL TERRITORIO IN ESAME E DEL SITO OGGETTO DEGLI INTERVENTI .....	27
5.7.1	VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA .....	27
5.7.2	INVARIANZA IDRAULICA DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI.....	29
5.7.2.1	INDICAZIONI PER LE AREE DI TRASFORMAZIONE URBANA .....	31
5.7.2.2	INDICAZIONI OPERATIVE E MISURE PER LA PERMEABILITA' DELLE AREE.....	32
6.0	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO .....	33
6.1	SISMICITÀ STORICA .....	33
6.2	SISMICITÀ RECENTE .....	34
6.3	CONDIZIONE SISMICA LOCALE.....	35
6.3.1	ACCELERAZIONE E ZONAZIONE SISMICA .....	35
6.3.2	ZONAZIONE SISMOGENETICA E VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO .....	37
6.3.3	MISURA DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA – METODO HVSR.....	38
6.3.4	STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA ESISTENTI.....	42
6.3.5	VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO .....	44
6.3.6	TIPO DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	45
6.3.7	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA E SPETTRI DI RISPOSTA .....	47
6.4	VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEL TERRITORIO .....	50
6.5	VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	50
7.0	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO .....	51

---

7.1 LITOSTRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI E DELLE ROCCE .....	52
8.0 FONDAZIONI E CEDIMENTI .....	53
8.1 STATO LIMITE ULTIMO .....	53
8.2 STATO LIMITE ESERCIZIO .....	55
8.3 COSTANTE DI SOTTOFONDO .....	56
9.0 CONCLUSIONI.....	58

#### TAVOLE NEL TESTO

- INQUADRAMENTO GEOGRAFICO (TAV. 01 – SCALA 1: 25.000)
- INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO (TAV. 02 – SCALA 1: 10.000)
- INQUADRAMENTO CATASTALE CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI (TAV. 03 – SCALA 1: 1.000)
- CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA CON INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO ED IDROGEOLOGICO (TAV. 04 – SCALA 1: 1.000)
- CARTA LITOLOGICO-TECNICA (TAV. 05 – SCALA 1: 1.000)
- SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA A-A' (TAV. 06 – SCALA 1: 100)
- CARTA DELLE PERICOLOSITÀ GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E IDRAULICHE (TAV. 07 – SCALA 1: 1.000)
- CARTA DELLE ZONE A MAGGIOR PERICOLOSITÀ SISMICHE LOCALI (TAV. 08 – SCALA 1: 1.000)

#### ALLEGATI NEL TESTO

- RAPPORTO TECNICO INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE:
  - N. 2 TRINCEE ISPEZIONABILI (GEOL. CATALDI, OTTOBRE 2020)
  - N. 1 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH (AB GEO, NOVEMBRE 2020)
  - N. 1 ANALISI CONGIUNTA MASW-HS COMPONENTE VERTICALE E RADIALE DELLE ONDE DI RAYLEIGH E N. 2 ANALISI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA HVSR (AB GEO, NOVEMBRE 2020)
- CALCOLO INVARIANZA IDRAULICA AI SENSI DELLA FORMULA (1) AI SENSI DEL TITOLO III DELLA DGR DEL 27/01/2014
- ASSEVERAZIONE SULLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI (VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E INVARIANZA IDRAULICA)
- PARAMETRI SISMICI DETERMINATI CON GEOSTRU PS
- RISPOSTA SISMICA LOCALE (SLD)
- RISPOSTA SISMICA LOCALE (SLV)

## 1.0 PREMESSA E METODOLOGIA DI INDAGINE

La presente relazione è stata redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Muccia di concerto con l'Unione Montana Marca di Camerino, interessato all'individuazione di un'area in cui attivare un Programma di Sviluppo Rurale Marche 2014-2020 in cui è prevista la realizzazione di un edificio a servizio di una rete di mobilità per la valorizzazione del territorio e miglioramento del sistema di accessibilità, mobilità e informazione turistica, cosiddetto "HUB", cioè nodo di accesso all'area interna. Per "HUB" si intende un'area di scambio intermodale con il TPL (Trasporto Pubblico Locale), punti informativi, noleggio di attrezzature per la fruizione (es. biciclette), spazi per la promozione e vendita di prodotti locali, stazioni diffuse di sosta e ricarica mezzi elettrici. Gli HUB previsti nell'Alto Maceratese sono tre ed uno ricade nel Comune di Muccia, precisamente in un'area prossima all'incrocio tra la Strada Regionale n. 77 "della Val di Chienti" e l'imbocco della Strada Statale n. 209 "Valnerina", in una zona individuata dal Programma di Fabbricazione come area destinata alla viabilità inerente l'asse "Civitanova Marche – Foligno", previsione ovviamente decaduta poiché il tratto stradale è stato delocalizzato in altra zona.

L'area necessaria alla realizzazione dell'HUB è di circa 4.334 mq nella quale va realizzato un edificio di circa 194 mq che avrà struttura in acciaio e legno lamellare, concepita come un grande tetto al di sotto del quale prendono vita alcuni servizi: spazio chiuso ospitante un piccolo punto vendita e servizi igienici, info point, noleggio attrezzature per le escursioni, angolo ristoro, sala di attesa che potrà essere anche uno spazio didattico ed espositivo sul tema della natura dei Sibillini. All'esterno dell'edificio verrà posizionata una ciclostazione per noleggio bici (6-8 postazioni di ricarica con colonnina per automazione noleggio e 2 attacchi per ricarica auto elettriche) e il grande tetto, orientato a sud, potrà ospitare dei pannelli fotovoltaici. Per quanto riguarda l'area circostante la struttura preclusa al traffico sarà sistemata a verde con prato e piantumazioni; inoltre sono previste un'area giochi per bambini con materiali antitrauma con gomma gettata in opera, una zona pedonale e ciclabile realizzata con pavimentazione in graniglia colorata e, all'ingresso dell'area, una pensilina per attesa dei bus ed una palina elettronica informatica sul trasporto pubblico locale.

Dal punto di vista urbanistico, la zona attualmente è considerata come "Zona bianca", equiparata cioè ad una zona agricola: la norma che andrà a regolamentare questa nuova area viene predisposta seguendo quanto già scritto in alcune precedenti varianti approvate dall'Amministrazione comunale per precedenti situazioni, ed in particolare sarà "Zone per attrezzature pubbliche d'uso e/o interesse pubblico – Zona FS – Attrezzature di servizio".

*Si avverte che i contenuti di questa indagine sono finalizzati esclusivamente alla redazione di un modello geologico e sismico, imprescindibile dalla successiva caratterizzazione e modellazione geotecnica, di cui, nella presente, se ne fa comunque accenno. Eventuali verifiche in condizioni statiche agli Stati Limite Ultimi (SLU - "Capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possono compromettere*

*l'incolumità delle persone, ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera" e agli Stati Limite di Esercizio (SLE - "Capacità do garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio") ed eventuali verifiche in condizioni sismiche agli Stati Limite della Vita (SLV) e agli Stati Limite di Danno (SLD) presenti in tale relazione, hanno valore prettamente indicativo. Tali verifiche dovranno essere approfondite in apposita relazione geotecnica.*

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

#### *Indagini preliminari*

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

#### *Indagini di terreno*

- Esecuzione di sopralluoghi volti a individuare gli aspetti geologici (riconoscimento delle formazioni, acquisizione delle giaciture e delle strutture tettoniche), geomorfologici ed idrogeologici dell'area oggetto di indagine, per un intorno significativo, con particolare riferimento sia a processi morfologici e dissesti attivi o quiescenti e loro tendenza evolutiva e sia a processi erosivi connessi al ruscellamento superficiale e all'evoluzione del reticolo idrografico. Analisi delle interferenze con i manufatti circostanti.
- Esecuzione di n. 2 trincee ispezionabili, eseguite mediante escavatore meccanico, per la conoscenza del dettaglio delle litologie presenti nel sottosuolo (Grado di qualità Q2, Tabella 1).

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

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

- Esecuzione di n. 1 prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH.
- Acquisizione di n. 2 misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (metodo di Nakamura o metodo HVSR da *Horizontal to Vertical Spectral Ratios* o semplicemente H/V).
- Acquisizione di n. 1 MASW-HS (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) per analisi componente verticale e radiale delle Onde di Rayleigh.

#### Elaborazione dei dati raccolti

- Caratterizzazione e modellazione geologica.
- Descrizione dei risultati ottenuti e delle difficoltà incontrate. Esposizione ed interpretazione dei dati risultanti dalle indagini e dalle prove eseguite - caratteristiche intrinseche delle singole unità litologiche (terreni o rocce) con particolare riguardo ad eventuali disomogeneità, discontinuità, stati di alterazione e fattori che possano indurre anisotropia delle proprietà fisiche dei materiali.
- Analisi e ricostruzione degli aspetti idrogeologici dell'area fornendo lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea. Valutazione delle permeabilità/trasmissività. Definizione geometrica e dinamica degli acquiferi e delle relazioni fra acque superficiali e sotterranee.
- Considerazioni specifiche sulla stabilità dei versanti (opportunamente estese ad un intorno significativo) tenendo conto di quanto previsto dal P.A.I. o altro strumento di programmazione idrogeologica (es. P.T.C.) e dell'analisi delle forme e dei processi geomorfologici, processi erosivi e dinamiche evolutive del reticolo idrografico. Definizione del modello concettuale di franosità ed individuazione delle possibili tipologie di evento

potenzialmente atteso (caratteristiche geometriche ed evolutive del versante) anche sulla base di deduzioni relativa alla franosità pregressa.

- Modellazione sismica. Analisi e descrizione della sismicità storica. Definizione del terremoto di progetto, magnitudo. Definizione delle forme spettrali. Eventuale analisi della risposta sismica locale, calcolo della  $V_{S,eq}$  per la definizione della categoria del suolo di fondazione. Spettro di risposta elastico. Potenziale di liquefazione.
- Caratterizzazione e modellazione geotecnica.
- Stesura degli elaborati grafici (cartografie e sezioni litostratigrafiche) e descrittivi.
- Stesura finale della presente relazione con sintesi di quanto realizzato, giudizio sulla fattibilità geologica degli interventi proposti ed eventuale esplicazione degli stessi per renderli compatibili con l'assetto idrogeologico dell'area ed in particolare con le pericolosità ambientali definite in funzione delle indagini eseguite.

## 2.0 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

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

- D.P.R. n. 328 del 05.06.2001, *Modifiche ed integrazioni della disciplina dei requisiti per l'ammissione all'esame di Stato e delle relative prove per l'esercizio di talune professioni, nonché della disciplina dei relativi ordinamenti.*
- D.M. 17.01.2018, *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".*
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Circolare n. 7 del 21.01.2019, *Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17.01.2018.*
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, *Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.* Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003, *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.*
- O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006, *Criteri generali per l'individuazione delle Zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.*
- O.P.C.M. n. 3316 del 02.10.2003, *Modifiche ed integrazioni dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003.*
- O.P.C.M. n. 3907 del 13.11.2010, *Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico.*



- Eurocodice 8 (1998), *Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*. Stesura finale 2003.
- Eurocodice 7.1 (1997), *Progettazione geotecnica - Parte I: Regole Generali*. UNI.
- Eurocodice 7.2 (2002), *Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio*. UNI.
- Eurocodice 7.3 (2002), *Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita con prove in sito*. UNI.
- D.M. LL.PP. 11.03.1988, *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e il sostegno delle terre e delle opere di fondazione*. G.U. Repubblica Italiana n. 127.
- D.M. LL.PP. 16.01.1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*. G.U. Repubblica Italiana n. 29 del 05.02.1996.
- D.L. 03.03.2006 n. 152, *Norme in materia ambientale*. (G.U. Repubblica Italiana n. 88 del 14.04.2006 - S.O. n. 96).
- D.A.C.R. del 03.11.1989 n. 197, *Piano Paesistico Ambientale Regionale (P.P.A.R.)*.
- Deliberazione di Consiglio Provinciale del 11.12.2001 n. 75, *Piano Territoriale di Coordinamento provinciale (P.T.C.)*.
- L.R. del 23 novembre 2011 n. 22, *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 promuove tecniche di edilizia sostenibile"*.
- D.G.R. n. 53 del 27.01.2014, *Criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali*.
- Circolare n. 14 del 28.08.1990, *Indirizzi e criteri per l'effettuazione di indagini geologiche in sede di adeguamento degli strumenti urbanistici al PPAR (Art. 9 – sottosistema geologico-geomorfologico) e alla legge regionale n. 33/84*.

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

- Antonini G., et alii (1993) – *Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche ed aree limitrofe (scala 1: 100.000)*. CNR – IRPI Perugia, CNR – GNDCI. Pubbl. CNDICI n. 580.
- Barchi M., et alii (1988) – *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano*. Boll. Soc. Geol. It., 107: 109-130.
- Boni C., et alii (1986) – *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35: 991-1012.



- Boni C., et alii (2009) – *Studio idrogeologico nel settore nord-occidentale dei monti sibillini: un contributo alla cartografia idrogeologica ufficiale*. Italian Journal of Engineering and Environment, 1: 25-40.
- Calamita F., et alii – *Analisi dell'evoluzione tettonico – sedimentaria ... Il Bacino di Camerino*. Studi Geologici Camerti, V.
- Centamore E. (1986) – *Carta Geologica delle Marche (scala 1: 250.000)*. Litografia Artistica Cartografica - Firenze.
- Centamore E., Deiana G. (1986) – *La geologia delle Marche*. Numero speciale, Studi Geologici Camerti.
- Centamore E. et alii (1991) – *Carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica delle Marche (scala 1: 100.000)*. A cura della Regione Marche, Assessorato Urbanistica - Ambiente. S.E.L.C.A. - Firenze.
- Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (1990) – *Zonazione e riclassificazione sismica. Atti del Convegno*. Pisa, 25-27 Giugno 1990. Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- *Linee guida per la stabilizzazione delle frane e strategie di mitigazione del rischio*. Programma comune per l'integrazione e l'aggiornamento della cartografia del rischio frana del Piano di Bacino.
- Regione Marche - Giunta Regionale (1991) – *L'ambiente fisico delle Marche: geologia, geomorfologia, idrogeologia*.
- Autorità di Bacino Regionale (2001) – *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*.
- Regione Marche - Ufficio Urbanistica e Cartografia (1999-2001) – *Carta geologica regionale (scala 1: 10.000)*.

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

L'area oggetto di variante al Programma di Fabbricazione è ubicata nel Comune di Muccia (Regione Marche, Provincia di Macerata), più specificatamente in Località Maddalena, a monte della S.P. 209 "Valnerina" e della zona industriale/produttiva "La Maddalena".

Essa si sviluppa intorno alla quota di 435 m s.l.m. (altitudine di riferimento  $a_s$ ), nella parte bassa di un versante articolato in tratti a pendenza variabile e che in corrispondenza del sito di intervento risulta essere mediamente del 9% e degradante verso E dove, a 450 m, è presente il corso d'acqua del Fiume Chienti (ramo di Pieve Torina).

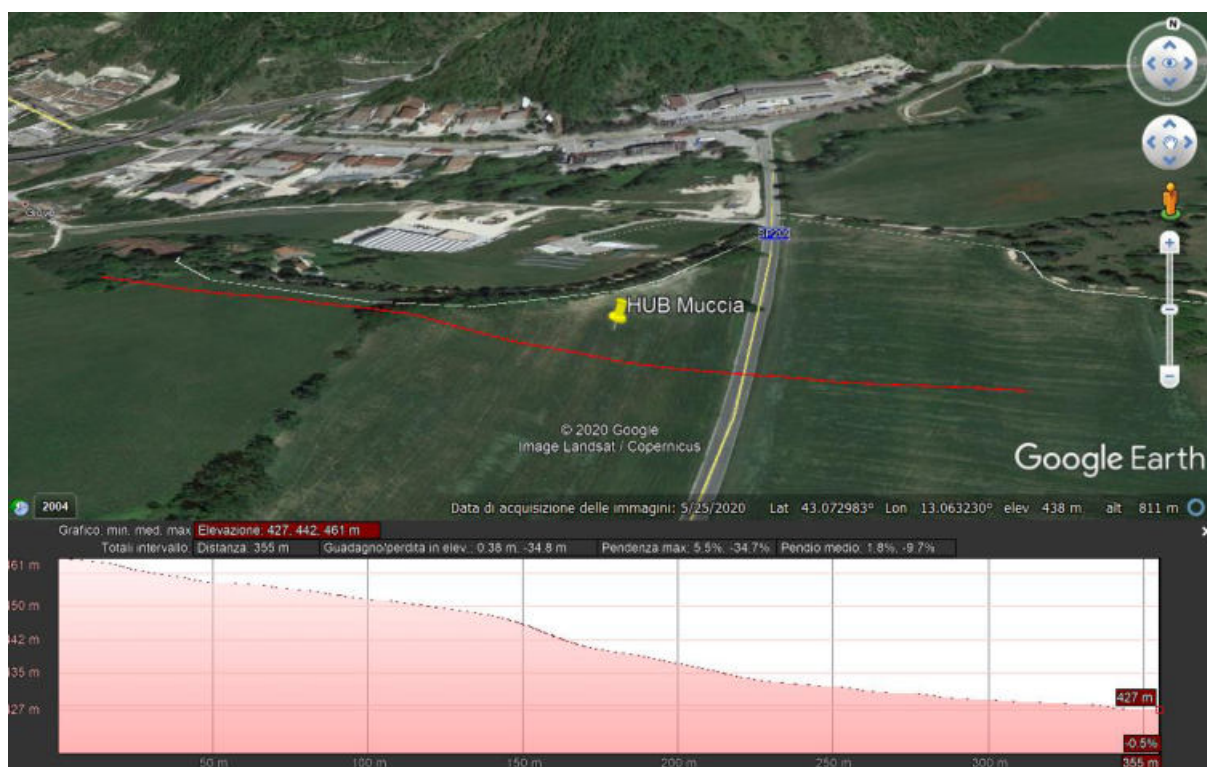


Figura 1 - Inquadramento aero-satellitare con indicata l'area oggetto di variante al P.d.f. e profilo topografico.

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

	Lat. (°)	Lon. (°)
WGS84	43,072294	13,063518
ED50	43,073253	13,064449

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Si forniscono al progettista i valori dei parametri per la determinazione della velocità base di riferimento  $v_b$ , considerando che il sito oggetto di studio ricade nella Zona 3 (Tabella 3.3.I delle N.T.C. 2018):

$v_{b,0}$ (m/s)	27
$a_0$ (m)	500
$k_s$	0,37

Per la definizione del coefficiente di esposizione  $c_e$ , strettamente legato alla categoria di esposizione del sito dove sorge la costruzione, viene offerto un valore della distanza media dalla costa corrispondente a circa 60 km (Figura 3.3.2, N.T.C. 2018). Il coefficiente di topografia  $c_t$  viene posto pari a 1. Pertanto,

assumendo una Classe di rugosità del terreno (Tabella 3.3.III, N.T.C. 2018) pari a D, i parametri per la definizione del coefficiente di esposizione (Tabella 3.3.II, N.T.C. 2018) vengono consigliati come segue:

Categoria di esposizione del sito	II
$k_r$	0,19
$z_0$ (m)	0,05
$z_{min}$ (m)	4

Per quanto riguarda l'azione della neve, ricadendo l'area in Zona II ( $a_s > 200$  m), viene posto il carico  $q_{sk}$  pari a 1,54 kN/m<sup>2</sup> (Figura 3.4.1, N.T.C. 2018). Il coefficiente di esposizione  $C_E$ , utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera si assumerà uguale a  $C_E = 1,0$ .

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

In particolare, con maggiore precisione, l'area ricade nella *Carta Tecnica delle Marche - Foglio 313 "Camerino" - Sezione 313090 "Muccia"* (Tavola 02, scala 1: 10.000).

Catastalmente, l'edificio oggetto di intervento ricade nel *Foglio 20 del Comune di Muccia, ex P.lle 98 e 27, che dopo frazionamento specifico hanno assunto la numerazione di 474, 475 e 476* (Tavola 03, scala 1: 1.000).

#### **4.0 QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO E CONFORMITÀ IN MATERIA URBANISTICA, AMBIENTALE E PAESAGGISTICA**

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

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

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

Tali strumenti sono pubblicamente disponibili ai seguenti link:

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

<http://www.sitap.beniculturali.it/>

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

#### Livello nazionale

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

#### Livello regionale e provinciale

- Deliberazione di Consiglio Regionale del 21.01.2004 n. 116, *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*. Supplemento n. 5 BUR Marche n. 15 del 13.02.2004.
- D.A.C.R. del 03.11.1989 n. 197, *Piano Paesistico Ambientale Regionale (P.P.A.R.)*.
- Deliberazione di Consiglio Regionale del 23.12.1985 n. 8, *Individuazione delle aree di notevole interesse pubblico sotto il profilo ambientale e paesistico*. BUR Marche n. 44 del 02.05.1986.
- Deliberazione di Consiglio Provinciale del 11.12.2001 n. 75, *Piano Territoriale di Coordinamento provinciale (P.T.C.)*.

#### 4.1 PIANIFICAZIONE DI LIVELLO NAZIONALE

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

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

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

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

Il sito oggetto di variante al P.d.F. NON RICADE all'interno del vincolo idrogeologico (Figura 2).



Figura 2 - Vincolo idrogeologico (colore rosa). In blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

Il D.P.R. 08/09/1997 n. 357 prevede, ai fini della salvaguardia delle biodiversità mediante la conservazione di definiti habitat naturali e di specie della flora e della fauna, l'istituzione di "Siti di Importanza Comunitaria - SIC" e di "Zone Speciali di Conservazione". In tali aree sono previste norme di tutela per le specie faunistiche e vegetazionali (art.li 8, 9 e 10) e possibili deroghe alle stesse in mancanza di soluzioni alternative valide e che comunque non pregiudichino il mantenimento della popolazione delle specie presenti nelle stesse.

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

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

Il sito oggetto di variante al P.d.F. NON RICADE in siti di interesse comunitario SIC e ZPS (Figura 3).





Figura 3 – SIC e ZPS. In blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

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

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

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

L’area oggetto di variante al P.d.F. NON RICADE all’interno di tale vincolistica (Figura 4).



Figure 4 - Vincolo D.L. 42/2004. In blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

#### 4.2 PIANIFICAZIONE DI LIVELLO REGIONALE E PROVINCIALE

La pianificazione a valenza ambientale nella Regione Marche viene attuata attraverso la delibera del 23.12.1985 n. 8 (“galassini”) e il Piano Paesistico Ambientale Regionale, approvato con delibera n. 197 del 03/11/1989.

Tale Piano ha seguito quanto disposto dalla ex L. 431/85, ora D.L. 42/04.

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

Dall’analisi degli strumenti sopra citati (Figura 5), risulta che l’area oggetto di variante al P.d.F. RICADE all’interno di tale vincolistica (DACR 8 agosto 1985 – Comprensorio Monti Sibillini – versante maceratese).





Figura 5 – Vincolo Del. 23.12.1985 n. 8 “galassini”. In blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

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

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

Dall'analisi della cartografia allegata (Figura 6), tratta dalla tavola “RI 63 d” del PAI, si nota che l'area oggetto di variante al P.d.F. NON RICADE in tale vincolistica.

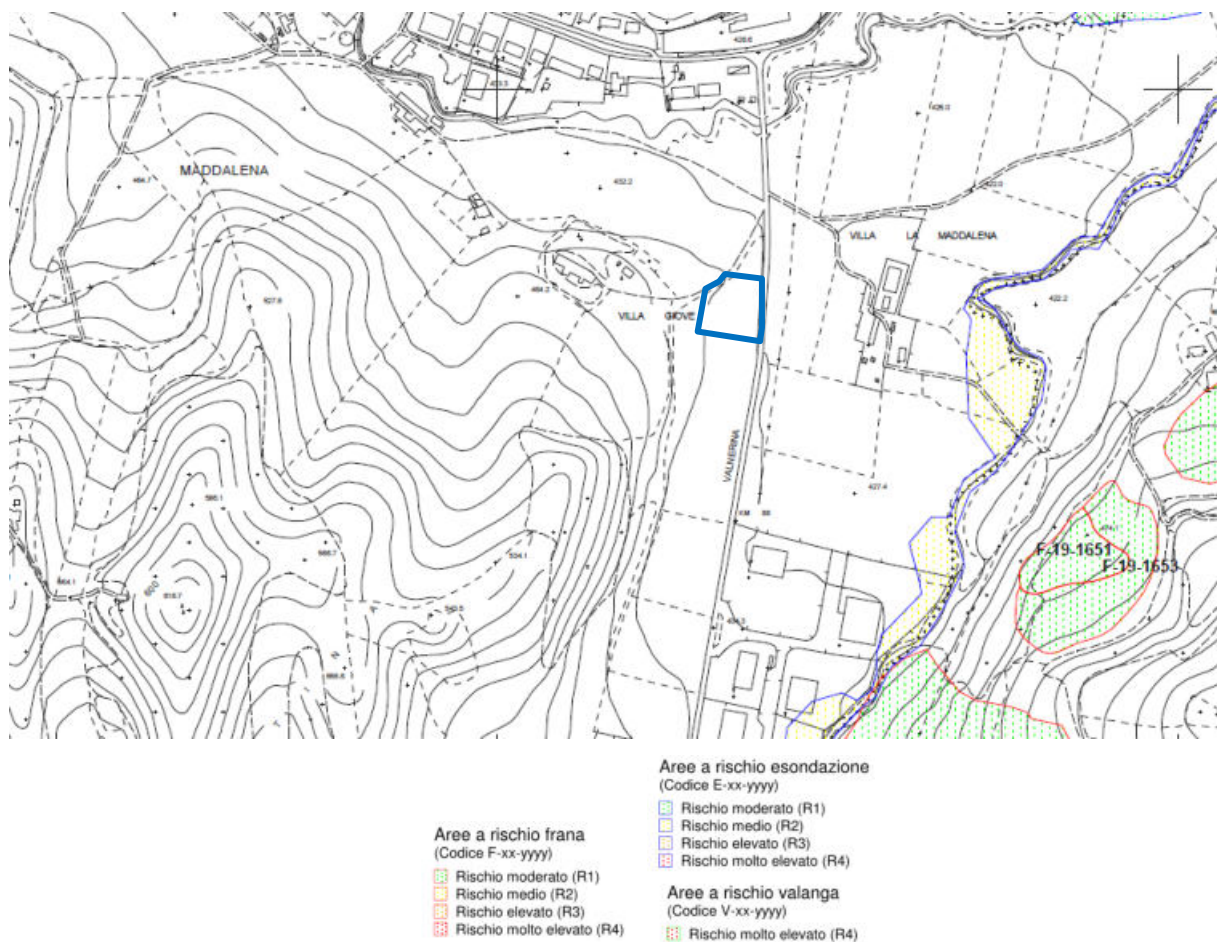


Figura 6 - Vincolo P.A.I.. Nel cerchio, in blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

## 5.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

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

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

L'area oggetto della presente indagine, secondo un'analisi omogenea dal punto di vista del rilievo, dell'assetto morfologico complessivo e della posizione geografica precedentemente presa in considerazione, effettuata a partire dalla Carta Geologica delle Marche (1: 250.000) e dalla Carta Geologica d'Italia (1: 100.000), appartiene alla regione fisiografica "A", denominata "Massicci e dorsali montuose": in tale contesto si ubica il Sistema "Ad", caratterizzato dalla presenza in substrato di alternanze di marne calcaree, marne argillose, calcari, calcari marnosi e calcari silicei, depositi a partire dall'Eocene medio p.p. (47,8 Ma).

L'assetto strutturale generalmente è stratificato, dando luogo a piccole strutture interposte tra le pieghe anticlinali e quelle sinclinali. In questo settore possono essere presenti coperture alteritiche (frequenti ed ampie sono le zone denudate) che, alla base di scarpate o in corrispondenza di vallecole concave, possono presentare spessori anche di diversi metri. Inoltre, possono essere rilevati depositi superficiali argilloso-limoso-sabbiosi di spessore cospicuo (da qualche metro fino a 10 m ed oltre) che coprono gran parte del substrato roccioso; lungo le valli fluviali sono presenti depositi alluvionali terrazzati prevalentemente ghiaiosi, di discreta estensione e potenza.

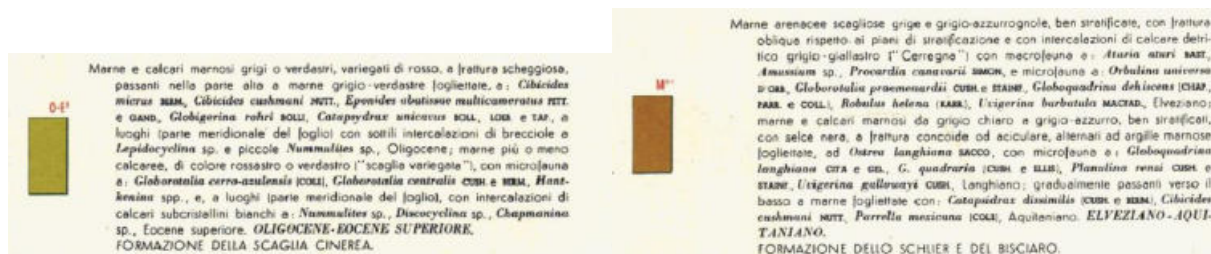


Figura 7 - Inquadramento geologico. Stralcio della Carta Geologica d'Italia (scala 1: 100.000) - Foglio 124 "Macerata". Nel cerchio, in blu, l'area oggetto di indagine.

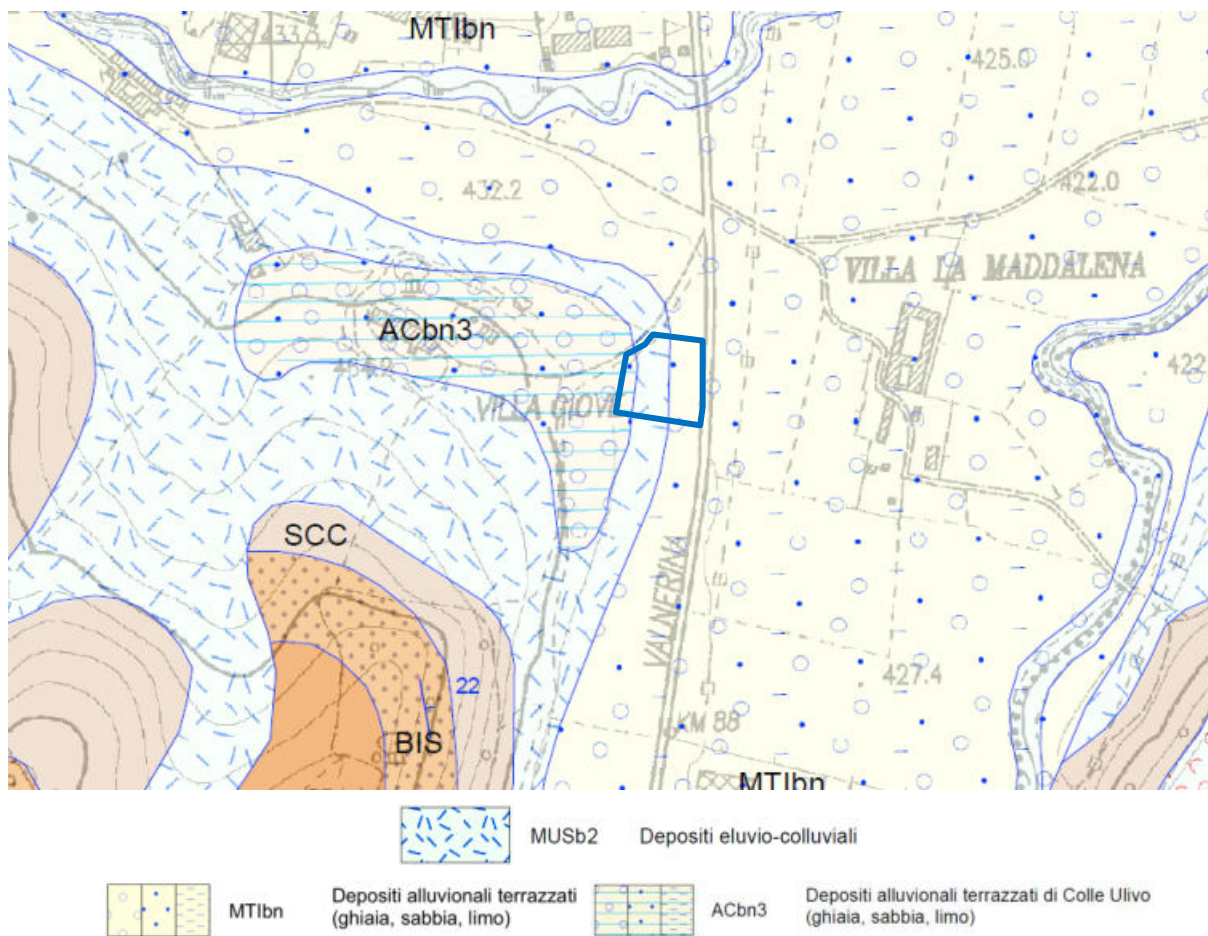
Nel caso in esame (Figura 7), è ben visibile come i litotipi presenti, depositi in periodi a partire dall'Eocene superiore in condizioni emipelagiche, siano riconducibili ad unità appartenenti a: Scaglia cinerea (*Eocene superiore - Oligocene*), costituita, verso il basso, da marne e calcari marnosi di colore rossastro e, verso l'alto, da marne argillose e scagliose di colore grigio o verdognolo; Formazione dello Schlier e del Bisciario (*Elveziano - Aquitaniano*), costituita da marne arenacee scagliose e grigio-azzurrognole, con frattura obliqua rispetto ai piani di stratificazione e da marne e calcari marnosi da grigio chiaro a grigio-azzurro, ben stratificati, con selce nera, a frattura concoide, alternati ad argille marnose fogliettate.



Per quanto riguarda la copertura alluvionale, in genere si presenta degradante da SW a NE con le originarie superfici terrazzate che si manifestano del tutto smembrate in corrispondenza dei depositi alluvionali più antichi (f<sup>1</sup>); incise dagli affluenti dei corsi d'acqua principali in corrispondenza delle alluvioni medie (f<sup>2</sup>); continue, infine, in corrispondenza delle più recenti alluvioni pleistoceniche (f<sup>3</sup>). Su quest'ultime si sono venute a sovrapporre le alluvioni degli affluenti che alterano, con conoidi alluvionali, l'uniformità e la continuità delle superfici terrazzate principali. I terrazzi pleistocenici si trovano a quote variabili rispettivamente da 130 a 90 m (f<sup>1</sup>), da 80 a 60 m (f<sup>2</sup>) e da 40 a 20 m (f<sup>3</sup>) sull'alveo attuale dei principali corsi d'acqua e sono tra loro separati da scarpate talora notevoli. Tali terrazzi alluvionali sono prodotti con ogni probabilità in ambiente freddo, come testimoniato dalla presenza al loro interno di forme singenetiche di crioturbazione (convoluzioni, ciottoli verticalizzati, ecc...) e dalle frequenti interdigitazioni con depositi stratificati di versante riferibili a clima periglaciale.

### 5.2 STRATIGRAFIA E MODELLO GEOLOGICO DEL TERRENO

In riferimento alla figura seguente (Figura 8) e ad un rilievo geologico di dettaglio effettuato (Tavola 04, scala 1: 1.000) è possibile determinare, dal termine più recente a quello più antico, la seguente successione stratigrafica:



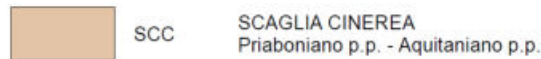


Figura 8 – Stralcio della Carta Geologica Regionale (Scala 1: 10.000) – Sezione 313090 “Muccia”. In blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

## COPERTURA

### **SINTEMA DEL MUSONE (Olocene)**

#### **DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI [MUSb2]**

Generalmente sono costituiti da limi argillosi, di origine colluviale, con frazione sabbiosa e con elementi marnosi e/o calcareo marnosi in relazione alla natura del bacino di alimentazione.

### **SINTEMA DI MATELICA (Pleistocene superiore)**

#### **DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI DEL III ORDINE [MTIbn]**

### **SINTEMA DI COLLE ULIVO (Pleistocene medio-sommitale)**

#### **DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI DEL II ORDINE [ACbn3]**

I depositi di 2° e 3° ordine si presentano in lembi estesi e continui, con spessori fino a 20-30 metri. Essi sono costituiti da ciottoli a granulometria più uniforme, con diametri compresi mediamente tra 2 e 5 cm, anche se non mancano talora elementi molto grossolani (specie alla base dei depositi). I clasti sono spesso iso-orientati ed embriciati e presentano un certo grado di appiattimento, soprattutto se provengono dalla litologia della Scaglia rossa. Per quanto riguarda la composizione litologica, nei depositi di 2° e 3° ordine aumentano progressivamente gli elementi provenienti dai terreni più antichi della Scaglia rossa, dato il graduale approfondimento delle valli fluviali che incidevano via via i terreni al nucleo delle strutture anticlinaliche. Spesso si rinvencono lenti e livelli limosi e sabbiosi e clasti arenacei, più frequenti nei bacini modellati in substrati arenacei e arenaceo-pelitici. Spesso i depositi del 2° ordine appaiono cementati in superficie a seguito di processi pedogenetici, ai quali sono dovuti anche suoli fersiallitici più o meno troncati che si osservano alla loro sommità.

## SUBSTRATO

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

È formata dall'alternanza di calcari-marnosi, marne calcaree, marne e marne argillose e, subordinatamente, da micriti. L'unità è suddivisibile in tre membri: l'inferiore caratterizzato da litofacies più calcaree e da una colorazione rossastra; il medio, di spessore maggiore, prevalentemente marnoso e di colore grigio-verdastro; il superiore, infine, costituito da una prevalenza di marne argillose grigiastre. La stratificazione è netta in strati sottili e medi, ma talora è obliterata da un diffuso clivaggio. A varie altezze stratigrafiche possono essere diffusi minerali femici legati a manifestazioni vulcaniche sottomarine. Lo spessore è variabile da 100 e 250 m. Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, viene ipotizzata la presenza a partire da circa 18,0 m dal p.c.

### 5.3 TETTONICA E SUBSIDENZA

La regione marchigiana è interessata da uno stile tettonico prevalentemente plicativo, con pieghe ad andamento NW-SE, cioè parallelo grossomodo al bordo costiero adriatico e spesso rovesciate verso E.

L'area in questione è compresa nella struttura sinclinoria Cerreto d'Esì – Matelica – Castelraimondo – Camerino – San Marco.

Tale sinclinale, con asse diretto a NNW a SSE, si estende per tutta la lunghezza del Foglio 124, sdoppiandosi, nella porzione meridionale, in due rami, di Fiastra e di Visso, separati da una dorsale di terreni cretacei. Le formazioni che costituiscono tale struttura sono rappresentate dal Bisciario, dallo Schlier e dalle molasse messiniane. Particolarmente estesa è quest'ultima formazione che costituisce il nucleo della sinclinale stessa: essa manca del tutto nel ramo terminale occidentale, da Muccia a Visso, mentre si conserva, in lembi residuali, nel ramo orientale, tra il Chienti ed il Fiastrone.

La giacitura di tali terreni è generalmente blanda, presentando locali ondulazioni che corrispondono ad anticlinali e sinclinali secondarie. Non mancano tuttavia, in special modo nel bordo occidentale del bacino, movimenti tettonici accentuati, che determinano raddrizzamenti e rovesciamenti.

La sinclinale è interessata da sistemi di faglie, prevalentemente estensive, a debole rigetto, con direzioni principali N-S, NNW-SSE e circa E-W.

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

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

Per quanto concerne le forme del terreno e i processi geomorfici, l'area mostra i caratteri tipici del sistema denominato "Ad" che rappresenta una zona di raccordo tra i rilievi montuosi calcarei e/o calcareo marnosi e le adiacenti depressioni: le quote sono variabili, anche superiori agli 800 m, l'energia di tale rilievo è media, medio-alta dell'ordine del centinaio di metri e l'acclività è media, medio-alta, più frequentemente compresa tra il 20 e il 40% (Figura 9).

Nel territorio, tra i processi erosivi, oltre ai diffusi ruscellamenti, si rilevano frane di tipo colamento, scorrimento rotazionale e, soprattutto di tipo misto (scorrimento + colamento) che interessano generalmente le coperture alteritiche della Scaglia cinerea appenninica, del Bisciario o dello Schlier e, talora, anche parte del substrato roccioso. L'indice di franosità è di 0,09 frane/kmq. Sono presenti anche accumuli imponenti di frane antiche di vario tipo (crolli, ribaltamenti, scorrimenti traslazionali) posti soprattutto al passaggio con il sistema montuoso, caratterizzato da catene calcaree dell'Appennino umbro-marchigiano.

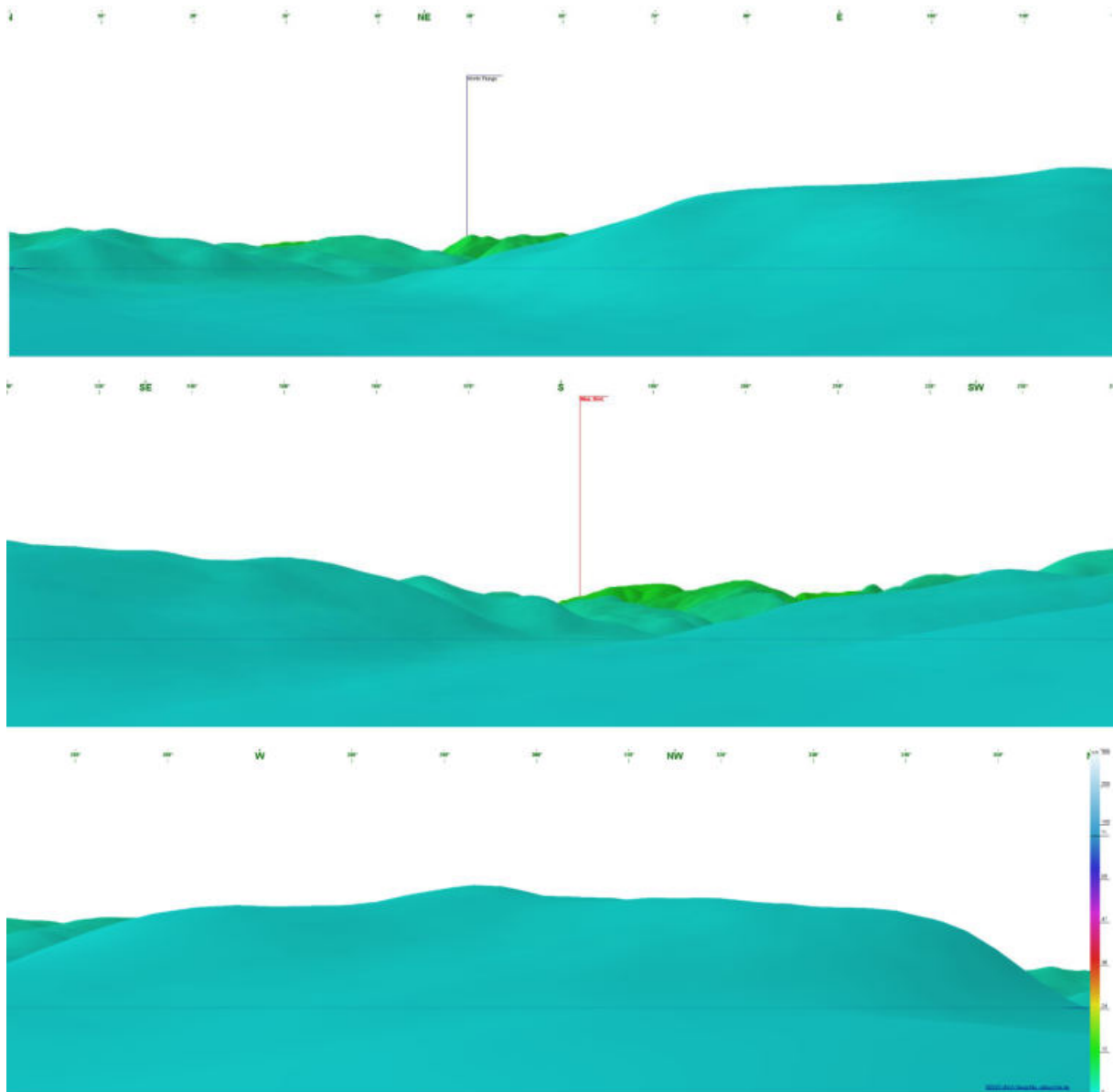


Figura 9 – Assetto geomorfologico: ricostruzione 3D, con vista a 360°, delle morfologie presenti intorno all'area oggetto di studio ([http://www.udeutschle.selfhost.pro/panoramas/makepanoramas\\_en.htm](http://www.udeutschle.selfhost.pro/panoramas/makepanoramas_en.htm)).

Nel caso specifico, come già descritto in precedenza, l'area di indagine si sviluppa intorno alla quota di 435 m s.l.m., nella parte bassa di un versante articolato in tratti a pendenza variabile e che in corrispondenza del sito di intervento risulta essere mediamente del 9% e degradante verso E dove, a 450 m, è presente il corso d'acqua del Fiume Chienti (ramo di Pieve Torina). In tale settore, il versante si raccorda con il terrazzo alluvionale del III ordine (Pleistocene superiore) posto alla sinistra idrografica del sopracitato corso d'acqua.



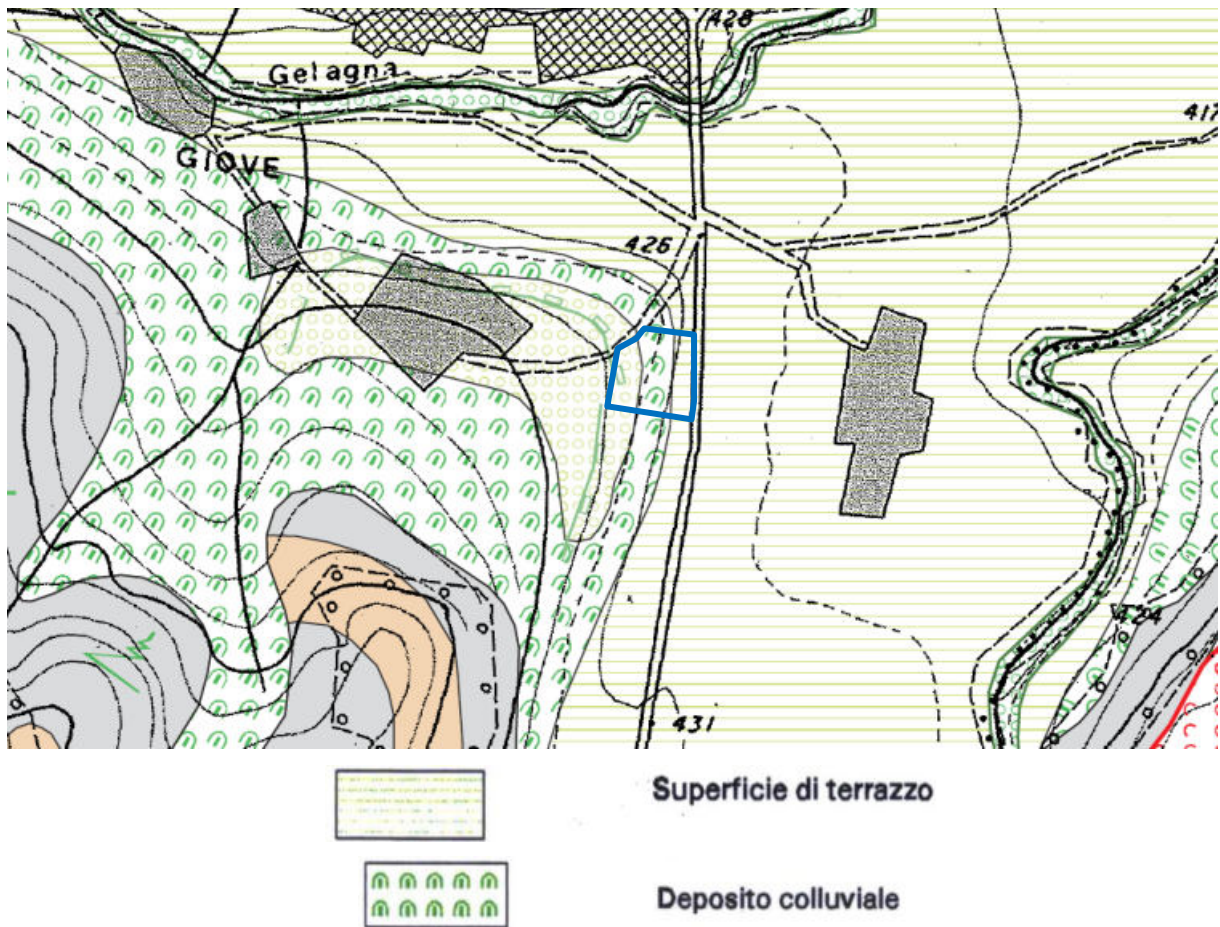


Figura 10 - Stralcio della Carta Geomorfologica della Regione Marche (Scala 1: 10.000) – Sezione 313090 "Muccia". In blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

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

Per quanto riguarda le caratteristiche idrologiche superficiali dell'area oggetto di studio, è evidente che il Fiume Chienti (ramo di Pieve Torina) rappresenta la via di drenaggio naturale preferenziale per le acque superficiali.

La configurazione idrogeologica che caratterizza il sottosuolo del sito di intervento vede sostanzialmente la presenza di una successione litoide a bassa e/o nulla permeabilità dei litotipi; tali valori possono risultare più elevati a causa del grado di fratturazione dell'ammasso roccioso e/o per la presenza di litologie maggiormente permeabili.

Proprio perché legate principalmente al grado di fratturazione le circolazioni idriche presenti in questi litotipi risultano di difficile previsione sia in termini di quantità che di profondità. Comunque, nel complesso idrogeologico delle marne, marne argillose, marne calcaree e calcari marnosi dello Schlier, Bisciaro e Scaglia cinerea (Miocene-Oligocene), essendo la circolazione idrica in tali depositi a bassa o molto bassa permeabilità (Coefficiente di Permeabilità  $k$  compreso tra  $10^{-5}$  e  $10^{-7}$  cm/s) e legata essenzialmente alla fratturazione, le poche sorgenti alimentate da questo complesso, con portate esigue,

sono associate ai livelli più calcarei in zone intensamente fratturate. La facies idrochimica è bicarbonato-calcica con tenore salino superiore a 0,5 g/l. Tale complesso, per motivi stratigrafici e strutturali, funge da *acquiclude* per gli acquiferi della Scaglia. Il ruscellamento prevale sull'infiltrazione.

Per quanto riguarda le coperture, si hanno livelli ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi che hanno la trasmissività che varia da  $1,5 \times 10^{-2}$  a  $9,0 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, la permeabilità da  $7,0 \times 10^{-2}$  a  $2,0 \times 10^{-3}$  m/s (classe di permeabilità buona e/o discreta), la velocità effettiva, misurata nei depositi ghiaiosi in condizioni di moto perturbato, da 2 a 30 m/h; la porosità dinamica dal 2 al 7%. Per quanto riguarda le porzioni argilloso-limose e limoso-argillose, costituenti anche i depositi eluvio-colluviali, la permeabilità scende variando da  $1,5 \times 10^{-4}$  a  $5,5 \times 10^{-5}$  m/s (classe di permeabilità discreta e/o bassa).

La vulnerabilità degli acquiferi in genere è estremamente elevata ma la pericolosità potenziale di inquinamento non è rilevante a causa della non ingente concentrazione degli insediamenti, dell'attività produttiva e della rete infrastrutturale e tecnologica.

Sulla base di indagini effettuate nell'area, non viene segnalata la presenza di circolazione idrica significativa almeno fino alla profondità raggiunta dalle prove.

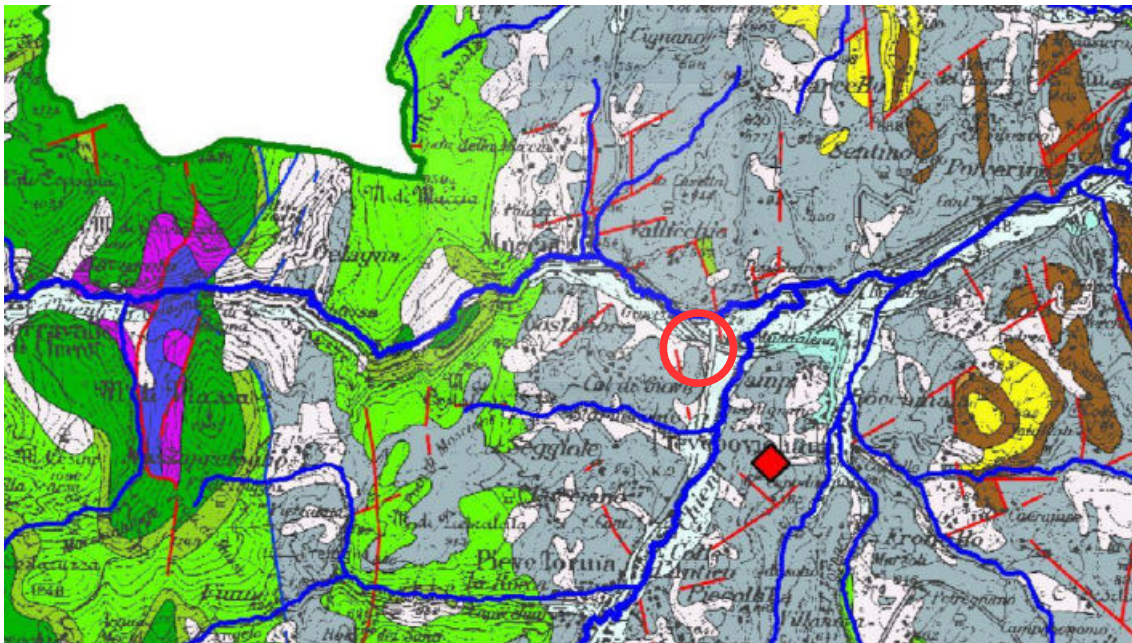


Figura 11 - Stralcio delle Schema idrologico della Regione Marche (2002). Nel cerchio, in rosso, l'area oggetto di studio. In grigio viene indicato il complesso idrogeologico delle marne, marne calcaree e calcari marnosi dello Schlier, Bisciario e Scaglia cinerea (Miocene-Oligocene).

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

Per pericolosità geologica, si intende quella relativa a processi erosivi, franosi, alluvioni e legata esclusivamente alla natura litologica del terreno. Il rischio viene invece definito come "valutazione



dell'intensità del fenomeno" dove per fenomeno si intende tutta la tipologia dei processi visti in precedenza.

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

- le situazioni di pericolosità dell'assetto fisico-territoriale (assetto idrogeologico), che si determinano in seguito dell'alterazione degli equilibri naturali del sistema stesso sotto il profilo della stabilità del terreno (frane ed erosioni) e di regolamentazione del deflusso delle acque;
- le situazioni di rischio per il sistema antropico, che si determinano quando esso interferisce con la dinamica del sistema fisico-territoriale, provocando danni a persone o cose.

Attualmente, come si è visto sia dalla cartografia esistente del P.A.I. sopra-citato (Figura 6), dallo stralcio della cartografia dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI – Figura 12) e dal rilievo geologico e geomorfologico eseguito, l'area oggetto di variante al P.d.F. NON RISULTA essere interessata da processi morfogenici dovuti alla gravità (movimenti di versante).



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

Figura 12 - Stralcio della carta Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI). In blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

Per quanto riguarda l'attribuzione del grado di pericolosità dell'area, alla stregua dell'allegato "B" del P.A.I., Ricognizione dei dissesti gravitativi, si fa riferimento all'analisi critica dei dissesti presenti, in particolare alla tipologia e stato di attività che nel caso specifico, alla data della stesura della presente relazione, non vengono mostrati segni di attivazioni recenti. Pertanto, viene confermato il grado di PERICOLOSITÀ GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA NULLA (Tabella 2).

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

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

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

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

- *R4: RISCHIO MOLTO ELEVATO*, ossia possibile perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, distruzione di attività socio-economiche.

Dato il grado di pericolosità nulla già attribuito e l'esposizione dei beni potenzialmente coinvolgibili, viene attribuito il grado di **RISCHIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO Nullo**.

#### 5.7 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO IDRAULICO DEL TERRITORIO IN ESAME E DEL SITO OGGETTO DEGLI INTERVENTI

Per *inondazione* si intende il fenomeno di invasione ed espansione delle acque su vaste aree prodotto da una rottura o un sormonto d'argine naturale o artificiale, connesso ad un evento di piena di un corso d'acqua. I territori coperti dalle acque sono inondati, mentre il corso d'acqua che esce dal suo letto esonda. Il termine generale *alluvione* è utilizzato per indicare tutti i danni prodotti da un evento di piena di un corso d'acqua, sia quelli legati all'inondazione di territori, sia quelli più profondamente connessi con l'instabilità delle sue sponde, l'erosione accelerata alla testata del bacino e l'instabilità dei versanti.

Il fenomeno di inondazione di un territorio o esondazione di un corso d'acqua risulta sempre connesso ad un evento di piena del corso d'acqua stesso. Per *piena* di un corso d'acqua si intende il fenomeno del rapido sopraelevamento della superficie libera dovuto all'aumento della portata che, a sua volta, è causato da precipitazioni di forte intensità e, più raramente nel nostro paese, dalla rapida fusione di nevai e ghiacciai.

Il rischio idraulico scaturisce dalla possibilità di danno a persone e/o beni in conseguenza dei principali fenomeni di trasporto in alveo e può essere suddiviso in:

- rischio da esondazione: connesso al trasporto di massa liquida;
- rischio da dinamica d'alveo: connesso al trasporto di massa solida;
- rischio da inquinamento: connesso al trasporto di massa inquinante.

##### 5.7.1 VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

L'ambito di applicazione territoriale della L.R. 22/2011 riguarda l'intero territorio regionale; in particolare si considerano in grado di modificare il regime idraulico e conseguentemente da assoggettare a VCI per previsione legislativa:

- a) Strumenti di pianificazione territoriale generale e loro varianti che comportano maggiore capacità edificatoria o un incremento del rapporto di copertura vigenti alla data di approvazione dei presenti criteri (per rapporto di copertura di intende quello tra la superficie fondiaria e la superficie territoriale complessiva);
- b) Strumenti di pianificazione territoriale generale e loro varianti, pur non incrementando il rapporto di copertura vigente, riguardino aree comunque denominate, interessanti superfici

maggiori di 2 ha, che non possono essere considerate di completamento in quanto non rispondenti ai requisiti di cui all'art. 2, lett. b) del D.M. 1444/1968;

- c) Strumenti di pianificazione territoriale generale e loro varianti che, pur non rientrando nelle fattispecie delle precedenti lettere a) e b), introducono destinazioni d'uso che possono determinare un aumento dell'esposizione al rischio idraulico, valutate secondo lo schema riportato in Appendice, tra le Definizioni, alla voce "Esposizione";
- d) Strumenti di pianificazione territoriale attuativa previsti dalla Legge Regionale 34/1992 e dalle vigenti disposizioni normative di altri settori.

La verifica si sviluppa su diversi livelli di approfondimento che possono corrispondere a fasi successive:

- a) Verifica Preliminare: Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica;
- b) Verifica Semplificata: Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica e Analisi Geomorfologica;
- c) Verifica Completa: Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica, Analisi Geomorfologica e Analisi Idrologica-Idraulica di dettaglio;

La Verifica Preliminare (Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica) è da sviluppare sempre.

Ad esito della Verifica Preliminare verrà valutato se sottoporre lo strumento di pianificazione ai successivi livelli di analisi della Compatibilità Idraulica (Semplificata e/o Completa).

I successivi livelli di approfondimento della Verifica di Compatibilità Idraulica, attraverso l'Analisi Geomorfologica ed eventualmente l'Analisi Idrologica-Idraulica, vanno sviluppati per i corsi d'acqua:

- a) che rientrano tra quelli demaniali, individuati nelle mappe catastali;
- b) per i quali sono individuate criticità legate a fenomeni di esondazione/allagamento in strumenti di programmazione o in altri studi eventualmente disponibili;
- c) sui quali si sono verificati in passato eventi di esondazione/allagamento.

Per quanto riguarda il rischio idraulico da esondazione, oggetto del presente capitolo, trae origine dalla eventualità che una determinata area sia invasa dalle acque fuoriuscite dalle reti di drenaggio naturali e/o artificiali per insufficiente capacità di smaltimento delle portate in transito nella stessa rete, oppure per rotture di opere di contenimento. Per capacità di smaltimento, si deve intendere la capacità di un tratto di un corso d'acqua a far transitare una determinata portata con un'altezza d'acqua contenibile entro le sommità spondali o arginali. A parità di portata, la capacità di smaltimento del tratto può variare nel tempo per cause sistematiche e/o accidentali quali, ad esempio:

- interventi plano-altimetrici;
- variazioni di scabrezza;
- occlusioni localizzate.

La rottura delle opere di contenimento è conseguente alla perdita di stabilità di strutture arginali e di opere di sbarramento: si manifesta in generale durante l'evento alluvionale (es. sifonamento e/o scalzamento di un rilevato arginale).

In parte, connesso al rischio di esondazione, è il fenomeno del ristagno che si verifica in quelle zone che per caratteristiche geomorfologiche non dispongono di efficienti capacità di drenaggio superficiale e/o profondo e pertanto suscettibili al trattenimento di acque sulla superficie del terreno, siano esse di esondazione, meteoriche o di falda.

Nel caso specifico, considerando le caratteristiche idrografiche e geomorfologiche dell'area oggetto di indagine, che vede il sito di Maddalena di Muccia oggetto di variante al P.d.F. per la realizzazione di un nodo di scambio intermodale insistere nella parte bassa di un versante a pendenza variabile (9% nel settore specifico) e degradante verso E, dove a 450 m è presente il corso d'acqua del Fiume Chienti (ramo di Pieve Torina), si ritiene esaustiva la Verifica di Compatibilità Idraulica di tipo Preliminare. Anche se superflua, stata effettuata comunque una ricerca dal punto di vista bibliografico e/o delle cartografie reperite (Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico, Archivio Aree Vulnerate Italiane – AVI <http://avi.gndci.cnr.it/>) che, come logico, non ha fornito informazioni relative a criticità o eventi di allagamento o inondazione avvenuti in passato.

Perciò, per il caso specifico, non si ritiene possibile tracciare alcuna fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica.

#### 5.7.2 INVARIANZA IDRAULICA DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI

Lo scopo del presente capitolo è quello di fornire il valore dell'invarianza idraulica che impone a chi effettua trasformazioni di uso del suolo, l'onere di realizzare azioni compensative al fine di mantenere inalterata la capacità di un bacino di regolare le piene.

Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento delle velocità di corrivazione deve prevedere azioni correttive volte a mitigarne gli effetti e tali azioni sono da rilevare essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso finalizzati alla laminazione; se la laminazione è attuata in modo da mantenere i colmi di piena prima e dopo la trasformazione inalterati, si parla di *invarianza idraulica* delle trasformazioni di uso del suolo.

Il principio dell'invarianza idraulica stabilisce che la portata di colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area urbana debba essere costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo dell'area.

La misura del volume minimo d'invaso da prescrivere in aree sottoposte ad una quota di trasformazione I (% dell'area che viene trasformata) e in cui viene lasciata inalterata una quota P (tale che  $I + P = 100\%$ ) è data dal valore convenzionale:

$$w = w^\circ(\Phi/\Phi^\circ)(1/(1-n)) - 15I - w^\circ P \quad (1)$$

essendo:

$w^\circ = 50 \text{ mc/ha}$ ;

$\Phi$  = coefficiente di deflusso dopo la trasformazione;

$\Phi^\circ$  = coefficiente di deflusso prima della trasformazione;



I e P = frazione dell'area trasformata;

n = 0,48 (esponente delle curve di possibilità climatica di durata inferiore all'ora, stimato nell'ipotesi che le percentuali di pioggia oraria cadute nei 5', 15' e 30' siano rispettivamente il 30%, 60% e 75%, come risulta orientativamente da vari studi sperimentali. Si veda CSDU, 1997).

Il volume così ricavato è espresso in mc/ha e deve essere moltiplicato per l'area totale dell'intervento (Superficie territoriale, St), a prescindere dalla quota P che viene lasciata inalterata.

Per la stima dei coefficienti di deflusso  $\Phi$  e  $\Phi^\circ$  si fa riferimento alla relazione convenzionale:

$$\Phi^\circ = 0.9Imp^\circ + 0.2Per^\circ$$

$$\Phi = 0.9Imp + 0.2Per$$

in cui Imp e Per sono rispettivamente le frazioni dell'area totale da ritenersi impermeabile e permeabile, prima della trasformazione (se connotati dall'apice °) o dopo (se privi di apice °).

Il calcolo del volume di invaso richiede quindi la definizione delle seguenti grandezze:

a) quota dell'area di progetto che viene interessata dalla trasformazione (I); è da notare che anche le aree che non vengono pavimentate con la trasformazione, ma vengono sistemate e regolarizzate, devono essere incluse a computare la quota I;

b) quota dell'area di progetto non interessata dalla trasformazione (P): essa è costituita solo da quelle parti che non vengono significativamente modificate, mediante regolarizzazione del terreno o altri interventi anche non impermeabilizzanti;

c) quota dell'area da ritenersi permeabile (Per): tale grandezza viene valutata prima e dopo la trasformazione;

d) quota dell'area da ritenersi impermeabile (Imp): tale grandezza viene valutata prima e dopo la trasformazione.

Nel caso specifico, si hanno i seguenti valori:

Superficie territoriale/fondiarìa	4.334,00	mq
Superficie impermeabile esistente (ante-operam)	0,00	mq
Superficie permeabile esistente (ante-operam)	4.334,00	mq
Superficie impermeabile di progetto (post-operam)	194,00	mq
Superficie permeabile di progetto (post-operam)	4.140,00	mq
Superficie trasformata/livellata	4.334,00	mq
Superficie agricola inalterata	0,00	mq

Inserendo tali valori, al fine di garantire l'invarianza idraulica dell'intervento in progetto, si ottiene un volume minimo di invaso, atto alla laminazione delle piene, pari a:

VOLUME MINIMO DI INVASO	22,17	mc
-------------------------	-------	----

### 5.7.2.1 INDICAZIONI PER LE AREE DI TRASFORMAZIONE URBANA

In linea generale, si introduce qui una classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici. Tale classificazione consente di definire soglie dimensionali in base alle quali si applicano considerazioni differenziate in relazione all'effetto atteso dell'intervento. La classificazione è riportata nella seguente Tabella 3.

Tabella 3 – Classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici ai fini dell'invarianza idraulica.

Classe di intervento	Definizione
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha
Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 0,1 e 1 ha
Significativa impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp < 0,3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici superiori a 10 ha con $Imp > 0,3$

Dal punto di vista di idraulico, l'efficacia della laminazione operata attraverso dispositivi di invaso è condizionata da due parametri fondamentali:

- la laminazione delle luci di scarico dell'invaso (condotti o stramazzi);
- il tirante idrico massimo di cui si consente la formazione all'interno dell'invaso.

I due aspetti sono fra loro collegati: se si realizza un invaso profondo con la formazione di un tirante idrico alto è necessario predisporre luci di piccole dimensioni per mantenere la portata in uscita a valori accettabili, a parità di portata in ingresso e di volume totale dell'invaso.

È poi da considerare che, a parità di luce di efflusso e di tirante idrico massimo consentito, l'effetto di laminazione dipende significativamente dal volume e dalla durata totale della pioggia.

Fissare regole generali per i criteri di dimensionamento delle luci di scarico è difficile in quanto è necessario riferirsi a condizioni operative sempre connotate da un margine di convenzionalità.

Del resto, nel caso di piccoli interventi, corrispondenti ai casi di trascurabile o modesta impermeabilizzazione potenziale, gli oneri connessi allo sviluppo di dimensionamenti di dettaglio eccedono i benefici in termini di protezione idraulica del territorio che si possono effettivamente conseguire.

Viceversa, nei casi di significativa o marcata impermeabilizzazione potenziale è assai opportuno eseguire una verifica di maggior dettaglio dell'effettivo comportamento laminativo dei dispositivi di invaso previsti dai progetti. In tal modo, con accorgimenti relativamente semplici, è possibile mantenere sotto controllo l'efficacia della laminazione e perseguire una politica attiva di invarianza idraulica.

Alla luce di queste considerazioni, sono stati stabiliti i seguenti criteri da applicare se non diversamente previsto nella parte dispositiva del documento tecnico di riferimento: nel caso di trascurabile impermeabilizzazione potenziale, è sufficiente che i volumi disponibili per la laminazione soddisfino i requisiti dimensionali della formula (1) ad esclusione degli interventi comportanti la realizzazione di impermeabilizzazione per una superficie pari o inferiore a 100 mq.

### 5.7.2.2 INDICAZIONI OPERATIVE E MISURE PER LA PERMEABILITÀ DELLE AREE

A livello realizzativo, i volumi di invaso possono pertanto essere ricondotti allo schema seguente (Figura 13).

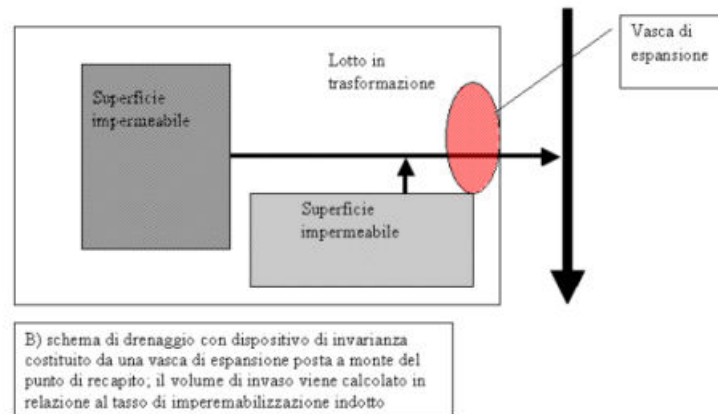


Figura 13 - Schema di drenaggio con dispositivo di invarianza idrica (sovradimensionamento della rete fognaria e dispositivo di laminazione).

In linea di massima, considerando che l'intervento insiste su depositi alluvionali sub-orizzontali costituiti da granulometrie prevalentemente ghiaioso-sabbioso-limose aventi permeabilità da  $7,0 \times 10^{-2}$  a  $2,0 \times 10^{-3}$  m/s (classe di permeabilità buona e/o discreta), si consiglia la captazione delle acque meteoriche mediante una tubazione es. PVC rigido DN315 all'interno di una cisterna o pozzettone di forma quadrata o circolare interrata e la successiva dispersione su terreno, intendendo lo stesso come fascia di infiltrazione che trattiene le acque in eccesso provenienti da zone impermeabili.

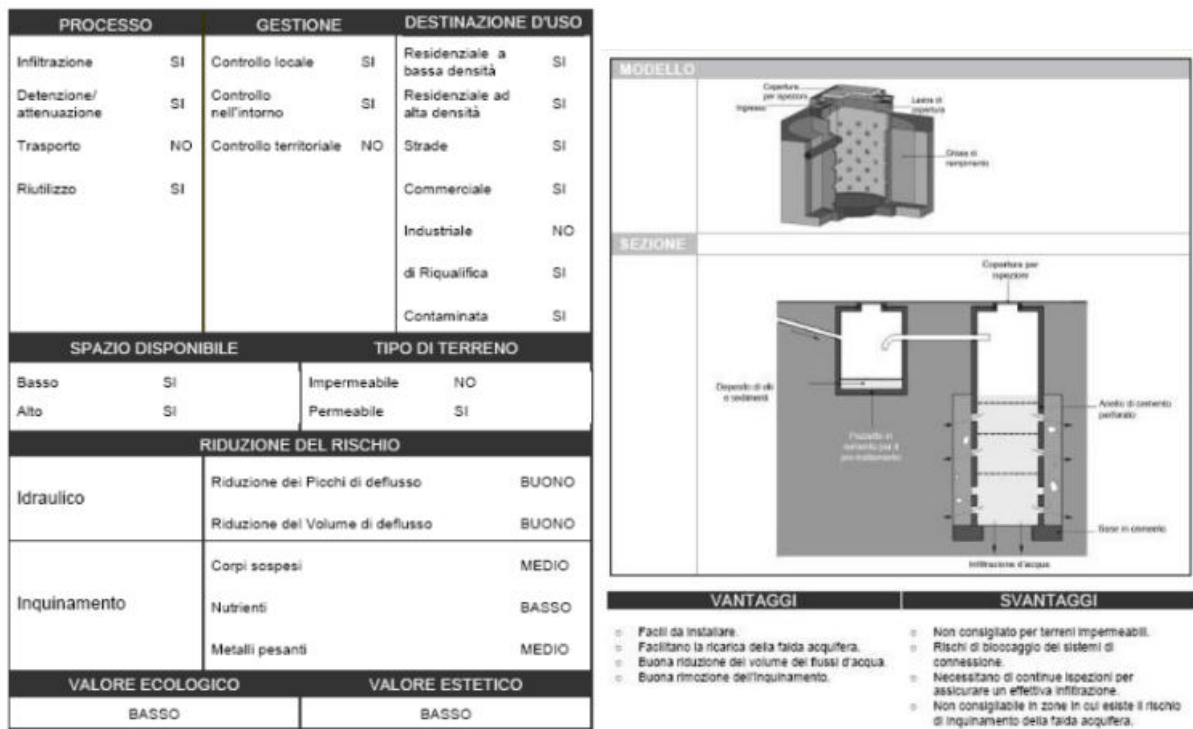


Figura 14 – Esempio di dispositivo di laminazione.

## 6.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

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

### 6.1 SISMICITÀ STORICA

È stata compiuta una ricerca degli eventi sismici più rilevanti dal DataBase Macrosismico Italiano 2015 v2.0 utilizzato per la composizione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 v2.0), disponibile per un lasso di tempo che va dall'anno 1000 fino al 2017 e che fornisce un set omogeneo di intensità da diverse fonti relativo a terremoti con intensità massima  $\geq 5$  (Figura 15).

Muccia		Reported earthquakes	
Effects	Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area
PlaceID	IT_51872		
Coordinates (lat, lon)	43.061, 13.043		
Municipality (ISTAT 2015)	Muccia		
Province	Macerata		
Region	Marche		
No. of reported earthquakes	52		
			NMDF Io Mw
4	1785 05 03 02 30	Appennino umbro-marchigiano	11 7 5.10
6	1789 07 28 22 05	Appennino marchigiano	70 9 6.18
F	1943 10 03 08 28 2	Ascolano	170 8 5.67
NF	1948 01 10	Loro Piceno	21 4-5 3.93
S	1951 08 08 19 56	Gran Sasso	94 7 5.25
F	1962 10 05 23 00 4	Appennino maceratese	16 5-6 4.35
4	1963 01 28 05 27	Monti Sibillini	30 5 4.31
4	1969 09 26 23 40 3	Teramo	97 5 4.39
5	1971 02 11 18 49 2	Valle del Chiascio	71 6 4.61
3	1971 02 12 04 54 5	Valle del Chiascio	47 7 4.89
3-4	1971 04 02 01 43 5	Valnerina	68 6 4.30
5	1971 10 04 16 43 3	Valnerina	43 5-6 4.51
5-6	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73 5 5.48
6-7	1979 09 19 21 35 3	Valnerina	694 5-9 3.83
5	1980 02 28 21 04 4	Valnerina	146 6 4.97
5	1980 05 24 20 16 0	Monti Sibillini	58 5-6 4.48
4-5	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709 7 5.62
4-5	1986 10 13 05 10 0	Monti Sibillini	322 5-6 4.46
4-5	1989 09 11 02 46 2	Marche meridionali	60 5 4.04
5	1989 11 19 03 40 2	Valnerina	38 5 4.13
4-5	1989 12 22 06 48 1	Valle Umbra	114 5 4.44
4	1995 12 30 15 22 0	Fernano	106 5 4.19
NF	1997 07 15 05 51 1	Appennino umbro-marchigiano	22 4-5 3.34
7	1997 09 26 00 33 1	Appennino umbro-marchigiano	760 7-8 5.66
6	1997 09 26 09 40 2	Appennino umbro-marchigiano	869 8-9 5.97
7-8	1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490 5.22
7-8	1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437 5.47
6-7	1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786 5.62
5	1997 10 23 05 58 4	Appennino umbro-marchigiano	56 3.26
4-5	1997 11 09 19 07 3	Valnerina	180 4.87
6	1998 02 07 00 59 4	Appennino umbro-marchigiano	62 4.41
5	1998 02 16 13 45 1	Valnerina	33 3.75
5	1998 03 21 16 45 0	Appennino umbro-marchigiano	141 5.00
5-6	1998 03 26 16 26 1	Appennino umbro-marchigiano	409 5.26
5	1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395 4.78
3-4	1998 06 01 13 57 1	Appennino umbro-marchigiano	23 4.02
5-6	1998 06 02 23 11 2	Appennino umbro-marchigiano	83 4.25
4-5	1998 08 11 05 22 5	Appennino umbro-marchigiano	24 3.26
4-5	1999 10 10 15 35 5	Alto Reatino	79 4-5 4.21
4-5	1999 11 29 03 20 3	Monti della Laga	62 5-6 4.15
4-5	2000 09 02 05 17 0	Appennino umbro-marchigiano	115 5 4.40
5	2000 10 24 07 52 2	Monti Sibillini	65 5 4.11
3-4	2001 04 16 08 51 5	Appennino umbro-marchigiano	31 4-5 3.57
NF	2004 12 09 02 44 2	Teramo	213 5 4.09
3-4	2005 04 12 00 31 5	Maceratese	131 4 3.74
4	2005 12 15 13 28 3	Val Nerina	350 5 4.14
4-5	2006 04 10 19 03 3	Maceratese	211 5 4.06
3-4	2006 10 21 07 04 1	Anconetano	287 5 4.21
6-7	2016 10 26 19 18 0	Valnerina	77 6.07
8	2016 10 30 06 40 1	Valnerina	379 6.61

Figura 15 - DBMI15, risultato dell'interrogazione per località ([https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)).

L'interrogazione ha fornito l'estrazione di 52 risultati.

Gli eventi più significativi in termini di danni (intensità massima MCS del 7° - 8°) comunque sono stati i sismi del 2016 (Valnerina,  $M_w$  di 6,61 e 6,07), 1997 (Appennino umbro-marchigiano e Valnerina,  $M_w$  di 5,97, 5,22, 5,47, 5,66 e 5,62), del 1979 (Valnerina,  $M_w$  di 6,49) e quello del 1799 ( $M_w$  di 6,18). Da prendere in considerazione anche gli eventi del 1703 ( $M_w$  di 6,92), del 1751 ( $M_w$  di 6,38) e del 1997 ( $M_w$  di 5,97).

## 6.2 SISMICITÀ RECENTE

È stata compiuta una ricerca degli eventi sismici recenti più rilevanti attraverso l'Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-basE (I.S.I.D.E. - Figura 16), servizio di sorveglianza sismica nazionale dell'INGV.

L'interrogazione, effettuata per un periodo di quattro anni, compreso tra Agosto 2016 e la data della stesura del presente paragrafo (Novembre 2020) e che ha riguardato un raggio di 30 km dal Comune di Muccia e una magnitudo  $M_w$  compresa tra 2,0 e 10,0, ha fornito 6.786 risultati che rappresentano l'intensa sequenza sismica tuttora in atto (sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso) seguente alle violente scosse di Amatrice, Accumuli e Norcia del 24/08/2016 ( $M_w$  6,0 e 5,3), di Castelsantangelo sul Nera e Visso del 26/10/2016 ( $M_w$  5,4 e 5,9), ancora Norcia del 30/10/2016 ( $M_w$  6,5) e Montereale, Capitignano del 18/01/2017 ( $M_w$  5,1, 5,5, 5,4 e 5,0) con ipocentri tra gli 8 e 11 km.



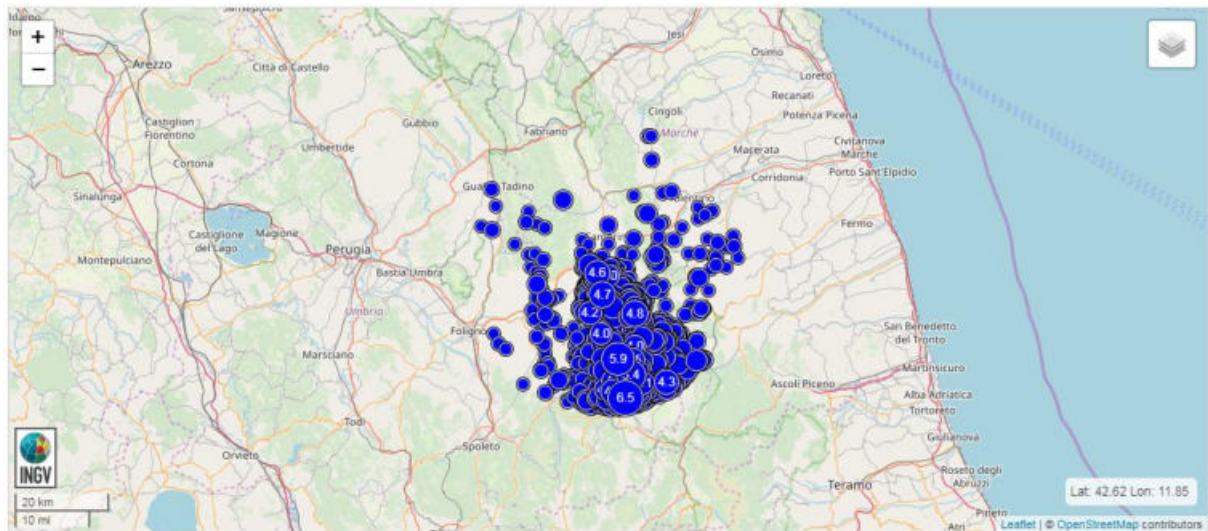


Figura 16 - Localizzazione degli ultimi eventi sismici significativi registrati (ISIDE - <http://cnt.rm.ingv.it/iside>).

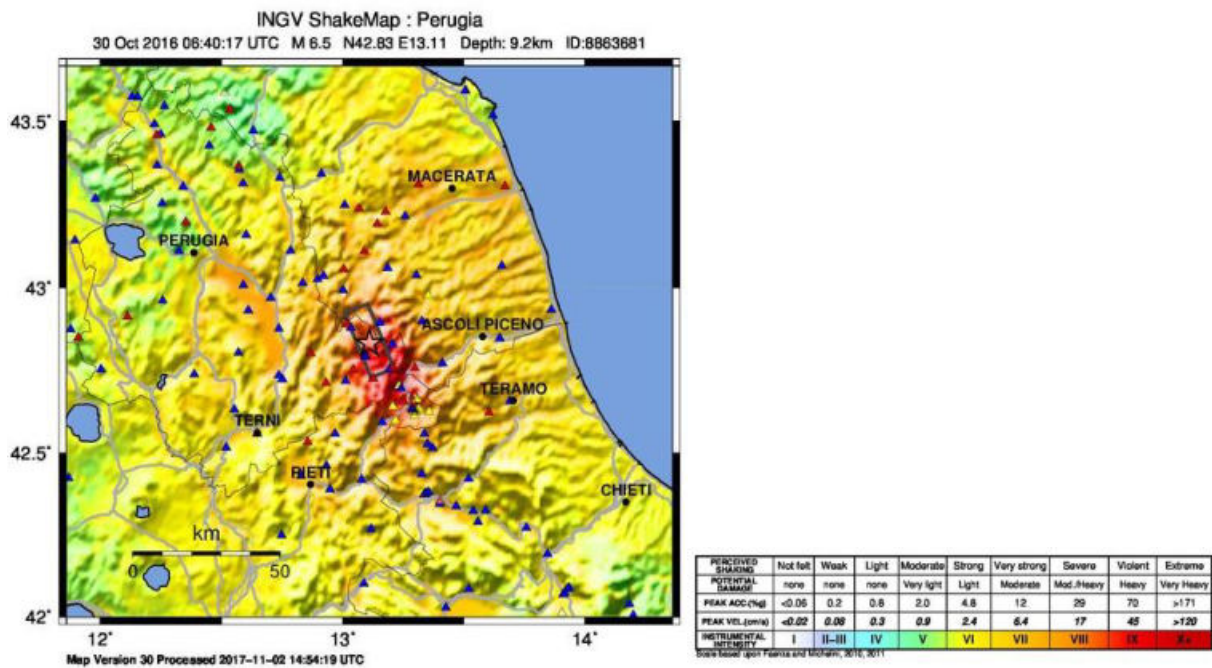


Figura 17 - Elaborazione ShakeMap del sisma occorso il 30/10/2016, per la stima dei parametri di scuotimento del suolo sulla base dei dati registrati dai sismometri e degli accelerometri e delle successive interpolazioni basate sulle conoscenze sismologiche (<http://cnt.rm.ingv.it/event/8863681>).

### 6.3 CONDIZIONE SISMICA LOCALE

#### 6.3.1 ACCELERAZIONE E ZONAZIONE SISMICA

Per la determinazione delle azioni sismiche, l'elemento di conoscenza primario è costituito dalla pericolosità sismica (Figura 18). I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti dall'O.P.C.M. n. 3519/2006 che ha suddiviso l'intero territorio nazionale (*local hazard*) in quattro zone sismiche sulla base del valore di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  (*reference peak*

ground acceleration) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A) e che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Viene poi mostrata la disaggregazione della pericolosità sismica (Figura 19), operazione che permette di valutare i contributi delle diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito; la forma proposta è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che consente di definire il contributo delle sorgenti sismogenetiche poste a distanza R e capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altre parole, la disaggregazione dei valori di  $a_g$  dei terremoti occorsi in magnitudo-distanza fornisce statisticamente il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito oggetto di intervento (scuotimento stimato in termini probabilistici).

Tabella 4 – Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su suolo rigido (OPCM 3519/06)

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

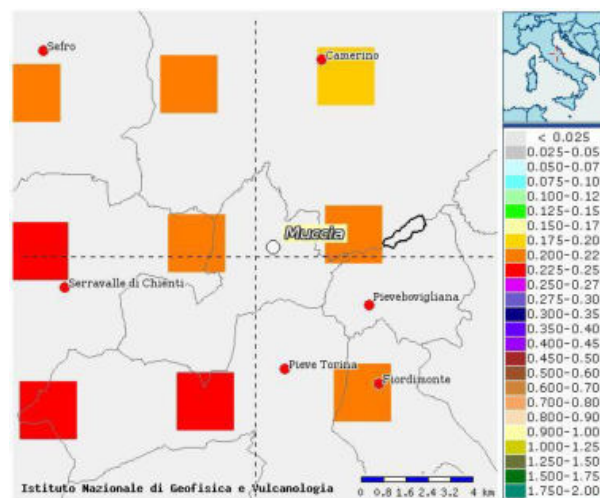


Figura 18 - Mappa interattiva di pericolosità sismica.



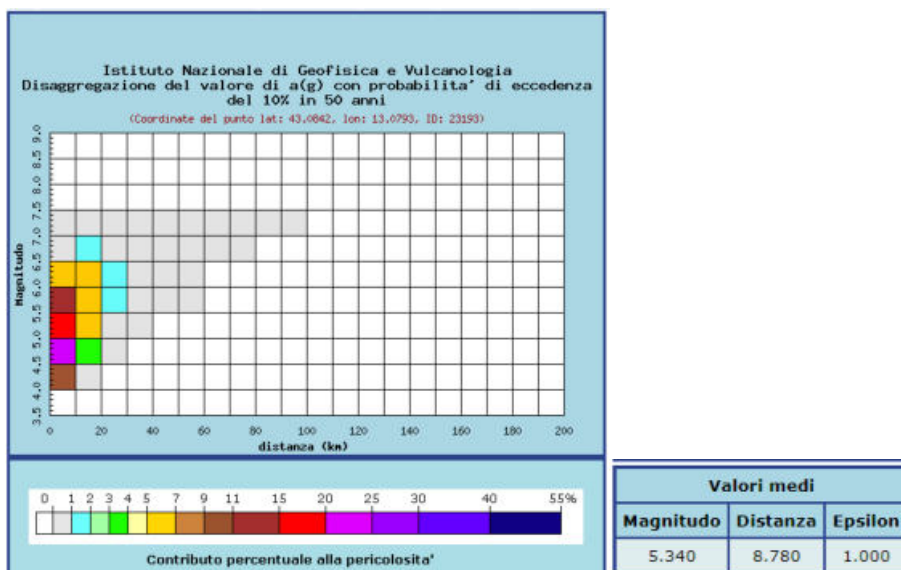


Figura 19 - Grafico di disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Dal grafico si può osservare immediatamente come per tempi di ritorno uguali a 475 anni, il sito in esame sia caratterizzato da terremoti modesti ( $M_w$  5,340 – terremoto di scenario) originati da sorgenti sismiche anche piuttosto vicine ( $R < 10$  km). Tuttavia, sono possibili sismi molto forti aventi magnitudo  $M_w$  di circa 7,0 da sorgenti ubicate fino a 30 km dal sito oggetto di intervento.

### 6.3.2 ZONAZIONE SISMOGENETICA E VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO

Per quanto riguarda la zonazione sismogenetica, al fine di determinare la massima magnitudo attesa, è stata compiuta un'analisi mediante il Database of Individual Seismogenic Sources (D.I.S.S. version 3.2.1) dell'INGV. Da esso (Figura 20) è risultato che il sito oggetto di studio è situato all'interno della fascia sismogenetica composta denominata "Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (ITCS027)", a cui viene associata una magnitudo massima ( $M_w$ ) di 6,2. All'interno di essa si ubica la sorgente singola denominata "Camerino (ITIS049)", capace di dar luogo ad eventi di magnitudo massima  $M_w$  5,8 valutata usando la relazione di Wells e Coppersmith (1994) e la sorgente singola denominata "Sarnano (ITIS055)", di magnitudo massima  $M_w$  6,0. Di entrambe non è possibile determinare il tempo di ritorno ma si ritengono responsabili rispettivamente degli eventi del 1799 e 1873. Inoltre, l'area è prossima ad un'altra fascia sismogenetica composta: a W è infatti presente la zona denominata "Colfiorito-Campotosto (ITCS028)", a cui viene associata una magnitudo massima ( $M_w$ ) di 6,5. All'interno di esse si ubicano la sorgenti singole denominate "Sellano (ITIS019)", "Colfiorito South (ITIS018)" e "Colfiorito North (ITIS017)", capaci di dar luogo ad eventi di magnitudo massima  $M_w$  rispettivamente di 5,6, 5,7, e 6,0.

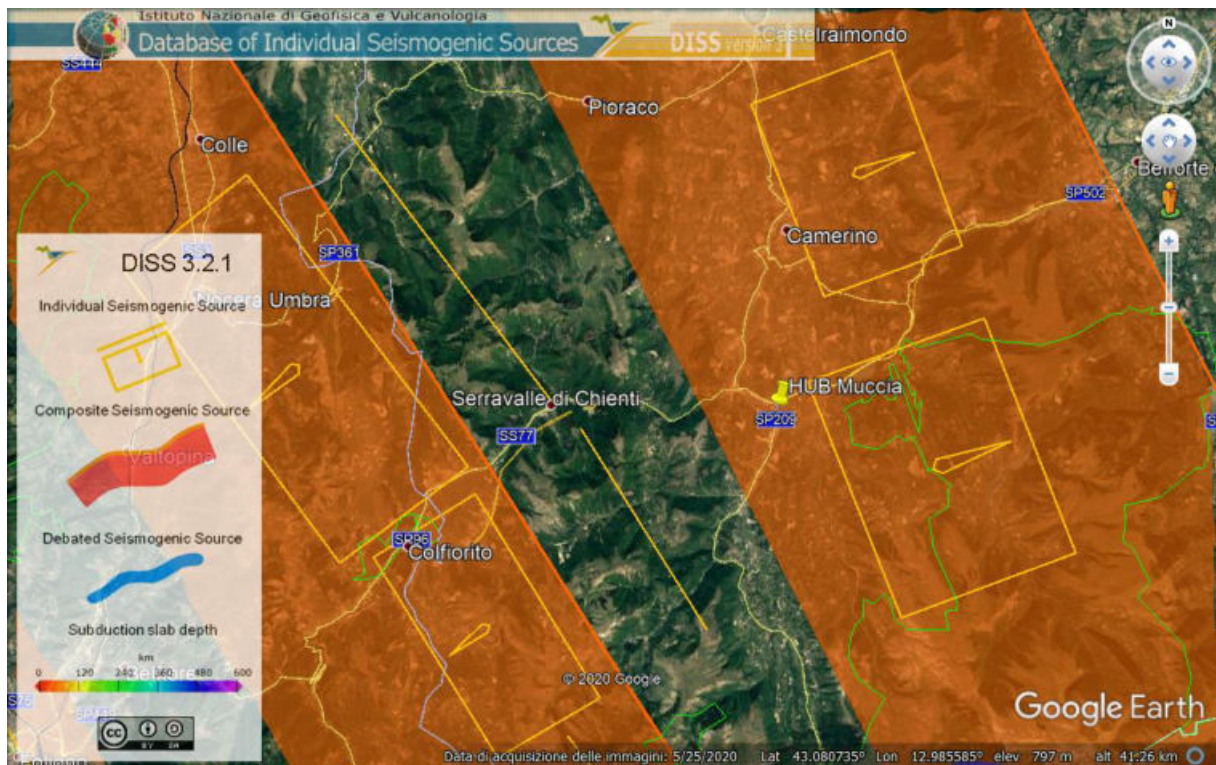


Figura 20 - Database delle strutture sismogeniche (DISS vers. 3.2.1).

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

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

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

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

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

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

In linea di principio, visto che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto. Queste frequenze vengono determinate dalle proprietà meccaniche e dalla morfologia attorno al punto di misura. Nella prassi ingegneristica la misura delle frequenze di risonanza avviene applicando ad un corpo una sollecitazione nota, solitamente un impulso

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

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

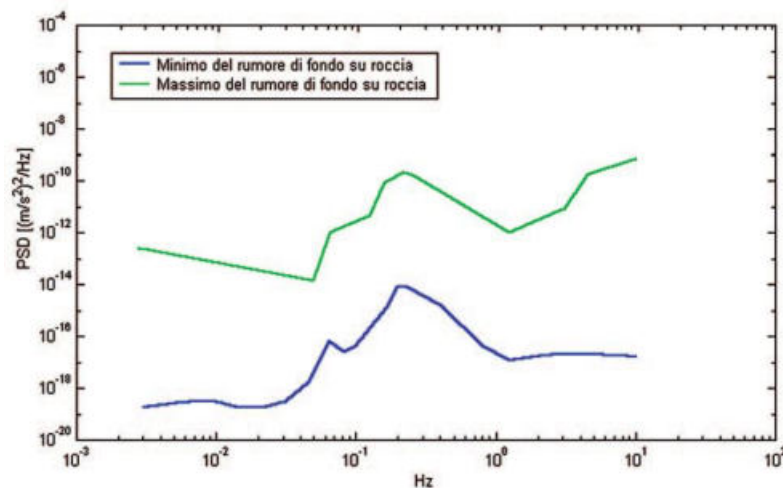


Figura 21 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra (secondo USGS).  
Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

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

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La

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

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

$$f_r = V_{S1} / (4H) \quad [1]$$

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

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

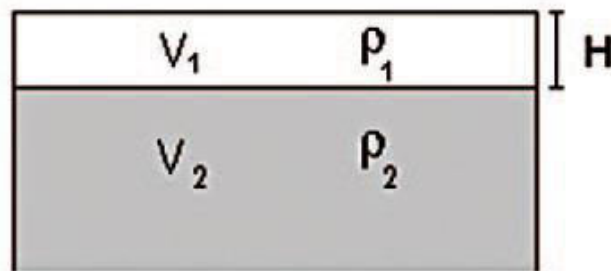


Figura 22 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità  $\rho$  e velocità di propagazione delle onde sismiche  $V$ .

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

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto, il modello di strato piano al disopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più



vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (per le basi teoriche si veda ad es. Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981; Arai e Tokimatsu, 2004).

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (per un riassunto cfr. Gallipoli et al., 2000; Castellaro et al., 2005). Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. es. Pratt).

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

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura

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

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

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

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

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

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

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

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

Dove  $C_t$  è una costante che vale:

0,085 per costruzioni con struttura a telaio di acciaio o di legno;

0,075 per costruzioni con struttura a telaio di calcestruzzo armato;

0,05 per costruzioni di muratura o per qualsiasi altro tipo di struttura.

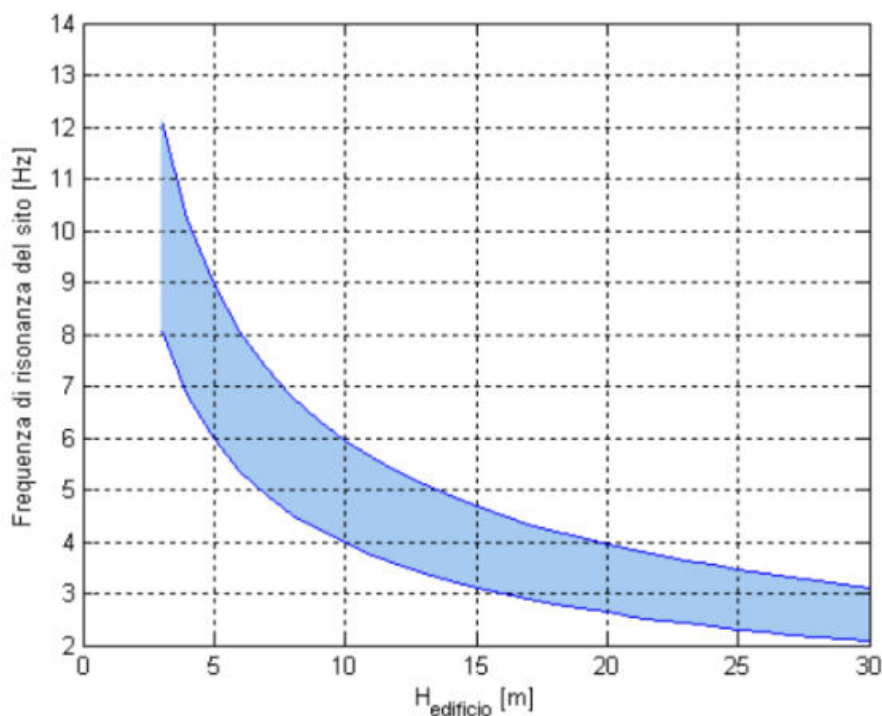


Figura 23 – Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e la frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

Nel caso specifico, considerando un'altezza  $H$  totale dell'edificio pari a 6,70 m e assumendo una costante  $C_t$  pari a 0,05 a livello speditivo viene stimato pari a 0,35 s (2,82 Hz) il valore del modo fondamentale di vibrazione  $T_1$ .

In allegato è presente il report completo delle n. 2 misure a stazione singola effettuate secondo il metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V, per la stima della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, che nel caso specifico, si presentano molto disturbate da evidenti elementi di origine antropica. Solo l'HVSR n. 1 mostra un picco molto alto tra i 20 e i 30 Hz, che non lascia ipotizzare fenomeni di concomitanza di risonanza tra il manufatto oggetto di realizzazione e il terreno.

#### 6.3.4 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA ESISTENTI

Viene definita la Microzonazione Sismica (MS) come la "valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza, la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità (ora Zone di attenzione per instabilità, N.d.R.)".

Successivamente, a seguito dei forti eventi sismici che hanno caratterizzato il Centro Italia a partire dal 24/08/2016, è stato emanato il D.L. n. 8 del 9 febbraio 2017, *Nuovi interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del 2016 e del 2017*, convertito con modificazioni dalla Legge n. 45 del 7 aprile 2017 mentre il 12 maggio 2017, è stata emanata l'Ordinanza n. 24 da parte del Commissario del

Governo per la ricostruzione, *Assegnazione dei finanziamenti per gli studi di microzonazione sismica di III livello ai Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016*, in cui, all'Appendice 2 – Elenco dei Comuni interessati dagli studi di MS e raggruppamenti territoriali, dove risulta essere presente anche il Comune di Muccia. Lo scopo di tale livello 3 è quello di associare valori dei fattori di amplificazione FA e spettri medi di risposta alle zone stabili soggette ad amplificazione, già definite nel precedente livello 1, successivamente aggiornate durante gli studi per il livello 3. Il livello 1 può essere applicato alla sola pianificazione del territorio, mentre il livello 3 si applica alla pianificazione del territorio e può fornire elementi di supporto alle valutazioni che il progettista responsabile degli interventi sui manufatti deve comunque fare sotto la sua esclusiva responsabilità, anche indipendentemente dai risultati della Microzonazione di livello 3. Vengono inoltre definite 3 classi di intervallo dei periodi di vibrazione di interesse in relazione al numero dei piani in elevazione degli edifici presenti, o di futura edificazione, nell'area studiata (con caratteristiche omogenee): 0,1 – 0,5 s, 0,4 – 0,8 s e 0,7 – 1,1 s. Il settore oggetto di variante al P.d.F. risulta essere stato incluso solo nell'area indagata nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1 (MOPS – Figura 24). Risulta essere escluso dagli studi di livello 3.



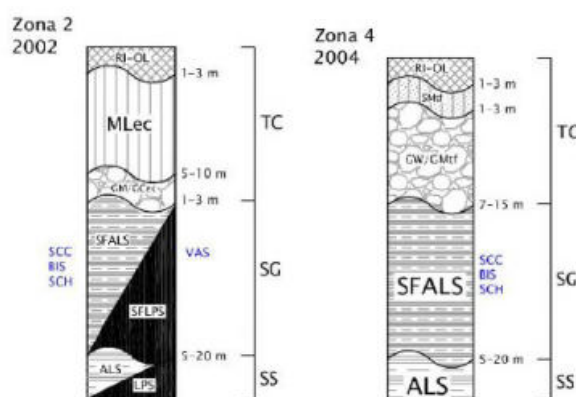


Figura 24 – Stralcio della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). In blu, l'area oggetto di variante al P.d.F..

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

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

Tabella 5 – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per diversi tipi di costruzioni (da NTC 2018).

Tipi di costruzione		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevate	100

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

Tabella 6 – Classi d'uso (da NTC 2018).

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti



	ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzioni di energia elettrica.
--	---

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

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

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

Tabella 7 – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  (da NTC 2018).

CLASSE D'USO	I	I	III	IV
		I		
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1	1,5	2

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

### 6.3.6 TIPO DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si è fatto riferimento sia alla valutazione di una risposta sismica locale 1D, il cui report completo viene allegato alla presente relazione, che ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

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

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

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

Con

$H_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

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

$N$  numero di strati;

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

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

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

Nonostante per l'edificio oggetto di realizzazione sia stato valutato l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi (cfr. paragrafo 6.3.6), per un confronto sulla definizione dell'azione sismica, si riporta anche il ricorso all'approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Per il caso in esame, per la determinazione della categoria di sottosuolo, è stata eseguita una un'analisi MASW-HS in Onde di Rayleigh congiunta con l'indagine HVSR che ha fornito il seguente valore:

METODOLOGIA	$V_{s,eq} = V_{s,30}$ (m/s)
MASW-HS + HVSR	566

Tabella 8 - categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (da NTC 2018).

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

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

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

Tabella 9 – Categorie topografiche (da NTC 2018).

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

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

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

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

Vengono allegati nel testo, i valori di progetto dei parametri sismici ( $ag$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) per gli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC tipici del luogo in esame e i coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  orizzontali e verticali per le fondazioni. Attraverso tali valori è possibile generare degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontali e verticali di Esercizio (SLE) e agli Stati Limite Ultimi (SLU). In particolare, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito nella verifica dei soli Stati Limite di Danno (SLD) e Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

Nel caso specifico, ai sensi dell'Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018, non è stato eseguito alcun confronto tra lo spettro di risposta medio regolarizzato ottenuto dallo studio di MS3 della microzona di interesse con quello ottenuto con l'approccio semplificato della normativa sismica, in quanto per il sito oggetto di intervento non sono disponibili studi di MS di Livello 3.

Si è comunque proceduto alla definizione della Risposta Sismica Locale, cioè delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base, subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie. In particolare, è stata eseguita una valutazione dell'azione sismica attesa al livello del piano di fondazione, a seguito di una sollecitazione sismica che si propaga a partire da un ipocentro.

Tale valutazione è stata effettuata attraverso un'analisi monodimensionale (modello 1D) usando il modello sismostratigrafico emerso a seguito dell'effettuazione dello stendimento sismico MASW.

Dapprima sono stati reperiti n. 7 accelerogrammi naturali attraverso l'applicativo *ESM\_REXELweb.exe*, inserendo i parametri illustrati di seguito per gli SLD e SLV (Figure 25 e 26).

Stato Limite di Danno (SLD)

<pre> ===== REXEL_ELABORATION_SUMMARY ===== 01 Nov 2020 11:42:06 GMT  Target spectrum ===== Reference spectrum: NTC08 Soil classification: A Topographic category: T1  Preliminary spectra selection ===== Spectrum format ('PSA' use 30 (0-4s) periods, 'SD' use 37 (0-10s) periods): PSA Number of components: 1 Filename of the ZIP from ESM REXEL-target-spectrum Web-Service: ws_rexel_spectra_selection_target_33919.txt Soil classification: A Include inferred soil classes: Y Include late-triggered waveforms: N Focal mechanism: normal Instrument type: digital Lower period scoring [s]: 0.1 Upper period scoring [s]: 1.2 Maximum number of selected spectra: 500 Excluded waveforms: None Excluded locations: None Excluded events: None Types of magnitude considered (L=local, W=moment): WL Lower magnitude: 4.7 Upper magnitude: 5.7 Lower epicentral distance [km]: 0.0 Upper epicentral distance [km]: 50.0  Spectrum matching parameters ===== Component used in computation: horizontal(s) Target spectrum input file: TARGET_SPECTRUM.TXT Spectral values input file: SPECTRAXY.TXT Lower period range [s]: 0.1 Upper period range [s]: 1.2 Tolerance below average [%]: 10.0 Tolerance above average [%]: 30.0 Tolerance in amplitude for the selected set [%]: 0 Adimensional flag: 0 Maximum scale factor: 5 Peak-ground acceleration check: 0 Number of spectra to be contained into each set: 7 Three-components flag: 0 Number of the compatible sets: 1                 </pre>	<p><i>Credits and proper usage</i></p> <pre> ===== If you use REXELweb, please reference: Sgobba, S., Puglia, R., Pacor F., Luzi, L., Russo, E., Felicetta, C., Lanzano, G., D'Amico, M., Baraschino, R., Baltzopoulos, G., Ierolino, I. REXELweb: a tool for selection of ground-motion records from the Engineering Strong Motion database (ESM) 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (ICEGE) 17 - 20 June 2019, Roma, Italy  If you use any record of ESM provided by REXEL: Luzi L, Puglia R, Russo E &amp; ORFEUS WG5 (2016) Engineering Strong Motion Database, version 1.0 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Observatories &amp; Research Facilities for European Seismology doi: 10.13127/ESM  The core engine is composed by: - some Python scripts developed by Rodolfo Puglia [1] and Sara Sgobba [1] - and some fortran routines developed by Iunio Ierolino [2]  Thanks for testing to: Sara Sgobba [1], Rodolfo Puglia [1], Francesca Pacor [1] Lucia Luzi [1], Emiliano Russo [3], Chiara Felicetta [1] Giovanni Lanzano [1], Maria D'Amico [1], Roberto Baraschino [2] Georgios Baltzopoulos [2], Iunio Ierolino [2] [1] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milan, Italy [2] Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Napoli, Italy [3] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy                 </pre>
---	---

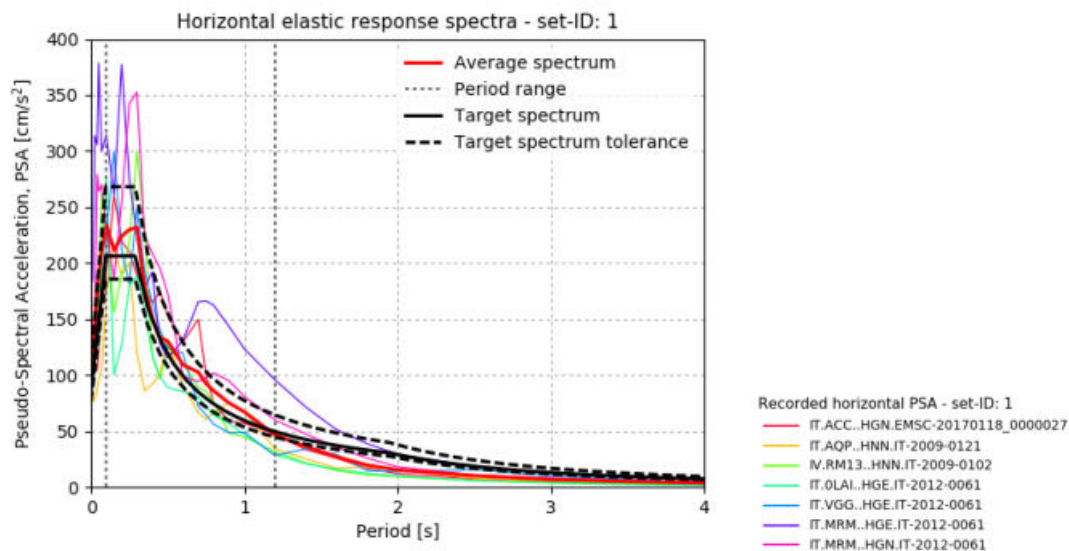


Figura 25 - Risultati della ricerca: spettri della combinazione di accelerogrammi e spettro target per lo Stato Limite di Danno (SLD).



Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

<pre> ===== REXEL_ELABORATION_SUMMARY ===== 01 Nov 2020 11:45:02 GMT  Target spectrum ===== Reference spectrum: NTC08 Soil classification: A Topographic category: T1  Preliminary spectra selection ===== Spectrum format ('PSA' use 30 (0-4s) periods, 'SD' use 37 (0-10s) periods): PSA Number of components: 1 Filename of the ZIP from ESM REXEL-target-spectrum Web-Service: ws_rexel_spectra_selection_target_70389.txt Soil classification: A Include inferred soil classes: Y Include late-triggered waveforms: N Focal mechanism: normal Instrument type: digital Lower period scoring [s]: 0.1 Upper period scoring [s]: 1.2 Maximum number of selected spectra: 500 Excluded waveforms: None Excluded locations: None Excluded events: None Types of magnitude considered (L=local, W=moment): WL Lower magnitude: 4.8 Upper magnitude: 6.5 Lower epicentral distance [km]: 0.0 Upper epicentral distance [km]: 30.0  Spectrum matching parameters ===== Component used in computation: horizontal(s) Target spectrum input file: TARGET_SPECTRUM.TXT Spectral values input file: SPECTRAXY.TXT Lower period range [s]: 0.1 Upper period range [s]: 1.2 Tolerance below average [%]: 10.0 Tolerance above average [%]: 30.0 Tolerance in amplitude for the selected set [%]: 0 Adimensional flag: 0 Maximum scale factor: 5 Peak-ground acceleration check: 0 Number of spectra to be contained into each set: 7 Three-components flag: 0 Number of the compatible sets: 1                 </pre>	<p><i>Credits and proper usage</i></p> <p>=====</p> <p><i>If you use REXELweb, please reference:</i>  Sgobba, S., Puglia, R., Pacor F., Luzi, L., Russo, E., Felicetta, C., Lanzano, G., D'Amico, M., Baraschino, R., Baltzopoulos, G., Ierolino, I.  REXELweb: a tool for selection of ground-motion records from the Engineering Strong Motion database (ESM)  7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (ICEGE) 17 - 20 June 2019, Roma, Italy</p> <p><i>If you use any record of ESM provided by REXEL:</i>  Luzi L, Puglia R, Russo E &amp; ORFEUS WG5 (2016)  Engineering Strong Motion Database, version 1.0  Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  Observatories &amp; Research Facilities for European Seismology  doi: 10.13127/ESM</p> <p><i>The core engine is composed by:</i>  - some Python scripts developed by Rodolfo Puglia [1] and Sara Sgobba [1]  - and some fortran routines developed by Iunio Ierolino [2]</p> <p><i>Thanks for testing to:</i>  Sara Sgobba [1], Rodolfo Puglia [1], Francesca Pacor [1]  Lucia Luzi [1], Emiliano Russo [3], Chiara Felicetta [1]  Giovanni Lanzano [1], Maria D'Amico [1], Roberto Baraschino [2]  Georgios Baltzopoulos [2], Iunio Ierolino [2]</p> <p>[1] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milan, Italy  [2] Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Napoli, Italy  [3] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy</p>
---	---

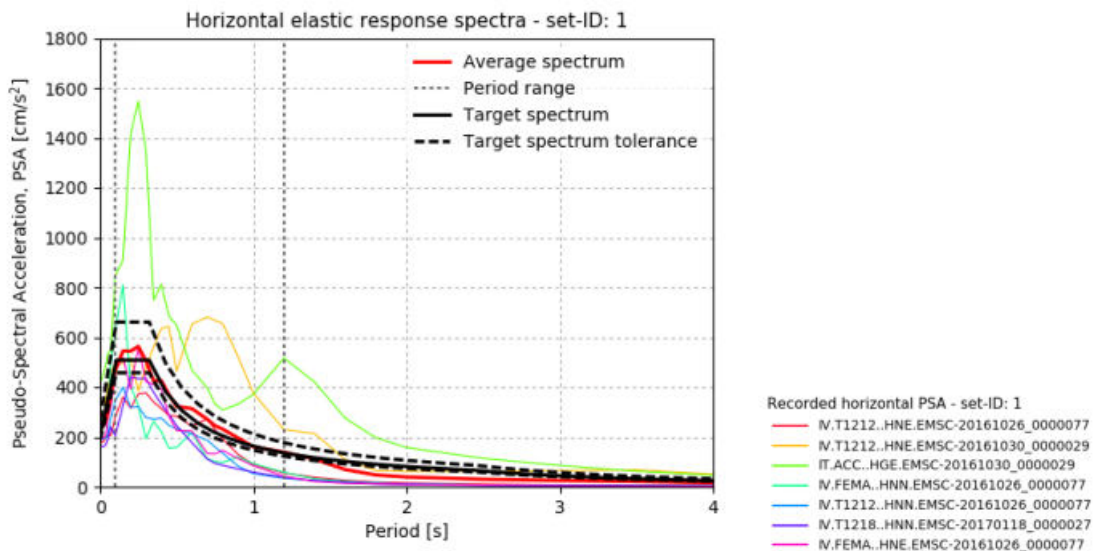


Figura 26 - Risultati della ricerca: spettri della combinazione di accelerogrammi e spettro target per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

L'analisi di RSL è stata compiuta secondo il modello di tipo *lineare equivalente* (EQL), per gli stati limite richiesti, in cui le proprietà elastiche e lo smorzamento vengono fatti variare in funzione del livello deformativo: l'analisi viene svolta con calcoli iterativi fino al raggiungimento di una convergenza dei risultati ad un valore imposto. Tale analisi è stata compiuta con il software Geostru RSL III (vers. 2021.20.5.858) ed il report finale è incluso negli allegati.

#### 6.4 VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEL TERRITORIO

Da un'analisi della Tav. EN\_07b del P.T.C. della Provincia di Macerata (Figura 27), risulta che il Comune di Muccia, caratterizzato da una popolazione residente pari a 878 (ISTAT all'01/01/2019) possieda un grado di sismicità pari a 9 e un indice di rischio sismico pari a 0,4960: essendo quest'ultimo superiore alla media nazionale (0,0455), il sito oggetto di intervento viene fatto ricadere nella categoria "Comuni ad elevato rischio sismico".



Figura 27 - Grado di sismicità dei comuni nella Provincia di Macerata (PTC Tav. EN\_07b).

#### 6.5 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

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

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

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

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

- accelerazioni massime al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$ , dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna a determinate fasce critiche (Figura 28).

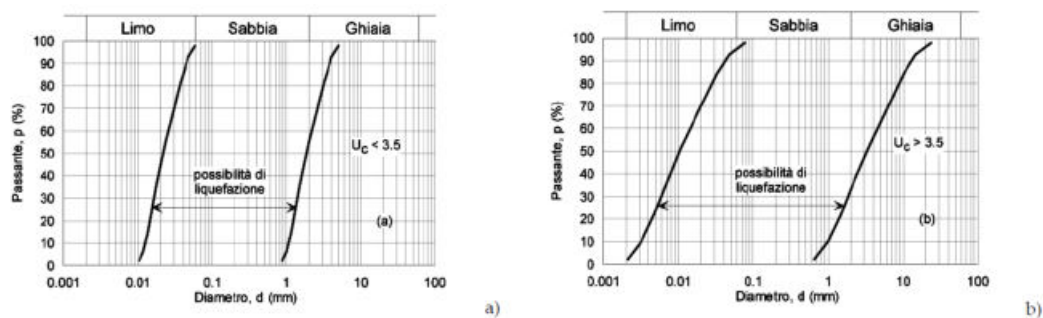


Figura 28 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nel caso in esame, la verifica nei confronti del fenomeno della liquefazione è stata omessa in quanto le granulometrie emerse durante le indagini sono esterne alle fasce critiche e non è stata individuata alcuna falda idrica significativa.

## 7.0 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

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

## 7.1 LITOSTRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI E DELLE ROCCE

Per quanto riguarda la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e successiva caratterizzazione geomeccanica, si è fatto ricorso a n. 2 trincee ispezionabili e n. 1 indagine penetrometrica dinamica superpesante DPSH.

Ciò ha permesso la ricostruzione e rappresentazione di n. 1 sezione litostratigrafica esemplificativa del modello geologico e geotecnico di sottosuolo presente (Tavola 6, scala 1: 100).

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

### **Litotipo "RI" - TERRENO VEGETALE** (DPSH1: 0,0 - 0,4 m dal p.c.)

*Viene omessa la caratterizzazione geomeccanica in quanto ritenuto ininfluenza ai fini progettuali e destinato alla rimozione prima della realizzazione dell'opera.*

### **Litotipo "SM" - LIMO SABBIOSO CON GHIAIA** (DPSH1: 0,4 - 1,0 m dal p.c.)

*Da poco a mediamente addensato. Possiede stabilità discreta e capacità portante media. L'incremento di intensità risentita rispetto ai terreni a più elevata rigidità è compreso tra 2 e 3 n.*

Peso di volume secco	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	1,69
Peso di volume saturo	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	1,91
Resistenza non drenata	cu (kPa)	86
Angolo di resistenza al taglio	$\phi'$ (°)	26,5
Modulo elastico	E' (kPa)	9.175
Modulo edometrico	M (kPa)	5.416 - 7.216
Numero di colpi medio	Nspt	8,82

### **Litotipo "SW" - GHIAIA E SABBIA** (DPSH1: 1,0 - 2,6 m dal p.c.)

*Da sciolta a poco addensata (a seconda della % di matrice e della granulometria della frazione grossolana). Con clasti prevalentemente calcarei, arrotondati e appiattiti, ciottoli e pezzame selcifero. Possiede buona stabilità e capacità portante da buona a ottima. L'incremento di intensità risentita rispetto ai terreni a più elevata rigidità è legato generalmente alla posizione della falda, che nel caso specifico non è stata individuata nel corso dell'esecuzione delle indagini.*

Peso di volume secco	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	1,94
Peso di volume saturo	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	1,96
Resistenza non drenata	cu (kPa)	0,00
Angolo di resistenza al taglio	$\phi'$ (°)	31
Modulo elastico	E' (kPa)	8.117
Modulo edometrico	M (kPa)	8.117 - 15.397
Numero di colpi medio	Nspt	17,46



**Litotipo “GW” – GHIAIA SABBIOSO-LIMOSA**  
**(DPSH1: > 2,6 m dal p.c.)**

*Da mediamente a molto addensata (a seconda della % di matrice e della granulometria della frazione grossolana). Possiede ottima stabilità e ottima capacità portante. Presenti abbondanti ciottoli. L'incremento di intensità risentita rispetto ai terreni a più elevata rigidità è legato generalmente alla posizione della falda, che nel caso specifico non è stata individuata nel corso dell'esecuzione delle indagini.*

Peso di volume secco	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	2,04
Peso di volume saturo	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	2,15
Resistenza non drenata	$c_u$ (kPa)	0,00
Angolo di resistenza al taglio	$\phi'$ (°)	40
Modulo elastico	$E'$ (kPa)	30.000
Modulo edometrico	$M$ (kPa)	30.000
Numero di colpi medio	Nspt	51,08

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

## 8.0 FONDAZIONI E CEDIMENTI

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

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

### 8.1 STATO LIMITE ULTIMO

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

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

$$Ed < Rd$$

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

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

Il valore di  $R_d$  viene calcolato utilizzando le formule di capacità portante nelle quali vengono introdotti coefficienti riduttivi sia dei parametri geotecnici ( $\gamma M$ ), sia della capacità risultante dell’applicazione delle formule ( $\gamma R$ ). Le metodologie si basano sui criteri e schemi di Prandtl (*Über die Eindringungsfestigkeit plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden*, 1921) o Terzaghi (*Theoretical Soil Mechanics*, 1943) che fanno riferimento alla formula trinomia elaborata da diversi autori: l’entrata in vigore delle N.T.C. 2008 non ha modificato in maniera sostanziale gli aspetti teorici alla base di tali formulazioni.

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

$$q_{lim} = c'N_{cs}d_{ci}g_c b_c + \gamma D N_{qs}d_{qi}g_q b_q + 0,5B\gamma'N_{ys}d_{yi}g_y b_y$$

con

$$N_q = e^{ntg\phi'} K_P N_c = (N_q - 1) ctg\phi'$$

$$N_y = 2(N_q - 1) tg\phi' \text{ [modificata EC7]}$$

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

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

$$q_{lim} = (2+\pi)c_{us}d_{ci}g_c b_c + \gamma D$$

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

Per la verifica della capacità portante delle fondazioni superficiali in presenza di carichi sismici, le classiche formulazioni in campo statico non risultano assolutamente esaustive per questo tipo di problema in quanto, durante un terremoto, il passaggio delle onde sismiche crea delle forze di inerzia nel terreno le quali sono equilibrate da uno stato tensionale di natura dinamica principalmente legato al

taglio orizzontale e, nello stesso tempo, in fondazione si manifestano altre forze dovute all'inerzia della sovrastruttura.

Il problema della capacità portante in campo sismico è legato alle caratteristiche sismiche del sito, sia in termini di eventi attesi, in funzione delle prestazioni richieste dall'opera, sia in termini di risposta sismica locale. In particolare, tali caratteristiche vengono espresse attraverso l'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) attesa al suolo per sito di riferimento rigido, e il fattore di amplificazione ( $S = S_s \times S_t$ ) che tiene conto delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche proprie del sito di costruzione, sulla base di approcci semplificati o, in alternativa, studi specifici di risposta sismica locale. Dalla  $a_g$  e dal fattore di amplificazione si ottengono i coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$ . Per eventuali approfondimenti si rimanda al capitolo 6 o ai parametri sismici allegati alla presente relazione.

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

Condizioni drenate (terreni granulari):

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

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

## 8.2 STATO LIMITE ESERCIZIO

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

$$E_d < C_d$$

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

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

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

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

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

Condizioni drenate (terreni granulari/incoerenti):

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

Condizioni non drenate (terreni coesivi):

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

### 8.3 COSTANTE DI SOTTOFONDO

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



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

Di seguito si riportano alcuni valori indicativi per il coefficiente di sottofondo (Valori indicativi della costante di Winkler  $K_s$ ).

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

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

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

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

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

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

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

## 9.0 CONCLUSIONI

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

- Il rilievo geologico e geomorfologico eseguito in un intorno significativo dell'area oggetto di intervento e confrontato con la cartografia ufficiale e con n. 2 trincee ispezionabili eseguite con escavatore meccanico e n. 1 prova penetrometrica dinamica super-pesante DPSH, attesta la presenza di depositi alluvionali terrazzati del III ordine (*Pleistocene superiore*) costituiti dapprima da limo sabbioso con ghiaia sparsa (litotipo "SM") dotato di media capacità portante e stabilità, seguito da ghiaia e sabbia (litotipo "SW") e ghiaia sabbioso-limosa molto addensata (litotipo "GW") e posti al di sopra del substrato rappresentato, con molta probabilità, dalla Scaglia cinerea appenninica (*Priaboniano p.p. – Aquitaniano p.p.*) e presente ad una profondità a partire da circa 18,0 m dal p.c., valutata attraverso l'esecuzione di indagini geofisiche.
- Sulla base di indagini effettuate nell'area, non viene segnalata la presenza di circolazione idrica significativa, almeno fino alla profondità raggiunta dalle indagini.
- Allo stato attuale non si segnala la presenza di processi morfogenici attivi dovuti alla gravità interagenti con l'area oggetto di intervento: pertanto viene assegnato un grado di pericolosità geologica e geomorfologica nulla e di rischio nullo. Di conseguenza viene esclusa qualsiasi analisi di stabilità.

- L'area, classificata come Zona sismica 1, è ubicata all'interno della sorgente sismogenetica individuata nel D.I.S.S. versione 3.2.1 denominata "Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (ITCS027)", a cui viene associata una magnitudo massima ( $M_w$ ) pari a 6,2. Il rischio sismico è dunque elevato.
- N. 2 misure HVSR mostrano disturbi antropici diffusi; solo l'HVSR n. 1 presenta un picco di amplificazione molto alto tra i 20,0 e i 30 Hz; non vengono ipotizzati fenomeni di concomitanza di risonanza tra il manufatto oggetto di intervento e il terreno, in quanto in maniera speditiva viene stimato pari a 0,35 s (2,82 Hz) il valore del modo fondamentale di vibrazione  $T_1$  del fabbricato.
- Da un'indagine MASW-HS in Onde di Rayleigh congiunta con l'indagine HVSR viene fornito un valore della  $V_{s,eq} = V_{s,30}$  pari a  $\sim 566$  m/s che, tramite approccio semplificato, permette di attribuire al sottosuolo una categoria di tipo B (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o di 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.*) e  $T_1$  (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ).
- Non è stato eseguito alcun confronto tra lo spettro di MS3 e quello dello spettro semplificato di norma (Ordinanza n. 55 del 24.04.2018) in quanto per il sito oggetto di intervento non sono disponibili studi di MS di Livello 3. Si è comunque proceduto alla definizione della Risposta Sismica Locale mediante approfondite analisi. Il calcolo, i cui risultati sono presenti in allegato, è stato effettuato adottando un modello di comportamento del terreno di tipo *lineare equivalente (EQL)* per lo Stato Limite di Danno (SLD) e per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).
- La verifica nei confronti del fenomeno della liquefazione è stata omessa in quanto le granulometrie emerse durante le indagini sono esterne alle fasce critiche e non è stata individuata alcuna falda idrica significativa.

# TAVOLE E ALLEGATI



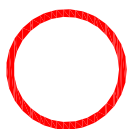
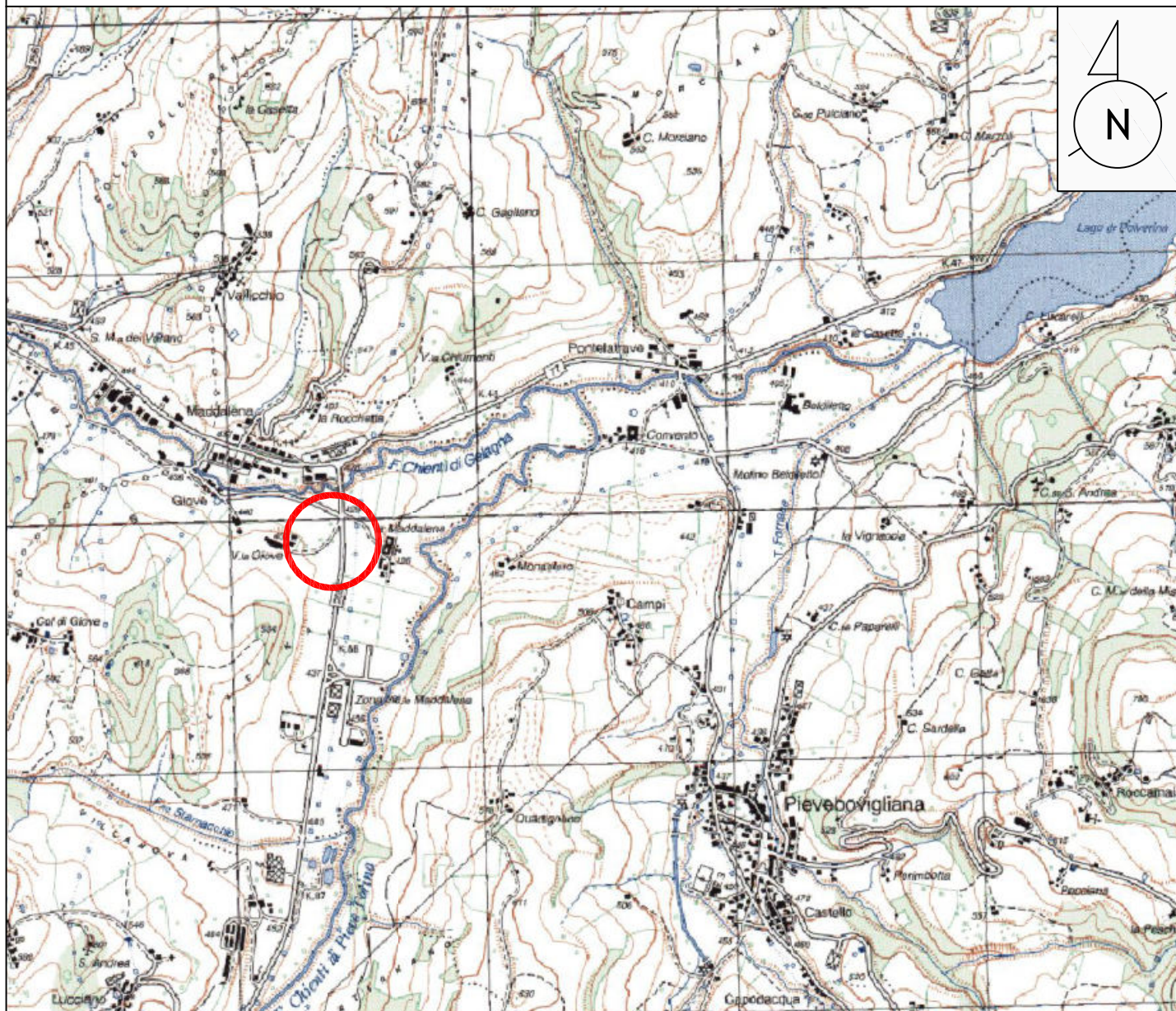
# INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

CARTA TOPOGRAFICA D'ITALIA

FOGLIO 124 "MACERATA" – QUADRANTE III – TAVOLETTA SO "PIEVE TORINA"

SCALA 1: 25.000

TAVOLA 01



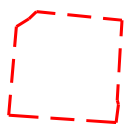
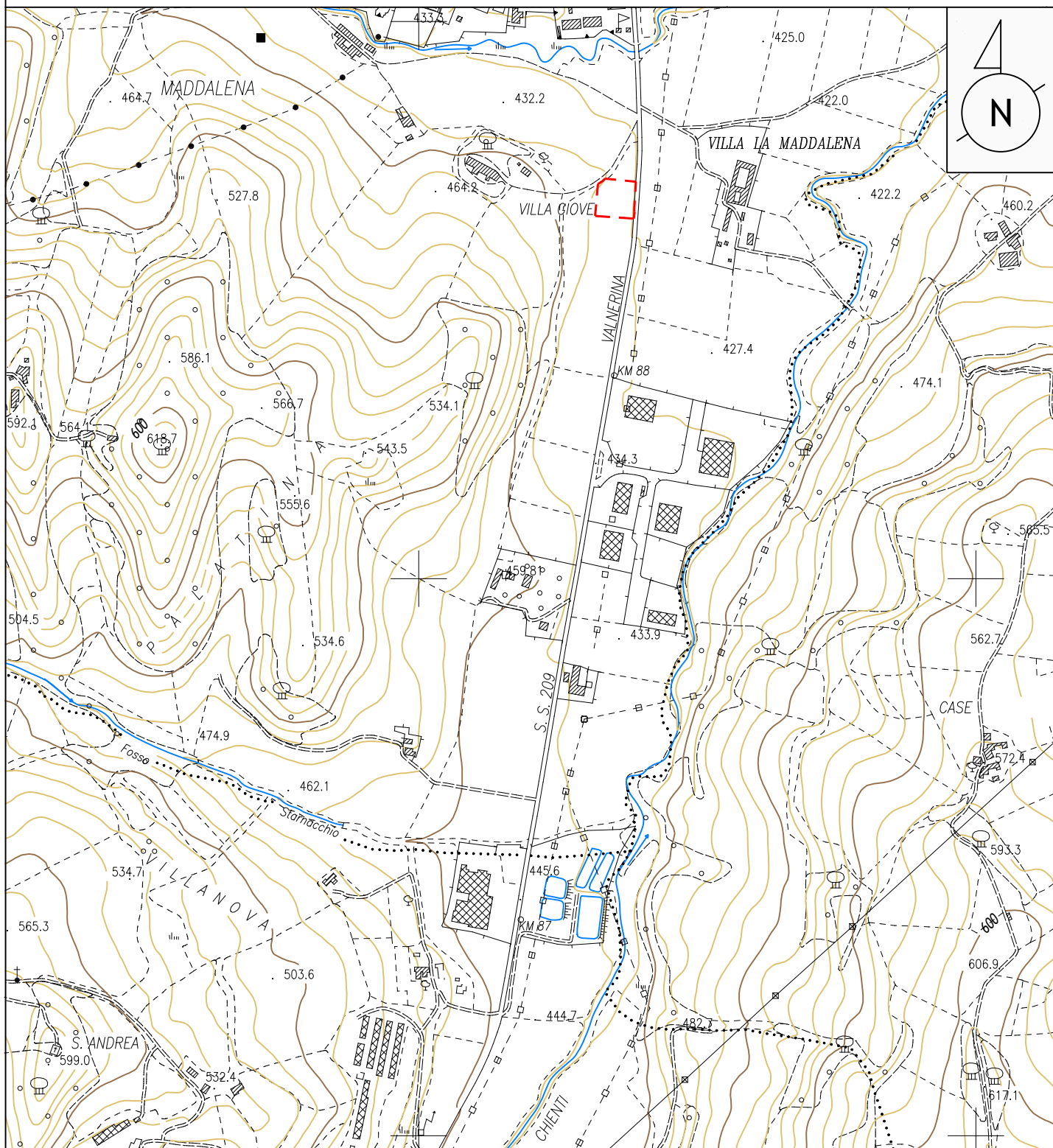
Area oggetto di indagine



INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO  
CARTA TECNICA REGIONALE  
FOGLIO 313 "CAMERINO" – SEZIONE 313090 "MUCCIA"

SCALA 1: 10.000

TAVOLA 02



Area oggetto di variante al P.d.F.

# INQUADRAMENTO CATASTALE CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI





SCALA 1: 1.000

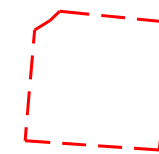
COMUNE DI MUCCIA – FOGLIO 20, EX P.LLE 98-27

TAVOLA 03



## Legenda

-  Sc1 Trincea o pozzetto esplorativo (ex-novo – geol. Cataldi, ottobre 2020)
-  DPSH1 Prova penetrometrica dinamica super-pesante DPSH (ex-novo – AB Geo, novembre 2020)
-  MW-HS MASW (ex-novo – AB Geo, novembre 2020)
-  H/V1 Misura di rumore sismico ambientale a stazione singola HVSR (ex-novo – AB Geo, novembre 2020)



Area oggetto di variante al P.d.F.

CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA  
CON INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO  
ED IDROGEOLOGICO

SCALA 1: 1.000

TAVOLA 04



Legenda

Geologia  
Copertura

**MTIbn** Depositi alluvionali terrazzati del III ordine (Pleistocene superiore)

**ACbn3** Depositi alluvionali terrazzati del II ordine (Pleistocene medio sommitale)

 Limite litologico

Geomorfologia

Forme fluviali, fluvio-glaciali e di versante dovute al dilavamento

 Superficie di terrazzo

 Limite esterno area rilevata

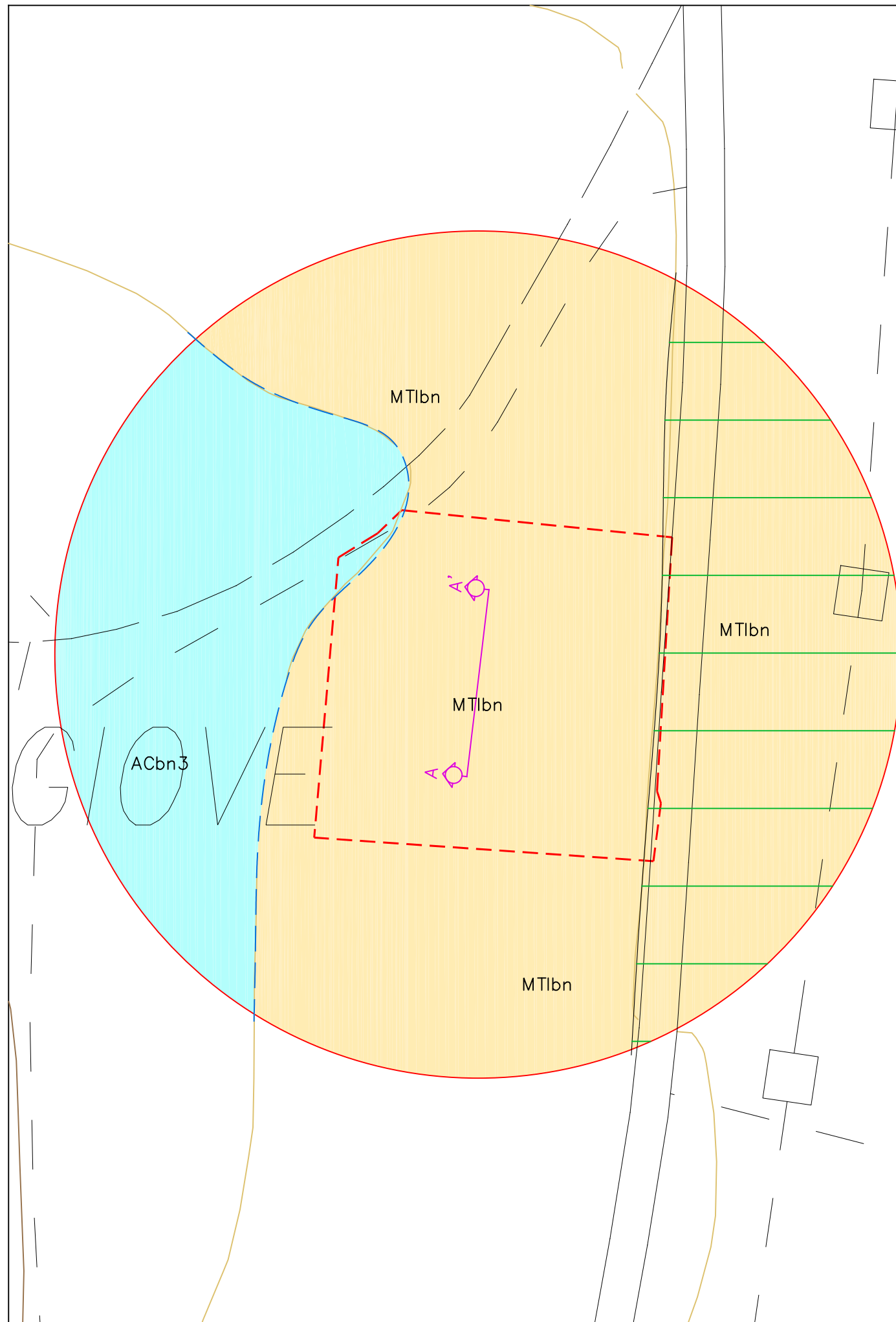
 Area oggetto di variante al P.d.F.

 Traccia sezione litostratigrafica

Idrogeologia sotterranea

Complessi idrogeologici distinti in funzione del tipo di circolazione e del grado di permeabilità relativa

Circolazione per permeabilità buona  
( $7,0 \times 10^{-2} < k(m/s) < 2,0 \times 10^{-3}$ )



# CARTA LITOLOGICO-TECNICA



SCALA 1: 1.000




TAVOLA 05

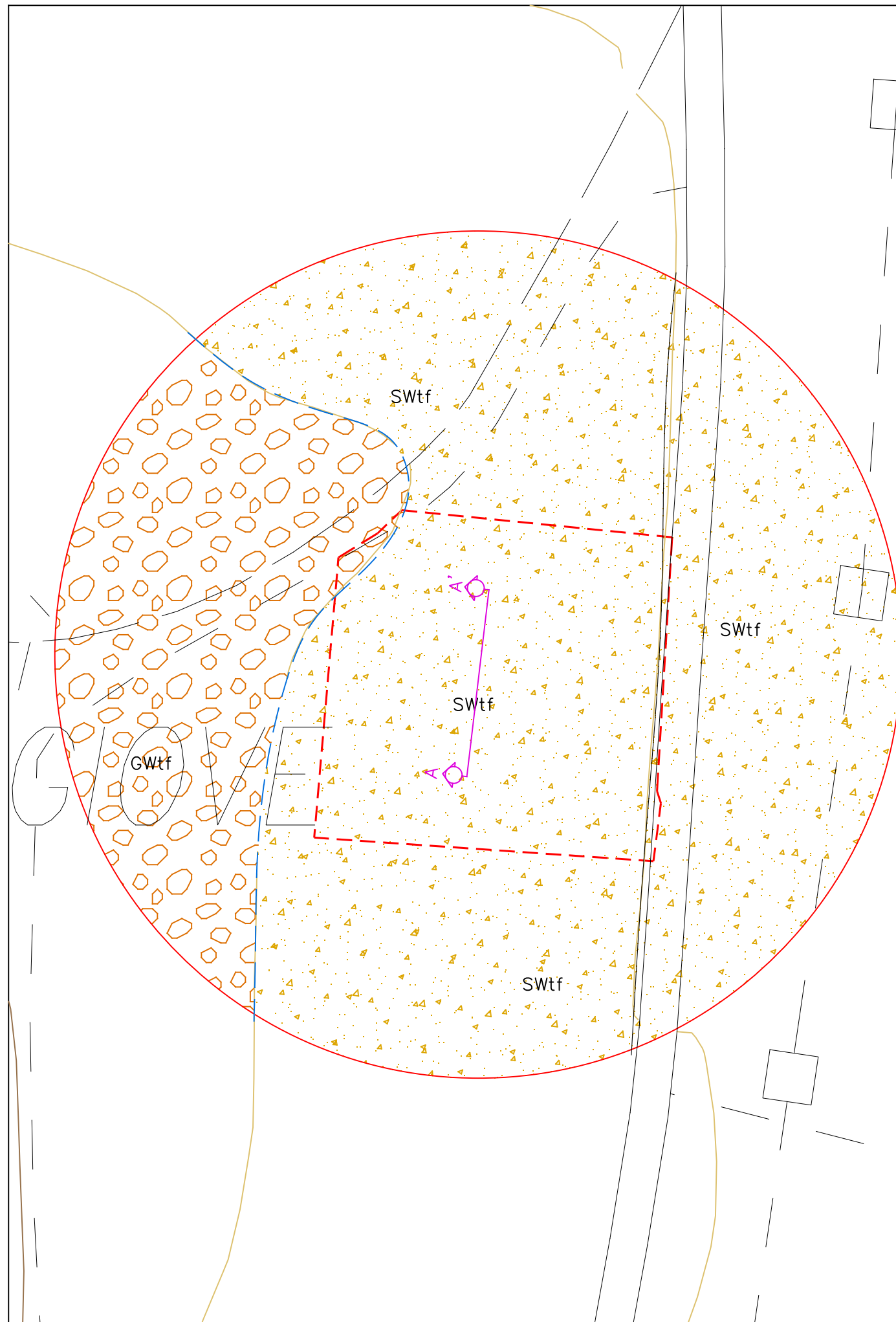


## Legenda

### Copertura

-  **SWtf** Ghiaia e sabbia  
 $\gamma_d=1,94 \text{ t/m}^3$   $\gamma_{sat}=1,96 \text{ t/m}^3$   $c_u=0 \text{ kPa}$   $\phi'=31^\circ$   $E'=8.117 \text{ kPa}$   $M=8.117-15.397 \text{ kPa}$   $N_{spt}=17,46$
-  **GWtf** Ghiaia sabbioso-limosa  
 $\gamma_d=2,04 \text{ t/m}^3$   $\gamma_{sat}=2,15 \text{ t/m}^3$   $c_u=0 \text{ kPa}$   $\phi'=40^\circ$   $E'=30.000 \text{ kPa}$   $M=30.000 \text{ kPa}$   $N_{spt}=51,08$

-  Limite esterno area rilevata
-  Area oggetto di variante al P.d.F.
-  Traccia sezione litostratigrafica

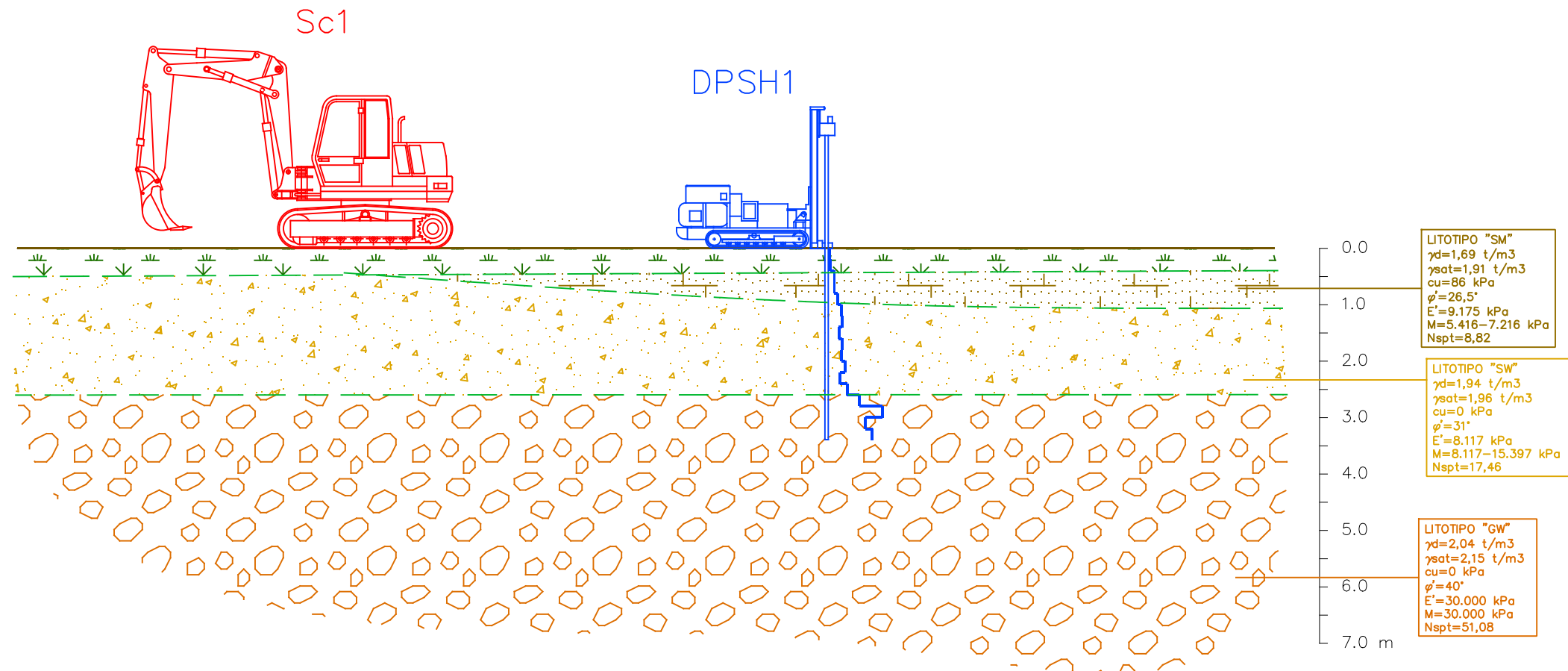




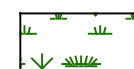
# SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA A-A'

SCALA 1: 100

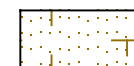
TAVOLA 06



## Legenda



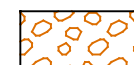
LITOTIPO "TV"  
Terreno vegetale



LITOTIPO "SM"  
Limo sabbioso con ghiaia



LITOTIPO "SW"  
Ghiaia e sabbia



LITOTIPO "GW"  
Ghiaia sabbioso-limosa

DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI DEL III ORDINE  
(Pleistocene superiore)

— / — Limite litologico

— Piano campagna

— n. di colpi da prova dinamica




# CARTA DELLE PERICOLOSITA' GEOLOGICHE, GEOMORGOLOGICHE E IDRAULICHE

SCALA 1: 1.000

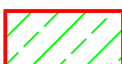
TAVOLA 07





## Legenda

 Aree esenti da pericolosità

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti


 Pericolosità moderata (P1)  
Evidenziata sulla base di caratteri fisici territoriali (litologia e caratteri geotecnici dei materiali, struttura e giacitura, processi di degradazione meteorica, dinamica geomorfologica in atto), vegetazionali e di uso del suolo, ma prive al momento di indicazioni morfologiche dei fenomeni, sia superficiali che profondi, che possono riferirsi a processi erosivi capaci di innescare fenomeni franosi o a movimenti gravitativi veri e propri


 Pericolosità media (P2)  
Evidenziata da indicatori geomorfologici diretti, quali l'esistenza di antichi corpi di frana, di segni precursori di movimenti gravitativi (ondulazioni, contropendenze, periodiche lacerazioni, ecc...)

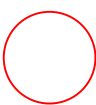
 Pericolosità elevata (P3)  
Evidenziata da movimenti di massa in atto, con una dinamica geomorfologica tendente più o meno all'estensione areale della pericolosità


 Aree con pendenza  $\geq 30\%$

Aree pericolose dal punto di vista idraulico

 Fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica o area adiacente a corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire interventi di manutenzione e per la realizzazione di eventuali interventi di difesa

 Eventuale direzione di flusso che interessa aree in situazione morfologica sfavorevole (basso morfologico), in assenza di notizie storiche di inondazioni

 Limite esterno area rilevata

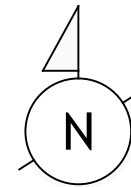
 Area oggetto di variante al P.d.F.

GIOVE


# CARTA DELLE ZONE A MAGGIOR PERICOLOSITA' SISMICHE LOCALI

SCALA 1: 1.000

TAVOLA 08




## Legenda


 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali  
(Copertura o substrato lapideo con  $V_s < 800$  m/s)

Tai	0.190 [s]
Tvi	0.660 [s]
Tao	0.190 [s]
Tvo	0.660 [s]
Sami	5.385 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.318 [m/s]
Samo	5.905 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.329 [m/s]
Fa	1.097 [-]
Fv	1.034 [-]
TB	0.117 [s]
TC	0.350 [s]
TD	2.500 [s]
SA(0)	0.225 [g]
SA(TB)	0.602 [g]

Fattori di amplificazione emersi a seguito di apposita Risposta Sismica Locale allo SLV

  $H/V1$   
>20 Hz Misura di microtremore a stazione singola con indicato il valore di  $f_0$  emerso

 Limite esterno area rilevata

 Area oggetto di variante al P.d.F.

GIOVE



**dr. MAURO CATALDI**  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2699925  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: UNIONE MONTANA MARCA DI CAMERINO
Località: LOCALITA' MADDALENA - MUCCIA (MC)
Data inizio/fine: 31/10/2020
Metodo perforazione: ESCAVATORE MECCANICO
Diametro perforazione/rivestimento (mm):

**SCAVO  
ISPEZIONABILE N.**

**1**

Quota s.l.m. (m): 438
Coordinate Lat/Lon (°): 43,072487/13,063433
Scala: 1: 50

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione della natura dei terreni	Unità	Campione Indiscurato Rimangiato	Pocket penetrom. (kg/cmq)	Carotaggio (%)	S.P.T. Punta chiusa Punta aperta	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
0	0,50		Terreno vegetato bruno costituito da limo sabbioso bruno con ghiaie sparse, apparati radicali, lenti torbose nerastre e frammenti lateritici antichi rossastrati.	TV								Umido
1	2,00		Ghiaia grossolana in matrice sabbiosa e/o sabbioso-limoso nocciola. Clasti prevalentemente calcarei, arrotondati e appiattiti (Ø 2-3 cm). Da sciolta a poco addensata. Presenti ciottoli allungati calcarei e calcareo-marnosi di colore biancastro e giallastro, in misura maggiore con la profondità e pezzame selcifero.	MTIbn								Bagnato
2	2,50		Ciottoli molto frequenti e grado di addensamento da medio a elevato.									Bagnato
3	3,00											
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

FINE SCAVO A  
-3,00 m





**dr. MAURO CATALDI**  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2699925  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA B2C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: UNIONE MONTANA MARCA DI CAMERINO
Località: LOCALITA' MADDALENA - MUCCIA (MC)
Data inizio/fine: 31/10/2020
Metodo perforazione: ESCAVATORE MECCANICO
Diametro perforazione/rivestimento (mm):

**SCAVO  
ISPEZIONABILE N.**

**2**

Quota s.l.m. (m): 438
Coordinate Lat/Lon (°): 43,072284/13,063407
Scala: 1: 50

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione della natura dei terreni	Unità	Campione Indiscurato Rimangiato	Pocket penetrom. (kg/cmq)	Carotaggio (%)	S.P.T. Punta chiusa Punta aperta	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
0	0,50		Terreno vegetate bruno costituito da limo sabbioso bruno con ghiaie sparse, apparati radicali, lenti torbose nerastre e frammenti lateritici antichi rossastrì.	TV								Umido
1	2,00		Ghiaia grossolana in matrice con percentuale di limo maggiore rispetto alla trincea Sc1 e colorazione bruna. Clasti prevalentemente calcarei, arrotondati e appiattiti (Ø 2-3 cm). Da sciolta a poco addensata. Presenti ciottoli allungati calcarei e calcareo-marnosi di colore biancastro e giallastro, in misura maggiore con la profondità e pezzame selcifero.	MTIbn								Bagnato
2	2,50		Ciottoli molto frequenti e grado di addensamento da medio a elevato.									Bagnato
3	3,00	FINE SCAVO A -3,00 m										
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												



# AB Geo

Indagini geofisiche e geotecniche

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH



**Comune:** Muccia (MC)

**Località:** Maddalena

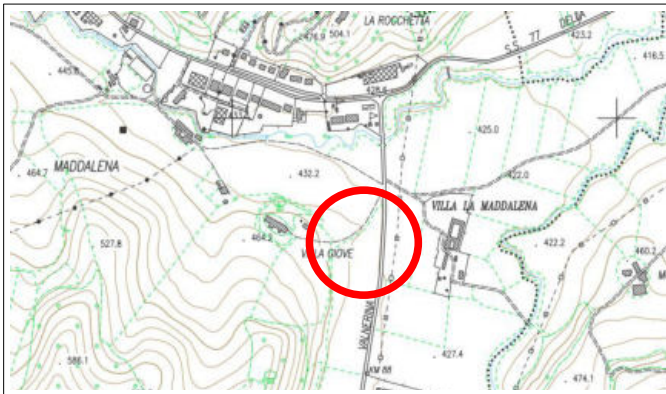
**Committente:** Unione Montana Marca di Camerino

**Data:** 03/11/2020

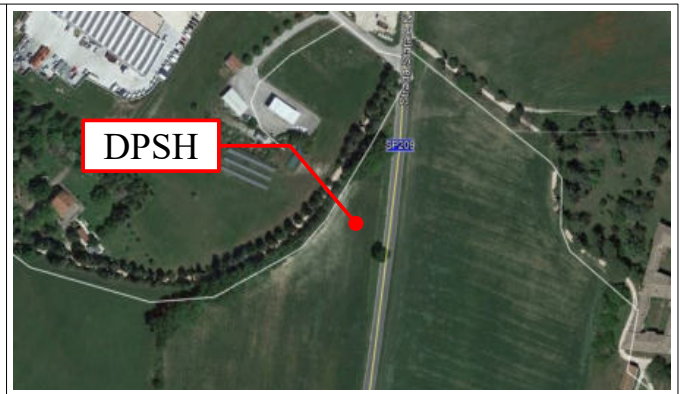


## INTRODUZIONE

Per il sito individuato presso località Maddalena– Comune di Muccia (MC), su incarico del Dott. Geol. Cataldi Mauro, su commissione della Unione Montana Marca di Camerino, è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica DPSH al fine di caratterizzare i terreni presenti nell'area.



**Fig. 1:** Stralcio CTR 313090 “Muccia” e ubicazione area d’indagine.<sup>1</sup>



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

## STRUMENTAZIONE

### PAGANI TG 63-200

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



1 - Gli stralci CTR utilizzati sono di proprietà della regione Marche.  
 2 - Tutte le foto aeree del presente elaborato sono reperite tramite Google.

## PROVA DPSH

Luogo Esecuzione:	Località Maddalena Comune di Muccia (MC)	
Profondità raggiunta:	3,4 metri	
Note:	-	

## LETTURE

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,98	10,51	0,45	0,53
0,40	2	0,851	17,88	21,01	0,89	1,05
0,60	5	0,847	40,84	48,22	2,04	2,41
0,80	5	0,843	40,66	48,22	2,03	2,41
1,00	8	0,840	64,78	77,15	3,24	3,86
1,20	11	0,836	88,71	106,08	4,44	5,30
1,40	12	0,833	96,38	115,72	4,82	5,79
1,60	9	0,830	66,53	80,20	3,33	4,01
1,80	12	0,826	88,36	106,93	4,42	5,35
2,00	11	0,823	80,69	98,02	4,03	4,90
2,20	14	0,770	96,07	124,75	4,80	6,24
2,40	10	0,817	72,81	89,11	3,64	4,46
2,60	16	0,764	101,27	132,51	5,06	6,63
2,80	26	0,711	153,19	215,32	7,66	10,77
3,00	45	0,609	226,84	372,68	11,34	18,63
3,20	31	0,656	168,42	256,73	8,42	12,84
3,40	37	0,653	200,22	306,42	10,01	15,32



## PROPOSTA DI ELABORAZIONE DPSH

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

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Tensione efficace (kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,0 - 0,4	1,5	15,77	\\	\\	1,47	2,2	terreno vegetale
0,4 - 1,0	6	57,86	Incoerente - coesivo	0,06	1,47	8,82	limo sabbioso
1,0 - 2,6	11,88	106,66	Incoerente	0,27	1,47	17,46	sabbia limosa
2,6 - 3,4	34,75	287,79	Incoerente	0,52	1,47	51,08	ghiaia e sabbia



### TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH

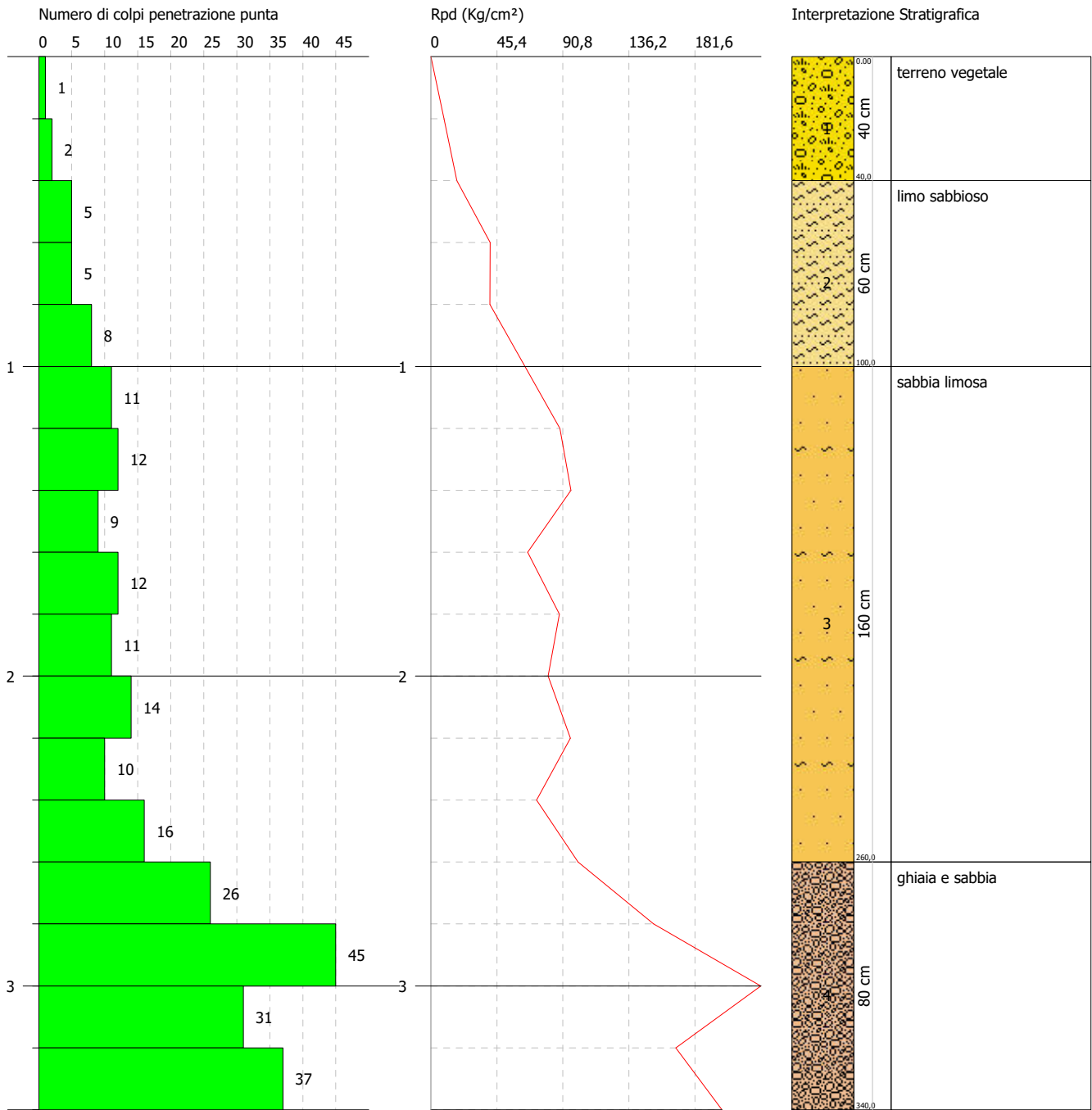
Prof. Strato (m)	Tipo	Nspt	Descrizione	Terreni Coesivi				Terreni Incoerenti			
				Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Modulo di Young (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
				<i>Schmertmann (1975)</i> <u>Valori medi</u>	<i>Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner</i>	<i>Meyerhof</i>	<i>Meyerhof</i>	<i>Shioi-Fukuni (1982)</i>	<i>Schultze-Menzenbach</i> <i>val min – val max</i>	<i>Terzaghi-Peck (1948-1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1948-1967)</i>
0,0 - 0,4	∥∥	2,2	terreno vegetale	∥∥	∥∥	∥∥	∥∥	∥∥	∥∥	∥∥	∥∥
0,4 - 1,0	Incoerente - coesivo	8,82	limo sabbioso	0,86	91,75	1,93	2,12	26,5	54,16 – 72,16	1,69	1,91
1,0 -2,6	Incoerente	17,46	sabbia limosa	-	-	-	-	31,18	81,17 – 153,97	1,94	1,96
2,6 - 3,4	Incoerente	51,08	ghiaia e sabbia	-	-	-	-	>40	>300	2,24	2,15

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

Committente: Unione Montana Marca di Camerino  
 Descrizione: Penetrometrica DPSH  
 Località: Maddalena - Muccia (MC)

Data: 03/11/2020

Scala 1:20







# AB Geo

Indagini geofisiche e geotecniche

## INDAGINI GEOFISICHE

**Analisi congiunta MASW – HS  
componente verticale e radiale delle Onde di Rayleigh  
Analisi microtremori a stazione singola HVSR**



**Comune:** Muccia (MC)

**Località:** Maddalena

**Committente:** Unione Montana Marca di Camerino

**Data:** 03/11/2020

*Dott. Geol. Alessandrini Andrea*



*Dott. Geol. Bassano Francesco*



**AB Geo – Indagini Geofisiche e Geotecniche**  
**Via Dante Alighieri n° 1, 62029 Tolentino (MC)**  
**email: [studiogeologico.abgeo@gmail.com](mailto:studiogeologico.abgeo@gmail.com) Cell. 3802511024 – 3358164581**  
**[WWW.ABGEO.ORG](http://WWW.ABGEO.ORG)**

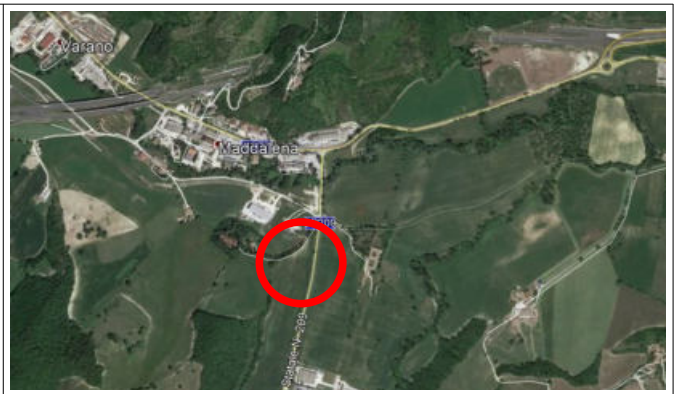


## 1 - INTRODUZIONE

Le presenti indagini sono state eseguite presso località Maddalena – Comune di Muccia (MC), su incarico del Dott. Geol. Cataldi Mauro, per commissione della Unione Montana Marca di Camerino, allo scopo di effettuare una stima della  $V_{s,eq}$  del sito in esame tramite l'esecuzione di una indagine M.A.S.W. - HS (Multi-channel Analysis of Surface Waves elaborata mediante tecnica HoliSurface) e una stima delle frequenze d'interesse di sito mediante indagini HVSR.




**Fig. 1:** Stralcio CTR 313090 "Muccia" e ubicazione area d'indagine.<sup>1</sup>



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

## 2 - HARDWARE & SOFTWARE

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

<sup>1</sup> - Gli stralci cartografici CTR utilizzati sono di proprietà della Regione Marche.  
<sup>2</sup> - Tutte le foto aeree del presente elaborato sono reperite tramite Google.

### 3 - METODOLOGIE – MASW E HVSr

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

La tecnica M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una procedura non invasiva che consente di estrapolare il valore della  $V_{s,eq}$  sulla base della stima di un possibile profilo verticale della velocità delle onde di taglio  $V_s$  nei primi metri di sottosuolo sulla base delle attuali norme vigenti [NTC 2018]; si contraddistingue per l'utilizzo di una sorgente impulsiva che genera onde superficiali, la cui propagazione, dipendente dalle caratteristiche stratigrafiche del sito, viene registrata da una serie di sensori (geofoni). L'elaborazione mediante apposito software Holisurface, lavora considerando le velocità di gruppo anziché le velocità di fase; tale approccio garantisce una migliore risoluzione, laddove un approccio classico darebbe risultati difficilmente attendibili, anche con stendimenti più corti.

#### Metodologia HVSr

La tecnica HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una procedura non invasiva, che non necessita di perforazioni o lunghi stendimenti e che consente lo studio di possibili frequenze d'interesse del sito. L'indagine è contraddistinta dall'assenza di sorgenti impulsive artificiali, andando a registrare i rumori ambientali (microtremori), sempre presenti in natura, in quanto generati da fenomeni quali onde, vento e attività antropiche.

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

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

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



## 4 – MISURAZIONE HVSR

### HVSR 1

Sito di Indagine:	Loc. Maddalena – Muccia (MC)
Lunghezza registrazione:	15 minuti
Frequenza di campionamento:	250 Hz
Accoppiamento:	Terreno



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

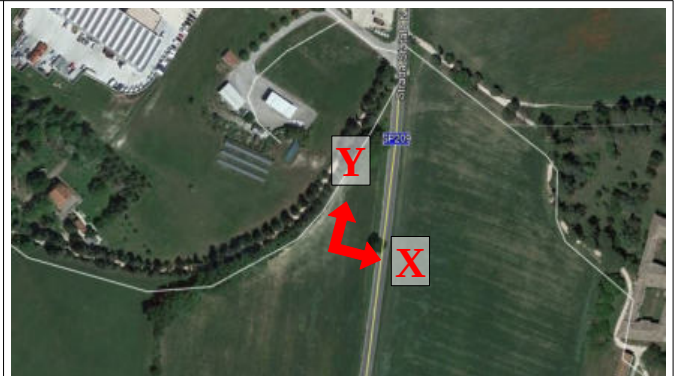


Fig. 4: Orientazione terna triassiale.

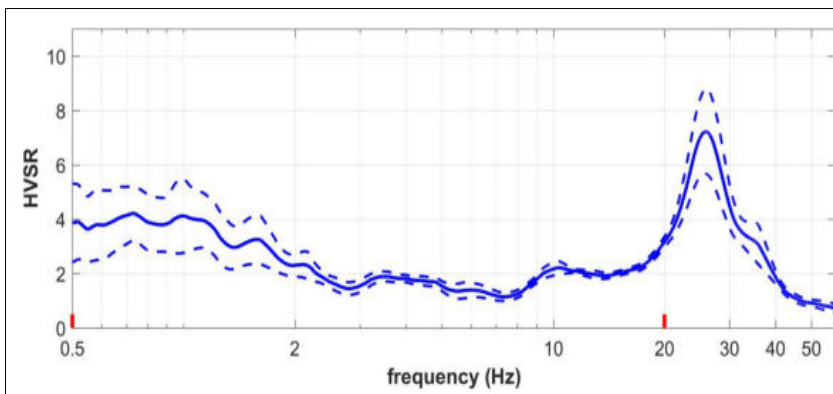


Fig. 5: Curva HVSR .

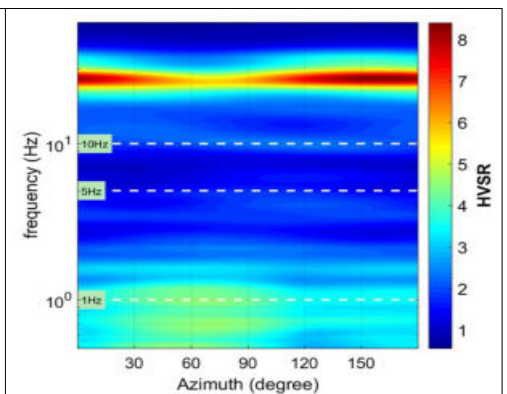


Fig. 6: Direzionalità.

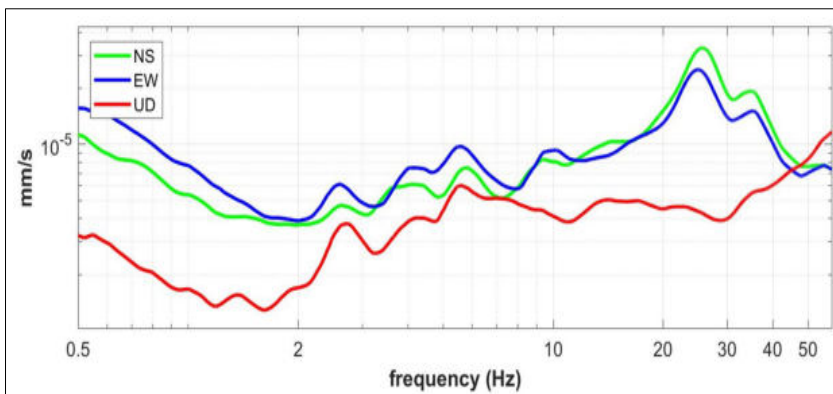


Fig. 7: Spettri delle singole componenti HVSR.

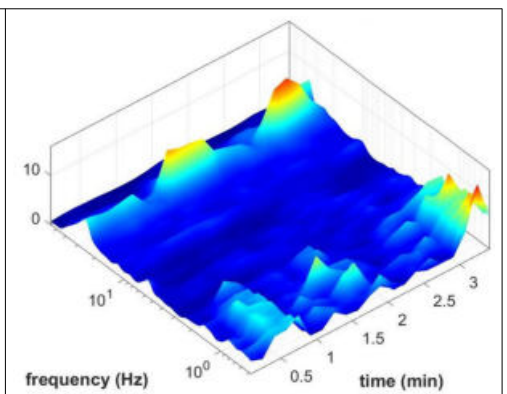


Fig. 8: Persistenza.

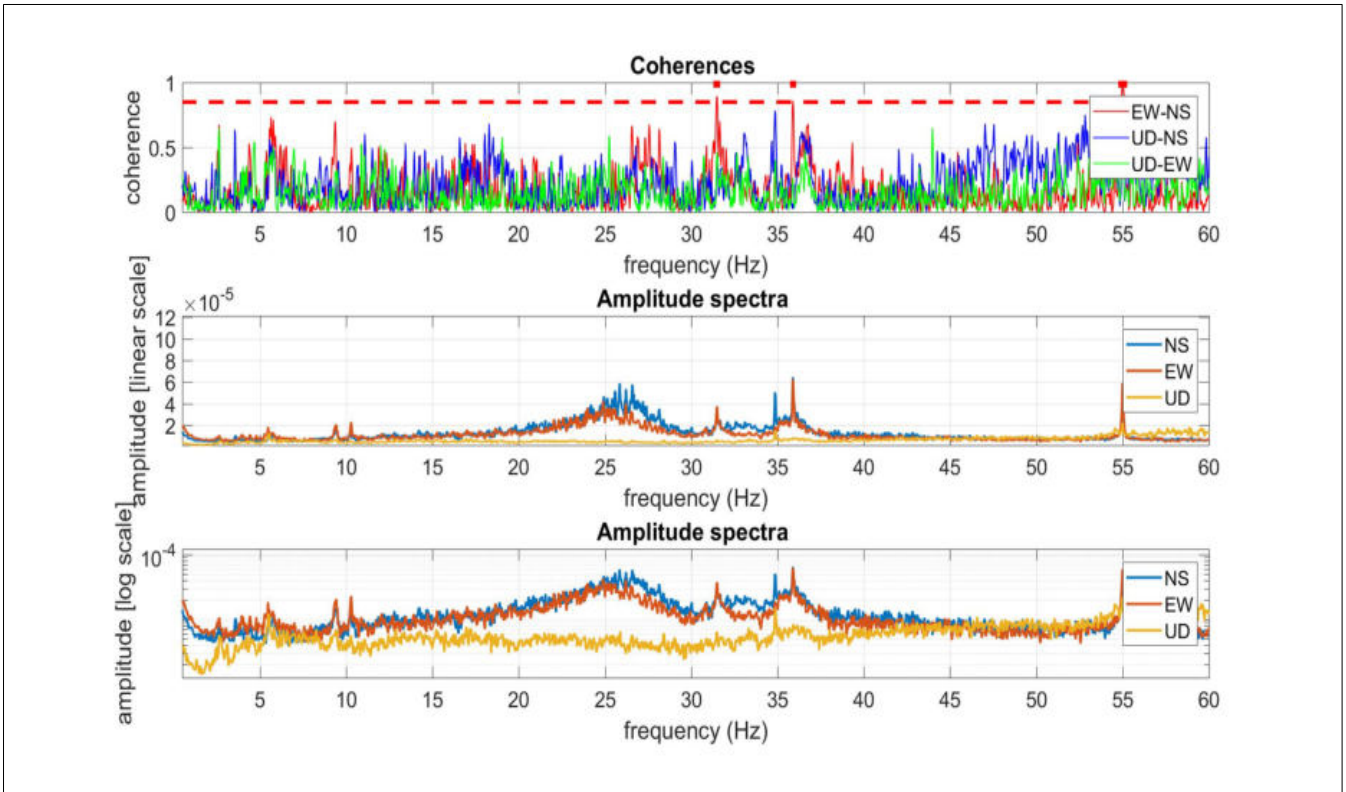


Fig. 9: Spettri di Ampiezza e funzione di coerenza.

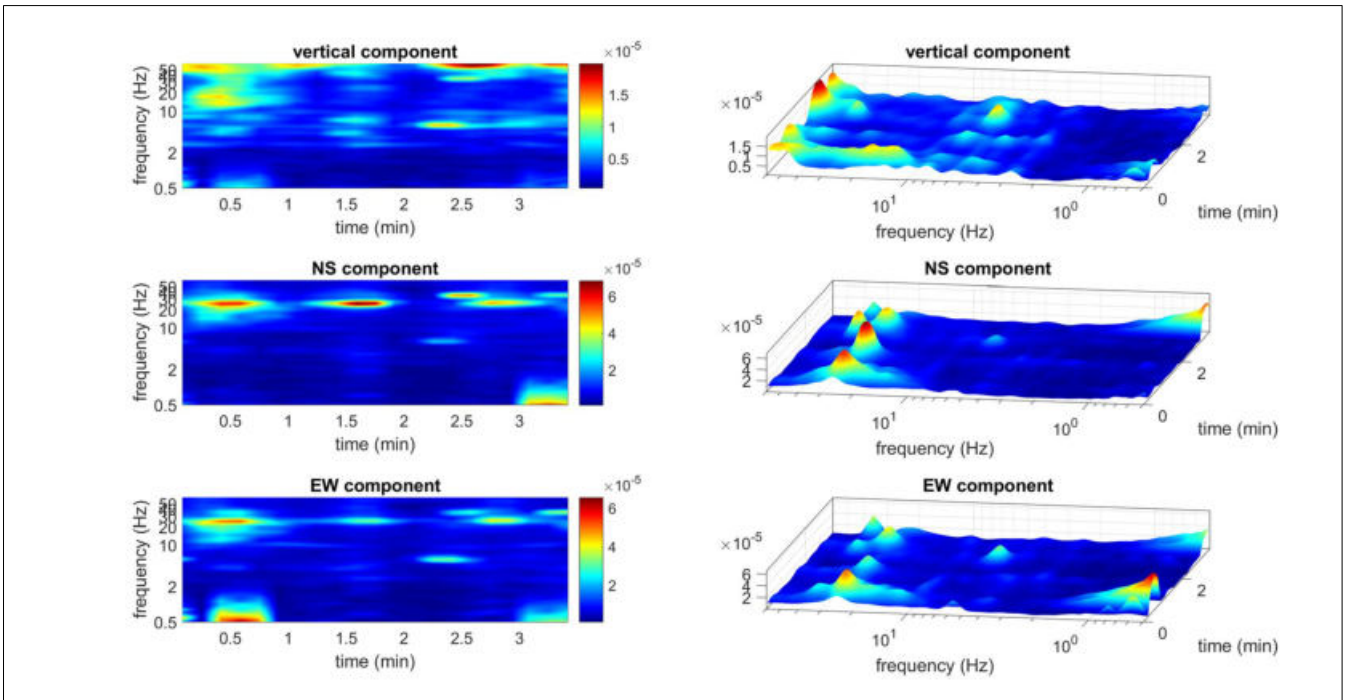


Fig. 10: Persistenza delle singole componenti.





## HVSR 2

Sito di Indagine:	Loc. Maddalena – Muccia (MC)
Lunghezza registrazione:	15 minuti
Frequenza di campionamento:	250 Hz
Accoppiamento:	Terreno

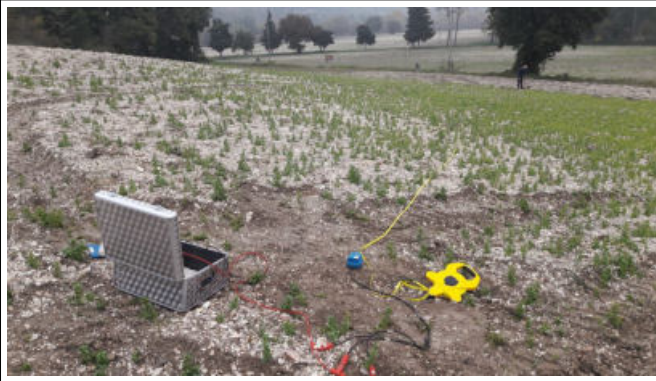


Fig. 11: Terna triassiale in posto per la misurazione.



Fig. 12: Orientazione terna triassiale.

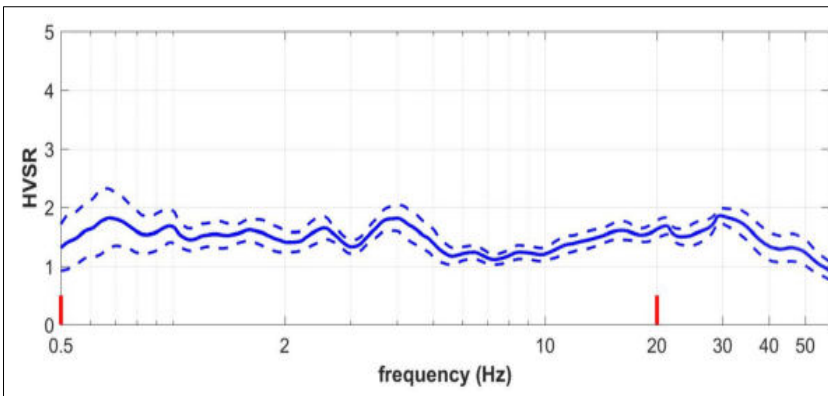


Fig. 13: Curva HVSR .

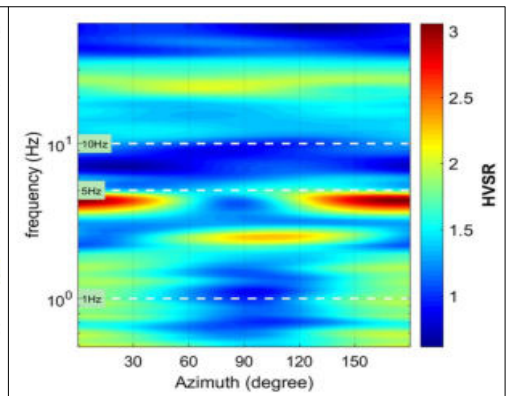


Fig. 14: Direzionalità.

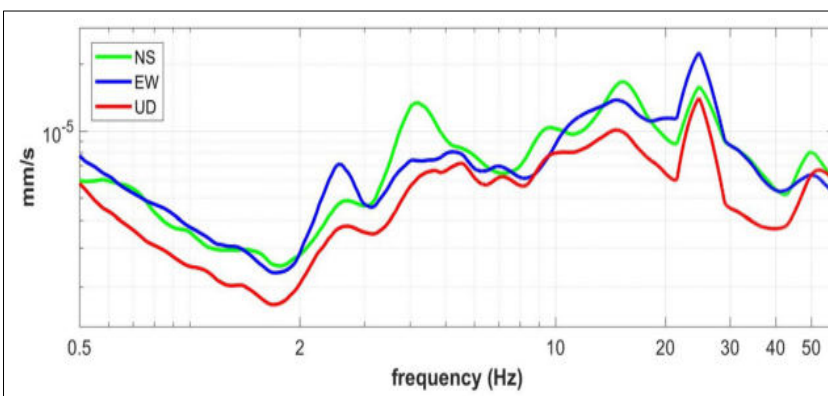


Fig. 15: Spettri delle singole componenti HVSR.

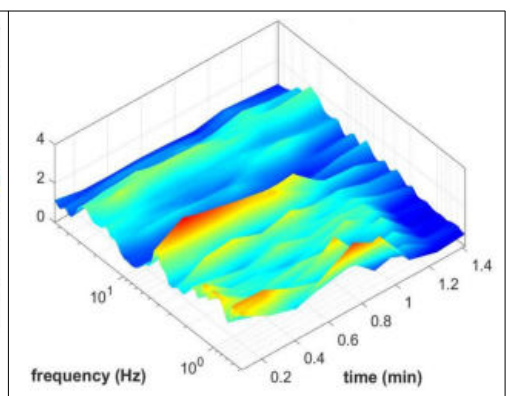


Fig. 16: Persistenza.

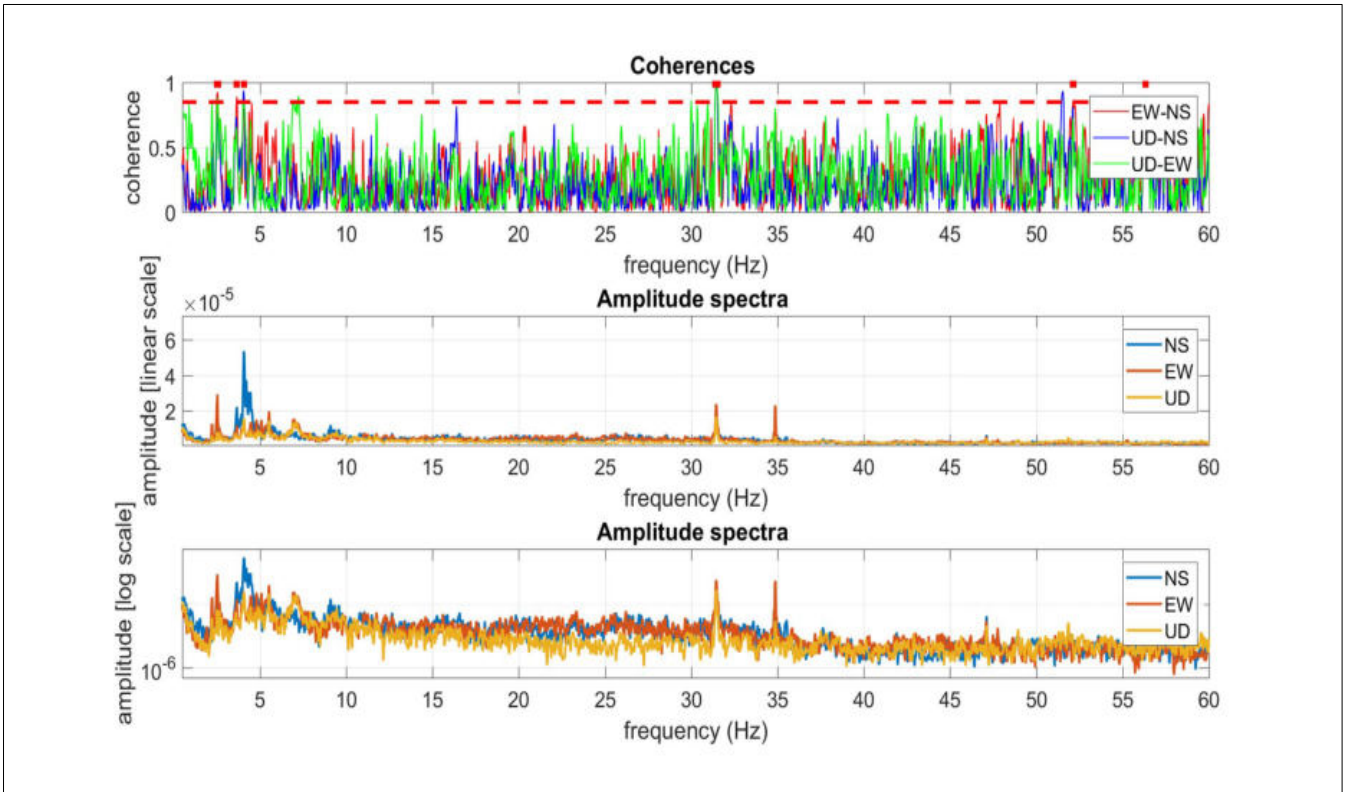


Fig. 17: Spettri di Ampiezza e funzione di coerenza.

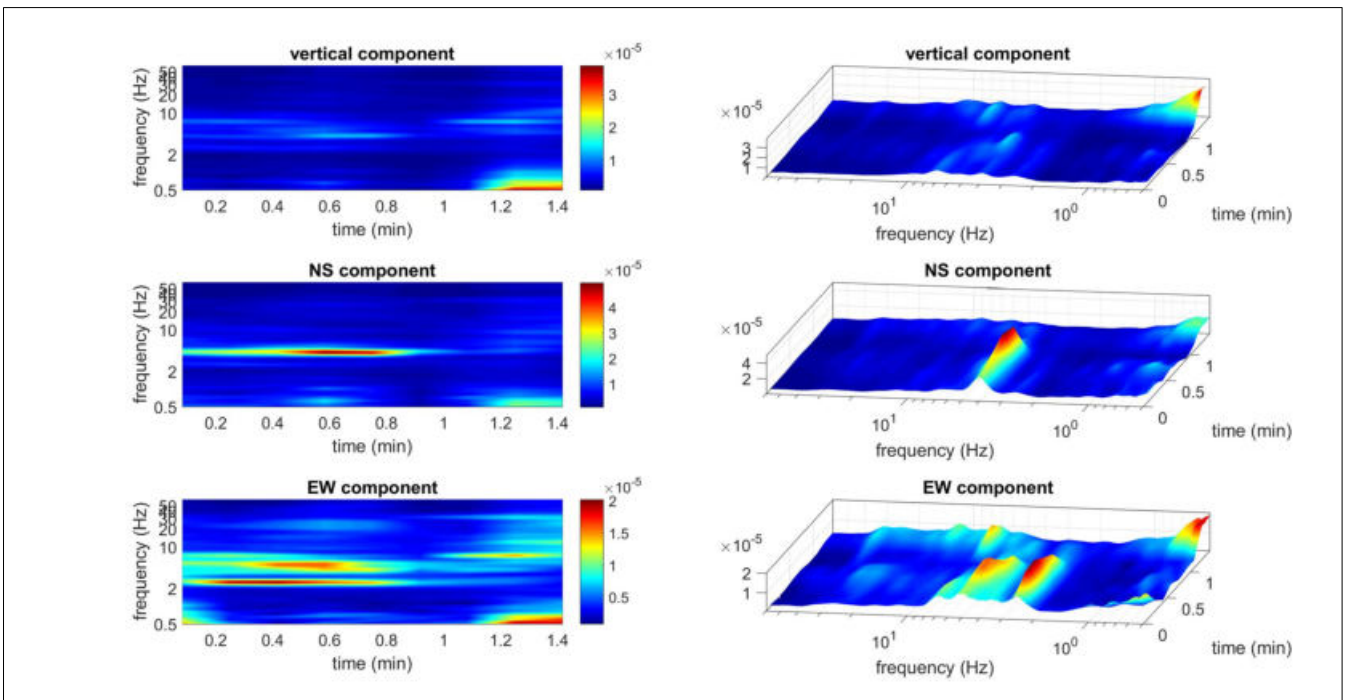


Fig. 18: Persistenza delle singole componenti.

## 5 – ACQUISIZIONI MASW

Sito di Indagine:	Località Maddalena Comune di Muccia (MC)
Periodo di Campionamento:	125 $\mu$ s

N°	Nome	Onda Acquisita	Offset Battuta (m)	Lunghezza acquisizione ( $\mu$ s)	Stacking n° colpi
1	HF_OFF50_DIR	Love	50	1000	10
2	HF_OFF32_DIR	Love	32	1000	10
3	VF_OFF50_DIR	Rayleigh	50	1000	10
4	VF_OFF30_DIR	Rayleigh	30	1000	10
5	VF_OFF32_DIR	Rayleigh	32	1000	10



**Fig. 19:** Stendimento MASW.



**Fig. 20:** Ubicazione indicativa stendimento.



**Fig. 21:** Energizzazione Onde di Rayleigh.

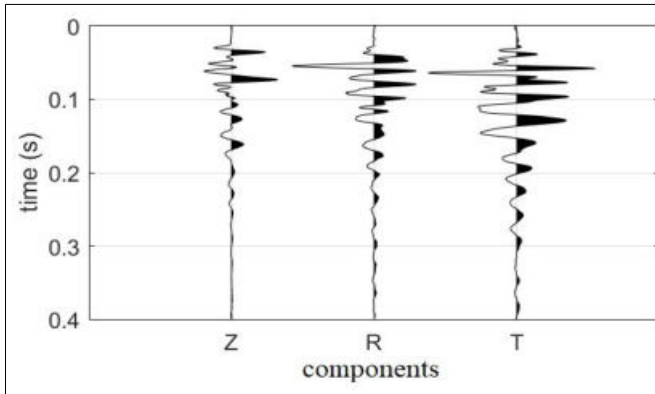


**Fig. 22:** Energizzazione Onde di Love.

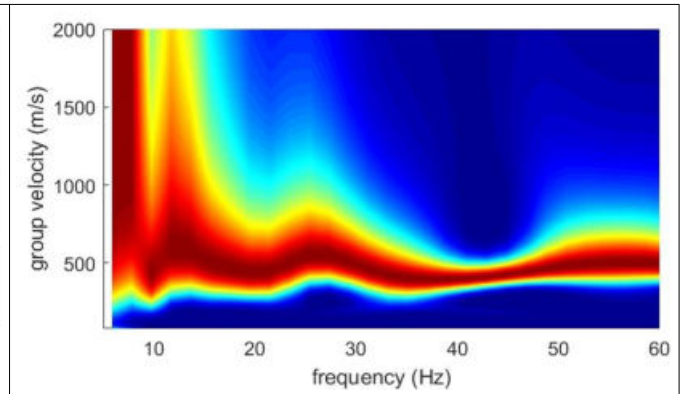


Nelle figure seguenti si riportano i dati acquisiti e i relativi Spettri di Velocità del sito in esame; tali dati, in quanto non ancora elaborati, rappresentano il dato oggettivo acquisito in campagna.

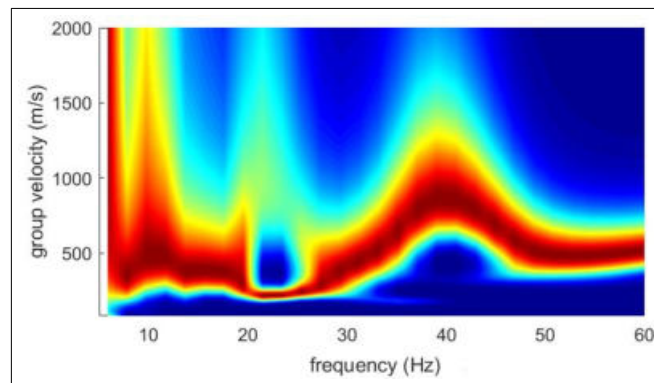
Nello specifico, Fig. 23 vengono illustrati i dataset acquisiti, in Fig. 24 lo Spettro di Velocità di Gruppo relativo alle Onde di Rayleigh – comp. verticale, in Fig. 25 lo Spettro di Velocità di Gruppo relativo alle Onde di Rayleigh – comp. radiale.



**Fig. 23:** Dataset acquisito.



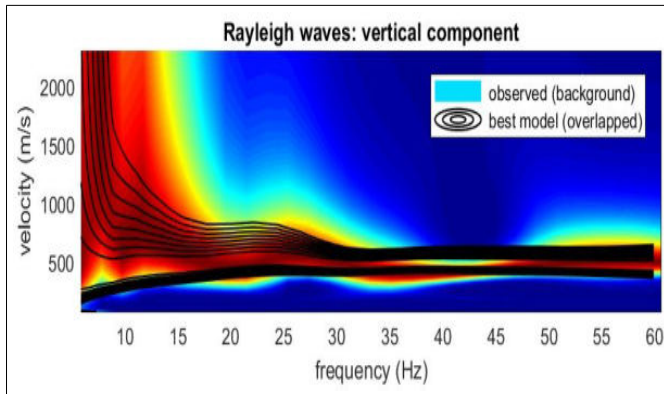
**Fig. 24:** Spettro Onde di Rayleigh – comp. verticale.



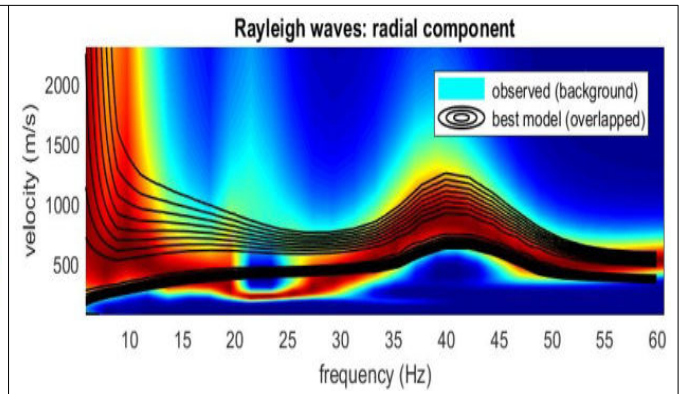
**Fig. 25:** Spettro Onde di Rayleigh – comp. radiale.

## 6 – ANALISI CONGIUNTA

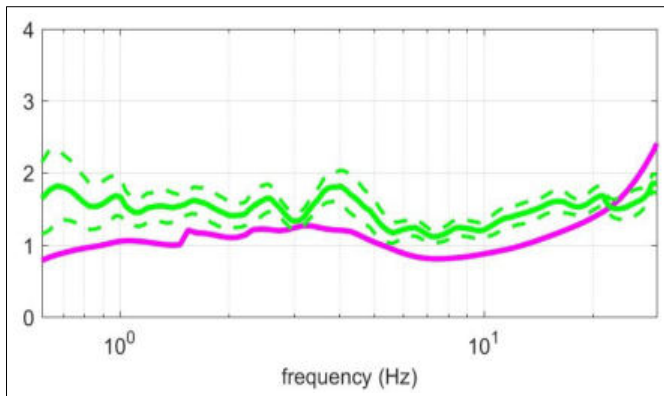
Si riportano di seguito i risultati dell'elaborazione effettuata. Nelle Fig. 19, 20 e 21 si riportano gli spettri di velocità con sovrapposto il risultato ottenuto mediante elaborazione tramite spettri sintetici, nella Fig. 22 si mostra il fitting con la curva HVSR, la Fig. 23 mostra un modello sismostratigrafico ritenuto plausibile per il sito in oggetto anche sulla base delle conoscenze geologiche e stratigrafiche dell'area forniteci dal tecnico incaricato.



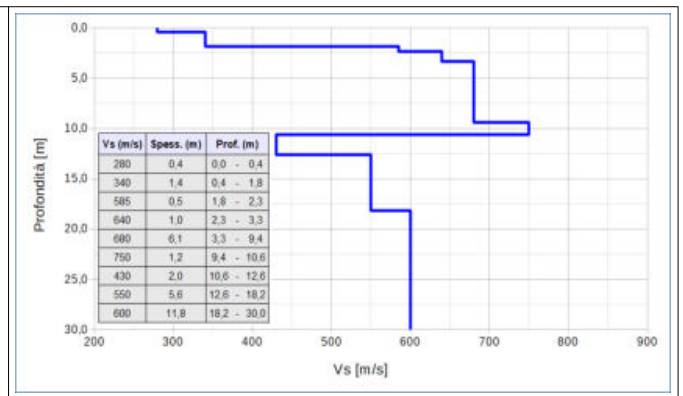
**Fig. 19:** Elaborazione mediante spettri sintetici componenti verticali Onde di Rayleigh – velocità di gruppo.



**Fig. 20:** Elaborazione mediante spettri sintetici componenti radiali Onde di Rayleigh – velocità di gruppo.



**Fig. 22:** Fitting HVSR.



**Fig. 23:** Profilo verticale  $V_s$  ipotizzato.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> - 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. Cataldi Mauro, per commissione della Unione Montana Marca di Camerino, hanno come finalità la stima del valore della  $V_{s,eq}$ , caratterizzante l'area sita presso località Maddalena – Comune di Muccia (MC).

- Il modello estrapolato sulla base dei dati MASW-HS (Analisi congiunta Onde di Rayleigh COMPONENTE RADIALE E VERTICALE) + HVSr permette di stimare quanto segue:

### **$V_{s,eq}$ riferito al p.c. pari a 566 m/s.**

- Per quanto riguarda le misurazioni HVSr, considerando le comuni frequenze d'interesse ingegneristico:

**HVSr 1:** La curva si dimostra disturbata da evidenti elementi di origine antropica, si può evidenziare soltanto una frequenza molto alta tra i 20 e i 30 Hz;

**HVSr 2:** La curva si dimostra disturbata da evidenti elementi di origine antropica, non si evidenziano frequenze particolari;

tali valori dovranno essere tenuti attentamente in considerazione in quanto ricadenti 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.

PROFONDITÀ	MASW $V_{s,eq}$ (m/s)
0 m	566
1 m	582
2 m	594
3 m	594

Tolentino, 03/11/2020



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.

**CALCOLO INVARIANZA IDRAULICA AI SENSI DELLA FORMULA (1)  
AI SENSI DEL TITOLO III DELLA DGR 53 DEL 27/01/2014**

**Requisiti richiesti per ogni classe sulla base del volume minimo di laminazione determinato:**

$$W = w^* (\phi / \phi^*)^{(1/(1-n))} - 15 I - w^* P$$

$$\phi^* = 0.9 Imp^* + 0.2 Per^* \quad \phi = 0.9 Imp + 0.2 Per$$

$w^* = 50$  mc/ha volume "convenzionale" d'invaso prima della trasformazione  
 $\phi$  = coefficiente di deflusso post trasformazione  $\phi^*$  = coefficiente di deflusso ante trasformazione  
 $n = 0.48$  I e P espressi come frazione dell'area trasformata  
 Imp e Per espressi come frazione totale dell'area impermeabile e permeabile prima della trasformazione (se connotati dall'apice\*) o dopo (se non c'è l'apice\*)  
 VOLUME RICAVALTO dalla formula va moltiplicato per la Superficie territoriale dell'intervento

**Oggetto: Variante parziale al PRG "P.I.P. Pian di Pieca" - San Ginesio (MC)**

*(INSERIRE I DATI ESCLUSIVAMENTE NEI CAMPI CONTORNATI)*

Superficie fondiaria-lotto (mq)	=	<input type="text" value="4334,00"/>	mq	Inserire la superficie totale dell'intervento
<b>ANTE OPERAM</b>				
Superficie impermeabile esistente	=	<input type="text" value="0,00"/>	mq	Inserire il 100% della superficie impermeabile più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
<b>Imp*</b>	=	<input type="text" value="0,00"/>		
Superficie permeabile esistente (mq)	=	<input type="text" value="4334,00"/>	mq	Inserire il 100% della superficie permeabile (verde o agricola) più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
<b>Per*</b>	=	<input type="text" value="1,00"/>		
<b>Imp* + Per*</b>	=	<input type="text" value="1,00"/>		
<b>POST OPERAM</b>				
Superficie impermeabile trasformata o di progetto	=	<input type="text" value="194,00"/>	mq	Inserire il 100% della superficie impermeabile più l'eventuale % della superficie trasformata con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
<b>Imp</b>	=	<input type="text" value="0,04"/>		
Superficie permeabile di progetto	=	<input type="text" value="4140,00"/>	mq	Inserire il 100% della superficie permeabile (verde o agricola) più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
<b>Per</b>	=	<input type="text" value="0,96"/>		
<b>Imp + Per</b>	=	<input type="text" value="1,00"/>		
<b>INDICI DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA</b>				
Superficie trasformata/livellata	=	<input type="text" value="4334,00"/>	mq	superficie impermeabile più superficie permeabile trasformata rispetto all'agricola
<b>I</b>	=	<input type="text" value="1,00"/>		
Superficie agricola inalterata	=	<input type="text" value="0,00"/>	mq	superficie inalterata
<b>P</b>	=	<input type="text" value="0,00"/>		
<b>I + P</b>	=	<input type="text" value="1,00"/>		
<b>CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE OPERAM E POST OPERAM</b>				
$\phi^*$	$0,9 \times Imp^* + 0,2 \times Per^*$	=	0,9 x 0,00 + 0,2 x 1,00 =	0,20
$\phi$	$0,9 \times Imp + 0,2 \times Per$	=	0,9 x 0,04 + 0,2 x 0,96 =	0,23
$W$	$w^* (\phi / \phi^*)^{(1/(1-n))} - 15 I - w^* P$	=	50 x 1,32 - 15 x 1,00 - 50 x 0,00 =	51,15 mc/ha
$w^*$	50 mc/ha			
$(\phi / \phi^*)^{(1/(1-n))}$	1,16			
$(\phi / \phi^*)^{(1/(1-n))}$	1,92			
<b>VOLUME MINIMO DI INVASO</b>				
	51,15	:	10.000,00 x 4.334,00 =	<b>22,17 mc</b>
<b>Q</b>	Portata ammissibile sul corpo ricettore 20 l/s/ha		8,67 l/sec	



REGIONE MARCHE – L.R. 22 DEL 23/11/2011, ART. 10  
**COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI**

DGR N. 53 DEL 27/01/2014

**ASSEVERAZIONE SULLA  
COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI**  
(Verifica di Compatibilità Idraulica e Invarianza Idraulica)

Il/la sottoscritto/i **Dott. Geol. Mauro Cataldi** nato/a a **Tolentino (MC)** il **15/03/1982**, residente a **Caldarola (MC)** in **Via Delle Concie n. 19**

in qualità di:  tecnico dell'Ente .....  **Libero professionista**  
in possesso di diploma/laurea magistrale in **Scienze Geologiche**  
incaricato/a, nel rispetto delle vigenti disposizioni che disciplinano l'esercizio di attività  
professionale/amministrativa, da (ente pubblico o altro soggetto) **Unione Montana Marca di  
Camerino e Comune di Muccia** in data ..... con **Determina/Delibera**  
(altro).....  
(DA REPLICARE PER OGNI SOGGETTO INCARICATO)

(selezionare le voci secondo i casi trattati: sola verifica di compatibilità idraulica, sola invarianza idraulica, entrambe)

**di redigere la Verifica di Compatibilità Idraulica del seguente strumento di  
pianificazione del territorio, in grado di modificare il regime idraulico:**

**VARIANTE AL PROGRAMMA DI FABBRICAZIONE PER LA REALIZZAZIONE DI UN NODO  
DI SCAMBIO INTERMODALE IN LOCALITÀ MADDALENA**

**di definire le misure compensative rivolte al perseguimento dell'invarianza idraulica,  
per la seguente trasformazione/intervento che può provocare una variazione di  
permeabilità superficiale:**

**VARIANTE AL PROGRAMMA DI FABBRICAZIONE PER LA REALIZZAZIONE DI UN  
NODO DI SCAMBIO INTERMODALE IN LOCALITÀ MADDALENA**



### DICHIARA / DICHIARANO

- di aver redatto la Verifica di Compatibilità Idraulica prevista dalla L.R. n. 22/2011 conformemente ai criteri e alle indicazioni tecniche stabilite dalla Giunta Regionale ai sensi dell'art. 10, comma 4 della stessa legge.
- che la Verifica di Compatibilità Idraulica ha almeno i contenuti minimi stabiliti dalla Giunta Regionale.
- di aver ricercato, raccolto e consultato le mappe catastali, le segnalazioni/informazioni relativi a eventi di esondazione/allagamento avvenuti in passato e dati su criticità legate a fenomeni di esondazione/allagamento in strumenti di programmazione o in altri studi conosciuti e disponibili.
- che l'area interessata dallo strumento di pianificazione
- non ricade /  ricade parzialmente /  ricade integralmente, nelle aree mappate nel Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI - ovvero da analoghi strumenti di pianificazione di settore redatti dalle Autorità di Bacino/Autorità di distretto).
- di aver sviluppato i seguenti livelli/fasi della Verifica di Compatibilità Idraulica:
- Preliminare;
  - Semplificata;
  - Completa.
- di avere adeguatamente motivato, a seguito della Verifica Preliminare, l'esclusione dai successivi livelli di analisi della Verifica di Compatibilità Idraulica.
- di avere adeguatamente motivato l'utilizzo della sola Verifica Semplificata, senza necessità della Verifica Completa.
- in caso di sviluppo delle analisi con la Verifica Completa, di aver individuato la pericolosità idraulica che contraddistingue l'area interessata dallo strumento di pianificazione secondo i criteri stabiliti dalla Giunta Regionale.
- che lo strumento di pianificazione/trasformazione/intervento ricade nella seguente classe (rif. Tab. 1, Titolo III, dei criteri stabiliti dalla Giunta Regionale) – barrare quella maggiore:
- trascurabile impermeabilizzazione potenziale;
  - modesta impermeabilizzazione potenziale;
  - significativa impermeabilizzazione potenziale;
  - marcata impermeabilizzazione potenziale.
- di aver definito le misure volte al perseguimento dell'invarianza idraulica, conformemente ai criteri stabiliti dalla Giunta Regionale ai sensi dell'art. 10, comma 4 della stessa legge.
- che la valutazione delle misure volte al perseguimento dell'invarianza idraulica ha almeno i contenuti minimi stabiliti dalla Giunta Regionale.
- che le misure volte al perseguimento dell'invarianza idraulica sono quelle migliori conseguibili in funzione delle condizioni esistenti, ma inferiori a quelli previsti per la classe di appartenenza (rif. Tab. 1, Titolo III), ricorrendo le condizioni di cui al Titolo IV, Paragrafo 4.1.



**ASSEVERA / ASSEVERANO**

- la compatibilità tra lo strumento di pianificazione e le pericolosità idrauliche presenti, secondo i criteri stabiliti dalla Giunta Regionale ai sensi dell'art. 10, comma 4 della stessa legge.
- che per ottenere tale compatibilità sono previsti interventi per la mitigazione della pericolosità e del rischio, dei quali è stata valutata e indicata l'efficacia.
- la compatibilità tra la trasformazione/intervento previsto e il perseguimento dell'invarianza idraulica, attraverso l'individuazione di adeguate misure compensative, secondo i criteri stabiliti dalla Giunta Regionale ai sensi dell'art. 10, comma 4 della stessa legge.

Luogo, data

CALDAROLA, 09/11/2020

Il/4 dichiarante/i

Geol. Mauro Cataldi







WGS84: Lat 43.072294 - Lng 13.063518



ED50: Lat 43.073253 - Lng 13.064449



Visualizza vertici della maglia di appartenenza

## Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbl...



Vita Nominale 50



Media ponderata

Interpolazione

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>+</sup> [s]
Operatività (SLO)	30	0.070	2.416	0.274
Danno (SLD)	50	0.089	2.407	0.285
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.216	2.440	0.323
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.276	2.465	0.335
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

## Coefficienti sismici



Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m)

us (m)



1



0.1



B

Cat. Sottosuolo



T1

Cat. Topografica

SLO SLD SLV SLC

SS Amplificazione stratigrafica 1,20 1,20 1,19 1,13

CC Coeff. funz categoria 1,42 1,41 1,38 1,37

ST Amplificazione topografica 1,00 1,00 1,00 1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]

0.6

Coefficienti SLO SLD SLV SLC

kh 0.017 0.021 0.072 0.087

k<sub>v</sub> 0.008 0.011 0.036 0.044

Amax [m/s<sup>2</sup>] 0.826 1.043 2.525 3.057

Beta 0.200 0.200 0.280 0.280



<b>dott. geol. Mauro Cataldi</b> <b>C.FISC:</b> <b>CTLMRA82C15L191E</b> <b>P.IVA: 01734500430</b>	<b>Via: Via delle Concie, 19</b> <b>62020 Caldarola - Macerata</b> <b>Tel: - 3382695525</b> <b>Fax:</b> <b>Email: mauro.cataldi@alice.it</b> <b>Web:</b>
--	---

## **RELAZIONE GEOLOGICA E SULLA MODELLAZIONE SISMICA RELATIVA ALLA REALIZZAZIONE DI UN IMMOBILE DA DESTINARE AD HUB**

	<b>Data: novembre 2020</b>
	<b>Il committente Unione Montana Marca di Camerino</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Pericolosità sismica di base</b>	

## INTRODUZIONE

### PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
  - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove  $M$  rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da  $N$  strati orizzontali di cui l' $N$ -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno

strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di

taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove:  $u$  rappresenta lo spostamento;  $t$  il tempo;  $\rho$  la densità;  $G$  il modulo di deformazione al taglio;  $\eta$  la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove  $\omega$  rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto  $G^* = G + i\omega\eta$ , ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove  $\xi$  rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice \* indica la natura complessa delle variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z,t) = Ee^{i(\omega t + k^*z)} + Fe^{i(\omega t - k^*z)} \quad (7)$$

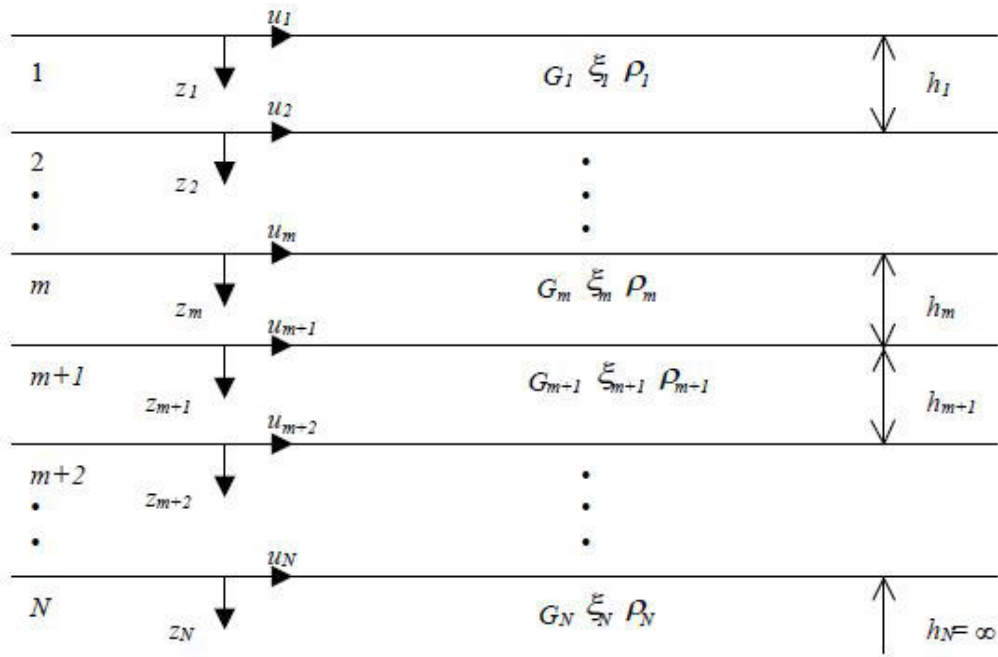


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre  $k^*$  rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z,t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[ Ee^{i(\omega t + k^*z)} + Fe^{i(\omega t - k^*z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore  $h_m$  gli spostamenti, rispettivamente in sommità ( $z = 0$ ) ed al fondo ( $z = h_m$ ), sono:

$$u_m(0,t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m,t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' $m$ -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove  $\alpha_m^*$  rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati  $m$  ed  $m+1$ , ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad  $m$ . La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  che lega gli spostamenti in sommità degli strati  $m$  ed  $n$  è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

$A_{mn}$  rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti  $m$  e  $n$ .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati  $n$  ed  $m$ :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$



Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

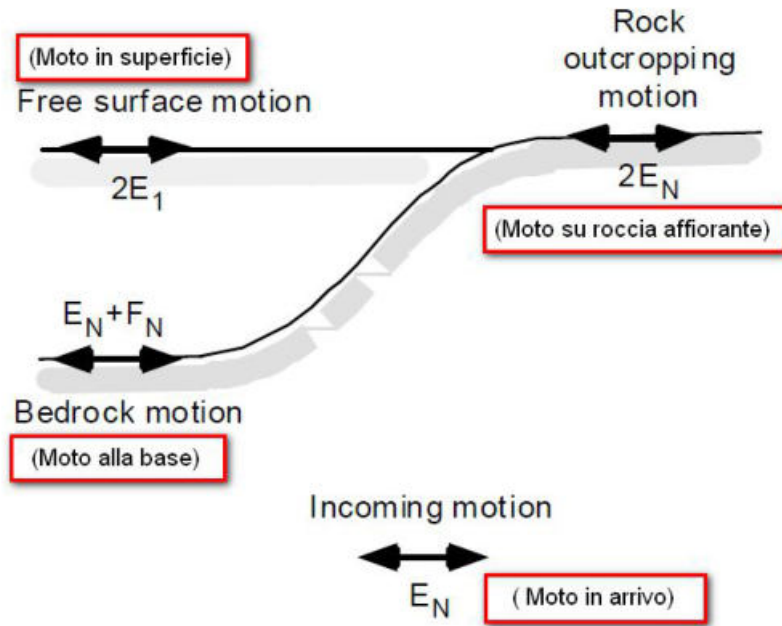


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad  $E_N$ ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a  $E_N + F_N$ . Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ( $E_N = F_N$ ), il moto avrà ampiezza pari a  $2E_N$ . La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

$A$  è non lineare poiché  $G$  è funzione di  $\gamma$ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di  $\gamma$ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo  $G$  così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per  $G(\gamma)$  adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000102 + n(PI)^{0.492}}{\gamma} \right) \right] \right\} \quad (25)$$

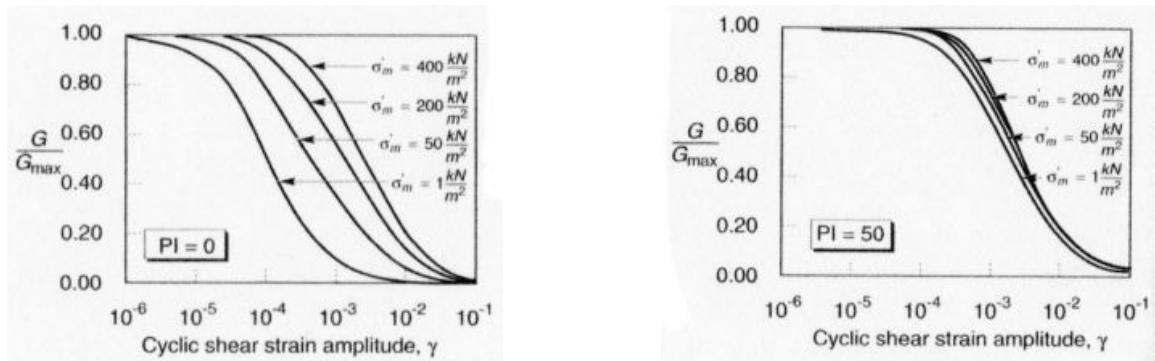
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right) \right] \right\} \exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove  $\rho$  è la densità del terreno e  $V_s$  la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di  $G$  per la prima iterazione.

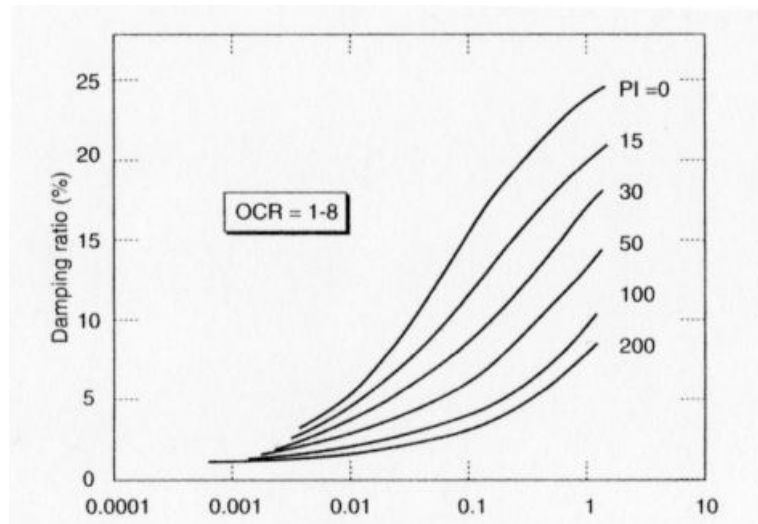


**Figura 2:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{2.5})}{2} \left[ 0.586 \left( \frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche  $\xi$  deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.



**Figura 3:** Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

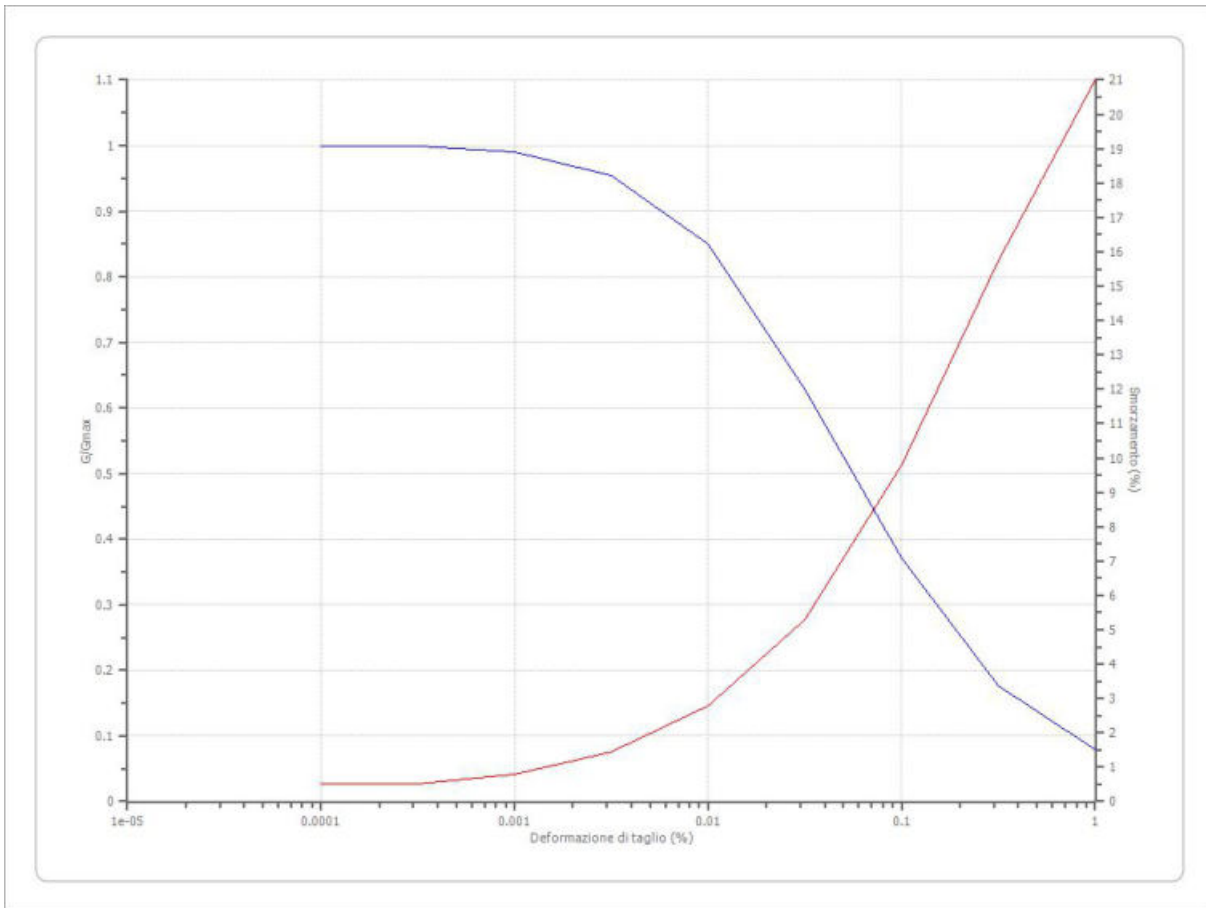
### Dati generali

Descrizione RELAZIONE GEOLOGICA E SULLA MODELLAZIONE  
SISMICA RELATIVA ALLA REALIZZAZIONE DI UN IMMOBILE DA DESTINARE AD HUB  
Committente Unione Montana Marca di Camerino  
Cantiere Località Maddalena – Comune di Muccia (MC)  
Operatore della prova Geol. Mauro Cataldi  
Responsabile della prova Geol. Mauro Cataldi  
Data della prova d.C./11/2020  
Latitudine 43.0722923[°]  
Longitudine 13.0635176[°]

### Terreni

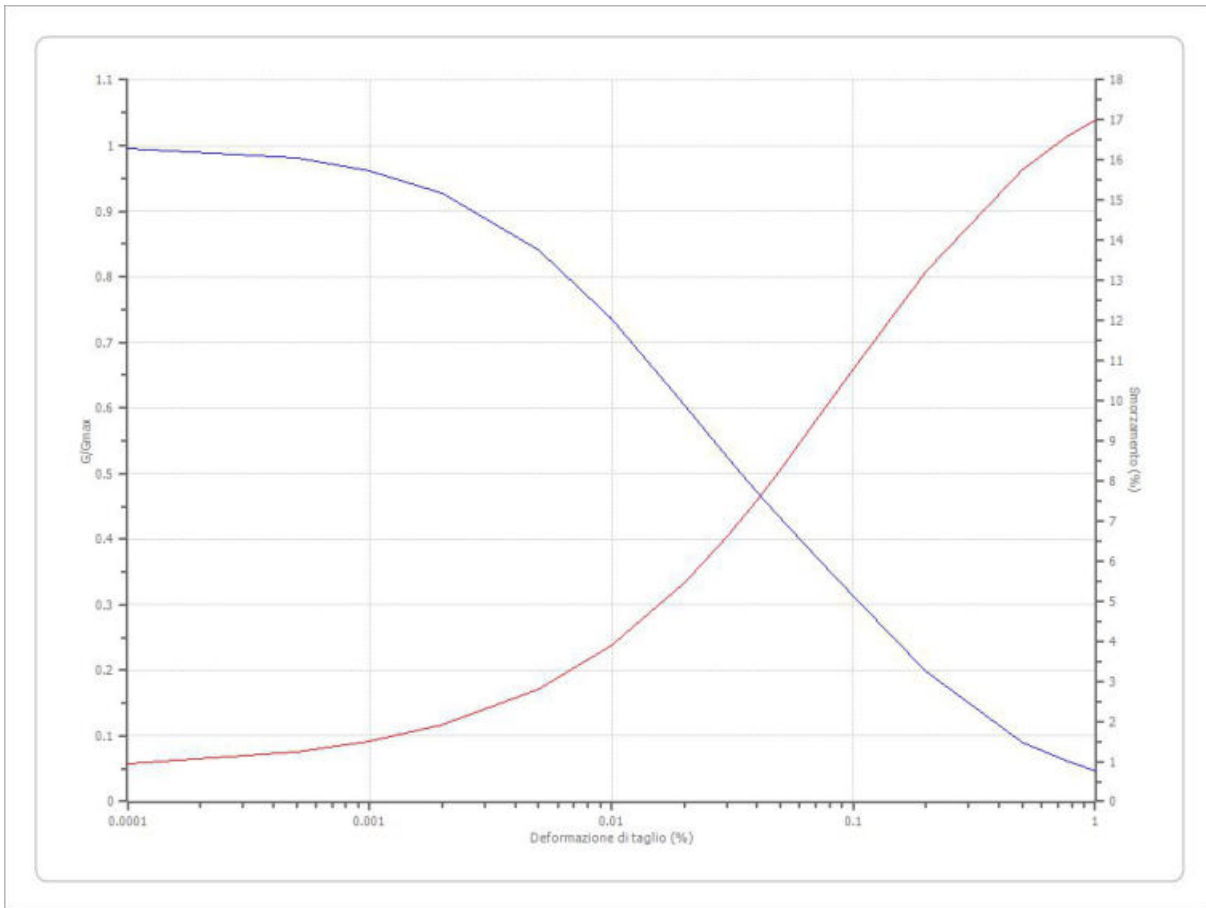
MZS\_MARCHE\_1\_SWtutti\_SM\_tutti\_SCtutti\_SPtutti

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.000316	1.000	0.000316	0.500
0.001	0.990	0.001	0.800
0.00316	0.955	0.00316	1.460
0.010	0.850	0.010	2.800
0.0316	0.628	0.0316	5.310
0.100	0.370	0.100	9.800
0.316	0.176	0.316	15.740
1.000	0.080	1.000	21.000
		0.000	21.000



MZS\_MARCHE\_1\_GWtutti\_GMtutti\_GCtutti\_GPtutti (Rollins, 1998)

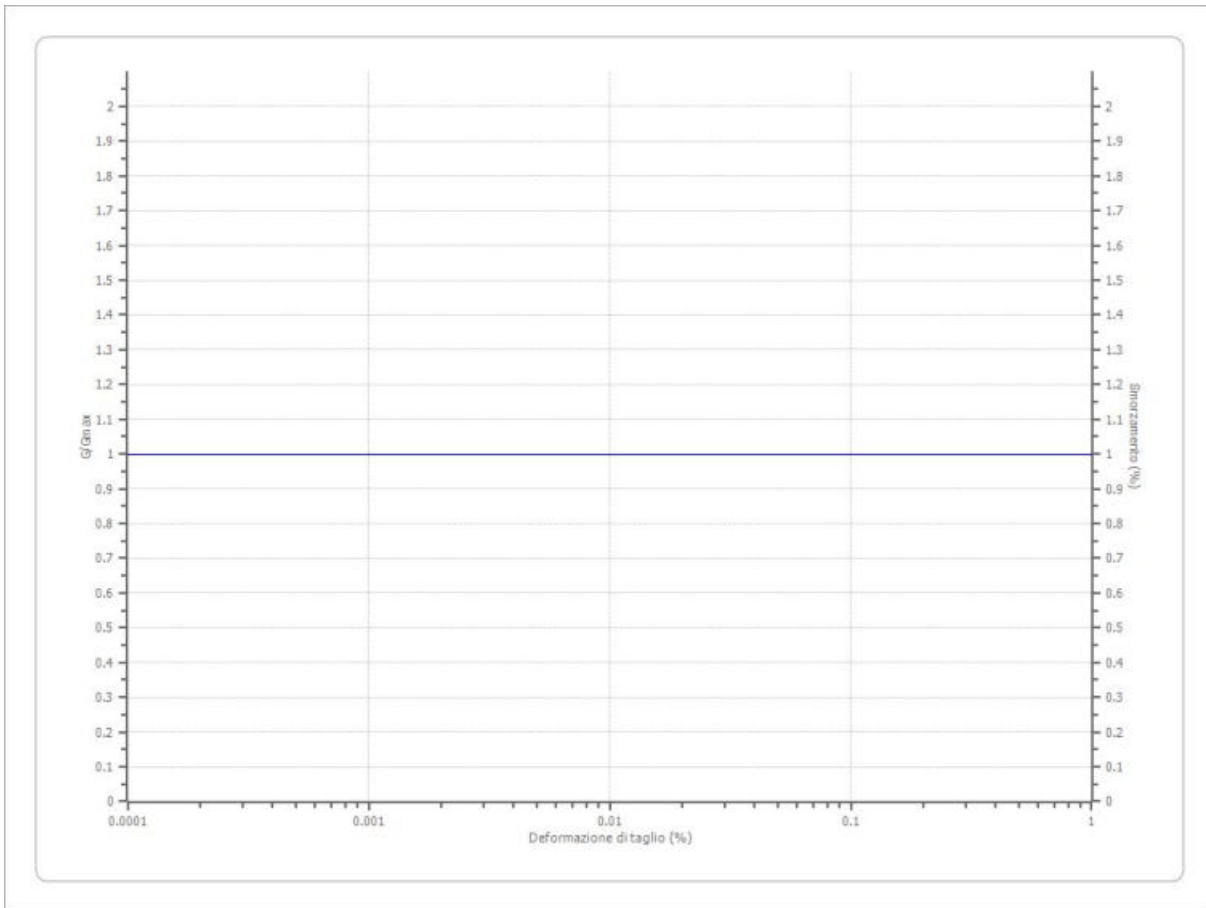
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.99602	0.0001	0.94882
0.0005	0.9805	0.0005	1.23923
0.001	0.96196	0.001	1.49807
0.002	0.92747	0.002	1.90513
0.005	0.84095	0.005	2.80479
0.010	0.73591	0.010	3.89377
0.020	0.60519	0.020	5.45354
0.030	0.52612	0.030	6.60547
0.040	0.47204	0.040	7.52275
0.050	0.43174	0.050	8.28232
0.075	0.36144	0.075	9.73687
0.100	0.3125	0.100	10.7935
0.200	0.19841	0.200	13.22901
0.500	0.09091	0.500	15.7585
0.750	0.0625	0.750	16.55541
1.000	0.04762	1.000	17.00874



MZS\_MARCHE\_1\_SUBSTRATO ALTERATO ( $V_s < 800$  m/s)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.000
0.000316	1.000	0.000316	1.000
0.001	1.000	0.001	1.000
0.00316	1.000	0.00316	1.000
0.010	1.000	0.010	1.000
0.0316	1.000	0.0316	1.000
0.100	1.000	0.100	1.000
0.316	1.000	0.316	1.000
1.000	1.000	1.000	1.000





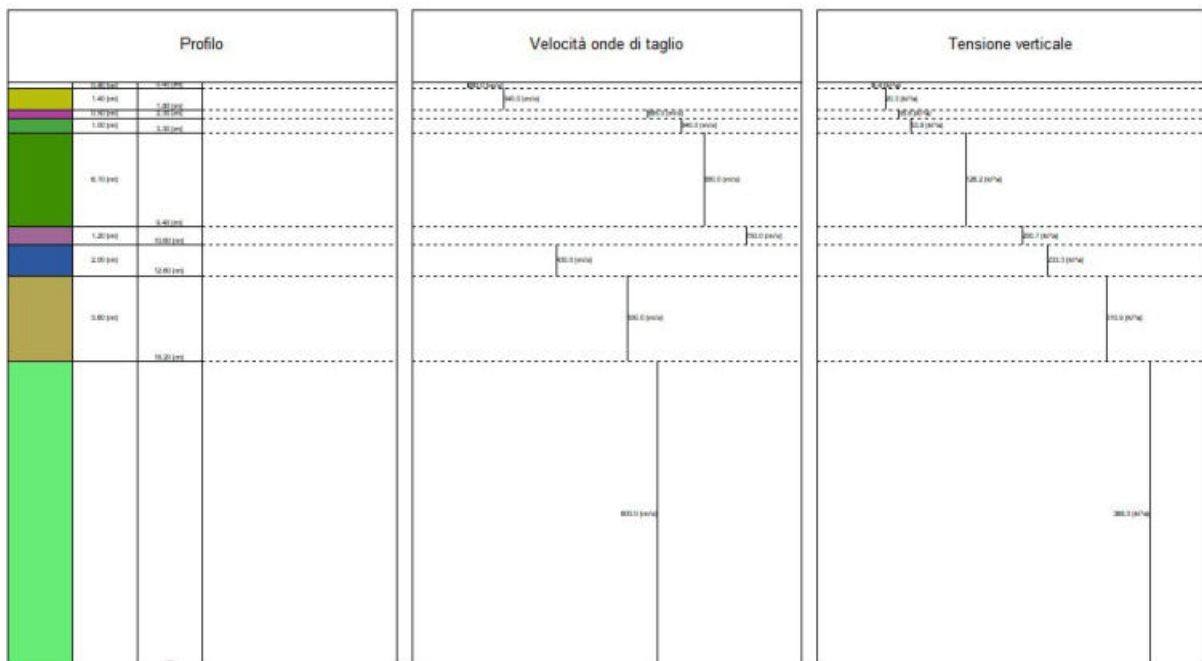
### Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	0.4	M Z S _ MARC HE_1_ SWtutti _SM_tu tti_SCt tti_SPt utti	0	135.06	--	16.9	280.0	3.4
2		0.4	1.4	M Z S _ MARC HE_1_ SWtutti _SM_tu tti_SCt tti_SPt utti	0	228.61	--	19.4	340.0	20.3
3		1.8	0.5	M Z S _ MARC	0	676.78	--	19.4	585.0	38.8

				HE_1_ SWtutti _SM_tu tti_SCt utti_SPt utti						
4		2.3	1.0	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti _GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)	0	851.77	--	20.4	640.0	53.8
5		3.3	6.1	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti _GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)	0	961.57	--	20.4	680.0	126.2
6		9.4	1.2	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti _GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)	0	1169.73	--	20.4	750.0	200.7
7		10.6	2.0	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti _GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)	0	384.50	--	20.4	430.0	233.3
8		12.6	5.6	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti	0	629.05	--	20.4	550.0	310.9

				_GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)						
9		oo	--	M Z S _ M A R C H E _ 1 _ S U B S T R A T O A L T E R A T O (V <sub>s</sub> < 8 0 0 m/s)	0	770.64	--	21.0	600.0	368.0

Strato rilevamento accelerogramma: 9 Affiorante



### Elaborazione

Numero di iterazioni 50  
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5  
 Tipo di modulo elastico Shake  
 Massimo errore percentuale di convergenza 9.82 E-06

### Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.120 [s]
Tvi	0.860 [s]
Tao	0.120 [s]
Tvo	0.860 [s]
Sami	2.352 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.121 [m/s]
Samo	2.402 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.123 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.021 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.013 [-]</b>
TB	0.107 [s]
TC	0.321 [s]
TD	2.061 [s]
SA(0)	0.115 [g]
SA(TB)	0.245 [g]

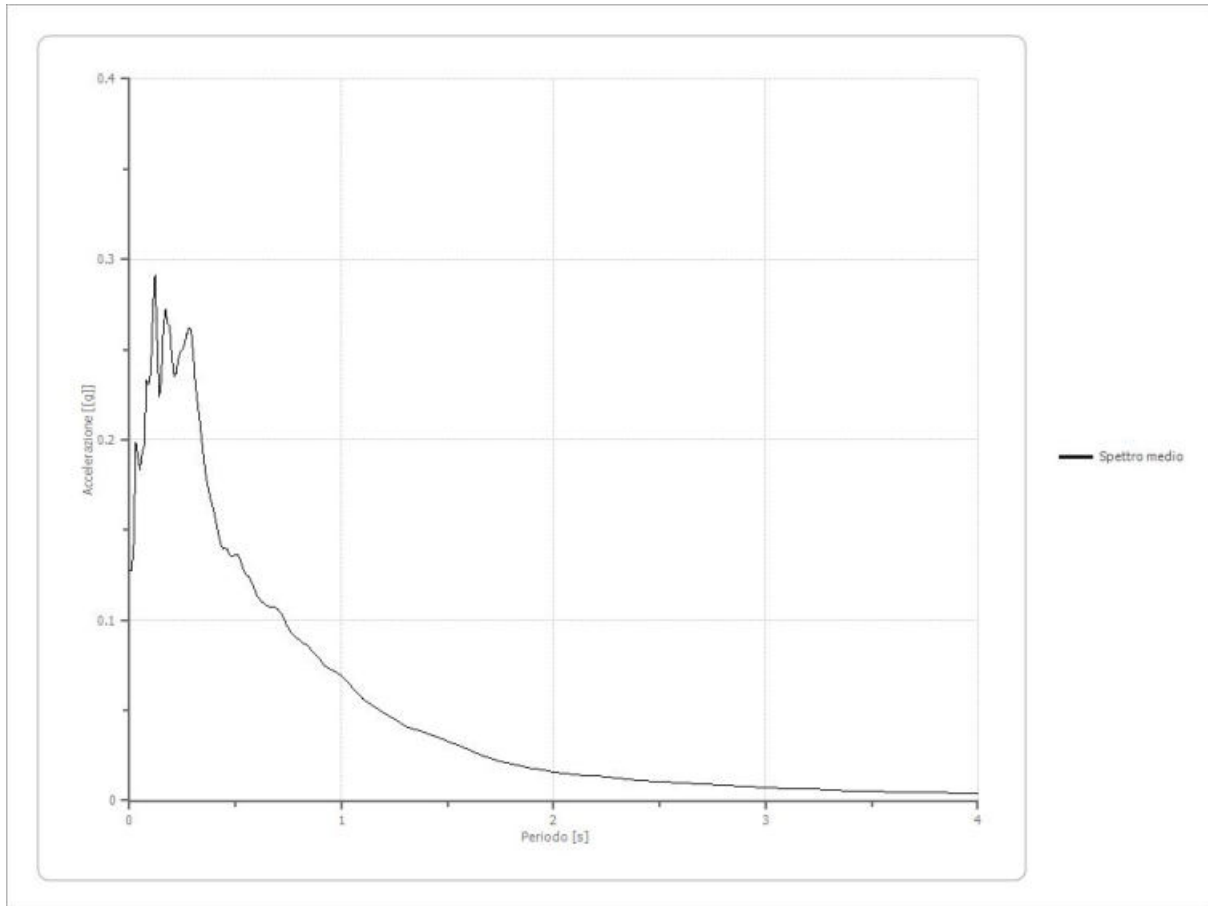
### Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
--------------------	---------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------------	----

### Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1274	0.26	0.2530	0.52	0.1341	0.98	0.0710	2.25	0.0130
0.01	0.1274	0.27	0.2589	0.53	0.1311	1.00	0.0693	2.30	0.0125
0.02	0.1430	0.28	0.2619	0.54	0.1273	1.05	0.0631	2.35	0.0119
0.03	0.1987	0.29	0.2610	0.55	0.1253	1.10	0.0564	2.40	0.0114
0.04	0.1906	0.30	0.2489	0.56	0.1244	1.15	0.0522	2.50	0.0107
0.05	0.1833	0.31	0.2320	0.57	0.1226	1.20	0.0481	2.60	0.0099
0.06	0.1929	0.32	0.2213	0.58	0.1198	1.25	0.0449	2.70	0.0092
0.07	0.1972	0.33	0.2120	0.60	0.1139	1.30	0.0414	2.80	0.0085
0.08	0.2332	0.34	0.2003	0.62	0.1107	1.35	0.0393	2.90	0.0078
0.09	0.2306	0.35	0.1898	0.64	0.1087	1.40	0.0375	3.00	0.0072
0.10	0.2379	0.36	0.1802	0.66	0.1074	1.45	0.0354	3.10	0.0067
0.11	0.2700	0.37	0.1738	0.68	0.1072	1.50	0.0331	3.20	0.0063
0.12	0.2913	0.38	0.1673	0.70	0.1062	1.55	0.0305	3.30	0.0059
0.13	0.2571	0.39	0.1643	0.72	0.1027	1.60	0.0280	3.40	0.0055
0.14	0.2237	0.40	0.1593	0.74	0.0975	1.65	0.0256	3.50	0.0051
0.15	0.2333	0.41	0.1534	0.76	0.0938	1.70	0.0235	3.60	0.0048
0.16	0.2625	0.42	0.1475	0.78	0.0907	1.75	0.0217	3.70	0.0045
0.17	0.2724	0.43	0.1418	0.80	0.0888	1.80	0.0202	3.80	0.0043
0.18	0.2644	0.44	0.1398	0.82	0.0872	1.85	0.0190	3.90	0.0040
0.19	0.2625	0.45	0.1401	0.84	0.0856	1.90	0.0179	4.00	0.0038

0.20	0.2454	0.46	0.1391	0.86	0.0834	1.95	0.0167		
0.21	0.2352	0.47	0.1370	0.88	0.0808	2.00	0.0158		
0.22	0.2369	0.48	0.1352	0.90	0.0777	2.05	0.0149		
0.23	0.2446	0.49	0.1353	0.92	0.0749	2.10	0.0143		
0.24	0.2491	0.50	0.1361	0.94	0.0732	2.15	0.0139		
0.25	0.2502	0.51	0.1359	0.96	0.0722	2.20	0.0135		

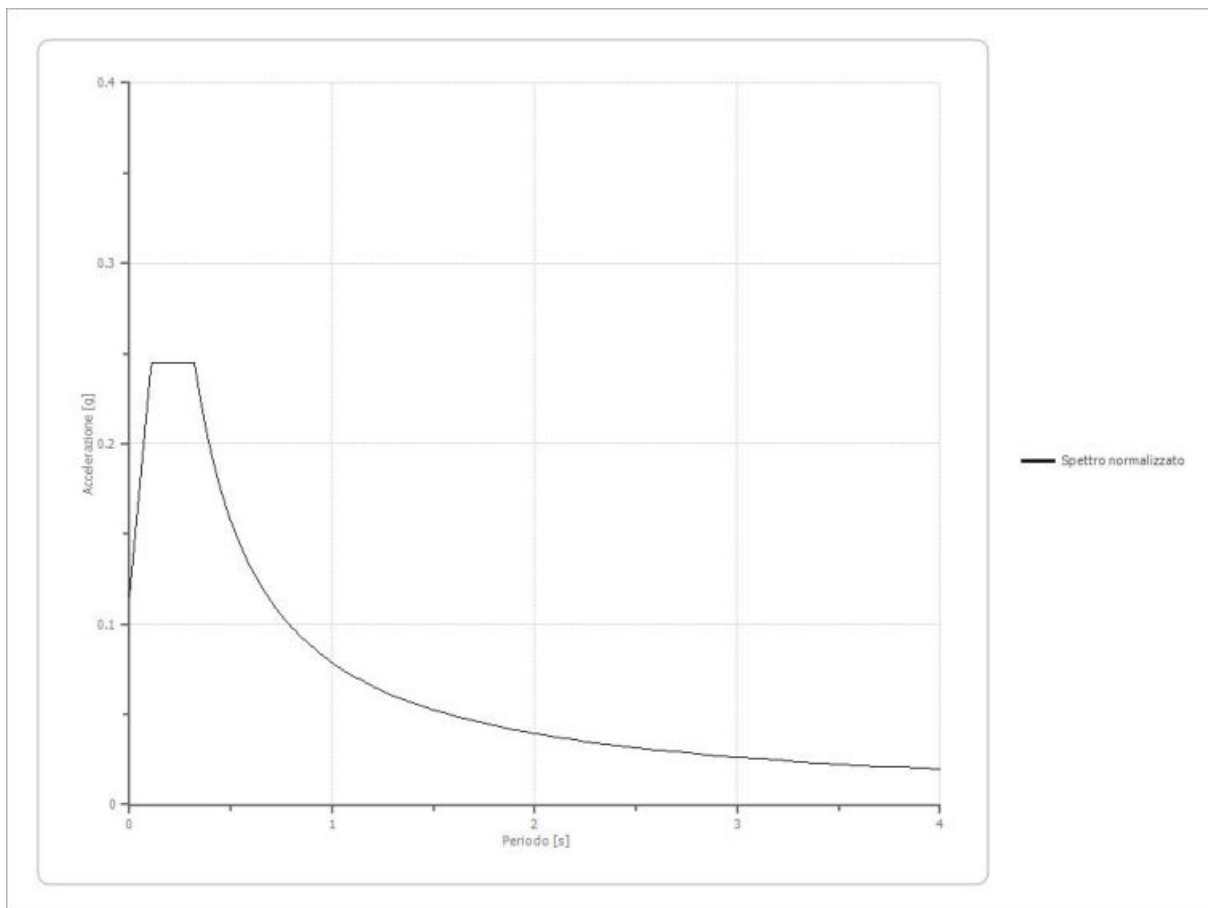


**Spettro normalizzato di risposta elastico**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1153	0.26	0.2448	0.52	0.1514	0.98	0.0803	2.25	0.0350
0.01	0.1274	0.27	0.2448	0.53	0.1485	1.00	0.0787	2.30	0.0342
0.02	0.1395	0.28	0.2448	0.54	0.1457	1.05	0.0750	2.35	0.0335
0.03	0.1516	0.29	0.2448	0.55	0.1431	1.10	0.0715	2.40	0.0328
0.04	0.1637	0.30	0.2448	0.56	0.1405	1.15	0.0684	2.50	0.0315
0.05	0.1758	0.31	0.2448	0.57	0.1381	1.20	0.0656	2.60	0.0303
0.06	0.1878	0.32	0.2448	0.58	0.1357	1.25	0.0630	2.70	0.0291
0.07	0.1999	0.33	0.2385	0.60	0.1312	1.30	0.0605	2.80	0.0281
0.08	0.2120	0.34	0.2315	0.62	0.1269	1.35	0.0583	2.90	0.0271
0.09	0.2241	0.35	0.2249	0.64	0.1230	1.40	0.0562	3.00	0.0262
0.10	0.2362	0.36	0.2186	0.66	0.1192	1.45	0.0543	3.10	0.0254
0.11	0.2448	0.37	0.2127	0.68	0.1157	1.50	0.0525	3.20	0.0246



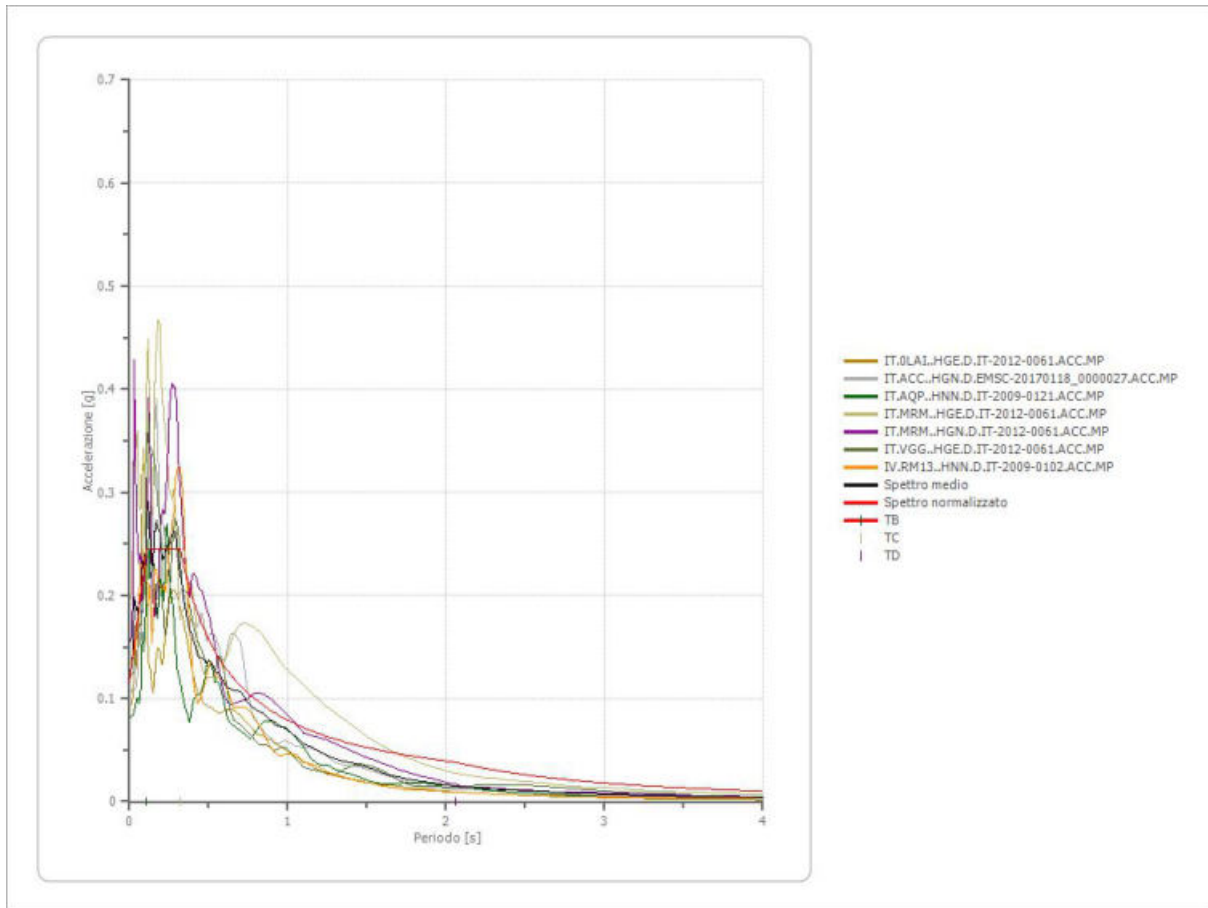
0.12	0.2448	0.38	0.2071	0.70	0.1124	1.55	0.0508	3.30	0.0238
0.13	0.2448	0.39	0.2018	0.72	0.1093	1.60	0.0492	3.40	0.0231
0.14	0.2448	0.40	0.1968	0.74	0.1064	1.65	0.0477	3.50	0.0225
0.15	0.2448	0.41	0.1920	0.76	0.1036	1.70	0.0463	3.60	0.0219
0.16	0.2448	0.42	0.1874	0.78	0.1009	1.75	0.0450	3.70	0.0213
0.17	0.2448	0.43	0.1830	0.80	0.0984	1.80	0.0437	3.80	0.0207
0.18	0.2448	0.44	0.1789	0.82	0.0960	1.85	0.0425	3.90	0.0202
0.19	0.2448	0.45	0.1749	0.84	0.0937	1.90	0.0414	4.00	0.0197
0.20	0.2448	0.46	0.1711	0.86	0.0915	1.95	0.0404		
0.21	0.2448	0.47	0.1675	0.88	0.0894	2.00	0.0394		
0.22	0.2448	0.48	0.1640	0.90	0.0874	2.05	0.0384		
0.23	0.2448	0.49	0.1606	0.92	0.0855	2.10	0.0375		
0.24	0.2448	0.50	0.1574	0.94	0.0837	2.15	0.0366		
0.25	0.2448	0.51	0.1543	0.96	0.0820	2.20	0.0358		



### Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.115	2.122577	--	0.107	0.321	2.061	0.115	0.245	1.296

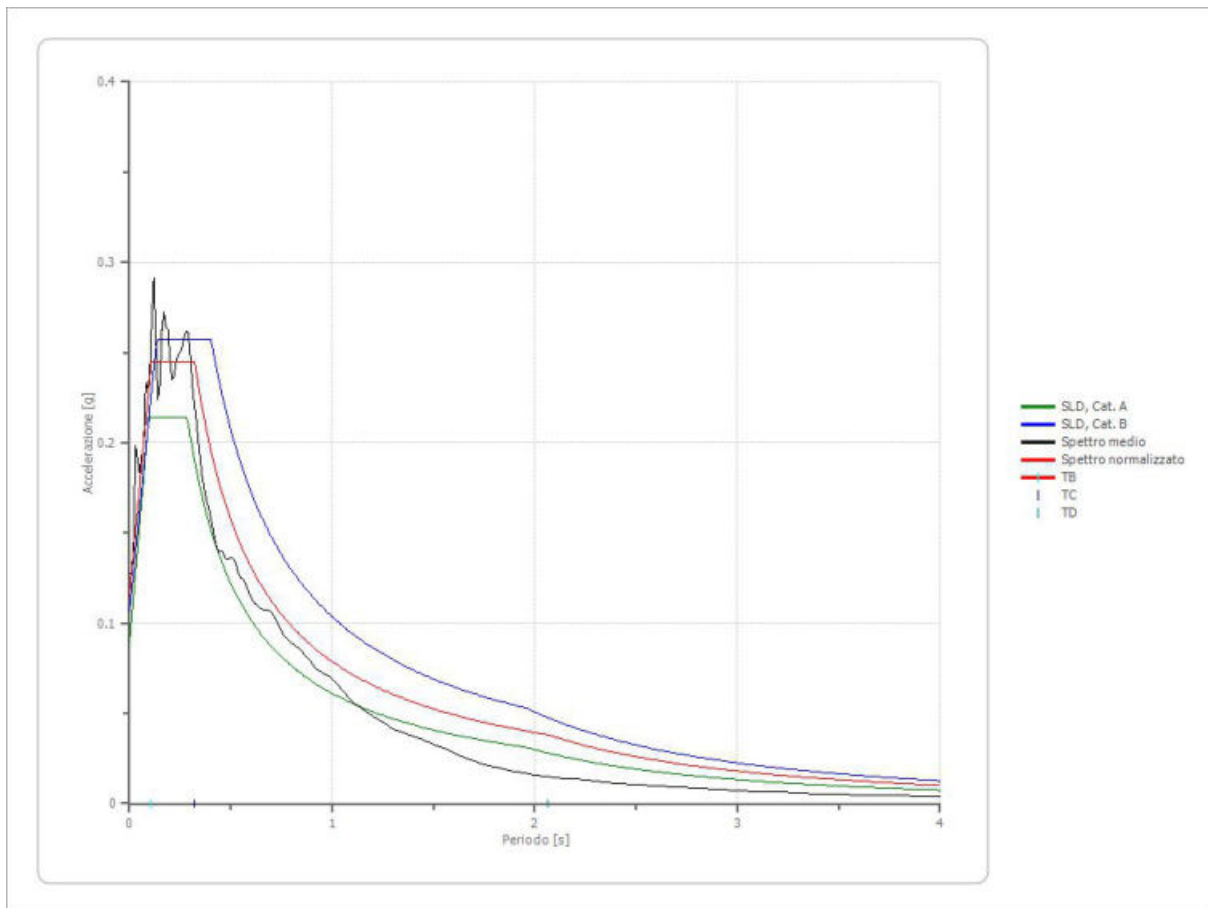
### Confronto tra gli spettri



### Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

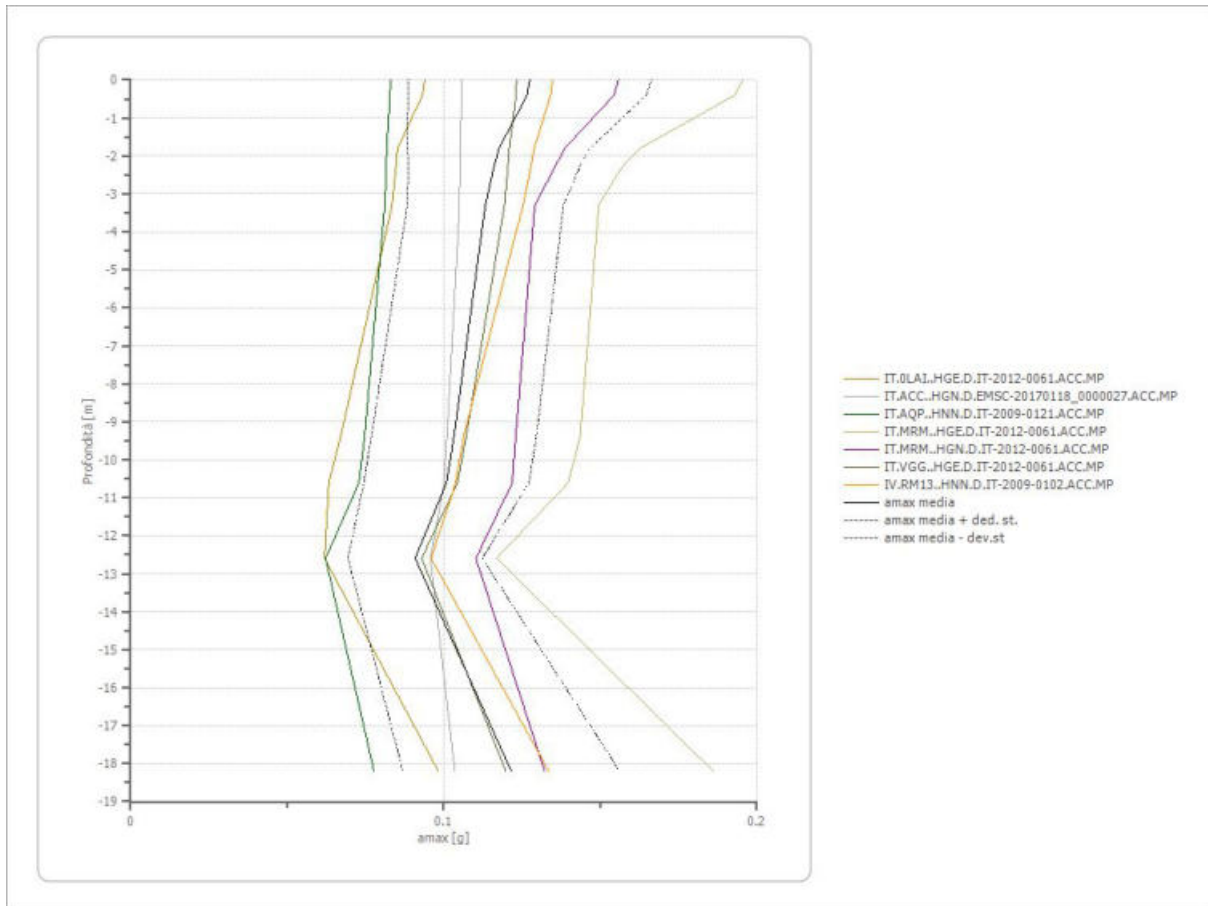
	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.070	0.089	0.216	0.276	0.070	0.089	0.216	0.276
Fo	2.416	2.407	2.44	2.465	2.416	2.407	2.44	2.465
Tc* [s]	0.274	0.285	0.323	0.335	0.274	0.285	0.323	0.335
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.19	1.13
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.43	1.41	1.38	1.37
TB [s]	0.091	0.095	0.108	0.112	0.130	0.134	0.148	0.153
TC [s]	0.274	0.285	0.323	0.335	0.390	0.403	0.445	0.459
TD [s]	1.880	1.956	2.464	2.704	1.880	1.956	2.464	2.704
Se(0) [g]	0.070	0.089	0.216	0.276	0.084	0.107	0.257	0.311
Se(TB) [g]	0.169	0.214	0.527	0.680	0.203	0.257	0.627	0.767



### Profilo a max

	0.0 [m]	0.4 [m]	1.8 [m]	2.3 [m]	3.3 [m]	9.4 [m]	10.6 [m]	12.6 [m]	18.2 [m]
IT.0LAI. .HGE.D. IT-2012- 0061.AC C.MP [g]	0.094	0.093	0.085	0.085	0.083	0.067	0.063	0.062	0.098
IT.ACC. .HGN.D. EMSC-2 0170118 _000002 _7.ACC. MP [g]	0.106	0.106	0.105	0.105	0.105	0.101	0.100	0.096	0.104
IT.AQP.. HNN.D.I T-2009- 0121.AC C.MP [g]	0.083	0.083	0.082	0.082	0.081	0.075	0.073	0.062	0.078
IT.MRM ..HGE.D	0.196	0.193	0.163	0.157	0.150	0.144	0.140	0.117	0.186

.IT-2012-0061.A CC.MP [g]									
IT.MRM ..HGN.D .IT-2012-0061.A CC.MP [g]	0.156	0.154	0.139	0.135	0.129	0.123	0.122	0.110	0.132
IT.VGG. .HGE.D. IT-2012-0061.AC C.MP [g]	0.123	0.123	0.121	0.120	0.119	0.107	0.104	0.093	0.120
IV.RM1 3..HNN. D.IT-2009-0102. ACC.M P [g]	0.135	0.134	0.129	0.128	0.125	0.106	0.104	0.096	0.133
media [g]	0.127	0.127	0.118	0.116	0.113	0.103	0.101	0.091	0.122
Dev. St. [g]	0.039	0.038	0.029	0.027	0.025	0.026	0.026	0.021	0.035

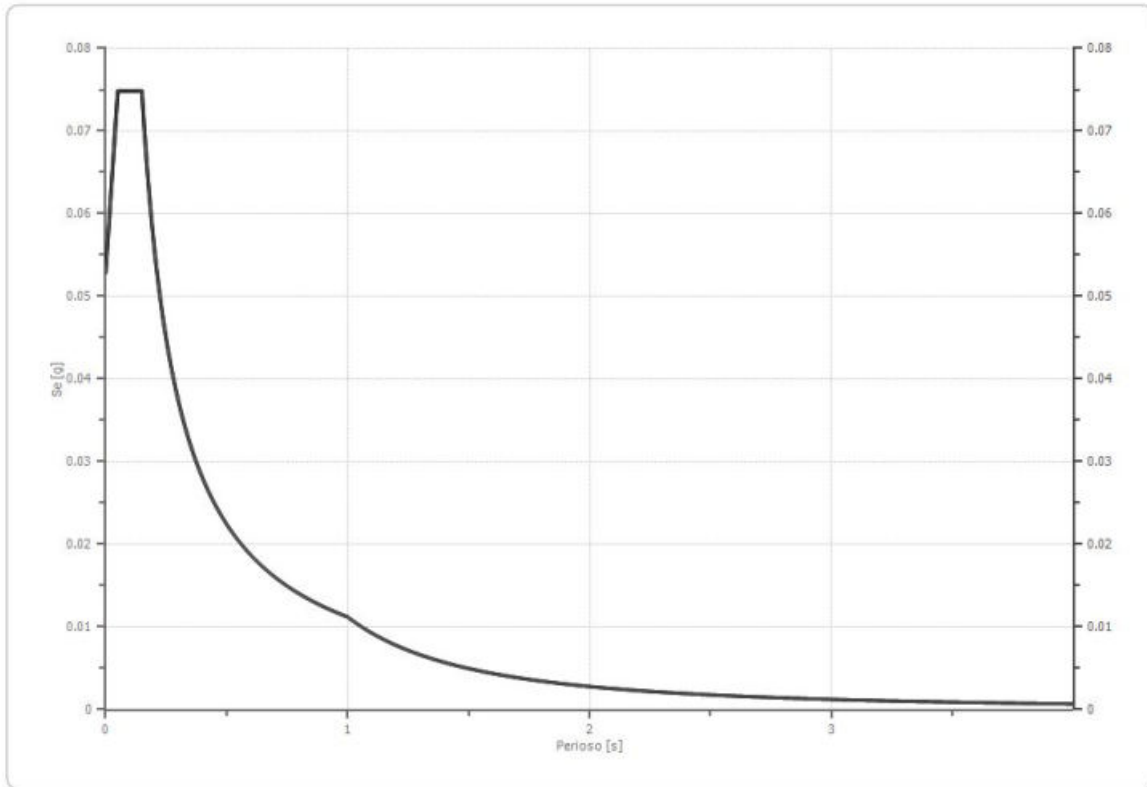


### Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.115	2.123	0.150	0.973	1.5	0.050	0.150	1.000	0.053	0.075



Spettro verticale di progetto



## Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
MZS_MARCHE_1_SWtutti_SM_tutti_SCtutti_SPtutti	.7
MZS_MARCHE_1_GWtutti_GMtutti_GCtutti_GPtutti (Rollins, 1998)	.8
MZS_MARCHE_1_SUBSTRATO ALTERATO ( $V_s < 800$ m/s)	.9
Stratigrafia	.10
Elaborazione	.12
Fattori di amplificazione ICMS 2018	.13
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.13
Spettro medio di risposta elastico	.13
Spettro normalizzato di risposta elastico	.14
Confronto tra gli spettri	.15
Confronto spettro normativa	.16
Profilo a max	.17
Spettro verticale di progetto	.19
Indice	.21



**dott. geol. Mauro  
Cataldi  
C.FISC:  
CTLMRA82C15L191E  
P.IVA: 01734500430**

**Via: Via delle Concie, 19  
62020 Caldarola - Macerata**

**Tel: - 3382695525**

**Fax:**

**Email: mauro.cataldi@alice.it**

**Web:**

## **RELAZIONE GEOLOGICA E SULLA MODELLAZIONE SISMICA RELATIVA ALLA REALIZZAZIONE DI UN IMMOBILE DA DESTINARE AD HUB**

**Data: novembre 2020**

**Il committente Unione Montana Marca  
di Camerino**

**IL Tecnico**

**Il Progettista**

**Pericolosità sismica di base**

## INTRODUZIONE

### PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
  - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove  $M$  rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da  $N$  strati orizzontali di cui l' $N$ -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove:  $u$  rappresenta lo spostamento;  $t$  il tempo;  $\rho$  la densità;  $G$  il modulo di deformazione al taglio;  $\eta$  la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove  $\omega$  rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto  $G^* = G + i\omega\eta$ , ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove  $\xi$  rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice \* indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

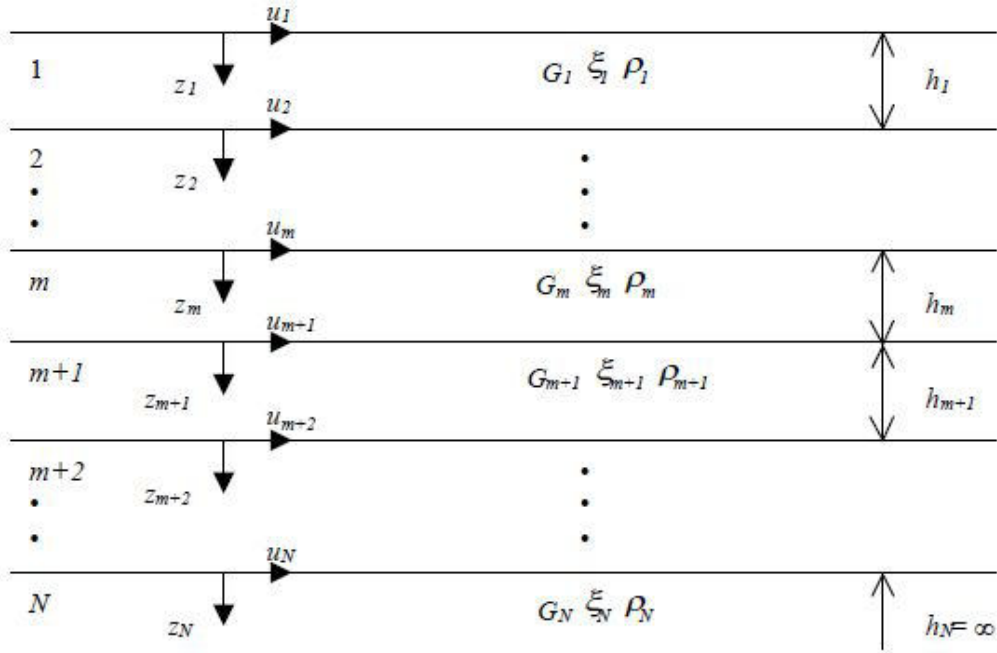


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre  $k^*$  rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[ Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato  $m$  di spessore  $h_m$  gli spostamenti, rispettivamente in sommità ( $z = 0$ ) ed al fondo ( $z = h_m$ ), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che



$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' $m$ -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove  $\alpha_m^*$  rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati  $m$  ed  $m+1$ , ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}{k_m^* G_m^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad  $m$ . La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  che lega gli spostamenti in sommità degli strati  $m$  ed  $n$  è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

$A_{mn}$  rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti  $m$  e  $n$ .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati  $n$  ed  $m$ :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

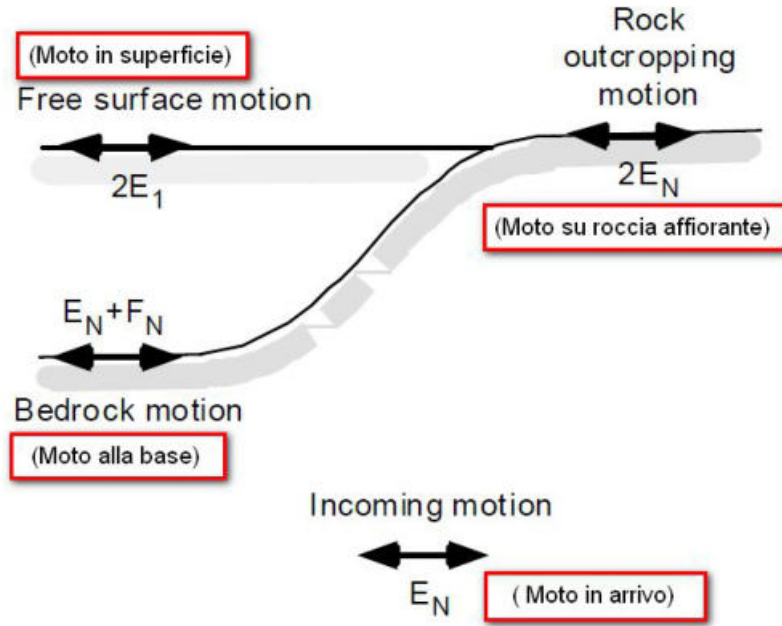


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad  $E_N$ ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a  $E_N + F_N$ . Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ( $E_N = F_N$ ), il moto avrà ampiezza pari a  $2E_N$ . La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

$A$  è non lineare poiché  $G$  è funzione di  $\gamma$ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di  $\gamma$ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo  $G$  così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per  $G(\gamma)$  adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

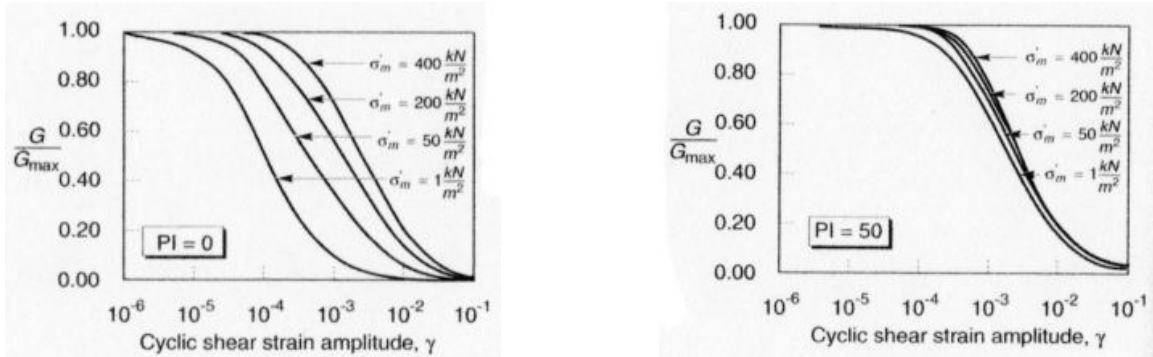
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove  $\rho$  è la densità del terreno e  $V_s$  la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di  $G$  per la prima iterazione.

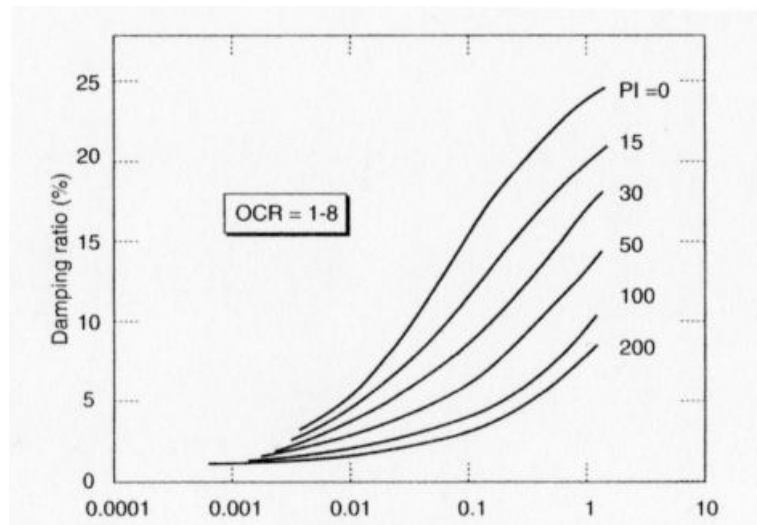


**Figura 2:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[ 0.586 \left( \frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche  $\xi$  deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.



**Figura 3:** Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

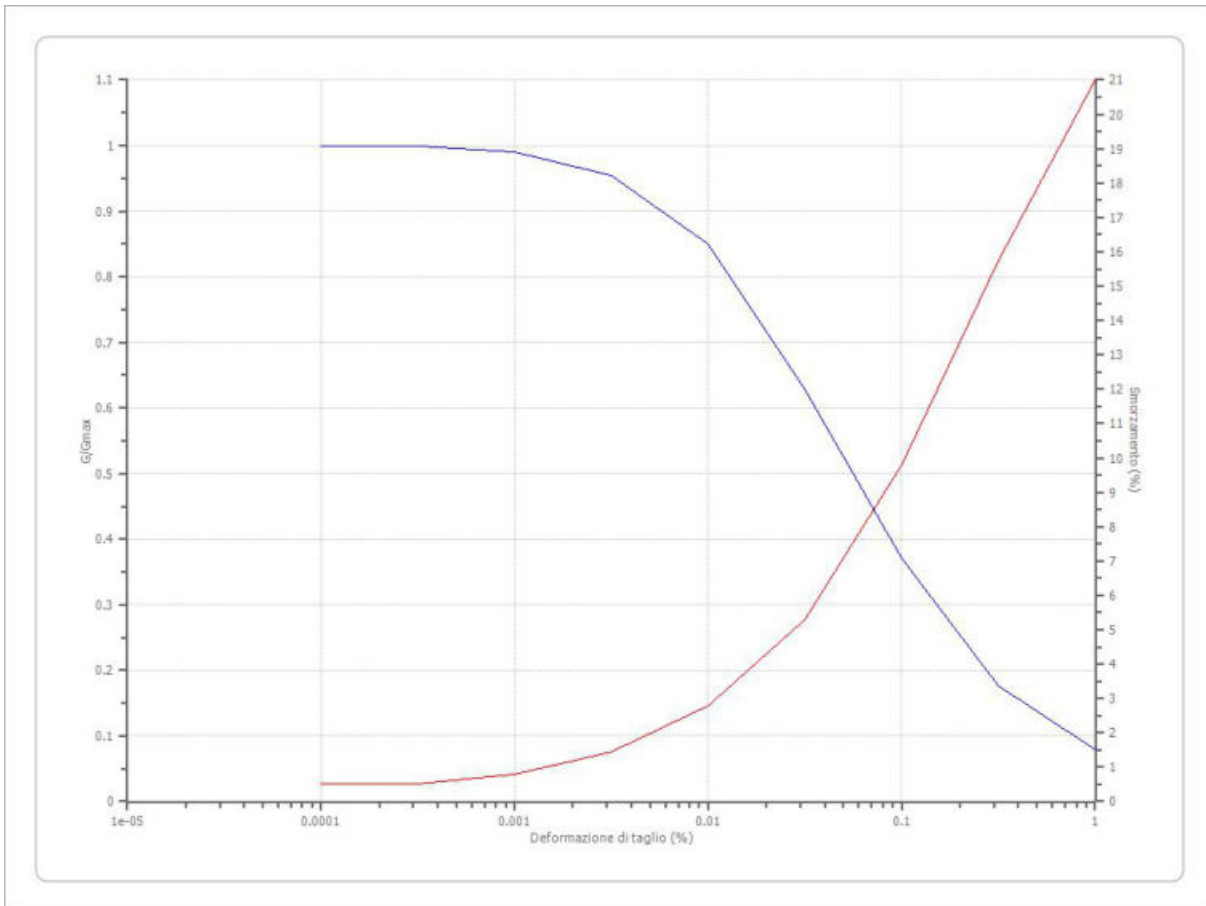
## Dati generali

Descrizione	RELAZIONE GEOLOGICA E SULLA MODELLAZIONE SISMICA RELATIVA ALLA REALIZZAZIONE DI UN IMMOBILE DA DESTINARE AD HUB
Committente	Unione Montana Marca di Camerino
Cantiere	Località Maddalena – Comune di Muccia (MC)
Operatore della prova	Geol. Mauro Cataldi
Responsabile della prova	Geol. Mauro Cataldi
Data della prova	d.C./11/2020
Latitudine	43.0722923[°]
Longitudine	13.0635176[°]

## Terreni

MZS\_MARCHE\_1\_SWtutti\_SM\_tutti\_SCtutti\_SPtutti

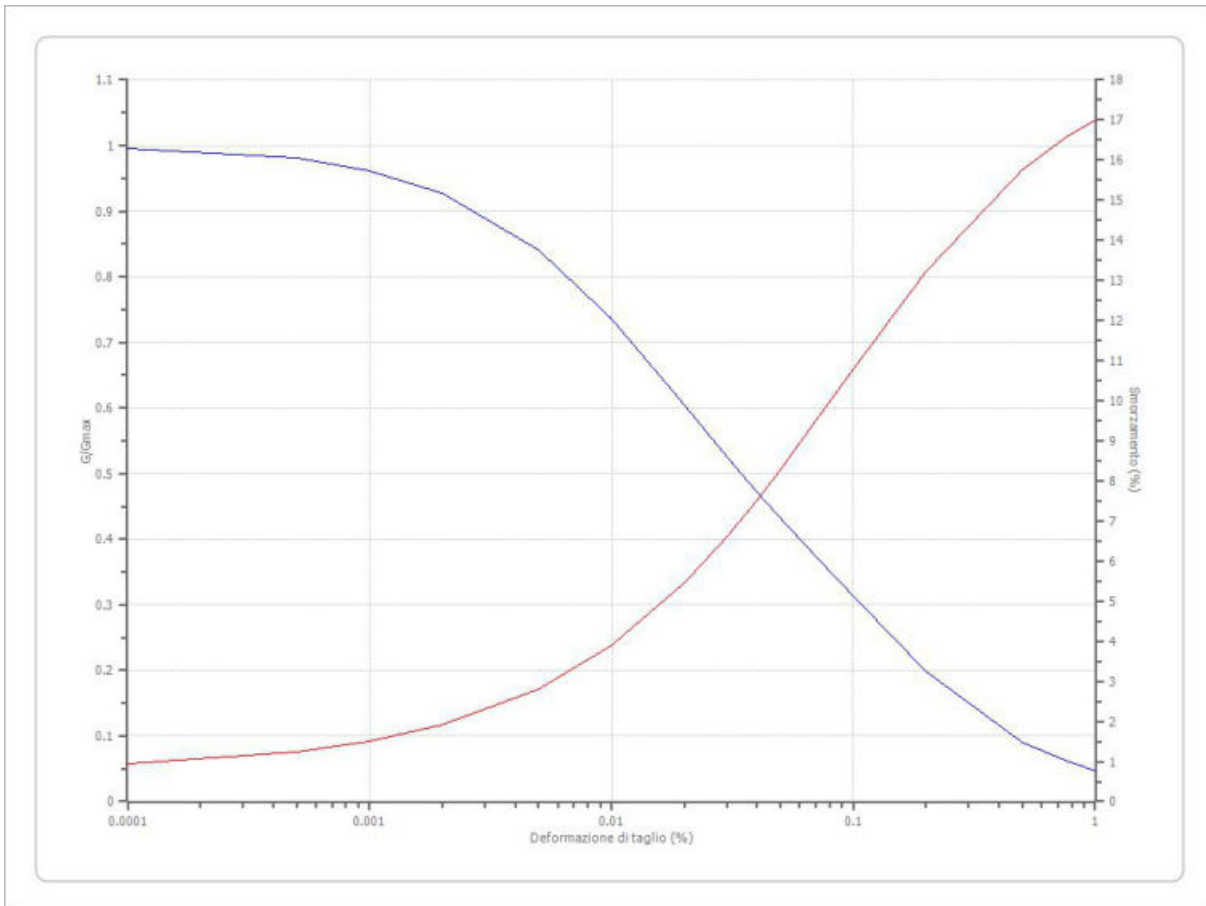
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.000316	1.000	0.000316	0.500
0.001	0.990	0.001	0.800
0.00316	0.955	0.00316	1.460
0.010	0.850	0.010	2.800
0.0316	0.628	0.0316	5.310
0.100	0.370	0.100	9.800
0.316	0.176	0.316	15.740
1.000	0.080	1.000	21.000
		0.000	21.000



MZS\_MARCHE\_1\_GWtutti\_GMtutti\_GCtutti\_GPtutti (Rollins, 1998)

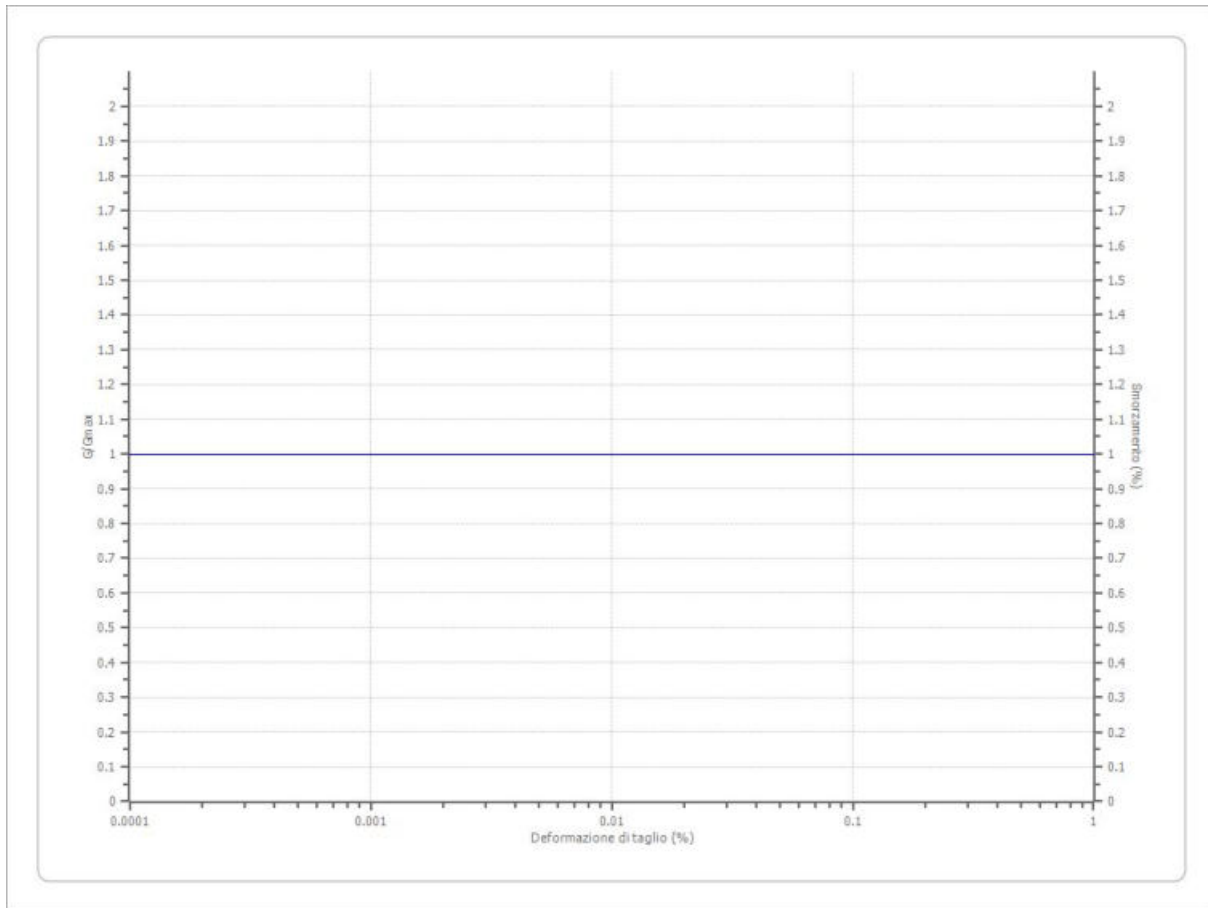
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.99602	0.0001	0.94882
0.0005	0.9805	0.0005	1.23923
0.001	0.96196	0.001	1.49807
0.002	0.92747	0.002	1.90513
0.005	0.84095	0.005	2.80479
0.010	0.73591	0.010	3.89377
0.020	0.60519	0.020	5.45354
0.030	0.52612	0.030	6.60547
0.040	0.47204	0.040	7.52275
0.050	0.43174	0.050	8.28232
0.075	0.36144	0.075	9.73687
0.100	0.3125	0.100	10.7935
0.200	0.19841	0.200	13.22901
0.500	0.09091	0.500	15.7585
0.750	0.0625	0.750	16.55541
1.000	0.04762	1.000	17.00874





MZS\_MARCHE\_1\_SUBSTRATO ALTERATO ( $V_s < 800$  m/s)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.000
0.000316	1.000	0.000316	1.000
0.001	1.000	0.001	1.000
0.00316	1.000	0.00316	1.000
0.010	1.000	0.010	1.000
0.0316	1.000	0.0316	1.000
0.100	1.000	0.100	1.000
0.316	1.000	0.316	1.000
1.000	1.000	1.000	1.000



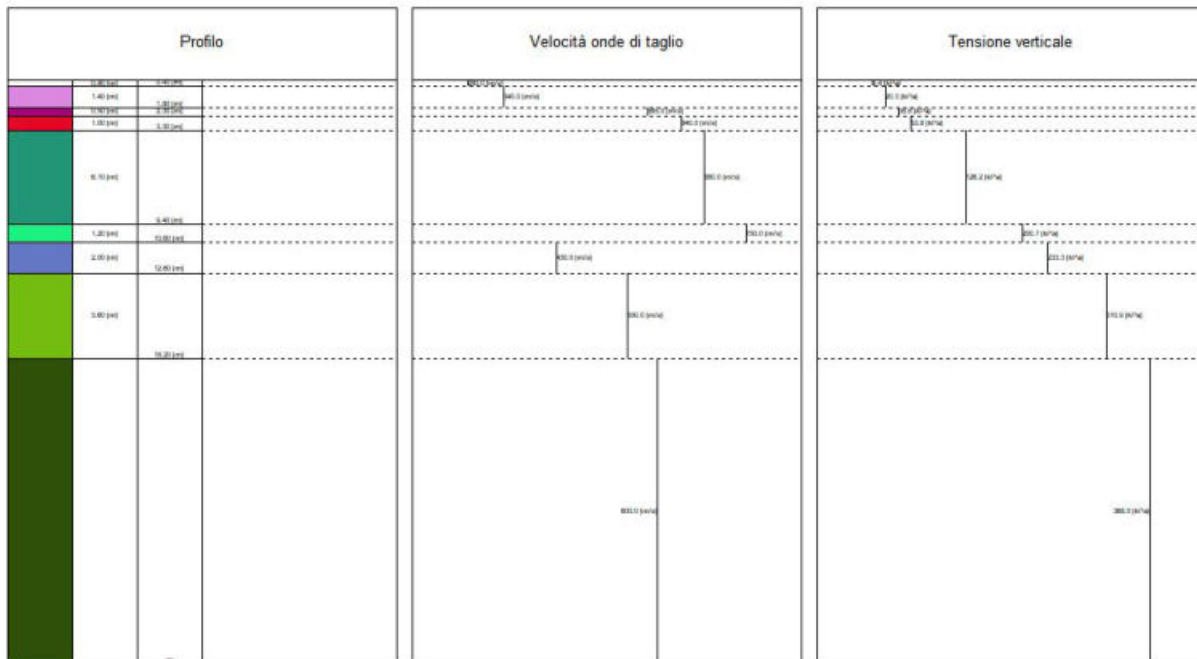
### Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	0.4	M Z S _ MARC HE_1_ SWtutti _SM_tu tti_SCu tti_SPtutti	0	135.06	--	16.9	280.0	3.4
2		0.4	1.4	M Z S _ MARC HE_1_ SWtutti _SM_tu tti_SCu tti_SPtutti	0	228.61	--	19.4	340.0	20.3
3		1.8	0.5	M Z S _ MARC	0	676.78	--	19.4	585.0	38.8

				HE_1_ SWtutti _SM_tu tti_SCtu tti_SPtu tti						
4		2.3	1.0	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti _GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)	0	851.77	--	20.4	640.0	53.8
5		3.3	6.1	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti _GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)	0	961.57	--	20.4	680.0	126.2
6		9.4	1.2	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti _GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)	0	1169.73	--	20.4	750.0	200.7
7		10.6	2.0	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti _GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)	0	384.50	--	20.4	430.0	233.3
8		12.6	5.6	M Z S _ MARC HE_1_ GWtutti	0	629.05	--	20.4	550.0	310.9

				GMtut ti_GCtu tti_GPt u t t i (Rollins , 1998)						
9		oo	--	M Z S _ M A R C H E _ 1 _ S U B S T R A T O A L T E R A T O (Vs < 8 0 0 m/s)	0	770.64	--	21.0	600.0	368.0

Strato rilevamento accelerogramma: 9 Affiorante



### Elaborazione

Numero di iterazioni 50  
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.6  
 Tipo di modulo elastico Shake  
 Massimo errore percentuale di convergenza 1.86 E-05

### Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.190 [s]
Tvi	0.660 [s]
Tao	0.190 [s]
Tvo	0.660 [s]
Sami	5.385 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.318 [m/s]
Samo	5.905 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.329 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.097 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.034 [-]</b>
TB	0.117 [s]
TC	0.350 [s]
TD	2.500 [s]
SA(0)	0.225 [g]
SA(TB)	0.602 [g]

### Fattori di amplificazione su intensità spettrale

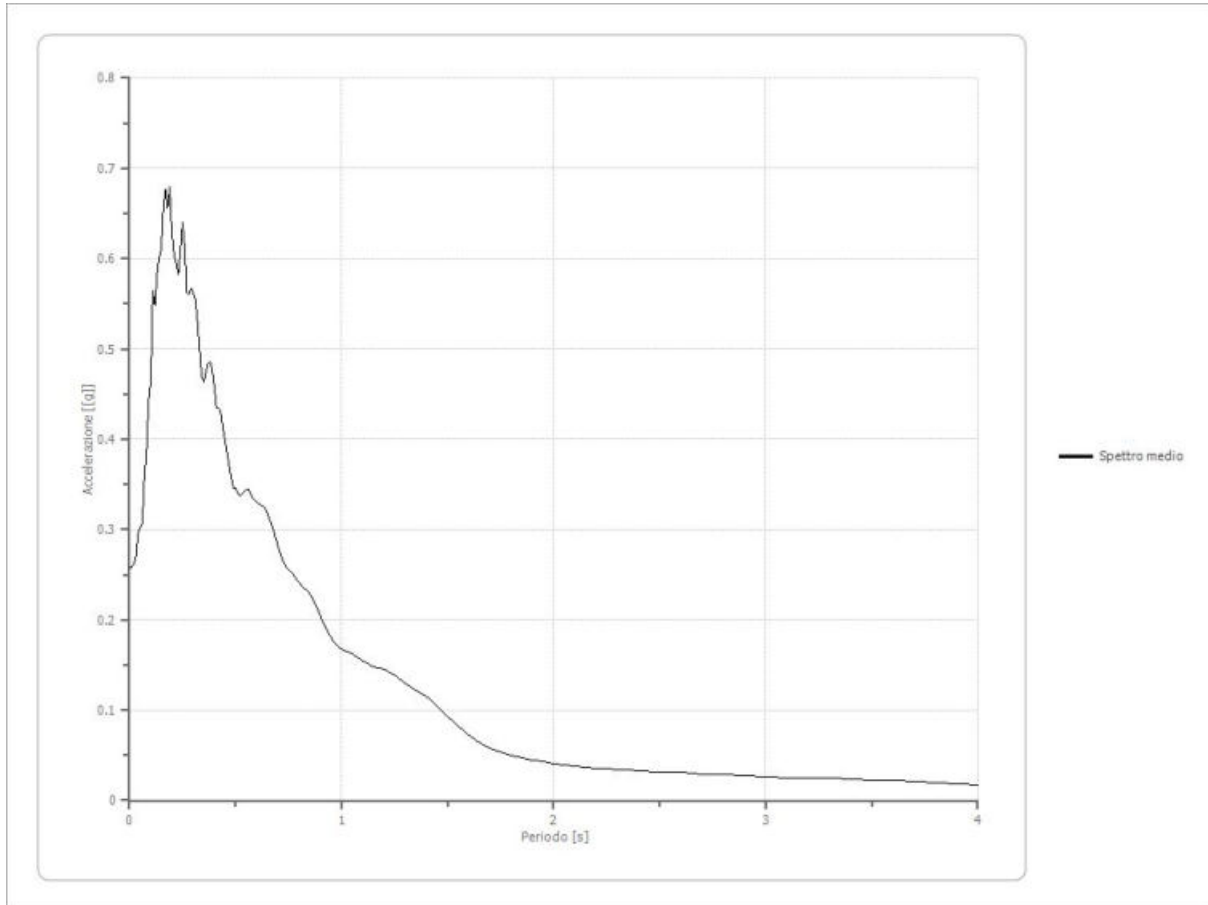
Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
--------------------	---------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------------	----

### Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2574	0.26	0.6149	0.52	0.3374	0.98	0.1716	2.25	0.0347
0.01	0.2574	0.27	0.5628	0.53	0.3385	1.00	0.1678	2.30	0.0341
0.02	0.2615	0.28	0.5599	0.54	0.3422	1.05	0.1622	2.35	0.0336
0.03	0.2703	0.29	0.5663	0.55	0.3441	1.10	0.1548	2.40	0.0331
0.04	0.2950	0.30	0.5629	0.56	0.3438	1.15	0.1484	2.50	0.0320
0.05	0.3031	0.31	0.5549	0.57	0.3401	1.20	0.1448	2.60	0.0309
0.06	0.3059	0.32	0.5320	0.58	0.3349	1.25	0.1387	2.70	0.0294
0.07	0.3580	0.33	0.5018	0.60	0.3296	1.30	0.1296	2.80	0.0285
0.08	0.3858	0.34	0.4703	0.62	0.3272	1.35	0.1220	2.90	0.0276
0.09	0.4429	0.35	0.4635	0.64	0.3237	1.40	0.1152	3.00	0.0265
0.10	0.4630	0.36	0.4737	0.66	0.3117	1.45	0.1049	3.10	0.0254
0.11	0.5642	0.37	0.4829	0.68	0.2982	1.50	0.0926	3.20	0.0246
0.12	0.5493	0.38	0.4854	0.70	0.2821	1.55	0.0821	3.30	0.0244
0.13	0.5834	0.39	0.4767	0.72	0.2671	1.60	0.0724	3.40	0.0238
0.14	0.6004	0.40	0.4585	0.74	0.2579	1.65	0.0644	3.50	0.0229
0.15	0.6098	0.41	0.4341	0.76	0.2536	1.70	0.0579	3.60	0.0218
0.16	0.6591	0.42	0.4346	0.78	0.2470	1.75	0.0533	3.70	0.0208
0.17	0.6766	0.43	0.4312	0.80	0.2413	1.80	0.0496	3.80	0.0197
0.18	0.6557	0.44	0.4139	0.82	0.2361	1.85	0.0467	3.90	0.0185
0.19	0.6795	0.45	0.3975	0.84	0.2315	1.90	0.0445	4.00	0.0172



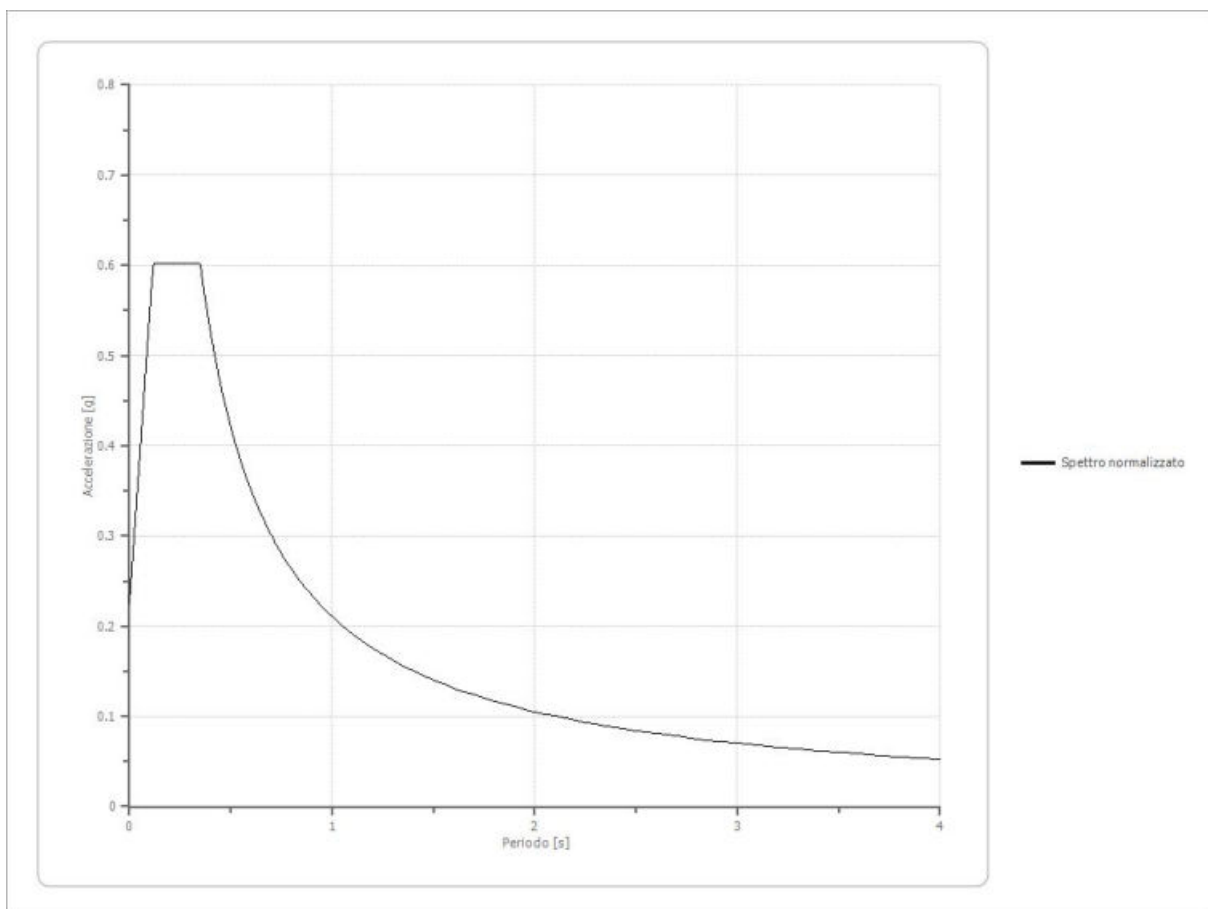
0.20	0.6285	0.46	0.3852	0.86	0.2249	1.95	0.0429		
0.21	0.6053	0.47	0.3709	0.88	0.2157	2.00	0.0412		
0.22	0.5952	0.48	0.3581	0.90	0.2045	2.05	0.0393		
0.23	0.5831	0.49	0.3461	0.92	0.1936	2.10	0.0374		
0.24	0.6079	0.50	0.3451	0.94	0.1843	2.15	0.0363		
0.25	0.6408	0.51	0.3404	0.96	0.1768	2.20	0.0354		



### Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2251	0.26	0.6020	0.52	0.4047	0.98	0.2147	2.25	0.0935
0.01	0.2574	0.27	0.6020	0.53	0.3970	1.00	0.2104	2.30	0.0915
0.02	0.2898	0.28	0.6020	0.54	0.3897	1.05	0.2004	2.35	0.0895
0.03	0.3221	0.29	0.6020	0.55	0.3826	1.10	0.1913	2.40	0.0877
0.04	0.3544	0.30	0.6020	0.56	0.3758	1.15	0.1830	2.50	0.0842
0.05	0.3868	0.31	0.6020	0.57	0.3692	1.20	0.1754	2.60	0.0809
0.06	0.4191	0.32	0.6020	0.58	0.3628	1.25	0.1683	2.70	0.0779
0.07	0.4515	0.33	0.6020	0.60	0.3507	1.30	0.1619	2.80	0.0752
0.08	0.4838	0.34	0.6020	0.62	0.3394	1.35	0.1559	2.90	0.0726
0.09	0.5162	0.35	0.6012	0.64	0.3288	1.40	0.1503	3.00	0.0701
0.10	0.5485	0.36	0.5845	0.66	0.3188	1.45	0.1451	3.10	0.0679
0.11	0.5809	0.37	0.5687	0.68	0.3094	1.50	0.1403	3.20	0.0658
0.12	0.6020	0.38	0.5537	0.70	0.3006	1.55	0.1358	3.30	0.0638

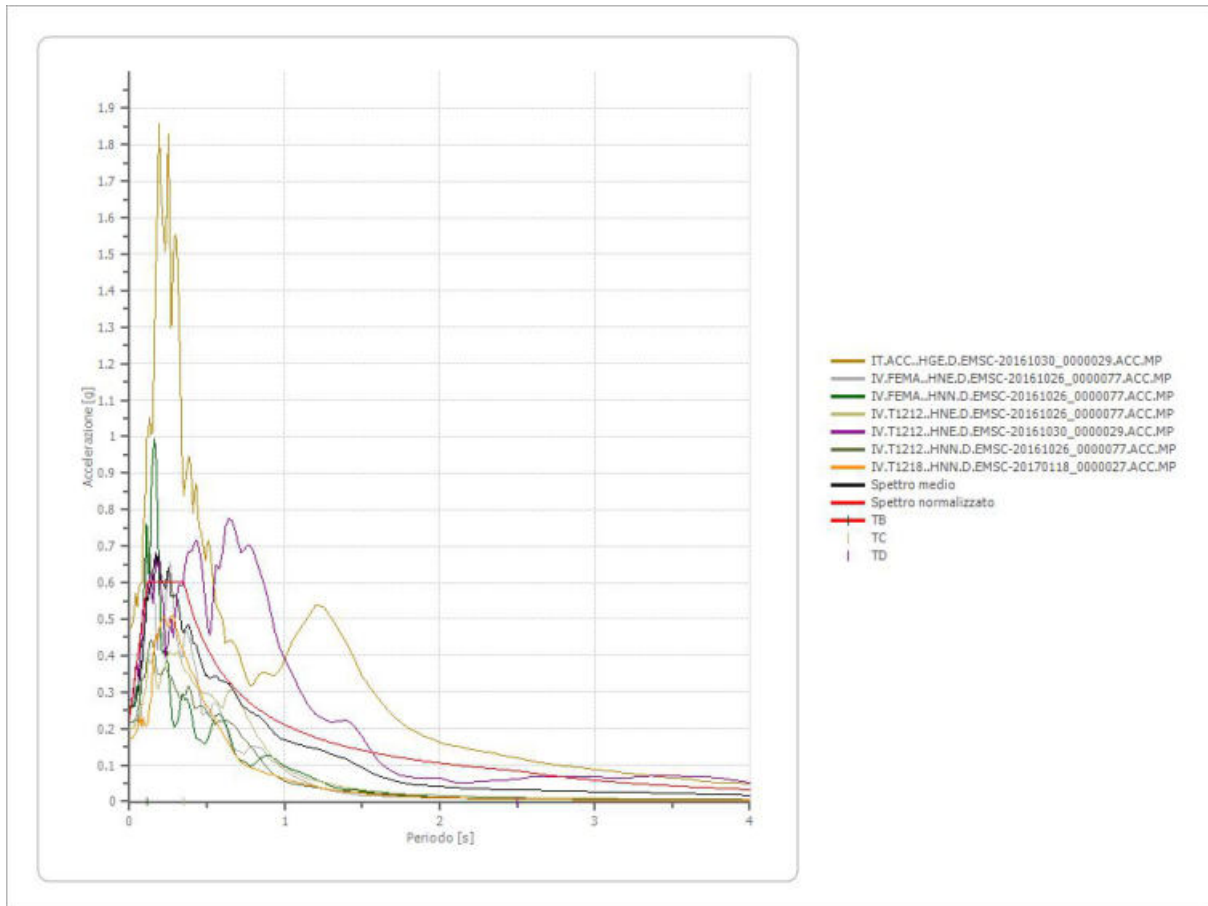
0.13	0.6020	0.39	0.5395	0.72	0.2923	1.60	0.1315	3.40	0.0619
0.14	0.6020	0.40	0.5261	0.74	0.2844	1.65	0.1275	3.50	0.0601
0.15	0.6020	0.41	0.5132	0.76	0.2769	1.70	0.1238	3.60	0.0585
0.16	0.6020	0.42	0.5010	0.78	0.2698	1.75	0.1202	3.70	0.0569
0.17	0.6020	0.43	0.4894	0.80	0.2630	1.80	0.1169	3.80	0.0554
0.18	0.6020	0.44	0.4782	0.82	0.2566	1.85	0.1137	3.90	0.0540
0.19	0.6020	0.45	0.4676	0.84	0.2505	1.90	0.1107	4.00	0.0526
0.20	0.6020	0.46	0.4574	0.86	0.2447	1.95	0.1079		
0.21	0.6020	0.47	0.4477	0.88	0.2391	2.00	0.1052		
0.22	0.6020	0.48	0.4384	0.90	0.2338	2.05	0.1026		
0.23	0.6020	0.49	0.4294	0.92	0.2287	2.10	0.1002		
0.24	0.6020	0.50	0.4208	0.94	0.2239	2.15	0.0979		
0.25	0.6020	0.51	0.4126	0.96	0.2192	2.20	0.0956		



### Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.225	2.674495	--	0.117	0.350	2.500	0.225	0.602	1.042

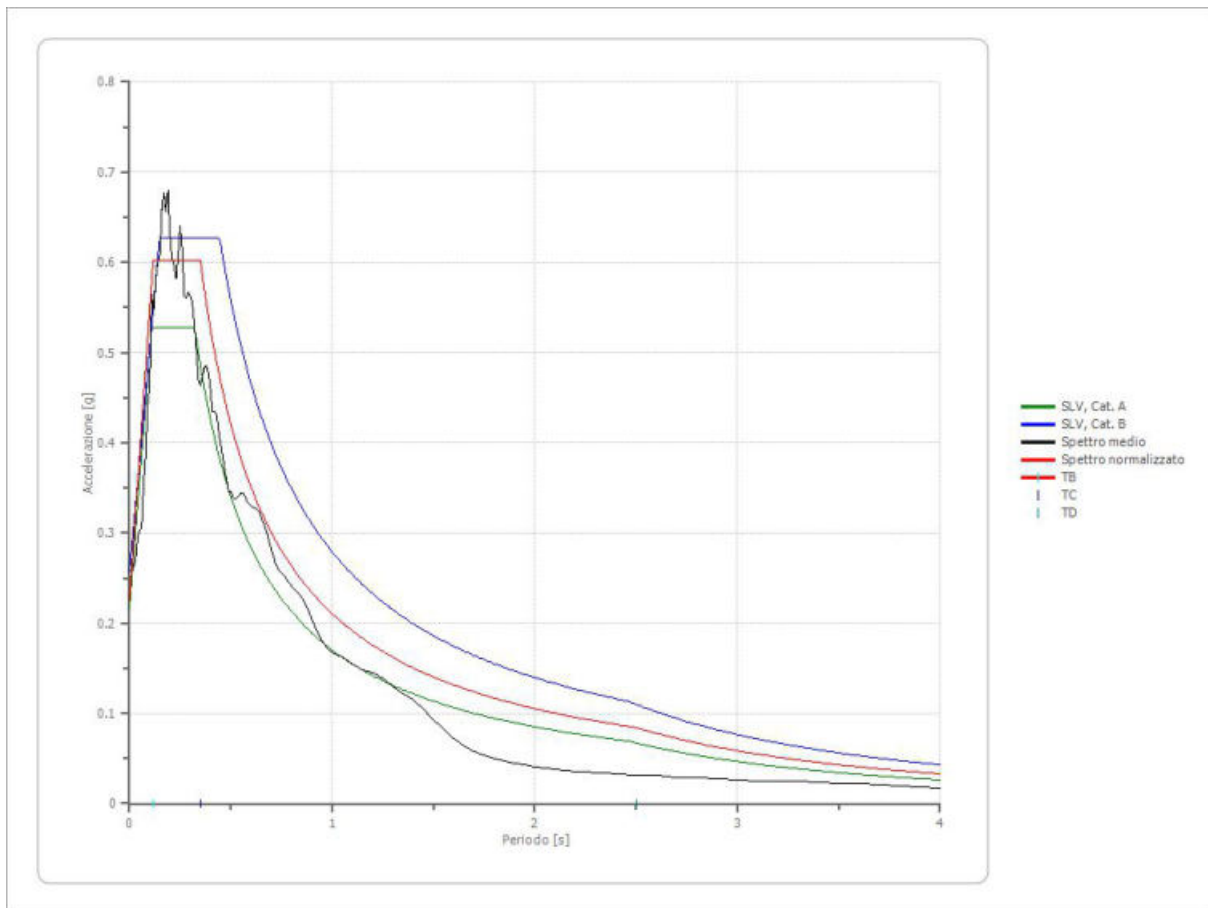
### Confronto tra gli spettri



### Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

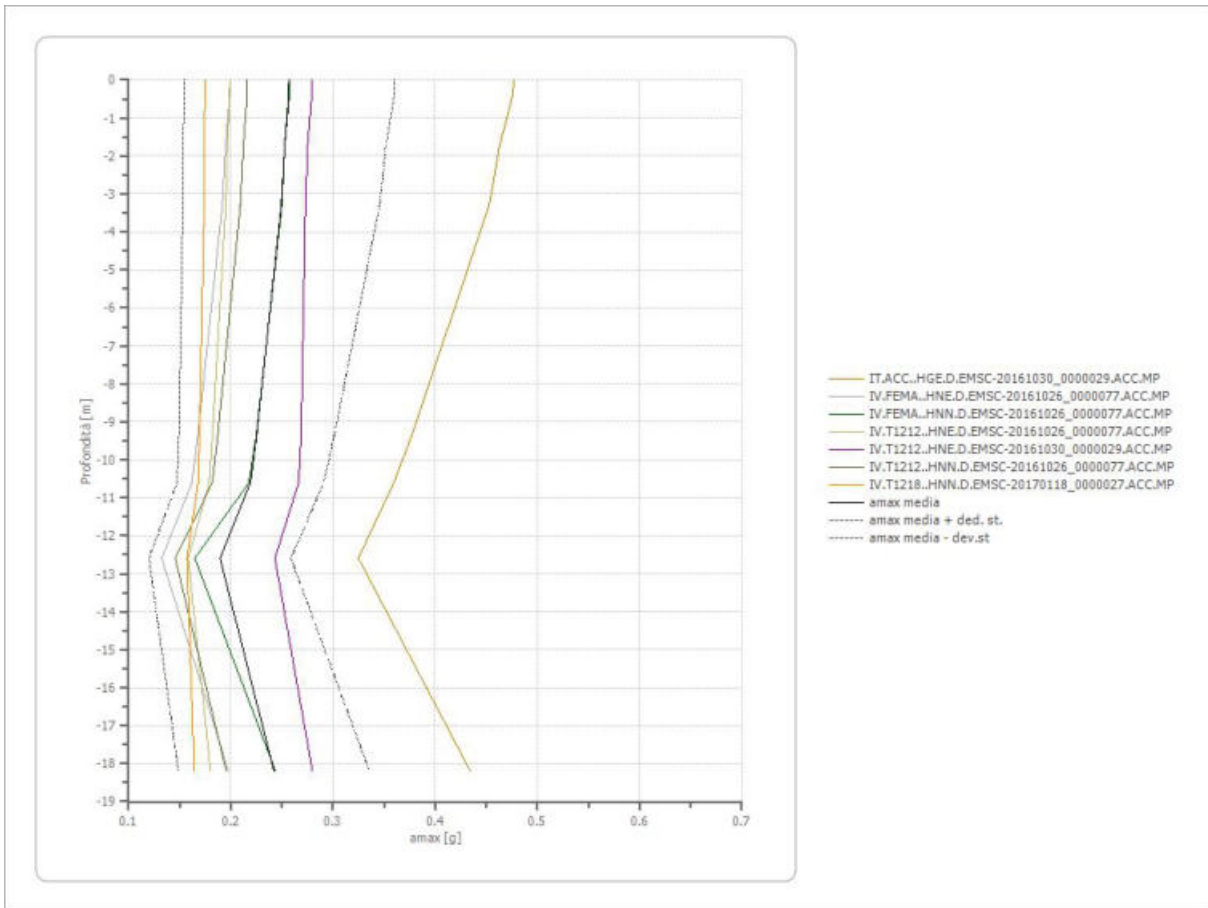
	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia di vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia di vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.070	0.089	0.216	0.276	0.070	0.089	0.216	0.276
Fo	2.416	2.407	2.44	2.465	2.416	2.407	2.44	2.465
Tc* [s]	0.274	0.285	0.323	0.335	0.274	0.285	0.323	0.335
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.19	1.13
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.43	1.41	1.38	1.37
TB [s]	0.091	0.095	0.108	0.112	0.130	0.134	0.148	0.153
TC [s]	0.274	0.285	0.323	0.335	0.390	0.403	0.445	0.459
TD [s]	1.880	1.956	2.464	2.704	1.880	1.956	2.464	2.704
Se(0) [g]	0.070	0.089	0.216	0.276	0.084	0.107	0.257	0.311
Se(TB) [g]	0.169	0.214	0.527	0.680	0.203	0.257	0.627	0.767



### Profilo a max

	0.0 [m]	0.4 [m]	1.8 [m]	2.3 [m]	3.3 [m]	9.4 [m]	10.6 [m]	12.6 [m]	18.2 [m]
IT.ACC. .HGE.D. EMSC-2 0161030 _000002 9.ACC. MP [g]	0.477	0.476	0.462	0.459	0.453	0.377	0.359	0.325	0.434
IV.FEM A..HNE. D.EMSC -201610 26_0000 077.AC C.MP [g]	0.199	0.199	0.195	0.194	0.192	0.168	0.162	0.132	0.198
IV.FEM A..HNN. D.EMSC -201610 26_0000 077.AC	0.257	0.256	0.252	0.252	0.250	0.225	0.218	0.165	0.244

C.MP [g]									
IV.T121 2..HNE. D.EMSC -201610 26_0000 077.AC C.MP [g]	0.199	0.199	0.197	0.196	0.195	0.182	0.179	0.158	0.180
IV.T121 2..HNE. D.EMSC -201610 30_0000 029.AC C.MP [g]	0.280	0.279	0.275	0.274	0.273	0.269	0.266	0.243	0.280
IV.T121 2..HNN. D.EMSC -201610 26_0000 077.AC C.MP [g]	0.216	0.216	0.212	0.211	0.209	0.187	0.182	0.146	0.195
IV.T121 8..HNN. D.EMSC -201701 18_0000 027.AC C.MP [g]	0.175	0.175	0.174	0.174	0.174	0.169	0.168	0.157	0.164
media [g]	0.257	0.257	0.252	0.251	0.249	0.225	0.219	0.189	0.242
Dev. St. [g]	0.103	0.103	0.099	0.098	0.096	0.076	0.072	0.070	0.093

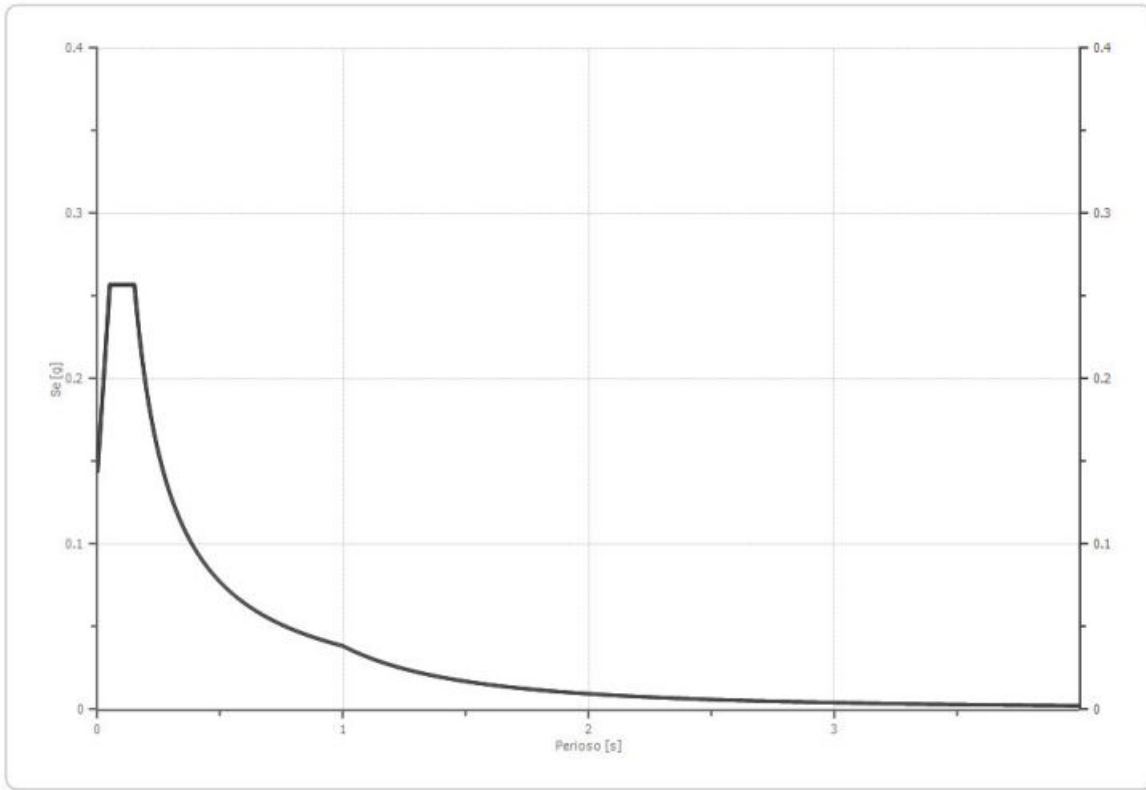


### Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.225	2.674	0.150	1.713	1.5	0.050	0.150	1.000	0.144	0.257



Spettro verticale di progetto



## Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
MZS_MARCHE_1_SWtutti_SM_tutti_SCtutti_SPtutti	.7
MZS_MARCHE_1_GWtutti_GMtutti_GCtutti_GPtutti (Rollins, 1998)	.8
MZS_MARCHE_1_SUBSTRATO ALTERATO ( $V_s < 800$ m/s)	.9
Stratigrafia	.10
Elaborazione	.12
Fattori di amplificazione ICMS 2018	.13
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.13
Spettro medio di risposta elastico	.13
Spettro normalizzato di risposta elastico	.14
Confronto tra gli spettri	.15
Confronto spettro normativa	.16
Profilo a max	.17
Spettro verticale di progetto	.19
Indice	.21