



Comune di FANO ADRIANO

C.so Vittorio Emanuele III, n. 2 - C.A.P. 6404a Fano Adriano (TE)

P.IVA 00205660673 C.F. 92001400677 - Tel. 0861 95124

Posta certificata: protocollo@cert.comune.fanoadriano.te.it

Provincia di Teramo Comune di FANO ADRIANO	3
Designazione dell'opera: LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA MASSI ZONA RAPPRESENTAZIONE PRESEPE VIVENTE I N F R A Z I O N E C E R Q U E T O	
PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO	
Oggetto: RELAZIONE GEOTECNICA, IDROLOGICA, IDRAULICA E SISMICA	

Committente:	data 11/2021
<i>Amm.ne Comunale di Fano Adriano</i>	

Il Progettista:

STUDIO DI INGEGNERIA CIVILE ED AMBIENTALE

 **Ing. MASSIMO MARINI**
C.so DE MICHETTI, 57 64100 TERAMO
Tel.0861/242306 e-mail : studiomarini.te@libero.it



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Area Tecnica
del Comune di Fano Adriano

Supporto al R.U.P.:
Ing. Berardino Ciampagna

--

1. PREMESSA

Il progetto a cui la presente relazione fa riferimento riguarda gli interventi di “Messa in Sicurezza massi zona rappresentazione Presepe vivente in loc. Cerqueto” nel Comune di Fano Adriano.

La presente relazione riporta i risultati delle indagini geotecniche e geologiche di dettaglio necessarie alla comprensione delle caratteristiche strutturali e meccaniche dei terreni oggetto del presente intervento di consolidamento e si avvale della seguente documentazione di riferimento a supporto delle indagini effettuate:

- a) Provincia di Teramo - Relazione geologica redatta dal Dott. Giuliano Ruoppolo;
- b) Certificati delle Indagini in sito, consistenti nella realizzazione di rilievi, prove penetrometriche, profili sismici e prospezioni geofisiche, prove allegate alla relazione geologica;
- c) Planimetria di progetto e cartografia geologica e geomorfologica, redatte in virtù dei dati disponibili ed acquisiti nel corso delle indagini;
- d) Planimetria con l'ubicazione delle indagini;
- e) N.T.C. 17.01.2018;
- f) D.M. 11.03.88 *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*;
- g) Circ. Min. LL.PP. n° 97/81-30483, 24.09.88, (Presidenza Consiglio Superiore, Servizio Tecnico Centrale) Istruzioni relative alle *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e scarpate ..."*, di cui al D.M. 11.03.88;
- h) AGI *"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"*, 1977;
- i) Eurocodice 7 *"Geotechnical design - Part 1: General rules"*, 1994 (UNI – ENV 1997–1).

In particolare, la presente relazione si prefigge lo scopo di caratterizzare, da un punto di vista geotecnico, geologico, idraulico e sismico, le formazioni di terreno affioranti e presenti nell'area di intervento, con lo scopo di giustificare da un punto di vista tecnico le soluzioni progettuali adottate.

2. ANALISI DEL DISSESTO e DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI:

Il progetto a cui si riferisce la presente relazione ha come finalità la mitigazione del rischio idrogeologico riconducibile a frana da crollo e rotolamento in corrispondenza di un versante roccioso posto in località Cerqueto, versante sovrastante Piazza Rione Casale, area di grossa attrattività sociale e turistica, considerato lo splendido panorama offerto nonché sede, da molti anni a questa parte, di una rappresentazione del Presente Vivente particolarmente prestigiosa e seguita.

Giova precisare, in tal senso, che l'area in argomento, presumibilmente da sempre interessata da tali fenomeni gravitativi, ha subito un peggioramento delle proprie condizioni di stabilità a seguito degli eventi sismici del 2016/2017, i quali hanno avuto i loro epicentri in territori limitrofi al Comune di Fano Adriano.

I sopralluoghi effettuati, con l'ausilio del Dipartimento Regionale di Protezione Civile nel periodo immediatamente successivo ai fenomeni sismici e nivologici verificatisi, consentirono di riscontrare, nel versante sovrastante la Piazza e l'abitato, numerosi banchi rocciosi fratturati, con presenza di porzioni già staccate e rotolate a valle, ed altri massi in condizioni di equilibrio precario.

A tal fine, si ritiene utile menzionare, per un efficace inquadramento del sito, che tale parete rocciosa ha subito recentemente 2 distinti episodi di dissesto idrogeologico, dei quali, il primo (datato 2005), vide il distacco di alcuni massi, uno dei quali di grosse dimensioni, che investirono la vegetazione sottostante, arrecando danni ad alcune strutture in legno, di cui una usata per la rappresentazione del presepe Natalizio e l'altra utilizzata come fermata delle autolinee pubbliche di trasporto, arrestando la sua corsa sul piazzale sottostante nelle immediate vicinanze di una civile abitazione; il secondo episodio, qualitativamente simile, fu conseguente al sisma del 2009 e, fortunatamente, come quello precedente, non arrecò danni a persone e cose.

In entrambi i casi, la Civica Amministrazione predispose degli interventi di messa in sicurezza, limitatamente alle porzioni di versante ove si erano verificati i crolli.

Nel mese di Novembre 2017, in coincidenza con l'inizio delle azioni preparatorie per la realizzazione del presente vivente, con predisposizione di un impianto di illuminazione posizionato lungo il versante, le maestranze hanno avuto modo di verificare la presenza di blocchi lapidei rotolati lungo il percorso che si snoda sulla parete stessa, nonché la presenza di un gran numero di massi fratturati, anche in modo significativo.

L'insieme degli accertamenti esperiti consentì di verificare come, nella porzione sommitale del versante, fossero presenti bancate lapidee decametriche con zone in condizioni di equilibrio precario, mentre, in corrispondenza della porzione mediana del pendio, si manifestavano blocchi isolati con basi di appoggio parziali, vuoti nella composizione dei blocchi, indizio di avvenuta scissione di porzioni di materiali prima connesso alla struttura limitrofa, massi rotolati sul versante ed altre situazioni definibili a rischio.

Tali tipologie di versante, per altro, possono subire fenomeni di crollo che si distinguono per il rapido ed improvviso cedimento delle porzioni alterate e sconnesse, **quando sono presenti scuotimenti ed input energetici provocati da fenomeni sismici** (*Prof. Giuseppe Lanzo, Pendii naturali ed artificiali, Master di II Livello in Progettazione Geotecnica, Sapienza Università di Roma, anno acc. 2015-16*).

In sostanza si ritenne di poter affermare quanto di seguito esposto: il versante in oggetto, da un punto di vista geomorfologico, è soggetto a frane di crollo e rotolamento, considerata l'estrema fratturazione degli strati lapidei; tale situazione, di per sé preoccupante, assume carattere di estremo pericolo, laddove forze esterne (sisma, ...) intervengono a modificare un equilibrio già precario; le scosse indotte dai fenomeni sismici hanno provocato, in sintesi, una frammentazione, a tratti estesa, dei banchi lapidei, con porzioni – alcune delle quali di diverse tonnellate – in equilibrio instabile ed altre già collassate, **attestando il nesso causale esistente tra fenomeni in atto e sisma del 18.01.2017**.

A seguito di segnalazione di Relazione inoltrata al COR della Regione Abruzzo, nella quale si confermava il nesso causale esistente tra il fenomeno gravitativo in atto e l'evento sismico del 18.01.2017, fu effettuato un sopralluogo predisposto dal Servizio di Prevenzione dei Rischi di Protezione Civile della Regione Abruzzo, in base alla Delibera di Giunta Regionale del 30.12.2016 n. 953, in data 05.01.2018; successivamente, in data 08.02.2018, fu effettuato un sopralluogo congiunto, alla presenza di tecnici del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale e Regionale, dell'ISPRA e del Dipartimento di Ingegneria e Geologia dell'Università di Chieti e Pescara.

Successivamente, la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento Protezione Civile, ha trasmesso – con nota UC/TERAG18_SM/0011760 del 27.02.2018 – il Verbale relativo, con annessa Relazione di Sopralluogo, nella quale si rileva come (par. 7), “.. **le evidenze rilevate sono quelle di una serie di elementi lapidei sparsi sul versante sovrastante la scarpata sub verticale che margina il lato orientale del piazzale in condizione di equilibrio precario ..**”; si afferma, inoltre, (par. 8) che ci sono “**porzioni di versante che presentano fatturazioni e blocchi eterometrici in condizione di equilibrio precario. ... ed è evidente che gli elementi geomorfologici riscontrati, anche se in modo indiretto, tracciano un quadro delle criticità in essere che necessita di un urgente intervento di mitigazione, avendo cura di elaborare, nel medio-lungo periodo, una attenta ed adeguata pianificazione ed esecuzione di interventi risolutivi finalizzati al raggiungimento di livello di rischio accettabili**”.

Sulla base di tali risultanze fu possibile intervenire, con l'istituto della Somma Urgenza, per effettuare un primo intervento di mitigazione del rischio presente, rappresentato dalla posa in opera di una barriera paramassi, avente lunghezza pari a 70 metri ed altezza pari a 5 metri, con energia massima assimilabile pari a 3000 KJ, in corrispondenza della porzione sovrastante l'area centrale della Piazza Rione Casale.

L'intervento, eseguito dall'Impresa Fratelli Persia Srl di Tottea di Crognaleto, ha consentito – anche mediante operazioni di disgaggio di porzioni instabili di pendio poste nella zona sottostante la barriera – di porre in sicurezza una parte significativa dell'area a rischio, considerando che residuavano importanti tratti limitrofi a quello in argomento meritevoli di interventi analoghi, al fine di inibire definitivamente il fenomeno di caduta massi presenti.



Foto 1: barriera paramassi esistente

L'area di indagine è ubicata lungo un versante estremamente acclive, avente pendenza media superiore a 60°, con punte prossime alla verticalità, versante rivolto ad Ovest e caratterizzato da blocchi isolati e massi di dimensioni minori, costituiti da una alternanza di livelli di marne e calcari marnosi con banchi calcarenitici che, nella posizione sommitale, assumono spessori notevoli, sino a circa 10 metri.

Tutto ciò anticipato, la grave situazione esistente è stata analizzata anche alla luce delle informazioni assunte, le quali provengono:

- 1) da accurati accertamenti sopralluogo e da un idoneo rilievo plano-altimetrico,
- 2) dalla Relazione geologica e geotecnica, predisposta dal Dottor Giuliano RUOPPOLO,
- 3) dalle risultanze della campagna di indagini geognostiche, appositamente progettata, che ha avuto lo scopo di conoscere la locale stratigrafia con particolare riguardo all'accertamento delle formazioni geologiche presenti, oltre che alla caratterizzazione fisico-meccanica delle porzioni di terreno interessate dai fenomeni in atto.

La sopra citata campagna di indagini geognostiche, preceduta da un accurato rilevamento di tipo geologico, atto ad evidenziare i caratteri litologici, giacitureali e stratigrafici delle unità presenti, da un rilievo di tipo geomorfologico, volto a rilevare la natura e l'entità delle problematiche di carattere geostatico eventualmente presenti e da un accurato rilievo geomeccanico, basato su 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, è stata effettuata mediante l'esecuzione di n. 1 prospezione sismica a rifrazione MASW, avente lo scopo di accertare le caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione ed in particolare la velocità delle onde di taglio (vs) dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo del sito in esame..

Tali informazioni consentono di rappresentare la situazione in essere nel modo seguente: il versante 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.

Alla luce di quanto sinora menzionato, si può affermare che l'intervento di messa in sicurezza non può prescindere dalla contemporanea presenza di sistemi di consolidamento passivi, rappresentati da n. 2 tratti di barriere paramassi, aventi lunghezze rispettivamente pari a metri 40.00 e 30.00, da porre ai lati contigui dell'attuale barriera paramassi, e da sistemi attivi, costituiti da chiodature diffuse, nelle zone poste al di fuori dall'area coperta da dette barriere; il tutto preceduto da fondamentali operazioni di pulizia delle pareti, di disgaggio delle porzioni instabili e di frantumazione di alcuni blocchi lapidei aventi volumetria maggiore.



Foto 2: tratto di versante fortemente ammalorato sovrastante l'area in cui si prevede le nuove barriere;

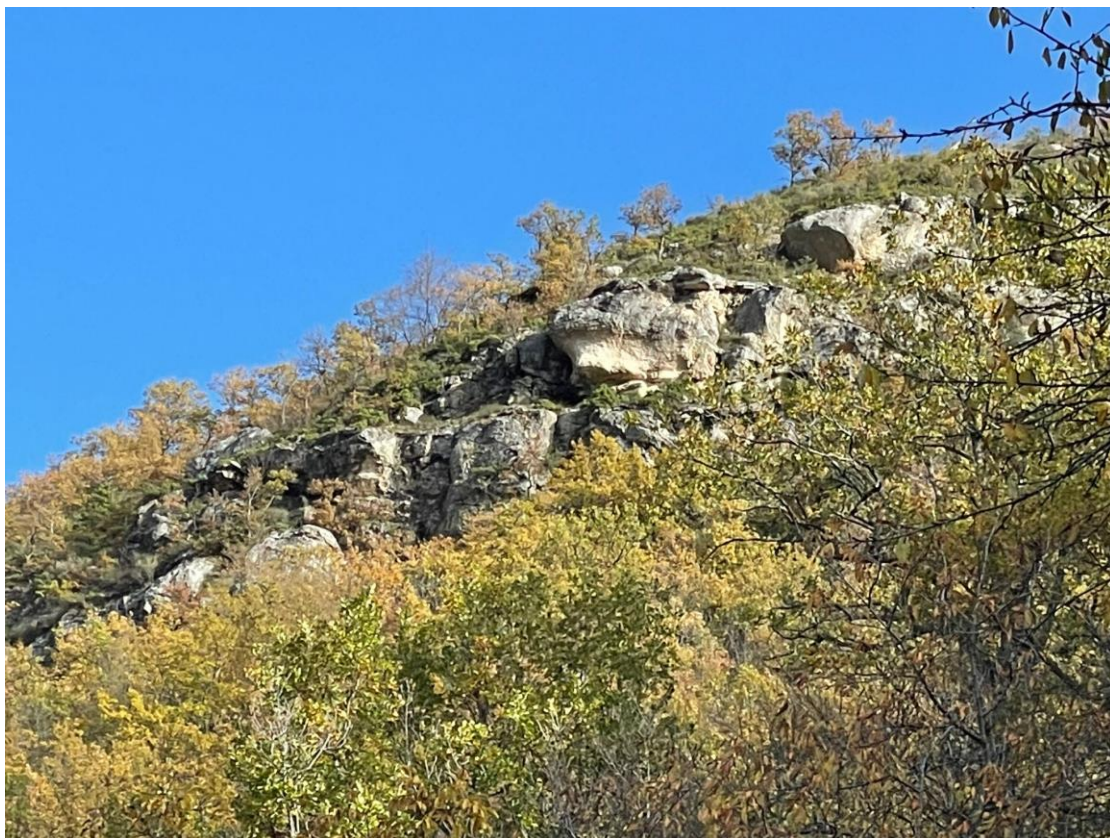


Foto 3: particolare foto 2;



Foto 4: massi instabili presenti lungo il versante da disaggiare e consolidare;



Foto 5: massi instabili presenti lungo il versante da disaggiare e consolidare;



Foto 6: massi instabili presenti lungo il versante da disaggiare e consolidare;



Foto 7: massi instabili presenti lungo il versante da disaggiare e consolidare;

Si ritiene importante, inoltre, prevedere un'opera di ripulitura delle scaglie rocciose di piccola dimensione che ricoprono la superficie del versante ed, a tal fine, tale lavorazione verrà eseguita a partire dal sentiero utilizzato per la predisposizione delle attività propedeutiche al Presepe Vivente, sentiero transitante – in gran parte – al di sotto del tratto ipotizzato per la posa delle barriere il quale, verrà ripulito ed adeguato, al fine di costituire la strada di accesso all'area dei lavori.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

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; 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 8: affioramento substrato geologico



Foto 9: stratificazione substrato geologico

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°.

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

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 rinvengono 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 composizionale e tessiturale 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; 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 preesistenti 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 sito di progetto.

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, ma 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 - come accennato in precedenza - 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.

4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO:

Dal punto di vista idrogeologico, la formazione di base costituisce il substrato impermeabile dell'area: la natura marnosa del substrato, infatti, comporta la predominanza dei processi di ruscellamento rispetto a quelli di 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.

5. INQUADRAMENTO SISMICO:

La sismicità storica dell'area teramana mostra una discreta frequenza di fenomeni con importanti valori massimi dell'intensità sismica; i pericoli maggiori sono però connessi ai risentimenti nell'area di sismi le cui zone epicentrali sono poste nella dorsale appenninica: nel tratto aquilano e, in subordine, nel tratto umbro-marchigiano.

Dal punto di vista della sismicità, il Comune di Fano Adriano rientra nell'ambito di una zona classificata di seconda categoria, ai sensi della nuova classificazione proposta con l'entrata in vigore delle NTC 2008. Esso ha risentito numerose volte in passato degli effetti disastrosi causati da terremoti con epicentri molto vicini.

In accordo con quanto riportato all'Allegato 7 dell' O.P.C.M. 3907 del 13/11/2010, il territorio di Fano Adriano ha un'accelerazione massima al suolo pari a 0.196473.

Dal punto di vista della risposta delle formazioni agli agenti sismici, un possibile terremoto potrebbe sia innescare crolli localizzati all'interno delle formazioni a comportamento litoide che indurre sovrappressioni interne all'interno degli strati a granulometria più fine.

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_s , 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 delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità (in assenza di substrato sismico entro tale profondità, si ha $V_{s,eq} = V_{s30}$), pari a **$V_{s,eq} = 527$ m/s.**

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categorie	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tale media definisce il sito in esame come appartenente 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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*.

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica ST.

Il parametro **ST** nel caso in esame, come riportato nella tabella 3.2.IV delle NTC 2008, è pari a **1.20**, considerando che la categoria topografica è la T4 *“Pendii con inclinazione media > 15°”*.

In conclusione, per il sito oggetto di intervento, visti i parametri sismici riportati nel presente capitolo e considerando:

- **categoria di sottosuolo: B**

- **categoria topografica: T4**

si ottengono per i vari stati limite previsti in normativa, i coefficienti sismici che sono adottati nella apposita relazione di calcolo.

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), 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.

Particolare importanza possono avere gli effetti di sito, per i quali 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 (S_s e S_t).

6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

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 Marinos 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 e tali valutazioni consentono di determinare le caratteristiche minime dei terreni presenti:

- peso di volume: $\gamma = 2.000 \text{ T/mc}$;
- peso di volume saturo: $\gamma' = 2.050 \text{ T/mc}$;
- angolo di attrito interno: $\phi' = 34^\circ$;
- coesione drenata: $c' = 0.05 \text{ Kg/cmq.}$

7. PROBLEMATICHE GEOTECNICHE:

Le problematiche geotecniche qui esaminate sono essenzialmente riconducibili ai seguenti punti:

- definizione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni che costituiscono il pendio e dei relativi parametri di progetto, da utilizzare nelle analisi di stabilità e nei calcoli per il dimensionamento delle opere di sostegno;
- analisi di stabilità del pendio nella configurazione attuale e dopo gli interventi con valutazione dell'incremento del fattore di sicurezza, sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche;
- calcolo delle sollecitazioni agenti e relativo dimensionamento delle opere;
- definizione delle principali caratteristiche tecniche ed esecutive delle strutture di sostegno.