REGIONE LIGURIA

Provincia di Savona

COMUNE DI QUILIANO - COMUNE DI SAVONA



VALORIZZAZIONE DELLE FONTI ALTERNATIVE
PER SCOPI ENERGETICI

IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

Fattoria Eolica CIMA MONTA'

PROGETTISTI		PROPONENTE
STRUTTURE	**Ing. BONINO Ingrid** Via A.Diaz 1 - 17047 Vado ligure (SV) c.f. BNNNRD74C63I480S - p. IVA 01319220099 tel. 339.3373268 - email ingridbonino@libero.it	**LA FATTORIA DEL VENTO S.r.l.** Via Gramsci 38 r - 17100 Savona - c.f. 01456080090 - REA 147779 - tel. 019 821335 - PEC lafattoriadelvento@pec.it SIRITO Fabrizio amministratore delegato
TOPOG./ARCH.	**Geom. LUCON Stefano** Via Madonna della neve 6 - 17047 Quiliano (SV) c.f. LCNSFN70P29I480J - p. IVA 01099260091 tel. 393.9678644 - email lucon.stefano@gmail.com	
ELETTRICO	**Ing. MASSA Enrico** Via Nazario Sauro 4/5A - 17100 Savona (SV) - c.f. MSSNRC73E09D969Q - p. IVA 002832290049 tel. 328.4503069 - email enrico.massa@tecgeo.net	
ARCHITETTURA	**Arch. MORAS Alberto** Via Quarda Sup. 4/5 - 17100 Savona (SV) c.f. MRS LRT 72L07 I480V - p. IVA 01257250090 tel. 347.2324222 - email alb.moras@awn.it	
GEOLOGIA	**Dott . Geol. PEIRONE Paolo** Via Barrili 4/1 - 1700 Savona (SV) c.f. PRNPLA63M28I480M - p. IVA 1052320098 tel. 347.2764854 - email paolopeirone.studio@gmail.com	
AMBIENTE	**Dott. For. Andrea Sambado** Via Scatti 7/7 - 17100 Savona (SV) c.f. SMBNDR84A17I480Z - p. IVA 01666630098 tel. 349.0721869 - email a.sambado@gmail.com	

01_104_RG

ELABORATO							
Relazione geologica, di modellazione sismica e di parametrizzazione geotecnica							
revisione					data	emissione	scala
0	1	2	3	4	15 novembre 2021	PRIMA EMISSIONE	———

COMUNI DI QUILIANO E SAVONA

PROVINCIA DI SAVONA

Committente:

LA FATTORIA DEL VENTO S.r.l. – SAVONA

IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
FATTORIA EOLICA CIMA MONTA'

LIVELLO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA, DI PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

(ex L.R. 4/99, D.M. 14.01.18, L. 267/98 e succ)

Geologo Paolo PEIRONE
paolopeirone.studio@gmail.com

INDICE

1. PREMESSA 3

2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO, COMPRENSIVA DI CARATTERI GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI (§ 6.2.1 NTC 2018) 4

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE 5

3.1. Prospezione sismica a rifrazione con onde P 5

4. CARATTERIZZAZIONE CON MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO (§6.2.2 NTC 2018) 13

5.SISMICITA' 14

5.1. Zonazione sismica, Categoria di sottosuolo e Condizioni topografiche (§3.2.2 NTC 2018) 14
5.2. Stima delle Vseq 14
5.3. Azione sismica (§3.2 NTC 2018) 16

6. PARAMETRI DI PROGETTO 20

7. NORME TECNICHE GENERALI E APPROFONDIMENTI NECESSARI 21

8 CONCLUSIONI 21

ALLEGATI FUORI TESTO:

- **01_104_CO** Corografia
- **01_104_CA** Cartografia di Piano di bacino
- **01_104_CG** Cartografia Geologica
- **01_105_PL** Planimetria stato attuale con ubicazioni indagini geognostiche
- **01_105_SA** Sezioni geologico-tecniche di stato attuale
- **01_105_PR** Sezioni geologico-tecniche fasi di lavorazione
- **01_105_PS** Elaborati delle prospezioni sismiche e misura delle Vseq

1. PREMESSA

Lo scrivente professionista è stato incaricato dalla Committenza di redigere una relazione geologica, di modellazione sismica e di parametrizzazione geotecnica a supporto del livello definitivo di un progetto di installazione di un aerogeneratore da realizzarsi in Località "Cima Montà", su terreni posti a "cavallo" dei Comuni di Quiliano (comune di ubicazione della piazzola dell'aerogeneratore) e di Savona (nei cui terreni verranno realizzate le opere accessorie).
L'incarico è stato esaurito in ottemperanza alla normativa vigente (ex D.M 17.01.18, L.R 4/99, e succ) mediante diretto esame di dettaglio dell'area al fine di accertarne le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche. A tal scopo lo scrivente professionista ha proceduto, oltre a dirette osservazioni alla realizzazione di una articolata campagna di indagine geofisica a mezzo di n°2 prospezioni sismiche a rifrazione con analisi delle onde "p" e "s", sviluppata all'interno della zona boscata in maniera da coprire, nel settore centrale del proprio sviluppo, l'area che sarà verosimilmente interessata dall'installazione dell'aerogeneratore e consentendo inoltre di caratterizzare geomeccanicamente gli orizzonti litoidi di terreno di interesse progettuale
Si è inoltre effettuata una indiretta caratterizzazione idraulica e geologica del sito (ai sensi della L267/98), secondo le valutazioni del Piano di bacino stralcio sul rischio idrogeologico dei Torrenti Quiliano e Letimbro, approvati con D.C.P. n°47/2003 (per la valutazione della suscettività al dissesto) e D.C.P. n°17/2004 e succ. per la valutazione del reticolo idrografico principale e degli interventi).

L'area interessata dal progetto è così di seguito caratterizzata dai Piano di bacino stralcio dei Torrenti Quiliano e Letimbro:

- Ricade nelle fasce a suscettività al dissesto bassa e molto bassa;
- Non ricade in fasce di pericolosità idraulica e si trova al di fuori delle aree storicamente inondate;
- Non ricade in aree ove sono previsti interventi di riassetto idrogeologico

Di seguito sono esposte le risultanze di quanto emerso.

2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO, COMPRENSIVA DI CARATTERI GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI (§ 6.2.1 NTC 2018)

L'area, sede dell'intervento in oggetto, quotata altimetricamente circa 360 m s.l.m., si trova in corrispondenza della linea spartiacque principale che separa il bacino del "Torrente Quiliano", cui l'area morfologicamente appartiene, e quello del "Torrente Letimbro".
Si tratta di una porzione di versante di cresta entro un'area boscata immediatamente a monte della strada comunale di collegamento fra il capoluogo di provincia e l'abitato della Frazione di Cadibona.
Geomorfologicamente il substrato metamorfico è sub-affiorante, sia lungo i tagli stradali della viabilità forestale, sia entro le incisioni delle linee preferenziali di deflusso presenti.
La roccia è in manifeste condizioni di alterazione. (IV-III classe di Bieniawski) ed è costituita dal basamento cristallino alloctono riconducibile al Dominio Paleogeografiico del Brianzonese Interno, quasi ovunque privo di tegumento e di coperture. Le masse alloctone note da tempo in letteratura (AA:VV: Alpi Liguri – 1991; Carta Geologica d'Italia 1:100.000, Foglio Genova e CGR) con il nome di "Massicci" (e.g.: di Savona, Calizzano, Pallare, Arenzano, Loano), sono costituite da un complesso polimetamorfico antico nel quale erano presenti anche termini granitoidi a loro volta trasformatisi, durante l'Orogenesi Ercinica in ortogneiss.
Complessivamente i granitoidi osservati presentano una grana grossolana a biotite talora cloritizzata e muscovite; il substrato roccioso dall'aspetto più o meno cataclastico e accompagnato da superficiali fenomeni di alterazione è caratterizzato dalla presenza di almeno 3 famiglie di discontinuità che portano alla formazione di piccole porzioni giustapposte di dimensioni centimetriche. La coltre, a genesi eluviale si sviluppa con modesta potenza (in ragione del motivo morfologico) sul sottostante substrato attraverso una porzione di regolite d'alterazione, sovrastata da una coltre sempre a scheletro sabbioso-ghiaioso prevalente.
Nell'immediato intorno dell'area allo studio non si evidenziano situazioni di non equilibrio e stati tensionali, in ragione soprattutto del contesto geomorfologico dell'area.
Dal punto di vista idrogeologico resta solo da evidenziare la media permeabilità della coltre superficiale, mentre il "bed-rock" alterato manifesta un media-bassa permeabilità per fatturazione, in assenza di infarcimento di materiale argilloso.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Al fine di ottenere informazioni sulle condizioni stratigrafiche e fisico – meccaniche dei materiali presenti nell'area di interesse, nonché le potenze degli orizzonti, sono stati realizzati:

- ✓ n°2 prospezioni sismiche lungo il medesimo profilo applicando la metodologia d'indagine a rifrazione con analisi dell'andamento delle onde "p" e delle onde "s" (per il calcolo delle Vseq) riportata al capitolo 4.2 della presente relazione (c.f.r "Stima delle Vseq");

Nei seguenti paragrafi vengono descritte le metodologie di indagine utilizzate e le rispettive risultanze.

3.1. Prospezione sismica a rifrazione con onde P

Nel metodo in questione viene considerata la rifrazione, in corrispondenza di interfacce sepolte che separano mezzi in differenti condizioni di densità, di onde elastiche generate artificialmente in superficie.
Sempre presso la superficie vengono disposti - a distanza reciproca nota e normalmente costante - particolari sensori (geofoni) in grado di avvertire la perturbazione propagatasi nel volume solido sottostante a seguito della generazione di un'onda elastica ad un istante noto; i geofoni traducono la sollecitazione in un segnale elettrico ed attraverso un cavo multipolare trasferiscono quest'ultimo ad uno strumento di registrazione (sismografo multicanale). Il sismografo digitalizza i segnali ricevuti dai geofoni e registra i "sismogrammi" sotto forma di files. I sismogrammi sono visualizzabili in un grafico binario nel quale vengono rappresentati per ogni canale (ognuno corrispondente ad un geofono) il dominio dei tempi sull'asse orizzontale (nell'ambito della "finestra di campionamento" scelta) e l'ampiezza del segnale elettrico (± mV) sull'asse verticale.
La prima perturbazione elastica ricevuta da ogni geofono a seguito della generazione dell'impulso può avere seguito un percorso "diretto" (ossia il tragitto più breve tra sorgente e ricevitore) oppure avere subito una o più "total-rifrazioni" presso superfici di discontinuità tra materiali caratterizzati da differenti stati di addensamento (nel presente metodo le riflessioni, sebbene spesso ben riconoscibili, non vengono considerate).Oltre una certa distanza definita "critica" i raggi rifratti raggiungeranno i geofoni in superficie prima dei raggi diretti, nonostante il tragitto percorso sia più lungo, in virtù del tratto percorso a velocità più elevata presso l'interfaccia.
La trattazione teorica che sta alla base del metodo si basa sui principi e sulle leggi dell'ottica.
La configurazione ottimale dei parametri di acquisizione (distanza intergeofonica, numero di energizzazioni, geometria dello stendimento, lunghezza temporale della registrazione, ecc.) è necessariamente definita in sito in funzione delle condizioni logistiche, della presenza o meno di fonti di disturbo nei pressi e delle finalità dell'indagine.
Le velocità sismiche sono proporzionali al grado di addensamento dei materiali entro i quali la perturbazione elastica si propaga e, nel caso di ammassi rocciosi, possono essere indicative delle condizioni geomeccaniche degli stessi.

MODALITA' OPERATIVE PER LA REGISTRAZIONE DEL DOPPIO STENDIMENTO SISMICO TOMOGRAFICO

Lo stendimento sismico SS1 è' stato registrato a 24 canali sia nel dominio delle onde di pressione che di taglio.
Per acquisire le onde "p" sono stati utilizzati geofoni VERTICALI SunFul con frequenza centrale di 40 Hz. Per acquisire le onde "s" sono stati invece utilizzati geofoni ORIZZONTALI SunFul con frequenza centrale di 10 Hz, espressamente progettati per ricevere le onde di taglio, dotati di bolla torica ed orientati con l'asse di oscillazione parallelo allo sviluppo dello stendimento e con verso reciprocamente concorde.



Geofono verticale SunFul 40 Hz e geofono orizzontale SunFul 10 Hz associati

Per enfatizzare la generazione di onde elastiche con componente di taglio principale sono state trasmesse al terreno sollecitazioni impulsive generate in superficie attraverso uno strumento di contrasto appositamente realizzato per trasmettere le onde "s" attraverso l'attrito radente tra la piastra di base ed il terreno su cui essa posa (si vedano le foto esemplificative seguenti).



Generazione onda "sx" (si legga nel seguito): l'operatore caricail proprio peso sulla base dello strumento di contrasto e colpisce la putrella verticale ad esso saldata



Generazione onda "sy" (si legga nel seguito)

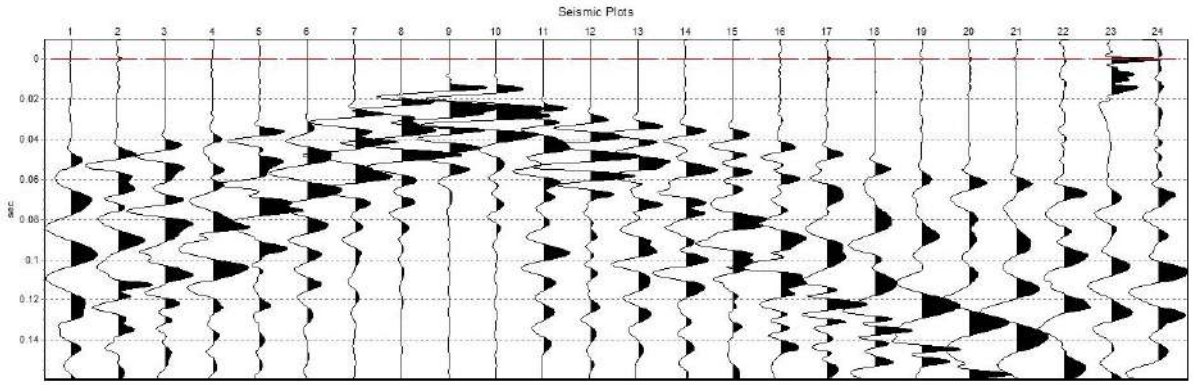
Presso ogni punto di energizzazione lo strumento di contrasto è stato disposto con il piano verticale di battuta ortogonale all'asse dello stendimento sismico ovvero all'asse di oscillazione di ogni geofono orizzontale. Sono state registrate energizzazioni con versi di battuta reciprocamente opposti (massa battente che colpisce lo strumento di contrasto da inizio stesa verso fine stesa e viceversa) poiché con tale procedura si generano due sollecitazioni di taglio polarizzate sullo stesso piano verticale e caratterizzate da fasi contrapposte ("sx" e "sy"). In fase di processing, quindi, le registrazioni digitalizzate delle onde "sx" e "sy" generate nello stesso punto di shot vengono sommate (operazione di stacking) previa inversione di fase via software di una delle due per ottenere "artificialmente" la concordanza di fase. La procedura è finalizzata ad enfatizzare efficacemente la visualizzazione dell'onda di taglio e ad attenuare drasticamente le componenti in onde di pressione "p" ed il background noise: le prime, infatti, sono generate sempre in fase concorde e quindi tendono ad essere annullate dai processi di sommatoria incrementale a seguito di inversione di una delle due componenti, le seconde sono random e tendono ad essere attenuate, statisticamente, dai processi di stacking.
Per la generazione di onde "p", notoriamente non polarizzate, è stata utilizzata una piastra circolare aderente al suolo.



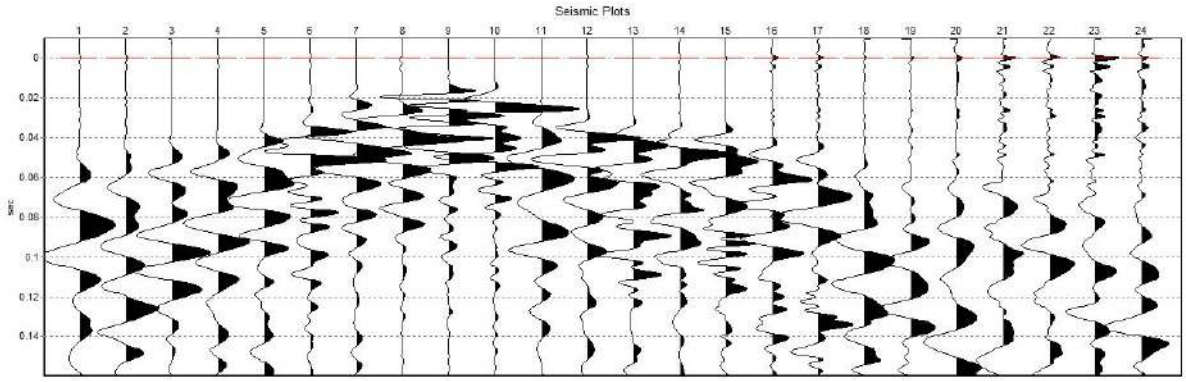
Esempio di generazione di onde "p"

Come sorgente impulsiva è stata utilizzata in ogni caso una massa accelerata a mano, ovvero una mazza con testa pesante 8.0 kg. Il segnale di trigger è generato mediante appositi collegamenti elettrici dal cortocircuito che si verifica nell'istante del contatto della testa della mazza con la superficie di contrasto (entrambe in ferro), e viene trasmesso al sismografo mediante un cavo di prolunga. A titolo di esempio nei sismogrammi seguenti si possono osservare le ricezioni, da parte dei 24 geofoni, delle onde "p" e delle onde "s" generate nel medesimo punto di shot (shot n° 4).

Dati ottenuti a seguito delle operazioni di stacking (inversione delle battute reciproche e stacking nel caso delle onde "s") e di filtraggio.



SS1, SHOT 4, ONDE "P"



SSI, SHOT 5, ONDE "S"

La scala dei tempi (asse verticale) è identica in entrambi i diagrammi: si può osservare chiaramente come i tempi di arrivo delle onde "s" (notoriamente più lente delle onde "p") siano sensibilmente più lunghi. Le caratteristiche specifiche degli stendimenti, registrati in data 06.06.2012, sono riportate nella tabella seguente.

Stendimento sismico	Copertura geofoni (m)	Offset (m)	Lunghezza totale (m)	n° shot points	g spacing (m)	n° geofoni
SS1 "p"	115.0	10.0	135.0	9	5.0	24
SS1 "s"	115.0	10.0	135.0	9	5.0	24

La registrazione dei dati è stata effettuata mediante un'unità Seismic Source "DaqLink III" di ultima generazione, dotata di convertitore A/D a 24 bit e corredata di pc portatile, cavo multipolare a 24 prese e, come già specificato, geofoni orizzontali SunFul 10 Hz.



Sistema di acquisizione Seismic Source Daq Link III

La copertura del semipiano investigato attraverso i raggi sismici è visibile in allegato ("Ray coverage", Tav. 2 per SS1 onde "p", Tav. 4 per SS1 onde "s".
Il rapporto segnale-disturbo ambientale è risultato ottimo ed ha consentito di visualizzare con chiarezza le onde di pressione e di taglio in fase di picking.
Il valore "RMS ERROR" è risultato pari allo 1.1% nel caso dello stendimento SS1 nel dominio delle onde "p" e pari allo 1.9% in quello delle onde "s": il picking delle onde di taglio è sempre più complesso e difficoltoso, ma in ogni caso lo scarto quadratico medio risulta molto basso ed indica un'ottima convergenza tra i modelli sintetici ideali ed i dati reali acquisiti in loco. I modelli finali restituiti, pertanto, sono caratterizzati dal punto di vista numerico da un grado di affidabilità potenziale molto elevato. Inoltre il modello finale in onde "p" e quello in onde "s" mostrano il medesimo assetto sismostratigrafico, ad ulteriore conferma dell'elevato grado di affidabilità dei risultati ottenuti.

RISULTATI OTTENUTI



Stendimento sismico tomografico SS1 "p" e "s", ripreso dall'estremo iniziale *(offset geofono 1)*



Stendimento sismico tomografico SS1 "p" e "s", ripreso dall'estremo finale (offset geofono 24)

I risultati dell'elaborazione tomografica sono visibili nel dettaglio nelle sezioni allegate (tomografia onde "p"e tomografia onde "s"). L'elaborazione tomografica restituisce i risultati con visualizzazione delle isolinee di velocità sismica delle onde di pressione e di quelle di taglio con passo di 100 m/s. Di queste ne sono state evidenziate solo alcune ritenute significative.

Geologo Paolo PEIRONE
paolopeirone.studio@gmail.com

L'interpretazione finale può essere così sintetizzata:

- Insieme costituito dal terreno vegetale aerato, dalle coltri eluviali e da eventuali coperture detritiche presenta una potenza variabile da 2.0 m a 4.0 m circa.
- Interfaccia superiore del substrato roccioso in posto in condizioni geomeccaniche medie almeno "discrete"[1] è rappresentata dall'isolinea Vp = 1200 m/s e Vs = 800 m/s, che sostanzialmente coincidono. Non si ritengono affidabili le porzioni di modello tomografico cerchiate negli allegati in quanto percorsi da una quantità non elevata di raggi sismici e quindi potenzialmente affetti dai tipici fenomeni di distorsione noti come "difetti di bordo". I gradienti verticali di velocità risultano essere maggiori nella prima metà del doppio stendimento sismico, e decisamente minori nella seconda procedendo verso fine stesa ovvero verso le quote topografiche inferiori.
- A centro stesa (area di probabile ubicazione dell'aerogeneratore) condizioni geomeccaniche mediamente "buone" sono riscontrabili a profondità dal piano campagna pari a 8.0 m - 10.0 m, mentre nell'ultimo terzo dello stendimento le medesime condizioni geomeccaniche possono essere ritrovate a 15.0 - 16.0 m di profondità.

La massima profondità investigata nel settore centrale dello stendimento è risultata pari a 40 m circa.

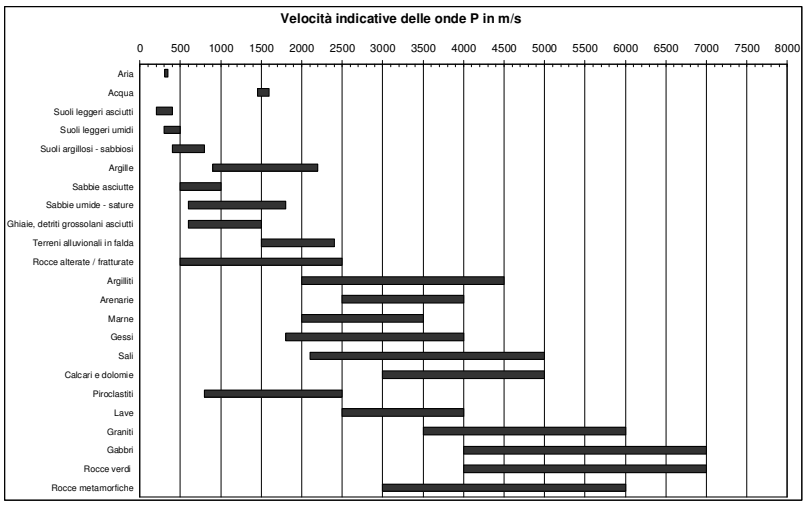
[1] Rapporti noti tra le velocità di propagazione delle onde sismiche "p" negli ammassi rocciosi e le condizioni strutturali degli stessi consentono di associare alle varie tipologie di substrato roccioso, individuate attraverso l'indagine sismica, le corrispondenti classi geomeccaniche secondo il criterio messo a punto da Bieniawski (1973-74, 1979 e succ.). In generale tale correlazione per velocità superiori a 1500 m/s sovrastima la qualità dell'ammasso roccioso di circa 1 classe. Posta tale premessa ed effettuata l'opportuna taratura cautelativa del dato, si verifica la convergenza delle stime provenienti da valutazioni geostrutturali con quelle indirettamente dedotte dal dato sismico.

NOTE

Per una corretta interpretazione dei risultati, occorre tenere conto delle seguenti osservazioni.

- Un profilo sismico non è una sezione verticale del terreno, bensì una sezione perpendicolare al rifrattore. Un dato valore di profondità, calcolato in corrispondenza di un determinato geofono, indica che il rifrattore si trova in un punto dello spazio ad una distanza dal geofono pari al valore di profondità; tale valore rappresenta pertanto non la profondità misurata verticalmente sotto al geofono, ma lo spessore totale degli strati sovrastanti il rifrattore in esame nell'intorno del geofono. L'andamento reale degli strati nel sottosuolo si ottiene combinando in 3 dimensioni i risultati di vari profili.
- Per ogni strato, la sismica fornisce un valore di velocità che rappresenta in un certo senso la media sull'intero spessore dello strato.
- Con la sismica a rifrazione non è possibile individuare inversioni di velocità al di sotto del rifrattore più profondo, cioè non è possibile stabilire se a profondità maggiori dell'ultimo rifrattore esaminato le velocità diminuiscono. Le onde sismiche che determinano i primi arrivi sulle dromocrone viaggiano nello strato a velocità maggiore; tale strato nasconde quindi eventuali strati sottostanti con valori di velocità più bassi.
- Nel caso di rocce che presentano piani di debolezza ben definiti (stratificazione, famiglia di fratture, …), la velocità di propagazione delle onde sismiche può variare sensibilmente in funzione dell'orientazione del profilo rispetto alla giacitura di tali strutture: un profilo parallelo ai piani di debolezza in generale dà velocità più elevate rispetto ad un profilo perpendicolare agli stessi piani.
- Nei disegni finali delle sezioni, i limiti laterali e lo spessore dell'ultimo strato hanno un significato puramente grafico, in quanto con la sismica a rifrazione si individua esclusivamente l'interfaccia superiore dei vari strati sismici.

Nelle tabelle sottostanti sono riportati i valori medi delle velocità di propagazione delle onde S all'interno di differenti materiali.



4. CARATTERIZZAZIONE CON MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO (§6.2.2 NTC 2018)

Le prospezioni sismiche, supportate dalle evidenze geologiche di superficie, hanno fornito gli elementi stratigrafici presenti nell'area di progetto che vengono di seguito descritti:

- Livello 1: Terreno vegetale aerato, materiale di detrizione ed eluvium in condizioni di densità bassa-media di potenza variabile tra 1 e 2 m
- Livello 2: Coperture non litoidi a scheletro granulare prevalente in condizioni di densità medio-elev di potenza variabile tra 2 e 3 m
- Livello 3: Substrato metamorfico intensamente alterato e destrutturato (assimilabile a una V Classe di Bieniawski), presente a partire da circa 3 / 4 m di profondità da p.c.
- Livello 4: Substrato metamorfico in condizioni geomeccaniche variabili da discrete a buone (III-II Cl. Bieniavski), presente a partire da circa 7 m di profondità da p.c.
- Livello 5: Substrato metamorfico in condizioni geomeccaniche buone (II Cl. Bieniavski), presente a partire da circa 12-13 m di profondità da p.c.
- Livello 6: Substrato metamorfico in condizioni geomeccaniche variabili da buone a ottime (II-I Cl. Bieniavski), presente a partire da circa 20 m di profondità da p.c.
- Livello 7: Substrato metamorfico in condizioni geomeccaniche ottime (I Cl. Bieniavski), presente a partire da circa 30-32 m di profondità da p.c.

La parametrizzazione dei differenti livelli è stata condotta, per quanto riguarda i livelli non litoidi, secondo criteri di valori di archivio, mentre per quanto concerne i parametri geomeccanici dei livelli litoidi, secondo correlazioni con la Classificazione di Bieniawski[2]

Livello	***Peso di Volume (kN/m³)***	***Coesione (Kg/cmq)***	***Angolo d'attrito efficace φ'***
1	18	c' = 0.2 cu= 0.5	28
2	19	c' = 0.25 cu= 0.7	29
3	25	1,0*	30*
4	27	2,0*	35*
5	27	3,0*	40*
6	27	3,5*	42*
7	27	4,0*	45*

Tabella 4.1 – Parametri geotecnici relativi ai livelli stratigrafici di progetto
* parametri geomeccanici

[2] I parametri qui proposti dovranno essere valicati dalle prove dirette condotte a supporto della fase progettuale esecutiva

5.SISMICITA'

5.1. Zonazione sismica, Categoria di sottosuolo e Condizioni topografiche (§3.2.2 NTC 2018)

Il quadro sismotettonico locale ai sensi del D.G.R.216/2017 ("OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria") individuano per entrambi i territori comunali un medio grado di rischio sismico.
In particolare, come si evince dalla citata deliberazione, sia il Comune di Savona, che quello di Quiliano sono inseriti in zona sismica 3, con valore di pga (accelerazione di picco al suolo) pari a 0.15 g (ove g = accelerazione di gravità).
Tale accelerazione è stimata con una con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.
Nelle determinazione delle spettro di risposta elastico l'Eurocodice 8 e la recente normativa nazionale prevedono la valutazione dell'effetto di sito, attraverso l'adozione di un coefficiente S, detto stratigrafia del suolo di fondazione, attraverso il qual estimare gli effetti di amplificazione del sisma.
La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq.(ove a numeratore del rapporto della formula di calcolo vi è il parametro H che è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s).

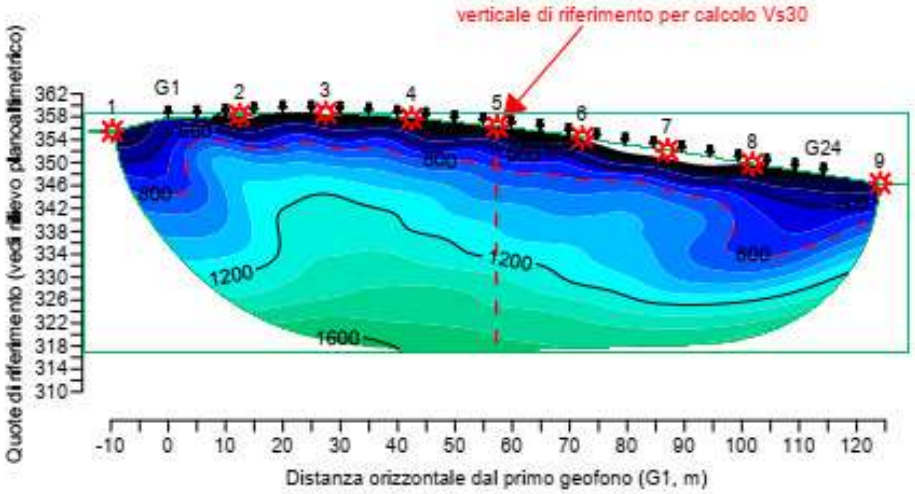
5.2. Stima delle Vseq

La lunghezza dello stendimento sismico SS1 nel dominio delle onde di taglio, come già specificato, ha consentito di raggiungere una profondità massima di investigazione di circa 40 m dal piano campagna, e quindi di stimare agevolmente il parametro "Vseq" riferito al piano campagna stesso e, per completezza, di fornire il trend del parametro Vseq riferito a varie profondità dal piano campagna. Per giungere alla stima di valori affidabili del parametro "Vs30" ex D.M. 17.01.18 si è proceduto come segue: è stata considerata una verticale di riferimento nel settore centrale della sezione tomografica in onde di taglio (in corrispondenza dello shot 5) ed è stato estrapolato, in corrispondenza di tale sezione, il grafico della variazione del parametro "Vs" con la profondità (visibile in Tavola 6).I valori di velocità delle onde di taglio che rientrano nel calcolo del parametro "Vseq" sono stati discretizzati con passo di 1.0 m a partire dal piano campagna in corrispondenza della verticale di riferimento.
Il risultato ottenuto è visibile in Tavola di seguito allegata: il valore Vseq riferito al piano campagna è pari a 505 m/s e la conseguente classe di sottosuolo di riferimento ex D.M. 17.01.18 risulta essere la **"B".** All'aumentare della profondità di riferimento, discretizzata con passo metrico, aumenta progressivamente il valore del parametro Vseq che si mantiene comunque compreso tra 360 m/s e 800 m/s fino alla profondità di 4 m dal piano campagna, oltre la quale H<3 m (H 0 potenza coperture sul bedrock rigido).e quindi la categoria di sottosuolo si trasforma in "**A**".
In estrema sintesi, quindi:

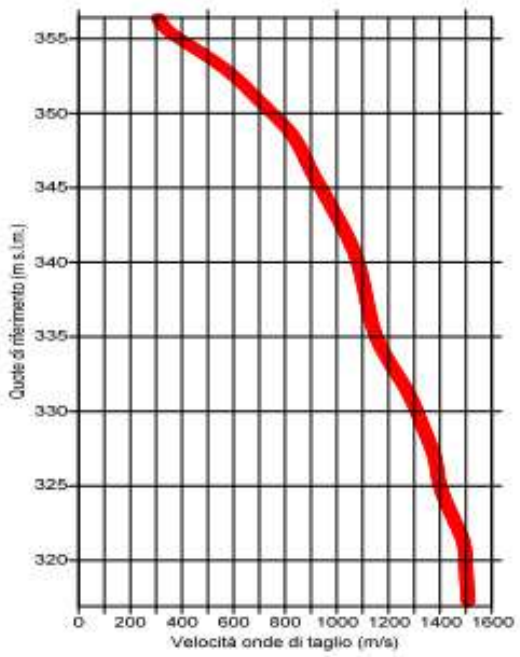
- profondità di riferimento da p.c.: 0 m - 4 m: 3<H<30, 360<Vs,eq<800 → categoria sottosuolo: **B**

- profondità di riferimento da p.c.: > 4 m: H<3 → categoria sottosuolo: **A**

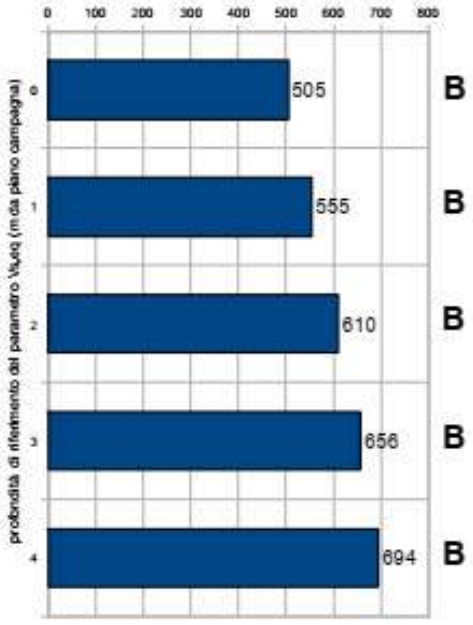
STENDIMENTO SISMICO TOMOGRAFICO SS1 ONDE "S": CALCOLO PARAMETRO "Vs,eq"



VARIAZIONE VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO CON LA PROFONDITA'



VARIAZIONE DEL PARAMETRO Vs,eq IN FUNZIONE DELLA PROFONDITA' DI RIFERIMENTO



Geologo Paolo PEIRONE
paolopeirone.studio@gmail.com

5.3. Azione sismica (§3.2 NTC 2018)

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Quest'ultima viene definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa $\mathbf{a_g}$ in condizioni di campo libero;
- ordinate dello spettro di risposta;

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri sismici:

- $\mathbf{a_g}$ accelerazione orizzontale massima al sito;
- $\mathbf{F_0}$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $\mathbf{T_r}$ periodo di ritorno del sisma;
- **T*C** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Utilizzando il programma GEOSTRU PS vengono inseriti i seguenti dati:

- coordinate geografiche del sito in esame;
- classe d'uso dell'opera in progetto;
- categoria di sottosuolo;
- categoria topografica.

Si ottengono quindi i coefficienti sismici relativi alle opere in progetto per i diversi stati limite (**SLO** (operatività); **SLD** (danno); **SLV** (vita); **SLC** (collasso):
Ss (amplificazione stratigrafica); St (amplificazione stratigrafica); **Cc** (categoria di sottosuolo); **Kh** e **Kv** (orizzontali e verticali). A seguire vengono forniti i parametri ed i coefficienti sismici propri dell'area di intervento.

Parametri sismici

• profondità di riferimento da p.c.: > 4 m: H<3 → categoria sottosuolo:
A

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni e Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.
latitudine: 44,319482
longitudine: 8,408658
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 17132	Lat: 44,3251	Lon: 8,3880	Distanza: 1759,928
Sito 2	ID: 17133	Lat: 44,3281	Lon: 8,4577	Distanza: 4013,356
Sito 3	ID: 17355	Lat: 44,2782	Lon: 8,4618	Distanza: 6240,250
Sito 4	ID: 17354	Lat: 44,2752	Lon: 8,3921	Distanza: 5095,936

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Operatività (SLO):
Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,019 g
Fo: 2,578
Tc*: 0,159 [s]

Danno (SLD):
Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,024 g
Fo: 2,543
Tc*: 0,187 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,056 g
Fo: 2,612
Tc*: 0,306 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,072 g
Fo: 2,657
Tc*: 0,326 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
- Ss: 1,000
- Cc: 1,000
- St: 1,000
- Kh: 0,004
- Kv: 0,002
- Amax: 0,183
- Beta: 0,200

SLD:
- Ss: 1,000
- Cc: 1,000
- St: 1,000
- Kh: 0,005
- Kv: 0,002
- Amax: 0,240
- Beta: 0,200

SLV:
- Ss: 1,000
- Cc: 1,000
- St: 1,000
- Kh: 0,011
- Kv: 0,006
- Amax: 0,554
- Beta: 0,200

SLC:
- Ss: 1,000
- Cc: 1,000

St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,704
Beta: 0,200

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru
Coordinate WGS84
latitudine: 44.318512
longitudine: 8.407602

- profondità di riferimento da p.c.: 0 m - 4 m: 3<H<30, 360<Vs,eq<800 → categoria sottosuolo: **B**

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni e Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.
latitudine: 44,319482
longitudine: 8,408658
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 17132	Lat: 44,3251	Lon: 8,3880	Distanza: 1759,928
Sito 2	ID: 17133	Lat: 44,3281	Lon: 8,4577	Distanza: 4013,356
Sito 3	ID: 17355	Lat: 44,2782	Lon: 8,4618	Distanza: 6240,250
Sito 4	ID: 17354	Lat: 44,2752	Lon: 8,3921	Distanza: 5095,936

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):
Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,019 g
Fo: 2,578
Tc*: 0,159 [s]

Danno (SLD):
Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,024 g
Fo: 2,543
Tc*: 0,187 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,056 g
Fo: 2,612
Tc*: 0,306 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,072 g
Fo: 2,657
Tc*: 0,326 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
- Ss: 1,200
- Cc: 1,590
- St: 1,000
- Kh: 0,004
- Kv: 0,002
- Amax: 0,219
- Beta: 0,200

SLD:
- Ss: 1,200
- Cc: 1,540
- St: 1,000
- Kh: 0,006
- Kv: 0,003
- Amax: 0,288
- Beta: 0,200

SLV:
- Ss: 1,200
- Cc: 1,390
- St: 1,000
- Kh: 0,014
- Kv: 0,007
- Amax: 0,664
- Beta: 0,200

SLC:
- Ss: 1,200
- Cc: 1,380
- St: 1,000
- Kh: 0,017
- Kv: 0,009
- Amax: 0,844
- Beta: 0,200

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 44.318512
longitudine: 8.407602

6. PARAMETRI DI PROGETTO

Lo schema geotecnico è il seguente:

- piano di campagna orizzontale alla quota: 0.00 m del riferimento locale
- profondità della falda Zw: non definita
- terreno di fondazione: Livelli "3-4-5-6-7"
- volume significativo: non < 40 m da p.c. (livello 7)

Valori medi (Vm)

Viene qui riportata la Tabella sintetica dei parametri geotecnici e geomeccanici precedentemente proposti

Livello	***Peso di Volume (kN/m³)***	***Coesione (Kg/cmq)***	***Angolo d'attrito efficace φ'***
1	18	c' = 0.2 cu= 0.5	28
2	19	c' = 0.25 cu= 0.7	29
3	25	1,0*	30*
4	27	2,0*	35*
5	27	3,0*	40*
6	27	3,5*	42*
7	27	4,0*	45*

Tabella 7.1 – Parametri geotecnici relativi ai livelli stratigrafici di progetto
* parametri geomeccanici

A seguire vengono proposti i valori caratteristici e di progetto degli orizzonti stratigrafici considerati riportati in tabella

SCHEMA PARAMETRI GEOTECNICI LIVELLO 1									
	Unità	Metodo	Valore MEDIO	Metodo	Valore CARATTERISTICO	Coeff.Sicurezza		Valori di progetto	
						DA1 (comb.2)	DA2	DA1	DA2
Angolo attrito (ϕ')	gradi	Valori di archivio	28	statistica della varianza nota COV 10%	26,6	1,25	1	21,28	26,6
Coesione non drenata (Cu)	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0				
	Kg/cmq		0,5	nota COV 30%	0,425	1,25	1	0,34	0,425
Coesione efficace (c')	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0				
	Kg/cmq		0,2	nota COV 30%	0,17	1,25	1	0,136	0,17
Peso di Volume (γ)	KN/mc	Valori di archivio		statistica della varianza					
	t/mc		1,8	nota COV 5%	1,755	1		1,755	

SCHEMA PARAMETRI GEOTECNICI - Livello 2									
	Unità	Metodo	Valore MEDIO	Metodo	Valore CARATTERISTICO	Coeff.Sicurezza		Valori di progetto	
						DA1(comb2)	DA2	DA1	DA2
Angolo attrito (ϕ)	gradi	Valori di archivio	29	statistica della varianza nota COV 10%	27,6	1,25	1	22,04	27,55
Coesione non drenata (Cu)	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0				
	Kg/cmq		0,7	nota COV 30%	0,595	1,25	1	0,476	0,595
Coesione efficace (c')	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0				
	Kg/cmq		0,25	nota COV 30%	0,2125	1,25	1	0,17	0,2125
Peso di Volume (γ)	KN/mc	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	
	t/mc		1,9	nota COV 5%	1,8525	1		1,8525	

SCHEMA PARAMETRI GEOMECCANICI -LAPIDEO- Livello 3									
	Unità	Metodo	Valore MEDIO	Metodo	Valore CARATTERISTICO	Coeff.Sicurezza		Valori di progetto	
						DA1(comb2)	DA2	DA1	DA2
Angolo attrito (ϕ)	gradi	Valori di archivio	30	statistica della varianza nota COV 10%	28,5	1,25	1	22,8	28,5
Coesione (C)	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	0
	Kg/cmq		1	nota COV 10%	0,95	1,25	1	0,76	0,95
Peso di Volume (γ)	KN/mc	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	
	t/mc		2,5	nota COV 5%	2,4375	1		2,4375	

SCHEMA PARAMETRI GEOMECCANICI -LAPIDEO- Livello 4									
	Unità	Metodo	Valore MEDIO	Metodo	Valore CARATTERISTICO	Coeff.Sicurezza		Valori di progetto	
						DA1(comb2)	DA2	DA1	DA2
Angolo attrito (ϕ)	gradi	Valori di archivio	35	statistica della varianza nota COV 10%	33,3	1,25	1	26,6	33,25
Coesione (C)	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	0
	Kg/cmq		2	nota COV 10%	1,9	1,25	1	1,52	1,9
Peso di Volume (γ)	KN/mc	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	
	t/mc		2,7	nota COV 5%	2,6325	1		2,6325	

SCHEMA PARAMETRI GEOMECCANICI -LAPIDEO- Livello 5									
	Unità	Metodo	Valore MEDIO	Metodo	Valore CARATTERISTICO	Coeff.Sicurezza		Valori di progetto	
						DA1(comb2)	DA2	DA1	DA2
Angolo attrito (ϕ)	gradi	Valori di archivio	40	statistica della varianza nota COV 10%	38,0	1,25	1	30,4	38
Coesione (C)	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	0
	Kg/cmq		3	nota COV 10%	2,85	1,25	1	2,28	2,85
Peso di Volume (γ)	KN/mc	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	
	t/mc		2,7	nota COV 5%	2,6325	1		2,6325	

SCHEMA PARAMETRI GEOMECCANICI -LAPIDEO- Livello 6									
	Unità	Metodo	Valore MEDIO	Metodo	Valore CARATTERISTICO	Coeff.Sicurezza		Valori di progetto	
						DA1(comb2)	DA2	DA1	DA2
Angolo attrito (ϕ)	gradi	Valori di archivio	42	statistica della varianza nota COV 10%	39,9	1,25	1	31,92	39,9
Coesione (C)	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	0
	Kg/cmq		3,5	nota COV 10%	3,325	1,25	1	2,66	3,325
Peso di Volume (γ)	KN/mc	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	
	t/mc		2,7	nota COV 5%	2,6325	1		2,6325	

SCHEMA PARAMETRI GEOMECCANICI -LAPIDEO- Livello 7									
	Unità	Metodo	Valore MEDIO	Metodo	Valore CARATTERISTICO	Coeff.Sicurezza		Valori di progetto	
						DA1(comb2)	DA2	DA1	DA2
Angolo attrito (ϕ)	gradi	Valori di archivio	45	statistica della varianza nota COV 10%	42,8	1,25	1	34,2	42,75
Coesione (C)	Mpa	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	0
	Kg/cmq		4	nota COV 10%	3,8	1,25	1	3,04	3,8
Peso di Volume (γ)	KN/mc	Valori di archivio		statistica della varianza	0			0	
	t/mc		2,7	nota COV 5%	2,6325	1		2,6325	

7. NORME TECNICHE GENERALI E APPROFONDIMENTI NECESSARI

Il progetto riguarda la realizzazione di n°1 impianto eolico per la produzione di energia elettrica in località Cima Montà nell'ambito territoriale dei Comuni di Quiliano e Savona (SV).
L'attuale progetto prevede la realizzazione di una centrale eolica costituita da una torre di altezza pari a 80 metri circa e da un rotore poggianti su una platea circolare il cui diametro sarà funzione dei parametri geomeccanici e geotecnici adottati dal progettista.
In base alle risultanze si evidenzia quanto segue:

- Il sito in cui sono previsti gli interventi mostrano una sottile copertura da parte della coltre eluviale cui segue il substrato roccioso costituito da granitoidi fratturati e alterati;
- Le aree appaiono nel complesso stabili; non sono stati notati processi morfogenetici attivi o quiescenti.

L'indagine da realizzarsi in fase di progettazione esecutiva dovrà fornire i seguenti dati:

- Stima dello stato di aggregazione dei materiali e determinazione delle loro proprietà fisiche e meccaniche della copertura detritica e della porzione litoide per tutta quella parte di sottosuolo influenzata dalla costruzione dei manufatti e dalle opere di sbancamento, nonché dai carichi trasmessi dalle strutture;
- Verifica dei fronti di scavo e riporto;
- Prove dirette ed indirette sui materiali che verranno utilizzati per i riporti;
- Dettaglio delle opere di sistemazione delle scarpate con scelta ove possibile dei sistemi individuati dall'ingegneria di tipo naturalistico;
- Dettaglio delle opere di raccolta e smaltimento delle acque superficiali.
- Quindi a supporto del livello progettuale esecutivo saranno da prevedere due sondaggi geognostici spinti fino alla profondità di circa trenta metri da piano di imposta delle fondazioni con prove in foro tali da determinare la parametrizzazione dei material presenti. A tale scopo si consiglia l'esecuzione di prove in sito mirate a valutare la consistenza dei diversi orizzonti incontrati ed il prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio.

8 CONCLUSIONI

In base alle risultanza dell'indagine non sono state rilevate controindicazione di natura geologico-tecnica per l'esecuzione delle opere se realizzate previa una fase di approfondimento geotecnico – geomeccanico locale come indicato nelle norme precedentemente esposte.
Lo scrivente rimane a disposizione della committenza per ogni ulteriore chiarimento e approfondimento che si rende necessario in merito a quanto esposto nella presente relazione.

SAVONA, dicembre 2021

Paolo PEIRONE – Geologo