

PNC – PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009–2016, Sub–misura A4, "Investimenti sulla rete stradale statale"

S.S. 685 "delle Tre Valli Umbre": rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500. Stralcio di completamento: dal km 41+500 al Km 45+700

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - SIPAL - TECNIC - GDG - ICARIA - AMBIENTE

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Luca Nani
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A2445

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglino
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Gianluca De Paolis
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1344

IL DEC

Dott. Arch. Lara Eusanio
Ordine degli Architetti P.P.C. della Prov. di L'Aquila n° 859

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott.Ing. N.Granieri
Dott.Ing. V.Truffini
Dott.Ing. T.Berti Nulli
Dott.Arch. A.Bracchini
Dott.Ing. L.Nani
Dott.Ing. E.Bartolucci
Dott.Ing. L.Casavecchia
Dott.Geol. G.Cerquiglino
Dott.Ing. F.Durastanti
Dott.Ing. M.Abram
Dott.Arch. C.Presciutti
Dott. Agr. F.Berti Nulli
Geom. L.Pacioselli

MANDANTI:



Dott. Ing. A. Dipierro
Dott. Ing. S.Terreno
Dott. Ing. A.Comparato



Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. C.Consorti
Dott. Ing. S.Gervasio
Dott. Ing. S.Sacconi



Prof. Ing. S.Canale
Dott. Ing. C.Sanna
Dott. Ing. C.Nardi
Dott. Ing. F.Volonnino
Dott. Ing. M.Schinco



Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. F.Macchioni
Dott. Ing. G.Pulli
Dott. Ing. V.Piunno



Dott. Ing. F.Tamburini
Dott.Arch. J.Zaccagna
Dott.Agr. M.T. Colacresi



**02.STUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO
02.01 GEOLOGIA**

Relazione geologica e idrogeologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00-GE01-GEO-RE01-A			
PG376	F 23	T00GE01GEORE01		A	-
A	Emissione	Ott-23	F.Melchiorri	G.Cerquiglino	N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Relazione geologica e idrogeologica

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	3
3	INDAGINI ESEGUITE.....	4
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	6
4.1	DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI.....	6
4.2	DEPOSITI MARINI PELAGICI- UNITÀ DEL DOMINIO UMBRO	6
4.3	ASSETTO STRUTTURALE.....	8
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	9
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	12
6.1	DEFINIZIONE DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI	13
7	SISMICITA'	16
7.1	SISMICITA STORICA DELL'AREA DI STUDIO	16
7.2	SORGENTI SISMOGENETICHE-FAGLIE “CAPACI”.....	20
7.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	23
7.4	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA.....	27
7.5	MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO	28
7.6	SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	28
8	SOPRALLUOGHI E RILEVAMENTI GEOLOGICI E GEOLOGICO STRUTTURALI (MAGGIO 2023)	29
9	MODELLO GEOLOGICO IN ASSE TRACCIATO.....	30
9.1	TRATTO COMPRESO TRA PK 0+000 E PK 0+875	30
9.2	TRATTO COMPRESO TRA PK 0+900 E PK 0+975	32
9.3	TRATTO COMPRESO TRA PK 1+025 E PK 1+065	34

1 PREMESSA

La presente relazione descrive il contesto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del settore di territorio interessato dal Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PFTE): S.S.685 “delle Tre Valli Umbre”: rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500.

Le tematiche di carattere geologico-applicativo trattate sono utili per un inquadramento del territorio studiato. Lo studio permette di fornire un preliminare modello geologico dell’area, utile alla definizione delle possibili alternative di tracciato, evidenziando le caratteristiche ed i rapporti lito-stratigrafici delle formazioni geologiche ed il loro assetto idrogeologico e geomorfologico.

In particolare, il lavoro è stato svolto attraverso le seguenti fasi:

- acquisizione ed analisi della documentazione bibliografica disponibile (cartografie tematiche e di pianificazione del territorio a piccola scala: carte geologiche e idrogeologiche della Regione Umbria, CARG; PAI, IFFI);
- studi foto-interpretativi condotti su orto-foto;
rilievi geologici e geologico strutturali di campo;
- acquisizione ed analisi delle indagini geognostiche disponibili realizzate in prossimità dell’area di interesse progettuale;
- elaborazione ed analisi delle indagini geognostiche eseguite a corredo della progettazione nel mese di Giugno 2023;
- ricerca dati sulla sismicità dell’area di progetto con indicazione della relativa classificazione.

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La redazione della seguente relazione è stata eseguita nel rispetto delle normative vigenti in materia di progettazione antisismica e di diverse raccomandazioni tecniche, tra cui:

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) "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".
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale).
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Delibera di giunta Regionale Umbria n. 852 del 18/06/2003 " Approvazione della classificazione sismica del territorio regionale dell'Umbria ".
- OPCM n.3316 del 02.10.2003 recante modifiche e integrazioni dell'OPCM n. 3274
- OPCM n.3431 del 03.05.2005, Norme Tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.
- O.P.C.M. 3519 del 2006 Nuova Ordinanza (OPCM 3519/2006) ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale, e ha definito i criteri che le Regioni devono seguire per aggiornare le afferenze dei Comuni alle 4 zone sismiche;
- Gruppo di lavoro MS (2008). Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, Dipartimento della protezione civile, Roma;
- DM 14/gennaio /2008 contenente le Norme tecniche per le costruzioni di cui escono le istruzioni in data 02 febbraio 2008
- O.P.C.M. 13/11/2010 n. 3907: "Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico";
- NTC 2018 – DM 08/2018 Decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n. 8/2018 " Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni " entrato in vigore il 22 marzo 2018 che ha leggermente modificato le categorie di suolo e di cui in data 21 gennaio 2019 sono state pubblicate le istruzioni per l'applicazione;
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 pubblicate sul Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale, n. 42 del 20 febbraio 2018.

3 INDAGINI ESEGUITE

Il presente lavoro è basato su una preliminare attività di ricerca e studio di tipo bibliografico, seguito da rilevamenti geologici e geomorfologici effettuati in sito integrati con i risultati di una campagna di indagini geognostiche.

L'ubicazione di dettaglio delle indagini è riportata sulle specifiche planimetrie di ubicazione indagini e sulle carte geologiche, mentre per il dettaglio dei risultati si rimanda agli allegati redatti dalle ditte esecutrici.

La campagna è stata eseguita nell'anno 2023 dalla ditta CAM PERFORAZIONI Srl:

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino a profondità variabile da m 20 m a m 25;
- n. 1 sondaggio a distruzione di nucleo spinto fino alla profondità di mt 13;
- n. 12 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT;
- prelievo in sondaggio di n.1 campione indisturbato, n.15 campioni rimaneggiati e n. 6 campioni rimaneggiati ambientali;
- prelievo in pozzetto di n. 8 campioni ambientali;
- n. 2 piezometri a tubo aperto nei fori dei sondaggi S2 ed S4;
- n. 1 prove Down Hole nel foro del sondaggio S3;
- n. 2 pozzetti geognostici;
- n. 3 stendimenti di tomografia sismica a rifrazione;
- n. 2 prospezioni MASW;
- Prove di laboratorio ed analisi chimiche sui campioni prelevati nei sondaggi e nei pozzetti.

Nelle tabelle che seguono si riassume il dettaglio dei sondaggi e delle prove in foro eseguite.

SONDAGGIO	PROF. (m)	CAMPIONI RIMANEGGIATI AMBIENTALI INDISTURBATI	SPT	Campioni H2O	FORO ATTREZZATO
S1	25	5/0/0	4	--	--
S2 (distruzione)	13	0/0/0	0	2	Piezometro
S3	20	5/6/1	4	--	Down hole
S4	25	5/0/0	4	--	Piezometro

SONDAGGIO	PROF. (m)	CAMPIONI AMBIENTALI
PZA1	2	4
PZA2	2	4

TOMOGRAFIA SISMICA	LUNGHEZZA (m)	Geofoni	Interdistanza
TS1	105	22	5
TS2	120	24	5
TS3	105	22	5

Relazione geologica e idrogeologica

MASW	LUNGHEZZA (m)	Geofoni	Interdistanza
MASW 1	46	24	2
MASW 2	46	24	2

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico il territorio in cui ricade il tracciato stradale oggetto di intervento è costituito da unità riferibili alla porzione superiore della successione del bacino umbro-marchigiano, successione stratigrafica marina di età mesozoica e terziaria che caratterizza l'intero settore meridionale dell'Appennino umbro-marchigiano.

In particolare nell'area di progetto affiorano sedimenti pelagici, con caratteristiche omogenee, depositatisi dal Giurassico superiore al Paleogene, piegati e sollevati durante la formazione della catena appenninica.

Posti in discordanza sui depositi marini sono presenti depositi continentali pleistocenici, costituiti prevalentemente da alluvioni recenti, detriti di falda e corpi di frana.

Di seguito si descrivono le unità litostratigrafiche individuate nell'area oggetto di studio e nel suo immediato intorno. Tali dati sono utili ai fini di una caratterizzazione geologica avente lo scopo di definire il quadro di riferimento progettuale delle opere.

4.1 DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

- **(F)** Depositi di frana [Pleistocene – Olocene]: Depositi gravitativi, detritici, in assetto caotico, con clasti eterometrici a spigoli vivi.
- **(a3a)** Detriti di falda [Pleistocene superiore – Olocene]: Depositi gravitativi, a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici. Clasti a spigoli vivi in accumuli massivi.
- **(all)** Depositi alluvionali recenti e attuali [Pleistocene – Olocene]: Depositi alluvionali recenti ed attuali in rapporto con la morfologia attuale. Ghiaie e ghiaie sabbiose, sabbie e sabbie limose, limi argillosi fino ad argille.
- **(Trav)** Travertini [Pleistocene – Olocene]: Travertini litoidi, massivi, travertini fitoclastici. Derivanti dalla precipitazione di carbonato di calcio da sorgenti termali per evaporazione dell'anidride carbonica, i travertini poggiano sul substrato carbonatico o con i depositi continentali più antichi, rappresentati da un conglomerato fluviale di base.

4.2 DEPOSITI MARINI PELAGICI- UNITÀ DEL DOMINIO UMBRO

- **(VAS)** Scaglia Variegata [Eocene medio - Eocene superiore]: Calcari marnosi rossi e grigio verdi in strati sottili (2-20 cm) alternati a marne e marne argillose rosse e grigio-verdi. Passaggio alla sottostante Scaglia Rossa abbastanza graduale, con diminuzione progressiva della componente pelitica. Lo spessore dell'unità raggiunge circa 40-70 m.
- **(SAA)** Scaglia Rossa [Turoniano inferiore - Eocene medio]: Rappresenta la formazione rocciosa intercettata dal tracciato in allargamento e di stretto interesse progettuale. Costituita da calcari micritici di colore rosa, più raramente biancastri, alternati a interstrati pelitici molto sottili, calcari marnosi e marne di colore variabile da rosa a rosso scuro, con selce in noduli o liste generalmente di colore rosso o rosa, ben stratificati. La base dell'unità, ossia la porzione cretacea, è quasi esclusivamente calcarea e caratterizzata da strati più spessi (10-40 cm); la parte alta dell'unità, porzione paleogenica, è caratterizzata da strati più sottili, marcata da intercalazioni marnoso-argillose. Sono inoltre presenti livelli calcarenitici di colore grigio-bianco, talvolta laminati, di spessore metrico. La potenza della formazione è di circa 100 m.
- **(SBI)** Scaglia Bianca [Albiano superiore - Turoniano inferiore]: Calcari micritici bianchi o grigio chiaro a stratificazione sottile (5-20 cm), con abbondanti lenti e liste di selce bruna, grigio scura o nera, più raramente rosata. Sono presenti intercalazioni calcarenitiche bianche, per lo più a laminazione piano-parallela. La potenza dell'unità, nel settore studiato, varia mediamente tra 20 e 40 m.

Relazione geologica e idrogeologica

- **(FUC)** Marne a Fucoidi [Aptiano inferiore - Albiano superiore]: Alternanza di marne calcaree marroncine sottilmente stratificate (10-30 cm) ricche di impronte organiche, con marne più o meno argillose di colore da violetto a rossiccio, verde, giallo fino a marrone e con livelli a marne e argilliti nere. Passaggio graduale alla sottostante Maiolica. La potenza della formazione non supera i 50 m.
- **(MAI)** Maiolica [Titoniano inferiore - Aptiano inferiore]: Calcari micritici fini bianchi, grigi chiari, a frattura concoide, in strati regolari da sottili a medi (20-50 cm), contenenti liste e noduli di selce bruna, grigia e nera. Nella parte alta sono presenti sottili intercalazioni argillose nere. La potenza della formazione è di circa 130 m.

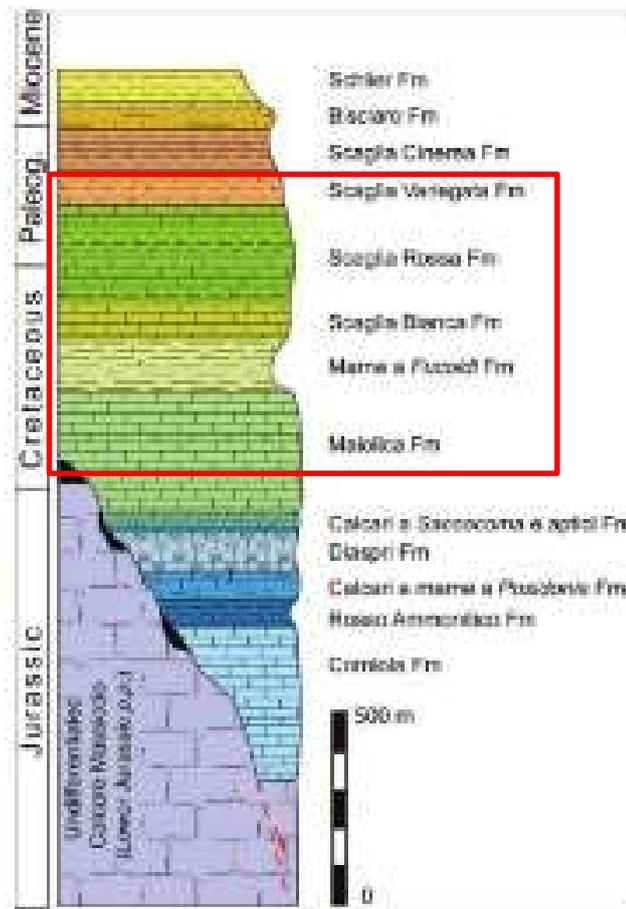


Figura 1 – Colonna stratigrafica della Successione Umbro-Marchigiana con le Formazioni dell’era mesozoica e dell’era cenozoica (Lazzarotto, 2000). In evidenza la porzione di successione affiorante nell’intorno dell’opera in progetto.

4.3 ASSETTO STRUTTURALE

Nel corso della sua evoluzione, la strutturazione della catena umbro-marchigiana avviene a partire dal Miocene medio, nei settori più interni, migrando successivamente verso E, fino all'avampaese Adriatico. Il grosso delle deformazioni compressive si colloca tra il Tortoniano ed il Pliocene inferiore.

Lo stile strutturale è quello caratteristico del settore meridionale dell'Appennino umbro-marchigiano. Durante le fasi compressive, si sono generate nell'ordine:

- pieghe anticlinali e sinclinali;
- sovrascorrimenti;
- faglie trascorrenti e traspressive.

Le anticlinali umbro-marchigiane (pieghe a scatola con fianchi molto ripidi e zona sommitale appiattita, debolmente immergente verso W, con lunghezze d'onda di 5-7 km) sono ben rappresentate, anche se la intensità delle deformazioni successive (sovrascorrimenti a basso angolo, faglie trascorrenti e traspressive, faglie dirette recenti) le rende meno evidenti di quelle affioranti nell'Appennino umbro-marchigiano settentrionale.

Oltre alle anticlinali maggiori si hanno strutture a lunghezza d'onda minore (centinaia di metri), scollate in genere in corrispondenza delle marne a fuocidi, diffuse nelle zone di sinclinale del F. Nera.

Sinclinali strette ed allungate separano le anticlinali. I nuclei delle sinclinali più importanti e profonde sono segnalati dall'affioramento delle formazioni marnose della scaglia variegata e della scaglia cinerea e, più raramente, dal bisciaro.

Faglie dirette orientate NE-SW dislocano la sinclinale della Valnerina in tutta la porzione centro-settentrionale, dove sono presenti anche faglie trascorrenti di limitata estensione.

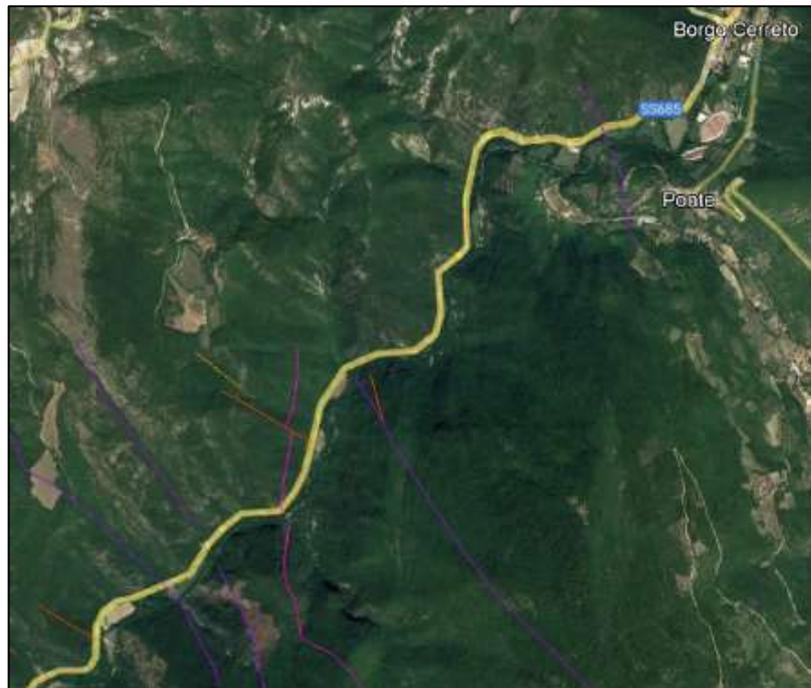


Figura 2 – Principali elementi tettonici riconosciuti nell'area di studio (Banca dati del Servizio Geologico e Sismico Regionale – Regione Umbria). In viola: faglia normale, in rosa: faglia inversa/sovrascorrimento; in arancione: faglie presunte

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico dell'area deriva dall'intensa attività tettonica appenninica che ha fortemente condizionato la geometria dei versanti montuosi e condizionato lo sviluppo dei processi di erosione, subordinati alla natura dei litotipi affioranti ed al differente grado di alterazione e fratturazione presente che, unitamente alla presenza delle lineazioni tettoniche, hanno condizionato anche la distribuzione dell'idrografia superficiale.

Il tracciato stradale in oggetto si trova nella porzione mediana della Valnerina, attraversata dal Fiume Nera che scorre con andamento generale da NNE verso SSW. In questo tratto la valle risulta profondamente incisa.

Lungo la valle, nel tratto d'interesse, sono presenti numerosi impluvi e torrenti con andamento circa perpendicolare al corso del fiume Nera, allineati conformemente alle numerose faglie dirette e trascorrenti che presentano un andamento circa NO-SE o NNO-SSE.

I torrenti e gli impluvi presentano, nella loro porzione di raccordo alla piana alluvionale, conoidi alluvionali e coni di detrito abbondantemente sviluppati, che in parte occupano anche l'area di piana.

I rilievi di elevati massicci montuosi bordano la valle in oggetto con quote massime comprese tra i 700-950 m s.l.m., presentando versanti con pendenze elevate e caratterizzati dalla presenza di diffuse coperture detritiche e di numerosi fenomeni gravitativi.

Dalla consultazione delle cartografie a piccola scala del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (ex Autorità di Bacino del Fiume Tevere - Figura 3) e Progetto IFFI Inventario Fenomeni Franosi d'Italia di Ispra-SNPA (Figura 4), relativamente all'assetto idrogeologico per il rischio frane nell'area di intervento, si individuano numerosi e differenti fenomeni prevalentemente di crollo e caduta di blocchi.

Di seguito si riportano gli stralci cartografici relativi alle banche dati sopra menzionate.

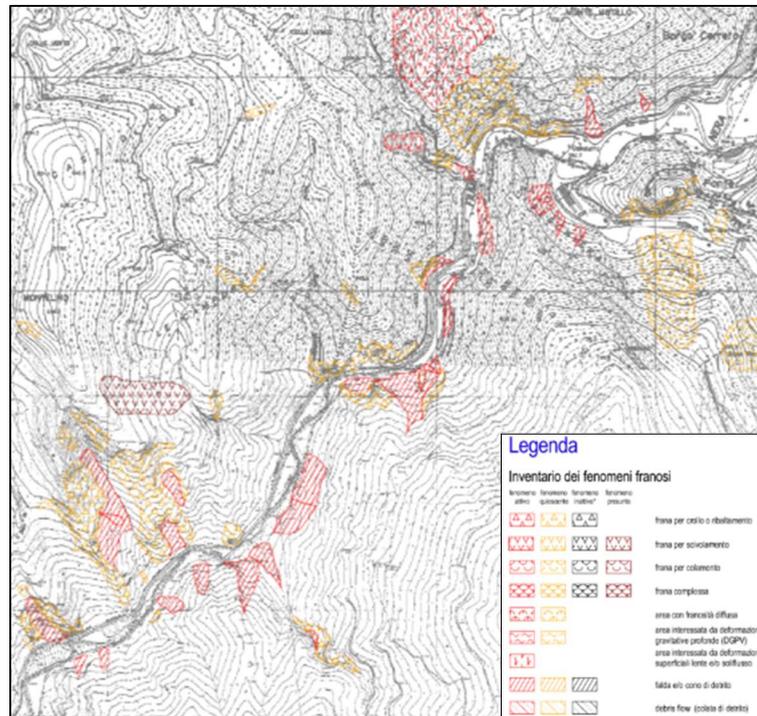


Figura 3 – Estratto della carta "Inventario dei fenomeni franosi e situazioni di rischio frana" edita dal PAI Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale.

Relazione geologica e idrogeologica

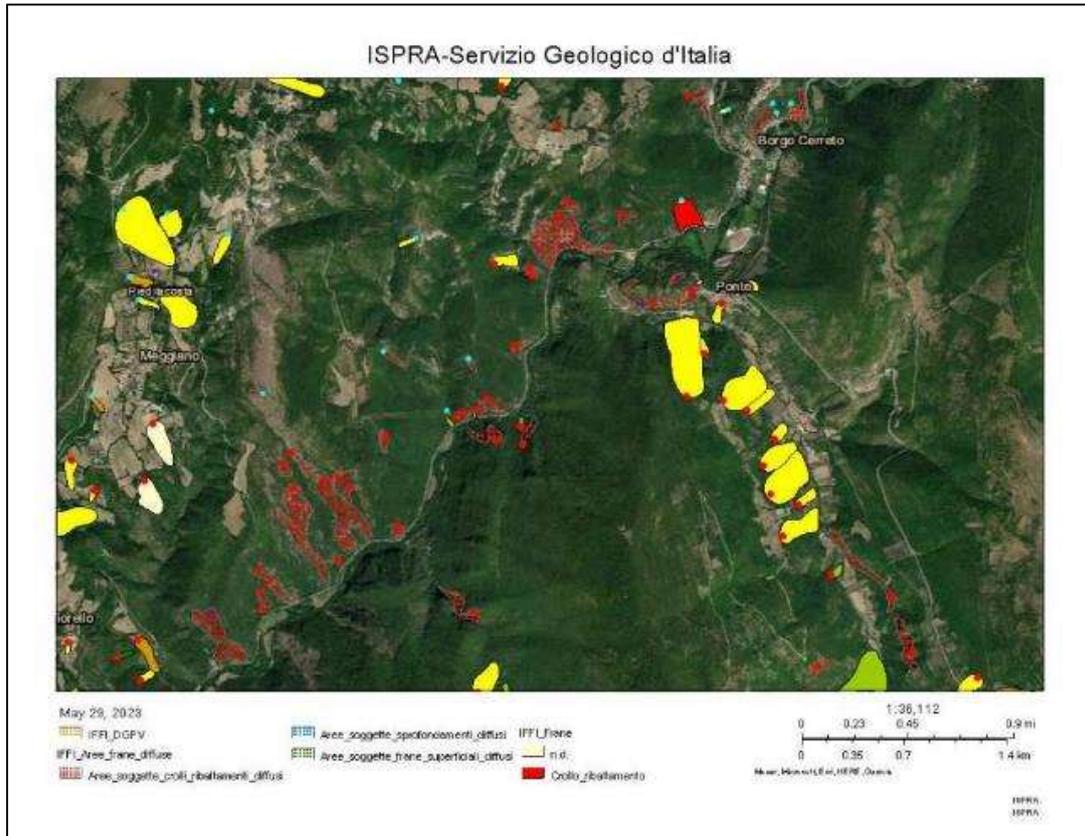


Figura 4 – Estratto cartografico: Inventario Fenomeni Franosì d'Italia (IFFI) – (ISPRA –SNPA).

Si riportano nella seguente tabella i fenomeni gravitativi che interessano il tracciato in progetto, numerati in ordine crescente a partire da inizio lotto.

Relazione geologica e idrogeologica

Id progetto	Id PAI	Id IFFI	pk approssimativa da [m] a [m]		Tipologia dissesto	Stato di attività	Classe di rischio
1			-0+025	0+300	Detrito di falda	-	
2	3360216	0542512900	0+025	0+100	Crollo- Ribaltamento	Quiescente	
3			0+425	0+875	Detrito di falda	-	
4	3360155		0+900	0+975	Crollo- Ribaltamento	Quiescente	
5			1+025	1+065	Detrito di falda	-	
6			1+141	1+166	Detrito di falda	-	
7			1+235	1+280	Detrito di falda	-	
8			1+430	1+530	Detrito di falda	-	
9			1+635	1+715	Detrito di falda	-	
10			1+760	2+119	Detrito di falda		
11	3360025	0540341700	1+982	2+001	Colamento	Quiescente	
12			2+240	2+325	Detrito di falda		
13			2+375	2+430	Detrito di falda	-	
14			2+480	2+590	Detrito di falda	-	
15			2+610	2+800	Detrito di falda	-	
16			3+135	3+250	Detrito di falda	-	
17	4004063	0540341100	3+325	3+850	Crollo- Ribaltamento	Quiescente	
18			3+950	4+025	Detrito di falda		
19			4+175	4+225	Detrito di falda		

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Lo studio idrogeologico condotto nella presente fase di progettazione fornisce una ricostruzione preliminare dello scenario idrogeologico lungo il tracciato di progetto, permettendo la definizione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area.

Il modello idrogeologico dell'area di progetto deriva in particolare:

- dallo studio geologico e geologico-strutturale;
- dalle informazioni idrogeologiche di letteratura disponibili;
- dall'integrazione dei dati delle indagini geognostiche pregresse disponibili sul portale della Regione Umbria (Banca dati del Servizio Geologico e Sismico Regionale).

Come in precedenza accennato, nell'area d'interesse progettuale affiora una porzione della tipica serie umbro-marchigiana, costituita da una successione sedimentaria sottilmente stratificata di ambiente pelagico, a sua volta deformata dalle fasi tettoniche successive che hanno portato all'attuale assetto strutturale, complesso ed articolato.

Queste fasi tettoniche hanno apportato elementi strutturali al territorio che giocano un ruolo determinante nell'assetto idrogeologico-strutturale ed in particolare nella delimitazione dei grandi acquiferi regionali e nella circolazione delle acque sotterranee, che si sviluppa sia secondo direttrici parallele ai più importanti elementi strutturali sia trasversalmente al loro asse.

I rapporti stratigrafici e le caratteristiche strutturali del dominio umbro-marchigiano hanno dato origine ad un assetto idrogeologico regionale caratterizzato dall'esistenza di acquiferi separati, variamente articolati, con possibili reciproche interconnessioni idrauliche locali.

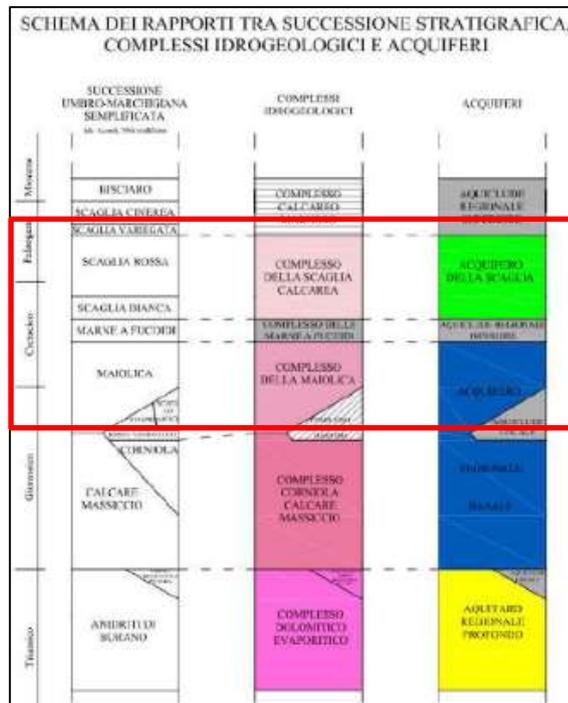


Figura 5 – Schema dei rapporti fra successione stratigrafica umbro-marchigiana, complessi idrogeologici e acquiferi (da Boni & Petitta, 2007, Mastrorillo et al., 2009 e Boni et al., 2010). Nel riquadro rosso sono evidenziate le unità ed i complessi idrogeologici afferenti all'area in studio.

Relazione geologica e idrogeologica

Nell'area di interesse progettuale la circolazione idrica presente è riconducibile al modello esposto nella figura sopra riportata.

6.1 DEFINIZIONE DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Sulla base dei dati geologico-strutturali ed idrogeologici è stato possibile definire cinque complessi idrogeologici, distinti sulla base delle diverse caratteristiche litologiche delle formazioni, delle differenti caratteristiche di permeabilità, in base al tipo e al grado di circolazione idrica che li caratterizza. I complessi sono descritti seguendo uno schema basato sull'assetto geologico e litologico dell'area in esame.

L'area in esame risulta infatti caratterizzata da formazioni che presentano condizioni di permeabilità differenti, sia in relazione alla varietà dei termini costituenti la successione stratigrafica sia alla frequente variabilità degli aspetti litologici e strutturali riscontrabili all'interno delle singole unità che compongono tale successione.

Le ben note formazioni della successione umbro-marchigiana, intensamente corrugate dall'orogenesi appenninica, ed i "terreni" quaternari, riscontrati lungo il tracciato sono stati raggruppati nei diversi complessi idrogeologici descritti nel seguito:

- Complesso idrogeologico dei depositi alluvionali, travertinosi e gravitativi (CI-AG)

Questo complesso comprende i depositi alluvionali torrentizi, di conoide, di debris flow, i depositi di versante e dei travertini. Caratterizzato da corpi ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-limosi permeabili, con intercalate lenti, di estensione e spessore variabili, argilloso-limose e sabbioso-limose.

L'acquifero principale è sempre in collegamento con l'asta fluviale e la sua ricarica può avvenire dalla superficie o da contributi sotterranei provenienti dagli acquiferi calcarei adiacenti.

La permeabilità di questo complesso è di tipo primario per porosità.

Per questo complesso, in assenza di prove specifiche ed in via preliminare, sulla scorta di conoscenze bibliografiche pregresse sviluppate dall'analisi di litologie simili ricadenti in contesti geologici analoghi, si stima un coefficiente di permeabilità k variabile tra 10^{-5} e 10^{-3} m/s.

- Complesso idrogeologico a prevalente componente calcareo marnosa (CI-CM)

Il complesso, costituito da marne, marne argillose, marne calcaree per uno spessore variabile tra 80 e 100 m circa, è caratterizzato da permeabilità di tipo misto primaria (per porosità) e secondaria (per fratturazione).

Per questo complesso, in assenza di prove specifiche ed in via preliminare, sulla scorta di conoscenze bibliografiche pregresse sviluppate dall'analisi di litologie simili ricadenti in contesti geologici analoghi, si stima un coefficiente di permeabilità k variabile tra 10^{-9} e 10^{-6} m/s.

- Complesso idrogeologico a prevalente componente calcarea - scaglia (CI-C)

Il complesso è costituito da formazioni per lo più calcaree della Scaglia Rossa e bianca (spessore 140 m circa) ed è delimitato al tetto dal Complesso acquicludente della Scaglia Variegata e al letto da quello delle Marne a Fucoidi. Il complesso è quindi costituito da calcari micritici alternati a interstrati pelitici molto sottili, calcari marnosi e marne e da calcilutiti a stratificazione medio sottile (10-40 cm).

Il complesso acquifero è caratterizzato da valori di permeabilità secondaria bassa derivanti dalla fratturazione pervasiva e da rari e localizzati fenomeni di carsismo, riscontrabili nelle formazioni a maggior contenuto calcareo (Scaglia Rossa).

Per questo complesso, in assenza di prove specifiche ed in via preliminare, sulla scorta di conoscenze bibliografiche pregresse sviluppate dall'analisi di litologie simili ricadenti in contesti geologici analoghi, si stima un coefficiente di permeabilità k variabile tra 10^{-7} e 10^{-6} m/s.

Relazione geologica e idrogeologica

- Complesso idrogeologico delle marne a fucoidi (acquiclude) (CI-MF)

Si tratta di un livello acquicluda a scala regionale (data la sua continuità stratigrafica), costituito da alternanze di strati sottili di marne, marne argillose calcaree e calcari marnosi costituenti la formazione delle marne a fucoidi; solamente la porzione superiore del litotipo è più francamente calcarea. Tale formazione rappresenta il livello di separazione fra il complesso acquifero della Scaglia (CI-C) e il sottostante acquifero della Maiolica (CI-M).

La permeabilità, da bassa a molto bassa, è di tipo misto, ossia primario per porosità e secondario per fratturazione.

Per questo complesso, in assenza di prove specifiche ed in via preliminare, sulla scorta di conoscenze bibliografiche pregresse sviluppate dall'analisi di litologie simili ricadenti in contesti geologici analoghi, si stima un coefficiente di permeabilità k variabile tra 10^{-9} e 10^{-6} m/s.

La potenza di questo complesso nell'area studiata è ridotta, circa 50 m.

- Complesso idrogeologico della maiolica (CI-M)

Questo complesso idrogeologico, sede di un acquifero profondo, comprende la formazione della maiolica, rappresentata da rocce calcaree, nello specifico calcari micritici a grana fine, organizzati in strati regolari di ridotto spessore (da 10 a 50 cm), con presenza locale di sottili interstrati argillosi.

Questo complesso, delimitato a tetto dall'acquicluda delle marne a fucoidi (CI-MF), è caratterizzato da permeabilità da bassa a media e può ospitare un acquifero indipendente, o può trovarsi in continuità idraulica, con i sottostanti acquiferi riferibili alle formazioni non affioranti nell'area (acquifero di base della formazione calcareo massiccio).

La permeabilità, di tipo secondario, sia per fratturazione sia per locali fenomeni di dissoluzione carsica, è variabile in funzione del grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, della persistenza del sistema di fratture e dell'apertura e riempimenti dei giunti o da locali fenomeni di dissoluzione delle componenti carbonatiche.

Per questo complesso, in assenza di prove specifiche ed in via preliminare, sulla scorta di conoscenze bibliografiche pregresse sviluppate dall'analisi di litologie simili ricadenti in contesti geologici analoghi, si stima un coefficiente di permeabilità k variabile tra 10^{-7} e 10^{-5} m/s.

La potenza di questo complesso, nell'area studiata, può raggiungere i 130 m di potenza.

Nella tabella seguente si riportano i complessi idrogeologici individuati e di seguito richiamati, con indicazione dei valori di permeabilità attribuiti.

Relazione geologica e idrogeologica

COMPLESSO IDROGEOLOGICO Descrizione		UNITÀ GEOLOGICA	UNITÀ GEOTECNICA	TIPOLOGIA DI PERMEABILITÀ			GRADO DI PERMEABILITÀ [m/s]												
				Permeabilità primaria	Permeabilità secondaria		10 ⁻⁹	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻³									
				Porosità	Fessurazione	Carsismo	Impermeabile	Molto basso	Basso	Medio	Alto								
CI-CM	Complesso idrogeologico a prevalente componente calcareo-marnosa-scaglia variegata (aquiclude) Marne, marne argillose, marne calcaree	VAS	-					10 ⁻⁹											
CI-C	Complesso idrogeologico a prevalente componente calcarea-scaglia Calcari micritici, calcilutiti, calcareniti	SAA, SBI																	
CI-MF	Complesso idrogeologico delle marne a fucoidi (aquiclude) Marne, marne argillose calcaree e calcari marnosi	FUC	-																
CI-M	Complesso idrogeologico della maiolica Calcari micritici a grana fine	MAI	-																
CI-AG	Complesso idrogeologico dei depositi alluvionali, travertinosi e gravitativi Il complesso comprende i depositi alluvionali torrentizi, di conoide, di debris flow e i depositi di versante. Caratterizzato da corpi ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-limosi permeabili, con intercalate lenti, di estensione e spessore variabili, argilloso-limose e sabbioso-limose.	F, b ₂ , a _{3a} , all, Trav																	
		Intervallo di riferimento																	

7 SISMICITA'

7.1 Sismicità storica dell'area di studio

La sismicità dell'area di progetto è di livello molto alto sia in termini di intensità che di frequenza dei terremoti. Il tracciato di progetto ricade nei territori dei comuni di Vallo di Nera e Cerreto di Spoleto.

Da evidenziare gli eventi sismici che hanno colpito il centro Italia negli anni 2016 e 2017 con epicentri situati fra l'alta valle del Tronto, i Monti Sibillini, i Monti della Laga e i monti dell'Alto Aterno e magnitudo massima di 6,5 raggiunta dalla scossa del 30 ottobre 2016.

Nelle figure di pagina seguente (Figura 6 - Figura 7) sono stati riportati gli effetti risentiti nei territori dei due comuni così come estratti dal DBMI15, il Database delle Osservazioni Macrosismiche dei Terremoti Italiani utilizzate per la compilazione del Catalogo Parametrico CPTI15, integrati con i due importanti mainshock più recenti (Galli P., Castenetto S. & Peronace E. (2017). The macroseismic intensity distribution of the 30 October 2016 earthquake in central Italy (Mw 6.6): Seismotectonic implications. *Tectonics*, 36).

I dati evidenziano i risentimenti MCS valutati nella località di Vallo di Nera, dalla quale si evince che la massima intensità storica è riferibile agli eventi della Valnerina del 1979 in occasione del quale è stata stimata una intensità pari al VII grado MCS che, come noto, ha comportato gravi danni di tipo strutturale agli edifici. Per quanto riguarda il comune di Cerreto di Spoleto si evince che la massima intensità storica è riferibile agli eventi della Valnerina del 1328 e del 1703 per i quali è stata stimata una intensità pari al IX grado MCS che, come noto, ha comportato gravi danni di tipo strutturale agli edifici.

Sono riportati i grafici che evidenziano la distribuzione delle Intensità risentite al sito (I_s) dei terremoti verificatesi nei comuni di Vallo di Nera e Cerreto di Spoleto dal 1000 al 2002.

La sismicità storica dell'Appennino Umbro Marchigiano in generale, presenta delle caratteristiche ben note, sulla base dei dati registrati sul Catalogo dei Terremoti (Figura 8 - Figura 9 - Figura 10), a partire dall'inizio secolo scorso in base alle ricerche sulla zonazione sismogenetica, dagli studi delle relazioni di attenuazione del moto del suolo (microzonazione sismica) e dalle valutazioni di a_{max} (accelerazione massima attesa), con determinati tempi di ritorno. Di seguito viene anche descritta la sismicità storica delle aree circostanti.

La distribuzione dei sismi è conseguente alla disposizione delle zone sismogenetiche ed alle loro caratteristiche geologico-strutturali. Dal Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) dell'INGV-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>), è consultabile la storia sismica dei comuni di Vallo di Nera e Cerreto di Spoleto con eventi a partire dall'anno 1000.

Relazione geologica e idrogeologica

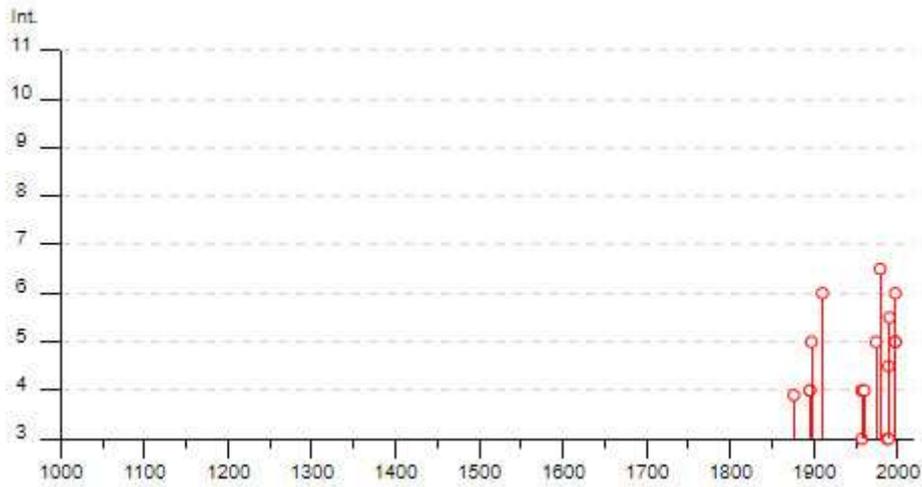


Figura 6 – Storia sismica del comune di Vallo di Nera– DBMI15 – INGV.

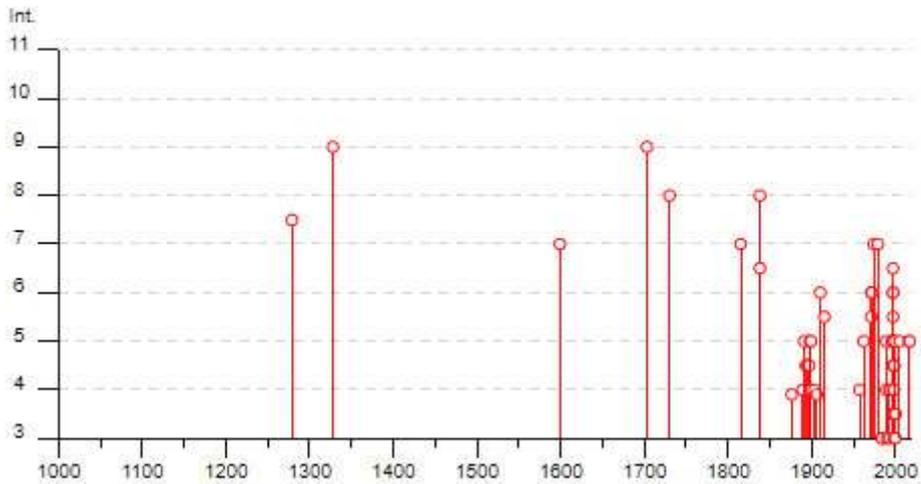


Figura 7 – Storia sismica del comune di Cerreto di Spoleto – DBMI15 – INGV.

Relazione geologica e idrogeologica

Effects		Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw	
F	1876	05	22	00	30		Spoletto	14	5-6	4.57	
4	1895	05	20	15	32	5	Valle Umbra	27	5-6	4.49	
4	1895	08	25	00	17	1	Sellano	13	5	4.25	
5	1897	01	19	19	20		Poggiodomo	19	6	4.68	
NF	1898	09	12	14	14	1	Valnerina	16	8	5.48	
NF	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34	
NF	1910	03	06	22	22		Monti Reatini	15	4-5	3.93	
6	1910	06	29	13	52		Valnerina	58	7	4.93	
3	1957	03	12	16	20		Valnerina	62	5	4.16	
4	1957	07	19	09	04	0	Valle Umbra	58	6-7	4.58	
4	1958	05	08	00	13	2	Valnerina	17	5	4.25	
4	1960	03	16	01	52	4	Monti della Laga	81	5	4.44	
2	1960	04	23	11	44		Monti Martani	21	6	4.66	
5	1974	12	02	01	55	1	Valnerina	27	7-8	4.58	
6-7	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83	
3	1987	07	03	10	21	5	Costa Marchigiana	359	7	5.06	
3	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	
5-6	1990	09	12	02	59	4	Valle Umbra	62	5-6	4.12	
NF	1994	06	02	17	38	1	Aquilano	106	5	4.21	
5	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66	
5	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97	
6	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62	

Figura 8 – Catalogo sismico di sito del comune di Vallo di Nera. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2015. (Io=intensità epicentrale; Mw= magnitudo; Is= intensità risentita al sito). (DBMI15)

Relazione geologica e idrogeologica

Effects		Reported earthquakes								
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7-8	1279	04	30	18			Appennino umbro-marchigiano	17	9	6.20
9	1328	12	01				Valnerina	13	10	6.49
7	1899	11	06	01	25		Valnerina	20	9	6.07
9	1703	01	14	18			Valnerina	197	11	6.92
8	1730	05	12	05			Valnerina	115	9	6.04
7	1815	09	03	23			Valnerina	24	8	5.58
8	1838	02	14	07	30		Valnerina	24	8	5.48
6-7	1838	08	05	17	15		Valnerina	10	7	5.19
F	1876	05	22	00	30		Spoletto	14	5-6	4.57
4	1889	11	28	19	10		Monti Sibillini	10	4-5	4.19
5	1891	07	14	05	58		Trevi	9	5	4.16
NF	1892	01	22				Colli Albani	81	7	5.14
4-5	1893	08	02	00	59		Valnerina	84	5-6	4.55
4-5	1895	08	25	00	17	1	Sellano	13	5	4.25
4-5	1897	01	19	19	20		Poggiodomo	19	6	4.68
4	1898	06	27	23	38		Reatino	186	8	5.50
5	1898	08	25	16	37	4	Valnerina	67	7	5.03
5	1899	02	07	12	35	3	Appennino umbro-marchigiano	49	4	4.04
4	1899	04	21	00	57	5	Narni	45	4	3.96
4	1903	11	02	21	52		Valnerina	33	6	4.81
2-3	1904	06	20	01	24		Assisi	24	5	4.10
F	1906	02	05	16	34		Valnerina	55	5	4.41
NF	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
6	1910	06	29	13	52		Valnerina	58	7	4.93
5-6	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
NF	1915	03	15	11	23		Alta Valle del Chienti	24	7	4.97
4	1957	07	19	09	04	0	Valle Umbra	58	6-7	4.58
5	1962	08	30	12	10		Valnerina	35	7	5.02
6	1971	04	02	01	43	5	Valnerina	68	6	4.50
5-6	1971	10	04	16	43	3	Valnerina	43	5-6	4.51
6	1972	11	26	16	03		Marche meridionali	73	8	5.48
7	1974	12	02	01	55	1	Valnerina	27	7-8	4.58
7	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83
NF	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
3	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
3	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
5	1989	11	19	03	40	2	Valnerina	38	5	4.13
4	1989	12	22	06	48	1	Valle Umbra	114	5	4.44
3	1990	09	12	02	59	4	Valle Umbra	62	5-6	4.12
4	1993	06	04	21	36	5	Valle del Topino	90	5-6	4.39
3	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6	4.72
5	1996	10	20	19	06	5	Appennino laziale-abruzzese	100	5	4.36

Figura 9 – Catalogo sismico di sito del comune di Cerreto di Spoleto. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2015. (Io=intensità epicentrale; Mw= magnitudo; Is= intensità risentita al sito). (DBMI15).

Relazione geologica e idrogeologica

2	1997 07 16 08 51 1	Appennino umbro-marchigiano	22	4-5	3.34
3-4	1997 09 07 23 28 0	Appennino umbro-marchigiano	57	5-6	4.13
3-4	1997 09 09 16 54 4	Appennino umbro-marchigiano	39	5-6	3.78
3-4	1997 09 10 06 46 5	Appennino umbro-marchigiano	47	5	3.85
6	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
5	1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
5-6	1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
6-7	1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786		5.62
4	1997 10 23 08 58 4	Appennino umbro-marchigiano	56		3.86
5	1997 11 09 19 07 3	Valnerina	180		4.87
4-5	1998 02 07 00 59 4	Appennino umbro-marchigiano	62		4.41
4-5	1998 02 16 13 45 1	Valnerina	33		3.75
4-5	1998 03 21 16 45 0	Appennino umbro-marchigiano	141		5.00
4-5	1998 03 26 16 26 1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
4	1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
3-4	1998 06 02 23 11 2	Appennino umbro-marchigiano	83		4.25
3	1998 08 15 05 18 0	Reatino	233	5-6	4.42
3-4	1999 10 10 15 38 5	Alto Reatino	79	4-5	4.21
5	1999 11 29 03 20 3	Monti della Laga	62	5-6	4.15
3-4	2000 09 02 05 17 0	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4.40
2	2000 10 24 07 52 2	Monti Sibillini	65	5	4.11
3	2000 12 16 07 31 0	Ternano	129	5-6	4.29
NF	2004 12 09 02 44 2	Teramano	213	5	4.09
NF	2005 04 12 00 31 5	Maceratese	131	4	3.74
5	2005 12 15 13 28 3	Val Nerina	350	5	4.14
2	2006 04 10 19 03 3	Maceratese	211	5	4.06
2	2006 10 21 07 04 1	Anconetano	287	5	4.21
5	2016 10 30 06 40 1	Valnerina	379		6.61
5	2017 01 18 10 14 0	Aquilano	280		5.70

Figura 10 – Catalogo sismico di sito del comune di Cerreto di Spoleto. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2015. (I0=intensità epicentrale; Mw= magnitudo; Is= intensità risentita al sito). (DBMI15)

7.2 Sorgenti sismogenetiche-faglie “capaci”

Per quanto riguarda le faglie attive in generale, cioè quelle strutture che possono generare eventi sismici di significativa entità, il riferimento ufficiale è il DISS (Database of Individual Seismogenetic Sources) che è una banca dati continuamente aggiornata, a cura dell'INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia). Le faglie si possono raggruppare in diversi sistemi o “fasce”, che hanno prevalente direzione NNW-SSE, cioè “d. appenninica”, con sviluppo fino a 30-40 km di lunghezza.

Il DISS, consultabile online, fornisce una rappresentazione cartografica della presenza di faglie considerate attive allo stato attuale nell'area d'interesse; inoltre può essere interrogato per dare informazioni sulle varie sorgenti sismogenetiche.

Relazione geologica e idrogeologica

Nella rappresentazione, le sorgenti sismogenetiche sono distinte in:

- IS (individual source): sorgente sismogenetica individuale; in pratica, una singola faglia con un set di parametri ben definiti (direzione, immersione, inclinazione, lunghezza, velocità di deformazione, deformazione attesa per singolo evento e magnitudo attesa).
- CS (composite source): sorgente sismogenetica composita; struttura ipotizzata in base a dati geologici, costituita da diverse linee di faglia o comunque una fascia all'interno della quale possono generarsi sismi che, pur non essendo originati dalla medesima faglia, sono collegati ed interdipendenti; in genere, una CS include diverse IS catalogate.
- DS (debated source): sorgente sismogenetica dibattuta, ovvero faglie attive che sono state proposte in letteratura come potenziali sorgenti sismogenetiche, ma che non sono considerate ancora abbastanza "sicure" (ad esempio: faglie con scarsa evidenza in superficie documentata; faglie basate su evidenze geologiche ambigue; faglie su cui ci sono interpretazioni contrastanti; faglie presenti in aree scarsamente sismiche; faglie dai caratteri contrastanti con quelli delle faglie circostanti).

Nella rappresentazione cartografica, le strutture sismogenetiche sono delle campiture associate a dei rettangoli; si tratta, grosso modo, della rappresentazione planimetrica di piani, o gruppi di piani, di faglia la cui orientazione ed immersione sono simboleggiate dai rettangoli gialli.

La Figura 11, tratta dal database DISS, rappresenta le strutture sismogenetiche più vicine all'area oggetto di studio (raffigurata dal cerchio a contorno nero) costituite dalle seguenti sorgenti composithe:

- ITCS028 – Colfiorito-Campotosto con magnitudo momento massima pari a 6,5
- ITCS037 – Mugello-Citta di Castello- Leonessa con magnitudo momento massima pari a 6,2.

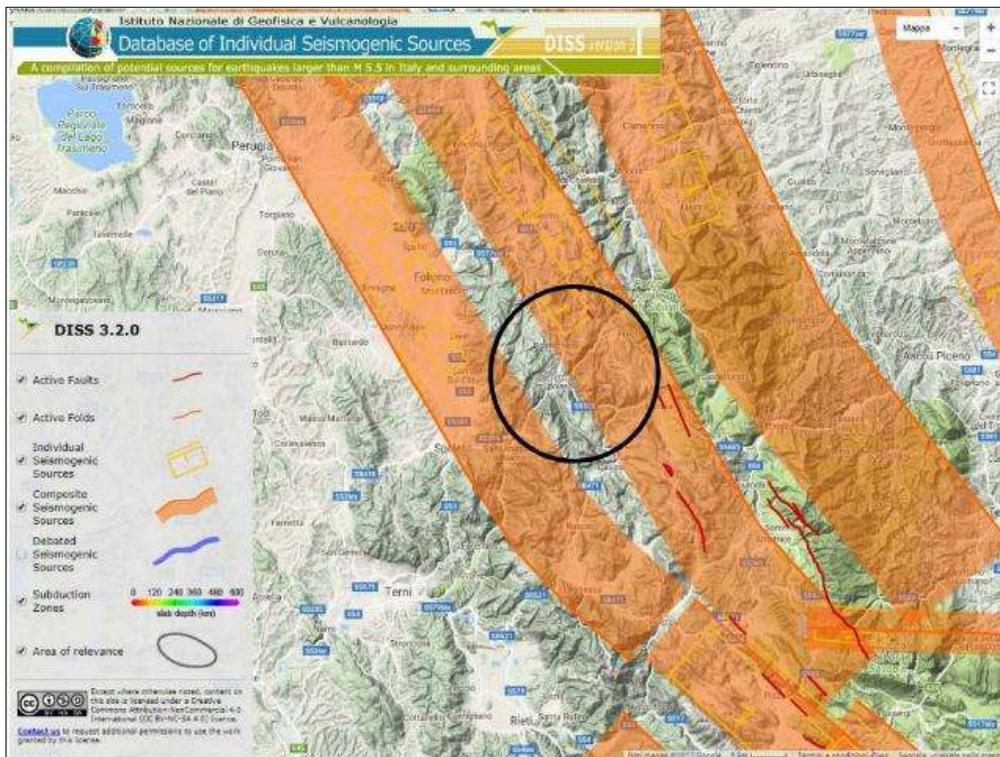


Figura 11 – Strutture sismogenetiche presenti nell'area di cerreto di Spoleto.

Faglie "capaci"

L'IAEA (Agenzia internazionale per l'energia nucleare) ha, per prima, introdotto nel 1991 la definizione di "faglia capace" (capable fault) per indicare una faglia attiva che può generare spostamenti in superficie, rimobilizzando una superficie esistente o creando una nuova superficie di rottura. In realtà, la definizione viene estesa anche al caso in cui la deformazione avvenga in modo continuo e senza scosse avvertibili (scorrimento asismico).

Verosimilmente, sarebbe più aderente al reale stato delle conoscenze ed in particolare nel caso presente, parlare di "segmenti" capaci, in quanto si tratta di porzioni inserite nelle strutture sismogenetiche di cui al punto precedente (DISS).

Anche in questo caso, come per il DISS, esiste un database denominato ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), stavolta a cura dell'ISPRA. Esso fornisce lo stato delle conoscenze sulla distribuzione nel territorio nazionale della presenza di faglie attive superficiali, come mostrato in Figura 12: informazioni relative a queste faglie, tra cui giacitura, geometria, cinematica, terremoti associati e tasso di deformazione medio, e una cartografia di dettaglio gestita in ambiente webGIS.

Le dislocazioni lungo le faglie capaci sono in grado di produrre danneggiamenti, anche rilevanti, alle strutture antropiche che le attraversano.

L'informazione sull'ubicazione e sulle caratteristiche delle faglie capaci è di grande importanza pratica per la pianificazione territoriale, che ne dovrebbe tenere adeguatamente conto; le strutture antropiche (infrastrutture, costruzioni) dovrebbero essere collocate possibilmente ad adeguata distanza da queste e/o essere progettate con opportuni accorgimenti tecnici.

Naturalmente, le informazioni fornite da ITHACA sono complementari a quelle fornite dal DISS trattate nel paragrafo precedente; si tratta, in fondo, di un'articolazione del medesimo quadro sismotettonico, con un'informazione aggiuntiva, molto importante ai fini applicativi.

La Figura 12 è tratta dalla cartografia di ITHACA ed inquadra l'area in cui si inserisce il progetto (individuata dall'ellisse a contorno rosso).

Rispetto alla cartografia DISS (che individua le strutture sismogenetiche), quella ITHACA ubica delle strutture lineari, che rappresentano l'andamento in superficie di segmenti di faglia; di conseguenza sono le linee di possibile rottura superficiale, e non corrispondono (se non in caso di faglie verticali) alla localizzazione dei relativi epicentri in caso di eventi sismici; si pensi, ad esempio, alla recente scossa di $M=6,5$ del 30 Ottobre 2016, nei pressi di Norcia: l'epicentro è ubicato a circa 8 km ad Ovest rispetto all'emersione in superficie della faglia, dove si sono avute le manifestazioni più notevoli degli spostamenti.

L'area in esame non intercetta faglie capaci benchè se ne segnalano alcune pochi chilometri ad ovest come evidenziato dallo stralcio sottostante.

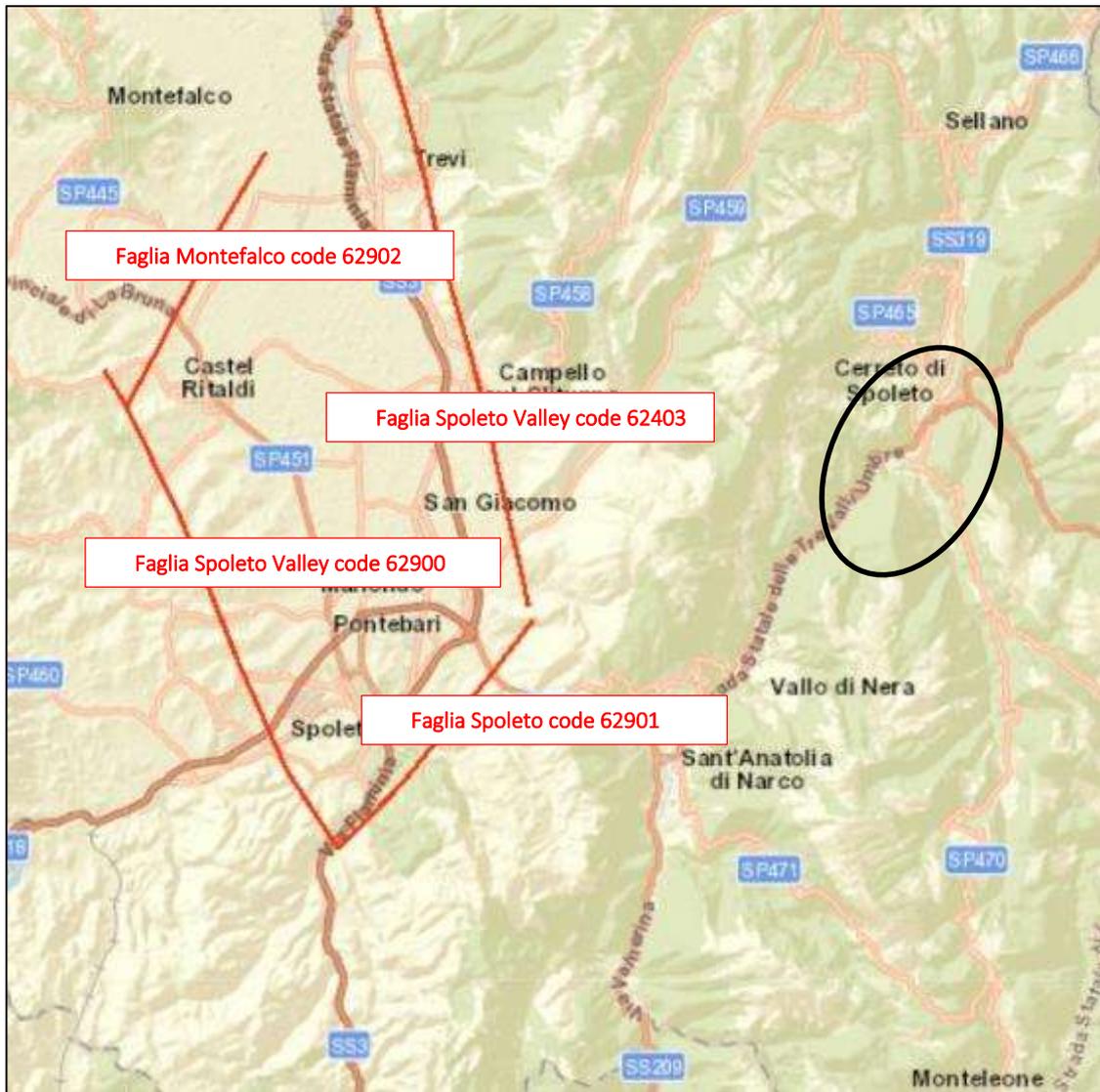


Figura 12 – Stralcio cartografico Progetto ITHACA con indicazione in rosso delle faglie capaci (fonte ISPRA-SGI), e con evidenziata in nero l'area in esame.

7.3 Classificazione sismica

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. Secondo tale ordinanza il comune di Acquasanta Terme è stato identificato in zona 2 cui corrispondono, come indicato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi tra 0,15 e 0,25g (dove g è l'accelerazione di gravità).

Relazione geologica e idrogeologica

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _g /g]
1	> 0,25
2	0,15-0,25
3	0,05-0,15
4	<0,05

Tabella estratta dall'Allegato 1 della OPCM 3274/2003.

Con Delibera di Giunta n. 1111 del 18 settembre 2012 la Regione Umbria Marche ha recepito la suddetta Ordinanza PCM 3274/03 classificando l'intero territorio regionale in base alla quale i territori dei comuni di Cerreto di Spoleto e Vallo di nera ricadono entrambi nella zona sismica 1.

Nel corso del 2006 una Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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" ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale e ha definito i criteri che ciascuna Regione deve seguire per l'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio. Questo strumento normativo, per la prima volta, ha portato a valutare la classificazione sismica del territorio secondo parametri sismologici svincolati dal solo criterio politico del limite amministrativo utilizzato fino a quel momento.

Alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale, è allegato un documento sulla pericolosità sismica, che prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; cfr Tr 475 anni), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riporta i valori di pericolosità sismica, secondo l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b, per l'area in esame. Nella mappa vengono rappresentati i valori medi (con deviazione standard) corrispondenti a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (acronimo di Peak Ground Acceleration). Dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è possibile evincere che l'area in oggetto ha una PGA dell'ordine di 0,225-0,275g.

Relazione geologica e idrogeologica

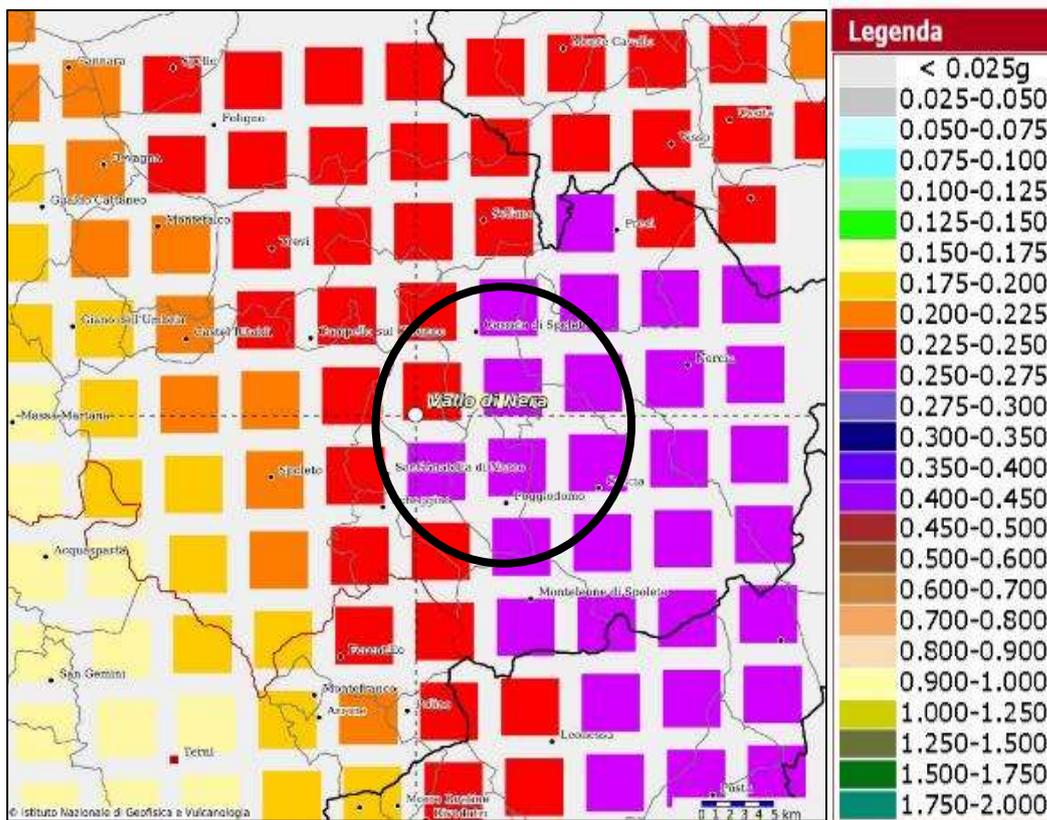


Figura 13 – Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

La normativa sismica italiana O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche ed integrazioni, la normativa tecnica europea (Eurocodici EC 7 e EC 8) e le più avanzate normative internazionali, attribuiscono la giusta importanza alla caratterizzazione sismica del terreno su cui dovranno essere realizzate opere di qualunque natura (edifici residenziali e industriali, opere di sostegno e di stabilizzazione di versanti, rilevati stradali, opere infrastrutturali, argini, dighe e opere idrauliche, gallerie, ponti e opere strutturali di grandi dimensioni).

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico in particolare e dinamico in generale, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio V_s degli strati di terreno presenti nel sito, fino alla profondità di almeno 30 m dal piano campagna, secondo quanto richiesto dalle sopracitate normative. Il profilo delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità risulta necessario per:

- valutare l’azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura;
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito;
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno;
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici.

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio V_s è possibile determinare una velocità equivalente rappresentativa del sito in esame, che consente di classificare il sito secondo la nuova normativa sismica italiana o secondo la normativa europea Eurocodice 8.

Relazione geologica e idrogeologica

Il calcolo della Vs equivalente viene eseguito utilizzando la seguente formula:

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

dove:

- h_i spessore dell’i-esimo strato;
- V_{si} 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 Vs non inferiori a 800 m/s.

La classificazione si effettua sulla base dei valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità o entro profondità inferiori nel caso si sia in presenza di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) profondità inferiori di 30 m. Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano d’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 d’imposta della fondazione.

In data 17 gennaio 2018 è stato pubblicato il decreto del Ministero delle infrastrutture dei trasporti n. 8/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni”, entrato in vigore il 22 marzo 2018 che ha leggermente modificato le precedenti classificazioni, eliminando alcune categorie e prevedendo che nei casi in cui le condizioni di sottosuolo non siano classificabili nelle categorie A,B,C,D ed E è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Classificazione del tipo di suolo secondo le Nuove NORME tecniche sulle costruzioni NTC 17/01/2018		
Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30(m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori ad 800 m/sec eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessori massimo pari a 3 m	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 e 800 m/sec.	360÷800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi fra 180 e 360 m/sec	180÷360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 100 e 180 m/sec	100÷180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D con profondità del substrato non superiore a 30 m.	

Figura 14 – Classificazione del suolo secondo NTC 2018

La campagna geofisica eseguita ha permesso di caratterizzare i terreni del sito indagato in termini di velocità delle onde sismiche trasversali (V_{seq}). In particolare, sono state eseguite n. 1 prova Down Hole, e n. 2 MASW.

Relazione geologica e idrogeologica

Nella tabella seguente è riportata una sintesi delle categorie sismiche di sottosuolo definite sulla base dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$, ricavati dalla indagini sismiche che in tutti i casi hanno intercettato un substrato sismico caratterizzato da V_s maggiori di 800 m/sec entro i 30 metri di profondità dal p.c.

Prova sismica	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria di sottosuolo
S03-DH (substrato sismico a 14 mt dal p.c.)	494	B
Masw 1 (substrato sismico a 15,8 m dal p.c.)	456	B
Masw 2(substrato sismico a 13 m dal p.c.)	489	B

7.4 Amplificazione stratigrafica e amplificazione topografica

La normativa prevede che per condizioni topografiche complesse debbano essere predisposte specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici si può adottare la seguente classificazione:

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 $i > 30^\circ$

Condizioni topografiche (DM 17/01/2018)

Le sopra esposte 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.

La valutazione della categoria topografica non può essere riferita ad un settore di tracciato ma deve esser riferita alle condizioni locali della singola opera d'arte.

In funzione della categoria topografica scelta ed utilizzando le tabelle del NTC si potrà valutare il coefficiente di amplificazione topografica S_T .

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1		1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Coefficienti di amplificazione topografica

7.5 Microzonazione sismica di I livello

Il tracciato in esame ricade interamente nel territorio dei comuni di Cerreto di Spoleto e Vallo di Nera. Entrambi i comuni sono stati interessati dal 2017 da uno studio di Microzonazione sismica di I livello eseguito dal Geologo F. Stragapede e successivamente validato dalla Regione Umbria.

Tali studi hanno consentito di elaborare la "*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*". Gli studi eseguiti non hanno riguardato gli interi territori comunali ma soltanto le aree interessate da centri abitati senza coinvolgere il corridoio di progetto.

7.6 Suscettibilità alla liquefazione

In funzione delle caratteristiche granulometriche, stratigrafiche e idrogeologiche del sito si è ritenuto necessario procedere ad una verifica di massima della suscettibilità alla liquefazione dei litotipi di fondazione del nuovo muro.

Il fenomeno della liquefazione dei terreni durante i terremoti, interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

Durante una sollecitazione sismica, infatti, le sollecitazioni indotte nel terreno, possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di sconfinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione.

La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni dipende:

- dal grado di addensamento;
- dalla granulometria e forma dei granuli;
- dalle condizioni di drenaggio;
- dall'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche e loro durata;
- dall'età del deposito;
- dalla profondità della linea di falda.

Normalmente con l'aumentare della profondità aumenta anche la resistenza alla liquefazione a causa dell'aumento della resistenza allo sconfinamento.

Per quanto stabilito dal D.M. 17/01/2018 nei confronti della liquefazione, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$;
- distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione (D.M. 14/01/08).

L'analisi dei risultati delle indagini eseguite in funzione delle considerazioni sopra fatte consente di escludere il rischio di liquefazione dei terreni presenti nell'area di progetto. La assenza di litologie sabbiose sature consente di considerare il rischio di liquefazione come nullo.

8 SOPRALLUOGHI E RILEVAMENTI GEOLOGICI E GEOLOGICO STRUTTURALI (MAGGIO 2023)

Per un adeguato sviluppo della presente fase progettuale nel mese di maggio 2023 sono stati condotti specifici sopralluoghi di campo, consisti in rilievi geologici e geologico strutturali localizzati lungo il tracciato in progetto.

Attraverso l'osservazione sul terreno è stato possibile riconoscere, distinguere e cartografare le diverse unità geologiche (unità litoidi: Scaglia Rossa, Scaglia Bianca, ed i Depositi quaternari), stimare gli spessori indicativi delle tratte che attraversano i conoidi detritici, i detriti di falda e gli affioramenti alluvionali.

Inoltre, nell'ambito della presente fase progettuale sono state condotte n. 11 stazioni strutturali di dettaglio finalizzate alla definizione dell'assetto geostrutturale degli ammassi e alla classificazione geomeccanica dei medesimi.

Tra le diverse attività tipiche di rilievo geostrutturale sono state eseguite con sistematicità su tutte le famiglie di fratture:

- rilievi delle caratteristiche di rugosità (JRC) delle fratture con profilometro (pettine di Barton);
- rappresentazione grafica dell'orientazione dei sistemi di discontinuità presenti mediante stereogrammi;
- prove sclerometriche realizzate sulle superfici di frattura con martello di Schmidt ISRM.

Le risultanze di dettaglio delle analisi geostrutturali sono allegate nella specifica relazione "Rilievi geologico strutturali di dettaglio".

9 MODELLO GEOLOGICO IN ASSE TRACCIATO

Di seguito, si descrivono le caratteristiche geologiche relative al tracciato di progetto, con riferimento alle cartografie tematiche allegate.

9.1 TRATTO COMPRESO TRA PK 0+000 E PK 0+875

L'area interessata dal tracciato in progetto è caratterizzata da un substrato roccioso affiorante riferibile all'unità della Scaglia Rossa (SAA). Questa unità risulta costituita da calcari micritici di colore variabile da rosa a biancastri, spesso intercalati ad interstrati pelitici sottili; a luoghi, all'interno dell'unità si riconoscono bancate di calcari marnosi e marne di colore rosso-rosa, caratterizzate dalla presenza di noduli di selce o liste. Nel complesso gli strati hanno potenza media di circa 30-40 cm, con stratificazione ben evidente e marcata e si presentano piegati e tettonizzati.

Il substrato, in diffusi tratti del tracciato, è mascherato da fasce detritiche e di frana distribuite lungo i versanti orientali dei rilievi di Montelino-Monte Motello, appartenenti al massiccio del Monte Galene, verso la valle del Fiume Nera.

Come indicato nel capitolo dedicato alla geomorfologia, lungo questa tratta si incontrano n. 2 fasce detritiche e una frana da crollo-ribaltamento, come schematizzato nella tabella sottostante.

Id progetto	pk approssimativa da [m] a [m]		Tipologia dissesto	Stato di attività
1	-0+025	0+300	Detrito di falda	-
2	0+025	0+100	Crollo-Ribaltamento	Quiescente
3	0+425	0+875	Detrito di falda	-

Infatti, come visibile nelle riprese fotografiche seguenti, le fasce detritiche sono diffuse da inizio lotto fino alla pk 0+875, punto di imbocco della galleria in cui affiora il substrato lapideo. Da evidenziare l'esistenza di una galleria artificiale, a protezione della viabilità dalla caduta massi, ubicata tra le pk 0+007 e 0+154 in corrispondenza di una fascia di versante interessata da fenomeni di crollo.

Dal punto di vista strutturale si presume la presenza di n. 3 faglie dirette che intercettano il tracciato alle pk 0+200- 0+525 e 4+110

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 16 - Barriere paramassi in detrito alla pk 0+050



Figura 17 – Detrito con blocchi ciclipe osservabili presso la pk 0+050



Figura 18 – Parete rocciosa costituita dalla Scaglia rossa (SAA) interessata dal crollo di blocchi lapidei e che ha comportato la realizzazione di protezione mediante costruzione di galleria artificiale.

9.2 TRATTO COMPRESO TRA PK 0+900 E PK 0+975

Tra le pk 0+900 e 0+975 è prevista la realizzazione di una galleria naturale che si sviluppa interamente nei termini carbonatici della Scaglia rossa. Sul versante, in corrispondenza di tali chilometriche, si rileva la presenza di una placca interessata da fenomeni di crollo e ribaltamento; la copertura della galleria garantisce l'assenza di interferenza tra il dissesto e la galleria di progetto, indicata nella sottostante tabella.

Id progetto	pk approssimativa da [m] a [m]		Tipologia dissesto	Stato di attività
4	0+900	0+975	Crollo-Ribaltamento	Quiescente

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 19 – Panoramica versante interessato dalla nuova galleria (lato Norcia)



Figura 20 – Panoramica imbocco sud nuova galleria (lato Terni)

9.3 TRATTO COMPRESO TRA PK 1+025 E PK 1+065

Come detto l'asse di progetto interessa, quasi per la sua interezza, i termini carbonatici della Scaglia rossa, che permane in affioramento fino alla pk 3+800 circa, dove viene sostituita dalla Scaglia bianca che affiora fino alla pk 4+120. Dopo tale chilometrica, per contatto tettonico, affiora nuovamente la Scaglia rossa.

Come indicato nel capitolo dedicato alla geomorfologia, lungo il tracciato di progetto si incontrano frequenti fasce detritiche (n. 13) e aree in dissesto (n. 2), riassunte nella tabella sottostante.

Id progetto	Id PAI	Id IFFI	pk approssimativa da [m] a [m]		Tipologia dissesto	Stato di attività	Classe di rischio
5			1+025	1+065	Detrito di falda	-	
6			1+141	1+166	Detrito di falda	-	
7			1+235	1+280	Detrito di falda	-	
8			1+430	1+530	Detrito di falda	-	
9			1+635	1+715	Detrito di falda	-	
10			1+760	2+119	Detrito di falda		
11	3360025	0540341700	1+982	2+001	Colamento	Quiescente	
12			2+240	2+325	Detrito di falda		
13			2+375	2+430	Detrito di falda	-	
14			2+480	2+590	Detrito di falda	-	
15			2+610	2+800	Detrito di falda	-	
16			3+135	3+250	Detrito di falda	-	
17	4004063	0540341100	3+325	3+850	Crollo-Ribaltamento	Quiescente	
18			3+950	4+025	Detrito di falda		
19			4+175	4+225	Detrito di falda		

Nelle pagine che seguono sono riportate alcune riprese fotografiche rappresentative delle principali fasce detritiche e/o frane rilevate.

Visibili inoltre alcuni tratti di versante in cui le scarpate rocciose del versante sono state consolidate mediante interventi passivi e attivi, quali reti e funi chiodate, al fine di proteggere dal possibile distacco di cunei litoidi anche di grosse dimensioni.

Sotto il profilo strutturale risultano di grande interesse gli affioramenti di pieghe minori, prevalentemente nella scaglia rossa, tra le quali l'imponente mesopiega visibile a monte della statale alla pk 3+650 circa del presente progetto (Figura 33).

Si rileva inoltre la presenza di n. 3 faglie dirette che intercettano il tracciato alla pk 0+175, 0+550 e 4+110 circa.

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 21 – Scaglia rossa fittamente tettonizzata, pk 1+200 circa



Figura 22 – Panoramica scarpata costituita dalla Scaglia rossa fittamente tettonizzata, interessata da interventi di consolidamento mediante reti e funi chiodate, pk 1+100 circa.

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 23 – Placca detritica visibile alla pk 1+500 circa



Figura 24– Placca detritica visibile alla pk 1+800 circa

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 25 – Panoramica versante interessato dalla realizzazione di nuovo esteso muro di controripa (da pk 1+919 a p. 2+102)



Figura 26 – Placca detritica in cui è prevista la realizzazione di muro di controripa (da pk 2+207 a pk 2+309)

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 27 – Placca detritica centrata sulla pk 2+550; previsto intervento di protezione mediante la realizzazione di paratia di pali.



Figura 28 – Panoramica frana da crollo posta a monte delle pk 2+625-2+725 circa. Prevista la realizzazione di muro di controripa.

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 29 – Panoramica scarpata attualmente interessata da interventi di consolidamento mediante rete, funi e chiodature. Il progetto prevede riprofilatura e nuovi interventi di chiodatura (da pk 2+812 a pk 2+940).



Figura 30– Panoramica, ripresa da pk 3+300 circa, dell'esteso versante roccioso interessato da fenomeni di crollo e fasce detritiche, che si estende dalla pk 3+300 a pk 3+650.

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 31– Panoramica dell'esteso versante roccioso, indicato nella foto precedente, ripresa da pk 3+400 circa.



Figura 32 – Panoramica conoide centrata sulla pk 3+975.

Relazione geologica e idrogeologica



Figura 33 - Mesopiega visibile a monte della statale alla pk 3+650 circa.