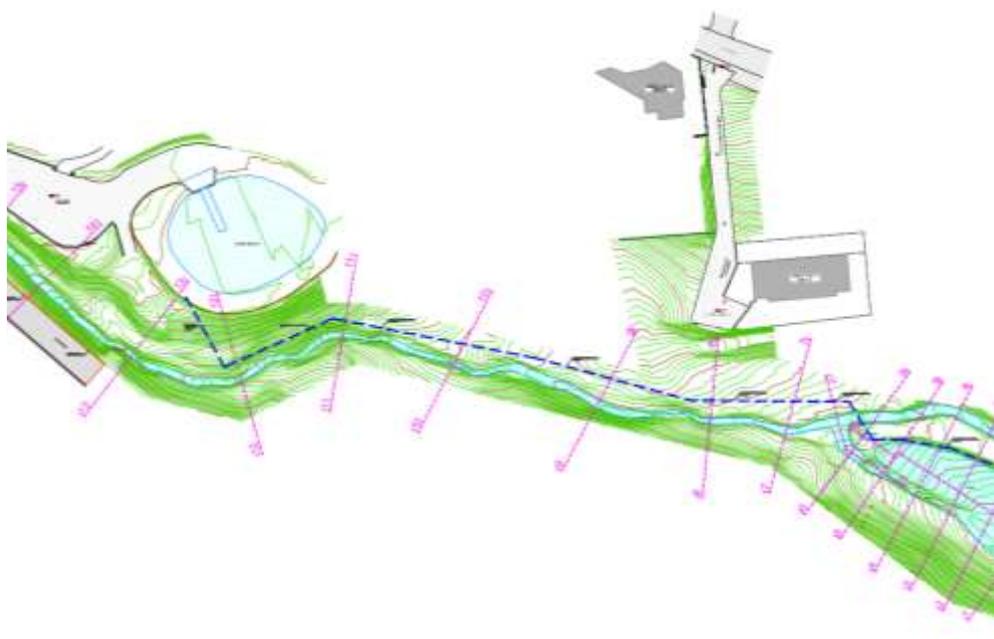




OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO  
IDROGEOLOGICO NEL TERRITORIO  
COMUNALE - CUP: F54D24000060001  
STUDIO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

COMMITTENTE: COMUNE DI GANDOSSO

## RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA



*Giugno 2025*

dott. geol. Alessandro Chiodelli



## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. LINEAMENTI TERRITORIALI .....	3
2.1 Inquadramento geomorfologico .....	3
2.2 Inquadramento geolitologico .....	4
2.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico .....	4
3. INDAGINE GEOGNOSTICA .....	5
3.1 Premessa .....	5
3.2 Prove penetrometriche dinamiche (2022).....	6
3.3 Rilievo geomeccanico (2022).....	9
4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	10
4.1 Modello geologico di riferimento.....	10
5. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO .....	12
5.1 Generalità .....	12
5.2 Indagine geofisica (2022).....	13
5.3 Analisi di risposta sismica locale .....	19
6. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO .....	24
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	25



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

**1. PREMESSA**

La presente relazione geologica-geotecnica e sismica è stata redatta a supporto dello studio di fattibilità tecnico-economica per la realizzazione delle “Opere di mitigazione del rischio idrogeologico nel territorio comunale” – CUP F54D24000060001.

La relazione si prefigge l'obiettivo di valutare la compatibilità dell'intervento di progetto in relazione all'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico, nonché definire il modello geologico e geotecnico del sito.

Si precisa che il Comune di Gandosso, secondo la D.G.R. lombarda dell'11 luglio 2014 n. X/2129, è classificato nella zona sismica 3.

Inoltre, si specifica che la presente relazione si pone in aderenza alle disposizioni normative di cui alle NTA dello studio geologico comunale, al cap. 4, Parte I, Allegato B della D.G.R. lombarda n. IX/2616 del 30/11/2011 e alle N.T.C. 2018.

**2. LINEAMENTI TERRITORIALI**

**2.1 Inquadramento geomorfologico**

La Valle delle Molere nasce da vari rami discendenti dalla cintura di rilievi che circonda Gandosso; di fatto costituisce poi la vallata principale entro cui si sviluppa il paese.

Dal punto di vista geomorfologico, ci si colloca in un contesto collinare pedemontano, con tutte le forme ed i processi conseguenti. Il territorio di Gandosso, in particolare, è costituito da un'ampia vallata di bassa quota, incastrata da rilievi collinari (con quote massime che si aggirano sui 500-600 m), con numerose vallette laterali; il reticolo idrografico nel suo complesso ha un pattern subparallelo, con un evidente controllo litologico e strutturale. La maggior parte delle valli è molto vegetata e poco accessibile nonostante le quote ridotte e la prossimità ai centri abitati; la Valle delle Molere non fa eccezione in tal senso, sebbene la presenza di un percorso didattico-culturale sul fondovalle l'abbia mantenuta leggermente più accessibile nel tempo.

L'area d'interesse è posta in posizione subpianeggiante, all'interno di un meandro del torrente, e lungo il torrente stesso, a salire fino al ponte di Via Fontanile.



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

## 2.2 Inquadramento geolitologico

Per quanto attiene agli aspetti geologici, il sito si colloca entro l'unità nota nella nuova Carta Geologica d'Italia come Conglomerato di Sirone (CSH). Si tratta di conglomerati del Cretacico Superiore, che sono stati anche oggetto di coltivazione negli anni passati.

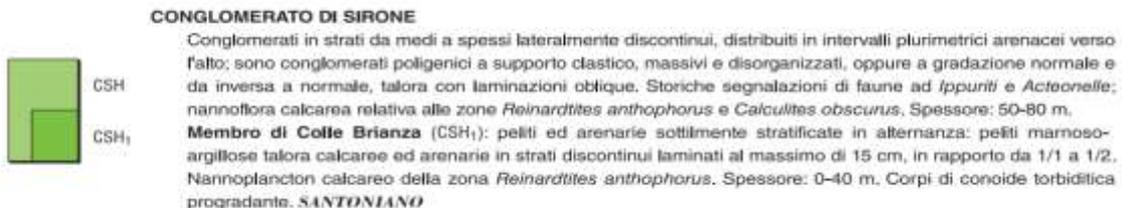


Figura 1 – Stralcio della nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG)

## 2.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico

Per quanto concerne la permeabilità dei terreni, i valori sono bassi, data la presenza di substrato roccioso subaffiorante e di alteriti o colluvi limoso-argillosi.

Si ritiene che, al di là di eventuali infiltrazioni discontinue ed occasionali al contatto tra coltre superficiale e roccia, non vi sia falda in senso stretto.



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

**3. INDAGINE GEOGNOSTICA**

**3.1 Premessa**

Al fine di procedere con la definizione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo interessato dall'intervento, oltre alla documentazione bibliografica disponibile, in questa fase sono state utilizzate le risultanze dell'indagine geognostica del 2022, appositamente predisposta per la realizzazione dell'invaso di laminazione, che ha visto l'esecuzione di:

- n. 3 prove penetrometriche dinamiche eseguite mediante mezzo superpesante DPSH;
- n. 1 sismica passiva a stazione singola con tecnica H/V;
- rilievi geomeccanici degli affioramenti rocciosi.

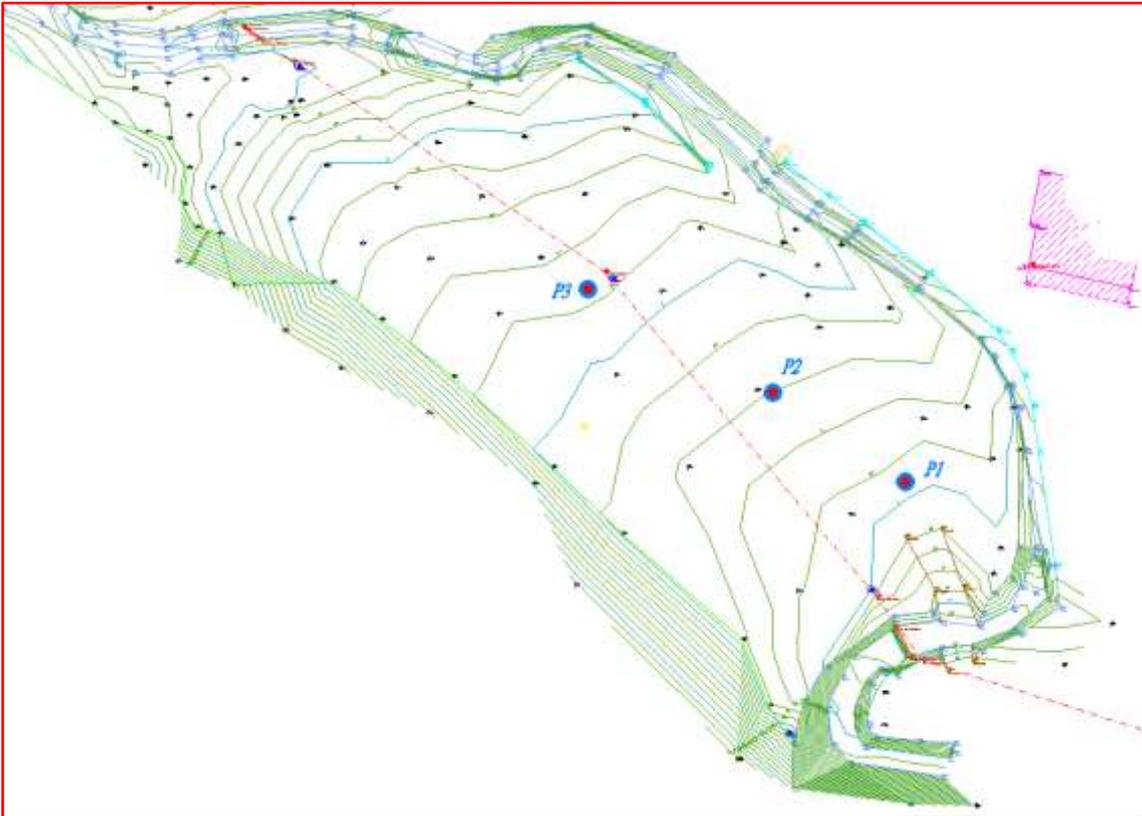


Figura 2 – Ubicazione delle indagini geognostiche in relazione all'opera di progetto del 2022 (invaso di laminazione)  
(P1-P3: prove penetrometriche dinamiche)



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

Le indagini recuperate hanno consentito di:

- ricostruire la stratigrafia dei terreni attraversati in via preliminare;
- attribuire a ciascun livello di terreno riconosciuto i principali parametri geotecnici, calibrati sulla base dello specifico contesto litotecnico e sulla scorta dell'interpretazione stratigrafico - geotecnica dei dati forniti dalle prove in sito (valori medi di  $N_{SPT}$ ).

### 3.2 Prove penetrometriche dinamiche (2022)

Le prove penetrometriche sono state eseguite secondo gli standard previsti dalle raccomandazioni A.G.I. e secondo la normativa internazionale I.S.S.M.F.E. del 1977, con l'utilizzo di penetrometro superpesante avente le caratteristiche tecniche indicate a seguire:

Peso massa battente	73 kg
Volata	0,75 m
Diametro punta conica	51 mm
Area base punta conica	20,43 cm <sup>2</sup>
Angolo apertura punta conica	60°
Lunghezza delle aste	0,90 m
Peso aste per metro	6,31 kg
Profondità giunzione 1° metro	0,30 m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero di colpi punta	N = N(30)
Rivestimento	No
Energia specifica per colpo	8,93 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente di correlazione <math>N_{SPT}</math></b>	<b>1,134</b>

Tabella 1 – Caratteristiche del penetrometro utilizzato

Le prove penetrometriche hanno raggiunto le seguenti profondità:

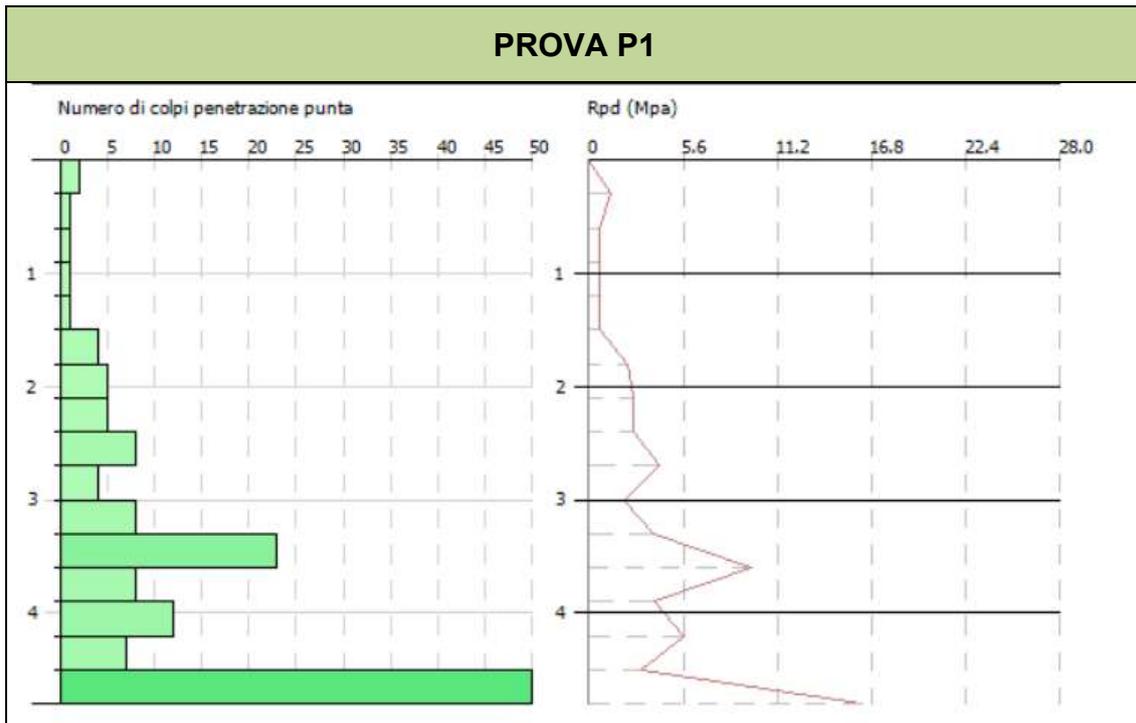
PROVA PENETROMETRICA	PROFONDITÀ RAGGIUNTA DAL P.C.
P1	4,80 m
P2	4,00 m
P3	3,60 m

Tabella 2 – Profondità raggiunte dalle prove penetrometriche



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

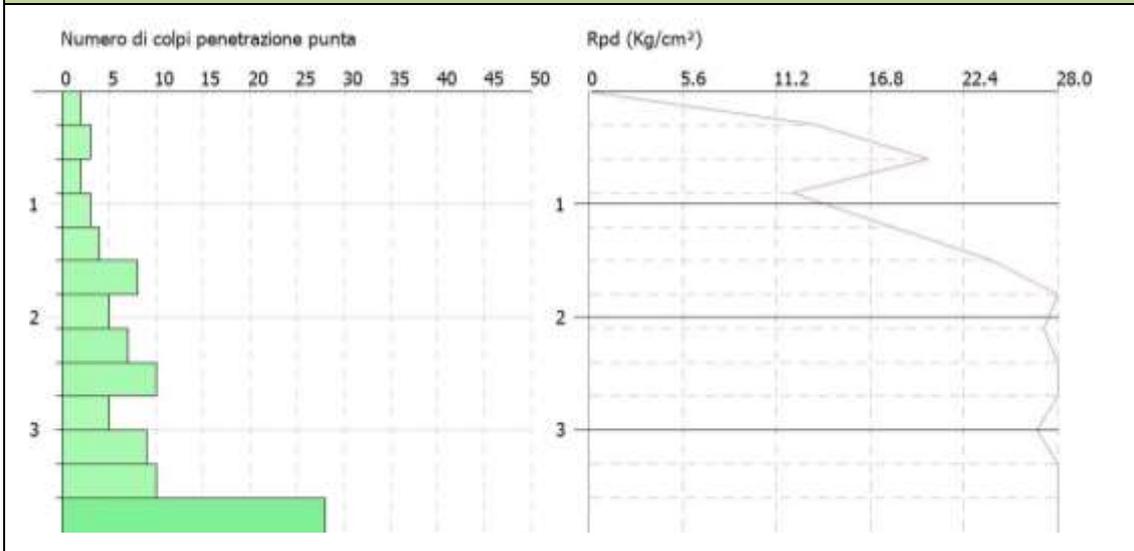
Durante l'esecuzione delle penetrometrie, non è stata riscontrata la presenza di acqua. Le prove evidenziano un orizzonte superficiale di spessore 1-2 m a basso addensamento (livello A); segue uno strato di transizione a medio addensamento (livello B), che costituisce con ogni probabilità l'orizzonte regolitico di passaggio al substrato roccioso (livello C).



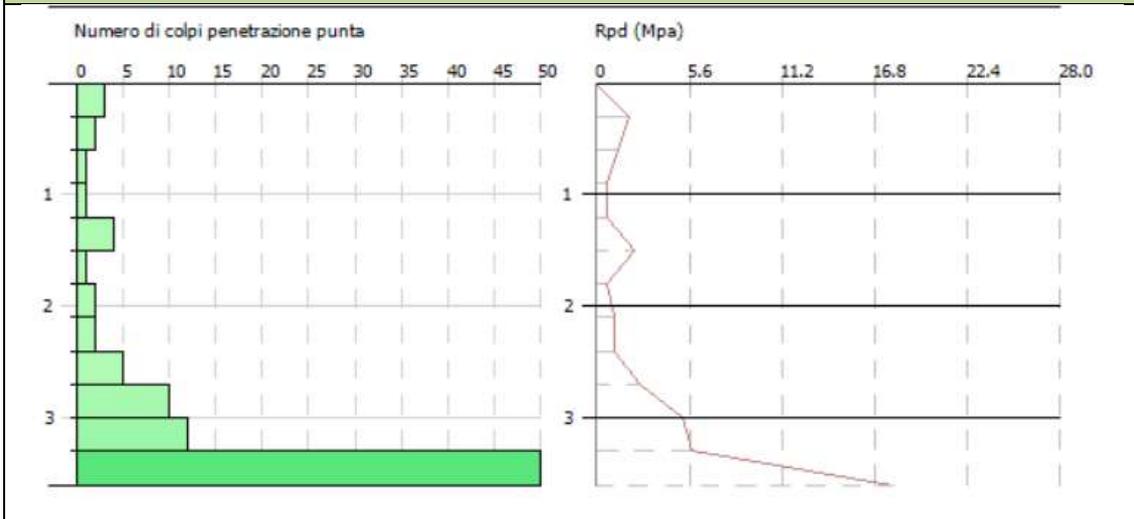


**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

**PROVA P2**



**PROVA P3**





**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

**3.3 Rilievo geomeccanico (2022)**

Nella zona alta della Valle delle Molere, sono stati eseguiti nel 2022 alcuni rilievi geomeccanici su piccoli affioramenti rocciosi. Di seguito si allega la sintesi delle elaborazioni eseguite con il software RocLab della RocScience, partendo dai dati ricavati sul terreno.

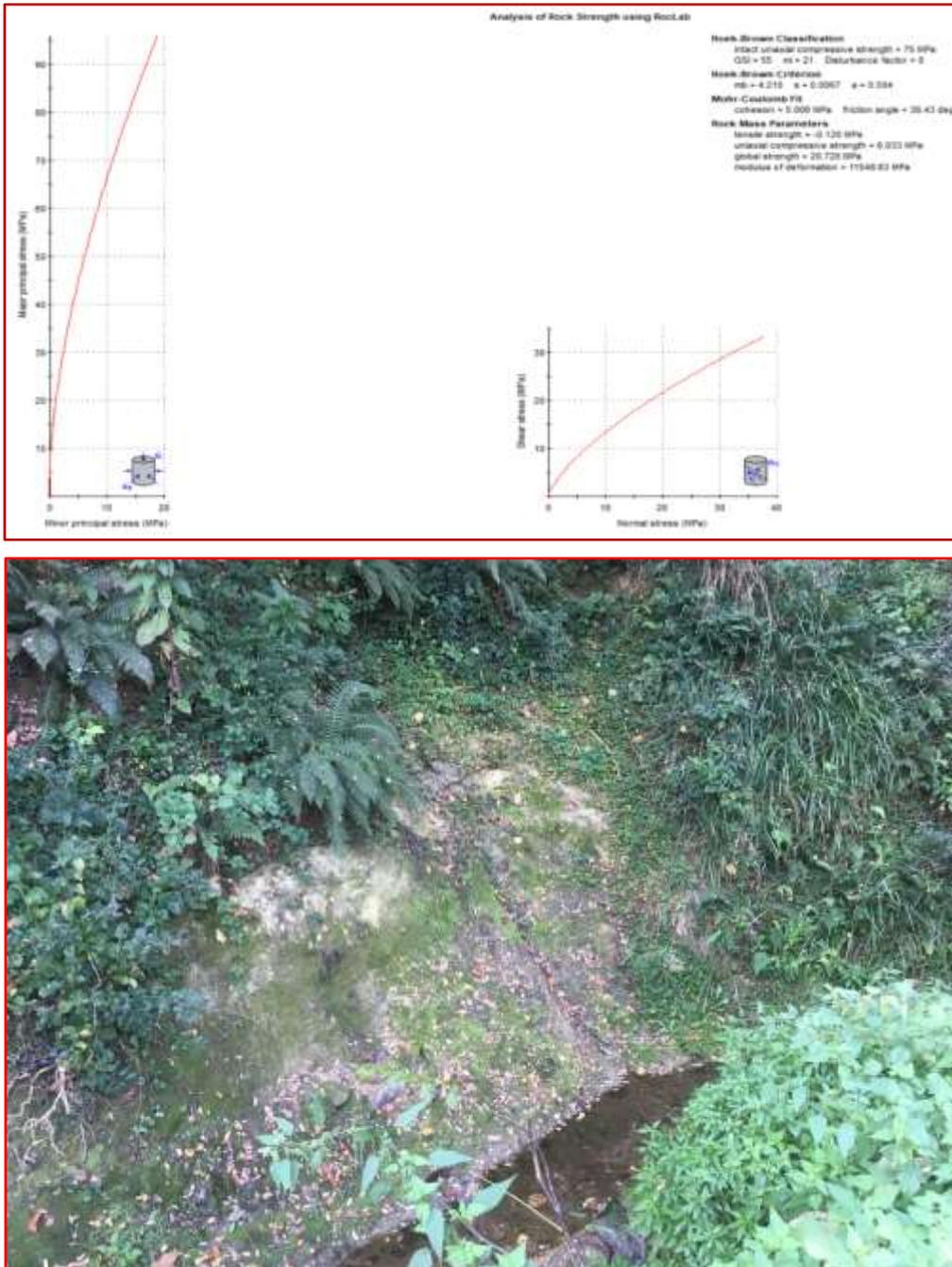


Figure 3 - Elaborazione dei dati con RocLab e ripresa fotografica affioramento roccioso



***RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA***

**4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA**

Sulla scorta delle informazioni desunte dalla consultazione della documentazione tecnica disponibile, è possibile procedere alla caratterizzazione e modellazione geologica (par. 6.2.1 delle N.T.C. 2018), dell'ambito significativo, in relazione al tipo di opera ed al contesto geologico in cui l'opera stessa si colloca.

**4.1 Modello geologico di riferimento**

L'area si colloca in contesto collinare pedemontano, dominato primariamente da processi legati alla dinamica di versante e delle acque superficiali. La Valle delle Molere nasce da vari rami discendenti dalla cintura di rilievi che circonda Gandosso; di fatto costituisce poi la vallata principale entro cui si sviluppa il paese. Non sono segnalati processi destabilizzanti in atto o quiescenti direttamente interferenti; sono invece evidenti le problematiche riconducibili all'erosione torrentizia. I caratteri litologici salienti sono riconducibili alla presenza dell'unità nota nella nuova Carta Geologica d'Italia come Conglomerato di Sirone (CSH). Si tratta di conglomerati del Cretacico Superiore, che sono stati anche oggetto di coltivazione negli anni passati. Si ritiene che, al di là di eventuali infiltrazioni discontinue ed occasionali al contatto tra coltre superficiale e roccia, non vi sia falda in senso stretto. In definitiva, i sopralluoghi e le indagini eseguiti, unitamente alle informazioni desunte dalla documentazione tecnica disponibile, non evidenziano particolari pericolosità geologiche interferenti col sito o col suo significativo attorno, ad eccezione evidentemente all'erosione torrentizia per la quale si propongono i presenti interventi progettuali. I caratteri stratigrafici locali, schematizzati nella tabella proposta a seguire, appaiono ben definibili pur con qualche prevedibile eterogeneità laterale e verticale. Dalle osservazioni di terreno, dagli esiti delle indagini geognostiche eseguite e dall'esperienza acquisita dello scrivente in contesti litologici raffrontabili, è possibile delineare, in via preliminare, la seguente stratigrafia:



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

ORIZZONTE LITOLOGICO	PROFONDITÀ	LITOLOGIA	INTERPRETAZIONE GEOLOGICA
<b>A</b>	1,50 m / 2,00 m	Limi argillosi con clasti sparsi	Coltre di alterazione del substrato roccioso, colluvi
<b>B</b>	3,20 m / 4,50 m	Frammenti rocciosi in matrice fine	Regolite
<b>C</b>	Oltre 3,20 m / 4,50 m	Roccia	Conglomerato di Sirone

Tabella 3 – Caratteri stratigrafici

Il modello geologico dovrà essere confermato e perfezionato nelle successive fasi progettuali mediante indagini geognostiche di approfondimento.



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

**5. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO**

**5.1 Generalità**

L'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 ha classificato l'intero territorio nazionale dal punto di vista sismico.

In seguito a delibera della Giunta regionale (10 ottobre 2014 – n. X/2129) è entrata in vigore l'attuale classificazione sismica del territorio, che ha attribuito al comune di Gandosso la zona sismica 3.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 4 – Accelerazioni orizzontali in funzione della zona sismica

Con la pubblicazione del D.M. 14 gennaio 2008 si definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto n. 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica non più legata ad una zonazione sismica (“criterio zona dipendente”), ma definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini sia di accelerazione del suolo  $a_g$  sia di forma dello spettro di risposta (“criterio sito dipendente”).

L'Allegato A al D.M. 14 gennaio 2008 prevede che l'azione sismica venga valutata in fase di progettazione a partire da una “pericolosità sismica di base” in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.



## ***RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA***

La suesposta metodologia viene confermata anche nelle N.T.C. 2018, laddove la pericolosità sismica di un determinato sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio sia in termini geografici che temporali, fornendo, di conseguenza i risultati:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ( $F_0$  – 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);
- in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (reticolo di riferimento) i cui nodi non siano distanti più di 10 km;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata deve essere variata in funzione delle modifiche apportate dalle condizioni sito-specifiche (caratteristiche litologiche e morfologiche); le variazioni apportate caratterizzano la risposta sismica locale.

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $TC^*$  sono consultabili sul sito: <http://esse1.mi.ingv.it/>.

### **5.2 Indagine geofisica (2022)**

È stata eseguita un'indagine geofisica con l'obiettivo di ricavare, per il sito in esame, il modello geofisico di sottosuolo, la frequenza di risonanza del terreno e la categoria di sottosuolo derivante dalla  $v_{S30}$  (N.T.C. 2018). A tal fine è stata eseguita una campagna di indagine sismica caratterizzata dall'esecuzione di n. 1 misura sismica passiva a stazione singola con tecnica H/V. L'indagine è stata realizzata grossomodo al centro della vasca di laminazione di progetto.

#### **5.2.1 Tecnica H/V**

##### *Cenni metodologici*

La tecnica H/V, appartenente alla sismica passiva, nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basata sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L'idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il



### ***RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA***

ruolo della sorgente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche. In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità.

Il significato teorico del rapporto spettrale H/V è abbastanza immediato nel caso in cui si consideri un mezzo semplice formato da due soli strati: il bedrock ed uno strato superficiale più soffice. Si precisa che per bedrock si intende qualunque strato con velocità nettamente maggiore di quello sovrastante, in grado di determinare un picco di risonanza; tale strato non deve necessariamente essere una roccia ma, soprattutto in ambiti di pianura, può essere una sabbia o una ghiaia. Le frequenze di risonanza, in questo sistema, sono pertanto date da:

$$f_r = \frac{V_s}{4H}$$

dove  $V_s$  indica la velocità delle onde di taglio nel mezzo e  $H$  lo spessore dello strato che risona alla frequenza  $f_r$ . Tali frequenze, associabili ai picchi del rapporto H/V, possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.

#### *Frequenze di vibrazione e doppia risonanza*

Un sisma è composto da onde di frequenza differente, che subiscono amplificazioni differenti. La frequenza a cui corrisponde la massima amplificazione viene detta frequenza naturale di vibrazione del terreno. I danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno. In questi casi si verifica il fenomeno della doppia risonanza. Le ampiezze di oscillazione del terreno e dell'edificio si combinano, amplificando in maniera disastrosa le sollecitazioni sulla struttura.

Il fenomeno della doppia risonanza consente di spiegare il danneggiamento selettivo che si osserva quasi sempre nelle aree colpite da un sisma. Variando le condizioni geologiche locali, varia la frequenza naturale del terreno. Edifici con simile frequenza naturale



## ***RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA***

possono subire livelli di danno molto differenti fra loro, perché posti in siti dove cambia la situazione geologica.

Grazie all'impiego della tecnica H/V è possibile determinare la frequenza naturale del terreno, fornendo una informazione fondamentale per la progettazione di nuovi edifici o per la verifica di quelli esistenti.

La frequenza naturale degli edifici si determina attraverso formule empiriche, come quelle proposte nelle NTC08, oppure eseguendo misure dirette con strumentazione sensibile posta all'interno dell'edificio.

### ***Acquisizione dati***

Per l'esecuzione dell'indagine sismica secondo la tecnica H/V in oggetto si è utilizzato il tromometro digitale Tromino 3G prodotto dalla Moho s.r.l., dotato di tre canali velocimetrici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, due livelli di amplificazione (saturazione  $\pm 1.2$  mm/s in banda) e frequenze di campionamento 128, 256, 512, 1024 Hz su tutti i canali.

Le misure vengono eseguite posizionando lo strumento al suolo, avendo cura della sua messa in bolla, e successivamente registrando per alcuni minuti.

### ***Elaborazione ed interpretazione dei risultati***

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., eseguendo su ciascuna tromografia le seguenti operazioni.

- **Analisi della traccia.** La pulizia della traccia è preliminare a qualsiasi tipo di modellazione. La rimozione dei disturbi è di fondamentale importanza anche per l'analisi delle curve H/V. Tali curve devono essere statisticamente significative, ossia essere caratterizzate da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato.
- **Modellazione.** L'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica. Un picco di origine naturale individuato sulla curva H/V



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

coincide, sugli spettri delle singole componenti, ad un minimo locale della componente spettrale verticale.

**5.2.2 Indagine H/V**

<b>Frequenza di campionamento</b>	128 Hz	<b>Condizioni meteorologiche</b>	Sereno
<b>Data registrazione</b>	17/10/2022	<b>Lunghezza finestre</b>	20 s
<b>Terreno di misura</b>	Suolo	<b>Tipo di lisciamento</b>	Triangular window
<b>Accoppiamento suolo strumento</b>	Piedini lunghi	<b>Lisciamento</b>	10 %
<b>Orientamento dello strumento</b>	Nord	<b>Durata della registrazione</b>	10' 00"
<b>Vincolo stratigrafico</b>	Prove penetrometriche dinamiche		

Analisi della traccia

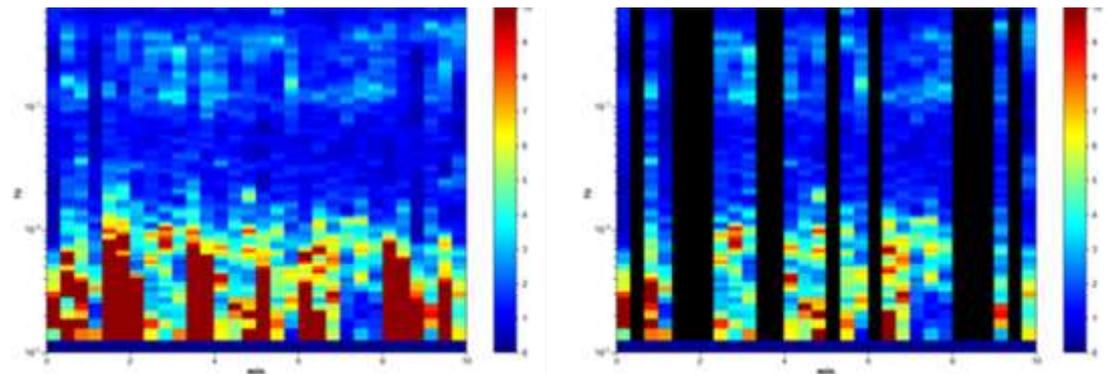


Figura 4 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

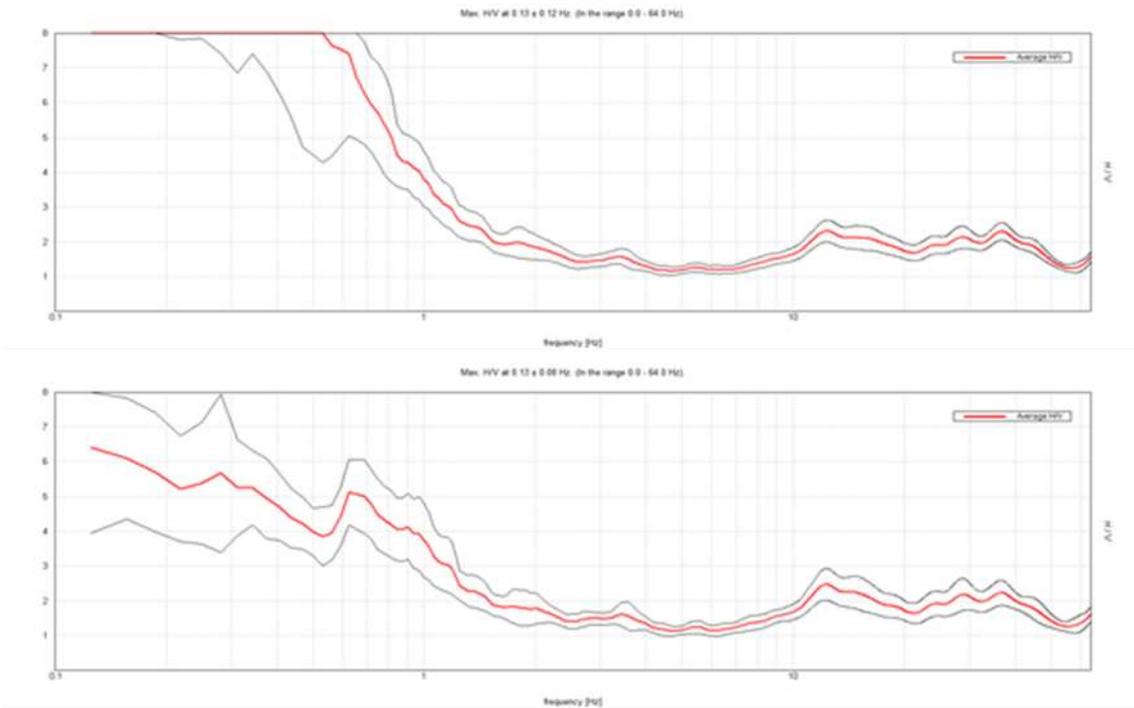
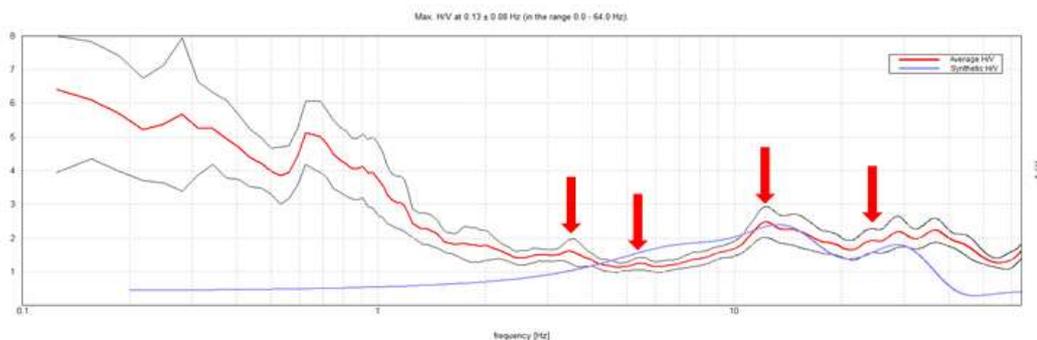


Figura 5 – Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

### **5.2.3 Risultati**

Le due misure risultano discretamente correlabili lateralmente e non evidenziano significative inversioni di velocità. Nel caso in esame, gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 24,2 Hz, 12,2 Hz, 5,2 Hz e 3,5 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente. Sulla base dei valori di Vs ottenuti è stata determinata una Vseq pari a 499 m/s. Il bedrock sismico (800 m/s) si trova a circa 25 m da p.c.





**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

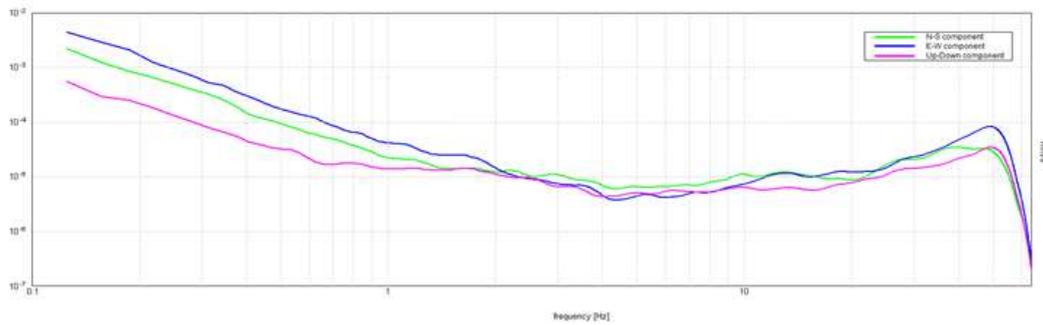


Figura 6 – Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V

Di seguito sono riassunti il profilo verticale delle Vs ed il modello sismo stratigrafico del sito.

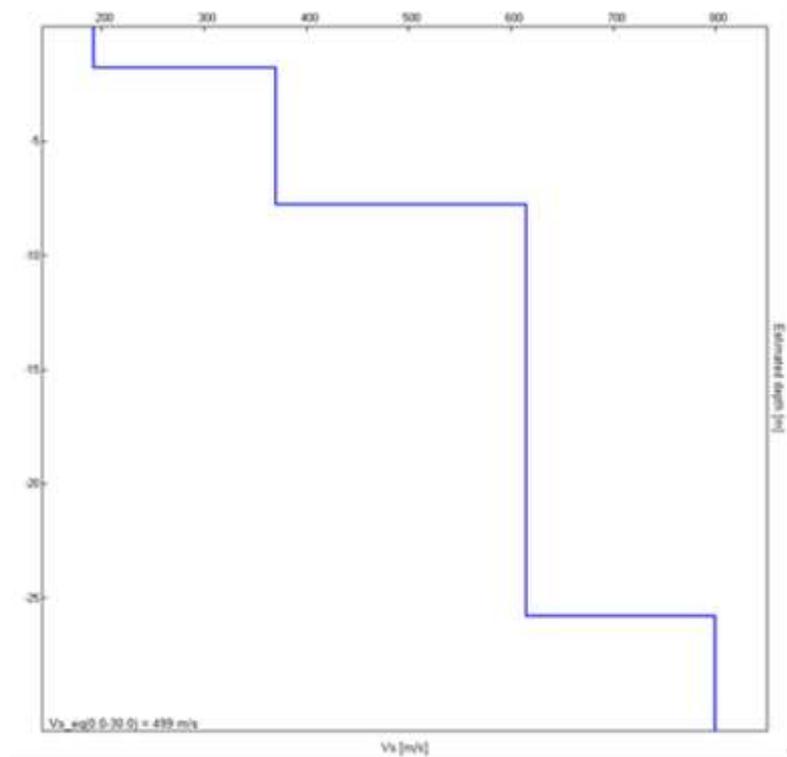


Figura 7 – Andamento della Vs con la profondità

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1,8	1,8	192
7,8	6,0	370
25,8	18,0	615
∞	∞	800



## ***RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA***

È bene ricordare, infine, che le procedure di misura impiegate per l'indagine geofisica si basano su tecniche di esplorazione indiretta che, nonostante siano utilizzate allo stato dell'arte sia delle conoscenze scientifiche che degli avanzamenti tecnologici, hanno una serie di intrinseche limitazioni. L'indagine, infatti, è basata sull'applicazione di conoscenze e di leggi scientifiche ufficialmente riconosciute ma anche su calcoli e valutazioni professionali circa fenomeni suscettibili di interpretazione. Inoltre, qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di Vs ricavati con queste tecniche, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro. Per questi motivi la presente indagine geofisica non può e non deve sostituire una appropriata campagna di esplorazione diretta.

### **5.3 Analisi di risposta sismica locale**

#### **5.2.1 Carta della Pericolosità Sismica Locale**

Secondo la Carta della Pericolosità Sismica Locale del P.G.T., l'area di intervento è compresa entro una perimetrazione *Z4a – zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e fluvioglaciali granulari e coesivi*. Poiché Gandosso ricade in zona sismica 3, in ambito Z4 è necessario procedere all'analisi di 2° livello sugli effetti di amplificazione litologica, secondo quanto previsto dalla D.G.R. 2616/2011. Tale analisi è già stata effettuata nello studio geologico del P.G.T., determinando che l'area rientra fra quelle in cui il valore di amplificazione è superiore al valore soglia comunale, e quindi la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione. È quindi necessario utilizzare la categoria di suolo superiore rispetto a quella determinata strumentalmente, ovvero la categoria C anziché la B. Poiché però il substrato sismico di riferimento è posto a meno 30 m dal p.c., in luogo della categoria C si utilizzerà la categoria E.

#### **5.2.2 Amplificazione stratigrafica**

Sulla scorta delle indagini eseguita, il terreno di fondazione del sito è classificabile entro la categoria E:



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.

Figura 8 – Categoria di suolo di fondazione utilizzabile ai fini progettuali

### **5.2.3 Amplificazione topografica ed effetto di instabilità**

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella tabella seguente.

**Tab. 3.2.III –** *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Tab. 3.2.V –** *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Figura 9 – Categoria topografica e relativo valore di  $S_T$

Visto che gli interventi di progetto si svolgono essenzialmente in posizione di fondovalle, con acclività ridotta, viene assegnato un valore di  $S_T$  pari a 1,0.



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

**5.2.4 Parametri sismici sito-specifici**

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) prevedono l'assegnazione dei valori necessari per la determinazione delle azioni sismiche in ogni sito considerato, in particolare:

- $a_g$  = accelerazione massima orizzontale del sito;
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in acc. orizzontale;
- $T_{c^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc. orizzontale.

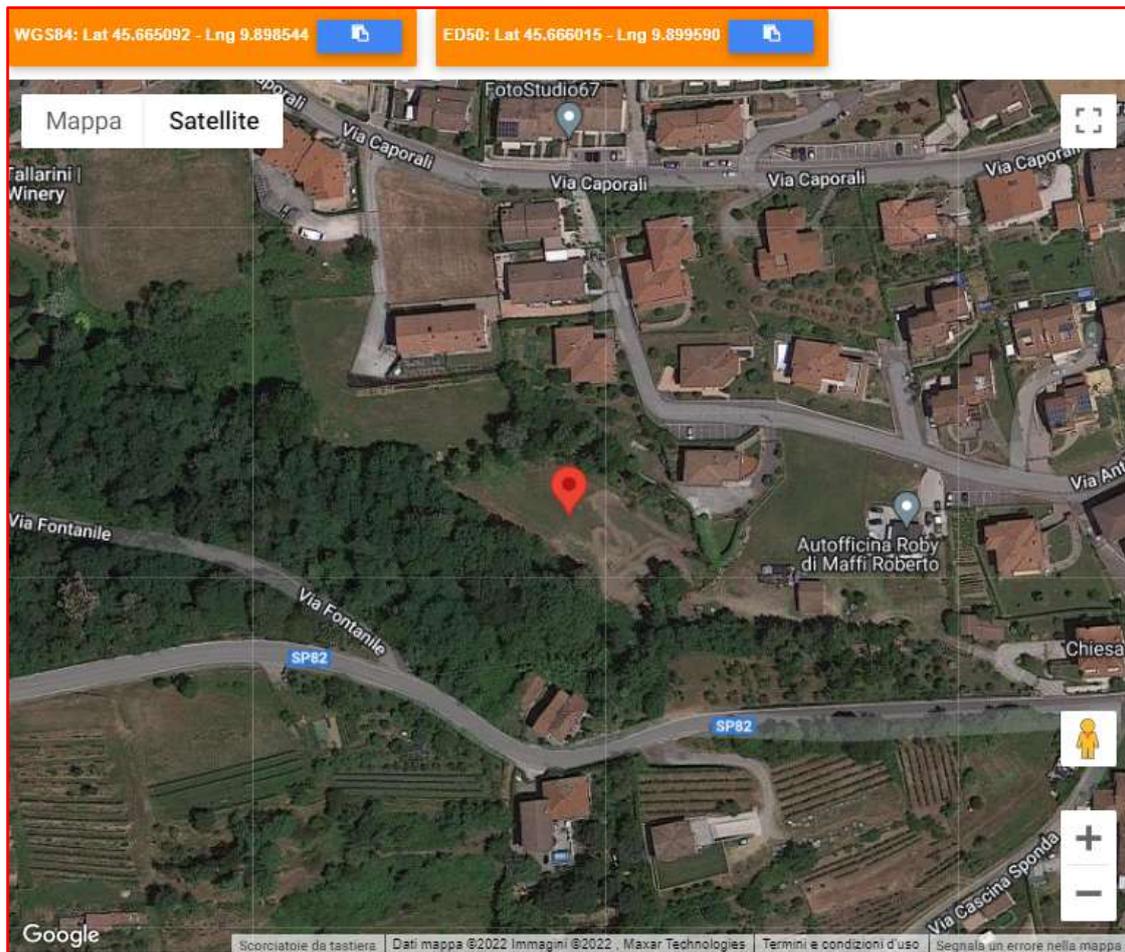


Figura 10 – Localizzazione sismica del sito (con riferimento all'intervento principale di allargamento dell'invaso di laminazione)

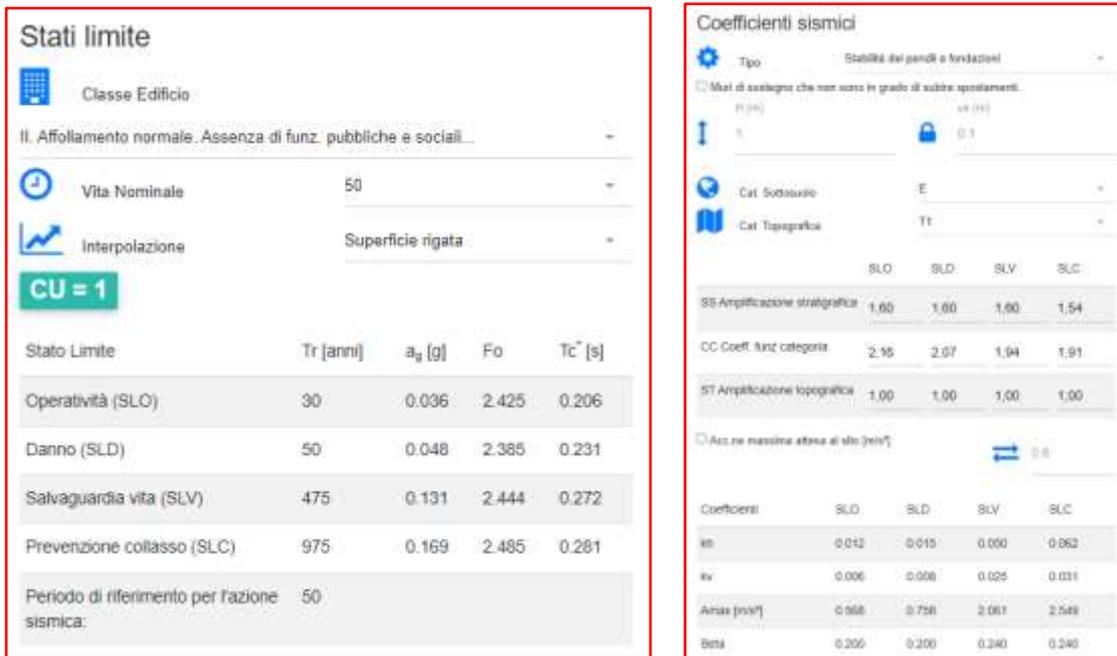


Figure 11 – Determinazione dello stato limite  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento e coefficienti sismici ([www.geostru.it](http://www.geostru.it))

### **5.2.5 Verifica a liquefazione**

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

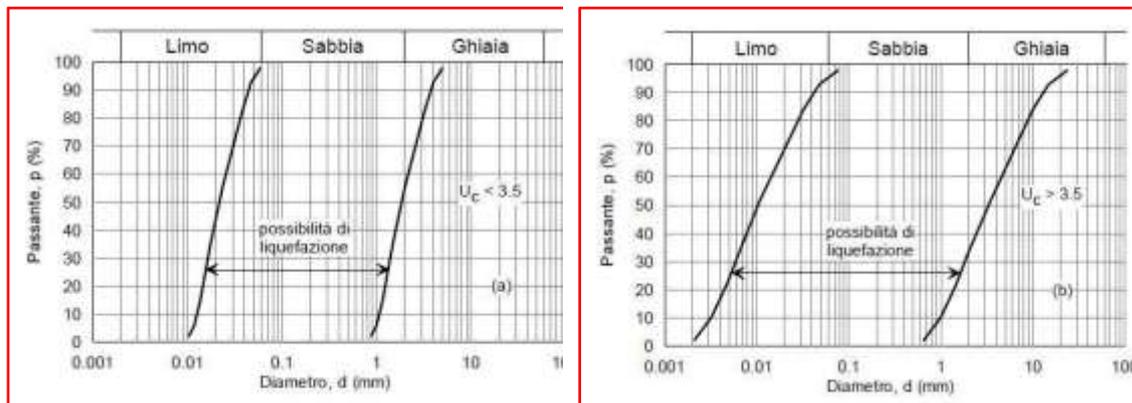
La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{cIN} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{cIN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura successiva, con riferimento al valore del coefficiente di uniformità  $U_c$ .



In questo caso, non vi sono le condizioni granulometriche né idrogeologiche affinché si verifichi la liquefazione.



**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**

**6. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA  
DEL SOTTOSUOLO**

A partire dagli esiti ottenuti dall'indagine geognostica eseguita in sito e sulla base della modellazione geologica e sismo-stratigrafica indicata nei capitoli precedenti, è possibile procedere alla caratterizzazione e modellazione geotecnica (par 6.2.2 delle NTC 2018) del volume di terreno significativo.

**PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI MEDI**

ORIZZONTE LITOTECNICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO EDOMETRICO / ELASTICO
<b>A</b>	15,19 kN/m <sup>3</sup>	18,11 kN/m <sup>3</sup>	-	17,17 kN/m <sup>2</sup>	2093,84 kN/m <sup>2</sup> (edometrico)
<b>B</b>	16,63 kN/m <sup>3</sup>	18,78 kN/m <sup>3</sup>	28,46°	-	27741,78 kN/m <sup>2</sup> (elastico)
<b>C</b>	20 kN/m <sup>3</sup>	21 kN/m <sup>3</sup>	38,43°	-	50000 kN/m <sup>2</sup> (elastico)

Tabella 5 – Valori MEDI dei parametri geotecnici

Dai valori medi è poi possibile pervenire alla definizione dei valori caratteristici, ricavati con metodi geostatistici, calibrati anche in base alle condizioni specifiche del sito, a valori di letteratura ed all'esperienza dello scrivente.

**PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI SITO-SPECIFICI**

ORIZZONTE LITOSTRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO EDOMETRICO / ELASTICO
<b>A</b>	14,80 kN/m <sup>3</sup>	18,06 kN/m <sup>3</sup>	-	12,18 kN/m <sup>2</sup>	1539,80 kN/m <sup>2</sup> (edometrico)
<b>B</b>	15,82 kN/m <sup>3</sup>	18,59 kN/m <sup>3</sup>	26,55°	-	20349,52 kN/m <sup>2</sup> (elastico)
<b>C</b>	19 kN/m <sup>3</sup>	20 kN/m <sup>3</sup>	35°	-	40000 kN/m <sup>2</sup> (elastico)

Tabella 6 – Valori CARATTERISTICI dei parametri geotecnici



***RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA***

**7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

La presente relazione geologica-geotecnica e sismica è stata redatta a supporto del progetto di fattibilità tecnico-economica per la realizzazione delle “*Opere di mitigazione del rischio idrogeologico nel territorio comunale*” – CUP F54D24000060001.

Per ogni considerazione di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e sismico, si vedano i rispettivi capitoli.

In base ai risultati dei rilievi e degli approfondimenti effettuati si ritiene che, fatte salve le considerazioni e prescrizioni contenute nella presente relazione, in via preliminare non vi siano elementi geologici ostativi alla realizzazione delle opere di progetto.

Il modello geologico e geotecnico dovrà essere confermato e perfezionato nelle successive fasi progettuali, eventualmente mediante indagini geognostiche di approfondimento.

Infine, in considerazione del fatto che le opere progettuali interesseranno il reticolo idrico minore e l'invaso di laminazione, sarà necessario ottenere il nulla-osta idraulico contestualmente alle successive fasi progettuali.

*Mozzo, Giugno 2025*

Dott. Geol. Alessandro Chiodelli

