

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO DI VALCIMARRA II
Installazione di un nuovo gruppo reversibile
Centrale di Valcimarra
Comune di Caldarola (MC)

Progetto Definitivo per Autorizzazione
RELAZIONE GEOTECNICA

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	30/04/2022	Emissione	D.Battaglia	C.Piccinin F.Maugliani	A.Balestra

GRE VALIDATION

	Support Team: G.RIPELLINO	Project Engineer: F.PODIO
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT

ANAPO

GRE CODE

GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION
GRE	EEC	D	99	IT	H	17168	000	007	00

CLASSIFICATION PUBLIC

UTILIZATION SCOPE PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

00	30.04.2022	Battaglia	MFr/Bal
Versione	Data	Redatto	Verificato

Lombardi SA Ingegneri Consulenti
Via del Tiglio 2, C.P. 934, CH-6512 Bellinzona-Giubiasco
Telefono +41(0)91 735 31 00
www.lombardi.group, info@lombardi.group

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
3.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	5
3.1	Rilievi geomeccanici	6
3.2	Point load Test	9
3.3	Indagini diga del Fiastrone	9
3.3.1	RQD	11
3.3.2	Prove dilatometriche	11
3.3.3	Lugeon	11
3.3.4	Laboratorio rocce	12
4.	MODELLO GEOTECNICO	16
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	20
5.1	Parametri roccia intatta	21
5.2	Parametri ammasso roccioso UG1	21
6.	CONDIZIONI GEOTECNICHE DELLE OPERE	23
7.	BIBLIOGRAFIA	24
7.1	Riferimenti tecnico scientifici	24
7.2	Norme tecniche applicabili	24
7.3	Documenti storici sull'opera	24
7.4	Documenti forniti dalla Committenza	25
7.5	Documenti di progetto	25

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Ubicazione della centrale di Valcimarra	1
Figura 2: Planimetria generale dell'impianto idroelettrico di Valcimarra (in alto), in rosso la posizione della Centrale. Schema idraulico della centrale (in basso). (Da [16][17] - parz.ridisegnato).....	5
Figura 3: Ubicazione stazioni di rilievo geomeccanico.....	6

Figura 4: Stereogramma delle misure registrate nei 2 rilievi geomeccanici e delle relative famiglie principali di discontinuità.	7
Figura 5: ubicazione della diga del Fiastrone e della centrale di Valcimarra.	10
Figura 6: ubicazione dei sondaggi geognostici della diga del Fiastrone che interessano la roccia di fondazione.	10
Figura 7: Sezione geologico-geotecnica trasversale	17
Figura 8: Sezione geologico-geotecnica longitudinale.....	17
Figura 9: Stereoplot delle discontinuità misurate nei 2 rilievi geomeccanici eseguiti.....	18
Figura 10: Distribuzione classi di ammasso ottenute dai rilievi geomeccanici e condizione di riferimento per l'unità geomeccanica UG1 nel grafico del GSI [5][6].	19
Figura 11: Criteri di rottura secondo Mohr-Coulomb (blu) e Hoek-Brown (rosso) per l'unità geotecnica UG1.	22

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Riassunto delle caratteristiche principali dei rilievi geomeccanici	7
Tabella 2: Riassunto delle famiglie di giunti principali dei rilievi geomeccanici (Imm. Immersione; Incl: inclinazione)	7
Tabella 3: Tabella di riferimento per la definizione della rugosità a scala metrica J_w da Cai [4].	8
Tabella 4: Tabella di riferimento per la definizione della rugosità a scala centimetrica J_s da Cai [4] ..	8
Tabella 5: Tabella di riferimento per la definizione della condizione di alterazione dei giunti J_a da Barton [1].	8
Tabella 6: Riassunto delle caratteristiche di ammasso dai rilievi geomeccanici	9
Tabella 7: Statistica dei risultati delle prove di Point Load.	9
Tabella 8: Valori statistici di RQD per la litologia indagata.	11
Tabella 9: Valori statistici dei moduli dilatometrici in ammasso di Maiolica presso la diga del Fiastrone.	11
Tabella 10: Valori statistici di permeabilità Lugeon in ammasso di Maiolica presso la diga del Fiastrone.	12
Tabella 11: Risultati statistici delle misure del peso di volume apparente e reale.	12
Tabella 12: Risultati statistici della porosità.....	12
Tabella 13: Risultati statistici delle misure delle velocità soniche.	13

Tabella 14: Risultati statistici delle misure della compressione monoassiale.	13
Tabella 15: Risultati statistici delle misure del modulo E.	13
Tabella 16: Risultati statistici delle misure del Coefficiente di Poisson.	14
Tabella 17: Risultati delle medie delle prove triassiali eseguite su campioni di Maiolica dei sondaggi della diga del Fiastrone.	14
Tabella 18: Risultati statistici delle misure del modulo E.	14
Tabella 19: Risultati statistici delle misure del Coefficiente di Poisson.	15
Tabella 20: Sintesi delle caratteristiche delle principali famiglie di discontinuità incontrate	18
Tabella 21: Statistica dei risultati delle prove su campioni di Maiolica.	21
Tabella 22: Parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso roccioso UG1.	21

ALLEGATI

Allegato 1 Rilievi geomeccanici

Allegato 2 Schede Point Load

1. INTRODUZIONE

Enel Produzione S.p.A. ha affidato a Lombardi SA l'incarico professionale di ingegneria per la Progettazione DILA di una nuova centrale di pompaggio da realizzarsi nel versante immediatamente a tergo della centrale di Valcimarra, sito nel territorio dei comuni di Caldarola, in provincia di Macerata (MC). La centrale in caverna sfrutterà il salto tra i bacini di Fiastrone e Polverine le cui condotte di adduzione raggiungono la centrale di Valcimarra.

La presente relazione riguarda la definizione delle caratteristiche geotecniche dell'area interessata dal progetto.



Figura 1: Ubicazione della centrale di Valcimarra

- **Capitolo 1:** contiene l'introduzione al tema tecnico nel seguito sviluppato;
- **Capitolo 2:** descrive brevemente le caratteristiche dell'impianto esistente;
- **Capitolo 0:** descrive le indagini disponibili;
- **Capitolo 4:** descrive il modello geologico-geotecnico del sito;
- **Capitolo 5:** illustra la caratterizzazione geotecnica degli ammassi e dei giunti;
- **Capitolo 6:** elenca i riferimenti bibliografici

Sono inoltre inclusi i seguenti Allegati:

- Allegato 1: Rilievi Geomeccanici
- Allegato 2: Point Load Test

Gli elaborati progettuali a cui il presente rapporto fa riferimento sono:

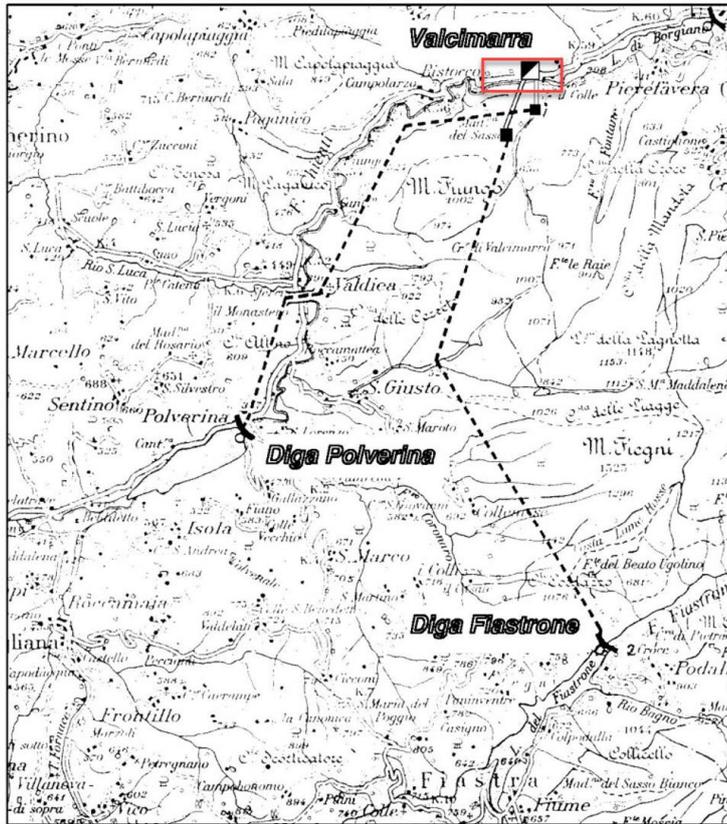
- GRE.EEC.R.29.IT.H.53223.00.104.00 Relazione Geologica
- GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.107.00 Carta geologico-geomorfologica generale (scala 1:5.000)
- GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.108.00 Carta geologico-geomorfologica di dettaglio (scala 1:500)
- GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.109.00 Sezione geologica generale del versante (scala 1:2.000)
- GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.110.00 Sezioni geologico-geotecniche trasversale e longitudinale della centrale (scala 1:500)

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La centrale di Valcimarra è ubicata nel comune Caldarola ed è alimentata da due derivazioni idrauliche provenienti dal serbatoio del Fiastrone, sul torrente omonimo, e dal bacino di Polverina, sul fiume Chienti. L'impianto è stato costruito nel 1952 con la derivazione sul T. Fiastrone ed ampliato nel 1967 con la derivazione sul F. Chienti (**Figura 2**). La Centrale è situata in destra del F. Chienti. Di seguito si riportano le caratteristiche principali dell'impianto idroelettrico.

L'invaso del Fiastrone, ubicato nel Comune di Fiastra, è stato realizzato per la regolazione stagionale delle portate del T. Fiastrone per la produzione di energia elettrica nella centrale di Valcimarra. Il bacino ha livello di ritenuta di 640 m slm e quota di massimo vaso di 641 m slm. La diga è di tipo ad arco-gravità con altezza del piano di coronamento a 642 m slm. La derivazione Fiastrone parte dall'opera di presa posta sulla sponda sinistra dell' vaso ed è costituita da una galleria in pressione di circa 8.9 km. Al termine della galleria, prima del pozzo piezometrico, è presente una camera di espansione con ampliamento interno alla galleria. Il pozzo piezometrico presenta una vasca di espansione all'aperto. La condotta forzata, intercettata da valvola a farfalla, è in acciaio nel primo tratto a giorno e in quello finale in galleria.

L'invaso di Polverina, situato nel Comune di Camerino, viene utilizzato per la regolazione giornaliera settimanale dell'energia producibile dalla centrale di Valcimarra. Il livello di ritenuta e di massimo vaso sono posti a 400 m slm. La diga è in terra con nucleo centrale impermeabile con quota del coronamento a 402 m slm. L'opera di presa è posta in sponda sinistra, la galleria di derivazione Chienti è in pressione ed è lunga complessivamente 7.335 metri. Si sviluppa per circa un terzo in sponda sinistra e per la parte restante in sponda destra del F. Chienti. L'attraversamento del F. Chienti e della S.S. n° 77 è effettuato con un tubo di acciaio saldato (Ponte Sifone). Il pozzo piezometrico è del tipo differenziale. È presente una galleria di espansione inferiore. La condotta forzata è lunga 154,22 m, di cui 34,72 m in roccia ed il resto all'aperto.



LEGENDA

- | | | | |
|--|---------------------|--|--|
| | Diga | | Pozzo piezometrico coperto o in galleria |
| | Centrale all'aperto | | Derivazione coperta o in galleria |
| | Opera di presa | | Condotta forzata scoperta |

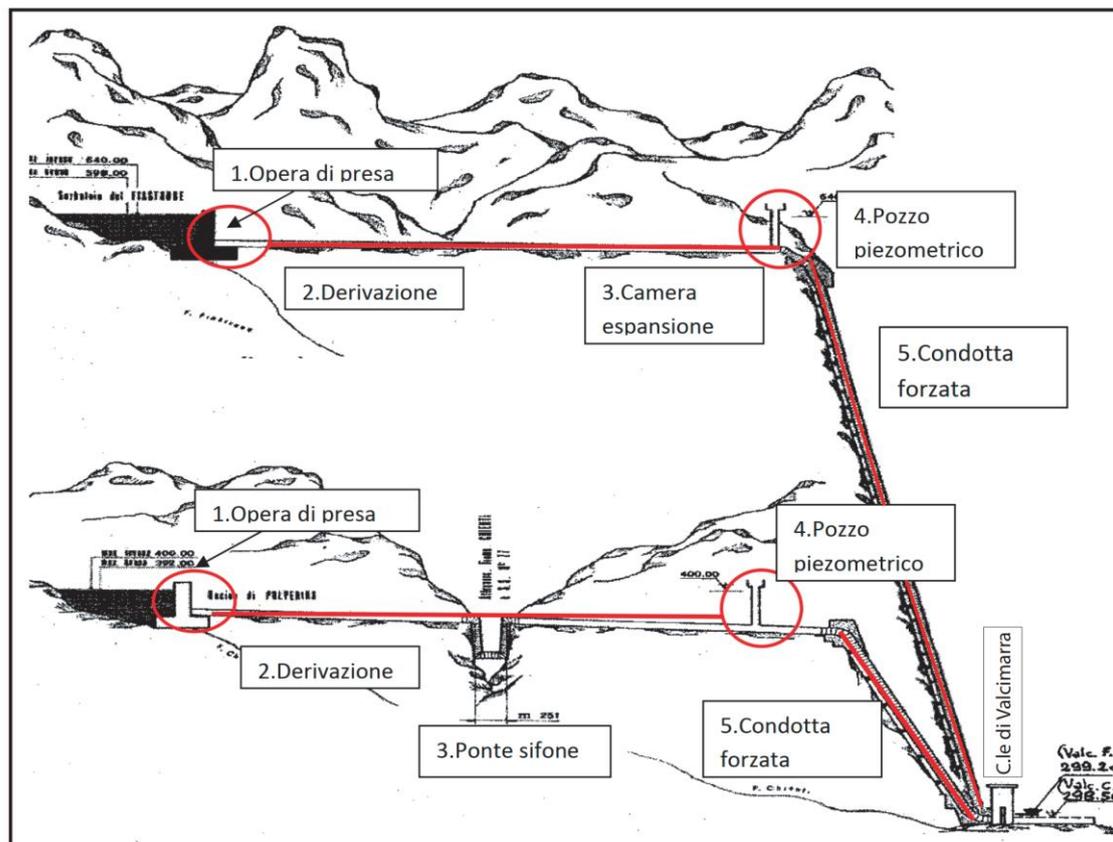


Figura 2: Planimetria generale dell'impianto idroelettrico di Valcimarra (in alto), in rosso la posizione della Centrale. Schema idraulico della centrale (in basso). (Da [16][17] - parz.ridisegnato)

L'intervento prevede la parziale trasformazione dell'impianto idroelettrico di generazione di Valcimarra Chienti in un impianto reversibile, di generazione e pompaggio, mediante la costruzione di una nuova centrale in caverna di dimensioni circa 46x18x30H, il suo collegamento alle vie d'acqua esistenti (scavo di cunicoli orizzontali e pozzi verticali con tecnologia raise-boring), di cui vengono modificate alcune opere: pozzo piezometrico sulla derivazione Fiastrone (estensione del pozzo mediante una galleria con sezione a D 4x4m lunga circa 270 m avente pendenza 12%), camera valvole sulla derivazione Polverina (ampliamento del fabbricato esistente), area della Sottostazione collocata lateralmente rispetto alla Centrale (realizzazione di nuovo fabbricato tecnico monopiano e di cunicoli portacavi).

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la caratterizzazione geotecnica degli ammassi interessati dalla opere in progetto sono stati eseguiti una serie di rilievi geomeccanici con prove di point load, inoltre sono state acquisite ed elaborate informazioni estratte dai documenti forniti dalla Concessionaria e da pubblicazioni scientifiche. Per le prossime fasi di progetto sarà in ogni caso indispensabile l'esecuzione di una campagna di indagini approfondita per verificare la correttezza del modello geotecnico illustrato di seguito.

3.1 Rilievi geomeccanici

Nel gennaio 2022 sono stati eseguiti 2 rilievi geomeccanici (**Figura 3**), al fine di individuare i principali set di discontinuità che intersecano l'ammasso roccioso, e di determinare le condizioni dell' ammasso. L'ammasso roccioso è stato caratterizzato utilizzando il sistema di classificazione GSI proposto da Hoek [7]. La metodologia di rilevamento e le schede elaborate sono riportate nell'Allegato 1.



Figura 3: Ubicazione stazioni di rilievo geomeccanico

In totale sono stati misurati e descritti 84 piani di discontinuità che possono essere raggruppati in 5 set di disgiunzione principali (81% delle misure). Nelle tabelle seguenti vengono riportate per ciascuna stazione di rilievo le caratteristiche degli affioramenti e i valori medi di orientazione, mentre la **Figura 4** rappresenta le orientazioni dei dati e delle famiglie principali su diagramma stereografico.

RG	X UTM- WGS84	Y UTM- WGS84	Z m.s.l.m	Ubicazione	Resistenza roccia	Alterazione
					(ISRM 1978)	(ISRM 1978)
RG-VC01	350820	4777663	305	Piazzale centrale idroelettrica Valcimarra.	R3	W1
RG-VC02	350888	4777661	305	Piazzale centrale idroelettrica Valcimarra.	R3	W1

Tabella 1: Riassunto delle caratteristiche principali dei rilievi geomeccanici

RG	S0		K1		K2		K3		K4	
	Imm (°)	Inclin (°)								
RG-VC01	119	27	298	73	332	87	266	84	20	75
RG-VC02	117	29	303	77	329	85	267	70	18	86

Tabella 2: Riassunto delle famiglie di giunti principali dei rilievi geomeccanici (Imm. Immersione; Incl: inclinazione)

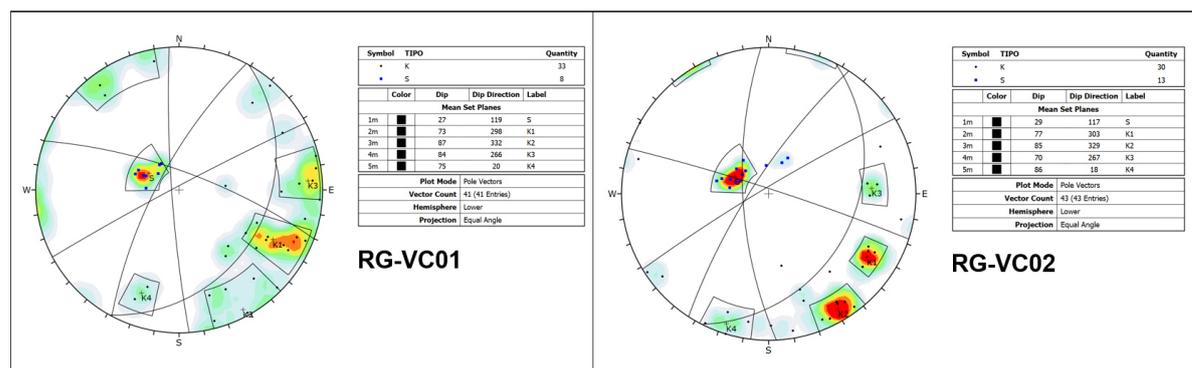


Figura 4: Stereogramma delle misure registrate nei 2 rilievi geomeccanici e delle relative famiglie principali di discontinuità.

Per quanto concerne le caratteristiche di ammasso è stato applicato il criterio di Cai [6] per la definizione del Geological Strength Index di Hoek [7]. L'approccio prevede il calcolo del GSI in base a due parametri: il volume unitario di roccia delimitato dai set di fratturazione e il Joint Condition Factor (Jc) che definisce lo stato delle discontinuità.

Il Jc è un parametro definito da Cai [6] e comprende la combinazione di tre parametri:

$$J_C = \frac{J_W J_S}{J_A}$$

Dove Jw: rugosità alla scala metrica,

Js: rugosità alla scala centimetrica (parametro Jr di Barton [2]),

Ja: alterazione dei giunti (parametro Ja di Barton [2]).

Le tabelle seguenti rappresentano i riferimenti tecnici dei suddetti parametri.

Waviness terms	Undulation	Rating for waviness J_w
Interlocking (large-scale)		3
Stepped		2.5
Large undulation	> 3%	2
Small to moderate undulation	0.3–3%	1.5
Planar	< 0.3%	1

Undulation = a/D
 D - length between maximum amplitudes

Tabella 3: Tabella di riferimento per la definizione della rugosità a scala metrica J_w da Cai [4].

Smoothness terms	Description	Rating for smoothness J_s
Very rough	Near vertical steps and ridges occur with interlocking effect on the joint surface	3
Rough	Some ridge and side-angle are evident; asperities are clearly visible; discontinuity surface feels very abrasive (rougher than sandpaper grade 30)	2
Slightly rough	Asperities on the discontinuity surfaces are distinguishable and can be felt (like sandpaper grade 30–300)	1.5
Smooth	Surface appear smooth and feels so to touch (smoother than sandpaper grade 300)	1
Polished	Visual evidence of polishing exists. This is often seen in coating of chlorite and specially talc	0.75
Slickensided	Polished and striated surface that results from sliding along a fault surface or other movement surface	0.6–1.5

Tabella 4: Tabella di riferimento per la definizione della rugosità a scala centimetrica J_s da Cai [4]

Term	Description	J_A
Rock wall contact	<i>Clear joints</i>	
	Healed or “welded” joints (unweathered)	Softening, impermeable filling (quartz, epidote, etc.) 0.75
	Fresh rock walls (unweathered)	No coating or filling on joint surface, except for staining 1
	Alteration of joint wall: slightly to moderately weathered	The joint surface exhibits one class higher alteration than the rock 2
	Alteration of joint wall: highly weathered	The joint surface exhibits two classes higher alteration than the rock 4
	<i>Coating or thin filling</i>	
	Sand, silt, calcite, etc.	Coating of frictional material without clay 3
	Clay, chlorite, talc, etc.	Coating of softening and cohesive minerals 4
Filled joints with partial or no contact between the rock wall surfaces	Sand, silt, calcite, etc.	Filling of frictional material without clay 4
	Compacted clay materials	“Hard” filling of softening and cohesive materials 6
	Soft clay materials	Medium to low over-consolidation of filling 8
	Swelling clay materials	Filling material exhibits swelling properties 8–12

Tabella 5: Tabella di riferimento per la definizione della condizione di alterazione dei giunti J_a da Barton [1].

Il volume unitario V_b è stato valutato come media geometrica tra i valori massimi e minimi misurati. Il valore di GSI è stato dunque calcolato in modo quantitativo secondo la seguente formulazione:

$$GSI(V_b, J_c) = \frac{26.5 + 8.79 \ln J_c + 0.9 \ln V_b}{1 + 0.0151 \ln J_c - 0.0253 \ln V_b}$$

Dove V_b : volume unitario del blocco;

J_c : Fattore di condizione dei giunti.

I parametri di riferimento e la classe di ammasso definita in ciascun rilievo sono riportati in **Tabella 6** mentre la distribuzione delle classi di ammasso su grafico è rappresentata in **Figura 10**.

Rilievo n°	Volume blocchi			Parametri giunti				GSI
	min	Media geom.	max	Jw	Js	Ja	Jc	
	(cm ³)			-	-	-	-	
RG-VC01	5.E+02	4.E+03	3.E+04	1	1.5	1	1.5	47
RG-VC02	2.E+03	9.E+03	3.E+04	1	1.5	1	1.5	49

Tabella 6: Riassunto delle caratteristiche di ammasso dai rilievi geomeccanici

3.2 Point load Test

Su campioni di roccia prelevati dalle aree di rilievo geomeccanico sono state eseguite secondo lo standard ISRM un totale di 20 prove di Point Load test. La prova consiste nella rottura dei campioni roccia in una pressa tramite carico progressivo tra 2 punte standard; il rapporto tra il carico massimo e la superficie di rottura è direttamente proporzionale alla resistenza a compressione monoassiale della roccia. Le schede di prova vengono riportate in Allegato 2, mentre la **Tabella 7** illustra la statistica della resistenza a compressione in funzione della direzione di carico rispetto alla stratificazione. Risulta una resistenza media di 54 MPa per carico perpendicolare e di 52 MPa per carico parallelo; pertanto la roccia può essere considerata isotropa.

Unità	Orientazione rispetto alla stratificazione	N.	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)			
			Min	Media	Max	Dev. St
Calcarei marnosi	Perpendicolare	10	42	54	84	15.6
	Parallelo	10	36	52	82	13.3

Tabella 7: Statistica dei risultati delle prove di Point Load.

3.3 Indagini diga del Fiastrone

Gli studi elaborati da Cesi [18][20][19] per la verifica sismica della diga del Fiastrone, ubicata circa 8km a sud dell'area in esame (**Figura 5**), includono una serie di indagini geognostiche e prove di laboratorio condotte sulla medesima unità geologica (Formazione della Maiolica) interessata dagli interventi in progetto. I risultati delle indagini si ritengono pertanto rappresentativi per la caratterizzazione geomeccanica della roccia intatta e un utile riferimento per le condizioni generali degli ammassi rocciosi di questa formazione.

L'ubicazione in pianta dei sondaggi che hanno raggiunto la roccia di fondazione della diga è visibile in **Figura 6**. Nel 1989 sono stati realizzati due sondaggi al piede diga: S1 e S2; in una campagna indagini successiva svoltasi nel 2020 sono stati realizzato due sondaggi S1 e S9 che partono dal coronamento in corrispondenza delle due spalle e si spingono per circa 30m nella roccia di

fondazione. Le litologie carotate sono consistite sempre in calcari micritici bianchi della Formazione della Maiolica (MAI).



Figura 5: ubicazione della diga del Fiastrone e della centrale di Valcimarra.

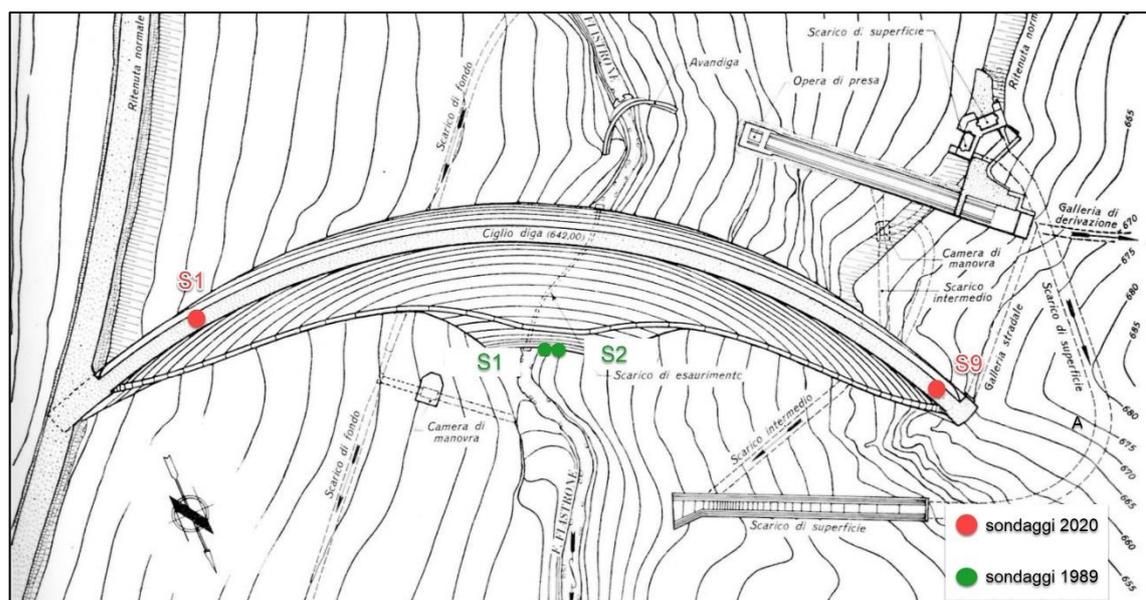


Figura 6: ubicazione dei sondaggi geognostici della diga del Fiastrone che interessano la roccia di fondazione.

3.3.1 RQD

L'indice RQD (Rock Quality Designation) è un utile riferimento per valutare lo stato di fratturazione della roccia che viene definito dal rapporto, espresso in percentuale, tra la somma degli spezzoni di carota in roccia con lunghezza maggiore di 10 cm e la lunghezza totale della manovra. A partire dalle informazioni disponibili nelle stratigrafie, risulta un valore di RQD medio pari a 61%, che corrisponde ad una condizione di fratturazione media. I valori statistici per singolo sondaggio sono riportati in **Tabella 8**.

Sondaggio	Minimo	Media	Massimo
S1_2020	10	63	94
S2_1989	30	65	100
S9_2020	11	55	93
TOT.	10	61	100

Tabella 8: Valori statistici di RQD per la litologia indagata.

3.3.2 Prove dilatometriche

La deformabilità dell'ammasso di calcari della Maiolica è stata misurata tramite prove in foto con dilatometro da roccia. La statistica dei risultati relativi al Modulo di Deformazione calcolato sul secondo gradino di carico e del Modulo elastico calcolato sempre sul secondo gradino di scarico è illustrata in **Tabella 9**.

Moduli da prove dilatometriche (GPa)						
Litologia		N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	Modulo di deformazione	11	1.18	5.41	8.82	2.67
	Modulo elastico	11	4.42	7.04	11.60	2.58

Tabella 9: Valori statistici dei moduli dilatometrici in ammasso di Maiolica presso la diga del Fiastrone.

3.3.3 Lugeon

All'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite anche una serie di prove Lugeon per valutare la permeabilità dell'ammasso. La statistica dei risultati è riportata in **Tabella 10** e indica valori molto bassi, con una permeabilità K compresa tra 10^{-6} - 10^{-7} e assorbimento nullo, tipici di ammassi poco fratturati.

Permeabilità Lugeon (%)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	14	0	5.29	28	7.81

Tabella 10: Valori statistici di permeabilità Lugeon in ammasso di Maiolica presso la diga del Fiastrone.

3.3.4 Laboratorio rocce

I risultati statistici delle prove di laboratorio eseguite su campioni di roccia provenienti dai sondaggi vengono illustrati nei paragrafi seguenti.

3.3.4.1 Massa volumica reale/apparente

La massa volumica apparente e reale sono state misurate da campioni cilindrici ottenuti previa operazioni di taglio e rettifica meccanica, secondo la norma ASTM D845/92. I risultati statistici riportati in **Tabella 11** definiscono un valore di massa volumica apparente media di 26.04 kN/m³ con variabilità compresa tra 24.1÷26.41 kN/m³ e un valore di massa volumica reale paria a 26.82 kN/m³ con variabilità compresa tra 26.44÷26.99 kN/m³.

Peso di Volume apparente (kN/m ³)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	44	24.98	26.04	26.41	0.27
Peso di Volume reale (kN/m ³)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	20	26.44	26.82	26.99	0.11

Tabella 11: Risultati statistici delle misure del peso di volume apparente e reale.

3.3.4.2 Porosità

La determinazione della porosità è ricavata secondo le norme ASTM D845/92. I risultati statistici illustrati in **Tabella 12** mostrano un valore medio del 2.98% con variabilità compresa tra 1.8÷5.5%.

Porosità (%)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	2033	1.8	2.98	5.5	0.92

Tabella 12: Risultati statistici della porosità.

3.3.4.3 Velocità sonora

La velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali è stata misurata attraverso un generatore di impulsi ultrasonici trasmessi a trasduttori piezoelettrici sulle facce del campione. La **Tabella 13** indica valori medi di velocità sonora pari a 5916m/s, con variabilità compresa tra 3675÷6840m/s.

Velocità sonora Vp (m/s)						
Litologia	Tipo	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	Vp	43	3675	5916	6840	635.15

Tabella 13: Risultati statistici delle misure delle velocità sonore.

3.3.4.4 Compressione Monoassiale

La resistenza a compressione monoassiale è stata misurata mediante pressa idraulica con misura delle deformazioni assiali e diametrali. Le prove sono state eseguite in controllo di carico con acquisizione diretta delle deformazioni. I risultati riassunti **Tabella 14** definiscono un valore medio di 43.5 MPa con variabilità compresa tra 14.2÷74.5MPa. Si nota che le resistenze risultano di poco inferiore a quelle misurate tramite Point Load Test.

Compressione monoassiale (MPa)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	29	14.2	43.5	74.5	17.1

Tabella 14: Risultati statistici delle misure della compressione monoassiale.

La misurazione delle deformazioni rilevate mediante “strain gauges” sui campioni testati a compressione monoassiale ha permesso di calcolare il modulo elastico. In **Tabella 15** viene riportata la statistica dei risultati da cui risulta un valore medio di 46GPa.

Modulo di elastico (GPa)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	29	2.97	46.45	71.280	17.1

Tabella 15: Risultati statistici delle misure del modulo E.

I dati relativi al coefficiente di Poisson vengono riassunti in **Tabella 16** e indicano un valore medio pari a 0.31.

Coefficiente di Poisson (-)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Maiolica	29	0.16	0.31	0.46	0.12

Tabella 16: Risultati statistici delle misure del Coefficiente di Poisson.

3.3.4.5 Compressioni Triassiali

La determinazione della resistenza a compressione triassiale è avvenuta in controllo di deformazione con determinazione del modulo di elasticità e del modulo di Poisson, secondo la norma ASTM D7012/10 con pressioni di confinamento variabili tra 2 e 10 MPa. I risultati dei test vengono riassunti in **Tabella 17**.

	P conf.	Rc	E	Poisson
	Mpa	Mpa	Mpa	-
Valore Minimo	2	55	40770	0.2
	5	61.9	14770	0.1
	10	109.7	39700	0.3
Valore Medio	2	76.1	50408	0.3
	5	100.7	48024	0.2
	10	131.6	52852	0.3
Valore Massimo	2	94.5	57800	0.4
	5	116.6	57040	0.3
	10	185.7	68810	0.3

Tabella 17: Risultati delle medie delle prove triassiali eseguite su campioni di Maiolica dei sondaggi della diga del Fiastrone.

La misurazione delle deformazioni rilevate mediante “strain gauges” sui campioni testati a compressione triassiale ha permesso di calcolare il modulo elastico. In **Tabella 18** vengono illustrati i risultati delle prove, risulta un valore medio di 50GPa.

Modulo di deformazione (GPa)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcarì (MAI)	15	14.4	50.42	68.81	12.93

Tabella 18: Risultati statistici delle misure del modulo E.

I dati relativi al coefficiente di Poisson, derivato dalle misurazioni effettuate durante le prove di compressione triassiale, vengono riassunti in **Tabella 19**. Il valore medio misurato risulta pari a 0.24.

Coefficiente di Poisson (-)					
Litologia	N	Minimo	Media	Massimo	Deviazione Standard
Calcari (MAI)	15	0.07	0.24	0.38	0.08

Tabella 19: Risultati statistici delle misure del Coefficiente di Poisson.

4. MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico per il settore di intervento è stato definito a partire dal modello geologico illustrato nella relazione geologica (GRE.EEC.R.29.IT.H.53223.00.104.00) e tavole allegate. Il volume di roccia all'interno del quale verrà realizzata la nuova centrale di Valcimarra è costituito interamente dai calcari marnosi della Formazione della Maiolica (MAI).

La resistenza della roccia intatta è di 40-50 Mpa (classi di resistenza ISRM R3), mentre il grado di alterazione è generalmente nullo o molto basso (classe ISRM W1-W2).

L'ammasso roccioso interessato dallo scavo della centrale e opere connesse viene rappresentato in questa fase di progettazione da un'unica unità geotecnica UG1. Per la caratterizzazione geotecnica dell'ammasso si è fatto riferimento a informazioni ottenute dal rilievo geomeccanico degli affioramenti esposti a monte della centrale esistente e ai risultati delle prove di laboratorio condotte su campioni di Maiolica prelevati presso la diga del Fiastrone. Il modello geotecnico viene illustrato nelle 2 sezioni di **Figura 7** e **Figura 8** nelle quali vengono rappresentate le orientazioni apparenti dei 4 principali sistemi di discontinuità.

Nel modello è inoltre visibile una faglia rappresentata come "Incerta". Questa faglia, presente nelle carte geologiche pubblicate e visibile in sinistra del fiume Chienti, ma non è stata osservata nel rilievo in campagna. Tuttavia, cautelativamente, il suo andamento presunto è stato ricostruito con criterio geometrico in carta geologica e la sua posizione in sotterraneo è stata rappresentata nelle sezioni del modello. L'incertezza nella posizione di tale struttura è stimata in alcune decine di metri.

L'interpretazione esclude per ora la sua interferenza con lo scavo della caverna, collocandosi a una distanza minima di circa 15 m di distanza, tuttavia tale assunzione dovrà essere confermata con indagini dirette.

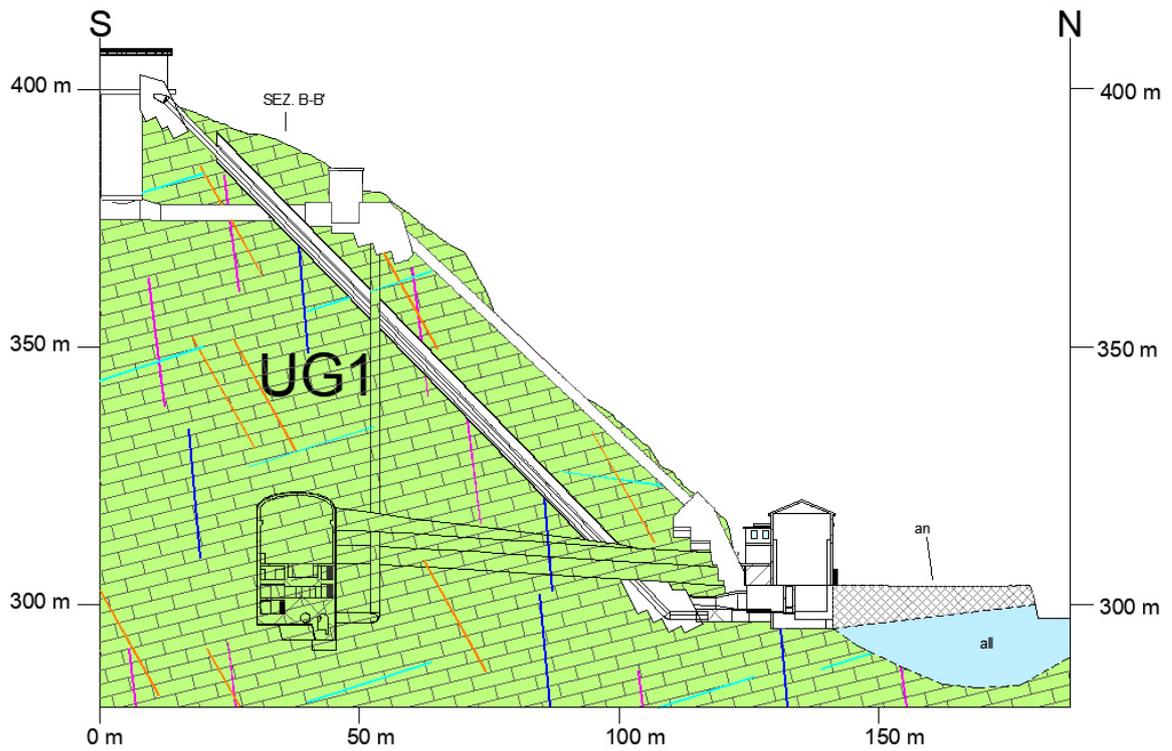


Figura 7: Sezione geologico-geotecnica trasversale

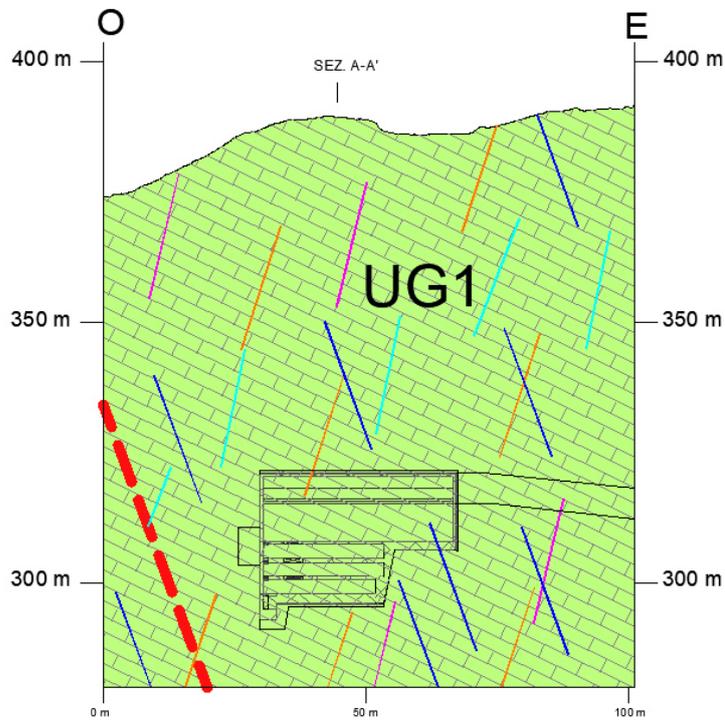


Figura 8: Sezione geologico-geotecnica longitudinale

L'assetto strutturale è determinato da 4 famiglie di discontinuità principali (**Figura 9**) le cui caratteristiche sono sintetizzate di seguito e in **Tabella 20**:

- stratificazione: con orientazione media 118/29°, spaziatura decimetrica e persistenza plurimetrica e leggermente ondulate. La stratificazione rappresenta il 21% del campione di misure raccolte.
- K1: orientazione media di 301/75°, spaziatura e persistenza da decimetrica a metrica. Questo set rappresenta il 17% del campione di misure raccolte.
- K2: orientazione media di 330/83° spaziatura e persistenza da decimetrica a metrica. Questo set rappresenta il 23% del campione di misure raccolte.
- K3: orientazione media 267/78° spaziatura e persistenza da decimetrica a metrica. Questo set rappresenta il 13% del campione di misure raccolte.
- K4: 019/84 spaziatura e persistenza da decimetrica a metrica Questo set rappresenta il 7% del campione analizzato.

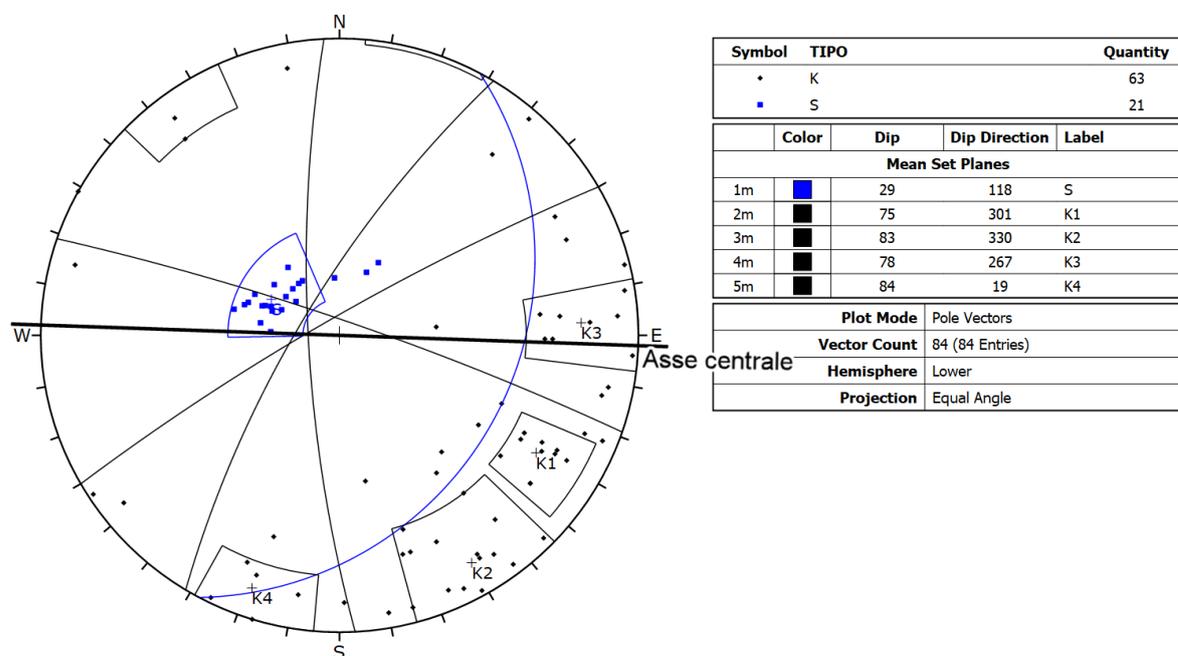


Figura 9: Stereoplot delle discontinuità misurate nei 2 rilievi geomeccanici eseguiti.

Set	Orientazione		Persistenza m	Spaziatura cm
	Immersione	Inclinazione		
Stratificazione	118	29	>10	20-50
K1	301	75	0.2 – 0.5	20-100
K2	330	83	0.2 – 0.5	20-100
K3	267	78	0.2 – 0.5	20-100
K4	19	84	0.2 – 0.5	20-100

Tabella 20: Sintesi delle caratteristiche delle principali famiglie di discontinuità incontrate

L'ammasso roccioso si presenta mediamente fratturato con volume unitario medio dei blocchi di $6 \cdot 10^3$ cm^3 e un range di variazione fra $5 \cdot 10^2$ cm^3 e $3 \cdot 10^4$ cm^3 . Le caratteristiche dei giunti sono generalmente discrete con superfici da planari a poco ondulate, chiuse e generalmente lisce. Il valore medio di GSI per l'unità UG1, risultato dal rilievo geomeccanico dell'ammasso nelle 2 diverse aree descritte nel capitolo 0 è di 48, variabile fra 47 e 49 (**Figura 10**).

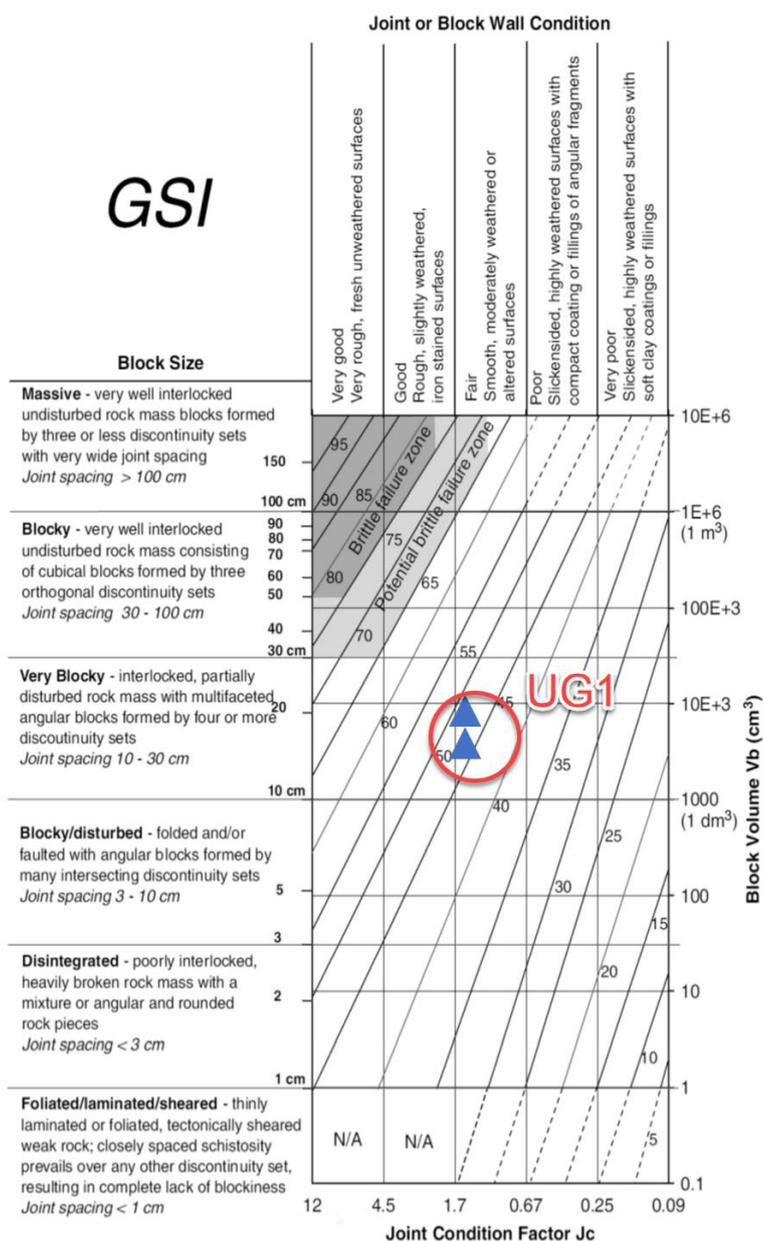


Figura 10: Distribuzione classi di ammasso ottenute dai rilievi geomeccanici e condizione di riferimento per l'unità geomeccanica UG1 nel grafico del GSI [5][6].

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La valutazione dei parametri di resistenza per la unità UG1 è stata condotta considerando la legge empirica proposta da Hoek & Brown [8]:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

dove: m_b , s ed a sono costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso;

σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;

σ'_1 e σ'_3 sono la minima e massima tensione efficace agente sull'ammasso.

Le costanti sopra indicate possono essere ricavate da correlazioni dirette con il valore del Geological Strength Index [7] [8] e con il parametro m_i (costante del materiale roccia valutata pari a 7 in base a prove di laboratorio effettuate in dighe vicine sulla stessa litologia).

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Nella formulazione del 2002 [8] l'autore ha inserito un parametro D che dipende dal grado di disturbo, a cui è sottoposto l'ammasso roccioso in fase di scavo. Il fattore varia da 0 per scavi che lasciano l'ammasso in condizioni indisturbate fino a 1 per ammassi estremamente disturbati. Il fattore utilizzato per la determinazione dei parametri è pari a 0.

Il criterio di rottura dell'ammasso di Hoek-Brown si presenta nel piano σ - τ (sforzi normali/sforzi di taglio) come una funzione non lineare. Risulta quindi necessario, per ottenere i parametri c e ϕ secondo il criterio di Mohr-Coulomb, definire un campo tensionale di riferimento per il quale viene calcolata la retta che meglio interpola il tratto di curva analizzato. La diga di Carona raggiunge una altezza massima di 26m, pertanto si è considerato a un campo di tensionale compreso tra 0 e 1.5 MPa.

Per quanto concerne il modulo elastico dell'ammasso (E_{rm}) si è fatto riferimento alla formulazione proposta da Hoek [9] funzione del GSI e del modulo della roccia intatta (E_i):

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

L'analisi è stata effettuata utilizzando il software RocLab di Rocscience.

5.1 Parametri roccia intatta

I parametri di resistenza della roccia intatta derivano da prove di laboratorio illustrate nel capitolo 0, la cui sintesi viene riportata nella **Tabella 21**. Il parametro *mi* della roccia intatta è stato assunto pari a 10 secondo quanto indicato in [18].

UG1 Maiolica	Porosità	MVA	MVR	Velocità soniche	Comp. Monoass.	Modulo Young Mx	Coeff. Poisson Mx	Modulo Young Tx	Coeff. Poisson Tx
	n	γ_{na}	γ_{nr}	Vp	σ_c	E	v	E	v
	%	kN/m ³	kN/m ³	m/sec	MPa	MPa	-	MPa	-
N	20	44	20	43	29	29	29	15	15
Min	1.80	24.98	26.44	3675	14.20	2970	0.16	14770	0.07
Media	2.98	26.04	26.82	5916	43.50	46454	0.31	50428	0.24
Max	5.50	26.41	26.99	6840	74.50	71280	0.46	68810	0.38
St dev	0.92	0.27	0.11	635	17.10	15323	0.12	12933	0.08

Tabella 21: Statistica dei risultati delle prove su campioni di Maiolica.

5.2 Parametri ammasso roccioso UG1

L'ammasso roccioso dell'unità UG1 si presenta mediamente fratturato lungo gli affioramenti nei pressi della centrale Valcimarra; per la definizione dei parametri geotecnici di ammasso si considera cautelativamente un valore di riferimento di GSI pari 40, corrispondente al valore minimo del campo di variabilità previsto e di resistenza compressione monoassiale di 40MPa.

La **Tabella 22** illustra i parametri di resistenza e deformabilità ottenuti dalle correlazioni indicate nel precedente paragrafo insieme al loro campo di variabilità, mentre la **Figura 11** illustra il criterio di rottura dell'ammasso nel piano sforzi normali – sforzi tangenziali secondo la formulazione di Hoek-Brown e la corrispondente interpolazione secondo il criterio di Mohr-Coulomb. Come campo di tensioni di riferimento è stata considerata una copertura massima di 60m e il fattore di disturbo D è stato assunto pari a 0.

	Parametro		U.M.	Parametro di riferimento	Variabilità
Roccia intatta	Peso di Volume	γ_n	kN/mc	26	26-27
	Parametro <i>mi</i>	<i>mi</i>	-	10	10-12
	Resistenza a Compressione Monoassiale	σ_c	MPa	40	40-70
	Modulo Elastico <i>Ei</i>	<i>Ei</i>	GPa	45	30-60
Ammasso roccioso	GSI		-	40	40-50
	Coesione	c	MPa	0.3	0.3-0.45
	Angolo di attrito	ϕ	°	48	48-52
	Modulo Ammasso	<i>E_{rm}</i>	GPa	7	7-13
	Coefficiente Poisson	v	-	0.3	-
	Resistenza ammasso	σ_{rm}	MPa	1.3	1.3-2.4

Tabella 22: Parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso roccioso UG1.

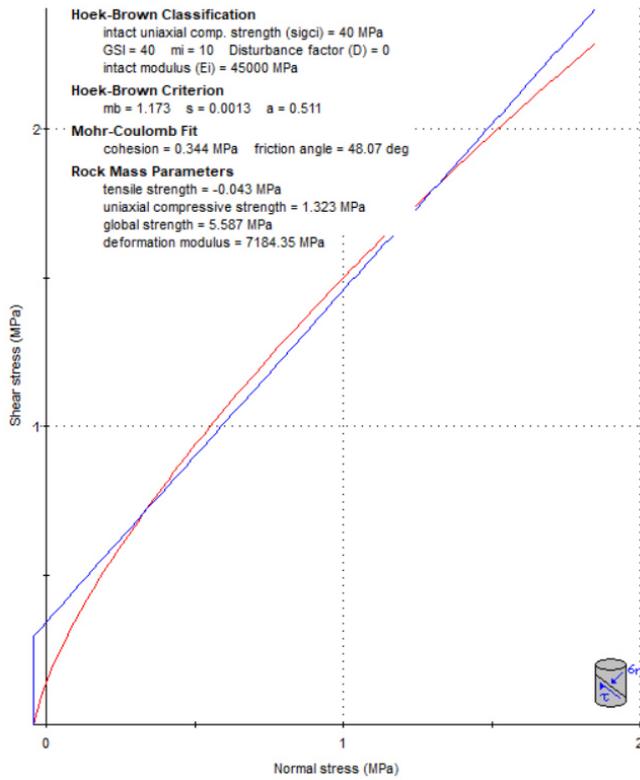


Figura 11: Criteri di rottura secondo Mohr-Coulomb (blu) e Hoek-Brown (rosso) per l'unità geotecnica UG1.

6. CONDIZIONI GEOTECNICHE DELLE OPERE

Le opere connesse alla centrale in caverna, ossia la centrale stessa, le gallerie di accesso e di costruzione e i pozzi di connessione alle condotte esistenti, verranno realizzati attraverso l'unità geotecnica UG1 che rappresenta un ammasso della formazione della Maiolica in condizioni di fratturazione medie.

La stratificazione, che è l'elemento di disgiunzione principale dell'ammasso, ha una persistenza superiore alla decina di metri, orientazione è immergente a basso angolo verso E (media 118/29) e spessore degli strati mediamente compreso tra 20 e 50cm. Esistono inoltre 4 sistemi di discontinuità secondari, orientati con perpendicolarmente alla stratificazione, la cui persistenza è generalmente limitata a pochi strati e spaziatura inferiore al metro. Il volume unitario medio dei blocchi di roccia rimane nell'ordine di alcuni decimetri cubi.

Lo scavo in sotterraneo potrà essere realizzato tramite tecnica convenzionale con esplosivo. Si prevede che il fronte risulti stabile e che il profilo possa presentarsi irregolare a causa della stratificazione a bassa inclinazione che favorirà la formazione di sovrascavi ai margini della calotta. Il cavo dovrà essere rinforzato con bullonatura sistematica e calcestruzzo proiettato per il sostegno di cunei instabili. Nel complesso si prevede che l'ammasso roccioso mostri un comportamento elasto-plastico con convergenze massime che, in funzione della dimensione dell'opera, potrebbero raggiungere qualche centimetro.

Nel caso vengano intersecate zone di faglia e condotti carsici, indicati come potenziali elementi di incertezza nel modello geologico, potranno generarsi condizioni di instabilità locali e venute d'acqua rilevanti. Al fine di identificare e gestire tali elementi di rischio si prevede la realizzazione di una estesa campagna di indagini geognostiche.

Si segnala infine che sul versante sovrastante i portali e la centrale esistente sono state identificate zone di possibile distacco di blocchi e cunei di roccia che dovranno essere messa in sicurezza prima dell'inizio dei lavori.

7. BIBLIOGRAFIA

7.1 Riferimenti tecnico scientifici

- [1] Barton, N (1976). The shear strength of rock and rock joints. *Int. J. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 13 (19), 1-24
- [2] Barton, N, Choubey v. (1976). The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice. *Rock Mechanics* 10, 1—54
- [3] Bernardelli. N, Fantoma. D. (1978) Tunnelers: un caso pratico ed alcune considerazioni teoriche – *Rivista geotecnica italiana*.
- [4] Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley.
- [5] Cai M., Kaiser P.K., Uno H., Tasaka Y., Minami M. (2004) Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 41 3–19
- [6] Cai M., Kaiser P.K., Uno H., Tasaka Y., Minami M. (2007) Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 44, 247-265
- [7] Hoek, E., Marinos, P. and Benissi, M. 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bull. Engng. Geol. Env.* 57(2), 151-160.
- [8] Hoek E, Carranza-Torres CT, Corkum B. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. In: *Proceedings of the 5 th North American Rock Mechanics Symp., Toronto, Canada, 2002: 1: 267–73.*
- [9] Hoek E, Diederichs M.S.. Empirical estimation of rock mass modulus, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 43 (2006) 203–215
- [10] International Society of Rock Mechanics ISRM: Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, *Int. J. Rock Mech. & Mm. Sci.*, vol.15, n.1 1978.

7.2 Norme tecniche applicabili

- [11] Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, D.M. 17 gennaio 2018.

7.3 Documenti storici sull'opera

- [12] Diga di Polverina Estratto dalla pubblicazione ANIDEL "Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani", 1978
- [13] Diga del Fiastrone Estratto dalla pubblicazione ANIDEL "Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani", 1978
- [14] Diga di Polverina - Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione, marzo 1998.

- [15] Diga del Fiastrone - Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione, aprile 1998.
- [16] Diga di Polverina – Impianto di Valcimarra (derivazione Chienti) Opere di derivazione di adduzione – Piano di Manutenzione, ottobre 2012
- [17] Diga di Fiastrone – Impianto di Valcimarra (derivazione Fiastrone) Opere di derivazione di adduzione – Piano di Manutenzione, ottobre 2012

7.4 Documenti forniti dalla Committenza

- [18] CESI - Diga del Fiastrone (MC) - Valutazione delle condizioni geologiche delle sponde e caratterizzazione geomeccanica dei materiali della sezione d'imposta ai fini delle verifiche di sicurezza sismica secondo il Decreto 26 giugno 2014 "Norme Tecniche per la progettazione e costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", Rapporto del 15/09/2021
- [19] CESI - Diga di Fiastrone (MC) - Esecuzione di indagini geotecniche in sito, prove geotecniche geomeccaniche di laboratorio e studio geologico e geomorfologico con caratterizzazione geomeccanica abbinata dei materiali della sezione d'imposta ai fini delle verifiche di sicurezza sismica secondo il Decreto 26 giugno 2014 "Norme Tecniche per la progettazione e costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", (data 15/12/2020)
- [20] CESI - Diga di Fiastrone (MC) - Esecuzione di prove geotecniche-geomeccaniche di laboratorio ai fini delle verifiche di sicurezza sismica secondo il Decreto 26 giugno 2014 "Norme Tecniche per la progettazione e costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", (data 15/12/2020)

7.5 Documenti di progetto

- [21] GRE.EEC.R.29.IT.H.53223.00.104.00 Relazione Geologica
- [22] GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.107.00 Carta geologico-geomorfologica generale (scala 1:5.000)
- [23] GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.108.00 Carta geologico-geomorfologica di dettaglio (scala 1:500)
- [24] GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.109.00 Sezione geologica generale del versante (scala 1:1.1500)
- [25] GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.110.00 Sezioni geologico-geotecniche trasversale e longitudinale della centrale (scala 1:500)

ALLEGATO 1

Rilievi geomeccanici

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 1- Rilievi geomeccanici	Data 30/04/2022
		Pagina 1 di 7

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. BIBLIOGRAFIA	3
3. RILIEVO GEOSTRUTTURALE	4
3.1 Litologia	4
3.2 Tipo di giunto e orientazione	4
4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA	5

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i>	Data 30/04/2022
	Allegato 1- Rilievi geomeccanici	Pagina 2 di 7

1. INTRODUZIONE

Il presente allegato illustra il metodo di esecuzione dei rilievi geomeccanici realizzati nel mese di Gennaio 2022 nell'area di rilievo della Centrale di Valcimarra.

I dati misurati sono stati processati per definire le caratteristiche delle famiglie di discontinuità e classificare i massicci rocciosi.

La strumentazione utilizzata nei rilievi è rappresentata da:

- Bussola da rilievo geostrutturale Cocla Breithaupt;
- Tablet GPS Active Tab2 Samsung;
- Materiali e schede da rilevamento geologico;
- Fotocamera digitale ad alta risoluzione Canon 6D Mark II (27Mpx).

Il procedimento di lavoro adottato consiste in:

- misurazioni in campo dei parametri geostrutturali (Capitolo 3);
- elaborazione statistica dei risultati e classificazioni geomeccanica dell'ammasso;
- compilazione delle schede di rilievo e dei documenti allegati.

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 1- Rilievi geomeccanici	Data 30/04/2022
		Pagina 3 di 7

2. BIBLIOGRAFIA

Lo studio è stato condotto in base ai criteri generali stabiliti dalle norme e dai lavori pubblicati.

Gli standard e le normative di riferimento considerate sono le seguenti:

- [1] Barton N. (2011). Müller Lecture "From empiricism, through theory, to problem solving in rock engineering". 12th Congress of the ISRM. Beijing, China.
- [2] BIENIAWSKY Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. New York: John Wiley and sons.
- [3] CAI M. et al, 2004. Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 41 3-19.
- [4] CAI M. et al, 2007. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 44 (2), 247-265.
- [5] HOEK E., Rock Engineering course notes. Public on www.rockscience.com, 1998-2012.
- [6] HOEK E., CARRANZA TORRES C. y CORKUM B., 2002. Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition. Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002, 1, 267-273.
- [7] ISRM, 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, Int. J. Rock Mech. & Mm. Sci., vol.15.
- [8] ISRM: Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, Int. J. Rock Mech. & Mm. Sci., vol.15, n.l 1978.
- [9] ISRM: Basic Geotechnical Description of Rock Masses. Int. J. Rock Mech. & Mm. Sci., vol.18, n.l, 1981.
- [10] PALMSTROM A., Measurements of and correlations between block size and RQD. Tunnels and underground Space Technology, 2005.

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00	
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006	
	<i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 1- Rilievi geomeccanici	Data 30/04/2022	
		Pagina 4 di 7	

3. RILIEVO GEOSTRUTTURALE

Nei paragrafi seguenti vengono descritti in dettaglio tutti i parametri geostruturali misurati in campo.

3.1 Litologia

I massicci rocciosi analizzati sono rappresentati interamente dai calcari micritici della Formazione della Maiolica (Cretaceo inferiore) i cui affioramenti sono stati descritti in dettaglio in base alla composizione mineralogica, tessitura e struttura.

3.2 Tipo di giunto e orientazione

I valori di orientazione sono stati misurati per ciascun piano di discontinuità, mediante la bussola geostruturale e app per tablet. I piani sono stati classificati in stratificazione (S) e giunti (K). La registrazione dei valori è stata condotta secondo lo standard Dip direction/Dip.

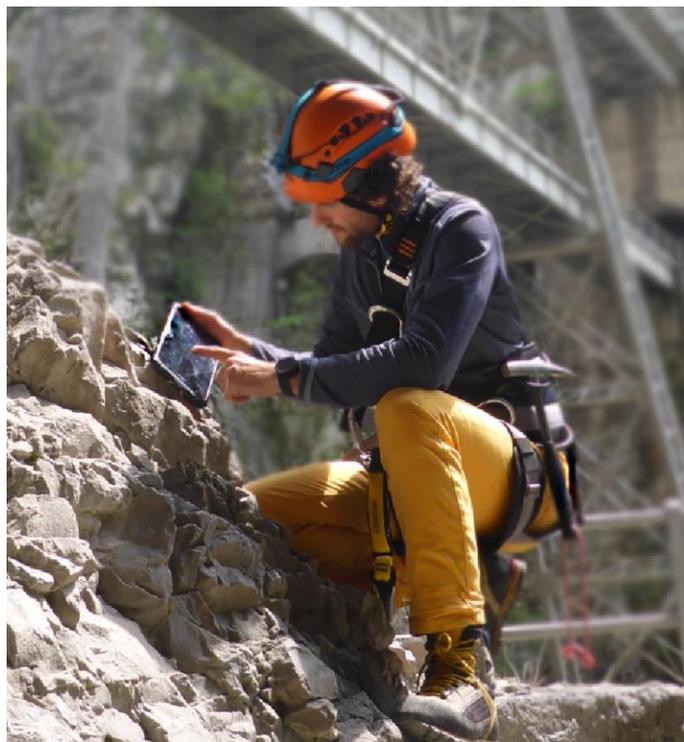


Figura 1: Esempio di misura delle discontinuità con app per tablet.

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00	
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006	
	<i>Relazione Geotecnica</i>	Data 30/04/2022	
	Allegato 1- Rilievi geomeccanici	Pagina 5 di 7	

4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Gli ammassi rocciosi rilevati sono stati classificati secondo l'indice GSI (Geological Strength Index) proposto da Hoek et al. [5] attraverso l'approccio elaborato da Cai et al. [4] che prevede una valutazione quantitativa dell'indice a partire dai seguenti parametri:

- V_b : si riferisce al volume dei blocchi espresso in cm^3 e rappresenta l'espressione diretta delle spaziature delle discontinuità sull'ammasso. Un valore minimo, uno massimo e una media geometrica sono stati valutati per ogni rilievo
- J_c : rappresenta il "Joint Condition Factor" che Cai [4] definisce attraverso la seguente formula:

$$J_c = \frac{J_w J_s}{J_A}$$

dove J_w è la rugosità alla grande scala, J_s la rugosità alla piccola scala e J_A la alterazione dei giunti per i quali è stato considerato un valore rappresentativo dell'interno ammasso.

Il valore dell'indice GSI viene calcolato in base alla seguente espressione:

$$GSI(V_b, J_c) = \frac{26.5 + 8.79 \ln J_c + 0.9 \ln V_b}{1 + 0.0151 \ln J_c - 0.0253 \ln V_b}$$

I risultati statistici sono riassunti nella **Tabella 1** mentre in **Figura 2** vengono illustrati sul grafico di riferimento proposto dall'autore. In allegato vengono elencate le schede dei dati.

Stazione	V_b medio (cm^3)	J_c	GSI
RG-VC01	4000	1.5	47
RG-VC02	8800	1.5	49

Tabella 1: Risultati di classificazione geomeccanica.

	IMPIANTO	CODICE CKS	
	IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile		GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006	
	Progetto Definitivo per Autorizzazione <i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 1- Rilievi geomeccanici		Data 30/04/2022 Pagina 6 di 7

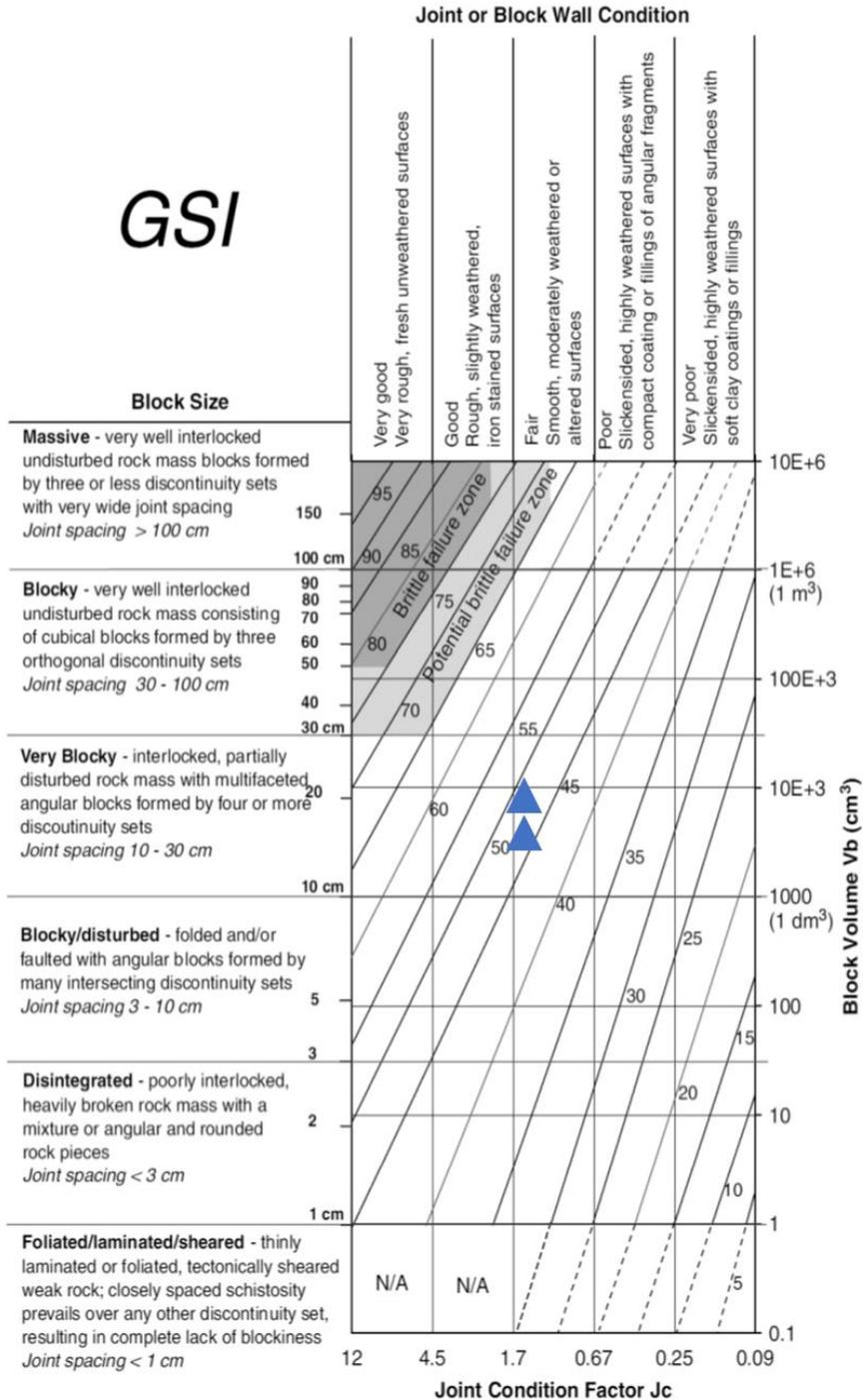


Figura 2: Grafico di GSI da Cai [4] con rappresentazione delle stazioni di rilievo geomeccanico condotte.

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i>	Data 30/04/2022
	Allegato 1- Rilievi geomeccanici	Pagina 7 di 7

DATI DI RILIEVO

ALLEGATO 2

Point Load Test

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 2-Point Load Test	Data 30/04/2022
		Pagina 1 di 7

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. BIBLIOGRAFIA	3
3. PROCEDURA DI ESECUZIONE	4
4. RISULTATI	6

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00	
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006	
	<i>Relazione Geotecnica</i>	Data 30/04/2022	
	Allegato 2-Point Load Test	Pagina 2 di 7	

1. INTRODUZIONE

Il presente allegato illustra il metodo di esecuzione delle prove di carico puntuali (Point load test) realizzate per la caratterizzazione geotecnica della Centrale Valcimarra nel Comune di Caldarola (PA).

Le prove sono state effettuate su campioni di roccia irregolari prelevati da due stazioni geomeccaniche nell'area di studio al fine di determinare il valore di resistenza della roccia intatta.



Figura 1: esempio di esecuzione di una prova mediante apparato di Point-Load.

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 2-Point Load Test	Data 30/04/2022
		Pagina 3 di 7

2. BIBLIOGRAFIA

Le prove sono state condotte secondo i criteri generali stabiliti dalle norme per i lavori pubblicati, in particolare dai seguenti sta standard di riferimento:

- [1] International Journal Rock Mechanics and Mining Science: Suggested methods for determining Point Load Strength; 1985, Vol. 22, N.2 pp51-60.
- [2] The Point Load Test, E. Broch and J. A. Franklin (International Journal Rock Mech. and Mining Science Vol. 9, pp 669-697, 1972).

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i>	Data 30/04/2022
	Allegato 2-Point Load Test	Pagina 4 di 7

3. PROCEDURA DI ESECUZIONE

Le prove di carico puntuale sono state effettuate per determinare le caratteristiche di resistenza alla compressione della roccia intatta.

Il lavoro è stato eseguito utilizzando una macchina di carico puntuale, modello 45-D0550/D prodotto da Controls S.r.l., calibrato nel laboratorio Controls di Milano (Italia) nel Marzo 2022. **Errore. L'origine r iferimento non è stata trovata..**

I campioni di roccia sono stati prelevati dagli affioramenti dei rilievi geostrutturali RG-VC01 e RG-VC02, per un totale di 21 test su rocce di forma e dimensioni il più possibile regolari.

Ogni campione è stato posto tra le punte di carico dell'apparecchiatura e caricato gradualmente fino alla rottura per la quale sono stati misurati la forza massima applicata alla rottura (P), la distanza delle punte alla rottura (D) e la larghezza media della superficie di rottura (W).

Le dimensioni a rottura sono state utilizzate anche per accertare la validità della prova secondo le specifiche tecniche indicate dai seguenti rapporti:

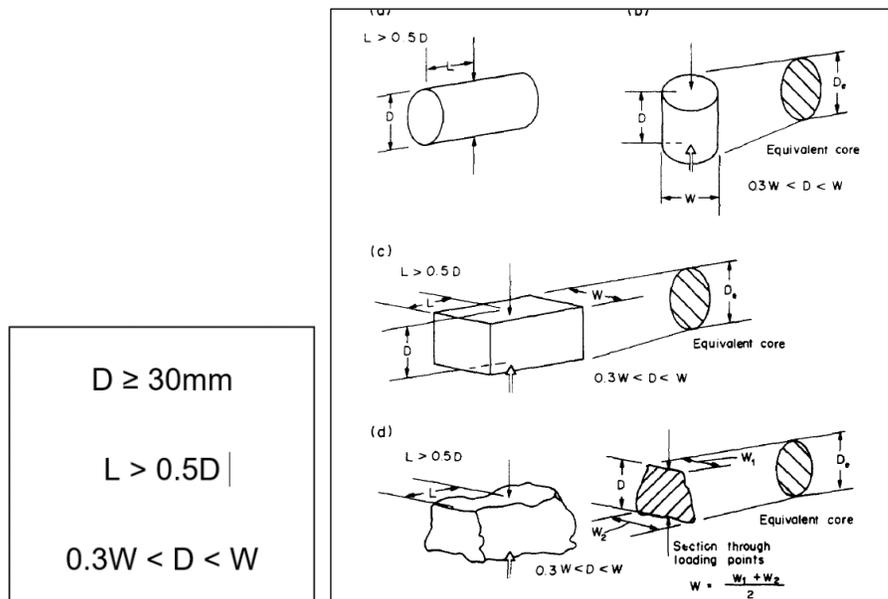


Figura 2: Vincoli geometrici per i campioni da sottoporre a prove di Point Load [1].

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 2-Point Load Test	Data 30/04/2022
		Pagina 5 di 7

Per l'elaborazione dei dati, è stato utilizzato un foglio di calcolo appositamente predisposto per determinare automaticamente il Point Load Index I_{s50} e la compressione monoassiale UCS.

La procedura di calcolo adottata è la seguente: dai valori di D e W misurati sul campione dopo la rottura è stato calcolato il diametro equivalente D_e mediante la formula:

$$D_e = \sqrt{\frac{4 \cdot D \cdot W}{\pi}} \quad (\text{mm}) \text{ per blocchi irregolari}$$

L'indice di point load non corretto è stato definito tramite la formula:

$$I_s = 1000 \cdot \frac{P}{D_e^2} \quad (\text{MPa})$$

Mentre l'indice corretto di point load riferito ad un diametro standard di 50mm è determinato tramite la formula:

$$I_{s(50)} = I_s \cdot \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \quad (\text{MPa})$$

Il valore di resistenza a compressione monoassiale (σ_c) viene infine definito dalla relazione proposta da Franklin (1972)[2]:

$$UCS = I_{s(50)} \cdot 24 \quad (\text{MPa})$$

Inoltre, come da norma ISRM [1], sono state eseguite prove sia con carico parallelo che con carico perpendicolare alla discontinuità principale rappresentata dai piani di stratificazione S e calcolato l'indice di anisotropia (I_a) come di seguito:

$$I_a = \frac{I_{s(50)perpendicolare}}{I_{s(50)parallelo}}$$

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 2-Point Load Test	Data 30/04/2022
		Pagina 6 di 7

4. RISULTATI

Per ciascun senso di applicazione del carico è stato condotto un calcolo statistico completo del valore di compressione semplice UCS (minimo, medio, massimo e deviazione standard), avendo cura di escludere i due valori minimi e due massimi come indicato dallo standard ISRM 1985 [1].

La seguente tabella riporta i risultati statistici calcolati :

Rilievo	Orientazione test	N.	UCS (MPa)			
			Min	Media	Max	Dev. St
RG-VC01	Perpendicolare a S	11	46	54	67	11
	Parallelo a S	10	44	52	62	12

Tabella 1: Risultati statistici delle prove di Point Load. Come da normativa ISRM, i due valori minori e maggiori per ciascun dataset non sono stati considerati.

A continuazione si riporta la scheda completa di tutti i risultati.

	IMPIANTO IMPIANTO DI VALCIMARRA II Installazione di nuovo gruppo reversibile	CODICE CKS GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.007.00
	TITOLO Progetto Definitivo per Autorizzazione	CODICE INTERNO 2021.0047.008-GT-PSP-RET-006
	<i>Relazione Geotecnica</i> Allegato 2-Point Load Test	Data 30/04/2022
		Pagina 7 di 7

SCHEDE DI PROVA