

**COMUNE DI FANO ADRIANO**  
**PROVINCIA DI TERAMO**

**Committente: COMUNE DI FANO ADRIANO**

***LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA MASSI ZONA  
RAPPRESENTAZIONE PRESEPE VIVENTE IN FRAZIONE CERQUETO  
II LOTTO STRALCIO  
CUP: H53H19000560001 – CIG: 8532693902***

**RELAZIONE GEOLOGICA**

*La presente si compone di n. 37 pagine, comprensive di frontespizio e allegati*

OTTOBRE 2021



Dott. Geol. Giuliano Ruoppolo  
Via Montauti, 41 – 64100 TE; cell: 3494427809  
email: giuliano.ruoppolo@gmail.com

## INDICE

1. PREMESSA E INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	3
2. GEOLOGIA DELL'AREA .....	5
3. IDROGEOLOGIA DELL'AREA .....	8
4. GEOMORFOLOGIA DELL'AREA E ANALISI DEI DISSESTI.....	9
5. INDAGINI IN SITO.....	14
5.1 Rilievo Geomeccanico.....	14
5.2 Indagine sismica MASW .....	15
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	16
7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	20
7.1 Pericolosità Sismica.....	20
7.2 Categoria di Sottosuolo .....	20
7.3 Amplificazione Topografica.....	21
7.4 Coefficienti Sismici .....	21
7.5 Microzonazione Sismica.....	22
7.6 Effetti di Sito.....	22
8. CONCLUSIONI .....	24

## ALLEGATI

- CARTE TOPOGRAFICHE	
- CARTA GEOLOGICA 1:50.000	
- CARTA GEOLOGICA 1:5.000	
- SEZIONE GEOLOGICA	
- CARTA GEOMORFOLOGICA E DELLA PERICOLOSITA' DA FRANA	
- CARTA MOPS	
- PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI	24
- REPORT INDAGINE SISMICA MASW	25

## 1. PREMESSA E INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il presente studio è stato commissionato dal Comune di Fano Adriano con Determina di Affidamento del 21/02/2021 ed è inerente il II Lotto della progettazione dei lavori di messa in sicurezza di un versante interessato da caduta di massi.

Il versante in esame è ubicato in località Cerqueto, nell'area in cui si svolge la rappresentazione del presepe vivente e le sue condizioni di precarietà, evidenziate dall'avvenuto crollo di frammenti rocciosi nell'area della raffigurazione sacra, hanno reso indispensabile la progettazione di un intervento di consolidamento atto alla salvaguardia del patrimonio socio-culturale del sito e dell'incolumità delle persone che ne usufruiscono.

Tale intervento, sin qui costituito dalla realizzazione di una barriera paramassi nella parte superiore del versante, prevede essenzialmente, nella fase attuale, l'implementazione delle strutture esistenti con ulteriori opere di messa in sicurezza nella porzione inferiore.

L'incarico di che trattasi ha lo scopo di illustrare le principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'areale interessato dalle lavorazioni, onde fornire al progettista dell'intervento un sufficientemente accurato modello geologico, geotecnico e sismico delle litologie interessate.

Per portare a termine tale studio in ottemperanza con le normative vigenti ci si è avvalsi di:

- un rilevamento geologico-geomorfologico di superficie;
- rilievi geomeccanici di dettaglio;
- informazioni ricavabili dalla letteratura geologica della zona e da studi effettuati da altri professionisti sulle medesime aree.

Per l'elaborazione della presente relazione geologica si è fatto principalmente riferimento alle seguenti norme:

- A.G.I. (1977) – Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- D.M. n. 47 del 11 marzo 1988 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate ...”.
- Testo unitario sulle Norme Tecniche per le Costruzioni DM 2018.
- Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti del 02/02/2009 n°617.

- ASG Associazione Società di Geofisica - Linee Guida per indagini geofisiche.

L'areale di progetto è inserito all'interno del Quadrante 140-IV della Carta Topografica Regionale in scala 1:25.000 e, nella CTR in scala 1:5.000, alla tavola n. 349071, come da stralci planimetrici riportati in allegato.

Le coordinate geografiche del sito di progetto sono, invece, 42.549220 - 13.566858 nel sistema WGS84 e 42.550187 - 13.567769 in formato ED50.



## 2. GEOLOGIA DELL'AREA

Dal punto di vista geologico, le litologie che compongono l'ossatura del versante in esame appartengono alla formazione conosciuta nella letteratura geologica come “Marne con Cerrognà”, databile al Messiniano med.-sup. (vedasi carte geologiche riportate in allegato).

La formazione è ben visibile in affioramento ed è costituita, in linea di massima, da alternanze di calcari marnosi e marne calcaree con intercalazioni di calcareniti di natura torbidity.



Foto 1: affioramento substrato

Lo spessore degli strati è estremamente variabile, essenzialmente in funzione della litologia predominante: la componente marnoso-calcareo, infatti, è caratterizzata da strati di spessore centimetrico o decimetrico (tendenzialmente decrescente all'aumentare della frazione terrigena) mentre le calcareniti tendono a formare strati ben più spessi, fino a banchi di spessore metrico.



Foto 2-3: stratificazione substrato





L'assetto strutturale locale prevede, a larga scala, una direzione degli strati circa NE-SW, con immersione a nord-ovest e inclinazione media di circa 10°.

Tale assetto localmente monoclinale coincide con il fianco occidentale di una struttura anticlinale regionale (anticlinale del Montagnone, ad asse N-S) nell'area della sua terminazione periclinale meridionale.

Le giaciture, tuttavia, possono variare in virtù della presenza di pieghe intraformazionali (talora slumping) e dislocazioni tettoniche variamente orientate che hanno provocato accavallamenti fino alla scala mesostrutturale.

Il forte disturbo tettonico è sintomatico dello stress patito già durante le prime fasi dell'orogenesi appenninica, trovandosi l'area di studio nella fascia antistante il fronte di accavallamento del Gran Sasso.

La tettonizzazione subita è testimoniata da un elevato grado di fratturazione, con sistemi di joints ben sviluppati, riassumibili in almeno 2 sistemi di fratture circa perpendicolari tra loro e ai giunti di strato, che scompongono l'ammasso in scaglie poligonali dalle dimensioni strettamente dipendenti dalla frequenza delle discontinuità (generalmente decimetriche).

Oltre ad esse si notano altri sistemi di fratture minori variamente orientate, alcune delle quali probabilmente dovute a fenomeni di crioclastismo.

Le fratture sono talora chiuse con riempimenti di calcite ricristallizzata, talora aperte e con evidenti tracce di ossidazione.



Foto 4 - 5: sistemi e tipologie di discontinuità

La fratturazione della formazione di base, inoltre, facilita e spinge in profondità i processi di alterazione, ossidazione e degradazione chimico-fisica operati dagli agenti atmosferici e, soprattutto, dalle acque di infiltrazione che percolano all'interno delle discontinuità dell'ammasso litoide.

L'alterazione (che avviene in sito, senza trasporto e accumulo di materiale) tende a mantenere più o meno immutate le caratteristiche granulometriche e strutturali della roccia madre ma le modifiche indotte dai processi chimico-fisici dovuti agli agenti degradanti tendono a peggiorare le sue caratteristiche geotecniche (in particolare la resistenza a compressione).

In ogni caso, l'alterazione diminuisce progressivamente all'aumentare della distanza dalla superficie, fino al passaggio, spesso di tipo graduale e di difficile posizionamento, alla formazione inalterata.

Al di sopra del substrato si impostano depositi continentali rappresentati da coltri detritiche di versante e accumuli di paleofrana.

Le prime si rinvencono principalmente in corrispondenza della base dei pendii o lungo di essi, in prossimità di bruschi cambiamenti di pendenza e sono di norma caratterizzati da forte eterogeneità compositiva e tessitura e da spessori variabili.

I secondi caratterizzano la porzione di versante su cui sorge l'abitato di Cerqueto e sono rappresentati da accumuli di frane antiche di ingenti spessori, costituiti da accumuli caotici di grossi blocchi calcarei e calcarei-marnosi (di dimensioni anche superiori al metro) in più o meno abbondante matrice sabbiosa-argillosa.

La porzione di versante oggetto di intervento è quindi caratterizzata dall'affioramento della porzione alterata del substrato marnoso-calcareo, solo localmente ricoperta da coltri detritico-colluviali di esiguo spessore.



Foto 6: coltri detritiche superficiali

### 3. IDROGEOLOGIA DELL'AREA

Dal punto di vista idrogeologico, la formazione di base costituisce il substrato impermeabile dell'area.

La natura marnosa del substrato, infatti, fa sì che predominino i processi di ruscellamento rispetto all'infiltrazione, con creazione di un reticolo idrografico gerarchizzato e spesso regolato da discontinuità tettoniche o stratigrafiche.

L'idrografia superficiale è rappresentata da fossi secondari tributari di destra del Rio San Giacomo, a sua volta affluente di destra del fiume Vomano, nel cui reticolo idrografico è inserito il sito di progetto.

La presenza di acqua all'interno del substrato può avvenire solo in coincidenza di livelli caratterizzati da una rilevante presenza di discontinuità strutturali interconnesse che causano alti valori di porosità secondaria in un mezzo altrimenti impermeabile per porosità primaria (legata ai vuoti tra i granuli).

In tal caso si creerebbero piccole falde sospese, eventualmente sostenute da livelli meno permeabili o meno fratturati, che darebbero luogo a modeste sorgenti di contatto con forte escursione e a regime stagionale.

Più probabile è la creazione di accumuli idrici all'interno dei corpi di frana più estesi ma discontinui e mal distribuiti a causa della forte caoticità di tali depositi.

Ad ogni modo, lungo il pendio in oggetto, l'assenza di depositi detritici di spessore significativo esclude la possibilità di creazione di una falda idrica superficiale; inoltre, durante l'esecuzione dei rilievi non è stata riscontrata la presenza di risorgive lungo il versante.

#### 4. GEOMORFOLOGIA DELL'AREA E ANALISI DEI DISSESTI

L'area di studio comprende una porzione del versante orientale di Colle Pelato, posto in destra idrografica rispetto al fiume Vomano.

Il versante, nell'area di interesse, è solcato da un fosso (senza nome) a carattere torrentizio che forma un impluvio direzionato da ovest a est, che sfocia nel Rio San Giacomo, affluente di destra del F. Vomano.

La portata del fosso è soggetta a forti escursioni, con periodi di piena nel corso dei quali il ruscello compie un'azione erosiva lineare che causa il continuo approfondimento dell'alveo.

La porzione di pendio in analisi, in particolare, è circa compresa tra l'incisione torrentizia appena citata (720 m s.l.m.) e la località Le Piane, ad una quota di circa 900 m.

Il versante immerge globalmente verso ovest ma, nel tratto di interesse, a causa dell'erosione operata da torrente sottostante, risulta esposto verso sud-ovest.

Esso presenta una pendenza media di 35° - 40° con settori ad inclinazione maggiore di 50° nella porzione più bassa del pendio e in quella più alta, nonché tratti di scarpate sub-verticali come quella che borda superiormente il tratto di versante in analisi.

L'elevata acclività generale del versante è dovuta all'assetto strutturale dei litotipi che ne costituiscono l'ossatura.

La stratificazione del substrato (immergente verso NW con un'inclinazione media di circa 10°) presenta, nel complesso, una disposizione a traversopoggio tendente al franapoggio meno inclinato del pendio (stratificazioni immergenti nella stessa direzione del pendio).

Le differenti acclività sono dovute alla litologia e all'assetto strutturale dei litotipi che costituiscono l'ossatura del versante: in generale si hanno le minori pendenze laddove predominano le rocce marnose e le maggiori in corrispondenza degli intervalli calcareo-marnosi o calcarenitici.

La disposizione tendente al franapoggio della formazione di base favorisce l'insorgere di fenomeni gravitativi causati dall'azione erosiva degli agenti esogeni e delle acque di ruscellamento, che favorisce il distacco di porzioni delle testate degli strati rocciosi lungo pre-esistenti discontinuità (fratture tettoniche, giunti di stratificazione) e il conseguente rotolamento verso valle di materiale detritico o di intere porzioni di substrato.

L'accumulo di materiale alla base e lungo i versanti può portare nel tempo alla formazione di depositi detritici anche di notevole spessore, talora soggetti a scivolamento con cinematiche di

natura traslativa e/o rotazionale e a fenomeni di colamento, come quelli cartografati nel settore di versante a valle del del sito di progetto (vedasi stralcio della *Carta Geomorfologica* del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico - PAI - foglio 349E, visibile in allegato).

Di seguito si riporta un ingrandimento della suddetta cartografia in scala 1:5.000.



	STATO DI ATTIVITA'		
	ATTIVO	QUIESCENTE	NON ATTIVO
Corpo di frana di scorrimento			
(A) Traslativo			
(B) Rotazionale			
Piccola frana o gruppo di piccole frane non classificate			
Orlo di scarpata di degradazione e/o di frana			
Orlo di scarpata con influenza strutturale			
Alveo con tendenza all'approfondimento			



A sud del tratto di versante da analizzare, separato da esso dal fosso sottostante, è presente un esteso corpo di frana, antico ed inattivo (paleofrana) ma dal nucleo parzialmente quiescente, che caratterizza la porzione di versante su cui sorge l'abitato di Cerqueto.

Trattasi di una frana complessa probabilmente associabile a una deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV) che può arrivare ad interessare il substrato marnoso-calcareo.

Tale fenomeno non sembra attualmente coinvolgere il settore di versante oggetto d'intervento; quest'ultimo, al contrario, avendo un'elevata energia di rilievo ed essendo costituito da affioramenti rocciosi soggetti all'azione della degradazione meteorica e dell'erosione, è interessato principalmente da fenomeni di crollo di materiale detritico e massi di dimensioni eterogenee.

Lungo il tratto di pendio analizzato, infatti, è molto frequente la presenza di massi calcarei di dimensioni anche metriche, di forma poliedrica e dagli spigoli poco smussati, sintomo di un trasporto relativamente breve.

L'area di maggiore alimentazione sembra essere la scarpata rocciosa presente a monte del settore da consolidare, dalla quale probabilmente provengono i blocchi più grandi e/o quelli maggiormente degradati.

I livelli più sottili (generalmente associabili, invece, si frantumano in scaglie appiattite di dimensioni centimetriche che ricoprono diffusamente la superficie del pendio.

In generale, i principali fenomeni di instabilità che riguardano il settore di versante analizzato sono rappresentati dall'affioramento di fronti rocciosi dotati di elevata energia di rilievo e di forte esposizione alla degradazione meteorica, facilmente passibili di disgregazione di porzioni più o meno grandi in relazione allo spessore del livello litoide e alla frequenza delle discontinuità.

Tale fenomeno è particolarmente evidente lungo tutta la scarpata strutturale che borda superiormente il tratto di versante in analisi.

Parallelamente, i massi erratici presenti diffusamente lungo il versante sono passibili di scivolamento e/o rotolamento, coadiuvati dall'azione di erosione basale operata dalle acque di ruscellamento superficiale sui terreni di appoggio dei blocchi rocciosi.

Allo stato attuale i maggiori elementi di pericolosità sono rappresentati dal precario equilibrio di alcune porzioni di roccia in affioramento e dallo scivolamento o rotolamento di massi presenti lungo il pendio, nonché dal dilavamento da parte delle acque di ruscellamento dei frammenti detritici minuti presenti lungo il pendio.

I fenomeni appena descritti possono coinvolgere l'area della rappresentazione del Presepe Vivente, mettendo a rischio l'integrità del patrimonio socio-culturale del sito e l'incolumità delle persone che ne usufruiscono.

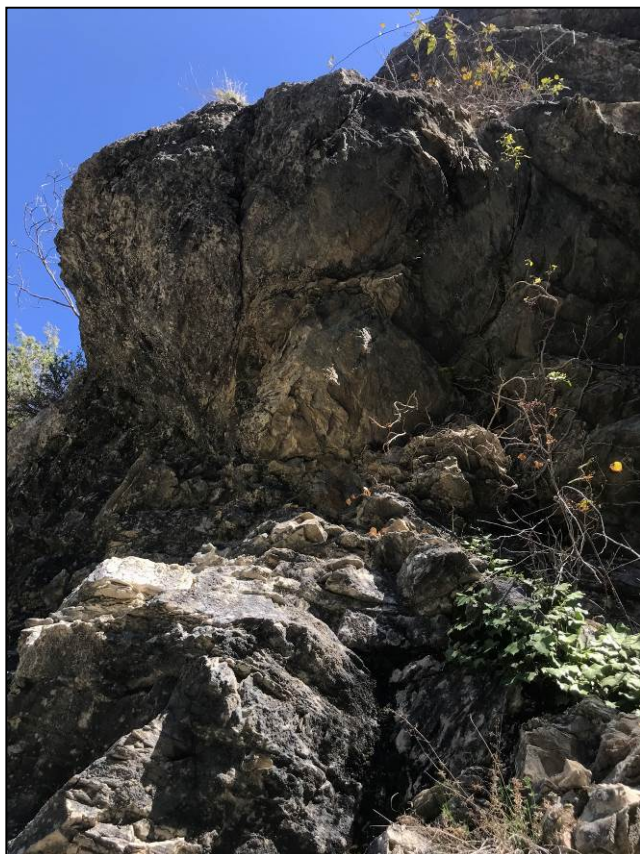


Foto 7-8-9: esempi di porzioni rocciose in affioramento passibili di distacco







Foto 10-11-12: esempi di massi instabili presenti lungo il pendio



Foto 13: coltri detritiche passibili di dilavamento



## 5. INDAGINI IN SITO

Le indagini eseguite hanno avuto lo scopo di caratterizzare i litotipi presenti dal punto di vista geologico, geotecnico e sismico.

La tipologia delle indagini effettuate è stata determinata essenzialmente dalla logistica dei luoghi e dalle litologie presenti.

In particolare è stato eseguito un rilevamento geologico e geomorfologico di superficie, un rilievo geomeccanico sui principali affioramenti visibili e una prospezione sismica con metodologia MASW.

### 5.1 Rilievo Geomeccanico

Il rilievo eseguito è consistito in un'analisi qualitativa sulle condizioni dell'ammasso roccioso e delle discontinuità, sulla geometria e spaziatura delle fratture presenti, sul grado di alterazione della roccia, ecc.

Inoltre, è stata effettuata una valutazione sperimentale della Resistenza a Compressione Uniassiale ( $\sigma_{ci}$ ) della roccia mediante test con sclerometro tipo "L" (o martello di Schmidt).



Secondo le raccomandazioni ISRM (1978) la determinazione è stata effettuata almeno 20 volte, spostando lo sclerometro di almeno 2 cm ogni volta e previa riduzione della scabrosità tramite apposita pietra porosa.

Dai valori sperimentali è possibile ricavare il valore dell'Indice di Rimbalzo R, dal quale risalire per la stima della  $\sigma_{ci}$ .

## 5.2 Indagine sismica MASW

L'indagine geofisica eseguita ha avuto lo scopo di accertare le caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione ed in particolare la velocità delle onde di taglio ( $v_s$ ) dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo del sito in esame.

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $v_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi :

- trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza  $f$  – numero d'onda  $K$ ;
- individuazione delle coppie  $f$ - $k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano  $V_{\text{fase}}$  (m/sec) – frequenza (Hz);
- calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente, alcuni dei parametri degli strati che costituiscono il modello del suolo;
- modifica della curva teorica fino al raggiungimento di una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

In allegato sono riportati ulteriori particolari circa la strumentazione impiegata, nonché le elaborazioni effettuate a partire dai risultati dell'indagine.

## 6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso è stata stimata a partire dai risultati del rilievo geomeccanico eseguito.







Il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso è condizionato dall'insieme discontinuità-matrice e può essere assunto isotropo, anche in ragione della ridotta spaziatura tra le fratture e del numero delle stesse in rapporto alle dimensioni delle strutture esistenti e di quelle in progetto.

Il modello geomeccanico adottabile è, pertanto, quello continuo-equivalente, che permette di ricavare i parametri di resistenza al taglio tramite l'involuppo a rottura stabilito con il criterio empirico di Hoek-Brown (Hoek et Al., 2002).

Tale criterio consente di fornire correlazioni tra classi di qualità degli ammassi rocciosi e relativi parametri di resistenza basandosi sulla classificazione degli ammassi rocciosi secondo la metodologia proposta da Marinatos e Hoek (2000), che prevede l'utilizzo del Geological Strength Index (G.S.I.).

L'indice GSI serve a valutare la qualità intrinseca dell'ammasso ed è basato su una descrizione qualitativa delle caratteristiche geolitologiche e strutturali della formazione e sulle condizioni delle superfici di discontinuità dell'ammasso.

A tale scopo può essere seguito lo schema proposto da Hoek e Marinos nel 2000 (vedi figura sottostante).

Rock Type:	<input type="text" value="General"/>	<b>SURFACE CONDITIONS</b>					
GSI Selection:	<input type="text" value="35"/>	<input type="button" value="OK"/>	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
<b>STRUCTURE</b>			<b>DECREASING SURFACE QUALITY →</b>				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities		90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets			60			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		35	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			40		30	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					20	
						10	
			N/A	N/A			

In considerazione dello stato di fratturazione rilevato e sulla base dell'elevato grado di alterazione delle fratture, si è scelto di attribuire un valore medio dell'indice GSI pari a 35.

La resistenza dell'ammasso può essere espressa in termini di sollecitazioni principali efficaci  $\sigma_1'$  e  $\sigma_3'$  mediante il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980), secondo la seguente formula:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left( m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a$$

in cui  $\sigma_c$  indica la resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso mentre  $m_b$ ,  $s$  ed  $a$  sono costanti che caratterizzano l'ammasso roccioso.

La resistenza alla compressione monoassiale della matrice rocciosa ( $\sigma_c$ ) è stata ottenuta attraverso alcuni test con uno sclerometro tipo 'L' sugli affioramenti rilevati e l'elaborazione dei dati ha consentito di assegnare all'ammasso roccioso un valore minimo di circa 20 Mpa.

Tale valore è caratteristico dei livelli meno competenti (marnosi) ed è ragionevolmente cautelativo se rapportato alla resistenza a compressione degli strati calcareo-marnosi o calcarenitici più spessi.

Per quanto riguarda le costanti  $m_b$ ,  $s$  ed  $a$ , Hoek, Carranza-Torres e Corkum (2002) hanno proposto le seguenti relazioni con l'indice GSI:

$$\begin{aligned} m_b &= m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right); \\ s &= \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right); \\ a &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \end{aligned}$$

in cui  $m_i$  è una costante adimensionale che caratterizza il materiale roccioso e  $D$  è un fattore variabile tra 0 e 1 che dipende dal grado di disturbo dovuto al detensionamento dell'ammasso per scavo (0 per un ammasso indisturbato, 1 per un ammasso molto disturbato).

Il valore della costante  $m_i$  è stato stimato da dati di letteratura, riferendosi alle tabelle pubblicate dallo stesso Hoek (2006), delle quali si riporta l'estratto relativo alle principali rocce sedimentarie.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates* (21 ± 3) Breccias (19 ± 5)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2 Greywackes (18 ± 3)	Claystones 4 ± 2 Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
		Organic				Chalk 7 ± 2

In considerazione della variabilità di litotipi (marnosi, calcareo-marnosi, calcarenitici) si è scelto di considerare la categoria di roccia maggiormente cautelativa (marna) e di assegnare ad essa il valore più basso del range proposto dall'Autore, ossia  $m_i = 5$ .

Per il fattore di disturbo  $D$ , invece, è stato scelto un valore di 0.7, approssimando gli affioramenti presenti a fronti di scavo con altezza <50 m (Hoek et Al., 2002).

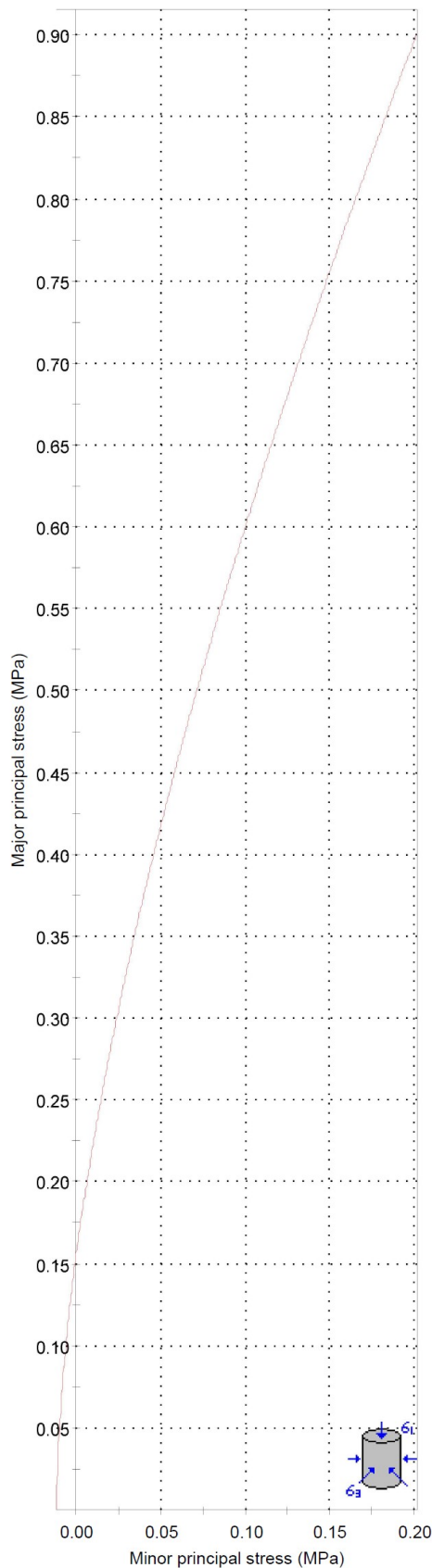
La stima del Modulo elastico o di Young ( $E_i$ ) della roccia intatta è stata determinata utilizzando l'equazione  $E_i = MR\sigma_{ci}$  (Hoek et Al., 2006), considerando un valore di  $MR$  (Modulus Ratio) pari a 150, come si desume dalla tabella proposta da Deere (1968) e di seguito riportata.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
Sedimentary	Clastic		Conglomerates 300-400 Breccias 230-350	Sandstones 200-350	Siltstones 350-400 Greywackes 350	Claystones 200-300 Shales 150-250 <sup>a</sup> Marls 150-200
	Non-clastic	Carbonates	Crystalline limestones 400-600	Sparitic limestones 600-800	Micritic Limestones 800-1000	Dolomites 350-500
		Evaporites		Gypsum (350) <sup>b</sup>	Anhydrite (350) <sup>b</sup>	
		Organic				Chalk 1000 +

Adottando come dati di input tutti i valori precedentemente specificati, con l'ausilio del software *roclab* della Rocscience Inc. è stato ricostruito il relativo inviluppo di Hoek-brown.

Inoltre, linearizzando la curva di Hoek e Brown con la procedura proposta dallo stesso Hoek (2002), sono stati determinati i parametri di resistenza relativi al più noto e diffuso criterio di resistenza di Mohr-Coulomb (coesione e angolo di attrito).

Di seguito si riassumono i parametri utilizzati per i calcoli ed i risultati ricavati dalla elaborazione.



#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 20 MPa  
 GSI = 35  $m_i$  = 5 Disturbance factor (D) = 0.7  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 3000 MPa  
 modulus ratio (MR) = 150

#### Hoek-Brown Criterion

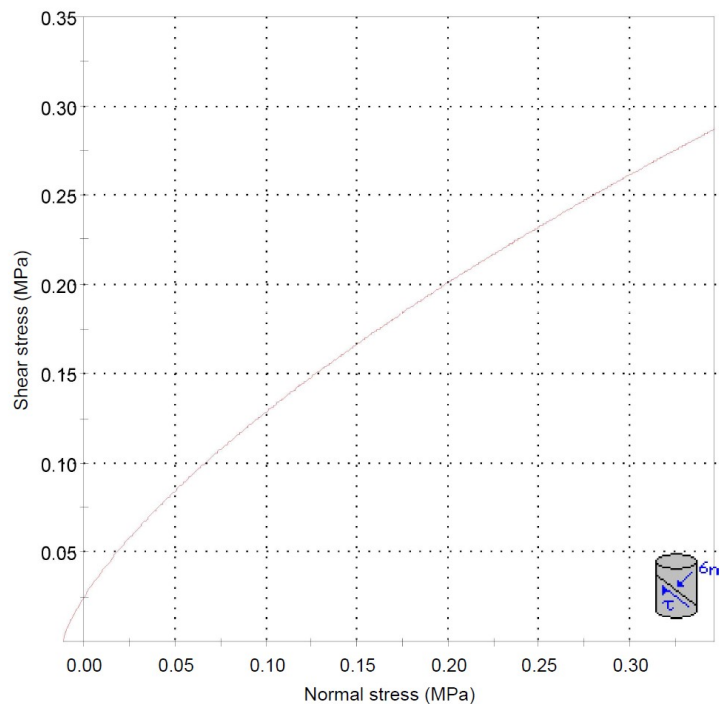
$m_b$  = 0.141  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.516

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.054 MPa friction angle = 34.77 deg

#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.012 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.155 MPa  
 global strength = 0.910 MPa  
 deformation modulus = 134.40 MPa

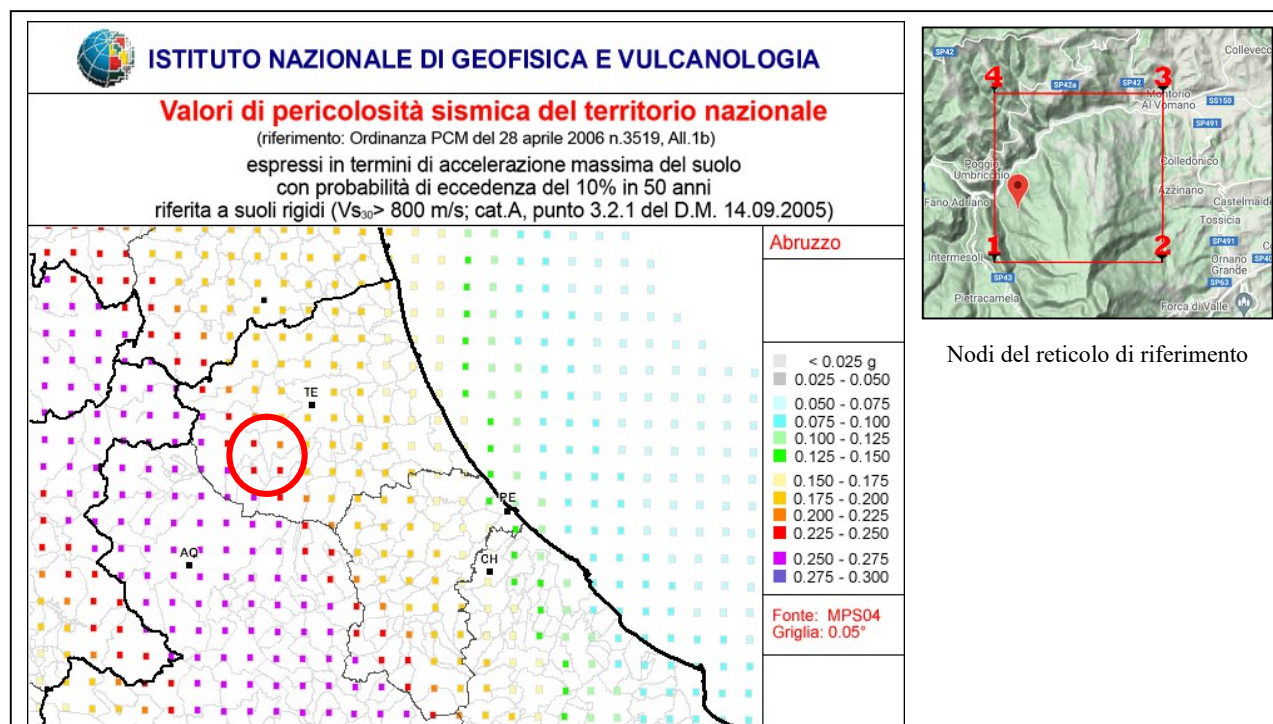




## 7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

### 7.1 Pericolosità Sismica

Per l'area in esame, in relazione alla pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (PGA), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b), è previsto un PGA compreso tra 0,225g e 0,250g (vedi mappa sottostante).



Tale pericolosità sismica di base per l'area in esame è definita ubicando il sito all'interno del reticolo di riferimento dell'INGV, in particolare nella maglia definita dai nodi riportati sulla destra.

### 7.2 Categoria di Sottosuolo

Il D.M. 17.01.2018 stabilisce che, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si può valutare l'effetto della risposta sismica locale facendo affidamento su di un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Queste sono definite nella Tabella 3.2.II del suddetto D.M in funzione della successione dei terreni e del parametro  $V_{Seq}$ , il quale rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, definita dall'espressione:

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



dove:

- $V_{s,i}$  = valore di  $V_s$  nello strato  $i$ -esimo;  
 $h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo;  
 $N$  = numero di strati;  
 $H$  = profondità del substrato sismico ( $>800$  m/s).

In considerazione della successione sismostratigrafica scaturita dall'elaborazione dell'indagine MASW eseguita nel sito di studio è possibile ottenere una stima della media della velocità onde  $s$  nei primi 7 metri di profondità (quota di rinvenimento del substrato sismico) pari a  $V_{seq} = 527$  m/s.

Tale media classifica i terreni del sito in esame come appartenenti alla **categoria B**, ossia “*rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,eq}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*”.

### 7.3 Amplificazione Topografica

Per quanto riguarda la Categoria Topografica, dal momento che l'area di indagine corrisponde ad un versante avente un'inclinazione media superiore a  $15^\circ$ , può essere adottato un fattore di amplificazione topografica pari a  **$St = 1.20$** .

### 7.4 Coefficienti Sismici

I parametri sismici da adottare per la definizione dell'azione sismica, quantificati per i diversi stati limite, considerando un periodo di riferimento di 50 anni e un coefficiente d'uso  $C_u=1.0$ , sono riportati nella sottostante tabella.

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.071	2.393	0.277
Danno (SLD)	50	0.090	2.382	0.290
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.234	2.386	0.342
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.301	2.416	0.358
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Per quanto riguarda l'Amplificazione Stratigrafica, possono essere presi in considerazione i seguenti coefficienti di amplificazione:

	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
<b>Ss*</b> Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,18	1,11
<b>Cc *</b> Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,36	1,35

Per quanto riguarda i coefficienti sismici da adottare nei calcoli di stabilità dei pendii e fondazioni, possono essere presi in considerazione quelli riportati nella tabella seguente:

<b>Coefficienti</b>	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
kh	0.021	0.026	0.093	0.112
kv	0.010	0.013	0.046	0.056
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.006	1.278	3.256	3.931
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

### 7.5 Microzonazione Sismica

Secondo la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica del Comune di Fano Adriano redatta a seguito degli studi di Microzonazione Sismica di III Livello (MOPS, vedasi stralcio riportato in allegato), l'area ricadrebbe in una "zona stabile suscettibile di amplificazione sismica locale" con successione tipo "Zona 2004".

Le indagini eseguite confermano la congruenza della successione stratigrafica locale con quella riportata nella MOPS.

### 7.6 Effetti di Sito

Per effetti di sito si intendono le conseguenze dovute al comportamento del terreno in caso di evento sismico, per la presenza di particolari condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche che determinano fenomeni di instabilità del terreno ed amplificazioni locali (intese come la modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico che si avrebbe alla superficie del sito rispetto a quella che si osserverebbe per lo stesso evento su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale).

A tal proposito, non sono note faglie attive capaci che coinvolgano direttamente il sito di indagine o le sue immediate vicinanze e altresì di escludono fenomeni di liquefazione per via delle litologie presenti.

Tra gli elementi che concorrono ad aumentare la pericolosità del sito per effetto di un terremoto si segnala la possibilità che uno scuotimento possa favorire il distacco di blocchi lapidei dal fronte roccioso o la mobilitazione dei massi presenti lungo il pendio.

Non si escludono, inoltre, fenomeni di amplificazione per effetti di natura stratigrafica e topografica, il cui effetto è approssimativamente quantificabile tramite i coefficienti precedentemente riportati (Ss e St).

## 8. CONCLUSIONI

Con quanto sinora esposto si ritiene di aver sufficientemente illustrato le principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche di un tratto di versante interessato da un progetto di consolidamento, sito in località Cerqueto di Fano Adriano (TE).

Il versante in esame è sovrastante l'area nella quale si svolge la rituale raffigurazione del Presepe Vivente e lo scopo dell'intervento consiste nella riduzione del pericolo di caduta massi nell'area della rappresentazione sacra.

Il versante, infatti, come descritto nel cap. 2, è costituito da affioramenti della formazione rocciosa nota in letteratura col nome di “Marne con Cerrognà”, ivi costituita da alternanze di marne, marne calcaree e calcari marnosi con intercalazioni calcarenitiche.

Gli strati presentano una direzione circa NE-SW, con immersione a nord-ovest e debole inclinazione (mediamente circa 10°).

Lo spessore degli strati è variabile (da centimetrico a metrico) e gli stessi presentano un elevato grado di fratturazione, con tre famiglie principali di discontinuità circa ortogonali tra loro e altri sistemi di fratture subordinate variamente orientate, in parte dovute a fenomeni di crioclastismo.

Gli effetti della degradazione meteorica e dell'erosione sugli affioramenti rocciosi provoca il distacco di frammenti lapidei dalle testate degli strati, la cui dimensione è funzione dello spessore degli stessi e della spaziatura delle fratture (da centimetrici a metrici).

Il distacco di materiale roccioso e il suo scivolamento verso valle è altresì agevolato dalla giacitura del substrato, disposto a franapoggio meno inclinato del pendio.

I detriti ricoprono estesamente il versante, con diffusa presenza di massi erratici passibili di movimento per scivolamento e/o rotolamento, coadiuvati dall'azione delle acque di ruscellamento superficiale sui terreni di appoggio dei blocchi rocciosi.

L'intervento di messa in sicurezza dovrebbe quindi prevedere opere atte a ridurre la pericolosità di caduta di materiale detritico nell'area adibita allo svolgimento del Presepe Vivente.

A tale proposito si potrebbe immaginare l'implementazione dell'attuale sistema di barriere paramassi con l'aggiunta di nuove strutture a valle di quelle esistenti.

Parallelamente, potrebbero essere previsti interventi di consolidamento delle pareti rocciose maggiormente passibili di crollo mediante il disaggancio delle porzioni più pericolanti o la chiodatura delle stesse.

Si potrebbe inoltre ipotizzare l'ancoraggio o la rimozione dei massi erratici particolarmente passibili di scivolamento o rotolamento verso valle.

A corredo, si potrebbe infine prevedere un'opera di ripulitura, almeno dei sentieri transitabili, delle scaglie rocciose di piccola dimensione che ricoprono la superficie del versante.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni affioranti è descritta nel cap. 6 e la modellazione che ne segue (riassunta a pag. 15) è stata ricostruita, trattandosi di materiali lapidei, partendo dall'involuppo a rottura stabilito con il criterio empirico di Hoek-Brown e determinando i parametri di resistenza relativi al criterio di Mohr-Coulomb.

La modellazione sismica del sito è descritta nel capitolo 7 della presente e prevede una sismostratigrafia tale da consentire di annoverare i terreni presenti alla Categoria B, così come definita dalle vigenti normative; il fattore di amplificazione topografica ( $S_t$ ) considerato è pari a 1,20.

Nella Carta delle MOPS ricavata dallo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Fano Adriano, l'area in esame si colloca nella Zona 2004, catalogata come *“zona stabile suscettibile di amplificazione locale”*.

Si resta in ogni caso a disposizione per ogni eventuale chiarimento e/o integrazione che dovesse rendersi necessaria.

Teramo, ottobre 2021

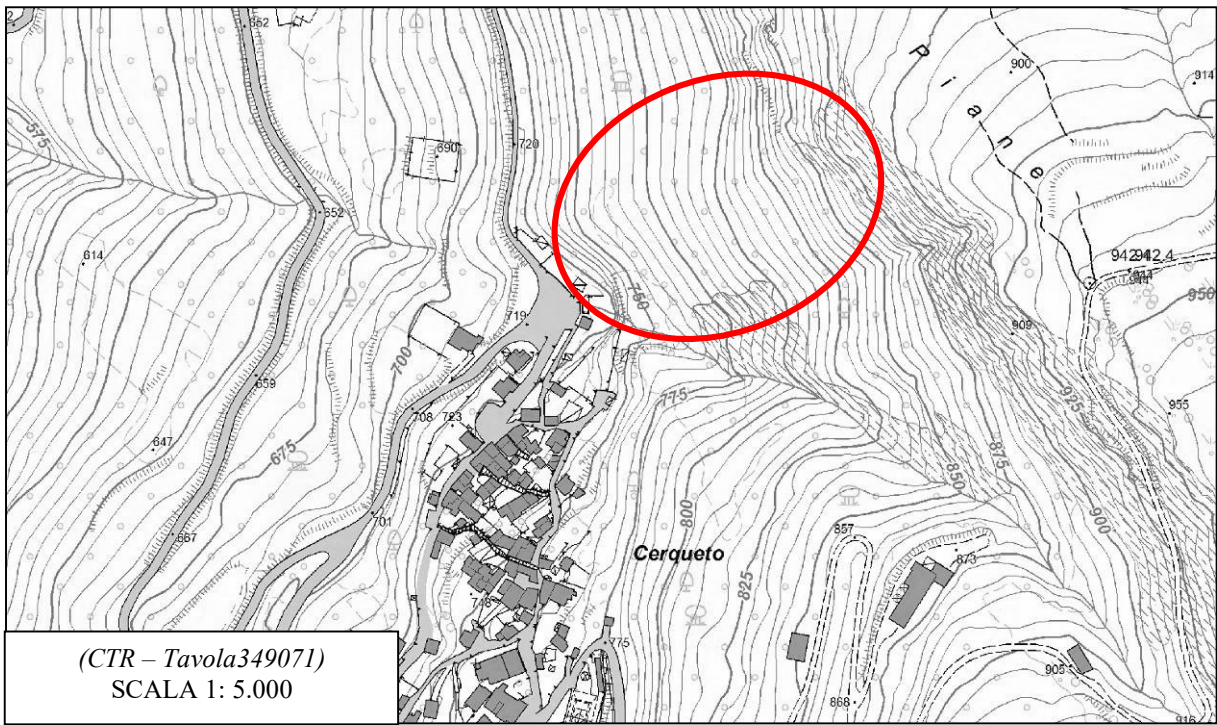
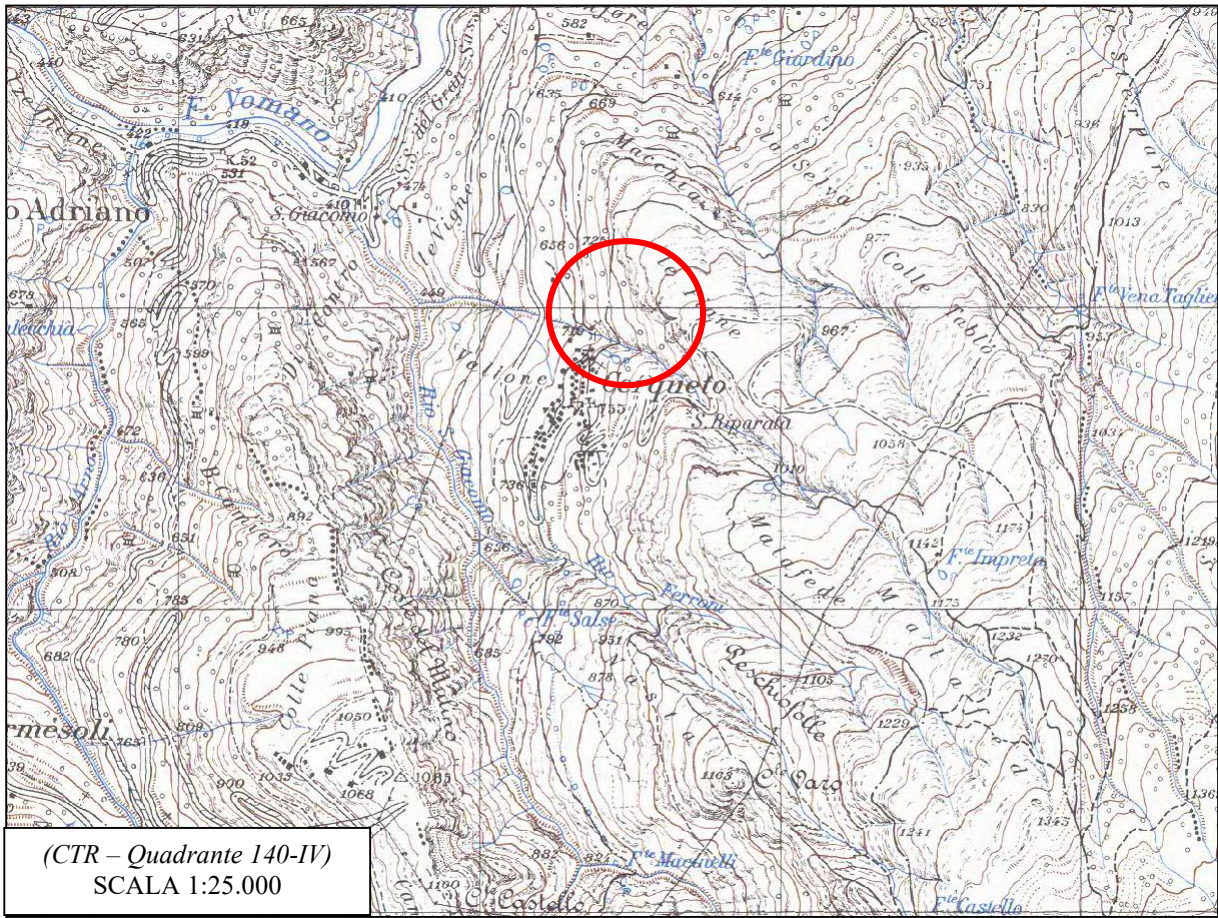
Il Geologo

Dott. Giuliano Ruoppolo





## CARTE TOPOGRAFICHE

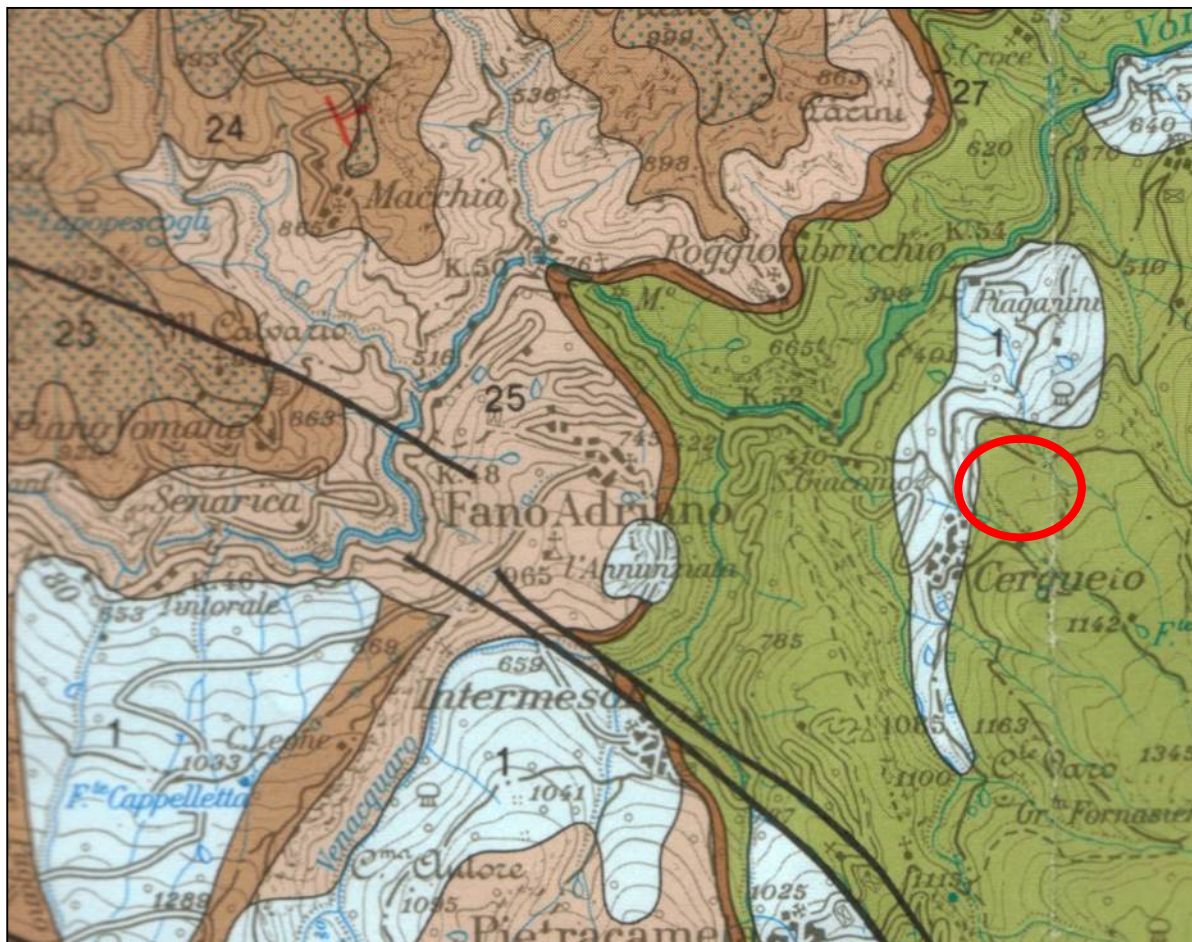




# CARTA GEOLOGICA

SCALA 1:50.000

(Centamore et alii, 1992)

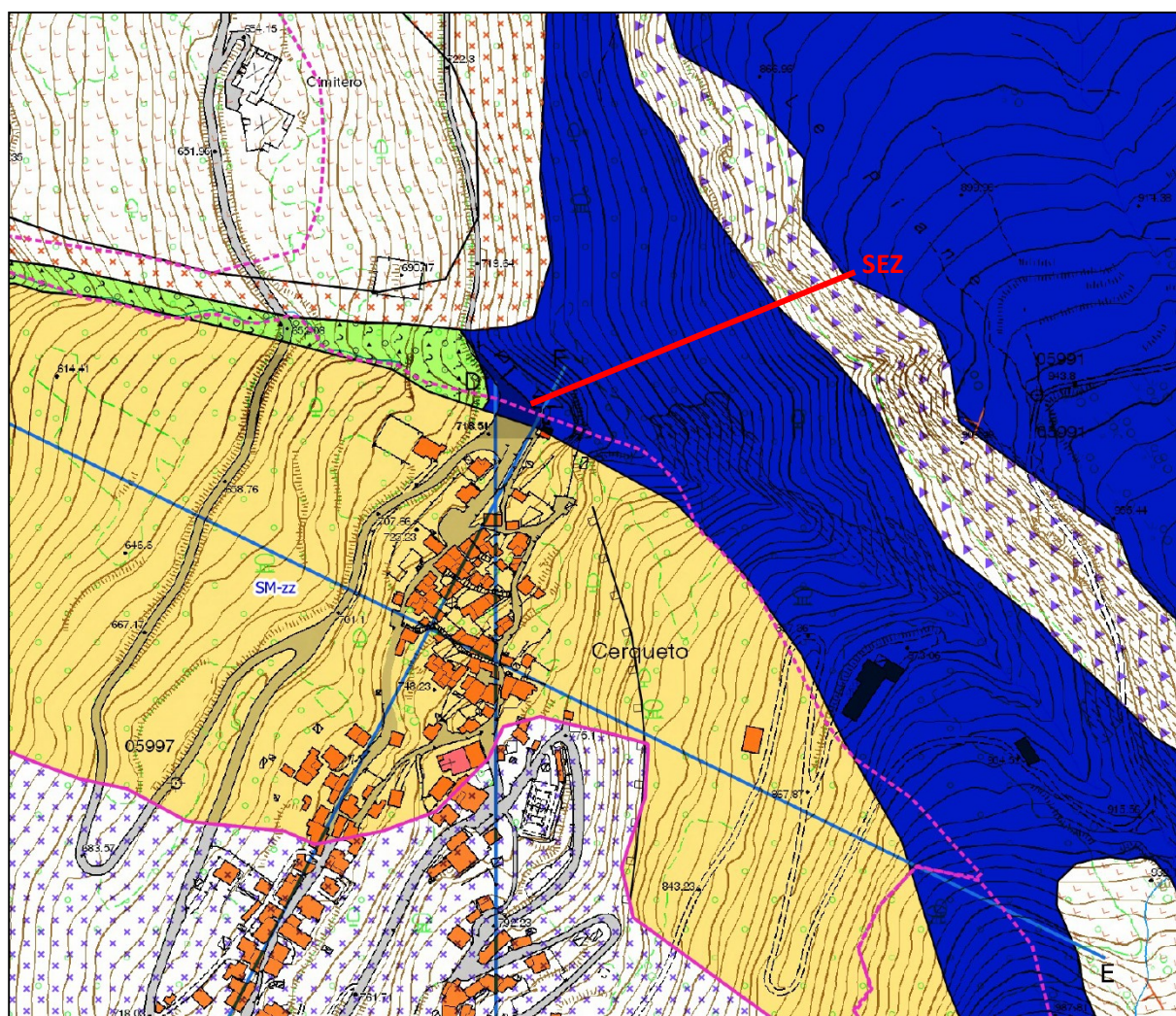




# CARTA GEOLOGICA

SCALA 1:5.000

(D Feliciano, 2018)



## Terreni di copertura copia

- GWcz – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie, di conoide di deiezione
- GMfd – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie, di falda di detrito
- GMfg – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie, di deposito fluvio-glaciale
- SMec – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo, di depositi eluvio/colluviali
- SMzz – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo, altri depositi

## Substrato Geologico

- GR – Granulare cementato
- ALS – Alternanza di litotipi, stratificato

## Forme di superficie e sepolte

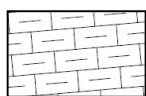
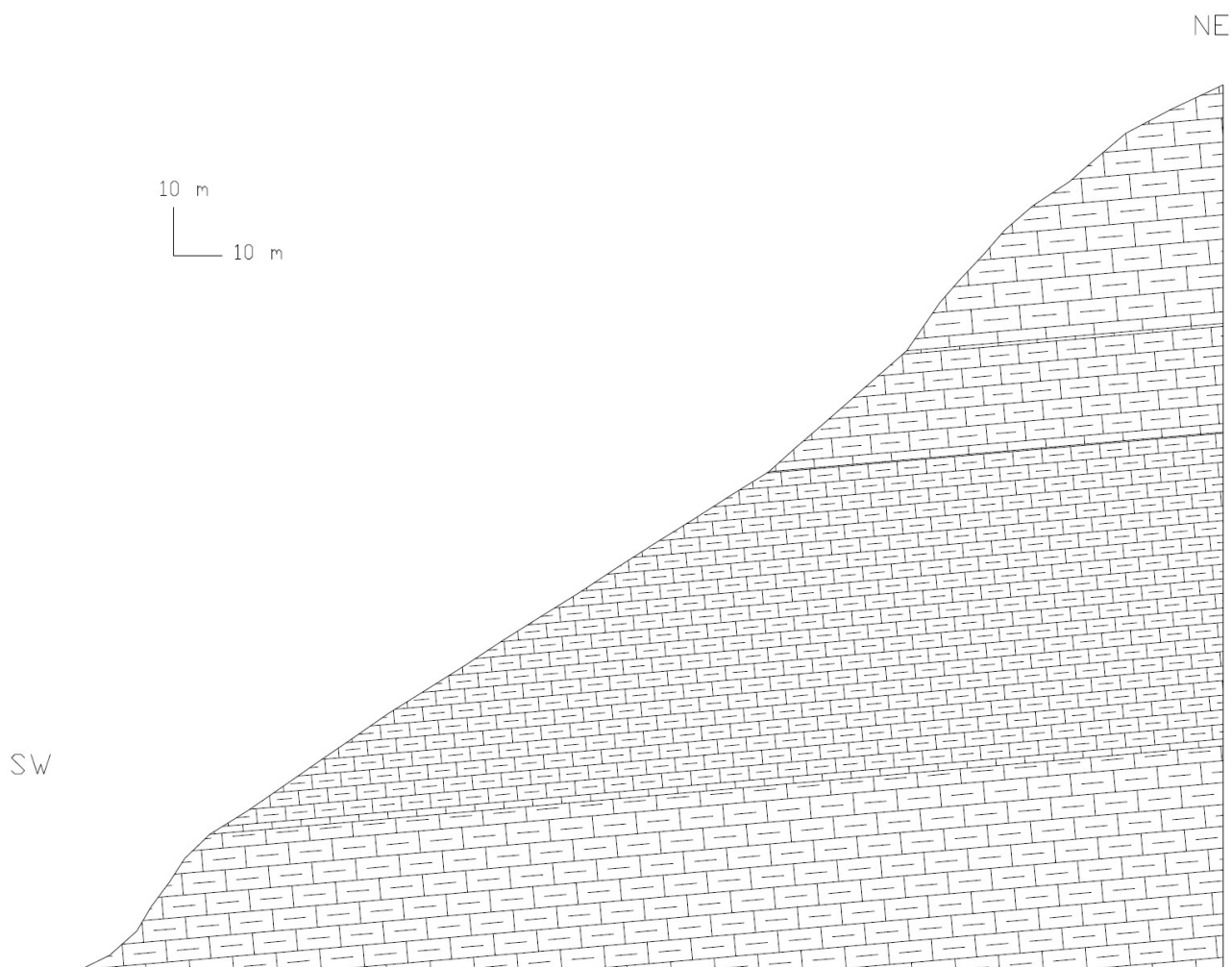
- Cresta
- Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10-20 m)
- Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (> 20 m)
- Falda detrica

## Instabilità di versante

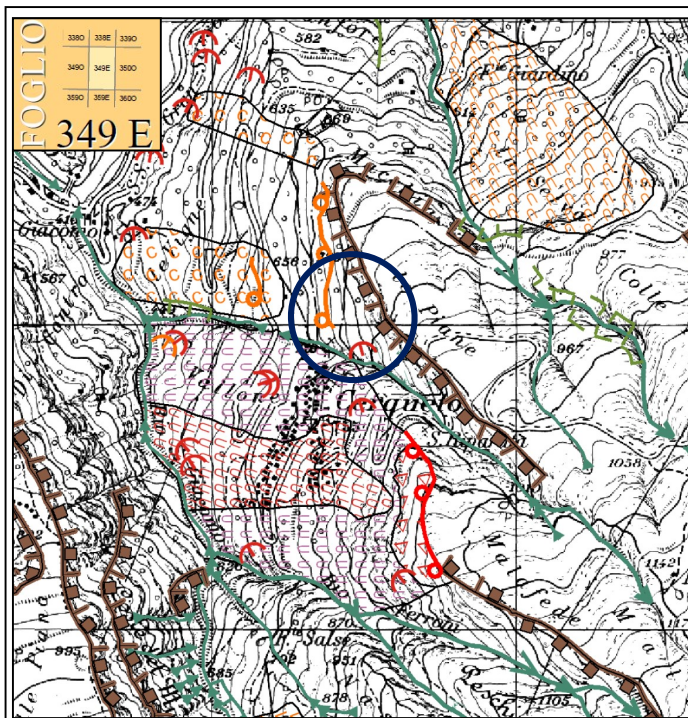
- FR\_A – crollo o ribaltamento
- FR\_A – complessa
- FR\_Q – scorrimento
- FR\_Q – complessa



## SEZIONE GEOLOGICA



Marne calcaree e calcari marnosi con intercalazioni calcarenitiche



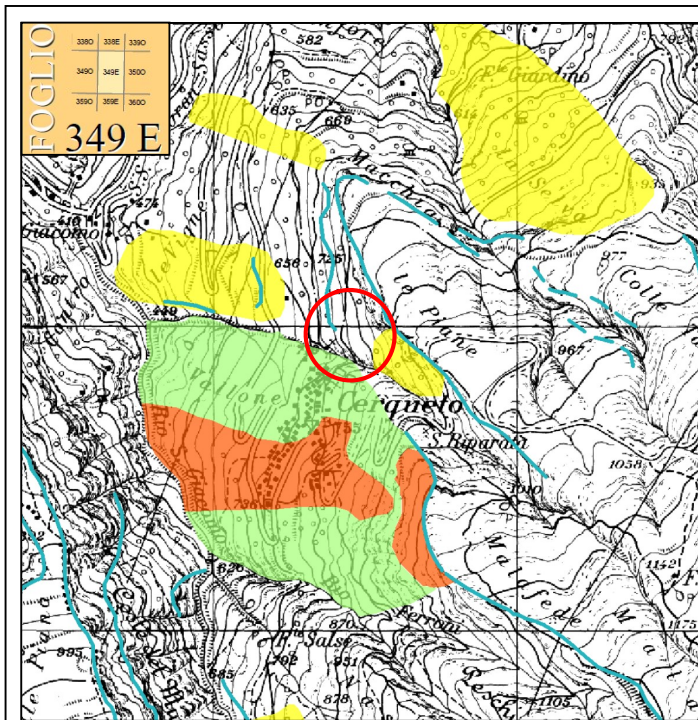
## PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO "FENOMENI GRAVITATIVI E PROCESSI EROSIVI"

L. 18.05.1989 n.185, art. 17, comma 6 ter e s.m.i.

### CARTA GEOMORFOLOGICA

Scala 1:25.000

	STATO DI ATTIVITA'		
	ATTIVO	QUIESCENTE	NON ATTIVO
Corpo di frana di scorrimento			
(A) Traslativo			
(B) Rotazionale			
Piccola frana o gruppo di piccole frane non classificate			
Orlo di scarpata di degradazione e/o di frana			
Orlo di scarpata con influenza strutturale			
Orlo di scarpata di erosione fluviale o torrentizia			
Alveo con erosione laterale o sponda in erosione			
Alveo con tendenza all'approfondimento			



## PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO "FENOMENI GRAVITATIVI E PROCESSI EROSIVI"

L. 18.05.1989 n.185, art. 17, comma 6 ter e s.m.i.

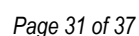
### CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA FRANA

Scala 1:25.000

- **P1 PERICOLOSITA' MODERATA**  
Aree interessate da Dissesti con bassa possibilità di riattivazione.
- **P2 PERICOLOSITA' ELEVATA**  
Aree interessate da Dissesti con alta possibilità di riattivazione.
- **P3 PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA**  
Aree interessate da Dissesti in attività o riattivati stagionalmente.
- ~ **PS PERICOLOSITA' DA SCARPATA**  
Aree interessate da Dissesti generati da Scarpe.

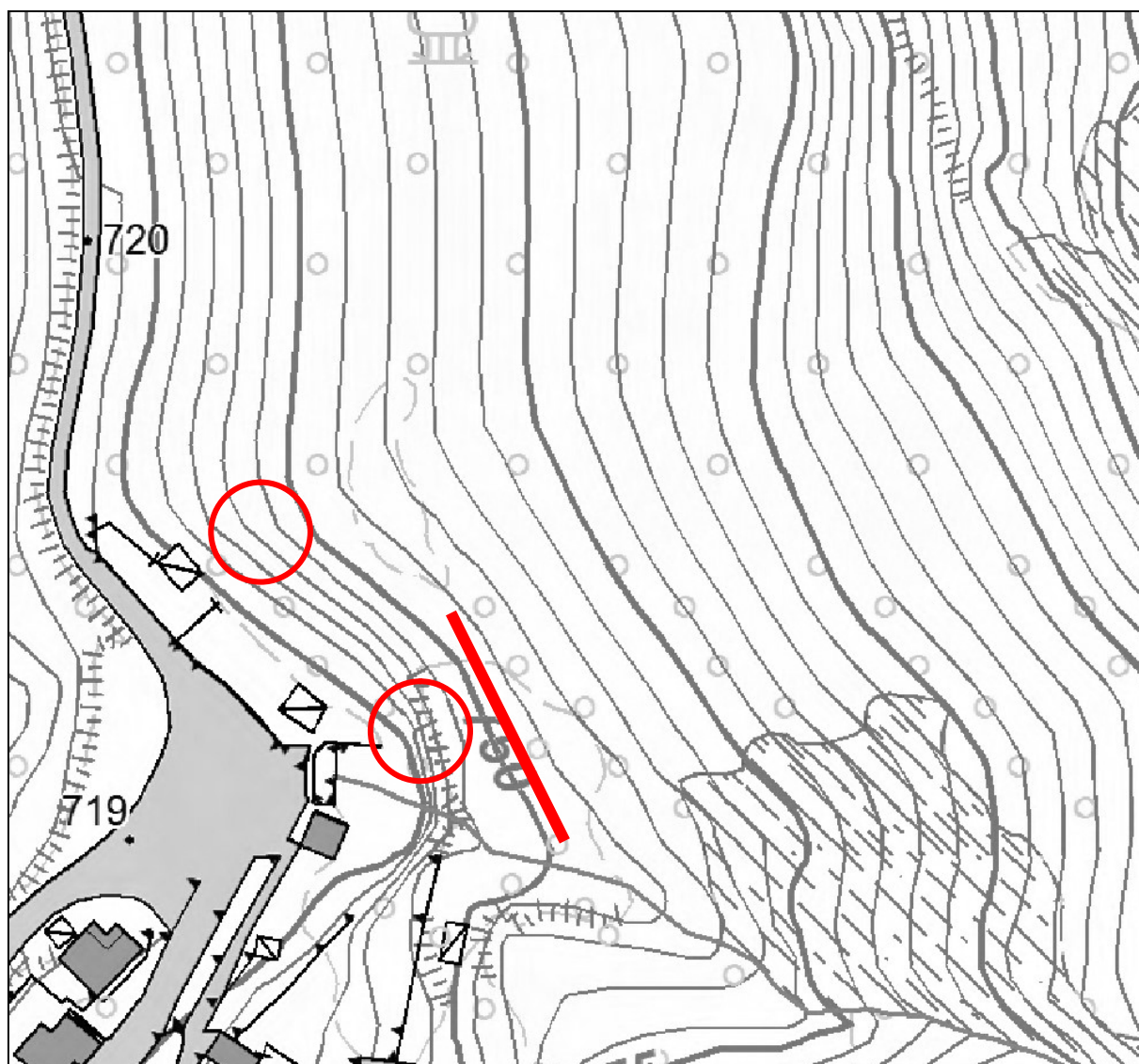




## Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica



## PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI

SCALA 1:500



-  Stendimento sismico MASW
-  Stazione rilievo geomeccanico

---

## **RISULTATI INDAGINE SISMICA MASW**

*Multichannel Analysis of Surface Waves*

COMMITTENTE:	COMUNE DI FANO ADRIANO (TE)
CANTIERE:	LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA MASSI
LOCALITÀ:	CERQUETO DI FANO ADRIANO
DATA ESECUZIONE:	16/06/2021

### **Strumentazione impiegata**

- **Micromed SoilSpy Rosina 24 bit, 24 + 1 canali**
- acquisizione con risoluzione 24 bit, con segnale amplificato e digitalizzato in corrispondenza dei geofoni e inviato attraverso un cavo di trasmissione digitale dei dati
- apparato di ricezione: geofoni a componente verticale di frequenza propria 4,5 Hz, con time break sincrono con la sorgente di energia
- sorgente di energia: mazza battente impattante su piastra di battuta





# MASW A - A'

## 1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori..... 20  
Distanza tra i sensori: ..... 2m  
Numero di campioni temporali..... 2048  
Passo temporale di acquisizione ..... 2ms  
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 20  
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a ..... 0ms  
L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 4094ms  
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

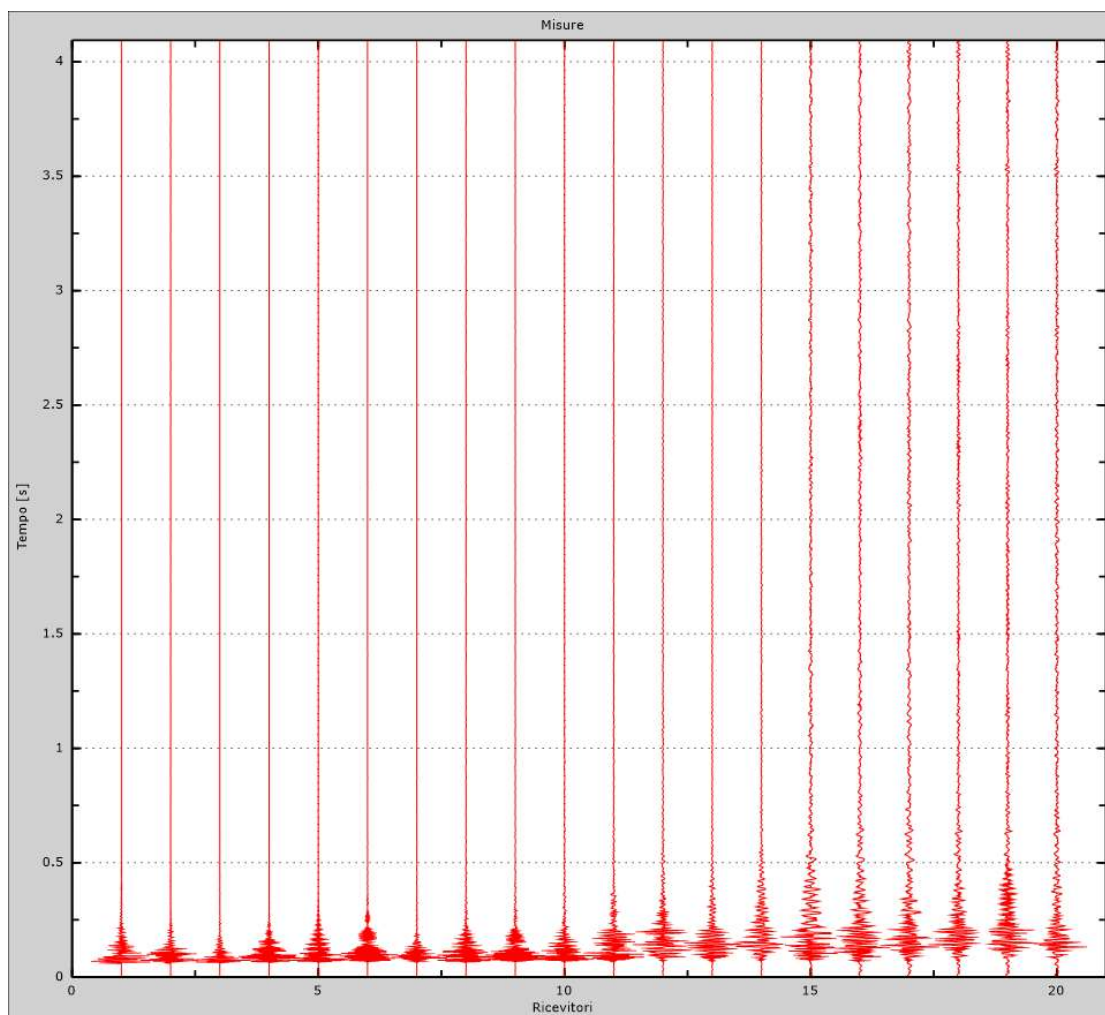


Figura 1: Tracce sperimentali

## 2 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
8.32394	961.562	860.942	1062.18
10.7243	908.965	794.624	1023.31
16.6485	906.678	833.5	979.857
22.0109	911.252	844.934	977.57
26.6073	918.113	858.655	977.57
29.0587	904.392	851.794	956.989
36.9747	854.081	760.321	947.841
39.5793	716.871	609.39	824.352
42.9688	611.111	550	672.222
46.3867	508.929	458.036	559.821
49.9467	447.025	371.56	522.491
54.1345	382.994	341.831	424.157
56.2795	382.994	344.118	421.87
61.4887	408.149	371.56	444.738
63.4766	393.145	353.831	432.46
64.9616	394.428	357.839	431.017
66.8945	383.396	345.056	421.735

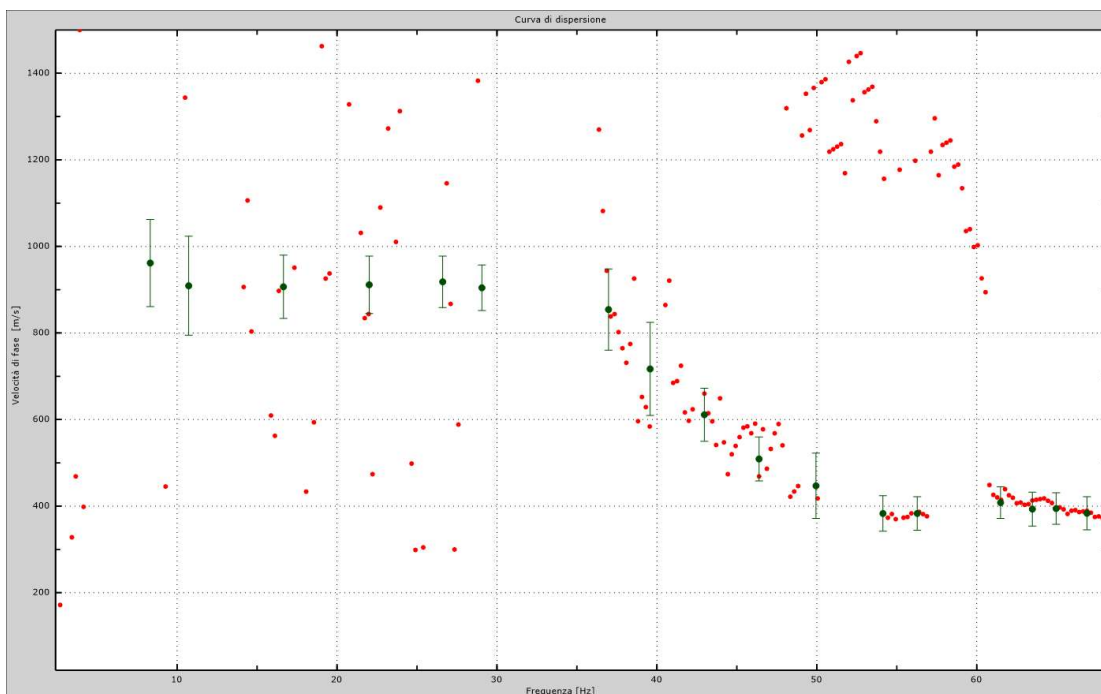


Figura 2: Curva di dispersione

### 3 - Profilo in sito

#### Strato 1

h [m] ..... 2  
 z [m] ..... -2  
 Vs fin.[m/s] ..... 381.000

#### Strato 2

h [m] ..... 2  
 z [m] ..... -4  
 Vs fin.[m/s] ..... 486.690

#### Strato 3

h [m] ..... 3  
 z [m] ..... -7  
 Vs fin.[m/s] ..... 786.520

#### Strato 4

h [m] ..... 4  
 z [m] ..... -11  
 Vs fin.[m/s] ..... 948.980

#### Strato 5

h [m] ..... 4  
 z [m] ..... -15  
 Vs fin.[m/s] ..... 1012.500

#### Strato 6

h [m] ..... 0  
 z [m] ..... -∞  
 Vs fin.[m/s] ..... 1068.400

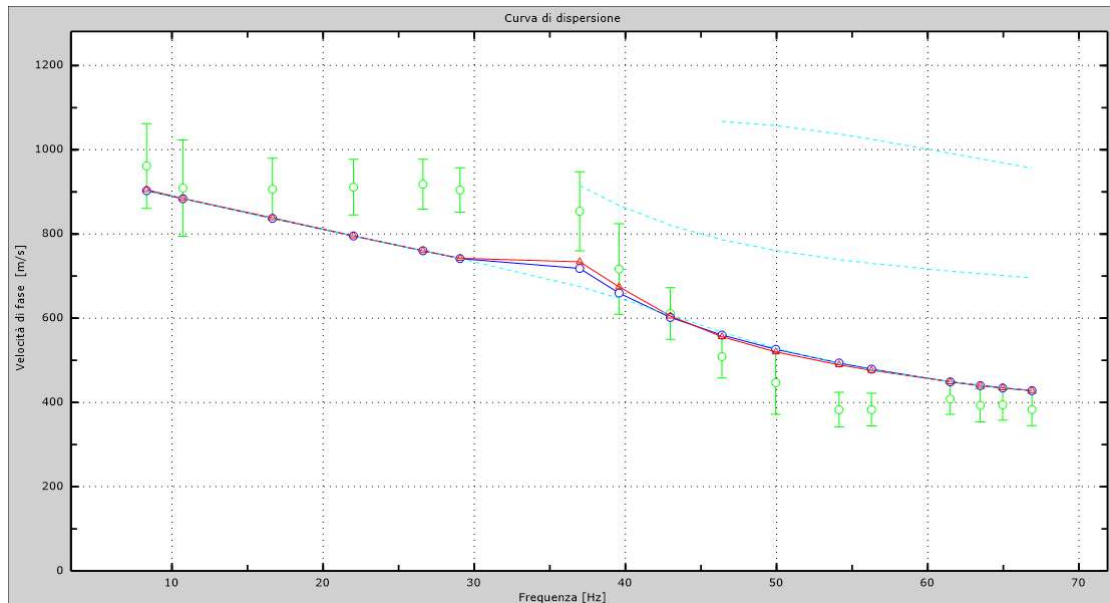


Figura 3: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)



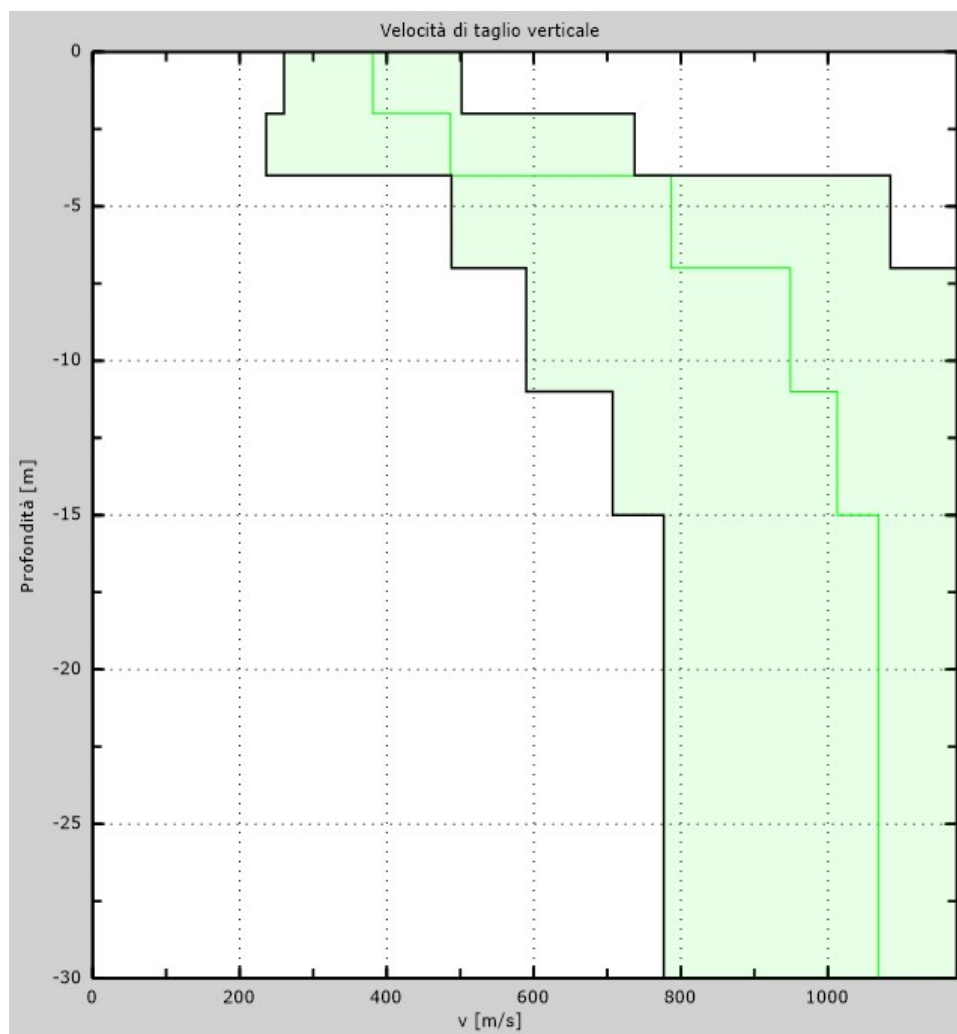


Figura 4: Profilo Vs numerico

## 4 - Risultati finali

La normativa applicata è il D.M. 17/1/2018

Piano di riferimento $z = 0$ [m].....	0
Profondità bedrock sismico $H$ [m].....	7
$V_{s,eq}$ [m/s] .....	527
<b>Categoria di sottosuolo</b> .....	<b>B</b>

*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,eq}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*