



# COMUNE DI AVETRANA

PROVINCIA DI TARANTO



REGIONE PUGLIA



## REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE FOTVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 36.288,00 kW DA REALIZZARE SU AREA "EX CAVA"

Denominazione Impianto:

**IMPIANTO AVETRANA CAVE**

Ubicazione:

Comune di Avetrana (TA)  
Località Masseria Canaglie

**ELABORATO**

**028000\_IMP\_R - GEO.04**

**REPORT DELLE INDAGINI REALIZZATE**

Cod. Doc.: AVC20\_028200\_IMP\_R



**Project - Commissioning – Consulting**

Municipiul Bucuresti Sector 1  
Str. HRISOVULUI Nr. 2-4, Parter, Camera 1, Bl. 2, Ap. 88  
RO41889165

Scala: --

**PROGETTO**

Data:  
**15/12/2021**

PRELIMINARE



DEFINITIVO



AS BUILT



Richiedente:

**AVETRANA S.r.l.**  
Piazza Walther Von Vogelweide, 8  
39100 Bolzano  
Provincia di Bolzano  
P.IVA 03027960214

Tecnici e Professionisti:

*Dr. Geol. Giovanni Soldo*  
*Iscritto al n.481 Sez.A dell'Albo*  
*dell'Ordine dei Geologi della Basilicata*

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato
01	17/03/2021	Progetto Definitivo	F.P.L.	F.P.L.	F.P.L.
02	15/12/2021	Revisione	F.P.L.	F.P.L.	F.P.L.
03					
04					

Il Tecnico:

Dott. Ing. Giovanni Soldo  
(Iscritto al n. 481 sez.A, dell'Albo dell'Ordine dei Geologi della Basilicata)



Il Richiedente:

**AVETRANA S.r.l.**

Piazza Walther Von Vogelweide n.8 – 39100 Bolzano (BZ)  
P.iva: 03027960214

## REGIONE PUGLIA



COMUNE  
DI  
AVETRANA



## RILIEVO GEOMECCANICO



## SG1

### 1 - RILIEVO GEOMECCANICO PREMESSA

Per acquisire i dati, necessari allo studio di stabilità ed alle verifiche geotecniche delle eventuali soluzioni progettuali da mettere in atto, nell'area in esame sono state disposte diverse stazioni geomeccaniche la cui scelta è stata tale da rappresentare e caratterizzare geomeccanicamente l'ammasso roccioso nella sua totalità.

Per valutare la risposta sismoelastica dei terreni e caratterizzare il sito ai sensi del "D.M. 17 gennaio 2018" sono state realizzate indagini geofisiche consistenti in N. 1 prospezione sismica di tipo MASW. La determinazione dell'indice RMR ottenuto dalla classificazione dell'ammasso roccioso ha permesso, inoltre, la stima delle caratteristiche geomeccaniche, in correlazione con i dati desunti da bibliografia storica.

#### 1.1 - Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

E' noto che il comportamento meccanico degli ammassi rocciosi (insieme della roccia intatta e delle discontinuità in esso contenute) è fortemente influenzato dalle caratteristiche delle discontinuità. Gli attuali metodi di progettazione per fondazioni, versanti e scavi in sottoterraneo richiedono informazioni sulle discontinuità presenti all'interno degli ammassi rocciosi.

In particolare, le caratteristiche di resistenza al taglio alla scala dell'ammasso roccioso dipendono in gran parte da quelle disponibili lungo i piani di discontinuità e dall'orientazione di queste nello spazio: ogni analisi di stabilità riguardante ammassi rocciosi non può prescindere pertanto dal rilevamento delle superfici di discontinuità.

Le giaciture delle discontinuità sono rappresentate come ciclografiche dei piani in proiezione stereografica equiareale (emisfero inferiore) e come densità dei poli; le concentrazioni polari statisticamente significative sono descritte, per ogni famiglia dal polo centrale del set e dalla ciclografica relativa (ISRM, 1978; Priest, 1993). Risulta quindi indispensabile conoscere l'assetto strutturale dell'ammasso roccioso alla mesoscala (quella cioè dell'affioramento).

L'analisi in proiezione stereografica può essere efficacemente utilizzata per il riconoscimento dei possibili cinematismi di rottura, dipendendo questi dal rapporto tra assetto strutturale dell'ammasso e geometria dei fronti di scavo.

Le discontinuità in un ammasso roccioso condizionano in modo sostanziale il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso. È quindi importante, al fine di una corretta valutazione delle condizioni di stabilità, una precisa descrizione della struttura della massa e delle discontinuità sia in termini qualitativi che quantitativi. Il rilevamento geomeccanico, ha lo scopo di raccogliere informazioni

sulla giacitura delle discontinuità presenti, sulle loro condizioni idrauliche, sulla loro resistenza, alterazione e riempimento.

Nel presente lavoro lo studio dell'ammasso roccioso è stato effettuato tramite analisi delle giaciture delle discontinuità da parte di un operatore geologo.



**Figura 1 – Parete interessata dal rilievo geomeccanico**

Le strutture planari dell'ammasso roccioso, quali stratificazione, giunti, fratture, faglie, discontinuità, sono state misurate con la bussola da cui è stata ricavata la direzione di immersione e l'inclinazione.

Il rilievo geomeccanico è stato eseguito su di un ammasso roccioso nell'area preposta all'istallazione di un parco fotovoltaico, in agro al Comune di Avetrana, le cui coordinate in WGS84 sono: latitudine  $40.340056^\circ$  e longitudine  $17.744877^\circ$ . Si tratta di un affioramento roccioso di origine naturale poco fratturato in cui non sono stati riscontrati blocchi potenzialmente instabili.

Il tipo di ammasso, definito in base alla geometria dei blocchi, ricade all'interno della categoria massivo poco fratturato, con due famiglie di discontinuità, classifica (IRSM, 1978), con spaziature vicine e dimensioni dei blocchi diverse tra loro. La struttura è stratificata con spessore degli strati che arriva fino ad 1 m e ricadenti sempre nella stessa litologia.

Le fratture ed i giunti risultano parzialmente chiusi e lo spazio tra le fratture può essere vuoto oppure riempito con blocchi più piccoli e qualche volta con terra rossa, derivante dall'alterazione chimica e fisica, e/o calcite spatica.

La resistenza alla compressione uniassiale della roccia è stata determinata da dati statistici di analisi di laboratorio su campioni di roccia geologicamente assimilabili.

Sia per il valore della resistenza a compressione che per il peso di volume è stata calcolata una media statistica a cui corrispondono i seguenti valori:

$$\sigma_c = 25.55 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 23.53 \text{ kN/m}^3$$

L'indice  $J_v$  (Volumetric Joint Count) è definito come la somma del numero di giunti per metro per ogni set di joint presente. Sulla base dell'indice  $J_v$ , L'ISRM ha proposto una serie di termini descrittivi della dimensione media dei blocchi che caratterizzano l'ammasso.

L'indice  $I_b$  vuole rappresentare la dimensione medie del blocco roccioso "tipico" e viene stimato scegliendo soggettivamente alcuni blocchi di taglia "tipica" e misurandone le dimensioni.

Nel nostro caso si rientra nella categoria di blocchi con dimensioni medie in cui il  $J_v$  è compreso in un range di 3-10 *joints* per  $\text{m}^3$ .

La principale forma dei blocchi è prismatica.

## 1.2 - Classificazione dell'ammasso roccioso

### 1.2.1 - Indice RQD

La spaziatura tra due discontinuità è definita come la distanza tra una coppia di discontinuità misurata lungo una linea di una certa orientazione. Sono distinti tre tipi di spaziatura:

1. **spaziatura totale** (rappresenta la spaziatura tra due discontinuità immediatamente adiacenti lungo la linea di scansione);
2. **spaziatura del set**: è la spaziatura tra due discontinuità dello stesso set immediatamente adiacenti lungo la linea di scansione;
3. **spaziatura normale del set** ( $X_n$ ): è la spaziatura tra due discontinuità dello stesso set immediatamente adiacenti misurata lungo la normale media del set.

E' possibile stimare la qualità dell'ammasso roccioso mediante il valore rappresentativo delle spaziature totali  $X_t$ . In particolare si desume il grado di fratturazione (R.Q.D.) mediante la Tabella proposta da Deere (1963).

### Rock Quality Designation

RQD	Qualità
90% - 100%	Molto Buona
75% - 90%	Buona
50% - 75%	Discreta
25% - 50%	Scadente
<25%	Molto scadente

Questo parametro fornisce un'indicazione diretta del grado di fratturazione dell'ammasso ed ha un peso notevole nelle classificazioni geomeccaniche e nella stima dei parametri di permeabilità e deformabilità dell'ammasso. Il calcolo dell'RQD viene eseguito mediante la seguente formula

$$RQD = 100 \cdot \sum_{i=1}^n X_{ti} / L$$

$X_{ti}$  = Lunghezze delle discontinuità maggiori di 10 cm

### **RQD = 78%**

Sulla base della tabella proposta da Deere (1963) risulta che la nostra percentuale dell'RQD è compreso tra 75% e 90% a cui corrisponde una qualità dell'ammasso **Buona**.

L'RQD è stato calcolato nei settori più fratturati dell'intera parete rocciosa per avere un parametro significativo della qualità dell'ammasso roccioso secondo questo indice.

### 1.2.2 - Classificazione geomeccanica di Bieniawski

Per valutare la qualità dell'ammasso roccioso è stata applicata la classificazione RMR di Bieniawski sia del 1976 sia del 1989 e l'indice GSI ricavato dall'indice RMR.

La classificazione RMR (Bieniawski) si basa su parametri, acquisiti direttamente sull'ammasso affiorante. Essi comprendono la resistenza a compressione uni assiale della roccia intatta, l'indice RQD, il numero dei principali sistemi di discontinuità, le loro caratteristiche in termini di spaziatura, lunghezza, rugosità, apertura, riempimento ed alterazione. A questi si aggiungono le condizioni idrauliche e l'orientazione relativa delle famiglie di discontinuità. La classificazione GSI (Hoek, 1980) è molto più semplice ed intuitiva e si basa sull'aspetto generale dell'ammasso e sul suo grado di alterazione.

La classificazione geomeccanica di Bieniawski (sistema RMR) Prende in considerazione sei diversi parametri:

- R1) resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- R2) RQD (Rock Quality Designation);
- R3) spaziatura delle discontinuità;
- R4) condizioni delle discontinuità;
- R5) condizioni dell'acqua di falda;
- R6) orientazione delle discontinuità

Per ognuno dei primi cinque parametri viene attribuito un punteggio, che è massimo per le rocce di migliore qualità. Il punteggio massimo è diverso per ogni parametro, denotando la maggior importanza

di alcuni rispetto ad altri nel descrivere il comportamento dell'ammasso roccioso, e, quindi, la sua qualità.

I valori dell'indice RMR (Rock Mass Rating), necessario per la classificazione, si ottengono:

$$RMR_{base} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$RMR_{corretto} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

In base al rilevamento geomeccanico effettuato i nostri risultati possono essere riepilogati nella tabella sottostante:

PARAMETRI	VALORE	COEFFICIENTI NUMERICI	P
Co (MPa)	24	3.2	P1
RQD (%)	78	15.3	P2
Spaziatura (m)	0.2	8	P3
Condizioni discontinuità	Discontinuità rugose	25	P4
Acqua	< 10 l/min	10	P5
Orientamento	favorevole	-2	P6
RMR <sub>a</sub> (asciutto)		52	
RMR <sub>b</sub> (di base)		62	
RMR <sub>c</sub> (corretto)		37	
QUALITA' DELLA ROCCIA	DISCRETA	60	

Considerando che i parametri di resistenza (coesione e angolo di attrito) dipendono dalle caratteristiche intrinseche dell'ammasso roccioso e sono indipendenti dalla geometria e giacitura delle discontinuità, se ne deduce, come precisato dallo stesso Autore, che i detti parametri si calcolano utilizzando l'indice RMR base :

la coesione è data da  $c = 5 \times RMR_{base}$  (kN/m<sup>2</sup>)

l'angolo di attrito interno è dato da  $\phi = 0,5 \times RMR_{base} + 5$  (°)

Nel nostro caso avremo:

**coesione c = 310 (kN/m<sup>2</sup>) angolo di attrito interno = 36 °; E = 24.00 (GPa).**

### 1.2.3 Classificazione di Barton - Q

I parametri per ricavare la qualità rispondente sono i seguenti:

RQD (Indice di recupero percentuale modificato RQD (RockQualityDesignation)): qualità Buona, pari a 78%, ricavato da  $jv$  immesso pari a 11.2

Jn (Numero di sistemi di discontinuità (Joint Set Number)): una famiglia più random, corrispondente al parametro 3

Jr (Scabrezza delle discontinuità (Joint Roughnes Number)): scabri o irregolari, ondulati, corrispondente al parametro 3

Ja (Riempimento e alterazione delle fratture (Joint Alteration Number)): riempimento impermeabile, non rammollente, cementante, resistente, corrispondente al parametro 0.75

Jw (Condizioni idrauliche (Joint Water Reduction Factor)): venute d'acqua medie o pressione occasionale nei giunti con dilavamento del materiale di riempimento, corrispondente al parametro 0.66

SRF (Fattore di riduzione per le condizioni di carico litostatico (Stress Reduction Factor)): roccia con fratture serrate e condizioni medie di carico litostatico, corrispondente al parametro 1

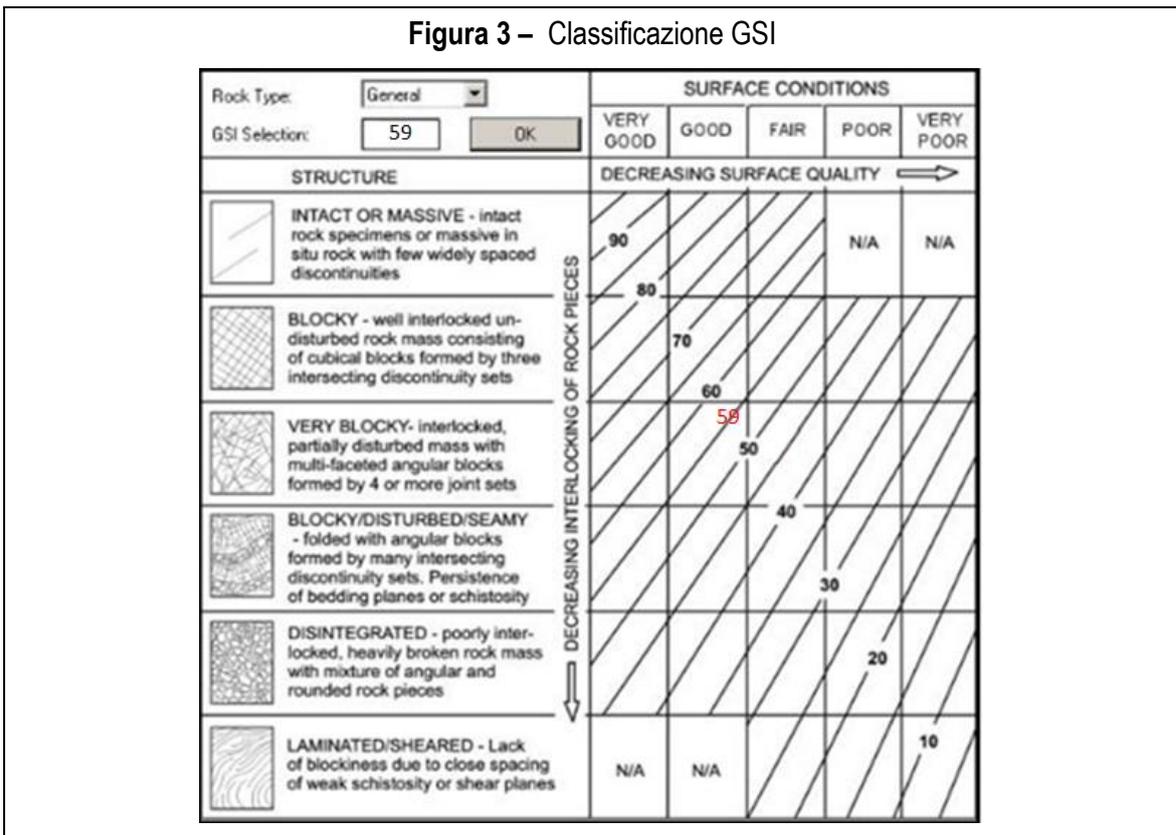
e si è pervenuto ad un indice Q pari a: 68 rispondente a una qualità dell'ammasso roccioso MOLTO BUONA

#### 1.2.4 - Classificazione Geological Strenght Index (GSI)

Il concetto sviluppato da Hoek e che è alla base del GSI è molto semplice: combinare l'assetto strutturale dell'ammasso con le caratteristiche delle discontinuità che lo separano, per arrivare ad un valore indice che permetta il suo utilizzo per una valutazione accurata della resistenza e della deformabilità di un ammasso roccioso. Il GSI nella sua forma più recente vede la sua valutazione affidata all'utilizzo di un semplice grafico (fig. 3) dove le caratteristiche strutturali dell'ammasso in termini di grado di fatturazione e disturbo tettonico sono intercorrelate con le caratteristiche della superficie delle discontinuità in termini di rugosità, alterazione e riempimento della frattura.

La definizione dell'Indice GSI comporta la valutazione degli stessi parametri necessari per la determinazione dell'Indice RMR con la differenza che il parametro "Venute d'acqua" viene tenuto fisso a 15 e con la differente formula risolutiva che comunque richiama parametri dell'indice RMR. In base alla classificazione dell'ammasso roccioso e della sua superficie di discontinuità è dunque possibile riferirsi a una specifica cella della tabella 5x5, la quale fornisce un intervallo di valori stimati per GSI nelle condizioni in esame così definito: *"ammasso roccioso a blocchi, massa parzialmente disturbata intrecciata con blocchi angolari sfaccettati formati da 4 o più serie di giunti"*

Figura 3 – Classificazione GSI



#### 1.2.4 - Classificazione di Jasarevic & Kovacevic

I parametri per ricavare la qualità rispondente sono i seguenti:

Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta : -  $S_u < 40$  MPa

Indice point load misurato perpendicolarmente alla discontinuità principale : -  $I_s (\perp) > 5.7$  MPa

Indice point load misurato parallelamente alla discontinuità principale : -  $I_s (//) > 0.8$  MPa

Velocità sismica delle onde longitudinali : -  $V_p > 6.5$  Km/s

Velocità sismica di riferimento (roccia intatta) delle onde longitudinali : -  $V_p/V_o > 0.8$

Inclinazione della discontinuità più sfavorevole : -  $\alpha = 0^\circ \sim 20^\circ$

Venute d'acqua : - acqua = A (assente)

Indice di recupero percentuale modificato : - RQD > 65 %

Numero di giunti per m<sup>3</sup> : -  $J_v = 10 \sim 15$

Spaziatura delle discontinuità : -  $S < 6$  cm

Proprietà dei giunti : - JRC < 4 o riempiti

e si è pervenuto ad un indice n pari a: 2.45

Si è calcolato anche l'indice RMRc = 60.91 derivandone le seguenti caratteristiche :

$C = 220.8$  kPa

$\Phi = 40.23^\circ$

$E = 11391.66 \text{ MPa}$

## 2 - Caratteristiche geotecniche dei terreni e valutazione dei valori caratteristici

Il rilievo geolitologico di dettaglio unitamente ai risultati del rilievo geomeccanico integrati con le statistiche di analisi di laboratorio su rocce assimilabili, hanno permesso di verificare la stratigrafia locale e di attribuire le caratteristiche geotecniche degli orizzonti geologici individuati nel sito.

Il Nuovo D.M. 17/01/2018 prevede la definizione dei valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuirsi ai terreni, dove per valore caratteristico si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro con riferimento ad un particolare stato limite. Coerentemente con quanto indicato dall'EC7 si è proceduto alla definizione di tali valori mediante una analisi statistica, a partire da dati derivati, a seconda dei casi, o da prove di laboratorio o da letteratura.

Dalle osservazioni eseguite sull'area di intervento è emerso che l'ammasso roccioso oggetto di studio è costituito prevalentemente da:

Calcareniti organogene, variamente cementate, porose, biancastre, grigie e giallognole, costituite da clasti derivanti dalla degradazione dei calcari cretacei; si presentano poco fratturati e stratificati e superficialmente alterati.

I valori dei parametri caratteristici sono stati ottenuti attraverso le seguenti procedure:

Il valore del peso di volume, il valore della coesione, il valore della resistenza al taglio sono stati ricavati dalla media aritmetica dei valori ricavati con la classificazione dell'ammasso roccioso di Bieniawski e quelli ottenuti con il criterio di Jasarevic & Kovacevic.

Id indagine	Litotipo	$\gamma_K \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$c_K \text{ (kPa)}$	$\phi_K \text{ (}^\circ\text{)}$	$E \text{ (MPa)}$
<b>SG1</b>	Calcareniti Massiva	24.51	298.5	41	20531.74

suddetti parametri sono da considerarsi **indicativi** e la loro scelta ricade nella piena responsabilità del progettista per quanto riguarda le ipotesi e le scelte progettuali.

## **SG2**

### **1 - RILIEVO GEOMECCANICO PREMESSA**

Per acquisire i dati, necessari allo studio di stabilità ed alle verifiche geotecniche delle eventuali soluzioni progettuali da mettere in atto, nell'area in esame sono state disposte diverse stazioni geomeccaniche la cui scelta è stata tale da rappresentare e caratterizzare geomeccanicamente l'ammasso roccioso nella sua totalità.

Per valutare la risposta sismoelastica dei terreni e caratterizzare il sito ai sensi del "D.M. 17 gennaio 2018" sono state realizzate indagini geofisiche consistenti in N. 1 prospezione sismica di tipo MASW. La determinazione dell'indice RMR ottenuto dalla classificazione dell'ammasso roccioso ha permesso, inoltre, la stima delle caratteristiche geomeccaniche, in correlazione con i dati desunti da bibliografia storica.

#### **1.1 - Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso**

E' noto che il comportamento meccanico degli ammassi rocciosi (insieme della roccia intatta e delle discontinuità in esso contenute) è fortemente influenzato dalle caratteristiche delle discontinuità. Gli attuali metodi di progettazione per fondazioni, versanti e scavi in sotterraneo richiedono informazioni sulle discontinuità presenti all'interno degli ammassi rocciosi.

In particolare, le caratteristiche di resistenza al taglio alla scala dell'ammasso roccioso dipendono in gran parte da quelle disponibili lungo i piani di discontinuità e dall'orientazione di queste nello spazio: ogni analisi di stabilità riguardante ammassi rocciosi non può prescindere pertanto dal rilevamento delle superfici di discontinuità.

Le giaciture delle discontinuità sono rappresentate come ciclografiche dei piani in proiezione stereografica equiareale (emisfero inferiore) e come densità dei poli; le concentrazioni polari statisticamente significative sono descritte, per ogni famiglia dal polo centrale del set e dalla ciclografica relativa (ISRM, 1978; Priest, 1993). Risulta quindi indispensabile conoscere l'assetto strutturale dell'ammasso roccioso alla mesoscala (quella cioè dell'affioramento).

L'analisi in proiezione stereografica può essere efficacemente utilizzata per il riconoscimento dei possibili cinematismi di rottura, dipendendo questi dal rapporto tra assetto strutturale dell'ammasso e geometria dei fronti di scavo.

Le discontinuità in un ammasso roccioso condizionano in modo sostanziale il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso. È quindi importante, al fine di una corretta valutazione delle condizioni di stabilità, una precisa descrizione della struttura della massa e delle discontinuità sia in termini qualitativi che quantitativi. Il rilevamento geomeccanico, ha lo scopo di raccogliere informazioni

sulla giacitura delle discontinuità presenti, sulle loro condizioni idrauliche, sulla loro resistenza, alterazione e riempimento.

Nel presente lavoro lo studio dell'ammasso roccioso è stato effettuato tramite analisi delle giaciture delle discontinuità da parte di un operatore geologo.



**Figura 1** – Parete interessata dal rilievo geomeccanico

Le strutture planari dell'ammasso roccioso, quali stratificazione, giunti, fratture, faglie, discontinuità, sono state misurate con la bussola da cui è stata ricavata la direzione di immersione e l'inclinazione. Il rilievo geomeccanico è stato eseguito su di un ammasso roccioso nell'area preposta all'installazione di un parco fotovoltaico, in agro al Comune di Avetrana, le cui coordinate in WGS84 sono: latitudine  $40.344918^\circ$  e longitudine  $17.756920^\circ$ . Si tratta di un affioramento roccioso di origine naturale poco fratturato in cui non sono stati riscontrati blocchi potenzialmente instabili.

Il tipo di ammasso, definito in base alla geometria dei blocchi, ricade all'interno della categoria massivo poco fratturato, con due famiglie di discontinuità, classifica (IRSM, 1978), con spazature vicine e dimensioni dei blocchi diverse tra loro. La struttura è stratificata con spessore degli strati che arriva fino ad 1 m e ricadenti sempre nella stessa litologia.

Le fratture ed i giunti risultano parzialmente chiusi e lo spazio tra le fratture può essere vuoto oppure riempito con blocchi più piccoli e qualche volta con terra rossa, derivante dall'alterazione chimica e fisica, e/o calcite spatica.

La resistenza alla compressione uniassiale della roccia è stata determinata da dati statistici di analisi di laboratorio su campioni di roccia geologicamente assimilabili.

Sia per il valore della resistenza a compressione che per il peso di volume è stata calcolata una media statistica a cui corrispondono i seguenti valori:

$$\sigma_c = 27.21 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 24.51 \text{ kN/m}^3$$

L'indice  $J_v$  (Volumetric Joint Count) è definito come la somma del numero di giunti per metro per ogni set di joint presente. Sulla base dell'indice  $J_v$ , L'ISRM ha proposto una serie di termini descrittivi della dimensione media dei blocchi che caratterizzano l'ammasso.

L'indice  $I_b$  vuole rappresentare la dimensione medie del blocco roccioso "tipico" e viene stimato scegliendo soggettivamente alcuni blocchi di taglia "tipica" e misurandone le dimensioni.

Nel nostro caso si rientra nella categoria di blocchi con dimensioni medie in cui il  $J_v$  è compreso in un range di 3-10 *joints* per  $\text{m}^3$ .

La principale forma dei blocchi è prismatica.

## 2 - CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

### 2.1 - Indice RQD

La spaziatura tra due discontinuità è definita come la distanza tra una coppia di discontinuità misurata lungo una linea di una certa orientazione. Sono distinti tre tipi di spaziatura:

1. **spaziatura totale** (rappresenta la spaziatura tra due discontinuità immediatamente adiacenti lungo la linea di scansione);
2. **spaziatura del set**: è la spaziatura tra due discontinuità dello stesso set immediatamente adiacenti lungo la linea di scansione;
3. **spaziatura normale del set** ( $X_n$ ): è la spaziatura tra due discontinuità dello stesso set immediatamente adiacenti misurata lungo la normale media del set.

E' possibile stimare la qualità dell'ammasso roccioso mediante il valore rappresentativo delle spaziature totali  $X_t$ . In particolare si desume il grado di fratturazione (R.Q.D.) mediante la Tabella proposta da Deere (1963).

#### Rock Quality Designation

RQD	Qualità
90% - 100%	Molto Buona
<b>75% - 90%</b>	<b>Buona</b>
50% - 75%	Discreta
25% - 50%	Scadente
<25%	Molto scadente

Questo parametro fornisce un'indicazione diretta del grado di fratturazione dell'ammasso ed ha un peso notevole nelle classificazioni geomeccaniche e nella stima dei parametri di permeabilità e deformabilità dell'ammasso. Il calcolo dell'RQD viene eseguito mediante la seguente formula

$$RQD = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n X_{ti}}{L}$$

$X_{ti}$  = Lunghezze delle discontinuità maggiori di 10 cm

**RQD = 84%**

Sulla base della tabella proposta da Deere (1963) risulta che la nostra percentuale dell'RQD è compreso tra 75% e 90% a cui corrisponde una qualità dell'ammasso **Buona**.

L'RQD è stato calcolato nei settori più fratturati dell'intera parete rocciosa per avere un parametro significativo della qualità dell'ammasso roccioso secondo questo indice.

## **2.2 - Classificazione geomeccanica di Bieniawski**

Per valutare la qualità dell'ammasso roccioso è stata applicata la classificazione RMR di Bieniawski sia del 1976 sia del 1989 e l'indice GSI ricavato dall'indice RMR.

La classificazione RMR (Bieniawski) si basa su parametri, acquisiti direttamente sull'ammasso affiorante. Essi comprendono la resistenza a compressione uni assiale della roccia intatta, l'indice RQD, il numero dei principali sistemi di discontinuità, le loro caratteristiche in termini di spaziatura, lunghezza, rugosità, apertura, riempimento ed alterazione. A questi si aggiungono le condizioni idrauliche e l'orientazione relativa delle famiglie di discontinuità. La classificazione GSI (Hoek, 1980) è molto più semplice ed intuitiva e si basa sull'aspetto generale dell'ammasso e sul suo grado di alterazione.

La classificazione geomeccanica di Bieniawski (sistema RMR) Prende in considerazione sei diversi parametri:

R1) resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;

R2) RQD (Rock Quality Designation);

R3) spaziatura delle discontinuità;

R4) condizioni delle discontinuità;

R5) condizioni dell'acqua di falda;

R6) orientazione delle discontinuità

Per ognuno dei primi cinque parametri viene attribuito un punteggio, che è massimo per le rocce di migliore qualità. Il punteggio massimo è diverso per ogni parametro, denotando la maggior importanza di alcuni rispetto ad altri nel descrivere il comportamento dell'ammasso roccioso, e, quindi, la sua qualità.

I valori dell'indice RMR (Rock Mass Rating), necessario per la classificazione, si ottengono:

$$RMR_{base} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$RMR_{corretto} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

In base al rilevamento geomeccanico effettuato i nostri risultati possono essere riepilogati nella tabella sottostante:

PARAMETRI	VALORE	COEFFICIENTI NUMERICI	P
Co (MPa)	25	4	P1
RQD (%)	84	17	P2
Spaziatura (m)	0.6	5	P3
Condizioni discontinuità	Discontinuità molto scabre	30	P4
Acqua	0 l/min	15	P5
Orientamento	favorevole	-2	P6
RMR <sub>a</sub> (asciutto)		55	
RMR <sub>b</sub> (di base)		70	
RMR <sub>c</sub> (corretto)		68	
QUALITA' DELLA ROCCIA	BUONA		

Considerando che i parametri di resistenza (coesione e angolo di attrito) dipendono dalle caratteristiche intrinseche dell'ammasso roccioso e sono indipendenti dalla geometria e giacitura delle discontinuità, se ne deduce, come precisato dallo stesso Autore, che i detti parametri si calcolano utilizzando l'indice RMR base :

la coesione è data da  $c = 5 \times RMR_{base}$  (kN/m<sup>2</sup>)

l'angolo di attrito interno è dato da  $\phi = 0,5 \times RMR_{base} + 5$  (°)

Nel nostro caso avremo:

**coesione  $c = 350$  (kN/m<sup>2</sup>) angolo di attrito interno =  $40$  °;  $E = 40.00$  (GPa).**

### 2.3 - Classificazione di Barton - Q

I parametri per ricavare la qualità rispondente sono i seguenti:

RQD (Indice di recupero percentuale modificato RQD (RockQualityDesignation)): qualità Buona, pari a 84%, ricavato da  $j_v$  immesso pari a 9.5

$J_n$  (Numero di sistemi di discontinuità (Joint Set Number)): una famiglia, corrispondente al parametro 2

$J_r$  (Scabrezza delle discontinuità (Joint Roughnes Number)): scabri o irregolari, ondulati, corrispondente al parametro 3

$J_a$  (Riempimento e alterazione delle fratture (Joint Alteration Number)): riempimento impermeabile, non rammollente, cementante, resistente, corrispondente al parametro 0.75

$J_w$  (Condizioni idrauliche (Joint Water Reduction Factor)): scavo in assenza di acqua o venute ridotte,

5 l/min localizzate, corrispondente al parametro 1

SRF (Fattore di riduzione per le condizioni di carico litostatico (Stress Reduction Factor)): roccia con fratture serrate e condizioni medie di carico litostatico, corrispondente al parametro 1

e si è pervenuto ad un indice Q pari a: 168 rispondente a una qualità dell'ammasso roccioso ESTREMAMENTE BUONA

#### **2.4 - Classificazione Geological Strength Index (GSI)**

Il concetto sviluppato da Hoek e che è alla base del GSI è molto semplice: combinare l'assetto strutturale dell'ammasso con le caratteristiche delle discontinuità che lo separano, per arrivare ad un valore indice che permetta il suo utilizzo per una valutazione accurata della resistenza e della deformabilità di un ammasso roccioso. Il GSI nella sua forma più recente vede la sua valutazione affidata all'utilizzo di un semplice grafico (fig. 3) dove le caratteristiche strutturali dell'ammasso in termini di grado di fratturazione e disturbo tettonico sono intercorrelate con le caratteristiche della superficie delle discontinuità in termini di rugosità, alterazione e riempimento della frattura.

La definizione dell'Indice GSI comporta la valutazione degli stessi parametri necessari per la determinazione dell'Indice RMR con la differenza che il parametro "Venute d'acqua" viene tenuto fisso a 15 e con la differente formula risolutiva che comunque richiama parametri dell'indice RMR. In base alla classificazione dell'ammasso roccioso e della sua superficie di discontinuità è dunque possibile riferirsi a una specifica cella della tabella 5x5, la quale fornisce un intervallo di valori stimati per GSI nelle condizioni in esame così definito: *"ammasso roccioso ben interbloccato non disturbato costituito da blocchi cubici formati da tre insiemi di discontinuità intersecanti"*

**Figura 3 – Classificazione GSI**

Rock Type: <input type="text" value="General"/> <input type="button" value="OK"/>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="64"/>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70 64 60			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		50			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity		40			
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			30		
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes				20	
						10
		N/A	N/A			

## 2.5 - Classificazione di Jasarevic & Kovacevic

I parametri per ricavare la qualità rispondente sono i seguenti:

Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta : -  $S_u = 40 \sim 100$  MPa

Indice point load misurato perpendicolarmente alla discontinuità principale : -  $I_s (\perp) > 5.7$  MPa

Indice point load misurato parallelamente alla discontinuità principale : -  $I_s (//) > 0.8$  MPa

Velocità sismica delle onde longitudinali : -  $V_p > 6.5$  Km/s

Velocità sismica di riferimento (roccia intatta) delle onde longitudinali : -  $V_p/V_o > 0.8$

Inclinazione della discontinuità più sfavorevole : -  $\alpha = 0^\circ \sim 20^\circ$

Venute d'acqua : - acqua = A (assente)

Indice di recupero percentuale modificato : -  $RQD > 65$  %

Numero di giunti per m<sup>3</sup> : -  $J_v = 5 \sim 10$

Spaziatura delle discontinuità : -  $S = 6 \sim 10$  cm

Proprietà dei giunti : -  $JRC = 4 \sim 8$

e si è pervenuto ad un indice n pari a: 2.09

Si è calcolato anche l'indice  $RMR_c = 68.18$  derivandone le seguenti caratteristiche :

$C = 247.16$  kPa

$\Phi = 42.05^\circ$

$E = 20531.74$  MPa

## 2.6 - Caratteristiche geotecniche dei terreni e valutazione dei valori caratteristici

Il rilievo geolitologico di dettaglio unitamente ai risultati del rilievo geomeccanico integrati con le statistiche di analisi di laboratorio su rocce assimilabili, hanno permesso di verificare la stratigrafia locale e di attribuire le caratteristiche geotecniche degli orizzonti geologici individuati nel sito.

Il Nuovo D.M. 17/01/2018 prevede la definizione dei valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuirsi ai terreni, dove per valore caratteristico si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro con riferimento ad un particolare stato limite. Coerentemente con quanto indicato dall'EC7 si è proceduto alla definizione di tali valori mediante una analisi statistica, a partire da dati derivati, a seconda dei casi, o da prove di laboratorio o da letteratura.

Dalle osservazioni eseguite sull'area di intervento è emerso che l'ammasso roccioso oggetto di studio è costituito prevalentemente da:

Calcarenite organogene, variamente cementate, porose, biancastre, grigie e giallognole, costituite da clasti derivanti dalla degradazione dei calcari cretacei; si presentano poco fratturati e stratificati e superficialmente alterati.

I valori dei parametri caratteristici sono stati ottenuti attraverso le seguenti procedure: Il valore del peso di volume, il valore della coesione, il valore della resistenza al taglio sono stati ricavati dalla media aritmetica dei valori ricavati con la classificazione dell'ammasso roccioso di Bieniawski e quelli ottenuti con il criterio di Jasarevic & Kovacevic.

Litotipo	$\gamma_K$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_k$ (kPa)	$\varphi_K$ (°)	$E$ (MPa)
Calcarenite Massiva	24.51	298.5	41	20531.74

*I suddetti parametri sono da considerarsi **indicativi** e la loro scelta ricade nella piena responsabilità del progettista per quanto riguarda le ipotesi e le scelte progettuali.*

---

Potenza, Dicembre 2021

**Dott. Geol. Soldo Giovanni**



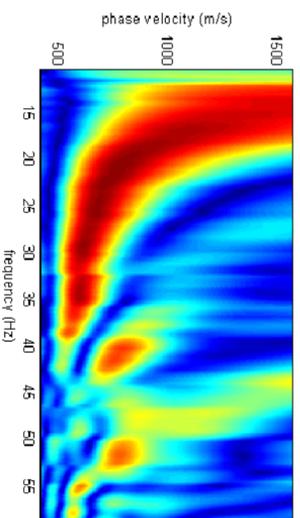
**GEOLOGO**  
 Dott. Giovanni Soldo  
 Via P. di Chirico, 48, Venosa  
 cell.: 334 98 53 647 - soldogiovanni@gmail.com  
 P.IVA: 01923490761 - S.I.D.G.N. S.I.D.I.T.: 3360

## PROSPERZIONE GEOFISICA DI TIPO MASW01

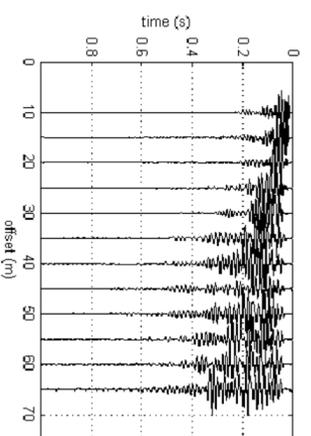
Commitente: ATOM S.R.L.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 36.288,00 KW DA REALIZZARE SU AREA "EX CAVA"

SPETTRO DI VELOCITÀ



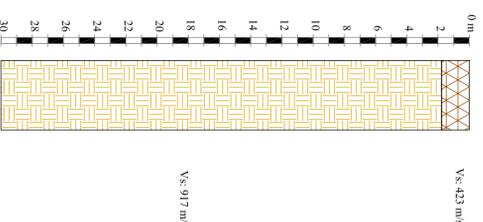
TRACCE NORMALIZZATE



FOTO



PROFLO VERTICALE VS



Vs: 917 m/s

Descrizione Geotecnica

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.

Cat. Suolo  
B

V<sub>S30</sub> (m/s)  
423



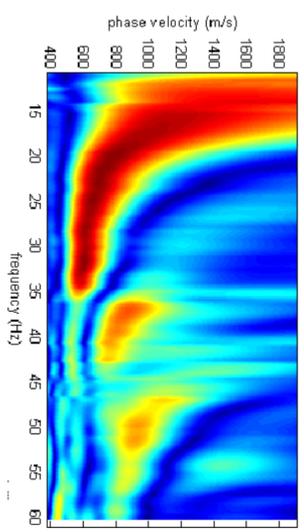
**GEOLOGO**  
 Dott. Giovanni Soldo  
 Via P. di Chirico, 48, Venosa  
 cell.: 334 98 53 647 - soldogiovanni@gmail.com  
 P.IVA: 01923490761 - S.I.D.G.N. S.I.D.I.T.: 3360

## PROSPERZIONE GEOFISICA DI TIPO MASW02

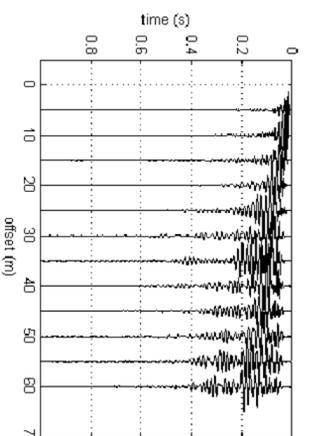
Commitente: ATOM S.R.L.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 36.288,00 KW DA REALIZZARE SU AREA "EX CAVA"

SPETTRO DI VELOCITÀ



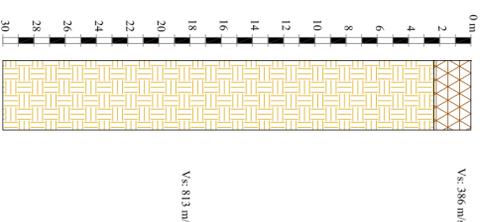
TRACCE NORMALIZZATE



FOTO



PROFLO VERTICALE VS



Vs: 813 m/s

Descrizione Geotecnica

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.

Cat. Suolo  
B

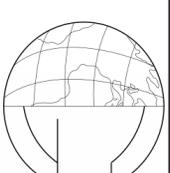
V<sub>S30</sub> (m/s)  
386

Descrizione Geotecnica

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.

Cat. Suolo  
B

V<sub>S30</sub> (m/s)  
386



Studio di Geologia Tecnica & Prospezione Geofisica e Ambientale

Dott. Geol. Giovanni Soldo

Via P. di Chirico, 48 - 85029 Venosa (PZ)

Cell.: 334 98 53 647 - e-mail: soldogiovanni@gmail.com

REGIONE PUGLIA

COMUNE  
DI  
AVETRANA



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO  
 CONNESSO ALLA RETE DELLA POTENZA DI PICCO PARI A  
 36.288,00 KW DA REALIZZARE SU AREA "EX CAVA"

PROSPERZIONE MASW

Commitente: ATOM S.r.l.

Il Geologo

Dott. Giovanni SOLDO

Data: Gennaio 2021

