

GEOL.COSTANTINI DARIO

Studio geologia tecnica

Via Bellotto 16d/10 Quiliano (SV)
cosdar@gmail.com
Cell. 349/4006823

REGIONE LIGURIA
COMUNE DI STELLA
PROVINCIA DI SAVONA

**LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE EDIFICIO VIA MUZIO 50 ASILO NIDO
NEW GENERATION EU - PNRR – PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO**

RELAZIONE GEOLOGICA
RELAZIONE DI ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA
NOTE GEOTECNICHE DI FATTIBILITA'

ANNO 2023

IL TECNICO:

Dott. Geol. Dario Costantini



SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	5
4	ASSETTO GEOLOGICO.....	6
4.1	ASSETTO GEOLOGICO GENERALE.....	6
4.2	LITOLOGIE PRESENTI PRESSO L'AREA DI SEDIME	7
5	ASSETTO GEOMORFOLOGICO	10
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	11
6.1	ACQUE SOTTERRANEE	11
6.2	ACQUE SUPERFICIALI.....	12
7	ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICITA'.....	13
7.1	AZIONE SISMICA	13
7.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	13
7.3	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI	15
7.4	STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITA' DI SUPERAMENTO	16
7.5	VITA NOMINALE	17
7.6	CLASSI D'USO	17
7.7	PERIODO DI RIFERIMENTO.....	18
7.8	CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI	19
7.9	CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONE LIGURIA	16
7.10	ANALISI DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE AI SENSI DELLE DGR 535/2021	16
7.10.1	<i>Recepimento delle linee guida nei comuni liguri.....</i>	<i>17</i>
7.10.3	<i>Descrizione delle caratteristiche tipologiche e strutturali dell'intervento</i>	<i>18</i>
7.10.4	<i>Analisi territoriale della suscettività a liquefazione dei suoli sulla base dei dati di pericolosità sismica di base</i>	<i>19</i>
7.10.5	<i>Verifica compatibilità previsioni urbanistico- edilizie nei Comuni non dotati di analisi liquefazione a corredo dello strumento urbanistico comunale</i>	<i>20</i>
8	RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI FISICO MECCANICI DEI TERRENI.....	21
8.1	SUBSTRATO ROCCIOSO	21
8.1.1	<i>Ortogneiss.....</i>	<i>22</i>
8.1.2	<i>Regolite del substrato roccioso.....</i>	<i>23</i>
8.1.3	<i>Coltre sciolta</i>	<i>23</i>
9	CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE DEGLI INTERVENTI.....	25
10	NOTE GEOTECNICHE DI FATTIBILITA'	26
10.1	DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI E DELLE PROVE E ACQUISIZIONE DATI GEOTECNICI	26
10.2	INDAGINI TOMOGRAFICHE SUPERFICIALI	26
10.2.1	<i>Coltri detritiche eluviali.....</i>	<i>27</i>
10.2.2	<i>Fascia di alterazione del substrato roccioso</i>	<i>27</i>
10.2.3	<i>Substrato roccioso fratturato e alterato.....</i>	<i>28</i>
10.2.4	<i>Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici</i>	<i>28</i>

10.3	OPERE DI SCAVO PER CONSOLIDAMENTO E SOTTOMURAZIONE	29
10.4	OPERE DI SCAVO.....	31
11	TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	33
13	CONCLUSIONI.....	35

1 PREMESSA

La presente *relazione geologica, sismica e le collegate note geotecniche*, sono state eseguite nell'ambito dei "LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE EDIFICIO VIA MUZIO 50 ASILO NIDO NEW GENERATION EU - PNRR – PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO", sito in comune di Stella.

La presente indagine fa riferimento alle nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al D.M. 17.01.2018 e relativa circolare esplicativa del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Circolare n. 7 del 21/01/2019". Il territorio in esame è riportato nell'elenco regionale dei comuni in zona sismica 3 ai sensi dell'Opcm 3519/06 (nuova classific. sismica reg. Liguria) e della conseguente Dgr. n. 216/2017.

Le relazioni sono finalizzate alla caratterizzazione e alla costruzione del modello geologico del sito in relazione alle finalità progettuali e alle peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale in cui si opera. Ottenuta la documentazione tecnica necessaria sono stati eseguiti i sopralluoghi e le indagini in sito ritenuti maggiormente opportuni, in modo da delineare adeguatamente il contesto geologico, in relazione al tipo di intervento eseguito. I sopralluoghi e le indagini sono stati volti alla trattazione degli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici della area di sedime allargata ad un intorno dimensionale sufficientemente significativo, analisi che ha compreso anche un esame della stratigrafia locale, delle caratteristiche fisico meccaniche delle litologie presenti in loco e della complessiva compatibilità geotecnica del progetto.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Norme tecniche per le Costruzioni 2018

Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018" -

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica — Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica — Parte II: Progettazione assistita con prove in sito(2002).

DGR 535/2021

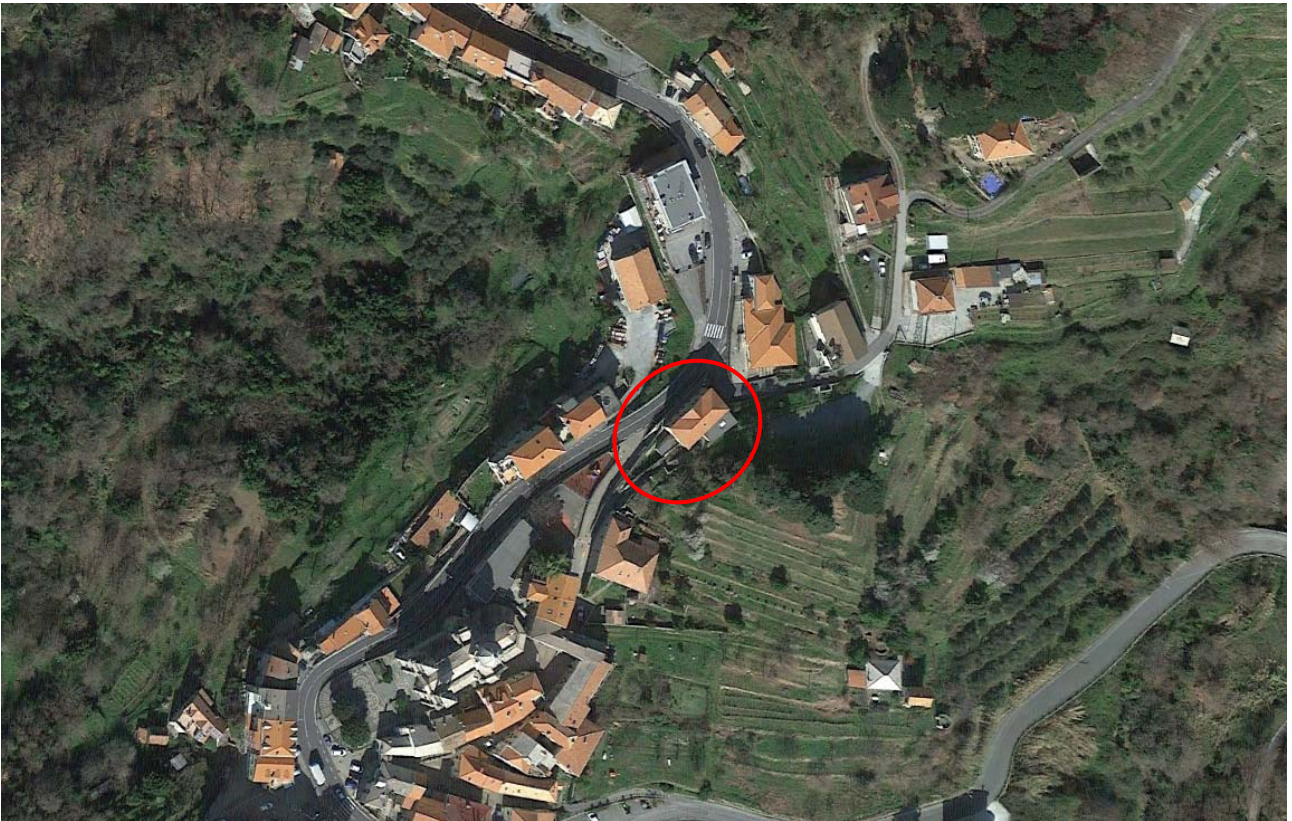
Adozione delle Linee Guida per la Gestione del Territorio in Aree Interessate da Liquefazione (LQ) ed approvazione criteri tecnici integrativi alla DGR 471/2010.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame si colloca in fregio alla S.P. 334, in ambito urbano e antropizzato, alla quota di circa 210 mt s.l.m.

L'assetto morfologico, collocandosi in un ambito di versante, è caratterizzato da pendenze mediamente elevate. La zona vede la presenza di singoli insediamenti edilizi residenziali disposti in allineamento lungo la strada provinciale, circondati da aree rurali coltivate (sostenute mediante terrazzamenti) e zone zerbide e boscate.

Vista aerea del sedime



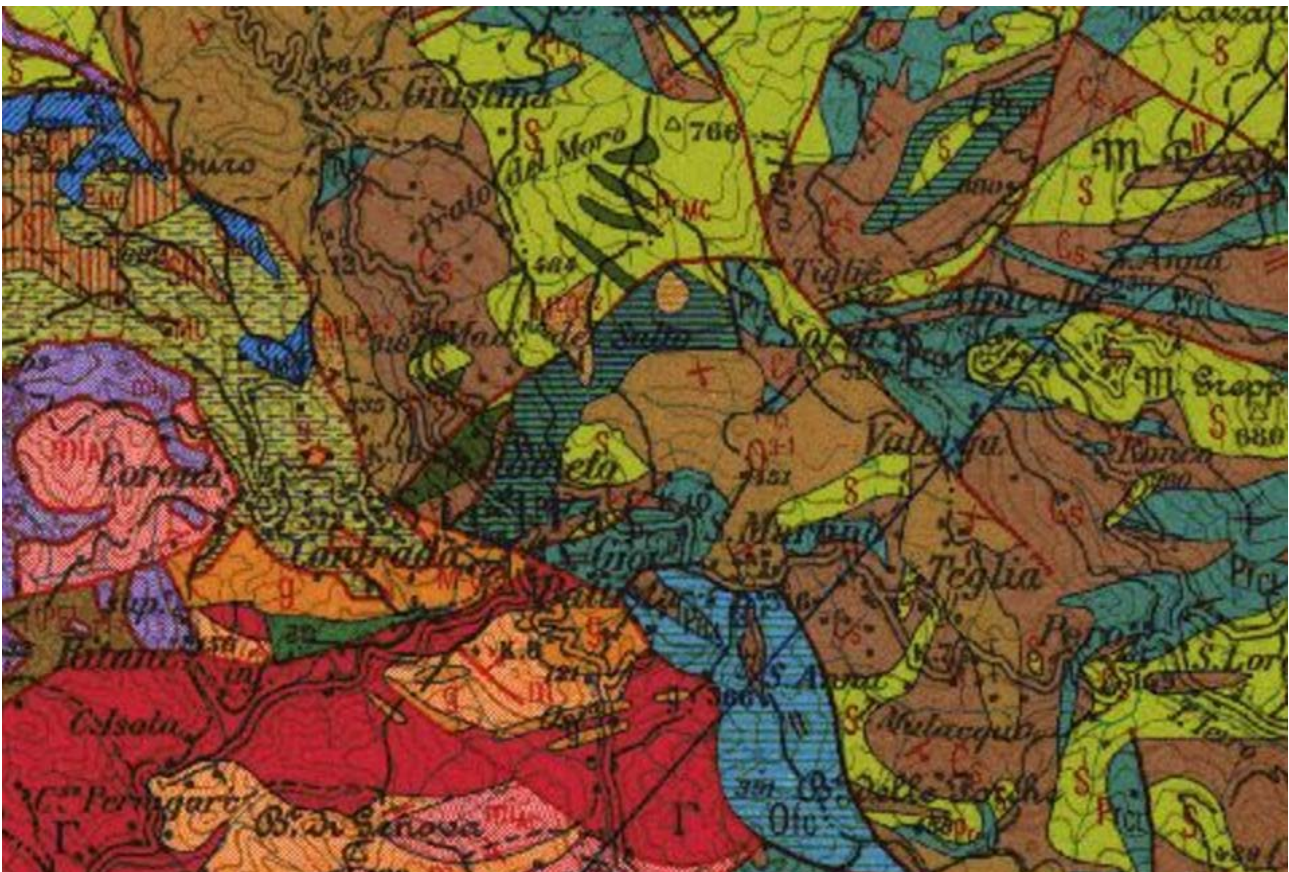
4 ASSETTO GEOLOGICO

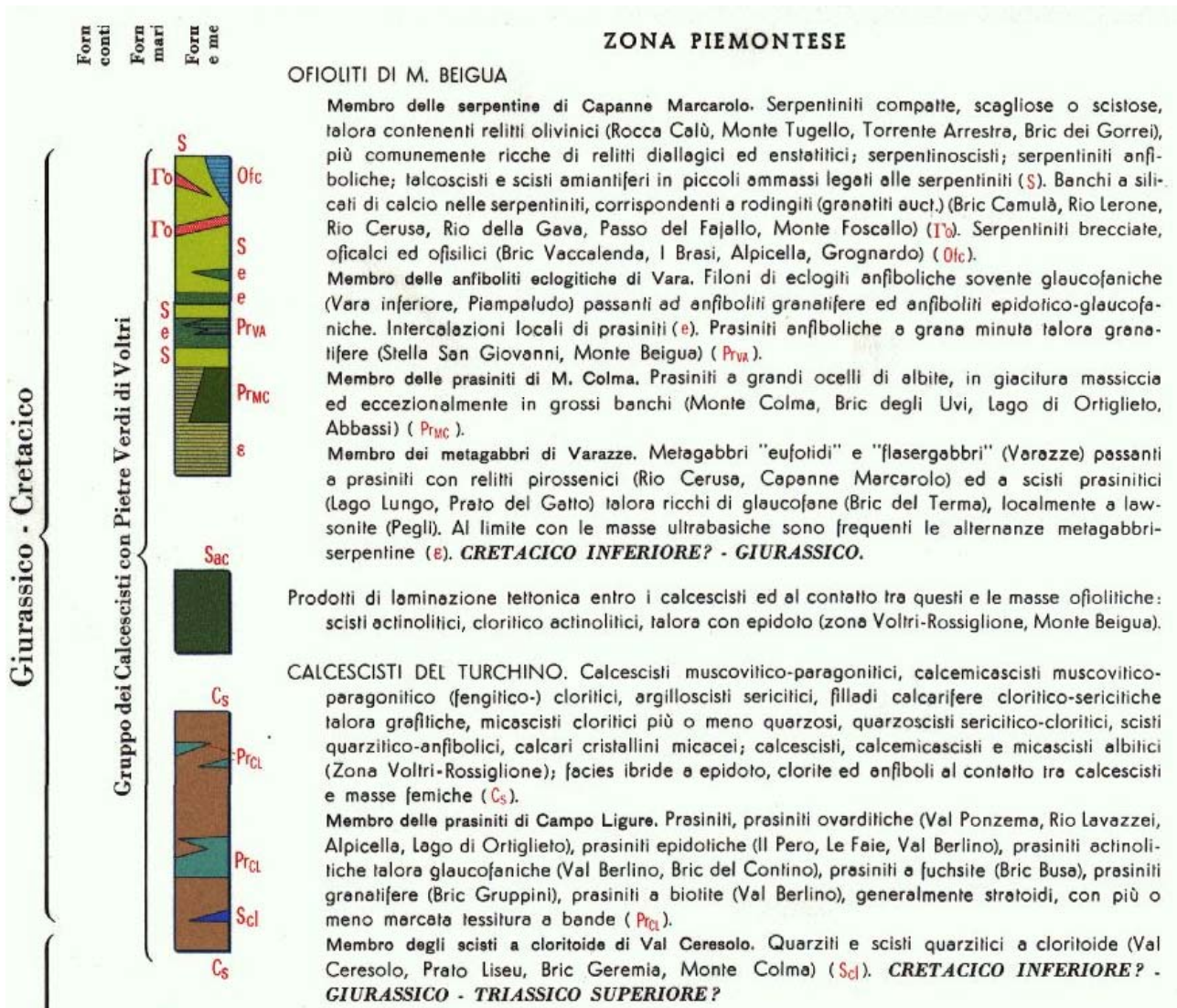
4.1 Assetto geologico generale

La geologia dei luoghi è dominata dalle sequenze litologiche inquadrabili come appartenenti al Dominio Piemontese ed in particolare nella successione del Gruppo di Voltri (Giurassico –Cretaceo).

In questo dominio si ritrovano successioni ofiolitifere variamente metamorfosate associate a serie flyschoidi.

Trattasi di sequenze di fondo oceanico messe in posto durante le fasi dell'apertura dell'oceano Ligure Piemontese e successivamente impilate e strutturate in catena montuosa dall'orogenesi alpina. Il metamorfismo cui si faceva riferimento poch'anzi deriva principalmente dalle fasi orogeniche ed ha raggiunto il grado degli scisti blu-verdi.





4.2 Litologie presenti presso l'area di sedime

Allargando il raggio dell'indagine in un intorno sufficientemente ampio si può rilevare come i litotipi presenti in loco ricadono totalmente nel gruppo delle serie metamorfiche ofiolitifere.

Tali sequenze sono rappresentate in questo caso da originarie associazioni di vulcaniti basaltiche e sequenze sedimentarie di tipo oceanico, attualmente rappresentate da prasiniti e calcescisti riferibili all'unità di Alpicella.

I litotipi affioranti sono costituiti da ortogneiss metagranitoidi a grana grossa ed affiorano localmente in posizione decentrata rispetto all'area in esame. Sul terreno la roccia si presenta di colorazione scura, dal bruno al rossiccio in relazione al grado di alterazione superficiale.

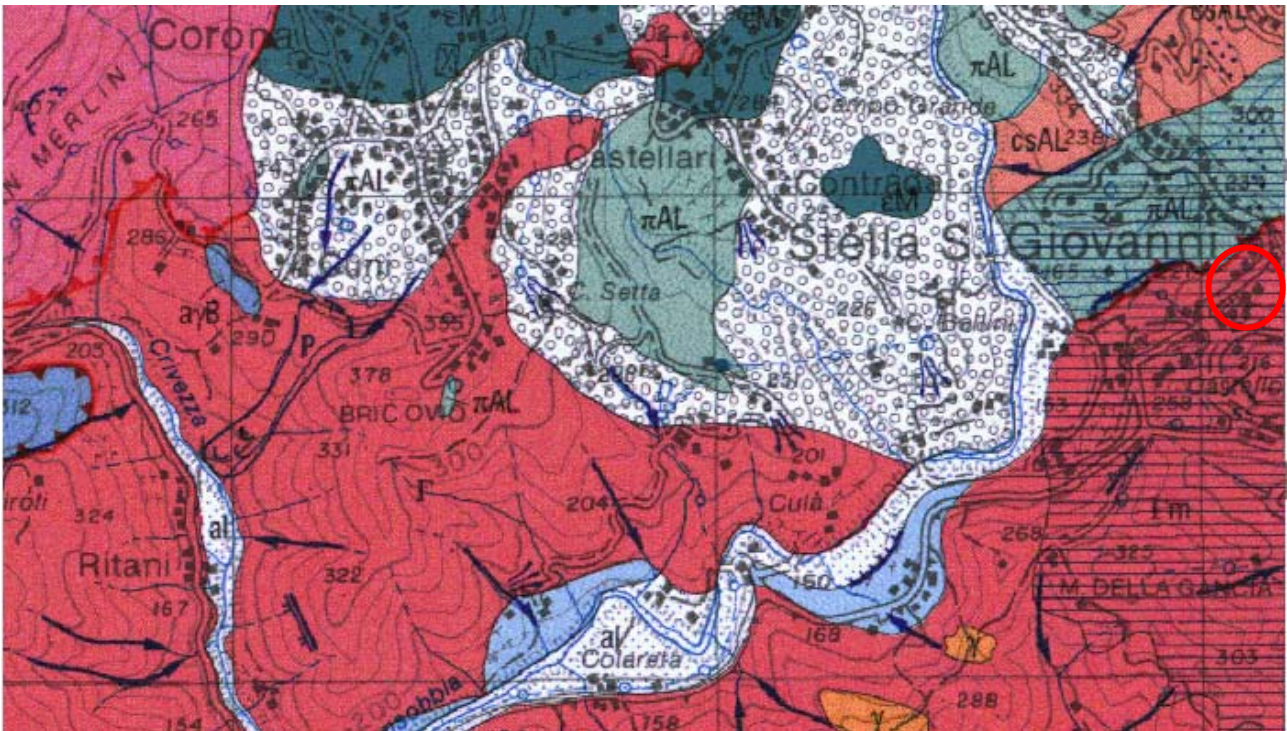
L'osservazione visiva premette di osservare una struttura a bande depositive sub parallele che assumono in determinati casi l'importanza di vere e proprie discontinuità strutturali

(scistosità o/e piani di stratificazione). L'aspetto prevalente è comunque massivo ma con un grado di discontinuità strutturali spesso molto accentuato e legato alle vicende tettoniche remote e recenti che hanno segnato l'iter geologico del litotipo.

Le coltri detritiche superficiali a copertura delle litologie elencate si presentano di spessore variabile da 1 a circa 2-3 m. Esse traggono la loro origine sia dai processi disgregativi del substrato roccioso sottostante sia da accumuli di materiale proveniente dai rilievi soprastanti e di riporto in relazione all'uso agricolo dei luoghi.

Sul terreno si presentano di colore tendenzialmente marrone scuro con scheletro litico abbondante (ghiaie ciottoli) immersi in matrice limoso argillosa.

Inquadramento geologico schematico



Area intervento

QUATERNARIO



COPERTURE SCIOLTE: coltri detritiche eluvio-colluviali.

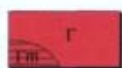


ALLUVIONI: depositi fluviali attuali e recenti; depositi di spiaggia.
Olocene

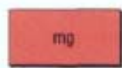


ALLUVIONI ANTICHE: conglomerati, alternanze di argille sabbiose e/o conglomerati minuti; conglomerati con matrice rossa argillosa.
Quaternario - Pliocene

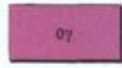
UNITÀ SAVONA CALIZZANO



ORTOGNEISS METAGRANITOIDI II: metagranitoidi con sovraimpronta metamorfica prealpina in facies anfibolitica; granitoidi a grana da media a grossolana, generalmente porfirci per grandi megacrystalli di K-feldspato (fino a 8-10 cm); metagranitoidi con forte sovraimpronta metamorfica a carattere milonitico (Im).
Carbonifero inferiore



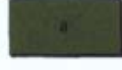
MIGMATITI: migmatiti di anatessi, polimetamorfiche a peclloblasti di andalusite associate a mobilizzati leucocratici.
Siluriano - Devoniano



ORTOGNEISS I: ortogneiss con sovraimpronta polimetamorfica in facies anfibolitica prealpina; metagranitoidi a grana grossolana occhiadina per megacrystalli di K-feldspato (fino a 4 cm) con strutture magmatiche relitte; ortogneiss biotitica muscovitico fortemente scistososi; ortogneiss biotitico-muscovitico con pasta di fondo equigranulare a grana medio fine e fenocrystalli di K-feldspato.
Cambriano - Ordoviciano - Siluriano



PARAGNEISS MICASCISTI POLIMETAMORFICI IN FACIES ANFIBOLITICA: paragneiss e micascisti a grana fine, a biotite e muscovite; micascisti a grana media fino a grande.
Ordoviciano - Siluriano



ANFIBOLITI: metabasiti massicce, polimetamorfiche, in facies anfibolitica; localmente granatifere; metabasiti polimetamorfiche a grana generalmente da fine a media, con relitti di paragenesi eclogitiche a granato.
Ordoviciano - Siluriano



MILONITI: cataclasti, miloniti e blastomiloniti indifferenziate di rocce del basamento con intensa sovraimpronta metamorfico-alpina, deformativa, spesso polifasica.

5 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il sito è stato oggetto di un forte intervento antropico, in ragione della sua collocazione a servizio di un'area urbana con presenza di fabbricati pluripiano e le collegate viabilità pubbliche e private e aree parcheggio.

Il versante è stato oggetto nel corso delle epoche remote, di una progressiva regolarizzazione e rimodellamento, finalizzata alla realizzazione delle attuali opere di urbanizzazione. La modellazione morfologica, è consistita nella movimentazione di volumi di terreno atti a creare gli spazi in essere, sostenuti da scarpate in terra naturale e da muri in cemento armato anche di notevoli dimensioni e altezze.

In ragione delle opere di sistemazione accessorie presenti in posizione circostante al sedime, le acclività globali risultano comprese in un intervallo medio, in particolare presso il sedime di imposta e il lato di monte dello stesso.

Il rilievo geomorfologico eseguito in sito ha rilevato le caratteristiche salienti del sito, al fine di delinearne il grado di stabilità a livello puntuale e di versante. Tali caratteristiche sono di seguito elencate:

- terreno a pendenza da media a bassa;
- profilo modificato dall'uso antropico (residenziale e agricolo) con costante realizzazione di terrazzamenti di ampiezza variabile;
- presenza di scarpate naturali in buon grado di conservazione e stabilità, che evidenziano la presenza dei terreni costituenti il substrato geologico locale in posizione affiorante e/o sub affiorante presso le zone del crinale morfologico.

L'insieme dei fattori descritti indica come il tratto di versante si presenti saldo e scevro da movimenti franosi attivi. Le caratteristiche geomorfologiche denotano una energia di rilievo complessivamente medio-bassa, consentendo di ritenere che localmente il sito non risulti significativamente esposto a particolari scenari di rischio idro-geomorfologico.



Il contesto urbanizzato imporrà tuttavia di operare al processo di miglioramento geostatico, mediante tecniche di lavoro mirate e adeguate alle condizioni geomorfologiche di contorno, al fine di limitare al massimo eventuali effetti di disturbo sulla staticità dei luoghi e delle cose presenti in loco.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

6.1 Acque sotterranee

Il substrato geo-litologico risulta scarsamente permeabile per fratturazione mentre la permeabilità aumenta considerando lo strato di alterazione superficiale.

I terreni presenti in sito si configurano essenzialmente secondo due modelli di permeabilità, ovvero:

- *coltri detritiche superficiali, dotate in genere di permeabilità media (K var. tra 10^{-3} / 10^{-4})* 
- *substrato roccioso e regolite dello stesso dotati di permeabilità variabili ma comunque comprese in un intervallo medio-basso; (K var. tra 10^{-5} / 10^{-6})* 

k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
<i>Drenaggio</i>	buono			povero			praticamente impermeabile					
	ghiaia pulita	sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita		sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici					
				terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo								

Grado di permeabilità	Valore di k (m/s)
alto	superiore a 10^{-3}
medio	$10^{-3} \div 10^{-4}$
basso	$10^{-5} \div 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} \div 10^{-9}$
impermeabile	minore di 10^{-9}

Le differenze tra i due coefficienti formano un contrasto di permeabilità che può dare origine a locali fenomeni di impregnazione delle coltri superficiali e della zona di regolite maggiormente alterata, specie nel caso di eventi meteorici di notevole entità.

Il contrasto di permeabilità e il posizionamento del sito in zona di alto morfologico non è sufficiente a consentire l'instaurarsi di falde acquifere sotterranee dotate di potenza, continuità ed estensione areale significativi.

In virtù della elevata potenza complessiva della coltre detritica si possono verificare impregnazioni di acque meteoriche presso gli strati di coltre e regolite di maggiore spessore, specie in concomitanza con eventi piovosi di particolare entità.

Nell'ammasso roccioso la circolazione delle acque si limita di fatto a fenomeni di ristagno limitati a particolari condizioni strutturali, ovvero presenza di fasce milonitiche o bande cataclasiche ad elevata continuità laterale che costituiscono lineazioni a maggiore permeabilità, e consentono una lenta permeazione dei fluidi all'interno delle masse rocciose, senza tuttavia creare vere falde acquifere, dando luogo a un rilascio delle acque accumulate anche a media distanza temporale dagli eventi meteorici.

In genere quindi la circolazione delle acque sotterranee in sito risulta limitata e tale da poter essere controllata nell'ambito della consueta procedura di regimazione e allontanamento delle acque che sarà comunque tassativa e dovrà essere accuratamente programmata.

6.2 Acque superficiali

In considerazione della complessiva bassa permeabilità dei terreni in sito, il ruscellamento superficiale appare la componente principale dei deflussi acquei presenti in loco.

Il sistema idrografico locale è rappresentato unicamente da linee di deflusso embrionale che dal punto di alto morfologico che nascono a livello embrionale immediatamente a valle della zona di sedime. Presso l'asse vallivo sotteso dal sedime scorre il Torrente Sansobbia che tuttavia si pone ad una distanza tale da non interferire direttamente sul sistema idrologico locale ma costituisce l'asse verso il quale defluiscono tutte le acque drenate dal reticolo minore sopraccitato.

7.1 Azione sismica

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio legato al "sito" di costruzione. Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo "periodo di riferimento" V_R (espresso in anni), in un specifico sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" **PVR**.

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_c^* = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nelle NTC la stima della pericolosità sismica basata su una griglia di 10751 punti ove viene fornita la terna di valori a_g , F_o e T_c^* per nove distinti periodi di ritorno T_R ; tale calcolo viene determinato via software, conosciute le coordinate geografiche in gradi decimali.

7.2 Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

È necessario tenere conto delle condizioni topografiche e delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie topografica orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Si definiscono:

Effetti stratigrafici Legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;

Effetti topografici Legati alla configurazione topografica del piano campagna.

Considerando le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni come chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della

velocità di propagazione delle onde di taglio V_S .

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

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

con:

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 V_S non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Viene attribuito al sito la pertinente categoria di sottosuolo come definita nella Tabella 3.2 II e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2 III

Tab. 3.2.II (NTC) Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Descrizione
A	<i>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..</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Il substrato geologico dell'area è costituito da un unico litotipo rappresentato da

conglomerati e arenarie sottoposti ad un sottile strato di coltre detritica. Il bed-rock appare in loco con zone di affioramento, che permettono di definire gli spessori della coltre detritica/regolite comprese entro 2 e 6 mt, mentre il substrato sottostante lo strato di coltre/regolite, è definibile come il bed-rock sismico di riferimento.

Sulla base di tali informazioni e di indagini MASW eseguite in sito, si può inserire il sottosuolo fondazione nella **categoria B** ovvero *“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”*.

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

Per configurazioni morfologiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tab.3.2.IV (NTC) 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 $i > 30^\circ$

Sulla base dei dati morfologici del sito si può inserire la superficie topografica nella **categoria T2** *“.....pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ”*.

7.3 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

La categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta. Specificamente, l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente **S** = **S_s** × **S_T** dove:

- **S_s** = coefficiente amplificazione stratigrafica (vedi Tab.3.2.II-III-NTC)
- **S_T** = coefficiente amplificazione topografica (vedi Tab.3.2.VI- NTC)

Per le varie categorie di sottosuolo i coefficienti **S_s** e **C_c** possono essere calcolati, in funzione dei valori di **F₀** e **T x C** relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nella quale **g** è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi. Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del

coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI (NTC), in funzione della categoria topografica precedentemente definita in relazione dell'ubicazione dell'intervento.

Tab. 3.2.IV NTC - Espressioni di S_s e di C_c

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

Tab. 3.2.V NTC - 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 del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

7.4 Stati limite e relative probabilità di superamento

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

Stati limite in generale:

SLU: stato limite ultimo -> il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso;

SLE: stati limite di esercizio -> il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile;

In condizioni sismiche/dinamiche gli stati limite di cui sopra si suddividono ulteriormente come di seguito indicato:

SLU stato limite ultimo dinamico -> SLV , SLC

SLE stato limite di esercizio dinamico -> SLO, SLD

Dove:

SLV = Stato Limite di salvaguardia della Vita

SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso

SLO = Stato Limite di Operatività

SLD = Stato Limite di Danno

7.5 Vita nominale

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I (NTC).

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di 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

Sulla base dei dati in esame i manufatti in oggetto (consolidamento edificio ad uso pubblico) sono classificabili come "costruzioni con livelli di prestazioni ordinari" ovvero nella seconda casistica di tipologia d'opera e pertanto **la V_N è definibile come = a 50 anni.**

7.6 Classi d'uso

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 così definite:

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 D.M. 5 novembre 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.
-------------------	--

Sulla base dei dati in esame, il progetto prevede l'analisi della funzionalità geologica di un intervento di miglioramento fondazionale e consolidamento pertinenziale di un edificio ad uso pubblico. La tipologia di intervento ricade quindi nella **classe d'uso II**.

7.7 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R .

Il periodo di riferimento si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella sottostante tabella:

Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

La tabella sottostante consente l'interpolazione diretta per il ricavo di V_R , partendo dalla conoscenza di V_N , della classe d'uso e quindi di C_U

Intervalli di valori attribuiti a V_R al variare di V_N e C_U

VITA NOMINALE V_N	VALORI DI V_R			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
≤ 10	35	35	35	35
≥ 50	≥ 35	≥ 50	≥ 75	≥ 100
≥ 100	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 200

Tabella C8.1 Periodo di riferimento dell'azione sismica $V_R = V_N C_U$ (anni)

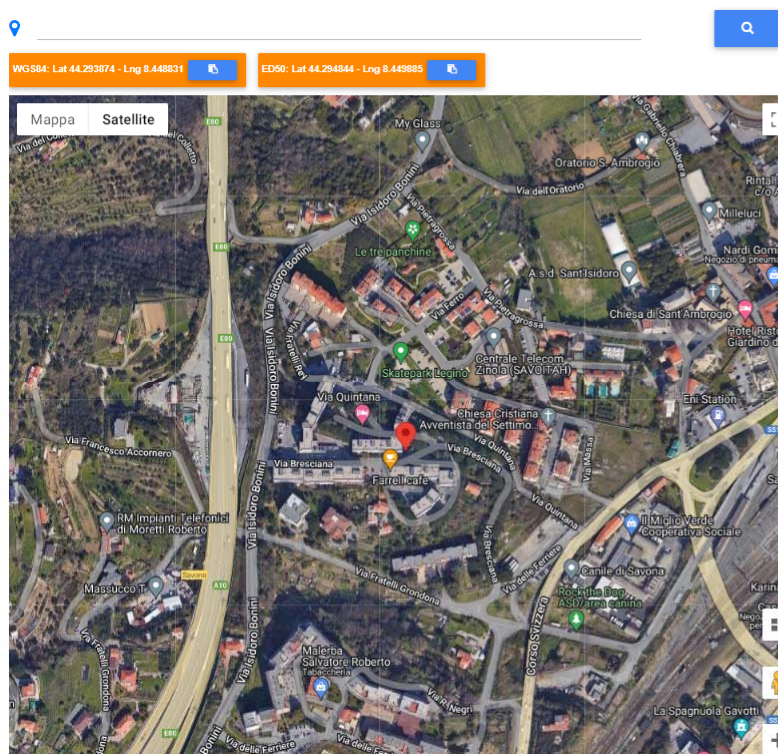
		Classe d'uso →	I	II	III	IV
		Coeff. C_U →	0,70	1,00	1,50	2,00
TIPI DI COSTRUZIONE	V_N		V_R			
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	10		35	35	35	35
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50		35	50	75	100
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	100		70	100	150	200

Nel caso in esame l'interpolazione dei dati consente di definire **$V_R = 50$ anni**.

7.8 Calcolo dei parametri sismici

Il calcolo dei parametri sismici si basa sui dati generali di cui ai precedenti paragrafi e utilizza il software di calcolo gratuito e online messo a disposizione dalla società GEOSTRU. Di seguito si riporta la maschera finale di calcolo, nella quale sono contenuti i valori caratteristici di **a_g** , **F_o** e **$T \times C$** nonché i valori dei coefficienti **kh** , **kv** , **A_{max}** e **$Beta$** per l'area di sedime, calcolate sia per le strutture di fondazione che per opere di sostegno.

Restituzione schermata di calcolo software ondine GEO.STRU - (opere dei pendii e fondazioni)



Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.577	0.159
Danno (SLD)	50	0.024	2.542	0.187
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.057	2.611	0.306
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.072	2.656	0.326

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,59	1,54	1,39	1,38
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.005	0.007	0.016	0.021
kv	0.003	0.004	0.008	0.010
Amax [m/s ²]	0.263	0.345	0.799	1.018
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

ESPORTA IN TXT SALVA SU GEOGRAPHIX

PDF SPETTINI

PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
 latitudine: 44,294844
 longitudine: 8,449885
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 17354 Lat: 44,2752 Lon: 8,3921
 Distanza: 5094,142
 Sito 2 ID: 17355 Lat: 44,2782 Lon: 8,4618
 Distanza: 2079,135

Sito 3 ID: 17133
 Distanza: 3749,155
 Sito 4 ID: 17132
 Distanza: 5965,810

Lat: 44,3281 Lon: 8,4577
 Lat: 44,3251 Lon: 8,3880

PARAMETRI SISMICI

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento:
50anni
Coefficiente cu:
1

Operatività (SLO):
Probabilità di superamento:
81 %
Tr:
30 [anni]
ag:
0,019 g
Fo:
2,577
Tc*:
0,159 [s]

Danno (SLD):
Probabilità di superamento:
63 %
Tr:
50 [anni]
ag:
0,024 g
Fo:
2,542
Tc*:
0,187 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento:
10 %
Tr:
475 [anni]
ag:
0,057 g
Fo:
2,611
Tc*:
0,306 [s]

Prevenzione dal collasso

(SLC):

Probabilità di superamento:
5 %
Tr:
975 [anni]
ag:
0,072 g
Fo:
2,656
Tc*:
0,326 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
Ss: 1,200
Cc: 1,590
St: 1,200
Kh: 0,005
Kv: 0,003
Amax: 0,263
Beta: 0,200

SLD:
Ss: 1,200
Cc: 1,540
St: 1,200
Kh: 0,007
Kv: 0,004
Amax: 0,345
Beta: 0,200

SLV:
Ss: 1,200
Cc: 1,390
St: 1,200
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,799
Beta: 0,200

SLC:
Ss: 1,200
Cc: 1,380
St: 1,200
Kh: 0,021
Kv: 0,010
Amax: 1,018
Beta: 0,200

7.9 Classificazione sismica regione Liguria

L'area insediativa ricade nel comune di Stella e, ai sensi della DGR n.216/2017, risulta inserito nella **Classe Sismica 4** (p.g.a. = 0.050 g).

Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

ZONA 4			
Numero progressivo	Provincia	Numero identificativo comune su mappa	Comune
4	SV	3	ALBISOLA MARINA
5	SV	4	ALBISOLA SUPERIORE
6	SV	15	CAIRO MONTENOTTE
7	SV	18	CARCARE
8	SV	22	CELLE LIGURE
9	SV	23	CENGIO
10	SV	26	COSSERIA
11	SV	27	DEGO
12	SV	32	GIUSVALLA
13	SV	38	MILLESIMO
14	SV	39	MIOGLIA
15	SV	48	PIANA CRIXIA
16	SV	50	PLODIO
17	SV	51	PONTINVREA
18	SV	54	ROCCAVIGNALE
19	SV	55	SASSELLO
20	SV	58	STELLA
21	SV	63	URBE
22	SV	65	VARAZZE

7.10 Analisi del rischio liquefazione ai sensi delle DGR 535/2021

La presente analisi viene redatta in applicazione delle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)" e rappresentano un documento operativo finalizzato alla prevenzione e gestione dei rischi connessi al fenomeno della liquefazione.

"Con il termine "liquefazione" si indicano diversi fenomeni fisici che si verificano nei terreni sabbiosi saturi durante i terremoti di elevata intensità, che hanno come elemento comune una drastica caduta della resistenza al taglio ed una temporanea fluidificazione degli stessi.

I potenziale di liquefazione dei terreni viene, pertanto, valutato comparando gli effetti dell'azione sismica legata al terremoto con la resistenza alla liquefazione propria di ciascun suolo. Convenzionalmente si

considera, quindi, un fattore di sicurezza rispetto al fenomeno della liquefazione sulla base del rapporto tra la resistenza di taglio ciclica del terreno (CRR), legata alle caratteristiche geotecniche del suolo e lo sforzo di taglio indotto dal terremoto (CSR), legato alle caratteristiche sismiche dell'area.”.

7.10.1 Recepimento delle linee guida nei comuni liguri

- a) il Comune di interesse è dotato¹⁰ di uno studio di Microzonazione sismica di livello 1, a corredo della strumentazione urbanistica comunale, nel quale sono state identificate le zone interessate da potenziale instabilità per liquefazione, ai sensi della DGR 471/2010 ovvero degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS08)” secondo gli studi di MS di cui all'art.11 della L.77/2009.
- b) il Comune di interesse è dotato di uno studio di Microzonazione sismica di livello 1 a corredo della strumentazione urbanistica comunale ma, in fase di studio, non è stata accerta l'esclusione della potenzialità al fenomeno della liquefazione ovvero non presenta analisi riferite al fenomeno di instabilità per effetto della liquefazione,
- oppure*
- c) il Comune di interesse NON è dotato di uno studio di Microzonazione sismica di livello 1, a corredo della strumentazione urbanistica comunale,

7.10.2 Analisi del rischio liquefazione in riferimento alla localizzazione del sito in termini geologici e geomorfologici

Il rischio liquefazione si localizza in determinati ambiti con precise caratteristiche sia geologiche che geomorfologiche, che permettono di escludere dalle zone a rischio determinate porzioni di territorio.

Termini geologici			
Età del deposito	Profondità della falda (metri)		
	< 9	Da 9 a 15	>15
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto bassa
Olocene antico	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto bassa
Pleistocene antico	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa

Tab. A - Probabilità alla liquefazione di depositi sedimentari (Facciorusso, 2011)

Termini geomorfologici

Classe	Geomorfologia	Suscettibilità
A	Letti di fiume recenti e antichi; paludi; zone di bonifica; zone interdunari	Liquefazione probabile
B	Conoidi; argini naturali; dune di sabbia; pianure di esondazione; spiagge; altre pianure	Liquefazione possibile
C	Terrazzi; colline; montagne	Liquefazione non probabile

Tab. B - Classi di suscettività alla liquefazione in funzione della geomorfologia (Iwasaki et al., 1982)

Report analisi geologica → **probabilità nulla** (non ricade in zone di deposito sedimentario)

Report analisi geomorfologica -- → **liquefazione non probabile**

L'intervento non ricade in un ambito geologico e geomorfologico suscettibile di liquefazione

7.10.3 Descrizione delle caratteristiche tipologiche e strutturali dell'intervento

L'intervento prevede un intervento di manutenzione straordinaria, miglioramento fondazionale e consolidamento di fabbricati pluripiano di civile abitazione.

L'intervento si rende necessario al fine di operare un adeguamento strutturale dei fabbricati alle norme sismiche vigenti.

L'intervento si configura quindi come un intervento di manutenzione straordinaria (miglioramento sismico) con interessamento delle parti strutturali del fabbricato.

7.10.4 Analisi territoriale della suscettività a liquefazione dei suoli sulla base dei dati di pericolosità sismica di base

Elenco dei Comuni caratterizzati da un valor modale della distribuzione della magnitudo attesa maggiore o uguale a 5 e un'accelerazione in superficie di riferimento maggiore o uguale a 0.1g, considerando il periodo di ritorno pari a 475 - 975 - 2475 anni.				
	Tr =	475	975	2475
ALASSIO				
ALBENGA				
ALTARE				
ANDORA				
ARNASCO				
BALESTRINO				
BARDINETO				
BERGEGGI				
BOISSANO				
BORGHETTO SANTO SPIRITO				
BORGIO VEREZZI				
BORMIDA				
CALICE LIGURE				
CALIZZANO				
CARCARE				
CASTELBIANCO				
CENGIO				
CERIALE				
CISANO SUL NEVA				
COSSERIA				
ERLI				
FINALE LIGURE				
GARLEDA				
GENOVA				
GIUSTENICE				
LAIGUEGLIA				
LOANO				
MAGLIOLO				
MALLARE				
MILLESIMO				
MURIALDO				
NASINO				
NOLI				
ONZO				
ORCO FEGLINO				
ORTOVERO				
OSIGLIA				
PALLARE				
PIETRA LIGURE				
QUILIANO				
RIALTO				
SAVONA				
SPOTORNO				
TOIRANO				
TOVO SAN GIACOMO				
VADO LIGURE				
VENDONE				
VEZZI PORTIO				
VILLANOVA D'ALBENGA				

Comune di **Stella** → Tr (SLV) = 475 anni (per tipologia di intervento)
 Il comune NON rientra nella tabella

7.10.5 Verifica compatibilità previsioni urbanistico- edilizie nei Comuni non dotati di analisi liquefazione a corredo dello strumento urbanistico comunale

In ragione della particolare tipologia di intervento per caratteristiche edilizio-strutturali, esso è ricompreso tra quelli per i quali devono essere condotte specifiche analisi sulla liquefazione dei terreni ovvero:

- *NON è un intervento di nuova costruzione;*
- *NON è un intervento assimilabile alla ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione;*
- **interessa le strutture portanti di edifici esistenti;**

In tal senso, secondo i dettami della DGR 535/2021 appendice 2 **è subordinato alla preventiva verifica di compatibilità degli stessi al rischio liquefazione.**

Tuttavia, in relazione alle particolarità geologiche, geomorfologiche e sismiche del sito evidenziate nei precedenti paragrafi ovvero:

- *l'analisi dei termini geologici e geomorfologici locali;*
- *la verifica del valore modale della distribuzione della magnitudo attesa - accelerazione in superficie di riferimento in rapporto al il periodo di ritorno (475-975-2475 anni);*
- *l'analisi dei valori di Vs ampiamente maggiori di 250 m/s, ricavati dalle indagini di tipo MASW eseguite in sito;*

secondo i dettami delle NTC 2018 e relativa circ. applicativa n°7/2019, il sito non risulta a rischio liquefazione.

8 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI FISICO MECCANICI DEI TERRENI

Il rilevamento geologico eseguito in loco non ha messo in evidenza il sub-affioramento del bed-rock presso l'area di intervento, dove il substrato è mascherato da uno spesso strato di materiali detritici eluvio-colluviali, ma solo presso gli immediati dintorni del sedime.

Al fine di verificare in maniera sufficientemente approfondita l'andamento della stratigrafia del sottosuolo e di fornire con buona approssimazione una caratterizzazione fisico meccanica del sottosuolo congruente con il livello di progettazione di fattibilità, si sono quindi utilizzati i dati provenienti oltre che dal rilevamento geologico di superficie, anche dai dati forniti da indagini eseguite in sito e presso aree limitrofe su analoghi contesti litologici.

In base alle risultanze delle informazioni inerenti il sedime è stato possibile ricostruire una stratigrafia locale schematica del sottosuolo investigato:

- **Da p.c. a circa -1/-2 mt;** terreni pedogenici e riporti;
- **Da -1/-2 mt a -2/-3 mt;** terreni detritici eluviali a granulometria limoso - sabbiosa di colore bruno giallastro con abbondante presenza di clasti a spigoli arrotondati di dimensioni centimetriche e decimetriche;
- **Da -2/-3 mt a -6/-7 mt;** regolite del substrato roccioso gneissico alterato e sfatto;
- **Oltre -6 / -7 mt;** substrato roccioso gneissico, con forte variabilità del grado di alterazione e fratturazione, che comunque tende a decrescere con la profondità;

8.1 Substrato roccioso

Il rilievo geologico – geomeccanico speditivo eseguito in ambiti limitrofi al sedime, ha permesso di delineare le caratteristiche strutturali e litologiche di massima dei substrati interessati dall'intervento.

Al fine di meglio caratterizzare l'ammasso roccioso dal punto di vista strutturale è stato utilizzato il metodo proposto da Bieniawski (classificazione RMR) che permette di definire per classi i parametri di resistenza e deformabilità (c , ϕ).

L'indice RMR cui conduce tale classificazione si dimostra di notevole importanza per dare un giudizio qualitativo - quantitativo sintetico sulle caratteristiche dell'ammasso roccioso nei confronti della stabilità dei versanti.

I cinque parametri utilizzati dalla classificazione di Bieniawski e che permettono di giungere alla determinazione dell'indice RMR sono:

*resistenza alla compressione monoassiale della roccia intatta,
 indice RQD (Rock Quality Designation);
 spaziatura dei giunti;
 condizione delle discontinuità (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiale di
 riempimento);
 condizioni idrauliche (afflusso acqua, pressione interstiziale).*

Ogni parametro è valutato in modo quantitativo e ad ognuno di essi è assegnato un indice parziale.

La somma algebrica degli indici parziali relativi ai singoli parametri analizzati fornisce l'indice complessivo dell'ammasso roccioso (RMR) in base al quale sono definite cinque classi; per ogni classe è indicata una stima di massima dei parametri di resistenza globale dell'ammasso roccioso.

8.1.1 Ortogneiss

Si tratta di rocce di aspetto prevalentemente massivo con una fratturazione molto pronunciata che suddivide l'ammasso litoide in blocchi di dimensioni medio-piccole.

L'analisi delle discontinuità strutturali ha evidenziato la disposizione delle stesse lungo tre piani principali individuati spazialmente rispettivamente a 50°/55° (stratificazione – scistosità), 220°/65° (frattura), 290°/75° (frattura).

Dalle misure effettuate sugli affioramenti rocciosi nell'area in analisi, sono emersi i seguenti parametri:

<u>Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta</u>	
<i>Q_c = 1000 - 2000 kg/cm^q</i>	<i>INDICE PARZIALE = 12</i>
<u>R.O D</u>	
<i>25 % - 50 %</i>	<i>INDICE PARZIALE = 8</i>
<u>Spaziatura dei giunti</u>	
<i>Fra 50 e 300 mm</i>	<i>INDICE PARZIALE = 10</i>
<u>Condizione delle discontinuità:</u>	
<i>Superfici lisce o laminate</i>	<i>INDICE PARZIALE = 6</i>
<u>Condizioni idrauliche:</u>	
<i>Solo umidità</i>	<i>INDICE PARZIALE = 7</i>

La somma dei cinque indici parziali risulta essere 43 e, secondo la classificazione degli ammassi rocciosi con i criteri proposti da Bieniawski (1976), complessivamente gli affioramenti ricadono nella classe IV con qualità dell'ammasso scadente/mediocre.

Si può ritenere che al sistema roccioso in oggetto, alla luce di quanto premesso, possa essere caratterizzato dai parametri litotecnici di seguito riportati:

- *Peso volume* $\gamma_k \approx 26.0 \text{ kN/mc}$
- *Peso volume saturo* $\gamma_{satk} \approx 26.0 \text{ kN/mc}$
- *Angolo di attrito interno* $\phi_k \approx 35^\circ$
- *Coesione* $c_k \approx 80 \text{ kPa}$

8.1.2 Regolite del substrato roccioso

In relazione della diversa consistenza a livello litologico dello strato di alterazione del bed-rock si forniscono di seguito i parametri che lo contraddistinguono, considerando il terreno molto più simile ad una coltre fortemente addensata che ad una vera e propria roccia.

Si può ritenere che al sistema roccioso in oggetto possa essere assimilato ad un terreno dalle seguenti caratteristiche litotecniche:

- *Peso volume* $\gamma_k \approx 22.0 \text{ kN/mc}$
- *Peso volume saturo* $\gamma_{satk} \approx 24.0 \text{ kN/mc}$
- *Angolo di attrito interno* $\phi_k \approx 33^\circ$
- *Coesione* $c_k \approx 25 \text{ kPa}$

8.1.3 Coltre sciolta

Tralasciando il primo livello di terreni superficiali ad elevata componente organica, la coltre detritica colluviale propriamente detta presenta uno spessore medio compreso tra 2 e 4 m e sfuma nell'alterazione del sottostante substrato lapideo.

Tali materiali denotano un consistente scheletro litico (costituito da trovanti di dimensioni anche pluridecimetriche), di natura petrografia analoga al substrato, immerso in una matrice di colore bruno giallastro a granulometria fine. Il terreno è quindi decisamente eterogeneo, tuttavia, sulla base di altre precedenti esperienze conseguite dallo scrivente nell'area in esame e verificate in back-analysis, i terreni sopraindicati possono essere inseribili nella classifica funzionale U.S.C.S. nei gruppi SM - GM (ghiaie e sabbie limose scarsamente plastiche) e nonostante una certa variabilità composizionale possono esserne definiti i seguenti parametri litotecnici:

- *Peso volume* $\gamma_k \approx 18.0 \text{ kN/mc}$

- *Peso volume saturo* $\gamma_{satk} \approx 20.0 \text{ kN/mc}$
- *Angolo di attrito interno* $\phi_k \approx 29$
- *Coesione* $c_k \approx 15 \text{ kPa}$

N.B. i valori caratteristici dei parametri geotecnici e geomeccanici saranno calcolati nella collegata stesura geotecnica, i valori sopra indicati hanno unicamente funzione indicativa.

PARAMETRI		CAMPO VALORI							
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 80 Kg/cm ²	40-80 Kg/cm ²	20-40 Kg/cm ²	10-20 Kg/cm ²	Non applicabile		
		Compressione uniaassiale	> 2000 Kg/cm ²	1000-2000 Kg/cm ²	500-1000 Kg/cm ²	250-500 Kg/cm ²	100-250 Kg/cm ²	30-100 Kg/cm ²	10-30 Kg/cm ²
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 3 m	1-3 m	0,3-1 m	50-300 mm	< 50 mm		
	INDICE		30	25	20	10	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		25	20	12	6	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel	Assente		< 25 litri/min	25-125 litri/min	> 125 litri/min		
		Pressione acqua nei giunti Rapp. Soil. nat. in situ	0		0,0-0,2	0,2-0,5	< 0,5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto		Solo umidità	Acqua in debole pressione	Severi problemi idraulici		
	INDICE		10		7	4	0		

N = Σ ni	0-25	25-50	50-70	70-90	90-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITÀ DELL'AMMASSO	molto scadente	scadente	discreta	buona	ottima
c Kg/cm ²	> 1	1-1,5	1,5-2,0	2,0-3,0	> 3,0
φ	< 30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°	> 45°
GIUDIZIO SULLE DIFFICOLTÀ DI SCAVO	nessuna difficoltà	può essere cavato facilmente Frammentazione notevole	discrete difficoltà	si cava con difficoltà Frammenti di notevoli dimensioni	notevoli difficoltà di scavo
T L m	10 min 0,5	5 ore 1,5	1 settimana 2	6 mesi 4	10 anni 5

Classificazione degli ammassi rocciosi secondo Benjawski

9 CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE DEGLI INTERVENTI

L'intervento prevede un miglioramento funzionale e strutturale di un corpo di fabbrica pluripiano ad uso pubblico, mediante un consolidamento dello scheletro strutturale che lo caratterizza.

Nel dettaglio gli interventi di maggiore rilevanza strutturale riguardano il corpo di fabbrica principale, per il quale sono previste opere di irrobustimento interno e migliorie alle opere di fondazione. La sistemazione delle opere esterne prevede la creazione di una piccola superficie attrezzata a parco giochi, con opere ad impatto trascurabile rispetto al terreno. Si tralasciano gli interventi di carattere termotecnico e di manutenzione ordinaria in quanto non impattanti al suolo.

Per tutti i dettagli al riguardo delle tecniche architettoniche e progettuali utilizzate e per una maggiore comprensione delle stesse si rimanda di fatto agli elaborati tecnici e grafici a firma del progettista incaricato.

10 NOTE GEOTECNICHE DI FATTIBILITA'

10.1 Descrizione del programma delle indagini e delle prove e acquisizione dati geotecnici

L'intervento risulta ubicato in una zona discretamente conosciuta dal punto di vista geotecnico e la caratterizzazione e la modellazione geotecnica in relazione al progetto è stata basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili da parte dello scrivente (NTC par. 6.2.2). Tuttavia tenendo conto dell'entità del progetto in termini di ampiezza e finalità, al fine di ottenere un migliore grado di conoscenza geotecnica e stratigrafica, si sono sfruttati i dati afferenti un set di indagini dirette in sito eseguite presso il sedime di intervento.

I risultati di tali indagini sono stati correlati al rilevamento geologico locale e ad indagini dirette in sito riferite a fasi esecutive relativi lavori eseguiti nelle vicinanze. Questo ha consentito la definizione di un quadro sufficientemente completo dell'andamento geostratigrafico del sottosuolo.

Il programma delle indagini geognostiche eseguite risulta propedeutico alla relazione geotecnica esecutiva da allegare alla pratica di denuncia dei cementi armati. Il direttore dei lavori geognostici è stato il sottoscritto Dott. Geol. Dario Costantini e i risultati delle prove e degli accertamenti sono riportati in allegato.

La tipologia di intervento e il quadro geologico locale, hanno indicato come indagini maggiormente consone alla caratterizzazione geostratigrafica puntuale, l'esecuzione di indagini sismiche indirette superficiali.

10.2 Indagini tomografiche superficiali

Al fine di indagare un'area maggiormente vasta rispetto al foro di sondaggio, si è optato per l'esecuzione di una campagna di indagini geofisiche a mezzo di prospezioni sismiche superficiali MASW, eseguite su 1 linea di indagine disposte parallelamente alla massima estensione del fabbricato.

Cenni teorici indagine MASW

Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda. Ciò significa che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda e che a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase (VR). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il

comportamento delle onde superficiali è differente. In particolare, la propagazione presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase). Ciò significa che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Quindi, nel caso di mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo, è noto come "dispersione geometrica" e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di "curva di dispersione". Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità.

La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni: essa, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo, e posto di riuscire a misurarla sperimentalmente può essere utilizzata (come si vedrà più avanti) per un processo di inversione avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità del mezzo (terreni).

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo MASW è una curva apparente, derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Per l'esposizione completa dei risultati si rimanda alla relazione sulle indagini riportata a fine testo.

10.2.1 Coltri detritiche eluviali

Principali caratteristiche geotecniche:

- *Peso volume $\gamma = 17.0 - 19.0$ kN/mc (valore magg. attendibile 18.0 kN/mc)*
- *Peso volume saturo $\gamma_{sat} = 19.0 - 21.0$ kN/mc (valore magg. attendibile 20.0 kN/mc)*
- *Angolo di attrito interno ϕ (stimato per la componente granulare) = $28^\circ - 30^\circ$ (valore magg. attendibile 29°)*
- *Coesione C (stimata) = 10 - 20 kPa (valore magg. attendibile 15 kPa)*
- *Densità relativa $D_r = 30 - 50$ % (valore magg. attendibile 40 %)*

10.2.2 Fascia di alterazione del substrato roccioso

Principali caratteristiche geotecniche:

- *Peso volume $\gamma = 21.0 - 23.0$ kN/mc (valore magg. attendibile 22.0 kN/mc)*

- *Peso volume saturo $\gamma_{sat} = 23.0-25.0$ kN/mc (valore magg. attendibile 24.0 kN/mc)*
- *Angolo di attrito interno ϕ (stimato per la componente granulare) = $32^\circ - 34^\circ$ (valore magg. attendibile 33°)*
- *Coesione C (stimata) = 20 - 40 kPa (valore magg. attendibile 25 kPa)*

10.2.3 Substrato roccioso fratturato e alterato

Principali caratteristiche geotecniche:

- *Peso volume $\gamma = 25.0 - 27.0$ kN/mc (valore magg. attendibile 26.0 kN/mc)*
- *Peso volume saturo $\gamma_{sat} = 25.0 - 27.0$ kN/mc (valore magg. attendibile 26.0 kN/mc)*
- *Angolo di attrito interno $\phi = 34^\circ - 37^\circ$ (valore magg. attendibile 35°)*
- *Coesione C (stimata) = 80 - 160 kPa (valore magg. attendibile 120 kPa)*
- *Fattore R.Q.D. = 40 - 80 %*
- *Coefficiente di Poisson $\nu = 0.40$*

10.2.4 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici

Per valore caratteristico (V_k) di un parametro geotecnico si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato; nello specifico quel valore quale è associata una prefissata probabilità di non superamento (non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove).

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (comma C.6.2.2) si possono utilizzare le seguenti combinazioni:

A) Valori caratteristici circa uguali ai valori medi;

B) Valori caratteristici circa uguali ai valori minimi.

Secondo l'Eurocodice 7 e le NTC, i valori caratteristici "Xk" consistono in una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite. Il comma. C 6.2.2.4 della Circolare LL.OO. 7/2019 illustra chiaramente come tali valori debbano essere scelti.

In particolare:

"Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a

quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei terreni; basti pensare, ad esempio, all'effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata. Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato"

Nel caso in esame tenuto conto che la analisi sono riferite alla stabilità del versante e quindi coinvolgono grandi volumi di terreno si può fare riferimento ai "valori medi".

In sintesi, i valori geotecnici caratteristici dei terreni sono di seguito riportati:

<u>Riporti</u>		
➤	<i>Peso volume</i>	$\gamma_k \approx 16.0 \text{ kN/mc}$
➤	<i>Peso volume saturo</i>	$\gamma_k \approx 18.0 \text{ kN/mc}$
➤	<i>Angolo di attrito interno</i>	$\phi_k \approx 25^\circ$
➤	<i>Coesione</i>	$C_k \approx 0 \text{ kPa}$
➤	<i>Densità relativa</i>	$Dr_k \approx 20 \%$
<u>Coltri detritiche eluvio-colluviali</u>		
➤	<i>Peso volume</i>	$\gamma_k \approx 18.0 \text{ kN/mc}$
➤	<i>Peso volume saturo</i>	$\gamma_k \approx 20.0 \text{ kN/mc}$
➤	<i>Angolo di attrito interno</i>	$\phi_k \approx 29^\circ$
➤	<i>Coesione</i>	$C_k \approx 15 \text{ kPa}$
➤	<i>Densità relativa</i>	$Dr_k \approx 40 \%$
<u>Alterazione del substrato roccioso conglomeratico destrutturato</u>		
➤	<i>Peso di Volume</i>	$\gamma_k \approx 22.0 \text{ kN/mc}$
➤	<i>Peso volume saturo</i>	$\gamma_k \approx 23.0 \text{ kN/mc}$
➤	<i>Angolo di Attr. Int.</i>	$\phi_k \approx 33^\circ$
➤	<i>Coesione</i>	$C_k \approx 25 \text{ kPa}$
<u>Substrato roccioso conglomeratico alterato e fratturato</u>		
➤	<i>Peso di Volume</i>	$\gamma_k \approx 26.0 \text{ kN/mc}$
➤	<i>Peso volume saturo</i>	$\gamma_k \approx 26.0 \text{ kN/mc}$
➤	<i>Angolo di Attr. Int.</i>	$\phi_k \approx 35^\circ$
➤	<i>Coesione</i>	$C_k \approx 120 \text{ kPa}$
➤	<i>R.Q.D.</i>	40% - 80%
➤	<i>Coefficiente di Poisson</i>	$\nu = 0.40$

10.3 Opere di scavo per consolidamento e sottomurazione

Il manufatto dovrà prevedere l'esecuzione di opere di sottomurazione delle strutture fondazionali pre-esistenti.

Gli scavi di sono da realizzarsi a mano o mediante uso di escavatore di piccola dimensione. In questo senso non si rilevano particolari problematiche a livello di fattibilità geotecnica in quanto le opere stesse (se correttamente realizzate) non sono in grado di comportare una significativa alterazione degli equilibri a scala di versante, rendendo quindi non necessaria una verifica di stabilità globale.

Le nuove strutture di fondazione saranno dimensionate al fine di garantire in ogni punto delle stesse il soddisfacimento della condizione **Rd (resistenza di progetto) > Ed (azione di progetto)**. Il sedime di appoggio sarà oggetto di accurata preparazione mediante spianamento e omogeneizzazione delle caratteristiche geotecniche da attuarsi attraverso stesura di un adeguato strato di magrone. In considerazione delle caratteristiche stratigrafiche il piano di appoggio delle strutture dovranno essere i terreni detritici, approfondendo dove occorre la quota di imposta al fine di by-passare lo strato di terreno di riporto maggiormente alterato.

Sarà necessario antecedentemente alle fasi di scavo esecutive, verificare puntualmente la stratigrafia presente presso i punti di posa delle opere di fondazione, al fine di accertare con la maggiore precisione possibile l'omogeneità del substrato fondazionale. Pertanto antecedentemente alla fasi di splateamento una volta avuto un accesso al sito anche a mezzi di movimento terra medio-pesanti, risulterà opportuna l'esecuzione di alcuni saggi esplorativi tesi alla reale verifica della congruenza tra i parametri geotecnici del terreno costituente l'appoggio effettivo del carico di fondazione e quelli inseriti nel modello di calcolo.

In tal senso si ricorda che andrà *tassativamente evitato l'appoggio delle opere di fondazione su riporti o terreni fortemente discordanti dal punto di vista geotecnico*, approfondendo se e dove occorre il piano di posa generale delle opere di fondazione o aumentando lo spessore dello strato di magrone di sottofondazione. In caso di evidente presenza di acque sotterranee nei pressi dal piano di fondazione dovranno essere predisposte le necessarie opere di impermeabilizzazione dei pavimenti e dei muri perimetrali fuori terra dei nuovi locali fino ad una quota di 50 cm dal piano campagna.

Le valutazioni inerenti le verifiche agli SLU sono demandate al tecnico strutturista e calcolatore delle opere in C.A., nella sua relazione tecnica posta a corredo della progettazione esecutiva.

10.4 Opere di scavo

Il manufatto dovrà prevedere l'esecuzione di opere sbancamento e movimento terra di altezza non superiore a 1 mt. (formazione fondazione di appoggio delle nuove opere di consolidamento). Gli scavi di sono da realizzarsi a mano o mediante uso di escavatore di piccola dimensione.

Considerando i suddetti valori e l'altezza reale del fronte da raggiungersi in fase di sbancamento, si ritiene che il fronte stesso (dal punto di vista teorico e con l'applicazione delle NTC) risulti in condizioni di sufficiente stabilità.

Gli scavi dovranno tuttavia essere eseguiti adottando le seguenti prescrizioni operative;

- ✓ Lo scavo dovrà essere effettuato per tranches longitudinali sequenziali e successive con ampiezza delle stesse non superiore a 5 - 10 mt e si dovrà conferire ai fronti un angolo di scarpata (circa 45°) per aumentare in fase provvisoria la stabilità dello scavo;
- ✓ non si dovrà accatastare il materiale di scavo sul bordo o nelle immediate circostanze dei cigli delle scarpate di sbancamento;
- ✓ nel caso di problemi geostatici locali inerenti ogni singola porzione di sbancamento non prevedibili allo stato attuale e/o afferenti opere poste attorno agli scavi, si provvederà alla preventiva messa in sicurezza delle opere stesse, anche con l'uso di opere provvisorie speciali;
- ✓ essendo gli sbancamenti in stretta adiacenza con opere di sostegno (fabbricato/muri) si dovrà porre particolare cura a non alterarne gli equilibri statici e la funzionalità operativa provvedendo, se necessario, allo scavo con mezzi di piccole dimensioni o a mano e procedendo mediante la tecnica di scavo per microcampioni longitudinali di ampiezza non superiore a 1-2 mt;
- ✓ in caso di previsioni di forti piogge o di procedure di allarme ai fini di protezione civile non si dovranno eseguire scavi e realizzare anche provvisoriamente tutte le cautele per evitare qualunque fenomeno di dilavamento o peggior erosivo sugli scavi aperti, si dovranno accelerare le procedure per la messa in opera delle opere di consolidamento;
- ✓ in caso di forte imbibizioni di acqua nel terreno dopo forti o prolungate piogge il direttore dei lavori dovrà verificare la situazione degli scavi aperti. Si ricorda infatti che la saturazione del terreno porta al rapido scadimento delle

caratteristiche del materiale (in particolare della coesione del terreno che tende rapidamente a 0) con possibili franamenti o colamenti del terreno e conseguenti instabilità locali dei fronti aperti;

- ✓ Si ricorda l'obbligo di rispettare il Capo III del D.P.R. 7 gennaio 1956, n. 164, che prevede possibili franamenti di eventuali fronti di altezza superiore a m 1,5, e, conseguentemente, di allestire le misure preventive antiseppellimento e antifranamento facendo anche riferimento a quanto riportato nei punti precedenti.

Le soluzioni sopra proposte risultano, pur nella loro "semplicità", atte a garantire un sufficiente margine di sicurezza allo scavo nel contesto idro-geomorfologico considerato ma dovrà essere monitorato e controllato lo scavo adattando le scelte operative consone al reale stato del sottosuolo verificato "in grande" durante le operazioni di sbancamento.

11 TERRE E ROCCE DA SCAVO

Alla luce della natura del suolo derivante dal rilevamento geologico si può affermare che lo scavo NON ricade all'interno di siti di produzione interessati da attività potenzialmente contaminanti o affioramenti delle Pietre Verdi, così come definiti dai criteri regionali allegati alla ex-DGR 859/08.

Nel caso il materiale sia riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato o nel caso di riutilizzo in altro sito in qualità di "terra e roccia da scavo" si dovrà fare riferimento ai contenuti del D.lgs n° 152/06 art. 185 e al D.P.R. n.120 del 13 giugno 2017 "*Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164*".

N.B. Si specifica che ai sensi del succitato D.P.R. le analisi di caratterizzazione chimico-fisiche tese alla verifica di eventuali superi delle CSC delle colonne A/B di cui all'allegato 5 al titolo V della parte quarta del D.Lgs 152/06, sono sempre dovute, anche in caso di riutilizzo nello stesso sito.

12 PRESCRIZIONI GEOLOGICHE IN FASE REALIZZATIVA

Sarà opportuno provvedere alla designazione con apposito incarico di un geologo che svolga la direzione e la sorveglianza sotto l'aspetto geologico dei lavori in corso, tramite visite periodiche al cantiere, emanando, in collaborazione con la direzione dei lavori, le disposizioni e gli ordini per l'attuazione della parte geologica dell'opera progettata nelle sue varie fasi esecutive e sorvegliandone la buona riuscita.

In particolare dovrà:

- assicurare l'applicazione delle disposizioni contenute nella presente relazione geologica, con le relative procedure di lavoro previste;
- adeguare le lavorazioni alla situazione geo-stratigrafica puntuale in relazione alla reale evoluzione dei lavori e alle eventuali modifiche intervenute;
- sospendere, in accordo con la D.L., in caso di pericolo grave ed imminente, le singole lavorazioni e provvedere a fornire alle imprese interessate le soluzioni adeguate da attuarsi.

La **presente relazione** risulta redatta quale allegato al permesso di costruire e dovrà essere integrata:

- a seguito delle ispezioni e dei sopralluoghi in fase di cantiere con accertamenti di maggior dettaglio e durante le lavorazioni nel caso di situazioni non prevedibili nella fase attuale previo conferimento incarico relativo alla direzione e sorveglianza sotto l'aspetto geologico dei lavori.

La presente *relazione geologica, sismica e le collegate note geotecniche*, sono state eseguite nell'ambito dei "LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE EDIFICIO VIA MUZIO 50 ASILO NIDO NEW GENERATION EU - PNRR – PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO", sito in comune di Stella.

La relazione ha permesso la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito con sufficiente approssimazione in relazione alla definizione del modello geotecnico necessario al congruente sviluppo del progetto nelle sue diverse articolazioni secondo le "Norme tecniche per le Costruzioni" di cui D.M. 17.01.2018.

La relazione ha permesso la caratterizzazione e la modellazione geologica puntuale del sito con approssimazione compatibile con le finalità progettuali, nonché la verifica della ammissibilità dell'intervento con il contesto geotecnico locale.

Alla luce delle indagini fino ad oggi eseguite, l'intervento in progetto se correttamente eseguito non altera in modo negativo gli assetti geologici e idro-geomorfologici, risultando quindi pienamente conciliabile con il regime idrogeologico locale.

Tale assunto non può prescindere però dal fatto che dovranno essere adottate scelte tecnologiche ed esecutive adeguate al contesto morfologico locale e che i lavori dovranno essere eseguiti in maniera corretta e da ditta specializzata.

Quiliano gennaio 2023

il tecnico

Dott. Geol. Dario Costantini



COMUNE DI STELLA (SV)

**PROSPEZIONI GEOFISICHE (TOMOGRAFIE SISMICHE E
MASW)**



**LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE EDIFICIO VIA MUZIO 50
ASILO NIDO NEW GENERATION EU - PNRR – PROGETTO
DEFINITIVO ESECUTIVO**

1. PREMESSA

La prospezione è stata finalizzata alla definizione del parametro "velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio" ($V_{s,eq}$) e della conseguente categoria di sottosuolo nel rispetto delle nuove NTC 2018.

L'indagine geofisica è stata realizzata in data 30-01-2023.

Nel seguito una rapida descrizione della metodologia di indagine utilizzata e dei risultati ottenuti.

2. DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: CALCOLO PARAMETRO $V_{s,eq}$ MEDIANTE APPLICAZIONE DI METODOLOGIA SISMICA MASW

Con l'entrata in vigore del D.M. 17.01.18, che sostituisce il D.M. 14.01.08 la stima della pericolosità sismica viene sempre definita mediante un approccio "**sito dipendente**": l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite "ultimi" e "di esercizio" presi in considerazione (SLO: Stato Limite di Operatività; SLD: Stato Limite di Danno; SLV: Stato Limite di salvaguardia della Vita; SLC: Stato Limite di prevenzione del Collasso) viene definita partendo dalla **PERICOLOSITA' DI BASE** del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Rispetto al precedente D.M. è stata però ridefinita la tabella delle CATEGORIE DI SOTTOSUOLO valida in caso sia possibile l'approccio "semplificato". Da essa sono state escluse le categorie S1 e S2:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Inoltre il parametro " $V_{s,eq}$ " coincide con il "vecchio" parametro " $V_{s,30}$ " solo in caso di presenza di depositi di potenza superiore a 30 m. In tutti gli altri casi il parametro " $V_{s,eq}$ " è definito dall'espressione seguente:

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

con

h_i = spessore dello strato i -esimo

$V_{S,i}$ = 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 V_s non inferiore a 800 m/sec

Quindi la "velocità equivalente" riguarda esclusivamente gli orizzonti di terreno soprastanti il bedrock rigido con $V_s > 800$ m/s.

La " $V_{s,eq}$ " e la conseguente CATEGORIA DI SOTTOSUOLO sono state definite, nel rispetto dei contenuti della Normativa vigente (che non consente più di ricavare la categoria di sottosuolo mediante $N_{SPT,30}$ o $C_{u,30}$, attraverso l'acquisizione di uno stendimento sismico MASW.

2.1. CENNI TEORICI SULLE INDAGINI SISMICHE CON METODOLOGIA MASW

Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda. Ciò significa che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda e che a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase (VR). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali è differente. In particolare, la propagazione presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase). Ciò significa che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Quindi, nel caso di mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo, è noto come "dispersione geometrica" e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di "curva di dispersione". Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità.

La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni: essa, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo, e posto di riuscire a misurarla sperimentalmente può essere utilizzata (come si vedrà più avanti) per un

processo di inversione avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità del mezzo (terreni).

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multimodale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo MASW è una curva apparente, derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato in Figura A.1 e A2, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione attiva (Figura A.1);
- 2) Processing (Figura A.2);
- 3) Inversione (Figura A.3).

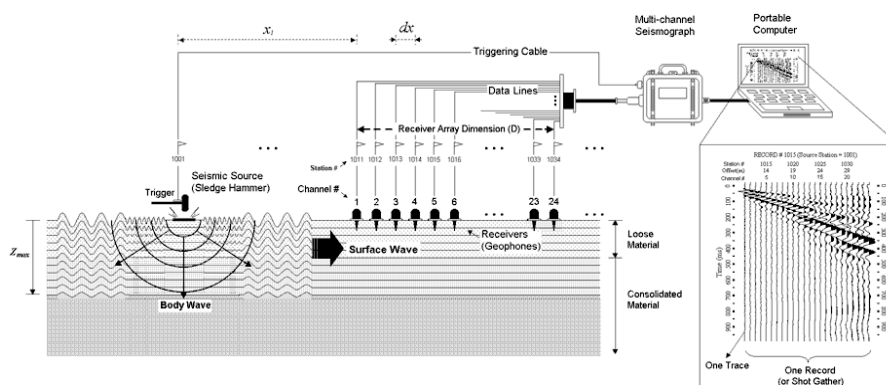


Figura A.1- Schema di acquisizione dati MASW

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis® versione 2.0, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione

individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_R , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura A.2). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo (visco)-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura A.3).

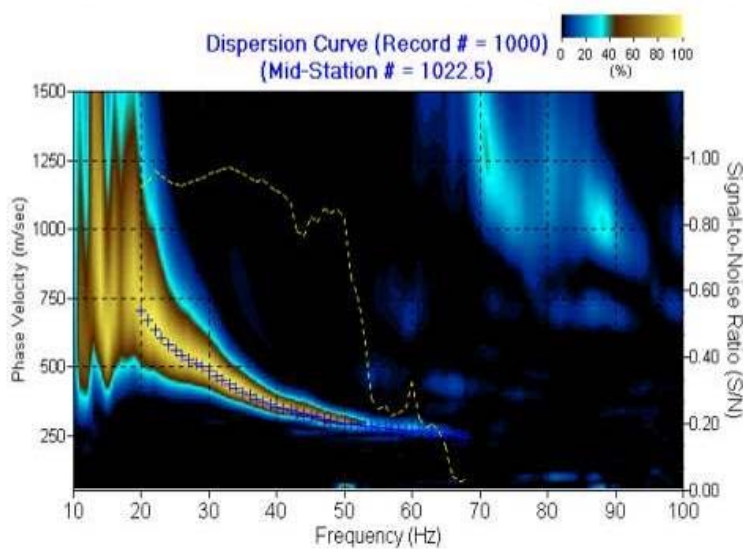


Figura A.2 Curva di dispersione della velocità V_s in funzione della frequenza e della velocità di fase

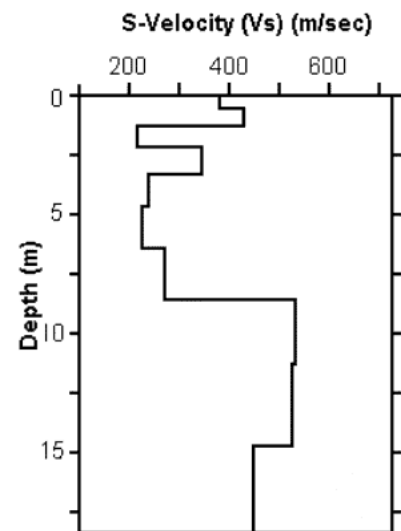


Figura A.3 Modello di propagazione delle velocità delle onde V_s

2.2. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione dei dati sismici da superficie con tecnica MASW è stata realizzata con il sismografo Daq Link III a 24 canali e 24 bit associato a 18 geofoni Sunful a bassa frequenza (4.5 Hz).



Sistema di

acquisizione Daq Link III

L'adozione di sensori a bassa frequenza congiuntamente ad un acquirente ad elevata dinamica consente una fedele ricostruzione del segnale ed un dettagliato campionamento dell'impulso sismico.

L'energizzazione è stata ottenuta con mazza battente con testa da 8 kg e piastra di contrasto con sistema di *trigger* a cortocircuito.

L'ubicazione dell'array sismico MASW, a 14 geofoni con spaziatura 2.0 m, è visibile nello stralcio di immagine satellitare seguente.



Sono state utilizzate 4 stazioni di energizzazione in offset al geofono G1 dell'array MASW, con distanza rispetto allo stesso geofono di 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 m. La procedura di energizzazione è identica a quella che viene adottata per la tecnica di acquisizione a rifrazione.

Presso ogni punto di energizzazione sono stati generati numerosi impulsi sismici (sei) al fine di poter effettuare lo stacking (sommatoria incrementale degli impulsi).



Indagine MASW: prima energizzazione in offset (D = 8.0 m da geofono G1)



Indagine MASW: ultima energizzazione in offset (D = 2.0 m da geofono G1)



Indagine MASW ripresa da fine array (estremo geofono G14)

1.5 RISULTATI DELLE INDAGINI MASW

Con l'entrata in vigore del D.M. 17.01.18, la stima della pericolosità sismica viene sempre definita mediante un approccio "**sito dipendente**": l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite "ultimi" e "di esercizio" presi in considerazione (SLO: Stato Limite di Operatività; SLD: Stato Limite di Danno; SLV: Stato Limite di salvaguardia della Vita; SLC: Stato Limite di prevenzione del Collasso) viene definita partendo dalla **PERICOLOSITA' DI BASE** del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Rispetto al precedente D.M. è stata però ridefinita la tabella delle CATEGORIE DI SOTTOSUOLO valida in caso sia possibile l'approccio "semplificato". Da essa sono state escluse le categorie S1 e S2:

Inoltre il parametro " V_{seq} " coincide con il "vecchio" parametro " V_{s30} " solo in caso di presenza di depositi di potenza superiore a 30 m. In tutti gli altri casi il parametro " $V_{s,eq}$ " è definito dall'espressione seguente:

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

con

h_i = spessore dello stato i -esimo

$V_{s,i}$ = 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 V_s non inferiore a 800 m/sec

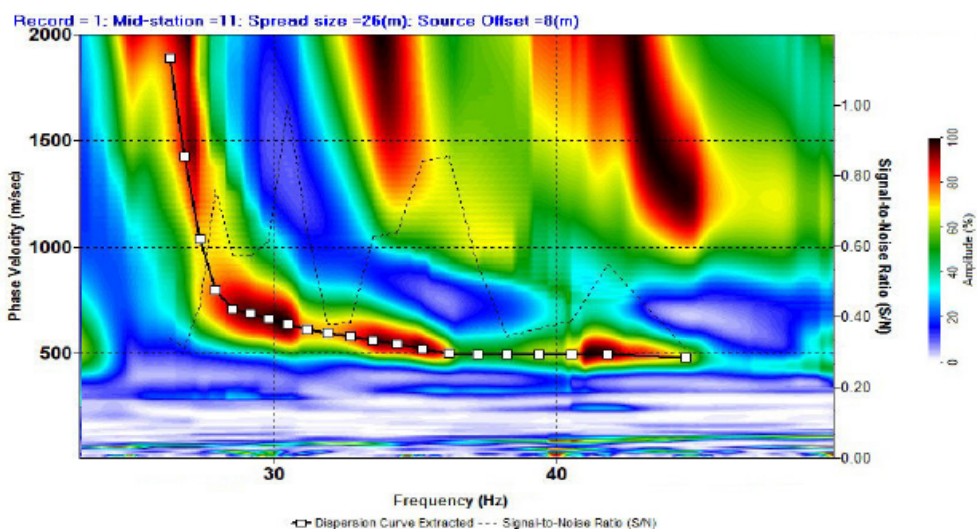
Quindi la "velocità equivalente" riguarda esclusivamente gli orizzonti di terreno soprastanti il bedrock rigido con $V_s > 800$ m/s.

La " $V_{s,eq}$ " e la conseguente CATEGORIA DI SOTTOSUOLO sono state definite, nel rispetto dei contenuti della Normativa vigente (che non consente più di ricavare la categoria di sottosuolo mediante $N_{SPT,30}$ o $C_{u,30}$, attraverso l'acquisizione di uno stendimento sismico MASW).

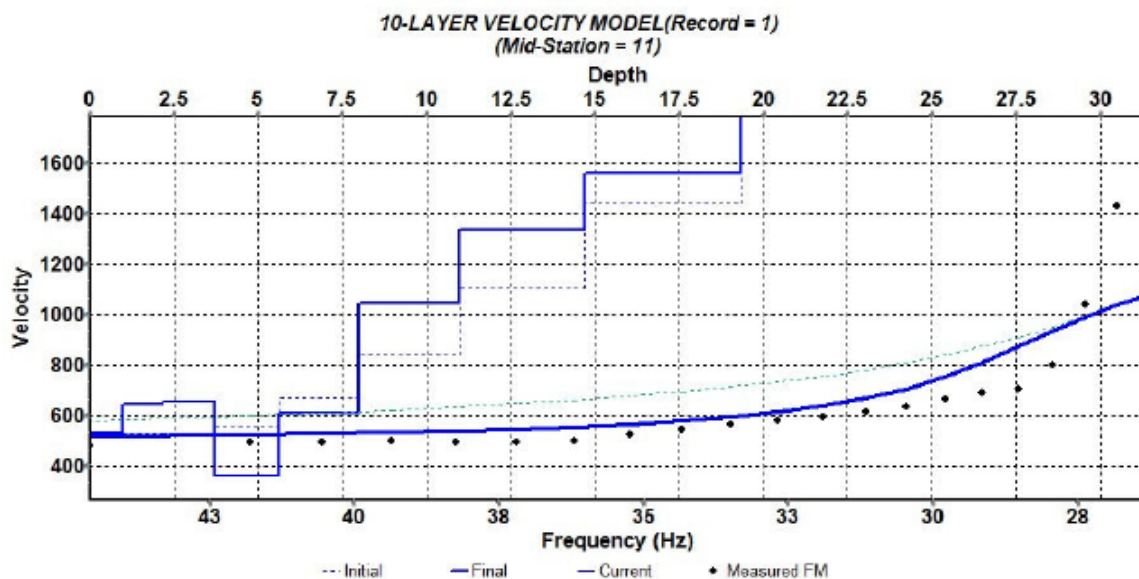
1.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA – RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

La curva di dispersione f - k, ottenuta a seguito di operazioni di filtraggio ed associata al profilo in velocità delle onde di taglio ubicato indicativamente a centro array MASW è visibile in allegato alla Tav. 1. E' stato eseguito il *picking* lungo i punti di massima ampiezza della curva di dispersione nel modo fondamentale.

STENDIMENTO MASW: CURVA DI DISPERSIONE F-K E PROFILO IN V_s , SCALA GRAFICA



Il *picking* ha consentito di definire, a seguito delle inversioni, il profilo verticale delle onde di taglio illustrato sempre nella Tav. 1 allegata impostando un modello di riferimento a dieci strati (l'ultimo è stato escluso in quanto non significativo ai fini della definizione della categoria di sottosuolo).



L'asse orizzontale indica le profondità dal piano campagna, l'asse verticale le velocità equivalenti delle onde di taglio.

A seguire la tabella numerica delle velocità delle onde di taglio (m/s) riferite alle profondità di interfaccia (m).

PROF. (m)	Vs (m/s)
-0.974	529.140
-2.191	646.251
-3.712	653.410
-5.614	360.392
-7.991	609.510
-10.962	1044.702
-14.676	1334.782
-19.319	1559.443
-25.122	1888.911
-31.403	3118.990

Alla profondità di 5.6 m dal piano campagna si registra un brusco incremento a carico delle velocità delle onde di taglio (da $V_s = 360$ m/s a $V_s = 610$ m/s) verosimilmente associabile all'interfaccia superiore del substrato roccioso "non rigido".

Condizioni di "bedrock rigido" ($V_s > 800$ m/s) iniziano ad essere presenti alla profondità di 8.0 m dal piano campagna.

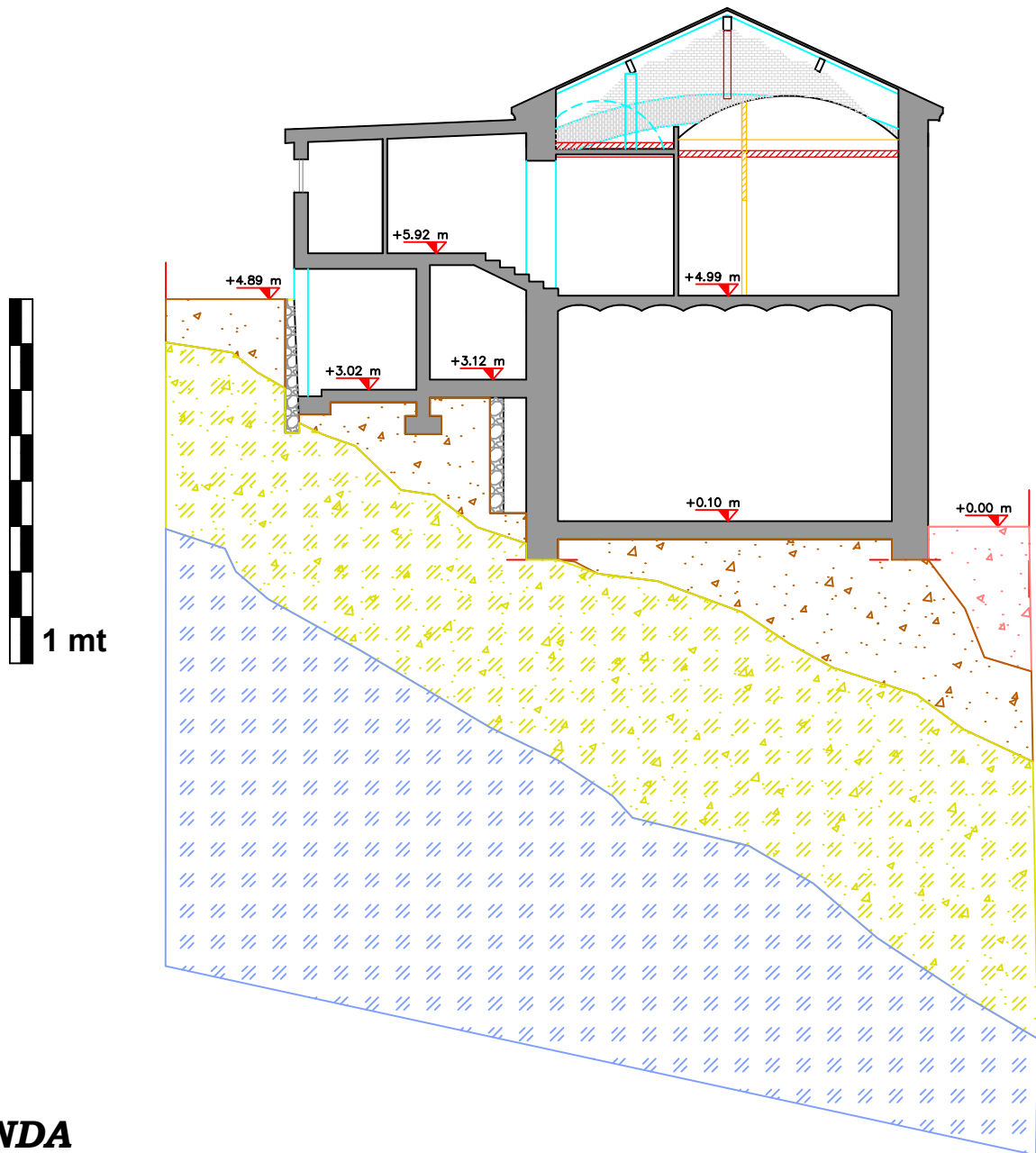
Presso il sito in studio si riscontrano pertanto le seguenti condizioni:

$$3 < H < 30 \text{ (m)}$$

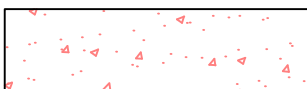
$$360 < V_{s,eq} < 800 \text{ (m/s)}$$

La categoria di sottosuolo di riferimento, seguendo l'approccio semplificato, è pertanto la **B**.

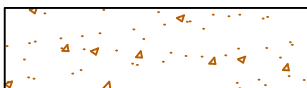
SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA



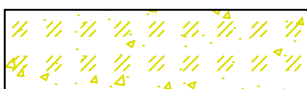
LEGENDA



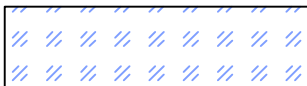
riporti e pedogenico



coltre detritica superficiale



Regolite



Substrato roccioso

COROGRAFIA scala 1:5000
Comune di Stella

