# STUDIO GEOLOGICO TECNICO AMBIENTALE

## Dott. Geol. ANDREA VALENTE ARNALDI

Geotecnica - Geofisica - Prove geotecniche e geomeccaniche in sito e di laboratorio
Sondaggi geognostici - Palificazioni - Tiranti - Consolidamenti - Monitoraggio geotecnico e strutturale
Verifiche di stabilità di pendii e di fronti di scavo - Bonifiche movimenti franosi
Idrogeologia - Pozzi per acqua - Geotermia - Opere sotterranee (Tunnel) - Discariche - Cave - Dighe
Idrologia e Idraulica - Sistemazioni fluviali e marittime - Ingegneria naturalistica
Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA) - Valutazione Ambientale Strategica (VAS)
Studi di Prefattibilità e Fattibilità Ambientale - Valutazione d'Incidenza Ambientale
Caratterizzazioni, bonifiche e recuperi ambientali - Consulenze ambientali - Utilizzazione terre e rocce da scavo
Pianificazione territoriale - Piani di Protezione Civile
Valutazione rischio sismico, idrogeologico e ambientale

| **Provincia** | IMPERIA | **Comune** | MOLINI DI TRIORA |
|---|---|---|---|
| **Oggetto** | **Impianto idroelettrico torrente Gavano**<br>**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA INTEGRATIVA** | | |

| **Dati catastali** | **Riferimenti normativi nazionali** | **Riferimenti normativi locali** |
|---|---|---|
| Foglio: vedasi elab. progetto<br>Mappale: vedasi elab. progetto | D.M.LL.PP. 16.01.1996<br>Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003<br>D.M. 14.01.2008 | L.R. 29/83<br>Piano di Bacino del torrente Argentina – Ambito di Bacino n. 4 Argenitna<br>P.U.C. |

| | | |
|---|---|---|
| **Committenti** | **Denominazione** | Spett. REMNA s.r.l. |
| | Indirizzo | Via Appiani 12 – 20121 Milano (MI) |
| | **Progettista** | Dott. Ing. Marco GALFRE' |
| | Indirizzo | Via Toglia 3 – 12018 Roccavione (CN) |
| **Il Tecnico** | Dott. Geol. Andrea VALENTE ARNALDI |  |
| **Codice documento** | 12.MOL.REMNA.integr2017 | |

| Rev. | Copie | Data | Redazione | Verifica | Approvazione | Descrizione |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 00 | n. 3 | 26.09.2012 | Geol. Valente Arnaldi | Geol. Valente Arnaldi | Geol. Valente Arnaldi | 1° emissione |
| 01 | n. 3 | 30.04.2013 | Geol. Valente Arnaldi | Geol. Valente Arnaldi | Geol. Valente Arnaldi | Modifica progettuale |
| 02 | n. 3 | 27.06.2017 | Geol. Valente Arnaldi | Geol. Valente Arnaldi | Geol. Valente Arnaldi | Integrazione |

**18038 SANREMO (IM) - Via Manzoni 61 (Piazza Colombo) - Tel./Fax +39 0184 570051**
**10126 TORINO - Via Denina 3 (Giardini Reali) - Tel./Fax +39 011 6960115**
**12042 BRA (CN) - Strada San Michele 14 - Tel./Fax +39 0172 44016**
**+39 335 6458897**
**E-mail : geostudiovalente@tiscali.it**
**www.geostudiovalente.com**

# INDICE


1 PREMESSA Pag. 3

2 RISPOSTA RICHIESTA INTEGRAZIONI Pag. 4

2.1 Premessa Pag. 4

2.2 Indagine sismica passiva Pag. 4

2.3 Rilievo geologico - strutturale Pag. 17

3 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE Pag. 30

# 1. PREMESSA

La presente **relazione geologica e geotecnica integrativa a supporto di un progetto di costruzione di un impianto idroelettrico sul torrente Gavano**, da eseguirsi all'interno di un'area sita in Comune di **MOLINI DI TRIORA (IM)**, su incarico conferito allo scrivente dalla **REMNA s.r.l.**, fa seguito alle richieste di integrazione formulate dalla **Provincia di Imperia – Settore Antisismica** e riportate nella comunicazione del **20.06.2017**.

Tale comunicazione, per quanto riguarda gli aspetti di competenza, riporta le seguenti richieste:

*"La relazione geologica trasmessa è a carattere areale sulla fattibilità dell'intero impianto idroelettrico in progetto e non presenta le necessarie prove che consentono di definire la categoria di sottosuolo delle opere in c.a. ai sensi delle NTC-2008. In particolare deve essere meglio indagato il sito di costruzione del fabbricato di centrale che dall'esame della cartografia allegata pare essere ubicato in un terrazzo alluvionale/deposito di fondovalle. Si richiede pertanto di integrare la relazione suddetta con un accurato rilievo geologico/geomorfologico del sito di costruzione e con l'esecuzione di prove in sito dirette/indirette al fine di definire la stratigrafia e la categoria del suolo di fondazione e le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione".*

Le indagini integrative eseguite, estese ad un significativo intorno dell'area interessata dagli interventi, in ottemperanza al Testo Unitario - Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14.01.2008), sono state finalizzate all'approfondimento delle condizioni geologiche, geomorfologiche e sismiche del sito, verificando ed analizzando con maggior dettaglio i possibili scenari di rischio e le problematiche esecutive, con il preciso intento di definirne le potenzialità di fruizione in relazione all'assetto territoriale, verificando le condizioni di stabilità, l'eventuale presenza di elementi morfogenici dissestivi e lo stato di fatto, traendone le opportune valutazioni sulla compatibilità degli interventi con la situazione idrogeologica, geomorfologica e litologica locale, nel pieno rispetto di quanto riportato nella richiesta di integrazioni della Provincia di Imperia.

# 2. RISPOSTA RICHIESTA INTEGRAZIONI

## 2.1 PREMESSA

Di seguito verranno riportate e trattate nel dettaglio le seguenti richieste di approfondimento e integrazione:

*"La relazione geologica trasmessa è a carattere areale sulla fattibilità dell'intero impianto idroelettrico in progetto e non presenta le necessarie prove che consentono di definire la categoria di sottosuolo delle opere in c.a. ai sensi delle NTC-2008. In particolare deve essere meglio indagato il sito di costruzione del fabbricato di centrale che dall'esame della cartografia allegata pare essere ubicato in un terrazzo alluvionale /deposito di fondovalle. Si richiede pertanto di integrare la relazione suddetta con un accurato rilievo geologico/geomorfologico del sito di costruzione e con l'esecuzione di prove in sito dirette/indirette al fine di definire la stratigrafia e la categoria del suolo di fondazione e le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione".*

Nel dettaglio, dal momento che l'intera area d'intervento presenta un substrato litoide che si presenta sempre da affiorante a sub-affiorante con coperture colluvio – eluviali e depositi detritico - fluviali con spessori massimi di 2,0 m circa (mediamente 0,5 m), si è optato per la realizzazione di un'indagine sismica indiretta del tipo HVSR ed un rilievo geologico - strutturale lungo alcuni affioramenti in corrispondenza degli interventi ritenuti più significativi (opera di presa a monte e centrale idroelettrica a valle).

## 2.2 INDAGINE SISMICA PASSIVA

### 2.2.1 Acquisizioni con tromografo digitale Theremino

Il metodo HVSR, come tutti gli altri metodi geofisici, ha bisogno di essere interpretato dall'utente sulla base delle conoscenze geologiche dell'area. Il metodo HVSR si basa sulla misura dei microtremori ambientali (derivanti ad esempio da attività antropica, dal moto ondoso del mare, dal vento, etc.), misurati nelle 3 componenti (2 orizzontali e 1 verticale).

Come tutte le indagini indirette ha il vantaggio di misurare i parametri geofisici del terreno in sito ma non è sempre facile risalire al profilo geologico reale.

La tecnica HVSR consente di valutare la frequenza di risonanza di uno strato soffice a partire dalle sole registrazioni di superficie. In particolare, Nakamura (1989) ha ipotizzato che la componente verticale del rumore sismico ambientale (di varia origine, come sopra indicato) fosse relativamente non influenzata dai sedimenti. Per cui il rapporto H/V tra lo spettro di Fourier delle componenti orizzontale e verticali è stato messo in evidenza come una stima affidabile della risposta di sito alle onde S, non solo per la frequenza di risonanza, ma anche per la relativa amplificazione, partendo dall'ipotesi che la divisione della componente verticale assunta come riferimento, permettesse di rimuovere gli effetti della sorgente, oltre a quelli dovuti alle onde di Rayleigh.

Se ad esempio consideriamo la struttura geologica di un deposito sedimentario (ad esempio depositi alluvionali in una valle fluviale), si nota che il tremore misurato in superficie può essere considerato come costituito da onde superficiali e da onde di volume (come le onde longitudinali). Queste sono modificate dall'azione filtrante operata dallo strato soffice. In base a questo si possono definire due spettri relativi alle misure del moto superficiale orizzontale (misurati dai due geofoni orizzontali) e verticale (misurati dal geofono verticale).

Il software open source Geopsy permette di definire il rapporto H/V, secondo i criteri di attendibilità stabiliti dal progetto SESAME, partendo dalle registrazioni delle vibrazioni misurate

sui tre assi dal tromografo digitale.

I metodi d'inversione tendono a comparare i dati acquisiti con quelli calcolati fino a quando non si riesce a trovare la migliore sovrapposizione (come nel caso del programma Dinver, collegato al programma open source Geopsy). Quindi è eseguita una serie di tentativi, sulla base di algoritmi di calcolo, al fine di ottenere la sovrapposizione migliore con i dati sperimentali (ovvero quelli acquisiti durante le registrazioni dei microtremori).

Sulla base di queste sovrapposizioni e di calcoli il software Dinver permette di ottenere una stima dell'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali) e delle onde S (di taglio o seconde) in base alla profondità (e quindi di determinare il valore delle Vs30 richiesto dalla normativa italiana), previa la definizione di una modellazione del terreno investigato. Quindi i calcoli sono vincolati alla preliminare conoscenza della stratigrafia del terreno investigato (nel nostro caso, al rilevamento geologico di superficie che ha permesso di individuare la presenza di affioramenti del substrato roccioso – acquisizioni n. 1 e 2 e la presenza di depositi alluvionali terrazzati – acquisizione n. 3). Questo al fine di evitare di ottenere delle stratigrafie sismiche delle onde P e S non veritiere rispetto al modello geologico che si sta analizzando.

Nel caso di situazioni stratigrafiche consone con il metodo utilizzato generalmente si ottengono dati molto simili alla situazione geologica reale (grazie alla "taratura sopra indicata"). Esistono però casi con anomalie stratigrafiche, rumori più modi di vibrazione, rumori ambientali, imprecisioni del metodo di calcolo che possono far ottenere risultati completamente errati. Nel caso delle acquisizioni di seguito riportate tali problematiche sono in parte superate, come già illustrato, grazie all'esecuzione di quanto sopra riportato.

La strumentazione e il software utilizzati in questo caso sono costituiti da:

- scheda madre Theremino master, con uscita USB;
- Adc 24 bit;
- n. 2 geofoni orizzontali da 4,5 hz;
- n. 1 geofono verticale da 4,5 hz;
- Frequenza di campionamento 125, 150, 200, 250, 333, 500 Hz;
- Durata acquisizione 10, 20, 30 minuti;
- Registrazione dei dati acquisiti in formato *.SAF;
- pc Windows compatibile con software Theremino-Dolfrang (per visionare e acquisire i dati in tempo reale);
- software open source “geopsy”, per l'elaborazione del diagramma H/V-frequenza;
- software open source “dinver”, per l'elaborazione di stratigrafie indicative delle onde S, P e della densità sismica dei terreni investigati.




***Fig. 1 -*** *Ubicazioni acquisizioni HVSR in corrispondenza dell'opera di presa in progetto*

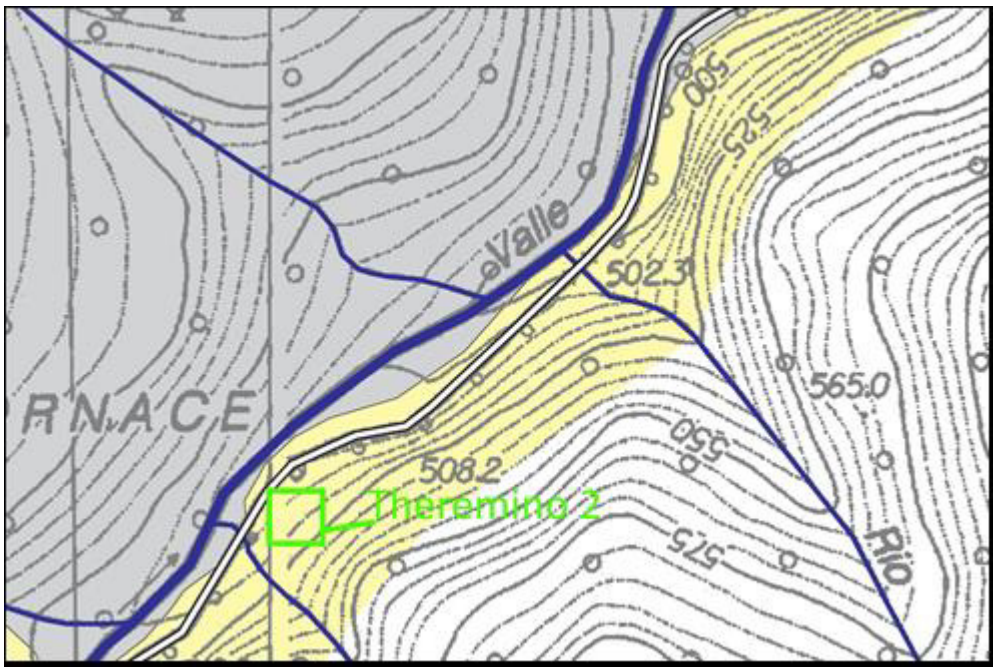



***Fig. 2 -*** *Ubicazioni acquisizioni HVSR in corrispondenza del settore mediano della condotta in progetto*

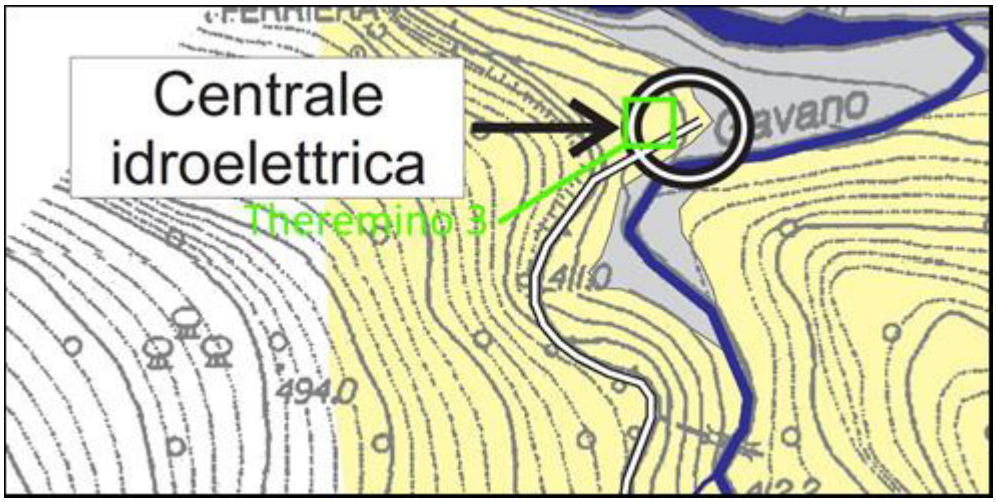



***Fig. 3 -*** *Ubicazioni acquisizioni HVSR in corrispondenza della centrale idroelettrica in progetto*



***Foto 1 –*** *Affioramento del substrato roccioso a brevissima distanza dalla zona di esecuzione dell'acquisizione n. 1 con tromografo digitale in corrispondenza dell'opera di presa in progetto*



***Foto 2 –*** *Acquisizione n. 1 con tromografo digitale in corrispondenza dell'opera di presa in progetto*



***Foto 3 –*** *Affioramento del substrato roccioso a brevissima distanza dalla zona di esecuzione dell'acquisizione n. 2 con tromografo digitale in corrispondenza del settore mediano della condotta in progetto*



***Foto 4 –*** *Acquisizione n. 2 con tromografo digitale in corrispondenza del settore mediano della condotta in progetto*



***Foto 5 –*** *Affioramento dei depositi alluvionali terrazzati a brevissima distanza dalla zona di esecuzione dell'acquisizione n. 3 con tromografo digitale in corrispondenza della centrale idroelettrica in progetto*



***Foto 6 –*** *Acquisizione n. 3 con tromografo digitale in corrispondenza della centrale idroelettrica in progetto*

La durata delle registrazioni è stata pari a 30 minuti cadauna. Il segnale è stato elaborato con il software Geopsy per definire la frequenza propria del terreno (vedasi figure riportate di seguito).

Una prima stima dello spessore del livello detritico superficiale può essere eseguita con l'uso della tabella sotto riportata (*da http://comunitadigeologia.blogspot.it/2015/03/4-correlazione-vs-hz-per-hvsr.html*).

### 2.2.2 Correlazione VS - Hz per HVSR - (Calcolo empirico per determinare la stratigrafia tramite un sondaggio HVSR)

In presenza di sedimenti granulari si può ipotizzare che la Vs dipenda principalmente dal carico della colonna stratigrafica soprastante.

Se il sedimento risponde a tale legge si può considerare valida la relazione che lega la frequenza di risonanza con la profondità.

La tabella sottostante riporta la frequenza di risonanza (prima colonna) con la profondità di 3 tipi di terreni:

1) terreni coesivi
2) sabbie
3) terreni rimaneggiati

Tali tabelle sono state ricavate sperimentalmente calcolando la funzione interpolatrice di un certo numero di sondaggi, pertanto i dati cosi calcolati sono puramente indicativi ed utili per valutare la profondità corrispondenti ai principali picchi di un sondaggio HVSR per avere una idea

di massima della stratigrafia del sito.

Nel caso in esame, per quanto riguarda l'acquisizione n. 1 (zona opera di presa), tenendo conto del picco a circa 60 Hz e della stratigrafia del sito (ricavata grazie al rilevamento geologico di superficie), si può stimare uno spessore di materiale di riporto, al di sotto della strumentazione usata (e al di sopra del substrato roccioso fratturato rappresentato dal Flysch di Ventimiglia), pari a circa 0,50 - 1,0 m. Il picco a 18 Hz indica la presenza del passaggio dal substrato roccioso fratturato a quello più integro.

Per quanto riguarda l'acquisizione n. 2 (zona centrale della condotta forzata, in sponda destra del rio Gavano, e in prossimità della strada comunale), tenendo conto del picco a circa 60 Hz e della stratigrafia del sito (ricavata grazie al rilevamento geologico di superficie), si può stimare uno spessore di materiale di riporto, al di sotto della strumentazione usata (e al di sopra del substrato roccioso fratturato rappresentato dal Flysch di Ventimiglia), pari a circa 0,50 - 1,0 m. Il picco a 32 Hz indica la presenza del passaggio dal substrato roccioso fratturato a quello più integro.

Infine, per quanto riguarda l'acquisizione n. 3 (zona della centrale idroelettrica), tenendo conto del picco a circa 15 Hz e della stratigrafia del sito (ricavata grazie al rilevamento geologico di superficie) che è caratterizzata dalla presenza di un livello di depositi alluvionali torrentizi costituiti da ghiaie con blocchi lapidei di dimensioni anche metriche, si può stimare uno spessore di tale livello pari a circa 2,0 m al di sopra del substrato roccioso costituito dal Flysch di Ventimiglia. Per quanto riguarda il picco rilevato a 20 Hz, esso è probabilmente dovuto alla presenza di un trovante roccioso di dimensioni rilevanti, al di sotto della strumentazione.

**Tabella 1**

| | terreni coesivi | sabbie | terreni rimaneggiati coesivi | | terreni coesivi | sabbie | terreni rimaneggiati coesivi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vo= | 190,0 | 170,0 | 110,0 | Vo= | 190,0 | 170,0 | 110,0 |
| a= | 0,20 | 0,25 | 0,40 | a= | 0,20 | 0,25 | 0,40 |
| Hz | H | H | H | Hz | H | H | H |
| 100,00 | 0,50 | 0,45 | 0,29 | 4,80 | 14 | 14 | 11 |
| 95,00 | 0,52 | 0,47 | 0,31 | 4,50 | 16 | 15 | 12 |
| 90,00 | 0,55 | 0,50 | 0,32 | 4,20 | 17 | 17 | 13 |
| 85,00 | 0,59 | 0,53 | 0,34 | 4,00 | 18 | 18 | 14 |
| 80,00 | 0,63 | 0,56 | 0,37 | 3,80 | 19 | 19 | 15 |
| 75,00 | 0,67 | 0,60 | 0,39 | 3,60 | 20 | 20 | 17 |
| 70,00 | 0,72 | 0,65 | 0,42 | 3,40 | 22 | 22 | 18 |
| 65,00 | 0,78 | 0,70 | 0,46 | 3,30 | 23 | 22 | 19 |
| 60,00 | 0,85 | 0,76 | 0,50 | 3,10 | 24 | 24 | 21 |
| 55,00 | 0,93 | 0,84 | 0,55 | 3,00 | 25 | 25 | 22 |
| 50,00 | 1,03 | 0,93 | 0,61 | 2,90 | 26 | 26 | 23 |
| 45,00 | 1,1 | 1,0 | 0,7 | 2,80 | 27 | 28 | 24 |
| 43,00 | 1,2 | 1,1 | 0,7 | 2,70 | 29 | 29 | 25 |
| 40,00 | 1,3 | 1,2 | 0,8 | 2,60 | 30 | 30 | 50 |
| 37,00 | 1,4 | 1,3 | 0,8 | 2,50 | 32 | 32 | |
| 34,00 | 1,6 | 1,4 | 0,9 | 2,40 | 33 | 34 | |
| 32,00 | 1,7 | 1,5 | 1,0 | 2,30 | 35 | 36 | |
| 30,00 | 1,8 | 1,6 | 1,1 | 2,20 | 37 | 38 | |
| 28,00 | 1,9 | 1,8 | 1,2 | 2,10 | 39 | 40 | |
| 27,00 | 2,0 | 1,8 | 1,2 | 2,00 | 41 | 42 | |
| 25,00 | 2,2 | 2,0 | 1,3 | 1,90 | 44 | 45 | |
| 24,00 | 2,3 | 2,1 | 1,4 | 1,80 | 47 | 49 | |
| 23,00 | 2,4 | 2,2 | 1,5 | 1,70 | 50 | 52 | |
| 22,00 | 2,5 | 2,3 | 1,5 | 1,60 | 54 | 57 | |
| 21,00 | 2,6 | 2,4 | 1,6 | 1,50 | 59 | 62 | |
| 20,00 | 2,8 | 2,6 | 1,7 | 1,40 | 64 | 67 | |
| 19,00 | 2,9 | 2,7 | 1,8 | 1,30 | 70 | 74 | |
| 18,00 | 3,1 | 2,9 | 2,0 | 1,20 | 77 | 82 | |
| 17,00 | 3,3 | 3,1 | 2,1 | 1,10 | 86 | 92 | |
| 16,00 | 3,6 | 3,3 | 2,3 | 1,00 | 96 | 104 | |
| 15,00 | 3,8 | 3,6 | 2,4 | 0,95 | 103 | 112 | |
| 14,00 | 4,2 | 3,9 | 2,7 | 0,90 | 110 | 120 | |
| 13,00 | 4,5 | 4,2 | 2,9 | 0,85 | 118 | 129 | |
| 12,00 | 5,0 | 4,6 | 3,2 | 0,80 | 127 | 140 | |
| 11,00 | 5,5 | 5,1 | 3,6 | 0,75 | 138 | 152 | |
| 10,00 | 6,1 | 5,7 | 4,1 | 0,70 | 150 | 166 | |
| 9,00 | 6,9 | 6,5 | 4,7 | 0,65 | 164 | 183 | |
| 8,50 | 7,4 | 7,0 | 5,0 | 0,60 | 181 | 204 | |
| 8,00 | 7,9 | 7,5 | 5,5 | 0,55 | 202 | 228 | |
| 7,50 | 8,5 | 8,1 | 6 | 0,50 | 227 | 259 | |
| 7,00 | 9,2 | 8,8 | 7 | | | | |
| 6,50 | 10,1 | 9,7 | 7 | | | | |
| 6,00 | 11 | 11 | 8 | | | | |
| 5,30 | 13 | 12 | 10 | | | | |
| 5,10 | 13 | 13 | 10 | | | | |

La tabella 1 sopra riportata è estratta da "INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE A SUPPORTO DELLA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO" - Dario Albarello - Università di Siena (Italy).

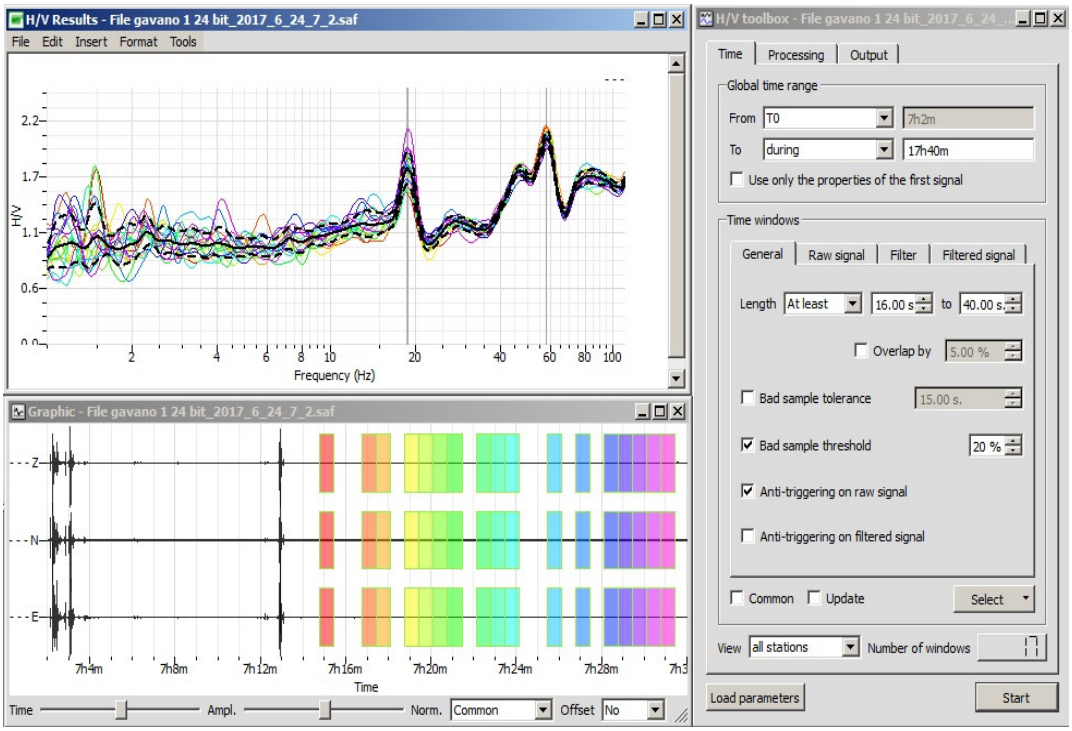



***Fig. 4 -*** *Grafico HVSR della registrazione n. 1*

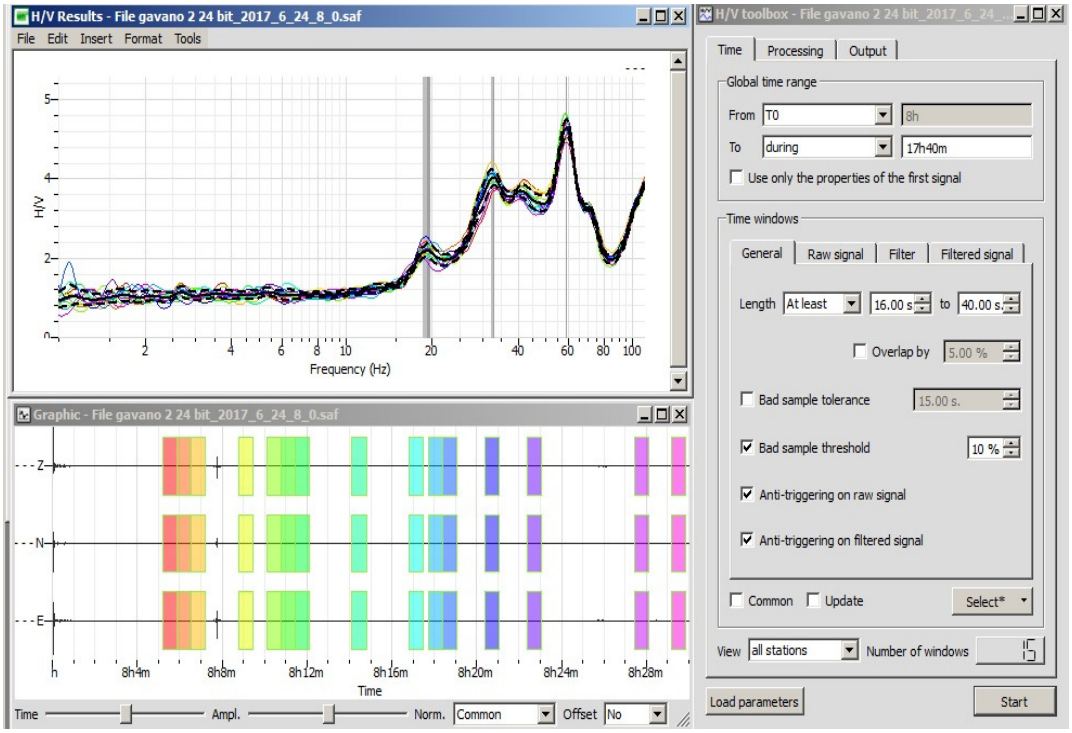



***Fig. 5 -*** *Grafico HVSR della registrazione n. 2*

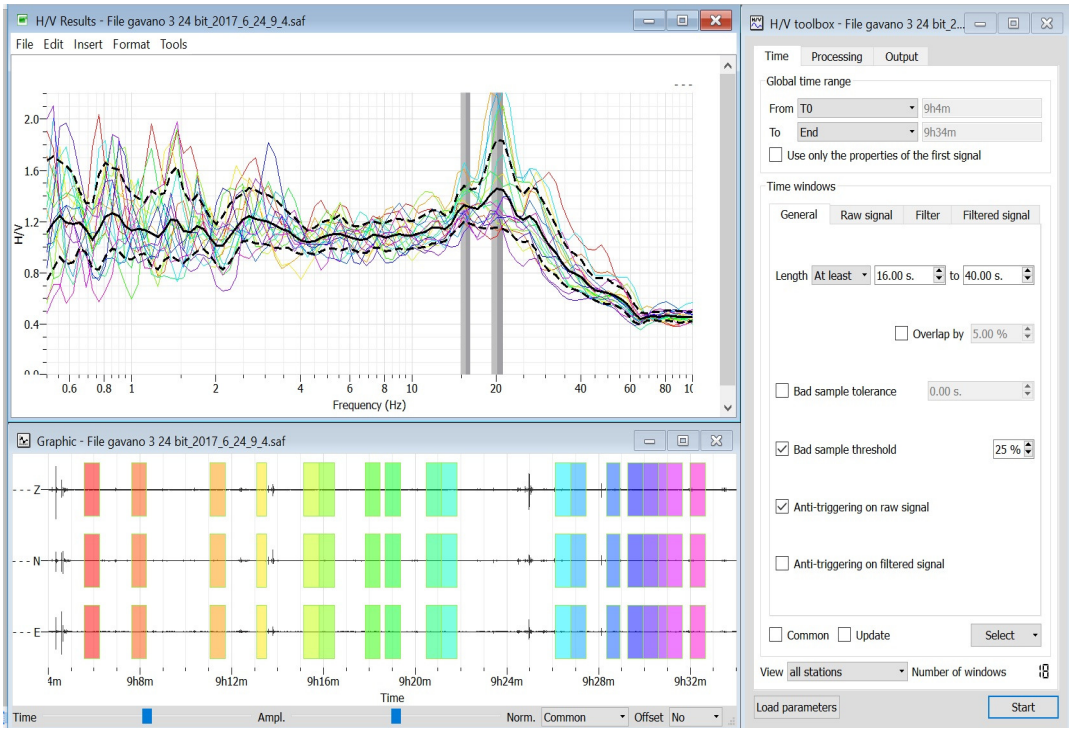



***Fig. 6 -*** *Grafico HVSR della registrazione n. 3*

### 2.2.3 Stima delle velocità delle onde P e delle onde S attraverso l'uso delle registrazioni effettuate con theremino

Attraverso il programma Dinver precedentemente indicato è stata ricavata una stima indicativa delle velocità delle onde di taglio S e delle onde longitudinali P, come di seguito riportato:

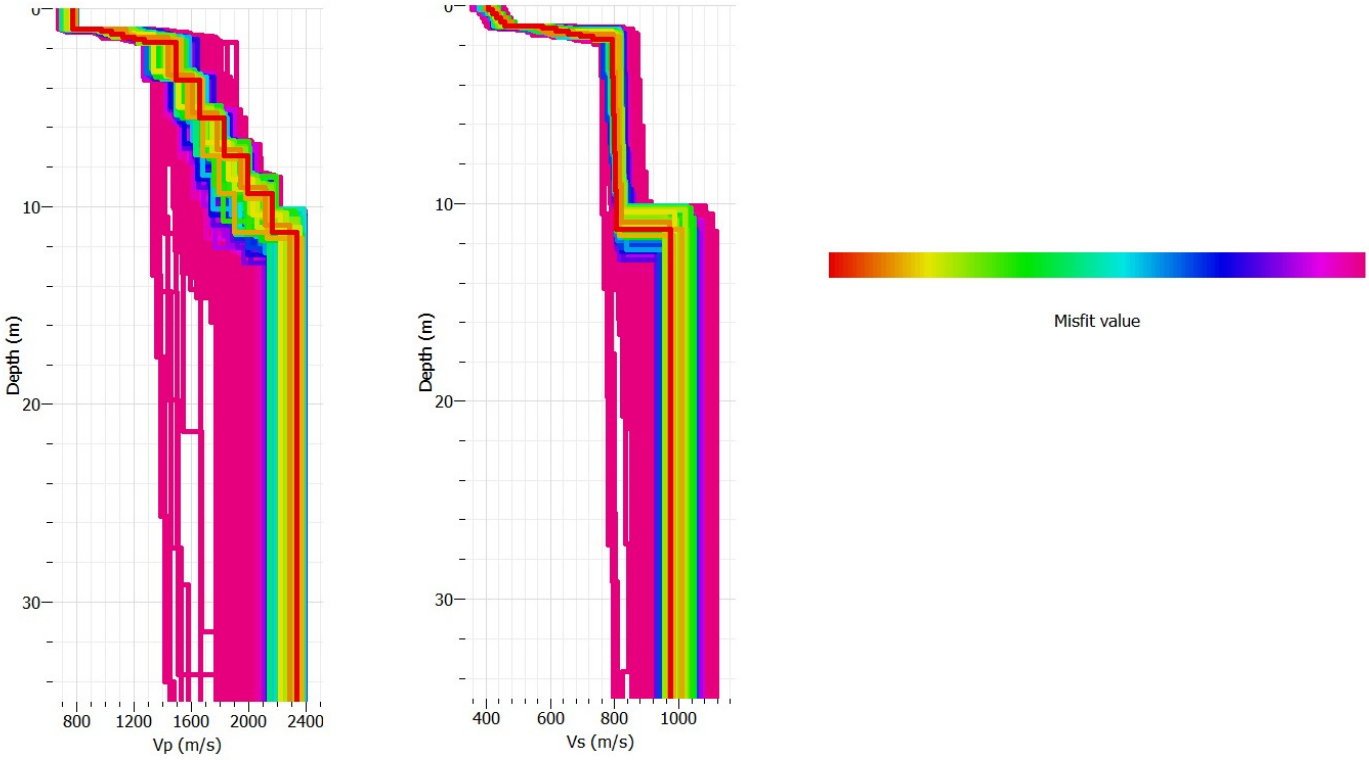



***Fig. 7 -*** *Elaborazione con Dinver della prova n. 1 con theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)*

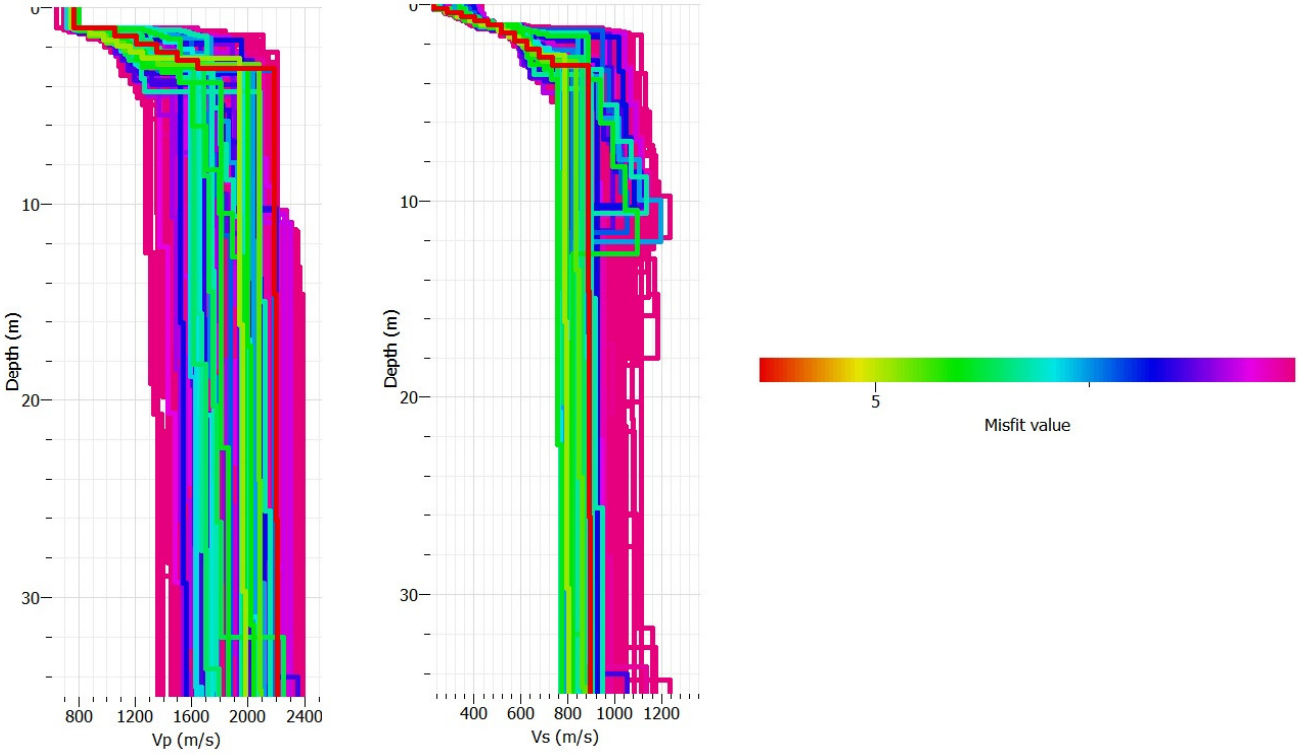



***Fig. 8 -*** *Elaborazione con Dinver della prova n. 2 con theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)*

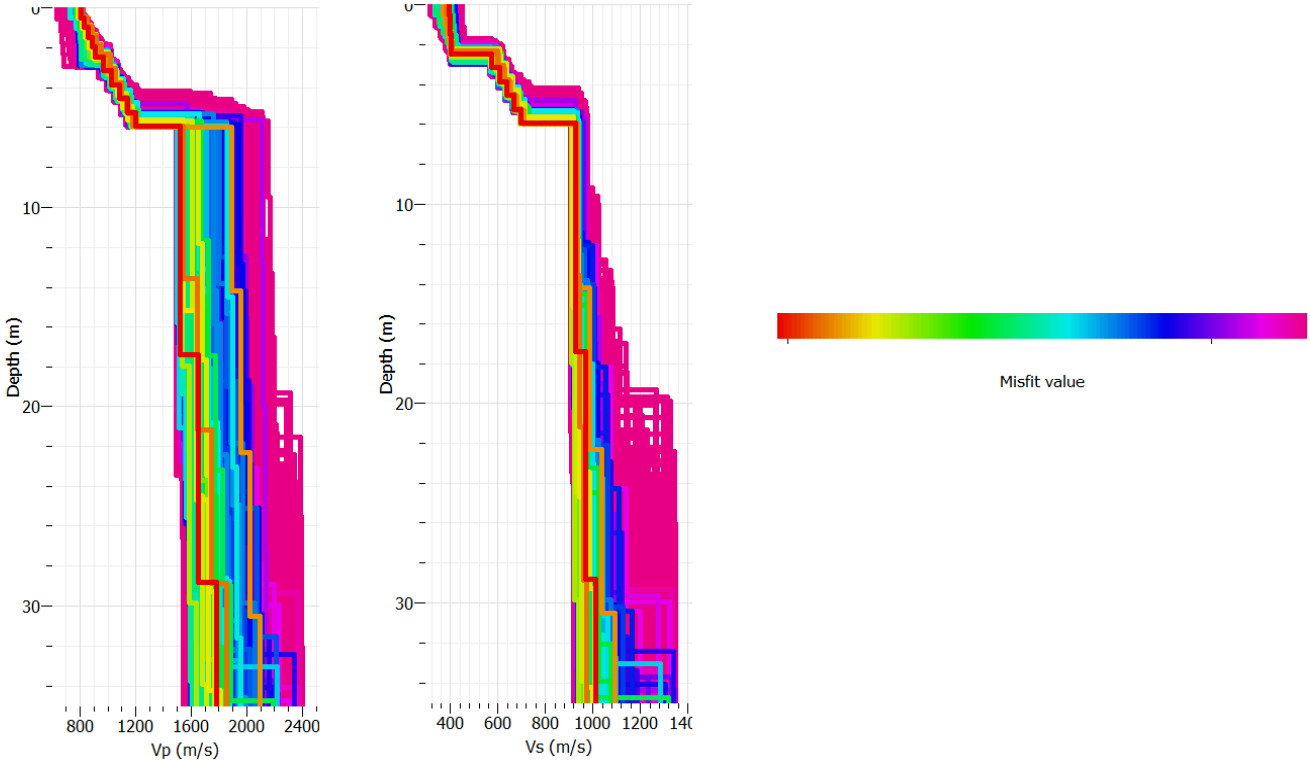



***Fig. 9 -*** *Elaborazione con Dinver della prova n. 3 con theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)*

Il valore di Vs30 ottenuto con l'**acquisizione n. 1** sopra riportata, è pari a **882 m/s**.
Il valore di Vs30 ottenuto con l'**acquisizione n. 2** sopra riportata, è pari a **833 m/s**.
Il valore di Vs30 ottenuto con l'**acquisizione n. 3** sopra riportata, è pari a **833 m/s.**

Le aree interessate dalle opere in progetto, in base alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche (vedasi capitolo seguente: rilievo geologico – strutturale) dei litotipi presenti in sito e a quanto emerso dalle indagini sismiche eseguite in sito, rientrano tutte all'interno della **categoria A**: *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m*, confermando pertanto la categoria evidenziata negli elaborati precedenti a firma dello scrivente.

## 2.3 RILIEVO GEOLOGICO - STRUTTURALE

### 2.3.1 Premessa

Al fine di individuare le caratteristiche geomeccaniche e geotecniche del substrato in posto, il quale rappresenterà l'unico litotipo utilizzato come piano di appoggio ed immorsamento delle opere fondazionali in progetto, è stato eseguito un rilievo geologico – strutturale di dettaglio.

In particolare sono stati analizzati:

- una finestra strutturale in corrispondenza dell'area interessata dalla realizzazione dell'opera di presa (**Finestra strutturale 1**);
- una finestra strutturale in corrispondenza dell'area interessata dalla realizzazione della centrale idroelettrica (**Finestra strutturale 2**).



*Finestra strutturale 1*



*Finestra strutturale 2*

Nel campo della progettazione di infrastrutture di ingegneria civile, siano esse legate alla stabilità di un versante o alla stabilità di un'opera in sotterraneo, difficilmente si possono avere informazioni dettagliate sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso interessato alla progettazione. Allora diventa importante poter utilizzare uno schema che possa soddisfare le richieste, ovvero un metodo empirico che permetta di risolvere i problemi dovuti alla scarsa conoscenza o esperienza di una determinata area.

Le classificazioni di Beniawsky e Romana (la seconda è derivata dalla prima, che risultava troppo "conservativa") consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano. La classificazione di Beniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;
A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
A3 = spaziatura delle discontinuità;
A4 = condizioni delle discontinuità;
A5 = condizioni idrauliche;
A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi n. 6 parametri si ricava l'**Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky)** e, con le dovute correzioni apportate da **Romana** nel 1985, lo **Slope Mass Rating (SMR)**.

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR corretto} = RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

### 2.3.2 VALORE DI A1

A1 si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale $S_u$.

**La prova Point Load Test**

La prova Point Load ha il vantaggio di essere eseguibile con strumentazione portatile; da essa si deriva l'indice di carico puntuale $I_S$ che viene correlato alla resistenza alla compressione uniassiale $S_u$ mediante la relazione:

$$S_u = K\, I_S$$

K è un coefficiente moltiplicativo per il quale l'ISRM consiglia il valore 24, ma nella pratica si è evidenziato come tale valore non è univoco ma largamente variabile. Palmström suggerisce di variare K in funzione di $I_S$ secondo lo schema seguente:

| $I_S$ (MPa) | K |
|---|---|
| < 3,5 | 14 |
| 3,5 – 6,0 | 16 |
| 6,0 – 1,0 | 20 |
| > 6,0 | 25 |

**Le prove sclerometriche**

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è ampiamente utilizzato come prova non distruttiva e volta a misurare la "durezza di rimbalzo" della roccia. Dalla prova si ricava l'indice di rimbalzo R che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978):

$$S_u = 0{,}775\, R + 21{,}3$$

**Standard ISRM**

In una fase preliminare delle indagini, mancando prove di campagna o di laboratorio, il valore di $S_u$ può essere stimata osservando la risposta della roccia alla sua percussione con il martello da geologo. Dalla risposta della roccia si possono ricavare i seguenti valori:

| | |
|---|---|
| La roccia si incide con l'unghia o si sbriciola con le mani | 0,25 – 1 MPa |
| Si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani | 1 – 5 MPa |
| La punta lascia deboli buchi, lastre sottili si rompono con forti pressioni delle mani | 5 – 25 MPa |
| La roccia si frattura con un colpo | 25 – 50 MPa |
| Si frattura dopo due-tre colpi | 50 – 100 MPa |
| Si frattura solo dopo molti colpi | 100 – 200 MPa |
| Si scheggia solamente | > 200 MPa |

Definita la resistenza a compressione $S_u$ è possibile ricavare il valore del primo parametro A1. Se si utilizzano prove Point Load o prove sclerometriche risulta più agevole, rispetto alle tabelle e ai grafici proposti da Beniawsky, ricavare il valore di A1 trasformando i grafici in forma di equazioni:

| VALORE DI $S_u$ (MPa) | EQUAZIONE |
|---|---|
| <= 44,5 | $A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$ |
| 44,5 ÷ 93,75 | $A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$ |
| 93,75 ÷ 140 | $A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$ |
| 140 ÷ 180 | $A1 = 0,0375 S_u + 6,75$ |
| 180 ÷ 240 | $A1 = 0,025 S_u + 9$ |
| > 240 | A1 = 15 |

Qualora si utilizzi lo Standard ISRM si usa la tabella proposta da Beniawsky nell'ultima versione del sistema (1989):

| $S_u$ (MPa) | > 200 | 100 - 200 | 50 - 100 | 25 - 50 | 5 – 25 | 1 - 5 | < 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente A1 | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |

### 2.3.3 VALORE DI A2

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente A2, dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = \frac{\sum L_c}{L_t} \times 100$$

dove:

$L_c$ = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm
$L_t$ = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata $L_c$.

In mancanza di carote di sondaggio, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3\ Jv$$

dove Jv è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100\ e^{(0,1\ n)}\ (0,1\ n + 1)$$

con n numero medio di giunti per metro.

Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A2 mediante le equazioni, che derivano sempre dai grafici di Beniawsky:

| VALORE DI RQD % | EQUAZIONE |
|---|---|
| <= 26,5 | $A2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$ |
| 26,5 ÷ 39 | $A2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$ |
| 39 ÷ 76,6 | $A2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$ |
| > 76,6 | $A2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$ |

### 2.3.4 VALORE DI A3

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra 2 discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante le seguenti relazioni:

| SPAZIATURA (m) | EQUAZIONE |
|---|---|
| <= 0,2 | $A3 = 15\,s + 5$ |
| 0,2 ÷ 0,4 | $A3 = 10\,s + 6$ |
| 0,4 ÷ 0,66 | $A3 = 7,752\,s + 5,9$ |
| 0,66 ÷ 0,94 | $A3 = 7,067\,s + 7,35$ |
| 0,94 ÷ 1,6 | $A3 = 6,07\,s + 8,288$ |
| 1,6 ÷ 2,0 | $A3 = 5\,s + 10$ |
| > 2,0 | A3 = 20 |

### 2.3.5 VALORE DI A4

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniawsky il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.

Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

I valori da assegnare sono:

**V1 – Persistenza del giunto**

| PERSISTENZA (m) | V1 |
|---|---|
| < 1 | 6 |
| 1 ÷ 3 | 4 |
| 3 ÷ 10 | 2 |
| 10 ÷ 20 | 1 |

| | |
|---|---|
| > 20 | 0 |

**V2 – Apertura del giunto**

| APERTURA (mm) | V2 |
|---|---|
| Completamente chiuso | 6 |
| < 0,1 | 5 |
| 0,1 ÷ 1 | 4 |
| 1 ÷ 5 | 1 |
| > 5 | 0 |

**V3 – Rugosità del giunto**

| RUGOSITA' | V3 |
|---|---|
| Molto Rugosa | 6 |
| Rugosa | 5 |
| Leggermente rugosa | 3 |
| Liscia | 1 |
| Levigata | 0 |

**V4 – Alterazione delle pareti**

| ALTERAZIONE | V4 |
|---|---|
| Non alterate | 6 |
| Leggermente alterate | 5 |
| Mediamente alterate | 3 |
| Molto alterate | 1 |
| Decomposte | 0 |

**V5 – Riempimento delle discontinuità**

| RIEMPIMENTO (mm) | RIEMPIMENTO | V5 |
|---|---|---|
| - | Assente | 6 |
| < 5 | Compatto | 4 |
| > 5 | Compatto | 2 |
| < 5 | Soffice | 2 |
| > 5 | Soffice | 0 |

### 2.3.6 VALORE DI A5

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Beniawsky si ottiene:

| Venute d'acqua su 10 m di lunghezza | Nessuna | < 10 l/min | 10-25 l/min | 25-125 l/min | > 125 l/min |
|---|---|---|---|---|---|
| Condizione | Asciutta | Umida | Bagnata | Deboli venute | Forti venute |
| Coefficiente A5 | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 |

### 2.3.7 VALORE DI A6

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni.

| APPLICAZIONE | | Molto favorevole | Favorevole | Mediocre | Sfavorevole | Molto sfavorevole |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gallerie | | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| Fondazioni | | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |

Per quanto riguarda i versanti il coefficiente A6 proposto da Beniawsky risulta troppo "conservativo" e pertanto nel calcolo di RMR si utilizza la metodologia proposta da Romana.

### 2.3.8 VALORE DI RMR (ROCK MASS RATING) E PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore $RMR_c$ calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

| $RMR_c$ | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | <= 20 |
|---|---|---|---|---|---|
| Classe | I | II | III | IV | V |
| Descrizione | Molto buono | Buono | Mediocre | Scadente | Molto scadente |

Dal valore di $RMR_b$ si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Beniawsky assumono il valore:

coesione di picco $c_p$ (kPA) = 5 $RMR_b$
angolo di attrito di picco $\phi_p = 0{,}5\ RMR_b + 5$
modulo di deformazione E (GPa) = 2 $RMR_b - 100$

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di $RMR_b$ modificato secondo la:

$$RMR_b = RMR_b(\text{originario}) - [0{,}2\ \phi\ RMR_b(\text{originario})] \text{ (Priest, 1983)}$$

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E\ (GPa) = 10^{(RMR_b - 10\ /\ 40)}$$

Il valore di GSI (Geological Strength Index) viene ricavato dalla:

$$GSI = RMR - 5$$

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte ($A_5 = 15$). Tale relazione è da ritenersi valida per RMR > 23.

### 2.3.9 SLOPE MASS RATING (SMR, Romana 1985)

Romana propone di aggiungere al valore di RMR (di base), alcuni fattori di aggiustamento sulla base dell'orientamento relativo fra discontinuità e fronte del versante e aggiungere un ulteriore fattore che tiene conto del metodo di scavo:

$$SMR = RMR_b + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Il primo fattore di aggiustamento è il prodotto di 3 fattori:

1. F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti.
2. F2 è riferito all'inclinazione del giunto nell'ipotesi di rottura planare.
3. F3 mantiene le relazioni proposte da Beniawsky per l'inclinazione fra fronte e giunti.

F4 rappresenta un fattore di correzione legato al metodo di scavo ed è stato fissato empiricamente.

Le condizioni di stabilità verificate sono relative rotture planari e per ribaltamento (toppling); il metodo è stato esteso anche alle rotture a cuneo di recente da Anbalagan et Al.

Sulla base della tabella che segue si attribuiscono i valori ai fattori:

| CASO | | Molto favorevole | Favorevole | Mediocre | Sfavorevole | Molto sfavorevole |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Planare<br>Toppling<br>Cuneo | $\alpha j - \alpha f$<br>$\alpha j - \alpha f - 180°$<br>$\alpha i - \alpha f$ | > 30° | 30° - 20° | 20° - 10° | 10° - 5° | < 5° |
| | F1 | 0,15 | 0,40 | 0,70 | 0,85 | 1,00 |
| Planare<br>Cuneo | $\alpha j$<br>$\alpha i$ | < 20° | 20° - 30° | 30° - 35° | 35° - 45° | > 45° |
| | F2 | 0,15 | 0,40 | 0,70 | 0,85 | 1,00 |
| Toppling | F2 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Planare<br>Cuneo | $\beta j - \beta f$<br>$\beta j - \beta f$ | > 10° | 10° - 0° | 0° | 0° - (- 10°) | < - 10° |
| Toppling | $\beta j - \beta f$ | < 110° | 110° - 120° | > 120° | - | - |
| | F3 | 0 | - 6 | - 25 | - 50 | - 60 |

dove:

$\alpha j$ = immersione del giunto
$\alpha i$ = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo
$\alpha f$ = immersione del fronte del versante
$\beta j$ = inclinazione del giunto
$\beta i$ = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo
$\beta f$ = inclinazione del fronte

Il fattore F4 vale invece:

| METODO DI SCAVO | F4 |
|---|---|
| Scarpata naturale | 15 |
| Abbattimento con pretaglio | 10 |
| Abbattimento controllato | 8 |
| Abbattimento normale | 0 |
| Abbattimento non controllato | -8 |

Calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali, fornite da Romana, sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematismo di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione:

| SMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 |
|---|---|---|---|---|---|
| CLASSE | I | II | III | IV | V |
| DESCRIZIONE | Molto buona | Buona | Mediocre | Scadente | Molto scadente |
| STABILITA' | Sicuramente stabile | Stabile | Parzialmente stabile | Instabile | Sicuramente instabile |
| MODO DI ROTTURA | Assente | Possibili blocchi | Lungo piani o per cunei | Lungo piani o su grandi cunei | Su grandi piani o rototraslazionali |
| STABILIZZAZIONE | Nessuna | Occasionale | Sistematica | Estesa | Riprofilare la scarpata |

## 2.3.10 CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO

**Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)**

**FINESTRA STRUTTURALE 1**

Standard ISRM = La roccia si frattura solo dopo molti colpi di martello
Numero medio di giunti per metro (n) =7
Spaziatura delle discontinuità (s)=0,1 m
Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m
Apertura del giunto < 1 mm
Giunto liscio
Pareti non alterate
Riempimento assente
Roccia asciutta
Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni
Orientamento favorevole

**Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)**

| Resistenza a compressione Su (MPa) | Rock Quality Designation (RQD) |
|---|---|
| 100 - 200 | 84,41950164 |

| V1 | V2 | V3 | V4 | V5 |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 1 | 6 | 6 |

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto
V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto
V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto
V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti
V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 16,67135505 | 6,5 | 22 | 15 | -2 |

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta
A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD
A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità
A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità
A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche
A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

**Classificazione dell'ammasso roccioso**

| RMRbase | RMRcorretto | Classe | Descrizione |
|---|---|---|---|
| 72,17 | 70,17 | Seconda | Buono |

**Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso**

| Modulo di deformazione (GPa) | Geological Strenght Index (GSI) | Coesione di picco (kPa) | Angolo di attrito di picco (°) | Coesione residua (kPa) | Angolo di attrito residuo (°) |
|---|---|---|---|---|---|
| 44,34 | 67,17 | 360,85 | 41,09 | 288,68 | 33,87 |

**Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)**

Rottura: planare o a cuneo
Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio: condizione favorevole (30°-20°)
Inclinazione dei giunti: condizione mediocre (30°-35°)
Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione mediocre (0°)
Metodo di scavo: Scarpata naturale

**Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)**

**Fattori di aggiustamento**

| F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|---|---|---|
| 0,4 | 0,7 | -25 | 15 |

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti
F2 è riferito all'inclinazione del giunto
F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti
F4 è legato al metodo di scavo

**Classificazione corretta dell'ammasso roccioso**

| SMR | Classe | Descrizione |
|---|---|---|
| 80,17 | Seconda | Buona |

**Grado di stabilità, tipo di cinematismo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione**

| Stabilità | Modo di rottura | Stabilizzazione |
|---|---|---|
| Stabile | Possibili blocchi | Occasionale |

## FINESTRA STRUTTURALE 2

Standard ISRM = La roccia si frattura solo dopo molti colpi di martello
Numero medio di giunti per metro (n) =6
Spaziatura delle discontinuità (s)=0,2 m
Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m
Apertura del giunto < 1 mm
Giunto liscio
Pareti non alterate
Riempimento assente
Roccia asciutta
Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni
Orientamento mediocre

**Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)**

| Resistenza a compressione Su (MPa) | Rock Quality Designation (RQD) |
|---|---|
| 100 - 200 | 87,80986178 |

| V1 | V2 | V3 | V4 | V5 |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 1 | 6 | 6 |

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto
V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto
V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti
V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 17,39579098 | 8 | 22 | 15 | -7 |

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta
A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD
A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità
A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità
A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche
A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

**Classificazione dell'ammasso roccioso**

| RMRbase | RMRcorretto | Classe | Descrizione |
|---|---|---|---|
| 74,4 | 67,4 | Seconda | Buono |

**Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso**

| Modulo di deformazione (GPa) | Geological Strenght Index (GSI) | Coesione di picco (kPa) | Angolo di attrito di picco (°) | Coesione residua (kPa) | Angolo di attrito residuo (°) |
|---|---|---|---|---|---|
| 48,8 | 69,4 | 372 | 42,2 | 297,6 | 34,76 |

**Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)**

Rottura: planare o a cuneo
Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio: condizione mediocre (20°-10°)
Inclinazione dei giunti: condizione mediocre (30°-35°)
Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione mediocre (0°)
Metodo di scavo: Scarpata naturale

**Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)**

**Fattori di aggiustamento**

| F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|---|---|---|
| 0,7 | 0,7 | -25 | 15 |

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti
F2 è riferito all'inclinazione del giunto
F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti
F4 è legato al metodo di scavo

**Classificazione corretta dell'ammasso roccioso**

| SMR | Classe | Descrizione |
|---|---|---|
| 77,15 | Seconda | Buona |

**Grado di stabilità, tipo di cinematismo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione**

| Stabilità | Modo di rottura | Stabilizzazione |
|---|---|---|
| Stabile | Possibili blocchi | Occasionale |

### 2.3.11 Considerazioni conclusive

Al fine di individuare le caratteristiche geomeccaniche e geotecniche del substrato in posto, il quale rappresenterà l'unico litotipo utilizzato come piano di appoggio ed immorsamento delle opere fondazionali in progetto, è stato eseguito un rilievo geologico – strutturale di dettaglio.

In particolare sono stati analizzati:

- una finestra strutturale in corrispondenza dell'area interessata dalla realizzazione dell'opera di presa (**Finestra strutturale 1**);
- una finestra strutturale in corrispondenza dell'area interessata dalla realizzazione della centrale idroelettrica (**Finestra strutturale 2**).

L'interpretazione dei risultati dei rilievi geologico - strutturali sulle 2 finestre strutturali ha messo in evidenza una condizione generale di stabilità del substrato.

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso ha evidenziato inoltre valori dei parametri geotecnici quali angolo di attrito e coesione superiori a quelli indicati nei precedenti elaborati a firma dello scrivente, garantendo così un adeguato livello di sicurezza in fase di verifica.

Si confermano pertanto, in un'ottica di sicurezza e salvaguardia, i parametri geotecnici riportati nei precedenti elaborati ed utilizzati nei calcoli e nelle verifiche strutturali.

# 3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica e geotecnica integrativa a supporto di un progetto di costruzione di un impianto idroelettrico sul torrente Gavano, da eseguirsi all'interno di un'area sita in Comune di MOLINI DI TRIORA (IM), su incarico conferito allo scrivente dalla REMNA s.r.l., fa seguito alle richieste di integrazione formulate dalla Provincia di Imperia – Settore Antisismica e riportate nella comunicazione del 20.06.2017.

Tale comunicazione, per quanto riguarda gli aspetti di competenza, riporta le seguenti richieste:

*"La relazione geologica trasmessa è a carattere areale sulla fattibilità dell'intero impianto idroelettrico in progetto e non presenta le necessarie prove che consentono di definire la categoria di sottosuolo delle opere in c.a. ai sensi delle NTC-2008. In particolare deve essere meglio indagato il sito di costruzione del fabbricato di centrale che dall'esame della cartografia allegata pare essere ubicato in un terrazzo alluvionale/deposito di fondovalle. Si richiede pertanto di integrare la relazione suddetta con un accurato rilievo geologico/geomorfologico del sito di costruzione e con l'esecuzione di prove in sito dirette/indirette al fine di definire la stratigrafia e la categoria del suolo di fondazione e le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione"*.

Lo scrivente, con la presente relazione integrativa ritiene di aver pienamente risposto a quanto richiesto dalla Provincia di Imperia – Settore Antisismica.

Le aree interessate dalle opere in progetto, in base alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche (vedasi capitolo seguente: rilievo geologico – strutturale) dei litotipi presenti in sito e a quanto emerso dalle indagini sismiche eseguite in sito, rientrano tutte all'interno della **categoria A**: *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m*, confermando pertanto la categoria evidenziata negli elaborati precedenti a firma dello scrivente.

L'interpretazione dei risultati dei rilievi geologico - strutturali sulle 2 finestre strutturali ha messo in evidenza una **condizione generale di stabilità del substrato**.

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso ha evidenziato inoltre **valori dei parametri geotecnici quali angolo di attrito e coesione superiori a quelli indicati nei precedenti elaborati a firma dello scrivente**, garantendo così un adeguato livello di sicurezza in fase di verifica.

Si confermano pertanto, in un'ottica di sicurezza e salvaguardia, i parametri geotecnici riportati nei precedenti elaborati ed utilizzati nei calcoli e nelle verifiche strutturali.

Alla luce delle risultanze delle indagini integrative eseguite e riportate nel presente elaborato, si può ribadire che il sito è ritenersi **idoneo ad accogliere le opere in progetto** nell'assoluto rispetto delle raccomandazioni geotecniche fornite.

**Si attesta, pertanto, la fattibilità geologica e geotecnica dell'intervento in progetto.**

La presente relazione costituisce adempimento alle Norme Tecniche di cui al D.M. 14.01.2008.

**Stante quanto indicato in precedenza, si riportano alcune prescrizioni da seguire obbligatoriamente in fase di realizzazione dei lavori, nonché a fine lavori, al fine di garantire la sicurezza e la stabilità dei luoghi (e di un loro congruo intorno) e delle opere in oggetto.**

*In fase esecutiva si dovrà scrupolosamente rispettare quanto segue:*

- Andrà prevista, quando necessario, la figura del Geologo, al fine di:
  - valutare eventuali problematiche di carattere geologico - tecnico ed idrogeologico emerse, non previste in fase progettuale, fornendone le adeguate soluzioni tecniche;
  - verificare, mediante apposite prove sui fronti di scavo e sul piano di fondazione, i caratteri geologici e geotecnici dei litotipi ricadenti nel "volume significativo" di terreno dei manufatti in costruzione, ai fini delle verifiche strutturali di questi;
  - supportare la D.L. circa possibili varianti resesi necessarie in corso d'opera;
  - valutare la corretta esecuzione di tutte le attività coinvolgenti la componente geologica l. s. (impermeabilizzazioni, etc.);
  - effettuare un'attenta analisi visiva del terreno di fondazione per accertare la presenza di eventuali disomogeneità dello stesso e, se rilevate, fornire adeguate soluzioni esecutive atte a garantire il buon esito dell'intervento in oggetto.
  - Porre in essere un sistema di monitoraggio, adeguato agli interventi in esecuzione, esteso ad un congruo intorno, al fine di rilevare immediatamente l'eventuale insorgere di problematiche dissestive, così da poter attivare tempestivamente i necessari rimedi.
- Evitare fenomeni di appoggio differenziato su porzioni di terreno a diverso grado d'addensamento e consolidamento, il tutto al fine di evitare cedimenti o dissesti.
- Al di sotto delle fondazioni in c.a., ove previste, dovrà essere gettato in opera un "magrone" di sottofondo in ghiaia o misto granulare anidro, ben costipato e livellato, od eventualmente in cls, di adeguato spessore ed estensione, con eventuale rete elettrosaldata.
- Ogni fronte aperto dovrà essere adeguatamente contrastato e sostenuto dalle necessarie opere controterra, sia di tipo provvisionale che definitivo, al fine di garantire la sicurezza in fase esecutiva ed a lavori ultimati dell'area d'intervento e di un suo congruo intorno, anche in previsione di eventi di pioggia particolarmente intensi e/o prolungati. Nel caso si verifichino situazioni di disomogeneità, sarà necessario procedere a sistemazioni differenziate.
- I lavori di scavo dovranno essere eseguiti a campioni di ridotte dimensioni ed in periodi di scarse precipitazioni, ponendo l'usuale attenzione per le pareti verticalizzate, specie in coltre, ove potrebbero verificarsi dei dissesti, evitando lunghe esposizioni dei fronti di scavo agli agenti atmosferici.
- I riporti, temporanei e/o definitivi, andranno depositati in aree la cui stabilità, puntuale e del loro intorno, sia stata oggetto di attenta verifica in fase esecutiva, al fine di garantire la sicurezza dei luoghi nel tempo.
- Dovranno essere realizzate tutte le opere di intercettazione, raccolta e smaltimento di tutti i possibili apporti idrici nell'area di cantiere ed in quella di sua influenza, garantendone il corretto recapito in idoneo ricettore, al fine di evitare ogni possibile problematica dissestiva.
- Osservare attentamente, da parte dell'Impresa esecutrice, sotto il controllo del Responsabile della sicurezza e della D.L., l'assoluto rispetto delle norme in materia di sicurezza nei cantieri.
- Andranno posti in essere tutti gli interventi, gli accorgimenti e le cautele atte a garantire la sicurezza dei luoghi.

*Si rappresenta che, realizzati gli interventi in oggetto, dovrà essere redatta un'apposita relazione geologica e geotecnica di fine lavori, che attesti:*

- Il rispetto delle prescrizioni geologiche l.s., con particolare riferimento a quelle fornite in fase esecutiva.
- L'assenza di problematiche morfogeniche dissestive, idrogeologiche e geotecniche evidenziatesi a seguito dell'intervento in oggetto.
- La necessità di eventuali varianti progettuali con implicazioni geologiche l.s. emerse in corso d'opera.

*Le attività professionali di cui sopra, con riferimento a quelle di specifica competenza del Geologo, dovranno essere oggetto di specifico incarico professionale a quest'ultimo Tecnico.*

Sanremo, 27 Giugno 2017

Dott. Geol. Andrea VALENTE ARNALDI

