

S.S. N.° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"
RETTIFICA DEL TRACCIATO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2
DAL km 41+500 al km 51+500
STRALCIO II - LAVORI DI ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2
DAL km 45+700 al km 49+300

PROGETTO DEFINITIVO

COD.

IMPRESE :



R.T.P. :



PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Ing. Franco Persio Bocchetto - Ordine Ing. Roma n.°8664 -Sez A

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gianluca De Paolis

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Alessandro Spampinato
Ordine dei Geologi della Regione Sicilia n° 236

VISTO IL DEC

Arch. Lara Eusanio

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE (CSP):

Ing. Antonino Guglielmino
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Catania n°3276 - Sez A

STUDI E INDAGINI
Geotecnica
Relazione geotecnica e sismica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

PG0375 D 2301

NOME FILE

T00-GE00-GET-RE01-A

CODICE ELAB.

T00GE00GETRE01

REVISIONE

SCALA

A

-

A

EMISSIONE

Ottobre 2023

Ing. N.Boccardini

Ing. G.Bosco

Ing. F.P.Bocchetto

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

Relazione geotecnica e sismica

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
2.2	RIFERIMENTI DI PROGETTO.....	4
2.3	DOCUMENTI A CORREDO.....	4
2.4	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	5
3	BASE DATI PER LE CARATTERIZZAZIONI.....	7
4	UNITÀ GEOTECNICHE INDIVIDUATE.....	8
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	10
5.1	CRITERI ADOTTATI.....	10
5.2	UNITÀ LITOIDE	11
5.2.1	Caratteristiche fisiche.....	11
5.2.2	Parametri di roccia intatta.....	11
5.2.3	Parametri d’ammasso	12
5.2.4	Parametri Mohr-Coulomb equivalenti	14
5.3	UNITÀ DETRITICHE	14
5.3.1	Caratteristiche fisiche.....	14
5.3.2	Caratteristiche di resistenza.....	15
5.3.3	Caratteristiche di deformabilità	16
5.4	TERRENI E MATERIALI DI RIPORTO	17
6	SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	18
7	CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA.....	19
7.1	PERMEABILITÀ DELLE UNITÀ GEOTECNICHE.....	19
7.2	FALDA FREATICA	21

Relazione geotecnica e sismica

8	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	22
8.1	INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA.....	22
8.2	CRITERI ADOTTATI.....	24
8.3	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	24

1 PREMESSA

Il presente documento descrive il contesto geotecnico e sismico dei terreni interessati dal Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PROGETTO DEFINITIVO): 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 2 - Lavori di adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 45+700 al km 49+300.

La caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni individuati lungo lo sviluppo dell’infrastruttura in progetto è stata condotta sulla base:

- delle conoscenze geologiche di letteratura acquisite;
- di sopralluoghi e rilievi geologici e geologico-strutturali di dettaglio;
- dell’analisi degli studi geologici, geotecnici e sismici esistenti; nello specifico il PROGETTO DEFINITIVO: 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 1 - Lavori di adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 49+300 al km 51+500. Relazione Geologica Geotecnica
- acquisizione ed analisi delle indagini geognostiche e prove di laboratorio disponibili realizzate in prossimità dell’area di interesse progettuale

In particolare, la caratterizzazione geotecnica è stata esplicitata attraverso le suddette conoscenze, provvedendo a differenziare il terreno dal punto di vista geotecnico, tenendo conto del litotipo prevalente e della natura del materiale, ritenendo valida per il presente progetto, la caratterizzazione geotecnica del progetto precedentemente citato.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le indagini e gli studi esposti nella presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della normativa in vigore e delle raccomandazioni tecniche specifiche.

- NTC 2018 - Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 dalla G.U. n.42 del 20/02/2018 "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Esplicativa 2019: CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- NTC 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- Circolare Esplicativa 2009: Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- UNI EN 1997 1: 2005 – Eurocodice 7 – "Progettazione geotecnica -Regole generali"
- AGI, Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio,1994;
- ISO 22476-3, Geotechnical investigation, and testing - Field testing - Part 3: Standard penetration test. 2015
- Mappa di pericolosità sismica MPS04-S1 del 2004, aggiornata dal progetto INGV-DPC S1 2005-2007 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) con riferimento alla pubblicazione: Meletti, C., Montaldo, V., Stucchi, M., Martinelli, F. (2006). Database della pericolosità sismica MPS04. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- Zonazione sismica ZS9 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/elaborazioni/docs/>).

2.2 RIFERIMENTI DI PROGETTO

Per la redazione della presente sono stati presi in considerazione:

- PROGETTO DEFINITIVO ANAS: 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 1 - Lavori di adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 49+300 al km 51+500, in particolare:
 - Esiti delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, realizzate tra marzo e aprile 2022 (cod. el. T03-GE01-GEO-RE02_B);
 - Planimetria di ubicazione delle indagini (cod. el. T03-GE01-GEO-PU01_B);
 - Relazione geotecnica (cod. el. T03-GE02-GET-RE01_A);
 - Profilo geomeccanico (cod. el. T05-GN01-STR-FP01_A).
- Indagini geognostiche disponibili sul portale della Regione Umbria – Banca dati delle indagini geognostiche-geofisiche: <https://www.regione.umbria.it>

2.3 DOCUMENTI A CORREDO

Gli elaborati che corredano questa relazione sono elencati nella tabella seguente.

Codice Elaborato	Titolo elaborato	Formato	Scala
T00-GE00-GEO-RE01-A	RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA	A4	-
T00-GE00-GEO-RE02-A	RELAZIONE SUI RILIEVI GEOLOGICO STRUTTURALI DI DETTAGLIO	A4	-
T00-GE00-GEO-CG01-A	CARTA GEOLOGICA	A0	1:5.000
T00-GE00-GEO-CG02-A	CARTA GEOMORFOLOGICA	A0	1:5.000
T00-GE00-GEO-CI01-A	CARTA IDROGEOLOGICA	A0	1:5.000
T00-GE00-GEO-FG01-A	PROFILO GEOLOGICO LONGITUDINALE	A0	1:5.000/1:500

2.4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A.F.T.E.S. (1992) – Association Française Travaux en Souterrain, 1992.
- [2] BOLTON (1986), D'APPOLONIA ET AL. 1970, YOUD (1972), SCHMERTMANN (1977), STROUD (1988) in Cestari 2012, volume unico
- [3] Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale in formato digitale: Modello di pericolosità sismica MPS04-S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>);
- [4] D'APOLLONIA D.J., D'APOLLONIA E. & BRISETTE (1979): Discussion on Settlement of Spread Footings on Sand. JSMFD, ASCE, vol.96, SM2
- [5] HOEK E. AND BROWN E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Submitted for publication to the Int. J. Rock Mech. Min. Sc. & Geomech. Abstr.
- [6] HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C., CORKUM, B. (2002). Hoek-brown failure criterion 2002 edition, volume 1, 267–273.
- [7] HOEK, E., DIEDERICHS, M.S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus, volume 43, 203–215.
- [8] HOEK, E., MARINOS, P., (2000). Predicting Squeeze. Tunnels and Tunnelling International, November, pp. 45-51.
- [9] I.S.R.M. International Society for Rock Mechanics (1981). Rock characterization, testing and monitoring - ISRM suggested methods. Oxford: Pergamon.
- [10] I.S.R.M. International Society for Rock Mechanics (1981). Rock characterization, testing and monitoring - ISRM suggested methods. Oxford: Pergamon.
- [11] MELETTI, C., MONTALDO, V., STUCCHI, M., MARTINELLI, F. (2006). Database della pericolosità sismica MPS04. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). DOI: 10.13127/SH/MPS04/DB;
- [12] MUIR WOOD, D. (1990). Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics. Cambridge University Press.
- [13] OHTA Y., GOTO N. (1978): Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes, Earthquake Eng. Struct. Dyn 6
- [14] PALMSTROM A. (1996): Characterizing rock masses by the RMI for use in practical rock engineering. Tunn. and Und. Space Tech. vol.11

Relazione geotecnica e sismica

- [15] PALMSTROM A. (1996): Characterizing rock masses by the Rmi for use in practical rock engineering Tunn. and Und. Space Tech. vol.11
- [16] PALMSTROM A. (2000): Recent developments in rock support estimates by the Rmi". Journal of Rock mechanics and tunneling technology, Vol.6, pp.1-9.
- [17] PALMSTROM, A. (2005) Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). Tunnelling and Underground Space Technology, 20, 362-377.
- [18] SCHULTZE & MENZENBACH (1961): SPT and Compressibility of Soils" - V ICSMFE, Paris
- [19] STROUD M.A. (1974). The Standard Penetration Test in Inceptive Clays and Soft Rocks. Proc. ESOPT 1, Stockholm.
- [20] STUCCHI M., MELETTI C., MONTALDO V., CROWLEY H., CALVI G.M., BOSCHI E., 2011. Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. Bull. Seismol. Soc. Am. 101(4), 1885-1911. DOI: 10.1785/0120100130;
- [21] TERZAGHI K., PECK R.B. (1967): Soil Mechanics in Engineering Practice – 2nd Editions, J. Wiley and Sons, New York

3 BASE DATI PER LE CARATTERIZZAZIONI

I dati alla base della caratterizzazione geotecnica e sismica sono stati ottenuti dalle seguenti campagne indagini, descritte nella relazione geologica a corredo della presente relazione (T00-GE00-GEO-RE01-A) e qui riassunte:

- Campagna geognostica (marzo aprile 2022) PROGETTO DEFINITIVO: STRALCIO 1 - Lavori di adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 49+300 al km 51+500
 - n. 6 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabile da 10 a 20 m, strumentati con piezometro a tubo aperto;
 - n. 8 prove SPT;
 - n. 2 campioni rimaneggiati + n. 1 campione indisturbato su terreni;
 - n. 4 campioni litoidi prelevati da affioramenti rinvenuti lungo il tracciato;
 - n. 6 prove penetrometriche dinamiche (DPHS);
 - n. 23 rilievi geostrutturali;
 - n.4 stendimenti MASW;

Sui campioni lapidei sono state eseguite:

- n.1 prova per la determinazione dell'umidità naturale;
- n. 2 prove per la determinazione del peso volume;
- n. 1 prova per la determinazione del peso specifico;
- n. 3 prove per la determinazione dei limiti di Atterberg (LL, LP)
- n. 3 analisi granulometriche;
- n. 2 prove di taglio diretto (CD);
- n. 1 prova di espansione laterale libera (ELL).

Sui campioni lapidei sono state eseguite:

- n. 4 prove per la determinazione del peso di volume;
- n. 4 prove per la determinazione della resistenza al carico di punto Point Load Test (PLT);

Si specifica che questa campagna indagini è stata realizzata nell'area contigua dell'attuale tracciato in progetto (proseguimento della SS 685 "delle tre valli umbre" tra il dal km 49+300 e km 51+500 della stessa.

- Indagini disponibili sul portale della Regione Umbria (Banca Dati del Servizio Geologico e Sismico Regionale), realizzate nell'intorno dell'area di progetto, ovvero i sondaggi:
 - 7951 ubicato in località Piedipaterno (centro abitato);
 - 5881 ubicato in località Piedipaterno (centro abitato);
 - 7949 ubicato in località Piedipaterno (centro abitato);
 - 5884 ubicato in località Piedipaterno (centro abitato);
 - 7953 ubicato nel comune di Vallo di Nera;
 - 7956 ubicato nel comune di vallo di Nera.




In particolare, questi sondaggi sono stati utilizzati per una prima rappresentazione del contesto geologico-tecnico del tracciato non indagato da specifiche campagne geognostiche.

- Sopralluoghi e rilievi geologici effettuati sul tracciato in progetto (ottobre 2022) PROGETTO DEFINITIVO: STRALCIO 2 Lavori di adeguamento alla sez. tipo C2 dal 45+650 al Km 49+300, ovvero:
 - n. 7 rilievi geostrutturali eseguiti su affioramenti rinvenuti lungo il tracciato;
 - n.264 determinazioni sclerometriche eseguite con il Martello di Schmidt sulle superfici di 22 giunti/discontinuità individuate su affioramenti rocciosi.

4 UNITÀ GEOTECNICHE INDIVIDUATE

Attraverso il rilevamento geologico e geologico strutturale di terreno, con le indagini utilizzate, suffragate dai dati desunti dalla letteratura specifica e dal confronto con situazioni analoghe in contesti simili, è stato possibile fornire il modello stratigrafico, la successione delle unità litostratigrafiche (v. relazione geologica, cod. el. T00-GE00-GEO-RE01-A) e le caratteristiche geotecniche dei diversi litotipi riconosciuti lungo il tracciato in esame. In particolare si è provveduto a differenziare i diversi terreni e rocce, tenendo conto del litotipo prevalente e della natura del materiale.

Le unità geotecniche (UG) individuate nelle aree di stretto interessate progettuale sono elencate descritte di seguito:

Unità geologica di riferimento	Unità geotecnica	Descrizione	Particolare fotografico
SAA	UG1	Unità litoide Corrisponde a calcari micritici alternati a interstrati pelitici molto sottili, calcari marnosi e marne, con selce in noduli o liste, ben stratificati.	
b, b _n	UG2	Unità detritica Corrisponde a depositi da sciolti a debolmente cementati, a granulometria variabile, eterometrici, costituiti da blocchi, ciottoli talvolta grossolani e ghiaia in matrice sabbioso-limoso; caratterizzanti gli alvei e terrazzi fluviali e le conoidi alluvionali di fondo valle.	
a ₁ , a ₃	UG3	Unità detritica Corrisponde a depositi gravitativi, detritici: di falda detrito, di conoide di origine mista e depositi di frana. Rappresentano depositi a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici, per lo più sciolti o debolmente cementati (nelle porzioni inferiori), in accumuli caotici, massivi o grossolanamente stratificati, i clasti sono a spigoli vivi o talora moderatamente arrotondati.	

Relazione geotecnica e sismica

Unità geologica di riferimento	Unità geotecnica	Descrizione	Particolare fotografico
h	UG4	<p>Terreni e materiali di riporto antropico Corrisponde a terreni sciolti, eterometrici. Materiali derivanti da attività di costruzione, in genere costituenti il corpo di rilevati esistenti di viabilità (materiali per sottofondo stradale) e la coltre vegetale dei campi coltivati. Questa unità, di ridotto spessore, non è riportata in profilo geologico in quanto non rappresentabile alla scala di progetto.</p>	

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il presupposto alla caratterizzazione generale è la possibilità di un’analisi di insieme dei dati relativi alla singola unità geotecnica, provenienti da campioni ed indagini in situ eseguite nell’intero ambito di studio o in porzioni geologicamente omogenee di esso, nello specifico, lungo l’intero tracciato.

Sulla base delle conoscenze attuali e in particolare dell’inquadramento geologico dell’intera area si può assumere che le formazioni individuate siano parte di un sistema esteso che include l’intera infrastruttura in progetto, privo di singolarità geologiche che comportino la necessità di un frazionamento in sotto-tratte al fine di cogliere le differenze nel comportamento meccanico ed idraulico delle formazioni intercettate.

Allo stato attuale, le indagini disponibili permettono una caratterizzazione “di massima” delle unità riconosciute. Per unità geotecniche individuate si forniscono valori preliminari basati sull’analisi geologica che ha definito la genesi delle formazioni esaminate. Si tratta quindi di una valutazione mirata a fornire dei valori minimi, in base all’esperienza degli scriventi, e all’analogia con le analisi svolte su formazioni simili, ritenute assimilabili e ricadenti nello specifico contesto geologico in esame (SRALCIO 1 dei lavori di adeguamento alla sez. tipo C2 della SS 685 dal km 49+300 al km 51+500).

5.1 CRITERI ADOTTATI

Le UG identificate hanno consistenza lapidea e non lapidea. La parametrizzazione è ricavata attraverso i modelli:

- Hoek-Brown (2002) per le unità lapidee;
- Mohr-Coulomb (in Muir Wood, 1990), per le unità non lapidee.

I parametri di resistenza delle unità lapidee sono stati definiti attraverso i valori dell’angolo di resistenza a taglio e della coesione efficace equivalenti.

I parametri di resistenza delle unità geotecniche non lapidee sono stati determinati sulla base delle misure di resistenza penetrometrica in prove dinamiche tipo SPT e delle prove di taglio diretto disponibili. Per queste determinazioni sono state utilizzate le correlazioni di: Peck-Hanson & Thornburn (1974), Schmertmann (1977), Road Bridge Specification (1971), Japanese National Railway.

Le caratteristiche fisiche delle UG detritiche sono state determinate attraverso le analisi di laboratorio disponibili, in particolare attraverso: prove granulometriche, prove per la determinazione dell’umidità naturale, prove per la determinazione del peso volume, prova per la determinazione del peso specifico, prove per la determinazione dei limiti di Atterberg (LL, LP).

Per la definizione delle caratteristiche di deformabilità delle UG detritiche, in particolare la stima dei moduli elastici operativi, considerata la disponibilità di prove SPT, si è fatto ricorso a relazioni empiriche che correlano linearmente il modulo di Young con i valori di NSPT (Schultze & Menzenbach, 1961; D’Appolonia e. al., 1970, Ohta e Goto, 1978).

Le caratteristiche di deformabilità delle formazioni lapidee sono state stimate con la caratterizzazione geomeccanica effettuata su affioramenti rocciosi, sulla base dei valori di resistenza uniassiale disponibili ed attraverso le stime sui risultati delle prove sclerometriche. Alla UG lapidea è stato associato un valore dell’indice GSI (Geological Strength Index), ricavato da rilievi e osservazioni di campo condotte sia considerando i risultati ottenuti dalle stazioni strutturali eseguite per lo STRALCIO 1 sia attraverso i dati prodotti durante i sopralluoghi effettuati ad ottobre 2022 lungo il tracciato dello STRALCIO 2, e i parametri m_i e M_R (parametri caratteristici della roccia), coerenti con la formazione, associati su base bibliografica. Attraverso il modello Hoek-Brown (2002) è stato possibile ricavare il modulo di ammasso, E_m ed il modulo elastico della roccia intatta (E_i).

5.2 UNITÀ LITOIDE

L'ammasso roccioso riconosciuto nel territorio studiato, riferibile all'unità lapidea (UG1), è corrispondente all'unità geologica della Scaglia Rossa (SAA).

Per l'unità in esame sono stati verificati e analizzati i dati geotecnici e geomeccanici e le parametrizzazioni adottate nel PROGETTO DEFINITIVO ANAS: “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 1” (v. Paragrafo 2.2).

In particolare, si ritiene che i parametri utilizzati per la caratterizzazione del massiccio roccioso individuato nello STRALCIO 1, possa estendersi, in assenza di altri dati a disposizione, al substrato roccioso riconosciuto lungo lo STRALCIO 2; risultato dalle analisi e dalle osservazioni condotte sul terreno assimilabile dal punto di vista litologico, tessiturale e geologico-strutturale ed appartenente alla stessa unità geologica: Scaglia Rossa.

5.2.1 Caratteristiche fisiche

Le prove di laboratorio eseguite su n.4 campioni prelevati in n.4 affioramenti rinvenuti nell'intorno del tracciato dello STRALCIO 1: PROGETTO DEFINITIVO ANAS S.S.685 “delle Tre Valli Umbre”: rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500, indicano un peso dell'unità di volume $\gamma = 26,00 \text{ kN/m}^3$.

5.2.2 Parametri di roccia intatta

I valori della resistenza uniassiale di roccia intatta (σ_{ci}) derivano dai risultati delle prove a carico concentrato, Point Load Test (4 prove eseguite ottenute da 40 campioni portati a rottura) e dalle prove sclerometriche effettuate sugli affioramenti, da cui è possibile stimare la resistenza a compressione assiale non confinata.

Di seguito si espone la totalità dei dati utilizzati per la determinazione della resistenza a compressione assiale non confinata.

VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE UNIASSIALE MEDIANTE SCLEROMETRO (Martello di Schmidt)

Determinazioni effettuate in n. 7 affioramenti rinvenuti lungo il tracciato in progetto STALCIO 2 (sopralluoghi ottobre 2022)

Rilievo Strutturale	Giunti	Angolo d'impatto	Indice R corretto					R medio	R medio corretto	γ roccia*	C_0 (MPa) ⁽¹⁾	C_0 (MPa) media	Unità geologica	Statistica
			1°	2°	3°	4°	5°							
RS01	Jn1	45	50	49	46	42	43	48,4	46,0	26	115,5	62	Scaglia Rossa	min 29
	Jn2	-45	24	40	30	18	24	25,0	27,2	26	42,9			medio 62
	Jn3	54	14	30	22	18	14	21,6	19,6	26	28,7			max 115
RS02	J1	45	26	24	28	38	46	34,4	32,4	26	56,4	72	Scaglia Rossa	min 56
	J2	0	21	40	30	40	30	32,2	32,2	26	55,8			medio 72
	J3	0	47	46	46	34	47	44,0	44,0	26	103,9			max 104
RS03	St	45	28	50	40	40	50	43,6	41,6	26	91,6	73	Scaglia Rossa	min 52
	Jn1	45	40	22	42	36	14	30,8	30,8	26	51,8			medio 73
	Jn2	0	30	30	40	56	34	38,0	38,0	26	75,8			max 92
RS04	Jn1	0	26	56	36	40	50	41,6	41,6	26	91,6	74	Scaglia Rossa	min 64
	Jn2	45	30	42	41	28	36	36,6	35,4	26	66,1			medio 74
	Jn3	-45	58	44	22	22	42	35,6	37,6	26	74,2			max 92
	Jn4	0	42	20	20	40	52	34,8	34,8	26	64,0			st.dev. 13
RS05	Jn1	45	26	48	28	24	38	34,8	32,8	26	57,6	65	Scaglia Rossa	min 48
	Jn2	-45	26	46	40	52	46	39,6	42,0	26	93,5			medio 65
	Jn3	0	32	40	20	36	40	33,6	33,6	26	60,1			max 94
	Jn4	45	38	34	26	24	24	31,2	29,2	26	47,7			st.dev. 20
RS06	Jn1	90	40	25	36	32	30	28,4	32,6	26	57,0	95	Scaglia Rossa	min 57
	Jn3	0	50	52	42	50	50	48,8	48,8	26	133,8			medio 95
RS07	St	0	42	46	48	20	38	38,8	38,8	26	79,0	79	Scaglia Rossa	min 41
	Jn2	0	24	28	30	20	30	26,4	26,4	26	41,1			medio 66
	Jn3	45	40	40	46	40	26	39,6	38,4	26	77,4			max 79

⁽¹⁾ Miller (1965): $\log(\sigma_c) = 0,00088 \gamma R + 1,01$

VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE UNIASSIALE MEDIANTE POINT LOAD TEST (PLT)

Determinazioni effettuate su campioni prelevati in n.4 affioramenti rinvenuti nell'intorno del tracciato dello STRALCIO 1: PFTE ANAS S.S.685 "delle Tre Valli Umbre": rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500.

Id Campione	n. di determinazioni	Peso unità di volume γ_{nat} [kN/m ³]	Point Load TEST (valori medi) σ_{ci}	Statistica
A	10	26,2	69,8	min 68
C	10	25,9	79,7	medio 76
D	10	27,7	86,0	max 86
F	10	25,9	68,3	

Dal confronto dei valori, il range caratteristico di resistenza a compressione, valutato considerando il 25th e 75th percentile è risultato pari a: 69 – 79 MPa. Valori minimi di 62 MPa e Massimi di 95 MPa.

5.2.3 Parametri d'ammasso

Alla resistenza σ_{ci} si associano i valori di GSI ottenuti dall'analisi geomeccanica dell'ammasso, basata sia sulla disamina delle stazioni geostrutturali e delle schede di rilevamento realizzate per lo STRALCIO 1, sia sui rilievi geostrutturali di campo effettuati ad ottobre 2022 lungo il tracciato dello STRALCIO 2 in progetto (v. Relazione sui rilievi geologici e geologico strutturali, cod. el. T00-GE00-GEO-RE02-A).

In particolare, su 23 stazioni geostrutturali realizzate nell'area di interesse dello STRALCIO 1, n. 8 stazioni sono state realizzate su affioramenti riferibili alla Scaglia Rossa, litotipo caratterizzante il tracciato in progetto. Tali valutazioni sono di seguito riportate e confrontate con i valori di GSI attribuiti agli affioramenti analizzati lungo il tracciato dello STRALCIO 2 in progetto, al fine di ottenere un intervallo caratteristico del parametro GSI di riferimento.

Relazione geotecnica e sismica

per l'unità in esame è stata stimata una variabilità degli indici GSI, M_i e M_R (Parametri Hoek – Brown), come indicato di seguito:

VALUTAZIONE DEL GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)

Determinazioni effettuate in n. 7 affioramenti rinvenuti lungo il tracciato in progetto STALCIO 2 (sopralluoghi ottobre 2022)

Metodo: Russo (2007) – Determinazione GSI tramite i parametri RM_i (RM_i : Rock Mass index, Palmstrøm, 1994)

Id rilievo Strutturale	Range attribuito		GSI medio
	da	a	
RS_1	35	45	40
RS_2	45	50	48
RS_3	35	40	38
RS_4	45	50	48
RS_5	45	50	48
RS_6	40	50	45
RS_7	30	40	35

Metodo: Hoek and Marinos P. (2000) – Determinazione GSI per rocce fratturate

Id rilievo Strutturale	Range attribuito		GSI medio
	da	a	
RS_1	35	40	38
RS_2	40	45	43
RS_3	35	40	38
RS_4	40	45	43
RS_5	45	50	48
RS_6	45	50	48
RS_7	30	35	33

VALUTAZIONE DEL GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)

Determinazioni effettuate in n.8 affioramenti rinvenuti nell'intorno del tracciato dello STRALCIO 1: PFTE ANAS S.S.685 "delle Tre Valli Umbre": rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500.

Metodo: Hoek and Marinos P. (2000) – Determinazione GSI per rocce fratturate

Id rilievo Strutturale	Range attribuito		GSI medio
	da	a	
10	25	30	27,5
12	25	30	27,5
13	25	30	27,5
14	25	30	27,5
81	25	30	27,5
86	25	30	27,5
87	30	35	32,5
88	35	40	37,5

Dal confronto dei valori, il range caratteristico del GSI, valutato considerando il 25th e 75th percentile è risultato pari a: 30 – 45. Valori minimi di 25 e Massimi di 50.

Per l'unità in esame è stata stimata su base bibliografia la variabilità degli indici M_i e M_R (Parametri Hoek - Brown), come indicato di seguito:

- M_i : 7-9 (valori max e min)
- M_R : 175-200 (valori max e min)

I parametri di deformabilità, in termini di modulo elastico della roccia intatta (E_i) e modulo di deformazione (E_{rm}), come anticipato nel Paragrafo 5.1, sono stati ricavati secondo Hoek-Brown failure criterion (2002).

Di seguito si riportano i range caratteristici dei parametri di deformabilità:

- E_i : 12000 - 14800
- E_{rm} : 434 – 861

Nella tabella seguente si riassumono i gli intervalli caratteristici indicati per le analisi geotecniche:

Unità geologica	UG	σ_{ci} [MPa]	GSI	m_i	E_i [GPa]	E_{rm} [MPa]
SAA	UG1	69-79	30-45	7-9	12-14,8	434-861

5.2.4 Parametri Mohr-Coulomb equivalenti

I parametri di resistenza equivalenti, valori dell'angolo di resistenza a taglio e della coesione efficace, sono stati determinati per l'analisi di scarpate con h. max di 30 m, ottenendo i seguenti risultati:

Unità geotecnica	Peso dell'unità di volume	Resistenza	
		ϕ'_{eq} [°]	c'_{eq} [kPa]
UG	γ_{nat} [kN/m ³]		
1	26,00	36-43	156-246

5.3 UNITÀ DETRITICHE

Le unità detritiche riconosciute lungo lo sviluppo del tracciato corrispondono a depositi sciolti, incoerenti, caratterizzanti i materiali alluvionali degli alvei e dei terrazzi fluviali (b , b_n), a depositi detritici di falda (a_3), di conoide di origine mista ed a depositi di frana (a_1).

Per l'unità in esame sono stati verificati e analizzati i dati geotecnici e le parametrizzazioni adottate nel PROGETTO DEFINITIVO STRALCIO 1. L'analisi è stata integrata con i dati delle indagini geognostiche disponibili realizzate in prossimità dell'area di interesse progettuale (STRALCIO 2).

5.3.1 Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche di questi terreni sono state determinate facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati e testati durante gli studi dello STRALCIO 1, in termini di: curve granulometriche; limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico); pesi di volume; contenuto d'acqua naturale; indice dei vuoti iniziale.

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle prove di laboratorio disponibili eseguite sui terreni di copertura.

CARATTERISTICHE GENERALI					CARATTERISTICHE FISICHE								Granulometria				
Sondaggio	Campione	Tipo	Profondità iniziale	Profondità finale	γ_{nat}	γ_s	γ_d	w_n	w_L	w_P	I_P	I_c	GH	S	L	A	L + A
			(m da p.c.)	(m da p.c.)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S3	C1	CI	2,00	2,50	20,50	26,40	17,20	19,0	45,4	22,8	22,6	1,17	28,00	17,70	33,00	21,30	54,30
S3	CR1	CR	7,40	7,80		26,40		29,0	58,2	28,3	29,9	0,98	0,00	4,10	54,60	41,30	95,90
S1	CR1	CR	11,20	11,70	19,40	27,60	15,10	28,6	56,2	26,0	30,2	0,91	23,60	12,00	33,90	30,50	64,40

Per le unità detritiche (UG2 + UG3), sulla base dei risultati presentati, si definiscono i seguenti valori caratteristici medi:

Granulometria (matrice): 31,03% (argilla), 40,50% (limo), 11,27% (sabbia), 17,20 (ghiaia);

Contenuto d'acqua naturale (W_n): 25,53%;

Indice dei vuoti (e_0): 0,65;

Caratteristiche di plasticità: LL = limite liquido = 53.27 %; IP = indice di plasticità = 27.57 %;

Peso di volume naturale (γ_{nat}): 19,95 kN/m³.

5.3.2 Caratteristiche di resistenza

Facendo riferimento ai risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT) disponibili, attraverso le formulazioni richiamate nel Paragrafo 5.1, sono stati ottenuti i valori di densità relativa (D_R) e di angolo di resistenza al taglio (ϕ), di seguito riportati.

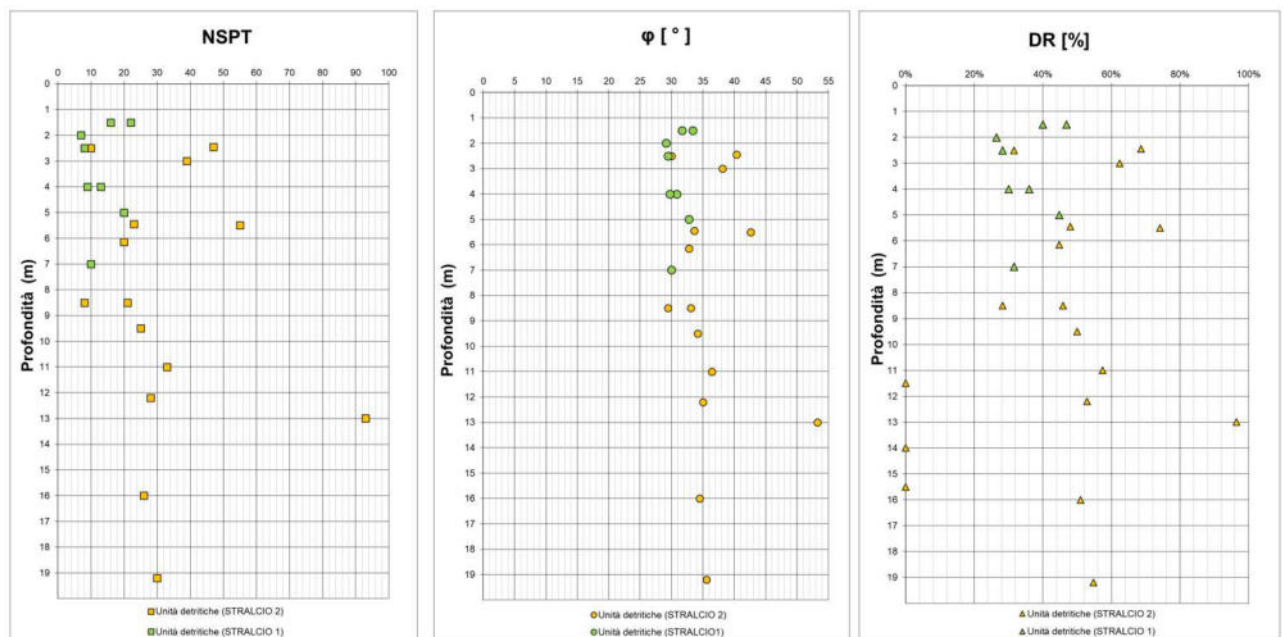


Figura 1 – Valori di NSPT, angolo di attrito (correlazione: Peck-Hanson & Thornburn, 1974) e densità relativa (correlazione: Skempton, 1986)

I range caratteristici ottenuti considerando il 25th e 75th percentile sono risultati pari a:

$\phi' = 30-35^\circ$; $DR = 34-54\%$.

Le n. 2 prove di taglio diretto (CD), eseguite sui campioni dei sondaggi S1 e S2 (STRALCIO 1) hanno fornito valori di coesione (c') ed angolo di attrito (ϕ') in media pari a: $c' = 17,50$; $\phi' = 27,5^\circ$.

La resistenza al taglio non drenata c_u è stata valutata facendo riferimento sia ai risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT) realizzate per il PROGETTO DEFINITIVO STRALCIO 1 sia dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT reperite durante per il presente studio PROGETTO DEFINITIVO STRALCIO 2 (indagini geognostiche disponibili reperite sul portale della Regione Umbria).

Nel dettaglio sono state considerate:

n. 8 prove SPT (STRALCIO 1);

n. 17 prove SPT (STRALCIO 2);

Relazione geotecnica e sismica

Nella figura seguente sono riportati i valori ottenuti dalle prove SPT secondo la correlazione di Stroud (1974).

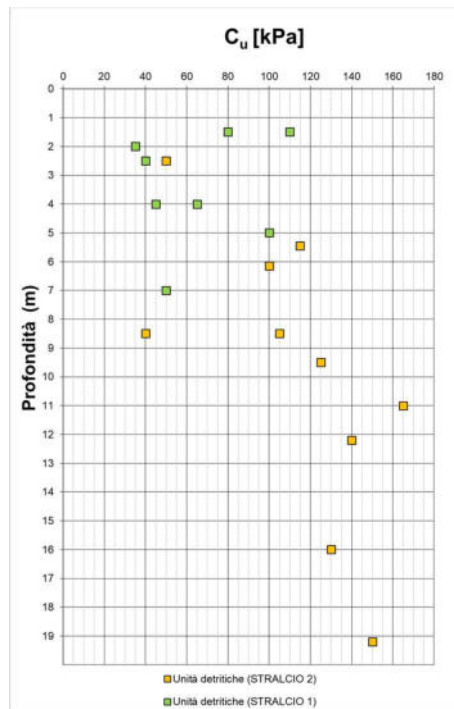


Figura 2 – Valori di resistenza al taglio non drenata (c_u) da prove SPT

Il range caratteristico ottenuto considerando il 25th e 75th percentile è risultato pari a: c_u = 57 - 145 kPa.

5.3.3 Caratteristiche di deformabilità

Dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT) è stato valutato l'intervallo del modulo elastico a piccole deformazioni (E) stimato mediante la correlazione di Ohta e Goto (1978), D'Apollonia et al (1970) e Schultze & Menzenbach (1961).

Nella figura seguente sono riportati i risultati.

Relazione geotecnica e sismica

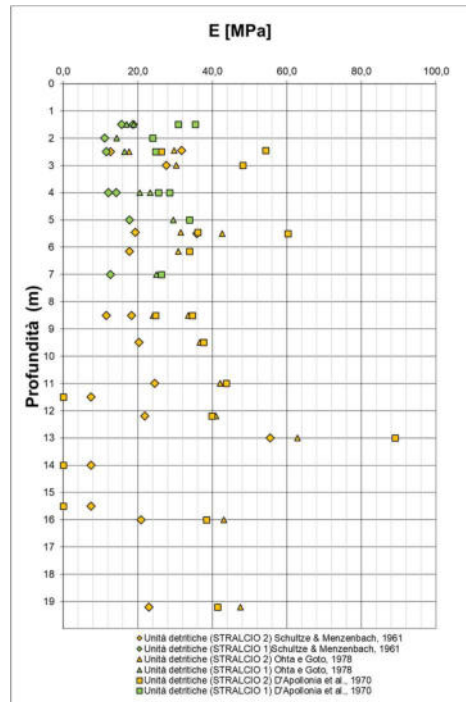


Figura 3 – Valori del modulo elastico (E) da prove SPT.

Il range caratteristico ottenuto considerando il 25th e 75th percentile è risultato pari a:

Correlazione di Schultze & Menzenbach E= 13-22 MPa

Correlazione di Ohta e Goto E=22-42 MPa

Correlazione di D'Apollonia et al E= 26-40 MPa

Nella tabella seguente si riassumono i gli intervalli caratteristici indicati per le analisi geotecniche.

Unità geotecnica	Peso dell'unità di volume	Modulo di Young operativo	Resistenza	
	γ_{nat} [kN/m ³]	E' oper. [MPa]	ϕ' [°]	c' [kPa]
UG2 – UG3	20	13-42	30-35	0-10

5.4 TERRENI E MATERIALI DI RIPORTO

Corrisponde a terreni sciolti, eterometrici. Materiali derivanti da attività di costruzione, in genere costituenti il corpo di rilevati esistenti di viabilità (materiali per sottofondo stradale) o la coltre vegetale dei campi coltivati. Tale unità, di ridotto spessore, di seguito parametrizzata, non è riportata in profilo in quanto non rappresentabile alla scala di progetto.

In assenza di prove sia per la determinazione del peso dell'unità di volume sia per la determinazione dei parametri di resistenza, sulla scorta di conoscenze pregresse, sviluppate dall'analisi di terreni simili, si forniscono valori preliminari, rispettivamente:

- peso dell'unità di volume $\gamma_n = 18-20$ kN/m³;
- angolo di resistenza al taglio $\phi' = 30-35^\circ$
- coesione efficace $c' = 0-5$ kPa.

6 SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

A conclusione dello studio geotecnico effettuato in questa fase progettuale, nelle tabelle seguenti si riportano i valori dei parametri geotecnici delle diverse UG individuate lungo il tracciato.

UNITA' LITOIDE: PARAMETRI D'AMMASSO E MOHOR-COULOMB EQUIVALENTI

Unità geologica	UG	γ_{nat} [kN/m ³]	σ_{ci} [MPa]	GSI	m_i	E_i [GPa]	Erm [MPa]	ϕ' eq [°]	c' eq [kPa]
SAA	UG1	26	69-79	30-45	7-9	12-14,8	434-861	36-43	156-246

UNITA' DETRITICHE E MATERIALI DI RIPORTO

Unità geologica	UG	γ_{nat} [kN/m ³]	E' oper. [MPa]	ϕ' eq [°]	c' eq [kPa]
a1+a3+b+b _n	UG2 + UG3	20	13-42	30-35	0-10
h	UG4	18-20	-	30-35	0-5

7 CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

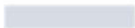
7.1 PERMEABILITÀ DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Le unità geotecniche individuate sono riferibili a n.5 complessi idrogeologici (CI), descritti nella relazione geologica (cod. el. T00-GE00-GEO-RE01-A) e di seguito richiamati:

- CI a prevalente componente calcareo marnosa (CI-CM);
- CI a prevalente componente calcarea (CI-C);
- CI delle Marne a Fucoidi (CI-MF);
- CI della Maiolica (CI-M)
- CI dei depositi alluvionali e gravitativi (CI-AG);

di cui si riporta in tabella la descrizione ed i relativi valori di permeabilità:

Relazione geotecnica e sismica

COMPLESSO IDROGEOLOGICO Descrizione	UNITA' GEOLOGICA	UNITA' GEOTECNICA	TIPOLOGIA DI PERMEABILITA'			GRADO DI PERMEABILITA' [m/sec]											
			Permeabilità primaria	Permeabilità secondaria		10 ⁻⁹	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻³								
			Porosità	Fessurazione	Carsismo							Impermeabile	Molto basso	Basso	Medio	Alto	
CI-CM <u>Complesso idrogeologico a prevalente componente calcarea marnosa (acquiclude)</u> Marne, marne argillose, marne calcaree	SCC, VAS	-	■	■				10 ⁻⁹	■	■	10 ⁻⁶						
CI-C <u>Complesso idrogeologico a prevalente componente calcarea - scaglia</u> Calcarei micritici, calcilutiti, calcareniti.	SAA, SBI	UG1		■	■						10 ⁻⁷	■	■	10 ⁻⁶			
CI-MF <u>Complesso idrogeologico delle mame a fucoidi (acquiclude)</u> Marne, marne argillose calcaree e calcari marnosi.	FUC	-	■	■				10 ⁻⁹	■	■	10 ⁻⁶						
CI-M <u>Complesso idrogeologico della maiolica CI-M</u> Calcarei micritici a grana fine	MAI	-		■	■						10 ⁻⁷	■	■	10 ⁻⁵			
CI-AG <u>Complesso idrogeologico dei depositi alluvionali e gravitativi (CI-AG)</u> 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.	a ₁ , a ₂ , b, b _n	UG2, UG3	■											10 ⁻⁵	■	■	10 ⁻³
Intervallo di riferimento 																	

7.2 FALDA FREATICA

Come descritto nella relazione geologica (cod. el. T00-GE00-GEO-RE01-A), durante l'esecuzione dei sondaggi realizzati per la progettazione del PROGETTO DEFINITIVO STRALCIO 1, sono state eseguite le letture dei livelli piezometrici per indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterranee.

Per la il tracciato in studio (STRALCIO 2), durante l'elaborazione del presente progetto, sono stati individuati sul portale della Regione Umbria i dati idrogeologici relativi ai sondaggi disponibili più prossimi al tracciato. In particolare la ricerca sul portale ha individuato n. 4 sondaggi, associati a relative letture piezometriche, di cui n.2 ricadono nelle immediate vicinanze del tracciato (abitato di Piedipaterno). Inoltre, durante i sopralluoghi effettuati ad ottobre 2022, lungo il tracciato in studio (STRALCIO 2), è stato ritrovato un piezometro a tubo aperto funzionante che ha permesso di indagare la presenza della falda idrica.

Dall'analisi delle letture piezometriche emergono le seguenti condizioni:

- L'intera area di progetto è caratterizzata dalla presenza di un acquifero rappresentato dalla circolante nel basamento carbonatico (qui nominato CI-C). La falda dove intercettata, presenta un andamento regolare, connesso con la buona permeabilità dell'acquifero carbonatico che la contiene. Il deflusso sotterraneo è orientato verso il fondovalle.
- Detto acquifero trae alimentazione dalle precipitazioni meteoriche, in prevalenza nei mesi autunno-invernali. Il livello piezometrico di questo acquifero è posto tra 7 m e 11 m di profondità dal p.c.
- Le opere in progetto, non interferiscono direttamente con la falda freatica individuata in quanto poste a diversi metri al di sopra della superficie piezometrica.
- In generale la falda freatica è oggetto di sfruttamento per attività agricola e antropica, ed è caratterizzata da elevata vulnerabilità, in particolare per le caratteristiche di permeabilità dei terreni in cui si collocano; pertanto, in fase di realizzazione delle opere sarà necessario adottare specifici interventi atti alla salvaguardia.

8 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

8.1 INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

L'assetto geodinamico della regione Umbria consente di definire il quadro delle sorgenti sismogenetiche che caratterizzano, a grande scala, l'area studiata.

Dall'analisi del data base: DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) dell'INGV, emerge che il tracciato in studio ricade in un'area definita dalla sorgente sismogenetica composita, nominata Mugello - Città di Castello-Leonessa (cod. ITCS037). L'area rientra inoltre nella zona di subduzione “Northern Apennines Arc”(cod.ITSD002).

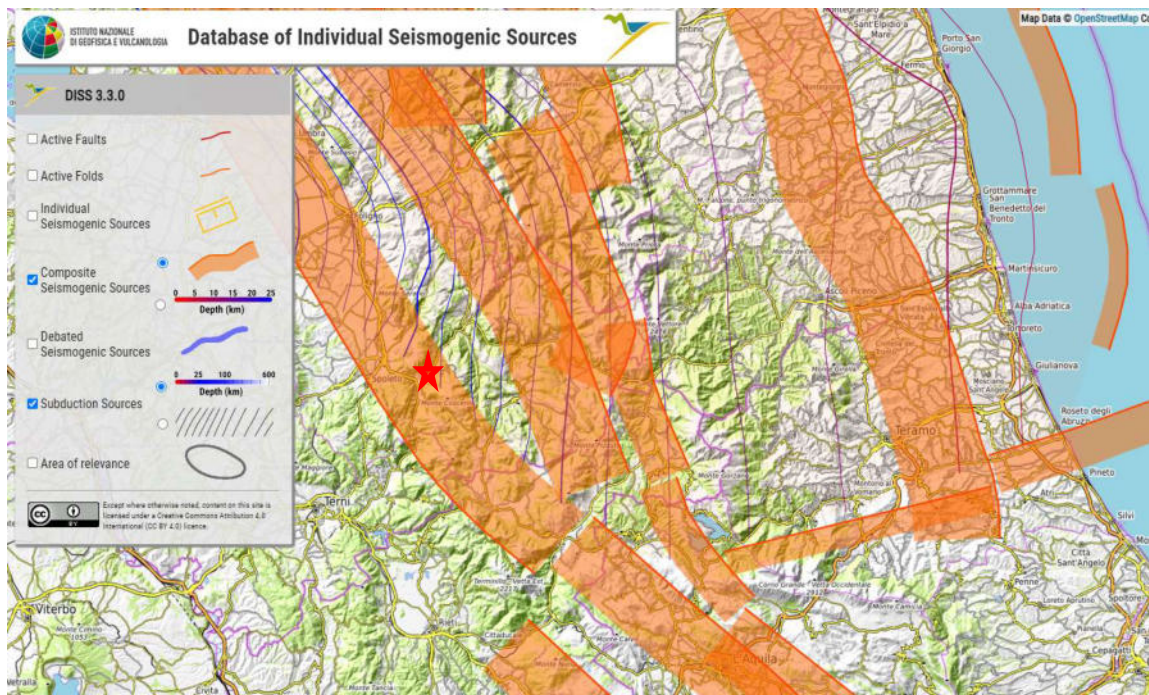


Figura 4 – Quadro delle sorgenti sismogenetiche che caratterizzano, a grande scala, l'area studiata (Database of Individual Seismogenic Sources). La stella rossa indica l'ubicazione del tracciato in studio.

Il “Catalogo delle faglie capaci” (ITHACA), redatto dall'ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, non riporta per l'area in esame la presenza di Faglie Capaci. La faglia capace più vicina alle zone di interesse è la Faglia 62901 “Spoleto”.

Relazione geotecnica e sismica

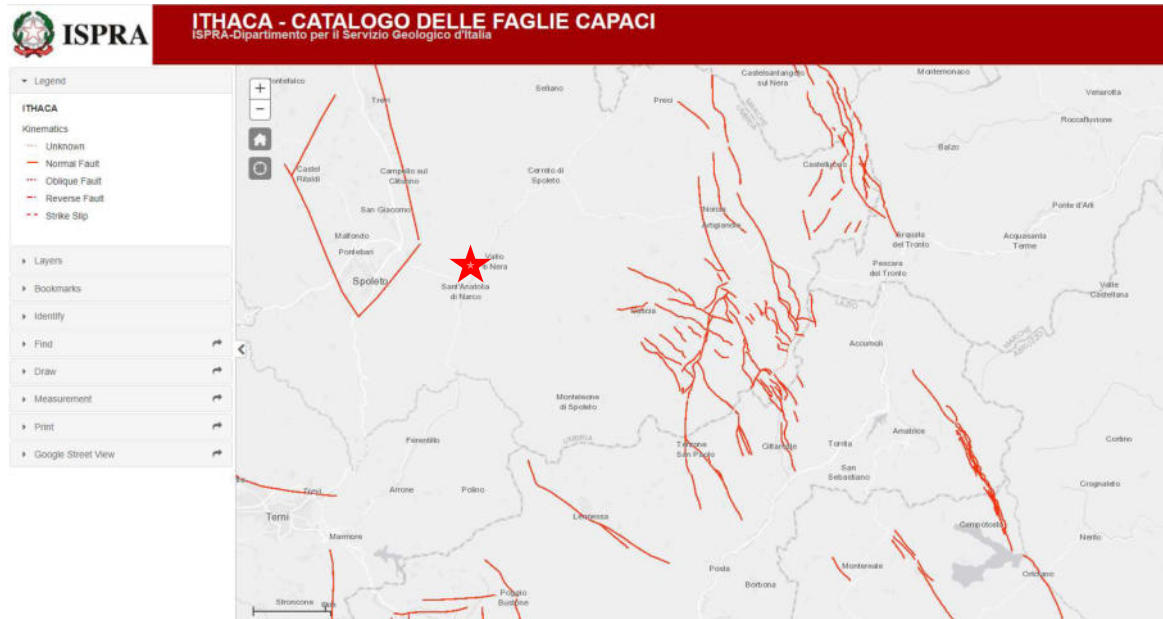


Figura 5 – Catalogo delle Faglie Capaci (ISPRA Progetto ITHACA). La stella rossa indica l’ubicazione del tracciato in studio.

Le serie storiche di eventi sismici nel comune di Vallo di Nera mostrano eventi con magnitudo massime di 6-7 (Storia sismica del Comune di Vallo di Nera (PG), ricavata dal DBMI15 https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Le aree interessate dal progetto ricadono in zona sismica 1, a sismicità alta (Classificazione sismica del territorio nazionale, implementata dalla Deliberazione della Giunta Regionale del 18 settembre 2012, n. 1111).

Carta di Pericolosità Sismica di base regionale

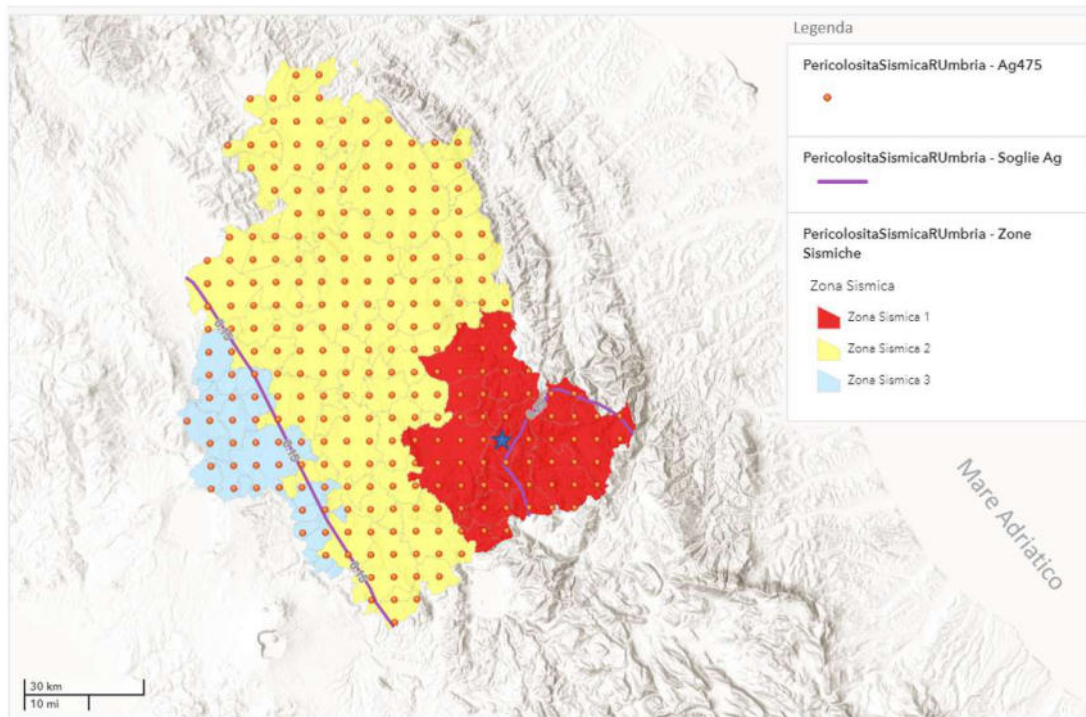


Figura 6 – Zonazione del territorio regionale umbro sulla base della classificazione sismica. La stella blu indica l’ubicazione del tracciato in studio

Relazione geotecnica e sismica

	Zona sismica	Accelerazione
1	La zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta	$a_g > 0.25$
2	In questa zona forti terremoti sono possibili	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	La zona meno pericolosa. La probabilità che capiti un terremoto è molto bassa	$a_g \leq 0.05$

Figura 7 – Suddivisione delle zone sismiche in relazione alla accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).
Gli intervalli di accelerazione (a_g) si riferiscono alla probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni

8.2 CRITERI ADOTTATI

L’azione sismica nel sito del progetto, per l’attuale fase di progettazione, è trattata secondo quanto previsto dalle norme tecniche per le costruzioni D.M. 17/01/2018 (NTC 2018), che rimandano alla carta di pericolosità sismica del territorio nazionale (Modello di pericolosità sismica MPS04-S1).

La caratterizzazione sismica del tracciato si basa sullo studio della pericolosità sismica di base dell’area di progetto e sulla conoscenza geotecnica delle formazioni superficiali presenti; in particolar modo sulla possibilità di definire per il sottosuolo di sedime il fattore di amplificazione stratigrafico.

La caratterizzazione sismica, pertanto, si articola come segue:

- definizione dell’accelerazione sismica di riferimento su substrato rigido di base;
- assegnazione dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su substrato rigido di base;
- individuazione della classe di sottosuolo, per la valutazione dell’amplificazione stratigrafica sulla base delle indicazioni normative.

8.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

In base alla NTC 2018, capitolo 3.2, la valutazione dell’azione sismica di progetto si basa sulla stima dell’accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A come al paragrafo 3.2.2).

I valori di riferimento di a_g sono contenuti nell’allegato B della precedente norma NTC 2008. Essi sono coerenti con quelli definiti dalla mappa di pericolosità sismica di base del territorio nazionale (MPS04, 2006, aggiornata dal progetto INGV-DPC S1 2005-2007, v. figura seguente), e risultanti da un’analisi probabilistica sviluppata a partire dalla zonazione sismica ZS9 (<http://esse1.mi.ingv.it/>).

Relazione geotecnica e sismica

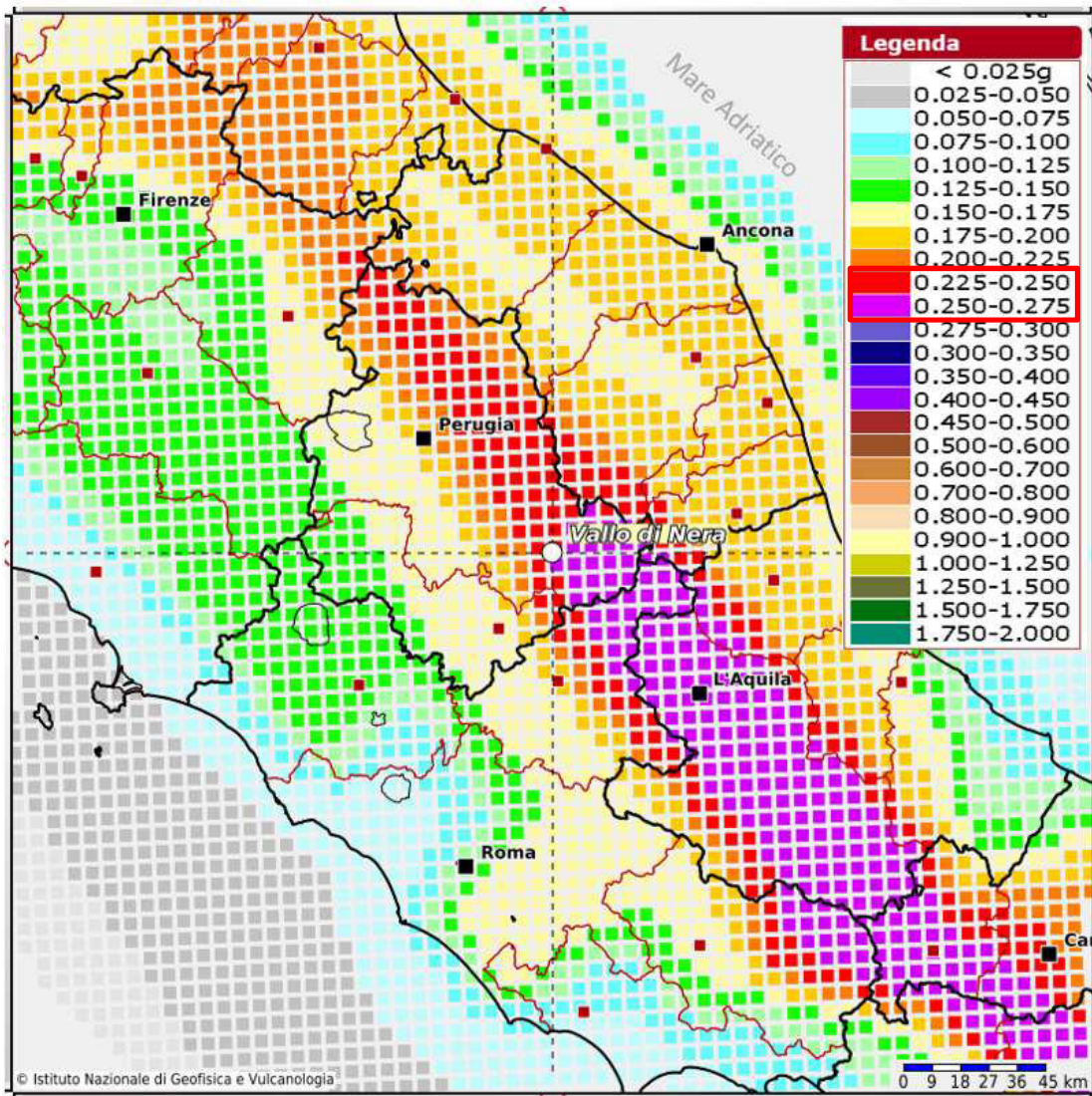


Figura 8 – Stralcio della carta di pericolosità sismica nazionale (MPS04-S1)

Considerando che il tracciato in progetto è localizzato nel territorio comunale di Vallo di Nera, i corrispondenti valori di a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni variano tra:

$$0.225 \leq a_g \leq 0.275$$

Per quantificare l'azione sismica necessaria al dimensionamento strutturale delle opere previste dal progetto è necessario definire lo spettro di risposta elastico in accelerazione su substrato rigido di base, con riferimento alle probabilità di eccedenza PVR associate agli stati limite ultimi e di esercizio definiti nel Paragrafo 3.2.1 della normativa di riferimento, e al periodo di riferimento V_R funzione della vita nominale V_N e della classe d'uso, C_U , definite nel paragrafo 2.4, della NTC 2018. Per la contestualizzazione della funzione spettrale riportata nella NTC 2018, nel citato allegato B della NTC 2008 sono riportati anche i valori dei parametri di taratura, dove:

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

* T_C = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri a_g , F_0 e $*T_c$ sono definiti nei nodi di una griglia a maglia quadrata con spaziatura minore di 10 km. È possibile individuare i valori da associare alla specifica opera a partire dalla sua localizzazione territoriale (allegato B NTC 2008 o equivalenti applicativi software).

In linea generale per le opere d’arte in progetto si ha: $V_N = 50$ anni e $C_U = 2$ (classe d’uso IV);

Sulla base degli studi geotecnici e dei risultati di prove sismiche di superficie di tipo MASW realizzate per il PROGETTO DEFINITIVO ANAS: “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 1 - Lavori di adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 49+300 al km 51+500”, è stato possibile ipotizzare la categoria di suolo in base alle NTC 2018.

Di seguito si riportano i risultati delle prove MASW disponibili, descrivendo l’andamento della velocità delle onde di taglio V_S con la profondità e calcolando le V_{Seq} .

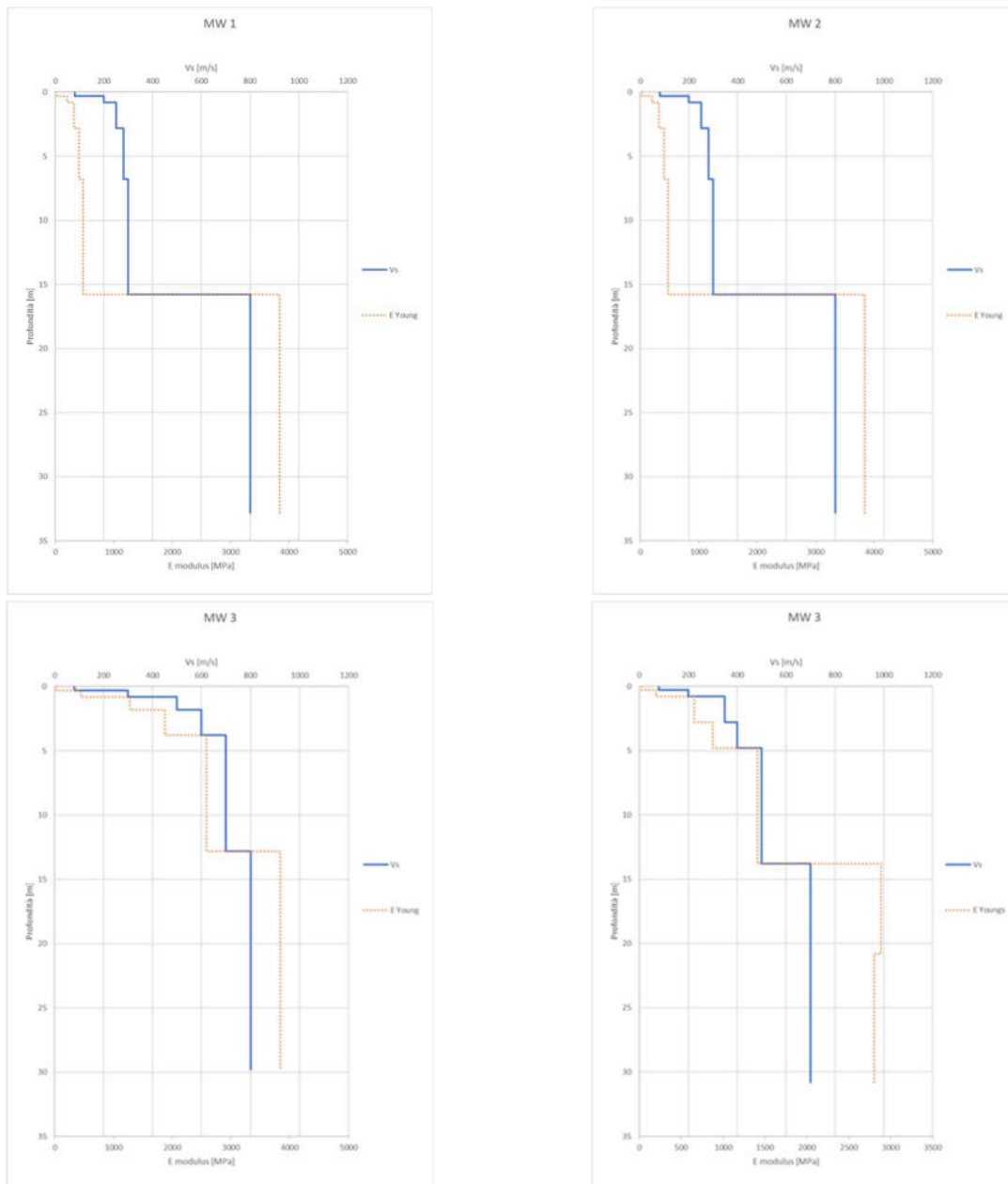


Figura 9 – Modello di variazione della velocità delle onde di taglio V_S con la profondità. I valori di V_S sono inoltre stati elaborati in termini di modulo di Young.

Relazione geotecnica e sismica

Le V_{seq} sono state calcolate considerando una profondità di circa 30 m.

Id MASW	Vs eq.
	[m/s]
MW1	252,72
MW2	252,72
MW3	290,80
MW4	281,92

Sulla base dei risultati ottenuti si ipotizza per il tracciato in esame che possa ricadere nella **classe C** della NTC 2018 (figura seguente).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore 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> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 8.10: Caratteristiche del sottosuolo che permettono l'uso dell'approccio semplificato; stralcio NTC2018

Come precedentemente anticipato, non essendo disponibili prove sismiche realizzate *ad hoc* lungo il tracciato in progetto, l'assunzione si basa principalmente sull'analisi bibliografica del contesto geologico e geotecnico che caratterizza la regione studiata. Specifici approfondimenti locali dovranno permettere, nelle fasi progettuali successive, di verificare e caratterizzare le accelerazioni di picco al suolo e la potenzialità di liquefazione lungo la tratta.

Ai fini della definizione dei parametri di base dell'azione sismica, espressa in termini di spettro di risposta elastico al substrato rigido di base, di seguito si riportano i valori caratteristici per il sito di progetto.

Stato limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0,106	2,350	0,281
SLD	101	0,134	2,325	0,288
SLV	949	0,312	2,358	0,340
SLC	1950	0,393	2,384	0,352
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 100 anni				

Il coefficiente topografico, per l'intera tratta dovrà considerare un valore diverso da T1 in considerazione della morfologia molto acclive.