

**PROVINCIA DI BERGAMO
COMUNE DI CISERANO**



COMUNE DI CISERANO

**LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLA STRADA FRANCESCA
NUOVA PISTA CICLABILE - PONTE SU UN RAMO DELLA ROGGINA BREMBILLA**

STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO AI SENSI DELLE NTC 2018 (D.M. 17.01.2018) E
DELLA L.R. 33 DEL 12.10.2015 E DGR X/5001 DEL 30.03.2016

16 luglio 2020

Dott Geologo Arnaldo Zanchi
c/o **ERA** Soc. Coop.
via Promessi Sposi 24/B - 24127 Bergamo
Tel. e fax: +390352652801
E-mail: arnaldo.zanchi@era.cc



INDICE:

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO	3
3.1. GEOMORFOLOGIA	3
3.2. GEOLOGIA	4
3.3. IDROGEOLOGIA	5
4. PROFILO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO	7
4.1. PROFILO STRATIGRAFICO	7
5. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO	7
6. PERICOLOSITÀ SISMICA	8
6.1. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	8
6.2. STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI RITORNO E PERIODO DI RIFERIMENTO	10
6.3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	11
6.4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO	15
6.4.1. Coefficienti Sismici	15
6.4.2. Stabilità Dei Pendii E Fondazioni	15
6.5. RISULTATI	16
6.5.1. Pericolosità Sismica Di Base	16
6.5.2. Pericolosità Sismica Di Sito	17
6.5.2.1. Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni	17
6.5.2.2. Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	18
6.5.2.3. Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali	18
7. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE DI 1° LIVELLO	19
8. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ CON IL PGT	19
8.1. CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO	19
8.2. CARTA DEI VINCOLI	20

1. PREMESSA

Su richiesta del progettista Arch. Massimo Bernardelli, è stato redatto il presente studio geologico e geotecnico a supporto del progetto per la realizzazione di un ponte ciclabile su un ramo della roggia Brembilla nell'ambito di una nuova pista ciclabile a Ciserano.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2018 (Circolare n 7 del 21 Gennaio 2019)
- Nuove norme tecniche delle costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018))
- D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)
- Componente geologica idrogeologica e sismica del PGT comunale in attuazione dell'Art. 57 della Legge regionale 11.03.2005 n. 12
- D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001 - Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015).

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO

Il nuovo ponte ciclabile sul ramo della roggia Brembilla è parte integrante della nuova pista ciclabile che rientra nel progetto di messa in sicurezza della strada Francesca.



Fig. 1: Ubicazione del futuro ponte ciclabile su aerofotogrammetrico

3.1. GEOMORFOLOGIA

Il comune di Ciserano è inserito nella tipica media pianura bergamasca corrispondente al livello fondamentale della pianura (L.F.d.P.) che rappresenta la superficie topografica principale per il territorio comunale.

Questa superficie regolare, che degrada dolcemente verso sud, corrisponde alla risultante della coalescenza dei diversi conoidi alluvionali presenti a partire dal piede delle Orobie; l'ambiente di deposizione di quest'unità è riferibile all'attività di corsi d'acqua pluricursali (braided), a basso indice di sinuosità ed elevata energia.

Durante le fasi di fusione glaciale, tali corsi d'acqua erano caratterizzati da portate liquide e solide sicuramente superiori a quelle attuali.

Sulla superficie del Livello fondamentale della pianura sono state riconosciute deboli depressioni dal fondo arrotondato ricollegabili alla rielaborazione, successiva alla fase di deposizione principale, operata da piccoli corsi d'acqua.

3.2. GEOLOGIA

Con riferimento alla Carta Geologica della Provincia di Bergamo, dal punto di vista geologico nell'area sono presenti depositi appartenenti all'Unità di Treviglio (Pleistocene superiore).

L'unità di Treviglio fa parte del complesso del Brembo che riunisce differenti unità che esprimono le ultime grandi avanzate glaciali nei differenti solchi vallivi.

Risulta costituita da depositi alluvionali con ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa; ciottoli arrotondati prevalentemente discoidali, con dimensioni medie variabili tra 2 e 10 cm, e dimensioni massime di 45 cm. E' presente una grossolana stratificazione.

Nelle sequenze sommitali delle parti più meridionali dell'unità si osservano ghiaie sabbiose, a supporto di matrice, stratificate, oppure strati e lenti sabbiose a laminazione interna, oppure ancora gradazione diretta da ghiaie a limi. Sulle sequenze ghiaiose sono presenti anche spessori decimetrici di limi a raro scheletro diffuso, in situazione di troncatura erosionale; poichè ad essi non è associabile alcuna morfologia particolare, sono interpretati come limi di esondazione. Localmente compare una debole cementazione, che può interessare spessori metrici di ghiaie.

Rapporti Stratigrafici - Nella parte settentrionale e centrale dell'area di affioramento l'Unità di Treviglio terrazza, ricoprendo in discordanza, i sedimenti clastici cementati del Conglomerato di Madonna del Castello e del Ceppo del Brembo, i depositi fluvioglaciali dell'Unità di Brembate e, in sponda destra del Brembo, tra Ponte S. Pietro e Brembate, quelli dell'Unità di Carvico. Più a Sud essa risulta a sua volta debolmente incisa dall'Unità di Cantù, mentre al suo limite meridionale viene suturata, senza esserne troncata erosionalmente, da depositi palustri e fluviali dell'Unità Postglaciale. Inoltre è possibile riconoscere più corpi sedimentari nell'ambito dell'unità stessa, con identici caratteri pedologici, organizzati in sistemi di terrazzi.

Età del Complesso del Brembo - Le unità riunite nel Complesso del Brembo sono espressione sedimentaria degli ultimi grandi ghiacciai che hanno occupato queste vallate e dei depositi ad essi correlati; dopo la fase di massima espansione individuata in ogni unità si sono verificate solo pulsazioni di minore entità in fase di ritiro. Le punte di massimo delle avanzate glaciali non possono venir considerate esattamente isocrone, come dimostrato in Val Secca di Roncobello dove il ghiacciaio dei Tre Pizzi ha tagliato le morene di massimo del Ghiacciaio di Val Mezzeno: infatti le aree di alimentazione dei ghiacciai, alle testate delle valli, sono fortemente soggette a variazioni microclimatiche, quindi le fasi di avanzata e ritiro dei ghiacciai dipendono, in un contesto generale di deterioramento o miglioramento climatico, da condizioni strettamente locali.

Nella zona di pianura (Unità di Treviglio) l'assenza di una copertura loessica è caratteristica dei depositi dell'ultima espansione glaciale. Il Complesso del Brembo, anche in assenza di datazioni geocronometriche, è di età Pleistocene superiore.

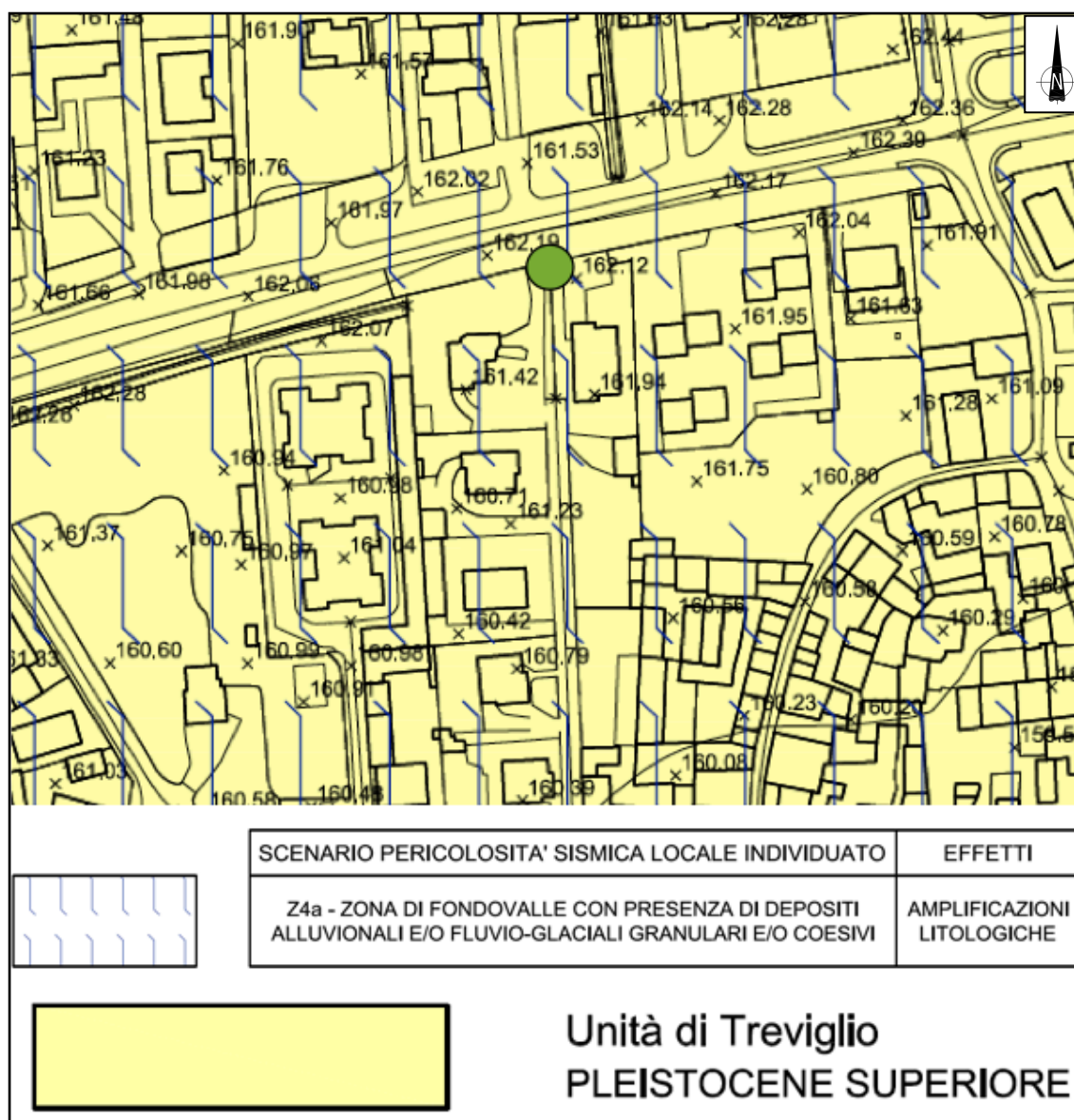


Fig. 2: Estratto della carta geologica-sismica del PGR

3.3. IDROGEOLOGIA

Come abbiamo detto nel paragrafo precedente la struttura geologica della pianura compresa tra il fiume Adda ed il fiume Serio è caratterizzata dalla presenza dei depositi delle conoidi dell'Adda, della Valle Brembana e della Valle Seriana. Da monte verso valle sono presenti, a sud degli ultimi affioramenti rocciosi delle colline bergamasche, i depositi sciolti quaternari fluvio-glaciali riferibili agli episodi Riss e Mindel Auct. (Pleistocene medio) e più a meridione a quelli del fluvio-glaciale Wurm Auct. (Pleistocene sup.), incisi dalle alluvioni antiche e recenti (Olocene). Quest'ultima unità costituisce, come già accennato, il livello fondamentale della pianura ed occupa la maggior parte dell'area con depositi ghiaioso-sabbiosi che verso sud tendono ad essere sostituiti da litologie più fini.

Il limite inferiore impermeabile dell'acquifero libero, presente nei depositi sopra descritti, è costituito dalle unità argillose e limoso-sabbiose del Pliocene. L'andamento di questo limite è la caratteristica principale che influenza il regime di deflusso e

l'assetto della struttura idrogeologica. In particolare la dorsale sepolta (Beretta et al., 1989) con andamento est-ovest, influenza in modo determinante la circolazione idrica nella falda freatica. Infatti, lo spessore utile dell'acquifero a falda libera o semiconfinata passa dai circa 300 metri a nord della dorsale ai circa 60-100 metri a sud della stessa, con una conseguente diminuzione di trasmissività dell'acquifero.

Il regime di deflusso sottolinea l'andamento delle strutture idrogeologiche. Nella parte settentrionale il flusso presenta una direzione nord-sud, con un gradiente elevato (fino al 5%) poiché la superficie piezometrica tende a seguire il rapido approfondimento del substrato. Man mano che si procede verso sud il valore del gradiente decresce fino a raggiungere lo 0,2%, per poi tornare ad aumentare in corrispondenza della dorsale e della conseguente diminuzione di spessore dell'acquifero, fino a valori che si attestano attorno allo 0,5%. A sud il gradiente torna sui valori compresi tra 0,2 e 0,3 %.

E' importante sottolineare come non esistano, nei depositi fluvioglaciali presenti nell'area, livelli impermeabili continui di separazione e pertanto le falde presenti risultano intercomunicanti.

Per quanto riguarda la superficie piezometrica, nell'area d'interesse, presenta una soggiacenza di circa 12 metri con una isopieze intercetta a 150 m s.l.m..

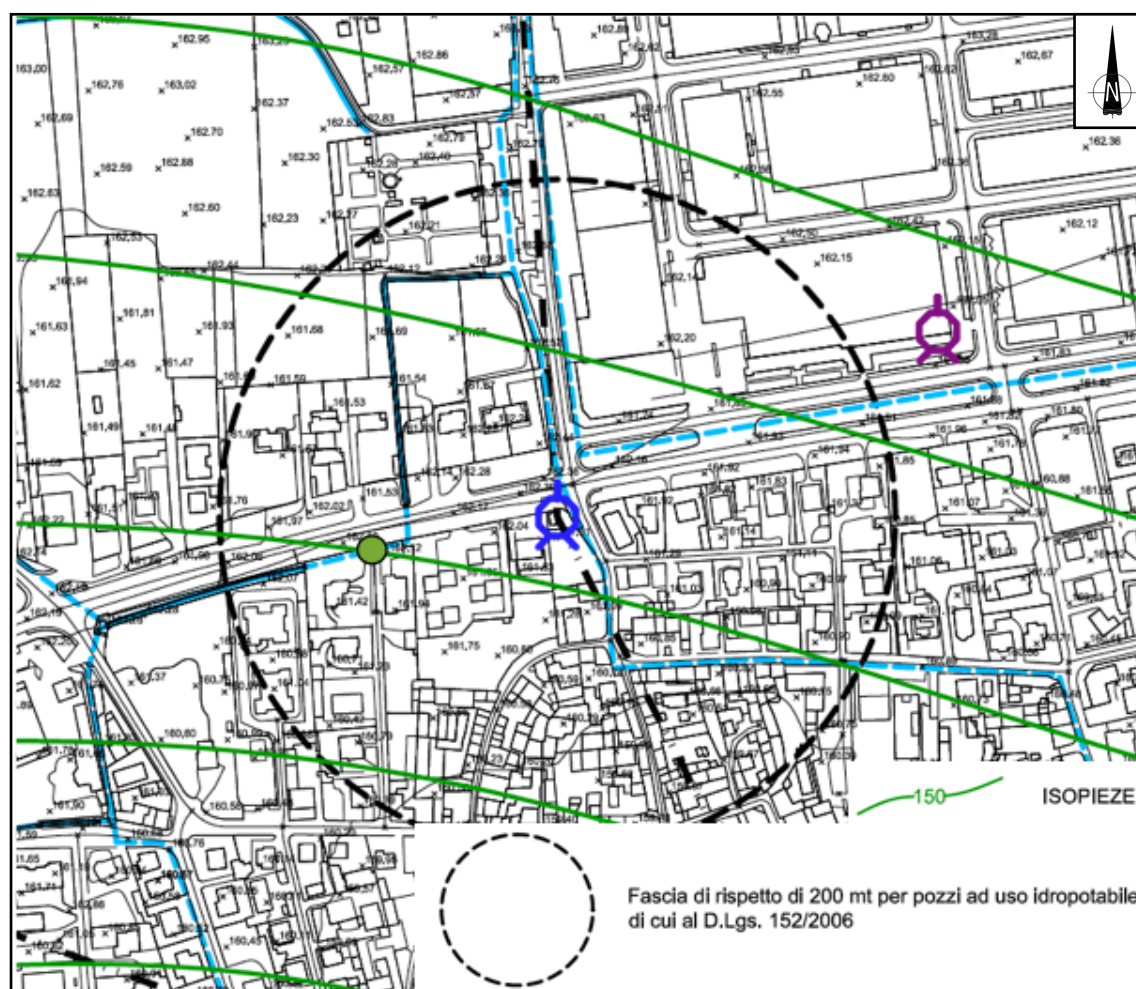


Fig.3: estratto della carta idrogeologica dal PGT comunale

4. PROFILO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO

4.1. PROFILO STRATIGRAFICO

Per la definizione del profilo stratigrafico si considera quello proposto nello studio geologico e geotecnico eseguito a supporto di un progetto di ristrutturazione edilizia in via Archimede a Ciserano che interessava gli stessi depositi dell'Unità di Treviglio.

Litotipo	Prof.	N _{SPT}	(N1) ₆₀	γ_n (kN/m ³)	ϕ (°)	E _y (MPa)	μ
Litotipo A	0,60	10	21	19,63	29	8	0,34
Litotipo B	1,20	5	10	18,14	26	6	0,36
Litotipo C	3,30	22	33	19,83	33	15	0,31
Litotipo D	6,30	14	16	18,99	31	10	0,33
Litotipo C	8,40	21	20	19,46	33	11	0,31
Litotipo E	15,00	65	57	21,00	35	23	0,30

dove:

Litotipo A massicciata e/o riporto

Litotipo B terreno pedogenizzato

Litotipo C Ghiaia sabbiosa o con sabbia

Litotipo D Ghiaia e sabbia

Litotipo E Ghiaia deb. sabbiosa

5. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Per la classificazione del sito per determinare l'eventuale amplificazione sismica, le nuove norme tecniche sulle costruzioni, riprendendo quanto riportato nell'Eurocodice 8 (con particolare riferimento alla prima parte EN1998-1 in cui si definiscono le regole generali, le azioni sismiche e regole specifiche per edifici) che fanno riferimento sia alla velocità delle onde S nella copertura sia allo spessore della stessa.

In particolare l'Eurocodice 8 identifica tre classi la A (a sua volta suddivisa in due sottoclassi, la A1 e la A2), la B e la C, ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

Sono quindi identificate 5 classi, ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico come indicato nella tabella di pagina seguente.

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

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

dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N Numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/sec.

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

Considerando le indagini MASW eseguite per lo studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT i terreni di fondazione appartengono alla classe B:

“Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt}>50$ o coesione non drenata >250 kPa).”.

6. PERICOLOSITÀ SISMICA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite, che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la vita nominale dell'opera, che congiuntamente alla classe d'uso, permette di determinare il periodo di riferimento;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative probabilità di superamento è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

6.1. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N * C_U \quad (7.1.1)$$

dove:

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab.1 Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 1 – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

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

Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_U = 0.7$;
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $C_U = 2.0$;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la classe d'uso II a cui è associato il coefficiente d'uso $C_U = 1,0$.

Ricavati i valori di V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1,0 = 50 \text{ anni.}$$

6.2. STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI RITORNO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili stati limite (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono stati limite di esercizio (SLE) e due sono stati limite ultimi (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento P_{VR} (Tabella 2), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Tabella 2 - Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $V_R = 50$ anni, il tempo di ritorno T_R si ricava dalla tabella 3:

Tabella 3 - Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$T_R = 30$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$T_R = 50$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$T_R = 475$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$T_R = 975$

6.3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A delle NTC08:

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

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

- a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1
- F_0 e TC^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4), contenuta nell'Allegato B delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Tabella 4- Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

ID	LON	LAT	T _R = 30			T _R = 50			T _R = 72			T _R = 101		
			a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	T* _c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 7), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) * \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) * \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g , F_0 , TC^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_{1,2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1,2}$.

Per un punto del non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (7.3.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g , F_0 , TC^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

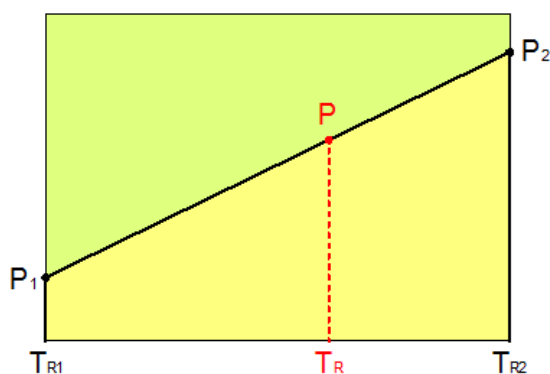


Fig. 4: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Fig. 5

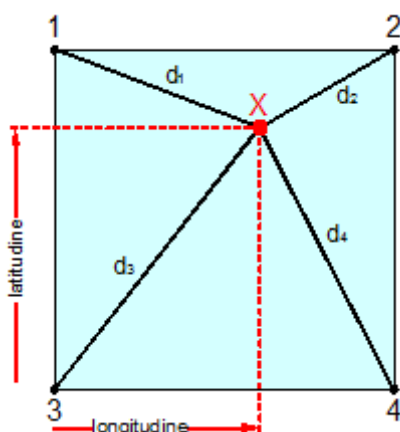


Fig. 5: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R * \arccos[\sin(lat\beta) * \sin(lat\alpha) + \cos(lat\beta) * \cos(lat\alpha) * \cos(lon\alpha - lon\beta)]$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $lat\alpha$, $lon\alpha$, $lat\beta$ e $lon\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

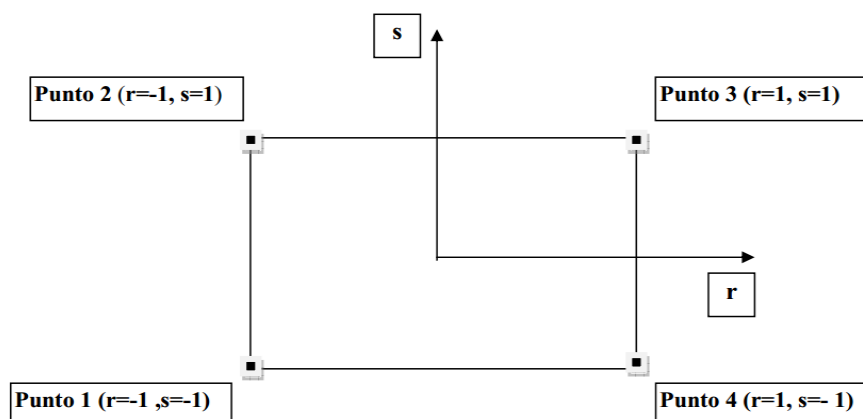


Fig. 6: Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) * (1-s) / 4$$

$$h_2 = (1-r) * (1+s) / 4$$

$$h_3 = (1+r) * (1+s) / 4$$

$$h_4 = (1+r) * (1-s) / 4$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le relazioni seguenti:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i * x_i = [(1-r) * (1-s) * x_1 + (1-r) * (1+s) * x_2 + (1+r) * (1+s) * x_3 + (1+r) * (1-s) * x_4]$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i * y_i = [(1-r) * (1-s) * y_1 + (1-r) * (1+s) * y_2 + (1+r) * (1+s) * y_3 + (1+r) * (1-s) * y_4]$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s , si determinano i parametri $ag, F0, Tc^*$ dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i * p_i = [(1-r) * (1-s) * p_1 + (1-r) * (1+s) * p_2 + (1+r) * (1+s) * p_3 + (1+r) * (1-s) * p_4]$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

6.4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

6.4.1. Coefficienti Sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

6.4.2. Stabilità Dei Pendii E Fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s * \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (7.4.2.1)$$

$$k_v = \pm 0,5 * k_h \quad (7.4.2.2)$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 4 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A, B	C, D, E
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0,28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_s * S_T * a_g$$

S_s (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_s \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto a_g/g . S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: $S_T = 1.0$; **T2:** $S_T = 1.20$; **T3:** $S_T = 1.20$; **T4:** $S_T = 1.40$.

6.5. RISULTATI

6.5.1. Pericolosità Sismica Di Base

Vita nominale (V_n): 50[anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (C_u): 1,00

Periodo di riferimento (V_r): 50[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLO: 30[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLD: 50[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLC: 975 [anni]

Coordinate geografiche del punto baricentrico:

Latitudine (WGS84): 45,5886536 [°]

Longitudine (WGS84): 9,5985756 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	11822	45,571240	9,566219	3304,49
2	11823	45,573530	9,637408	3439,47
3	11601	45,623470	9,634206	4629,84
4	11600	45,621180	9,562910	4528,25

Parametri di pericolosità sismica per T_R diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,028	2,461	0,198
SLD	50	0,036	2,490	0,213
SLV	475	0,100	2,433	0,272
SLC	975	0,133	2,452	0,278

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,030	2,436	0,197
SLD	50	0,039	2,481	0,216
SLV	475	0,114	2,414	0,270
SLC	975	0,149	2,464	0,275

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,030	2,439	0,196
SLD	50	0,039	2,478	0,215
SLV	475	0,113	2,411	0,270
SLC	975	0,148	2,463	0,275

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,027	2,459	0,197
SLD	50	0,036	2,488	0,212
SLV	475	0,100	2,431	0,272
SLC	975	0,132	2,451	0,277

Punto d'indagine in posizione baricentrica

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,029	2,449	0,197
SLD	50	0,037	2,485	0,214
SLV	475	0,107	2,423	0,271
SLC	975	0,140	2,457	0,276

6.5.2. Pericolosità Sismica Di Sito

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

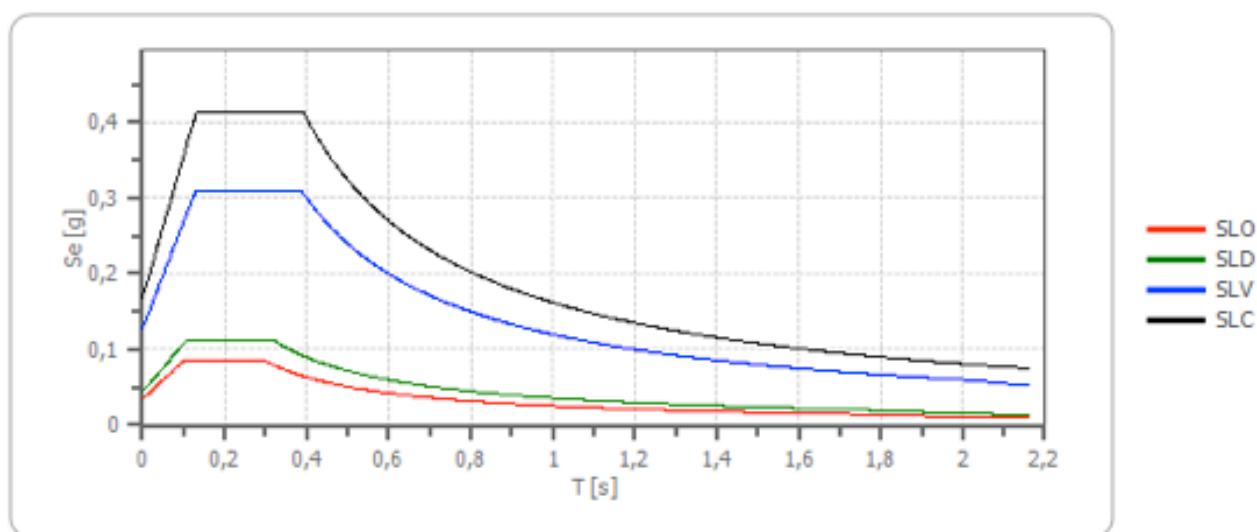
Categ. suolo: B

Categ. topografica: T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

6.5.2.1. Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

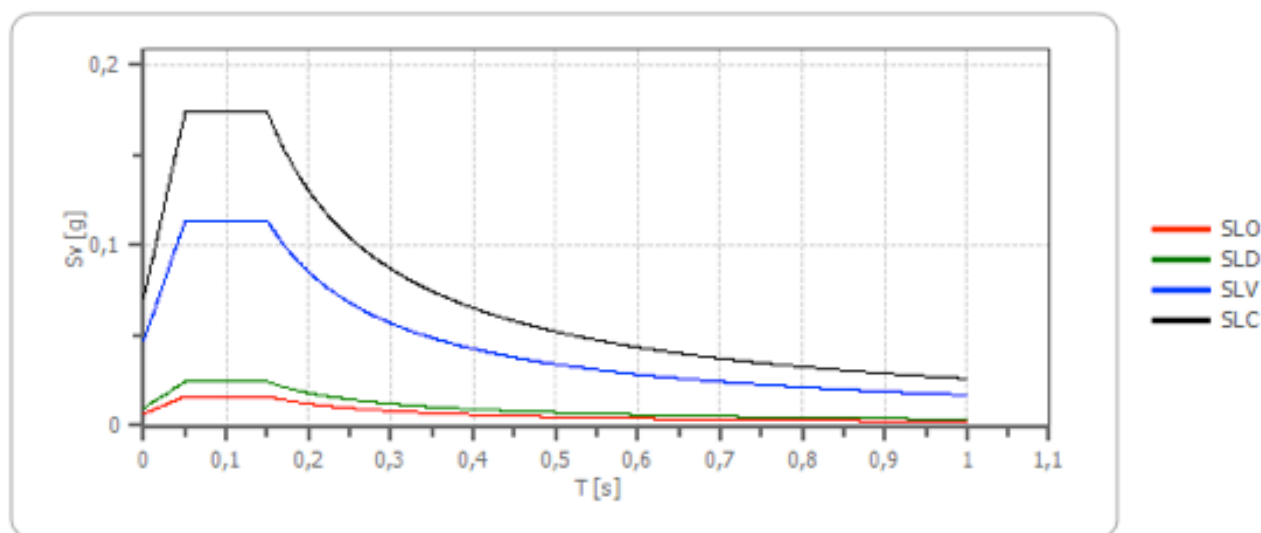
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0,007	0,009	0,031	0,040
k_v	0,003	0,004	0,015	0,020
a_{max} [m/s ²]	0,340	0,441	1,254	1,649
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

6.5.2.2. Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	S _T [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,029	2,449	0,197	1,200	1,520	1,000	1,200	1,000	0,100	0,300	1,716	0,035	0,085
SLD	1,0	0,037	2,485	0,214	1,200	1,500	1,000	1,200	1,000	0,107	0,322	1,750	0,045	0,112
SLV	1,0	0,107	2,423	0,271	1,200	1,430	1,000	1,200	1,000	0,129	0,387	2,026	0,128	0,310
SLC	1,0	0,140	2,457	0,276	1,200	1,420	1,000	1,200	1,000	0,131	0,392	2,160	0,168	0,413

6.5.2.3. Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	S _T [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,029	2,449	0,197	1	1,520	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,007	0,016
SLD	1,0	0,037	2,485	0,214	1	1,500	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,010	0,024
SLV	1,0	0,107	2,423	0,271	1	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,047	0,114
SLC	1,0	0,140	2,457	0,276	1	1,420	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,071	0,174

7. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE DI 1° LIVELLO

Dall'analisi della carta di pericolosità sismica locale di I° livello (D.G.R. IX 2616/2011) per l'area di progetto si ipotizzano possibili amplificazioni geometriche e litologiche con scenari di pericolosità sismica locale classificati Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

8. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ CON IL PGT

Per condurre queste verifiche sono state considerate le norme tecniche del Piano delle Regole (PdR) analizzando la Carta di Fattibilità geologica per le azioni di piano e la Carta dei vincoli.

8.1. CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO

L'area di progetto ricade in classe di fattibilità 2 sottoclasse 2b.

Nella classe 2 (fattibilità con modeste limitazioni) ricadono le aree in cui sono state rilevate puntuali o ridotte condizioni limitative alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, per superare le quali si rende necessario realizzare approfondimenti di carattere geologico-tecnico o idrogeologico finalizzati alla realizzazione di eventuali opere di sistemazione e bonifica, le quali non dovranno incidere negativamente sulle aree limitrofe.

La sottoclasse 2b individua aree a vulnerabilità della falda freatica medio-alta, in considerazione dello spessore della coltre impermeabile superficiale inferiore a 1 m e della permeabilità dei depositi immediatamente sottostanti. Per quanto riguarda la soggiacenza della falda freatica, essa si attesta mediamente intorno ai 10 m dal piano campagna, con escursioni tuttavia fino a 5 m.

Per gli interventi in zone che ricadono nella sottoclasse 2b, che non comportano la potenziale alterazione delle condizioni chimico-fisiche delle acque presenti nel sottosuolo sono valide le prescrizioni riportate nella classe 1.

Per le aree destinate allo sviluppo di insediamenti produttivi ricadenti nella classe di fattibilità 2b, deve essere invece presentata, contestualmente alla richiesta di autorizzazione edilizia, una valutazione del rischio di inquinamento della falda freatica sulla base delle attività svolte all'interno della stessa area produttiva (prendendo in considerazione anche lo stoccaggio di materiali); tale documento, che nei casi più semplici potrà consistere in una semplice dichiarazione, costituirà parte integrante degli atti progettuali.



Fig. 7: Estratto della Carta dei vincoli dallo studio del PGT comunale

Dalla carta di fig. si osserva che l'area di progetto ricade nelle fasce di rispetto del reticolo idrografico e nell'area di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile.

Arnaldo Zanchi Geologo

