COMUNE DI CASTIONE DELLA PRESOLANA

PROVINCIA DI BERGAMO

RELAZIONE GEOLOGICA

REALIZZAZIONE NUOVA AREA CAMPER

IN LOCALITA' LANTANA

CUP: C52F2001147004 CIG: ZDE379FB79

Settembre 2022

MARIANTONIA FERRACIN, GEOLOGA
via Bocchetta, 14 - 24020 Gandellino (BG) - tel. e fax: +39 0346 48087
mobile: +39 348 6039446 - info@atoshstudio.com
cod. fisc.: FRR MNT71L50 D952V - p. iva 02654680160

INDICE

1. premessa 3
2. descrizione dell'intervento 5
3. inquadramento geomorfologico geologico idrogeologico 9
valore caratteristico del carico neve al suolo 12
4. modellazione sismica del sito 13
4.1 inquadramento sismico (accelerazione sismica di base) 13
4.2 vita di riferimento 16
4.3 amplificazione litologica 22
4.4 amplificazione topografica 25
4.5 risultati 25
4.5.1 amplificazione litologica 25
4.5.2 amplificazione morfologica 30
4.5.3 valutazioni complessive 30
4.6 liquefazione del terreno 31
5. considerazioni conclusive 33
allegato 1: indagini sismiche di riferimento hvsr 1 34

1. PREMESSA

La sottoscritta Geol. Mariantonia Ferracin, iscritta all'Ordine dei Geologi della Regione Lombardia al n. 1138, in qualità di libera professionista è stata incaricata dal Comune di Castione della Presolana con Determina n. 376 del 02/09/2022 per redigere la Relazione geologica di supporto alla realizzazione della Nuova Area Camper in Località Lantana.

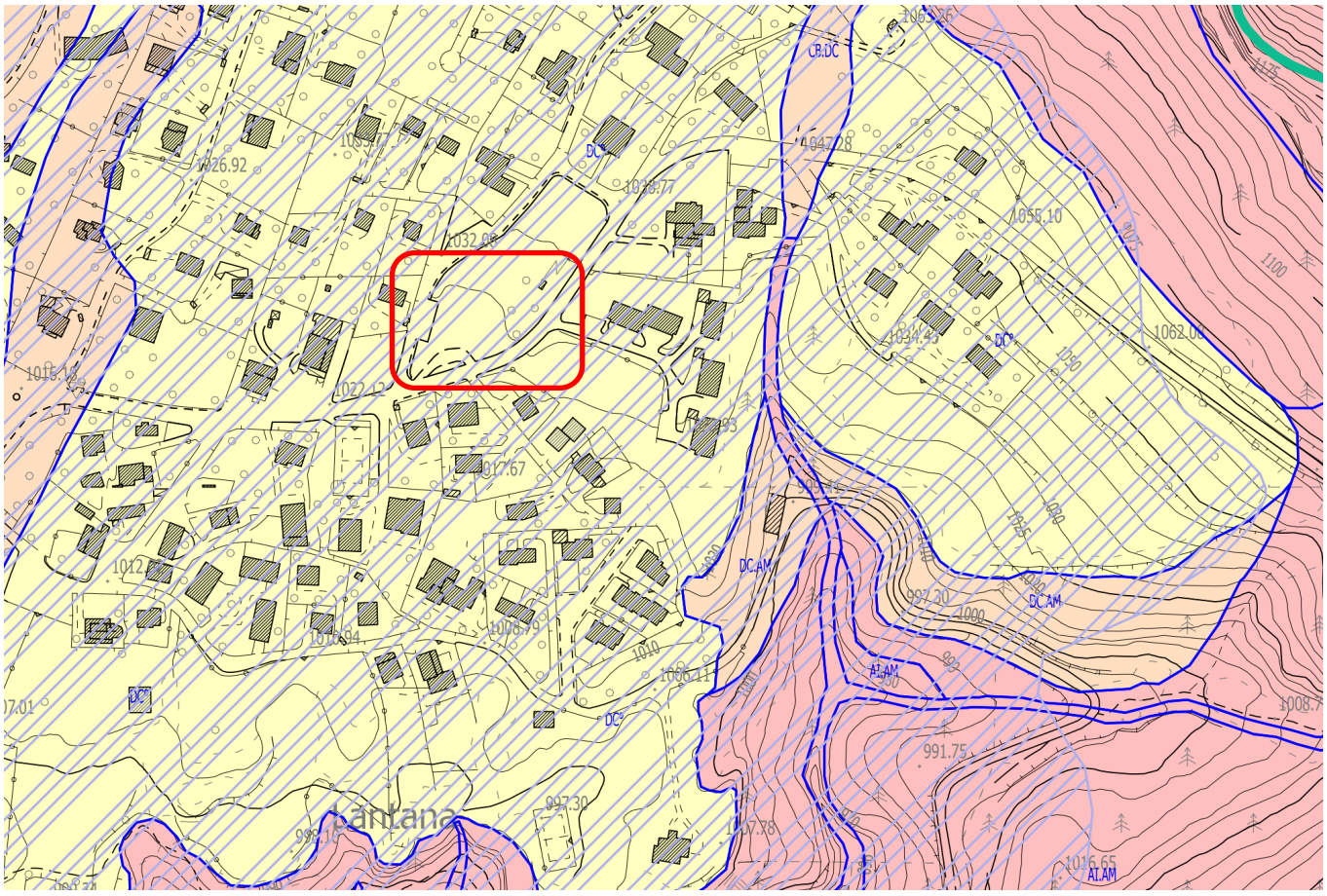


Figura 1: Estratto della Tavola Geo_07-SE Fattibilità delle Azioni di Piano della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio (data di redazione: ottobre 2020, pubblicato in scala 1: 5.000, riprodotto non in scala). In rosso si evidenzia l'area di intervento.

La tavola di Fattibilità delle Azioni di Piano della Componente Geologica identifica l'area in oggetto di studio come Classe di Fattibilità II, fattibilità con modeste limitazioni. La sotto-classe di fattibilità geologica delle azioni di piano identica la superficie studiata come area che presenta scadenti caratteristiche geotecniche: aree nelle quali i depositi di copertura, talora cementati, possono presentare delle disomogeneità di comportamento geotecnico

anche per via di locali dissoluzioni che possono formare scarnamenti.

La Pericolosità Sismica Locale identifica l'area analizzata come Z4a Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi ove il fattore di amplificazione calcolato supera il valore soglia stabilito dalla Regione Lombardia. In tali aree è necessario (in alternativa): 1. Effettuare analisi più approfondite (terzo livello) o 2. Utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore rispetto a quello determinato in sito.

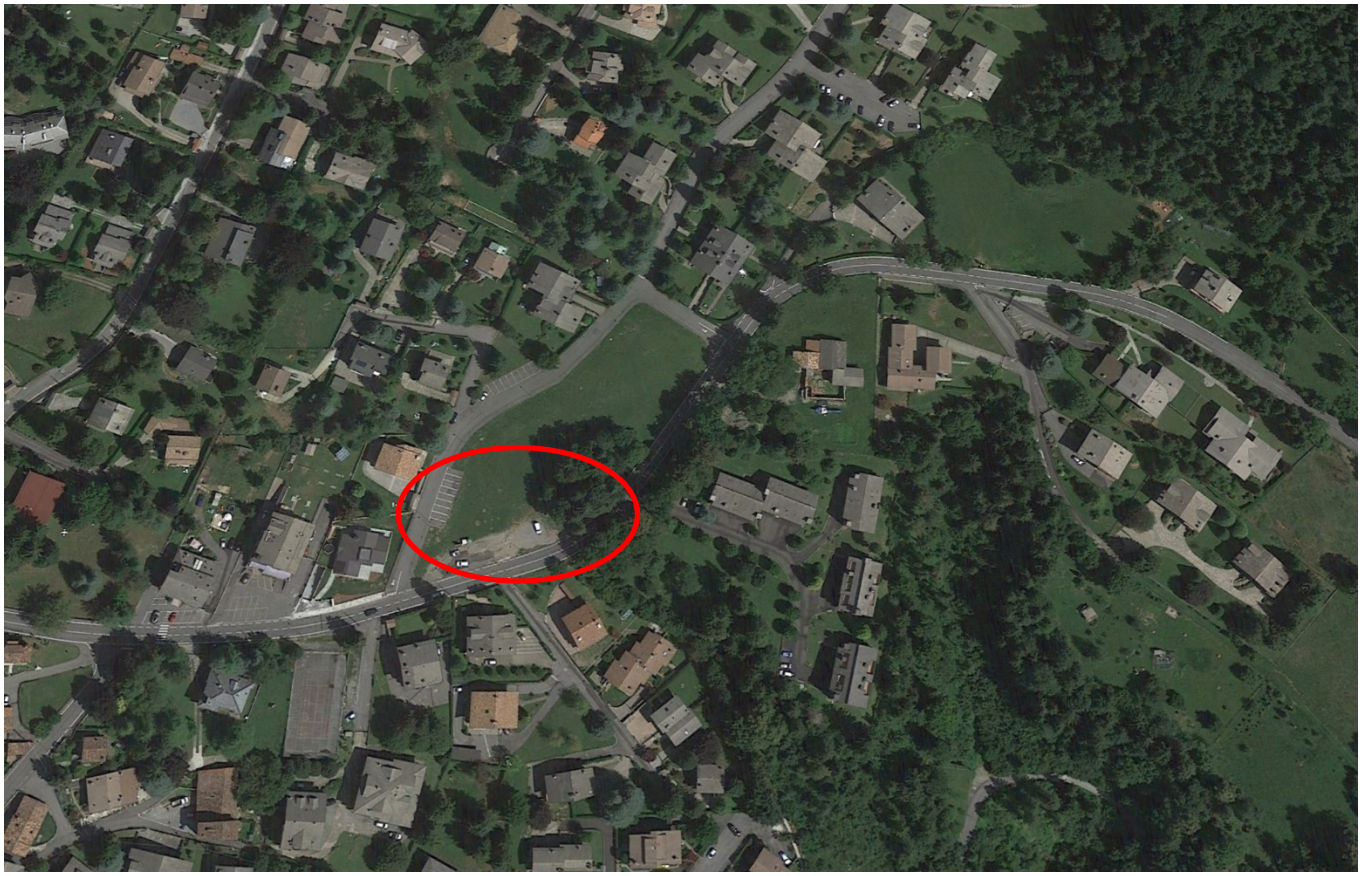
La DGR IX/2616/2011 prevede di verificare, preventivamente, in dettaglio e sotto il profilo geologico, che la trasformazione d'uso del suolo avvenga in sicurezza e che tale trasformazione d'uso non sia di pregiudizio per l'incolumità di cose e persone terze (anche a seguito di prescrizioni): pertanto viene verificata la compatibilità delle opere in progetto con l'assetto geologico – geomorfologico della zona.

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il Comune di Castione della Presolana è un Comune a vocazione turistica, legata al proprio territorio montano e l'Amministrazione Comunale intende adottare azioni che valorizzino tale vocazione. Per tale ragione ha deciso per l la realizzazione di un'area di sosta attrezzata-camper.

Il Comune intende realizzare un'area attrezzata che possa garantire i seguenti servizi:

- idonei stalli per la sosta di massimo 4 auto-caravan;
- possibilità alimentazione elettrica;
- possibilità carico acqua e scarico reflui.



fotografia 1: Ortofotografia del sito indagato.

Sotto il profilo urbanistico, geologico e vincolistico la destinazione d'uso dell'area è compatibile con l'intervento previsto.

L'area è localizzata sul margine esterno del centro abitato di Dorga, lungo la strada direttrice che conduce alla località Monte Pora; è servita da tutti i necessari servizi a rete (acqua, fogna, elettricità), in prossimità di un'ampia area a verde.

L'area è posta in fregio alla Via Giovanni XXIII, ed è inclusa all'interno dell'ampio parco in Loc Lantana (delimitato dalle Vie Giovanni XXIII e Via delle Genziane).

L'area è attualmente utilizzata, impropriamente, per la sosta di veicoli e, occasionalmente, per il deposito di materiali vari per interventi di tipo edilizio eseguiti in prossimità.

In posizione ipogea rispetto alla superfice di interesse sono posizionate vasche per lo smaltimento in sottosuolo di acque bianche provenienti dalle aree urbanizzate soprastanti. Tali sistemi consentiranno la raccolta e lo smaltimento in sottosuolo delle acque bianche raccolte dai piazzali in progetto.

L'intervento consentirà una riqualificazione delle aree rispetto alla situazione attuale.

Le scelte progettuali prediligono soluzioni semplici, che possono facilmente essere mantenute efficienti nel tempo. I seguenti punti descrivono il progetto:

<u>Accesso e viabilità</u>

Nel caso specifico l'area è posta in fregio alla Via Giovanni XXII e il suo accesso è "diretto", garantendo facilità di manovre sia in ingresso che in uscita.

<u>Camper service</u>

E' l'elemento più importante, praticamente indispensabile per l'area di sosta, in quanto necessario a raccogliere i liquami prodotti dal w.c e dalle acque di lavaggio (acqua grigie) delle utenze, ma anche punto di approvvigionamento dell'acqua potabile. Si compone di una piazzola di dimensioni 3,50 * 7,50 m in cemento di idoneo spessore atto a garantirne la carrabilità, all'interno della quale è posto un punto di scarico reflui, costituito da un pozzetto "a tramoggia" in acciaio inox, dotato di ugelli di lavaggio per la pulizia automatica dei residui solidi. Il sistema è dotato di impianto antigelo per il periodo invernale.

La postazione di scarico è completata con una colonnina monoblocco in acciaio dove sono posizionati: un rubinetto per il carico dell'acqua potabile, un *vuotatoio* per scarico delle cassette w.c. del camper ed un eventuale pulsante di comando per il risciacquo del pozzetto.

<u>La colonnina di servizio</u>

È posta in prossimità degli stalli di sosta dei mezzi e costituisce servizio di approvvigionamento elettrico 220 V. Si rimanda al progetto impianto elettrico.

Gli stalli di parcheggio camper sono elementi basilari dell'area di sosta a cui porre particolare attenzione nella loro collocazione e conformazione. La disposizione prevista in progetto è molto semplice e lineare. È in questi 32÷40 m^2 che si realizza il concetto di area sosta camper.

Gli stalli previsti dal progetto rispondono ai seguenti criteri estetici e funzionali fondamentali:

- sono tutti facilmente accessibili e quanto più possibile posti in piano orizzontale;
- sono collocati su terreno solido e ben costipato, non in prossimità di cigli di scarpate e terreni cedevoli e/o fangosi, pavimentati con elementi autobloccanti drenanti (anche solo in corrispondenza dell'impronta degli pneumatici del mezzo) in modo da scongiurare problematiche di affondamento e di grip dei pneumatici nelle fasi di entrata/uscita del mezzo dallo stallo soprattutto in caso di pioggia o gelo;
- hanno adeguate dimensioni (5,00 x 7,50 m – 37,50 m^2) in modo da assicurare uno spazio libero intorno al mezzo parcheggiato, atto per esempio, a consentire l'apertura di sportelli e gavoni del camper. Da considerare poi che la larghezza della piazzola costituisce elemento di preferibile accortezza logistica in quanto, consentirà uno spazio funzionale utile al posizionamento da parte dell'utente di un tavolo ricreativo da pic-nic con relative sedute;
- sono adeguatamente identificati con semplice perimetrazione a terra costituita da cornelle in granito a raso poste all'interno della pavimentazione, in modo da garantire una più ordinata consapevolezza degli spazi che ciascun mezzo può occupare.

Illuminazione

L'area sarà illuminata con i due punti luce attualmente esistenti che verranno riposizionati e riqualificati con nuove lampade a tecnologia led.

Raccolta rifiuti

Si intende realizzare una piazzola di "livello base", destinata alla permanenza per poche notti. Inoltre, l'esperienza ci insegna che la presenza di contenitori per la raccolta dei rifiuti sul territorio, o anche di semplici cestini, ha generato nel passato, anche con riferimento al territorio di Castione, comportamenti non leciti di abbandono incontrollato di rifiuti.

Per questi motivi il progetto non prevede la predisposizione di alcun tipo di cassonetto o cestino per la raccolta dei rifiuti.

Riqualificazione area mappale 7104

Poco più a monte dell'area da adibire a piazzola vera e propria (sul mappale 7104 sempre di proprietà comunale) insiste un'area boscata (perlopiù abeti o frassini). All'interno di questa area è localizzata anche la cabina elettrica Enel. Le essenze arboree presenti sono in cattive condizioni.

Il progetto prevede di realizzare, passando da questo mappale, i collegamenti alla fornitura elettrica derivati dalla cabina Enel. L'intervento prevede altresì la riqualifica anche dell'intera area mediante:

- demolizione essenze arboree ormai pericolose;
- livellamento del terreno e riempimento degli avvallamenti;
- nuove piantumazioni essenze arboree.

Per i dettagli costruttivi si rimanda al progetto del Geom. Gianpietro Bertoli.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO

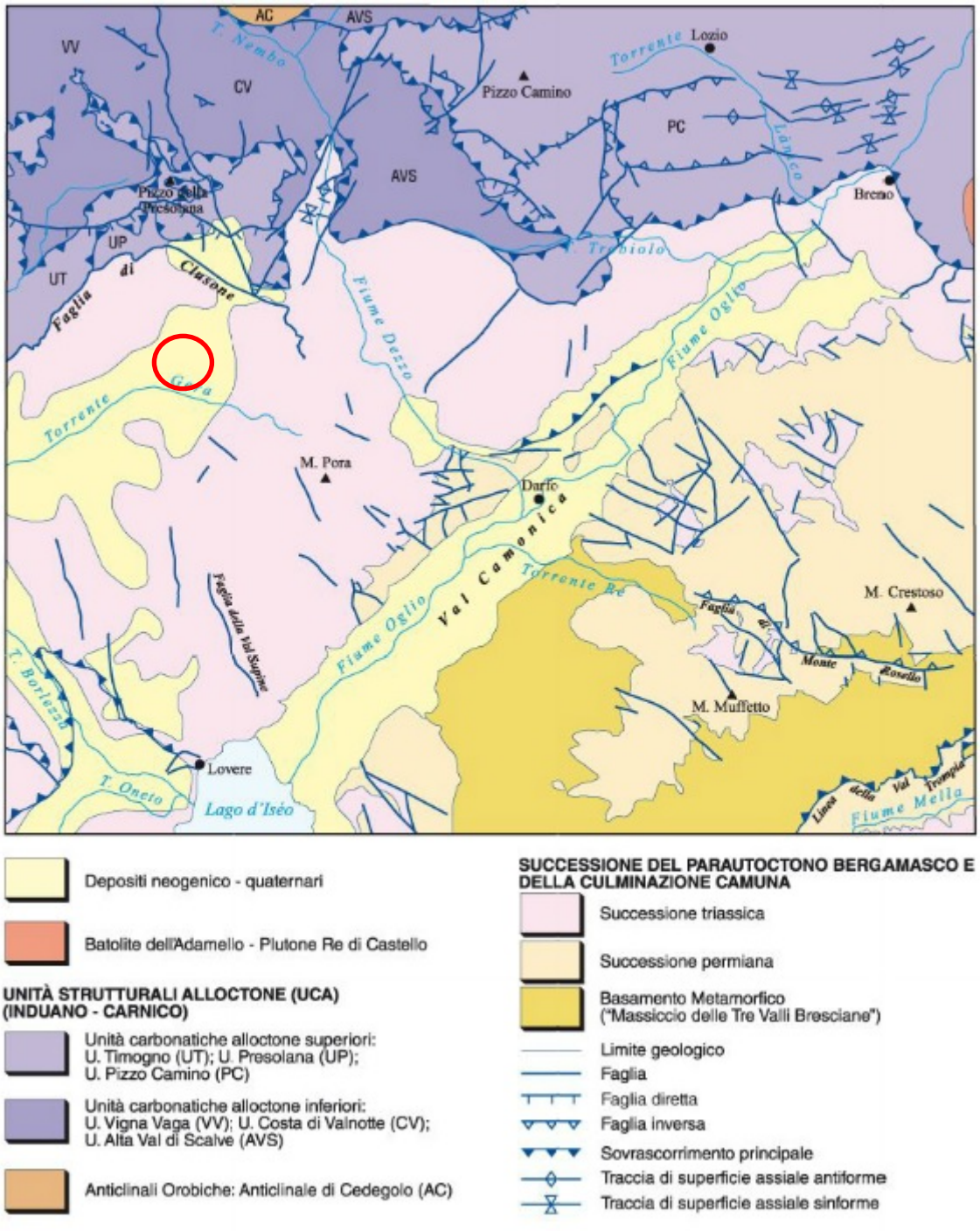


Figura 2: Schema tettonico del Foglio Breno della Carta Geologica d'Italia pubblicato in scala 1:50.000 con evidenziata l'area in esame (ellisse rosso).

Relativamente agli aspetti più strettamente geologici, di seguito si fornisce un inquadramento geologico della porzione di territorio in esame e vengono descritte in dettaglio le

coperture e le formazioni del substrato roccioso.

Le Alpi Orobie sono caratterizzate da uno stile deformativo “thin skin tectonics”, tipico delle zone marginali delle catene prossime agli avampaesi, in cui manca una impronta metamorfica simile a quelle delle Alpi Centrali. Le strutture, di tipo fragile, sono rappresentate da faglie e sovrascorrimenti talora accompagnate da fasce di cataclasiti, mentre la presenza di miloniti in alcune zone del basamento cristallino testimonia una deformazione più duttile delle porzioni più profonde dello stesso.

L’assetto strutturale principale della catena è dato da thrust prevalentemente sud-vergenti, che dividono la catena in fasce disposte E-W.

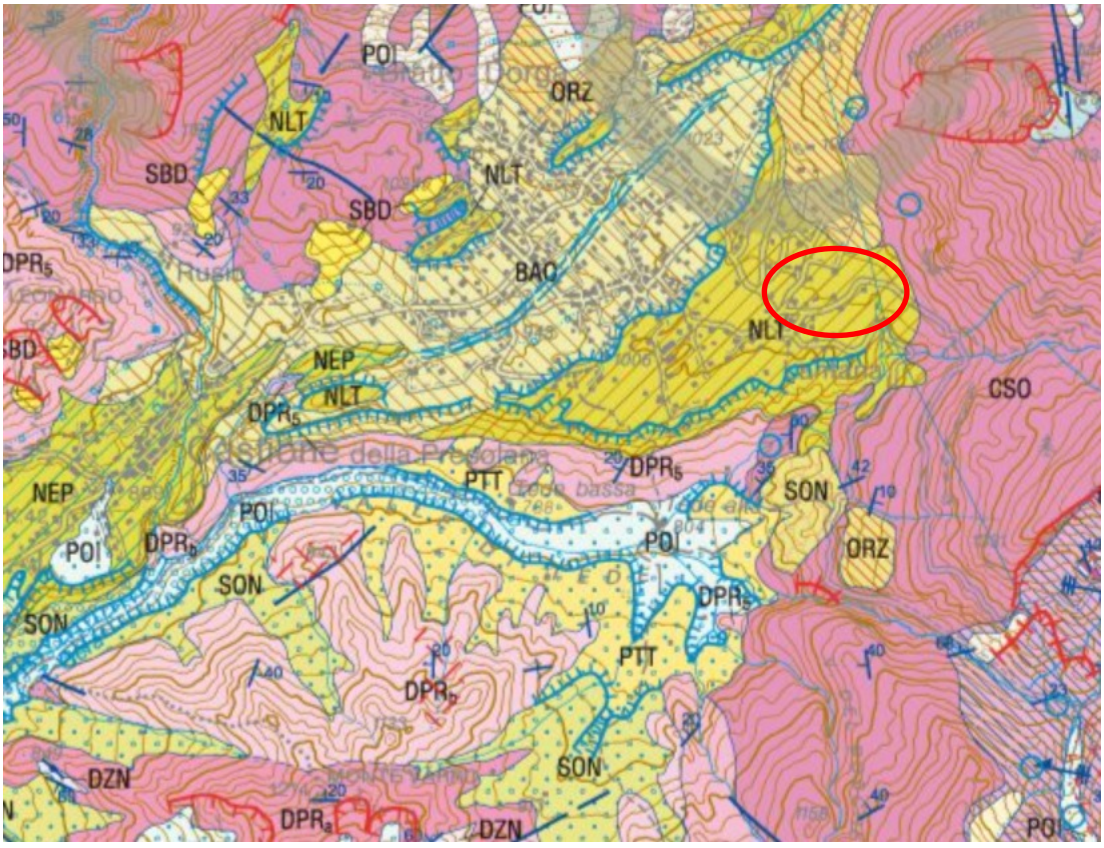


Figura 3: Estratto del Foglio Breno della Carta Geologica d’Italia pubblicato in scala 1:50.000 con evidenziata l’area in esame (ellisse rosso).

L’analisi cartografica conferma quanto osservabile in sito. La formazione che affiora nei pressi dell’area indagata è costituita dal Conglomerato di Lantana (NLT in figura). Si tratta di conglomerati in strati suborizzontali a supporto clastico, matrice arenacea, clasti ben

selezionati e arrotondati; arenarie e siltiti stratificate e laminate (depositi alluvionali). Conglomerati massivi o grossolani clinostratificati, con clasti mal selezionati, angolosi (depositi di versanti). Clasti carbonatici locali. Cementazione ottima, sino a completa litificazione. Profilo di alterazione di spessore osservato sino a 2 m, colore 5YR, limite inferiore a organi geologici. Morfologia ben conservata, in erosione.

La formazione si trova spesso carsificata, ove questo accade si ha la presenza di argille rosse.

In base alle conoscenze geologiche – stratigrafiche di bibliografia ed emerse dalle indagini effettuate, si redige una parametrizzazione geotecnico stratigrafia, di seguito riportata.

	Quota da p.c.		Modulo di Young (Mpa)	Modulo di Taglio (Mpa)	Modulo di Bulk (Mpa)	γ_d	Vs
Argille rosse	Da p.c. fino ad una quota compresa tra -1.5 e 5 m	C_u=0.50 kg/cm^2	78,5 MPa	64 MPa	302 MPa	18 KN/m^3	489 m/s
Conglomerato	Da -1.5/5 m,	ϕ=50°	6682 MPa	2570 MPa	5567 MPa	19 KN/m^3	600 m/s

La permeabilità dei terreni è influenzata dalla presenza di uno strato di argilla rosse di spessore variabile dal metro ai 5 metri. Per il dimensionamento dei dreni bisognerà quindi considerare una permeabilità compresa tra $10^{-4}<k<10^{-6}$ cm/s.

VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m s.l.m., non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate proposte dal D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni", che corrispondono a valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni.

L'altitudine di riferimento a_s è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio.

Di seguito viene calcolato il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m2] per un periodo di ritorno di 50 anni, q_{sk}:

$q_{sk} = 1.39\ [1+(a_s/728)^2]$ per $a_s > 200$ m s.l.m

Ne deriva che per il caso in questione ove il suolo è posta a quota di **1023 m s.l.m.** q_{sk} è pari a **2,79 [kN/m^2]**.

4. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

4.1 INQUADRAMENTO SISMICO (ACCELERAZIONE SISMICA DI BASE)

Relativamente alla caratterizzazione sismica del sito, si è fatto riferimento alla sezione 3.2.2 delle NTC18 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" che sostituisce l'OPCM 3274/2003 e l'OPCM 3519/2006. In luogo della classificazione dell'intero Comune per quanto riguarda la pericolosità sismica di base, le NTC18 (analogamente alle NTC08) prevedono l'impiego dei valori di accelerazione sismica di base considerando una griglia con un lato di circa 5 km. La precedente suddivisione dei comuni italiani in 4 classi di pericolosità sismica è mantenuta ai soli fini amministrativi (es. obblighi di valutazione della documentazione presso apposite commissioni, ecc.).

In riferimento a quest'ultima classificazione, il Comune in cui ricadono le opere in progetto ricade in **zona sismica 3** (DGR X/2129/2014), **bassa sismicità** (come definita dal DM 31 luglio 2012).

Ai fini della valutazione dell'azione sismica cui sono soggette le opere in progetto, si è adottato l'approccio pseudostatico contemplato dalle NTC18 che non prevede l'amplificazione delle azioni durante l'evento sismico, ma la sola degradazione della resistenza del terreno.

Attraverso la media ponderata dei valori dei vertici della griglia di riferimento di 5 km, si ricavano i parametri di base che definiscono l'effetto sismico del sito in cui ricade l'intervento (in condizioni di campo libero, su substrato sismico rigido e con superficie topografica orizzontale – Tabella 1).

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [–]	T_C^* [s]
30	0.029	2.487	0.196
50	0.036	2.552	0.209
72	0.042	2.555	0.223
101	0.048	2.542	0.236
140	0.054	2.560	0.250
201	0.061	2.568	0.264
475	0.083	2.553	0.282
975	0.106	2.544	0.295
2475	0.142	2.571	0.308

Tabella 1: Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

In base della griglia di riferimento adottata nelle NTC18 e con le metodiche riportate nell'OPCM 3519/2006, le regioni possono individuare delle sottozone caratterizzate da valori ag intermedi, comunque non inferiori a 0,025 g.

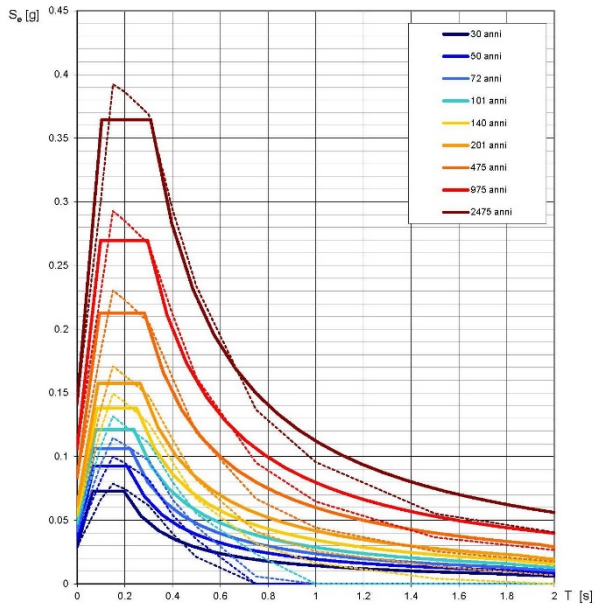


Grafico 1: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento. Con linea continua sono rappresentati gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1 – INGV da cui sono derivati.

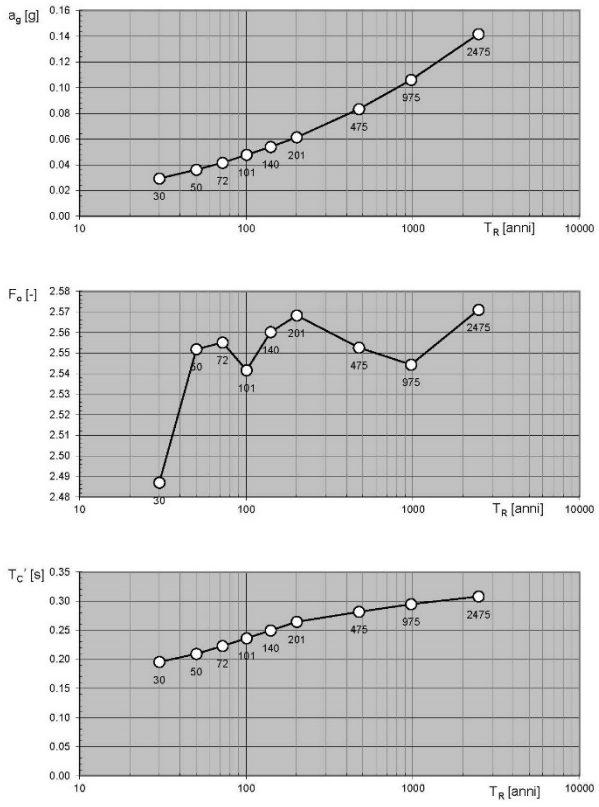


Grafico 2: Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R.

Per lo sviluppo del III° Livello di cui alla DGR IX/2616/2011 (analisi effetto sismico in fase di progettazione), la Regione ha suddiviso il territorio regionale in fasce caratterizzate da severità sismica omogenea. In particolare sono state individuate 8 fasce nelle quali i comuni presentavano valori di accelerazione massima attesa al suolo e valori dell'ordinata spettrale massima (NTC08) compresi in un range del ± 10% dal valore medio.

Il Comune ricade in **Fascia 5** (un valore crescente indica una accelerazione maggiore). Per

ogni fascia sono stati messi a disposizione 5 accelerogrammi registrati (diagramma in funzione del tempo che rappresenta le accelerazioni indotte al suolo in un dato sito, durante un evento sismico); tali accelerogrammi, come previsto dalle NTC18 e dalla Circolare 2009, sono da utilizzarsi nelle analisi dinamiche dei sistemi geotecnici nella fa-scia corrispondente (FASCIA1 – FASCIA8).

Nelle Norme e nella Circolare, infatti, viene esplicitamente richiesto nelle analisi dinamiche dei sistemi geotecnici (amplificazioni, frane, ecc.) l'uso di 5 accelerogrammi regi-strati rappresentativi della sismicità del sito in analisi, compatibili con le caratteristiche sismogenetiche della sorgente, con la coppia magnitudo – distanza dalla sorgente e con la massima accelerazione orizzontale attesa e registrate su bedrock sismico, provenienti dai database nazionali ed internazionali più accreditati.

Gli accelerogrammi vengono utilizzati, per l'analisi dinamica non lineare delle strutture, in quanto consentono di ottenere una stima accurata e statisticamente corretta della domanda sismica.

4.2 VITA DI RIFERIMENTO

Il tempo di ritorno da impiegare per la scelta dei valori dei parametri a_g, F_o e T_C^* dipende dallo stato limite da considerare e dalla vita di riferimento dell'opera; la vita di riferimento dipende dalla vita nominale e dalle classi d'uso.

Tipi di costruzione		Vita Nominale V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie.	≤ 10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari.	≥ 50

3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati.	≥ 100

Tabella 1: Vita nominale V_N per diversi tipi di opere (Tabella 2.4.I delle NTC18). Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

La vita nominale di un'opera V_N è intesa come il periodo (anni) nel quale l'opera, purché soggetta a manutenzione ordinaria, debba poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tabella 2.4.I delle NTC18.

Alla 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 (CU) definite in Tabella 2 (corrispondenti alle Classi di Importanza di EC8).

Classe	Uso dell'opera
Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
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.
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.

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 6792/2001, "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.

Tabella 2: Classi d'uso per diversi tipi di opere (Tabella 2.4.2 delle NTC18).

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_U	0,7	1	1,5	2

Tabella 3: Valore di C_U per classe d'uso (Tabella 2.4.II delle NTC18).

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella Tabella 3.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R. La vita di riferimento V_R si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U.

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

Con riferimento al tipo di opera, s'individuano i tempi di riferimento dell'azione sismica (si veda la Tabella 4).

Tipi di costruzione		Classe d'uso	I	II	III	IV
		Cu	0,7	1,0	1,5	2,0
		V_N	V_R			
1	Costruzioni temporanee e provvisorie [1].	≤ 10	10	35	35	35
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari.	≥ 50	35	50	75	100
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati.	≥ 100	70	100	150	200

Tabella 4: Tempo di riferimento in anni per diversi tipi di opere (Tabella 8.1 della Circolare 617/2009).

In sintesi si ha:

Tipo di costruzione		2
Vita nominale	V_N	≥ 50
Classe d'uso		II
	C_U	1
Vita di riferimento ($V_R = V_N \cdot C_U$)	**V_R (anni)**	**50**

Nei confronti delle azioni sismiche, gli stati limite (sia ultimi che di esercizio) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti:

Gli stati limite di esercizio (SLE) dinamici sono:

- *Stato Limite di Operatività (SLO)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione 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,

[1] Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e 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 rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) dinamici sono:

- *Stato Limite di salvaguardia della Vita o ultimo (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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- *Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):* 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.

Stato limite		**PV_R**
Stato limite di esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	**63%**
Stato limite ultimo (SLU)	**SLV**	**10%**
	SLC	5%

Tabella 5: Probabilità di superamento (PV_R) nel periodo di riferimento V_R associati a ciascun stato limite (tabella 3.2.I delle NTC18).

La probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R, è riportata in Tabella 5. Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R, il periodo di ritorno T_R del sisma è dato da:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{V_R})} = -C_U \cdot \frac{V_N}{\ln(1-P_{V_R})}$$

In relazione ai diversi stati limite, si possono ricavare i valori dei parametri a_g, F_o e T_c^* per i periodi di ritorno T_R legati ai diversi stati limite.

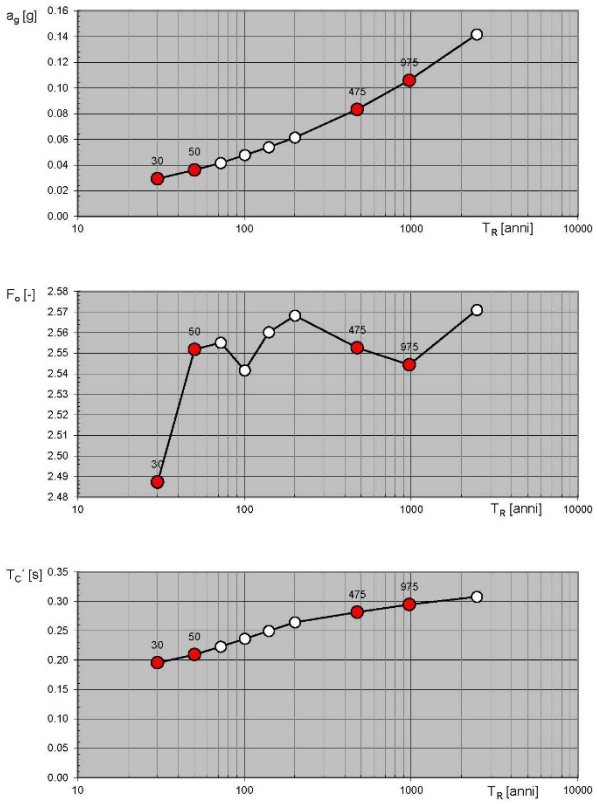


Grafico 3: Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R.

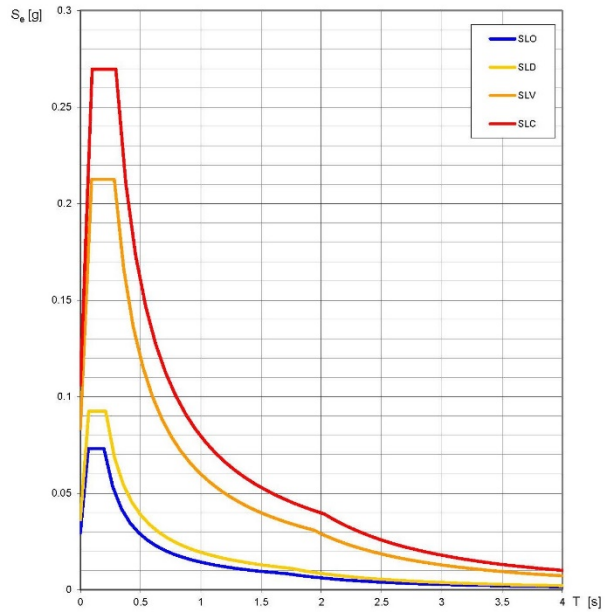


Grafico 4: Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite.

Stato limite		T_R [anni]		a_g [g]	F_o [–]	T_C^* [s]
SLE	SLO	$0{,}6 \cdot V_R$ (min 30)	30	0.029	2.487	0.196
	SLD	V_R	50	0.036	2.552	0.209
SLU	SLV	$9{,}5 \cdot V_R$	475	0.083	2.553	0.282
	SLC	$19{,}5 \cdot V_R$ (max 2475)	975	0.106	2.545	0.295

Tabella 6: Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun stato limite.

4.3 AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

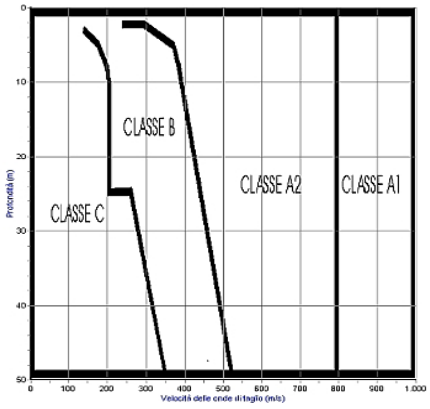


Figura 4: Schema di riferimento per la determinazione della classe del sito.

Per la determinazione dell'amplificazione sismica, fattori geomorfologici e stratigrafici locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico, filtrando le onde nel passaggio dal bedrock alla superficie. L'effetto di filtraggio conduce ad una ridistribuzione dell'energia con eventuale amplificazione del moto vibratorio associato ad alcune frequenze.

Per la classificazione del sito per determinare l'eventuale amplificazione sismica, le NTC18, 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), fa riferimento sia alla velocità delle onde S nella copertura sia allo spessore della stessa.

L'Eurocodice 8 identifica diverse 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. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è riportato in Tabella 7 con esclusione della categoria speciale di suolo S1; in generale, il fenomeno della amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A1 alla classe C.

Categoria	**Descrizione**
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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	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 tra 360 m/s e 800 m/s.
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 equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
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 tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m (con V_{s30}>800 m/s).

Tabella 7: Categorie di sottosuolo di fondazione (Tabella 3.2.II delle NTC18).

Per $V_{S,30}$ s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (m/s)$$

Rispetto alle NTC08, le NTC18 non fanno più alcun riferimento a dati ricavati da prove penetrometriche, non hanno più vincolato la categoria di suolo ad una esatta giustapposizione litologica ma a questa hanno introdotto il concetto di "suolo equivalente" in base alle $V_{S,30}$ e sono state eliminate le categorie speciali.

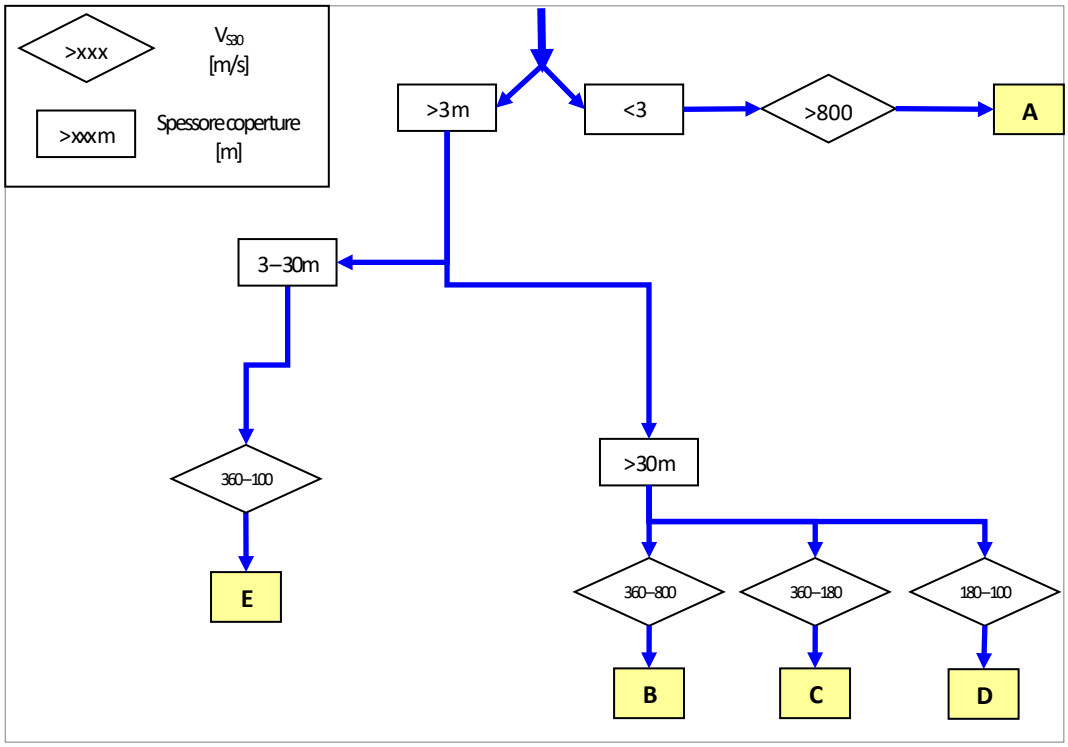


Figura 5: Diagramma di flusso per l'individuazione della categoria di sottosuolo.

Per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione definite in Tabella 7, la forma spettrale del sottosuolo di categoria A viene adeguata al sito attraverso il coefficiente stratigrafico SS ed il coefficiente topografico ST. Il valore del periodo TC è adeguato attraverso l'applicazione del coefficiente CC. I coefficienti SS e CC, in relazione alla tipologia di sottosuolo, si determinano come riportato in Tabella 8.

Categoria	**S_S**	**C_C**
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \le 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \le 1,50$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \le 1,80$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \le 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 8: Parametri di adeguamento forma spettrale e del periodo in relazione al tipo di sottosuolo (Tabella 3.2.V delle NTC18).

4.4 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata in Tabella 9.

Cat.	Caratteristiche della superficie topografica	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1,0
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1,4

Tabella 9: Parametri di adeguamento forma spettrale riguardo la topografia (Tab. 3.2.III delle NTC18).

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali. Creste o dorsali allungate devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

4.5 RISULTATI

4.5.1 Amplificazione litologica

Rispetto alla classificazione sismica del sottosuolo, sulla base dei dati ricavati dalla bibliografia disponibile (studio geologico a supporto del PGT) e dalle indagini / verifiche effettuate, si ha una stratigrafia sismica costituita da substrato lapideo.

4.5.1.1 Indagini di riferimento

Nell'ambito della predisposizione dello studio geologico a supporto del PGT, si è effettuata la valutazione della pericolosità sismica locale con supporto di indagini simiche in sito; tali indagini non sono però state effettuate in prossimità del sito d'intervento. Data l'importanza delle funzioni della trasformazione d'uso, oltre alla valutazione dei dati sismici esistenti, si è quindi realizzata una campagna di indagini sismiche, mediante tecnica HVSR.

4.5.1.1.1 Metodologia di indagine HVSR

Le misure sismiche HVSR o H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) sono indagini geofisiche a stazione singola finalizzate alla caratterizzazione sismica del sito tramite la stima delle frequenze fondamentali di risonanza.

Le NTC18 ricalcano l'Eurocodice 8, il quale a sua volta ha recepito in toto la normativa californiana, che prevede di fornire una base quantitativa per la classificazione dei suoli in termini di effetti di sito attraverso la determinazione della velocità delle onde S nei primi 100 piedi (30 metri nel sistema metrico decimale).

Le misure a stazione singola del tremore sismico portano, attraverso i rapporti spettrali, alla misura immediata della frequenza di risonanza del sottosuolo e con l'inversione delle misure H/V, permettono di stimare in maniera rapida sia la stratigrafia superficiale, sia le $V_{s,30}$.

Il metodo HVSR è una tecnica a stazione singola, si effettua cioè per mezzo di un singolo sismometro tricomponente a larga banda e alta sensibilità che viene posto sul terreno e campiona il rumore sismico per alcuni minuti. Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione e diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori.

Le basi teoriche dell'H/V sono facilmente comprendibili in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (modellazione 1 – D). Con questa configurazione si ricava la frequenza di risonanza (fr) dello strato relativa alle onde S:

$$fr = \frac{V_{SI}}{(4 \cdot H)}$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva H/V mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con

rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della diffusione del metodo.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è però più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al disopra del bedrock si applica molto raramente. Inoltre la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D.

L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. Inoltre uno dei problemi principali di questa visione è che i microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. Essi sono costituiti in misura molto maggiore da onde superficiali e in particolare da onde di Rayleigh, tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime.

4.5.1.1.1.1 Strumentazione

La strumentazione utilizzata è costituita da GEOBOX che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze comprese tra 0,1 e 300 Hz, permettendo di raggiungere una risoluzione migliore di quella raggiunta dalle più recenti catene di sismometri fissi (in volta) e digitalizzatori.

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali di tale strumentazione consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0,1 Hz.

Il moto del terreno è amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e trasferito ad un PC dove, mediante il codice di calcolo Easy HVSR della Geostru, viene analizzato e revisionato il segnale.

4.5.1.1.1.2 Restituzione dei risultati

L'elaborazione del segnale permette di ottenere:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fonda-

mentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi;

- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio Vs calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prove penetrometriche, sondaggio, sismica a rifrazione, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,30}$ e la relativa categoria del suolo di fondazione in ottemperanza delle NTC18;
- stratigrafia del sottosuolo in un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità e con il dettaglio maggiore nei primi 30 m.

Tutte le valutazioni effettuate sono riportate in un report (contenente anche la tabella con i criteri di significatività).

4.5.1.2 Risultati

Le principali correlazioni stratigrafiche realizzate sulla base delle Vs_{30} sono riportate in **Appendice 1** e, relativamente alla risposta sismica del sito, le indagini di riferimento hanno restituito i seguenti valori:

HVSR_1 → 569,5 m/s

Da evidenziare che, ai sensi delle NTC18, le Vs30 vengono misurate secondo la casistica riportata in Figura 6.

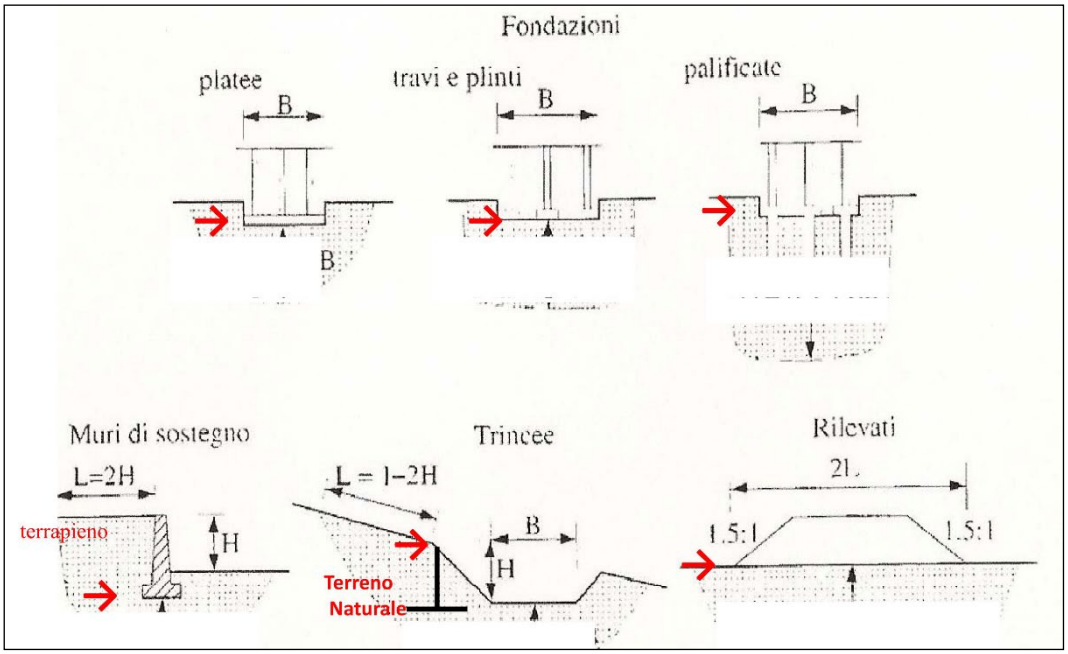


Figura 6: Punto di misura della profondità per la determinazione delle Vs_{30}. Per le fondazioni superficiali la profondità è riferita al piano di imposta mentre, per le fondazioni su pali, è riferita alla testa dei pali.

Al fine di verificare le modalità di applicazione del metodo semplificato di cui alle NTC18, bisogna verificare che il fattore di amplificazione (FAC) del sito calcolato secondo le modalità stabilite dalla DGR IX/2616/2011, Allegato 5, sia inferiore al valore soglia del fattore di amplificazione (FAS) predeterminato per ogni comune dalla Regione Lombardia.

In base alla procedura regionale contenuta nella DGR IX/2616/2011 e sulla base dei dati della stratigrafia delle Vs riportata in APPENDICE 1 per la prova HVSR_1, si ricava il periodo proprio del sito T, che risulta **0,4208 s** (calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è pari o superiore a 800 m/s – dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico). Oltre a ciò si è individuata la scheda di valutazione idonea che è quella **sabbiosa**; da tale scheda si ricava la curva da impiegare per il calcolo dei valori di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s e che corrisponde alla **NUMERO 3**.

I valori di FAC calcolati sono rispettivamente di **1,2** per l'intervallo di 0,1 – 0,5 s e **1,7** per l'intervallo 0,5 – 1,5 s; considerando una variabilità di + 0,1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto (punto 2.2.2 dell'Allegato 5 DGR IX/2616/2011), si ricavano i valori di Fa definitivi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s Fa = 1,2 +0,1 (da DGR IX/2616/2011) à Fa **1,3**

Intervallo 0,5 – 1,5 s Fa = 1,7 +0,1 (da DGR IX/2616/2011) à Fa **1,8**

Considerando che si è in presenza di suoli in **Categoria B**, i valori soglia stabiliti dalla Regione per il comune sono rispettivamente di **1,4** per l'intervallo di 0,1 – 0,5 s e **1,7** per l'intervallo 0,5 – 1,5 s. I valori di amplificazione calcolati sono quindi rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **SUPERIORE** al valore di soglia nell'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

Conseguentemente non può applicarsi il metodo semplificato di cui alle NTC18 e pertanto si deve adottare un suolo equivalente di tipo **C**.

4.5.2 Amplificazione morfologica

Per quanto riguarda le caratteristiche morfologiche del sito, si è in presenza di un assetto di Categoria T1 (le opere si collocano in un contesto i con inclinazione media i > 15°).

4.5.3 Valutazioni complessive

In quanto gli interventi ricadono in **categoria A di suolo** ed **assetto topografico T2** si ha quindi:

	SLE		SLU	
	SLO	**SLD**	**SLV**	**SLC**
S_S	1,50	1,50	1,50	1,50
C_C	1,80	1,76	1,60	1,57
S_T	1,00	1,00	1,00	1,00

Per quanto riguarda l'azione sismica, al fine di determinare i coefficienti k_h e k_v, si introduce il coefficiente β_m di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; pertanto coefficienti k_h e k_v si determinano con:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \qquad k_v = \pm 0{,}5 \cdot k_h$$

Dove il valore di β_m è riportato in Tabella 10.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0{,}2 < a_g(g) \leq 0{,}4$	0,30	0,028

$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Tabella 10: Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (tabella 7.11.II NTC18).

Con i valori S_S e S_T, si è determinato il valore massimo di accelerazione sismica utile per le opere in progetto ed gli altri parametri sito dipendenti. A cui corrispondono i parametri sismici riportati in Tabella I I.

Parametri	SLE		SLU	
	SLO	**SLD**	**SLV**	**SLC**
kh	0,008	0,010	0,022	0,038
kv	0,004	0,005	0,011	0,019
A_{max} [m/s²]	0,431	0,532	1,224	1,558
Beta	0,180	0,180	0,180	0,240

Tabella 11: Parametri sismici del sito relativi alla stabilità dei pendii e fondazioni superficiali. Il valore di a_{max} così determinato considera il coefficiente β_m di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

In relazione ai diversi stati limite, considerando la tipologia di opere e l'assenza di diverse indicazioni da parte del Committente, per lo stato limite di esercizio (SLE) dinamico si è considerato lo stato limite di danno (SLD), per lo stato limite ultimo (SLU) dinamico si è considerato stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Considerando che le opere in progetto ricadono in zona sismica 3 non vengono considerate le componenti verticali.

Le opere previste rientrano tra quelle giudicate classificate "strategiche" – "rilevanti" dalla Regione Lombardia (DDUO 19904/2003).

4.6 LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

In caso di verifiche agli stati limite dinamici, deve essere effettuata la verifica alla liquefazione del terreno. La verifica a liquefazione (sezione 7.11.3.4.2 NTC18) può essere omessa

quando si manifesti <u>almeno una</u> delle seguenti cinque circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g per SLV;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub – orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

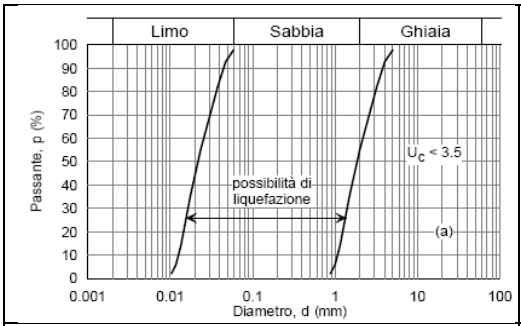


Grafico 5: Distribuzione granulometrica nella quale è possibile avere la liquefazione del terreno durante un sisma.

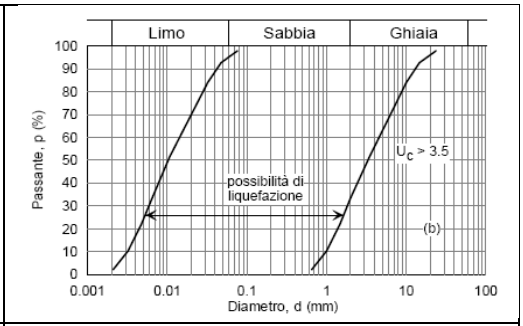


Grafico 6: Distribuzione granulometrica nella quale è possibile avere la liquefazione del terreno durante un sisma.

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Grafico 5 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e Grafico 6 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5. Dove Uc è il rapporto D60/D10, dove D60 e D10 sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

<u>Necessità di verifiche alla liquefazione</u>

Nel caso specifico si ha un valore delle accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) inferiore a 0,1g.

Risulta soddisfatta la condizione prevista dalla sezione 7.11.3.4.2 NTC18 per non effettuare la verifica alla liquefazione dei suoli in condizioni sismiche.

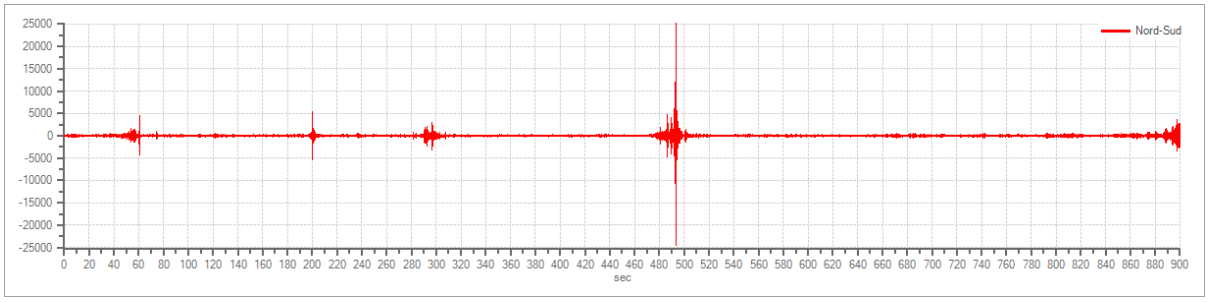
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Visto quanto sopra, il progetto presentato e le prescrizioni effettuate, si dichiara il sito indagato compatibile alla destinazione urbanistico-edilizia prevista.

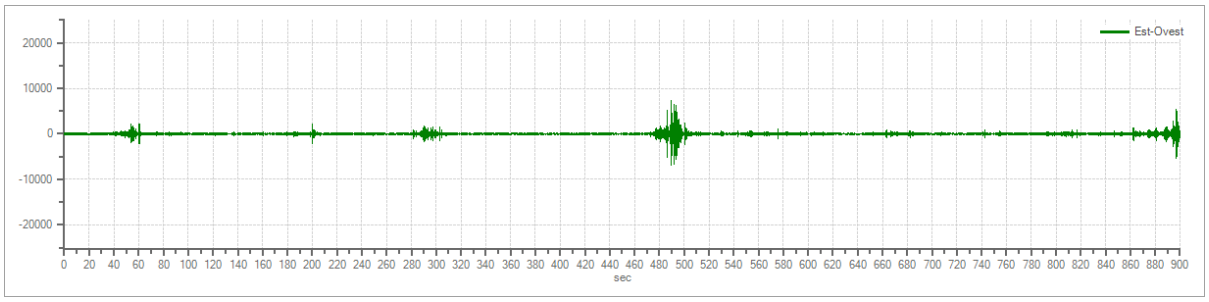
Gromo San Marino di Gandellino, settembre 2022

ALLEGATO 1: INDAGINI SISMICHE DI RIFERIMENTO HVSR 1

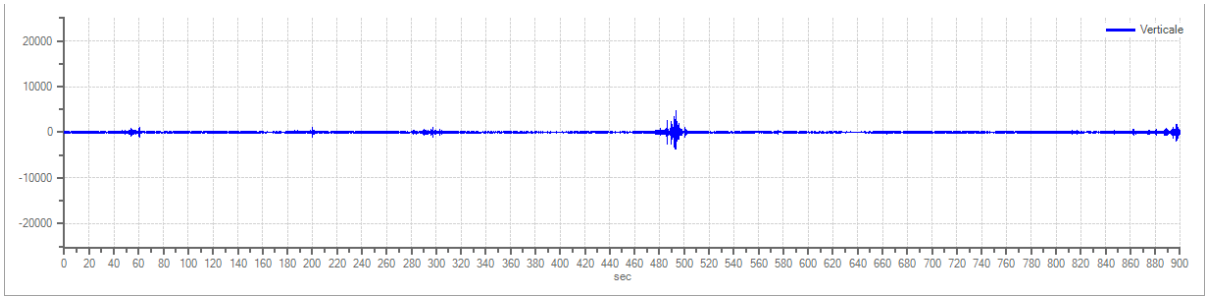
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

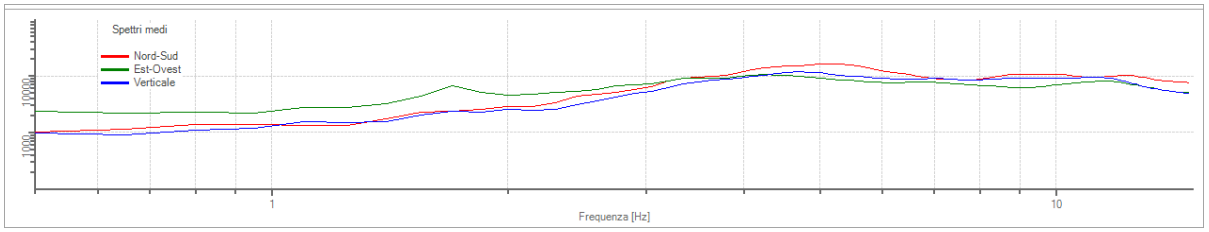


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi

Frequenza massima: 15,00 Hz

Frequenza minima: 0,50 Hz

Passo frequenze: 0,15 Hz

Tipo lisciamento:: Triangolare proporzionale

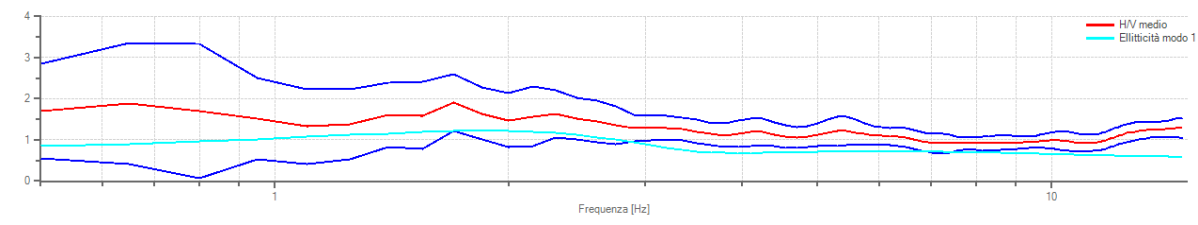
Percentuale di lisciamento: 10,00 %

Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1,70 Hz ±0,36 Hz z

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 6

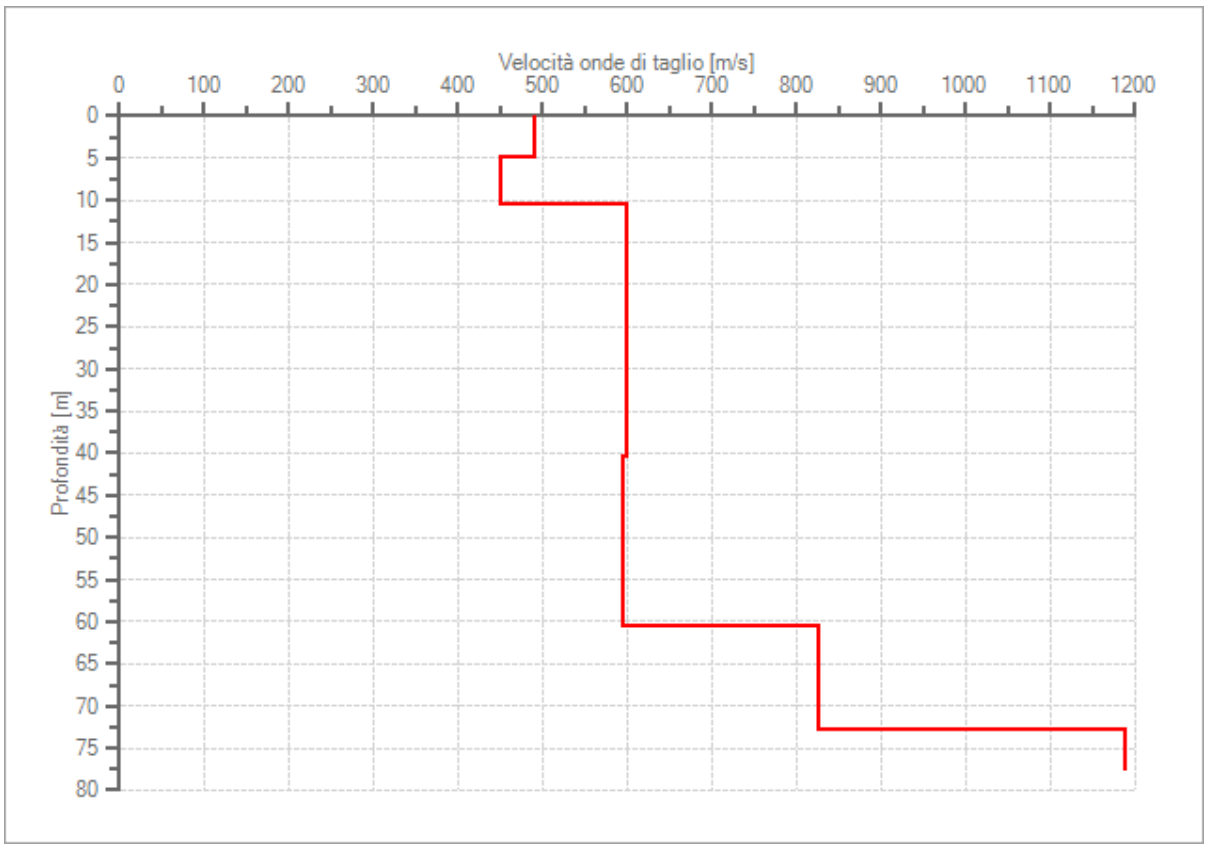
Frequenza del picco dell'ellitticità: 1,85 Hz

Valore di disadattamento: 0,16

Valore Vseq: 569,5 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	4,84	18	0,32	489
2	4,84	5,75	18	0,35	449
3	10,59	29,93	19	0,33	600
4	40,52	19,95	20	0,29	594
5	60,47	12,35	22	0,3	826
6	72,82	5	18	0,3	1187



Profilo delle velocità delle onde di taglio.