

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina 1 di 40

## Impianto idroelettrico di Coghinas – Diga di Muzzone

Renewable Energies Italy - O&M Hydro Italy  
 Northern Central Area - Territorial Unit Cagliari - UE Coghinas

Comune di Oschiri - Provincia di Sassari

### Ripristino dello scarico di fondo

#### Progetto Esecutivo

### *Relazione Geologica*

### *Relazione Tecnica*

<b>IL COMMITTENTE</b>  <b>ENEL GREEN POWER ITALIA SRL</b> Renewable Energies Italy O&M Hydro Italy Northern Central Area		07/03/2023			
		DATA	<b>ING. M. SESSEGO</b>		
<b>IL PROGETTISTA</b>  <b>LOMBARDI SA INGEGNERI CONSULENTI</b> <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b> Via del Tiglio 2, C.P. 934 CH-6512 Bellinzona – Giubiasco (Svizzera)		07/03/2023			
		DATA	<b>ING. M. BRAGHINI</b>		
<b>IL DIRETTORE LAVORI</b>		<b>L' INGEGNERE RESPONSABILE</b>		<b>IL PROGETTISTA SPECIALISTICO</b>	
		07/03/2023	<b>ING. M. ARU</b>	07/03/2023	<b>ING. A. BALESTRA</b>
DATA		DATA		DATA	

LOMBARDI SA INGEGNERI CONSULENTI



**Lombardi SA Ingegneri Consulenti**  
 Via del Tiglio 2, C.P. 934  
 CH-6512 Bellinzona-Giubiasco (Svizzera)

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>2 di 40</b>

B	07.03.2023	Bat	MFr
A	15.07.2022	Bat	MFr
<b>Versione</b>	<b>Data</b>	<b>Redatto</b>	<b>Verificato</b>

**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

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>3 di 40</b>

## INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEL PROGETTO	6
3.	METODOLOGIA DI LAVORO	10
3.1	Materiale bibliografico	10
3.2	Base topografica	10
3.3	Rilievi geomeccanici e fotogrammetrico con drone	11
3.4	Analisi scabrezza giunti	12
3.5	Rilevamento geologico	13
4.	ASSETTO GEOLOGICO GENERALE	14
5.	GEOMORFOLOGIA	18
6.	LITOLOGIE	22
6.1	Depositi superficiali	22
6.1.1	Riporti antropici e detrito di versante	22
6.1.2	Deposito alluvionale	22
6.1.3	Blocchi ciclopici	23
6.2	Substrato roccioso	24
6.2.1	Graniti	24
6.2.2	Dicchi di diabase	26
7.	IDROGEOLOGIA	28
8.	MODELLO GEOLOGICO	32
9.	BIBLIOGRAFIA	39
9.1	Riferimenti tecnici scientifici	39
9.2	Norme tecniche applicabili	39
9.3	Documenti storici sull'opera	40
9.4	Documenti di progetto	40

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>4 di 40</b>

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda la valutazione delle condizioni geologiche in merito al progetto del ripristino dello scarico di fondo della Diga Muzzone appartenente all'impianto idroelettrico di Coghinas in seguito a rinterramento dell'invaso.

L'ubicazione dell'impianto, nel Comune di Oschiri in provincia di Sassari, viene illustrata in **Figura 1**.



**Figura 1:** Ubicazione diga di Muzzone.

La relazione è organizzata nei seguenti capitoli:

- **Capitolo 2:** descrive l'opera
- **Capitolo 3:** illustra la metodologia di lavoro adottata
- **Capitolo 4:** illustra l'assetto geologico generale

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>5 di 40</b>

- **Capitolo 5:** descrive gli elementi geomorfologici
- **Capitolo 6:** descrive le unità geologiche e i depositi quaternari presenti in sito
- **Capitolo 7:** descrive le caratteristiche idrogeologiche del sito
- **Capitolo 8:** illustra in dettaglio il modello geologico

Le tavole tecniche a cui il presente rapporto fa riferimento sono:

- 2020.0240.002-GT-GEN-DW-701 Mappa geologica-geomorfologica in scala 1:500;
- 2020.0240.002-GT-GEN-DW-702 Sezione geologica-geotecnica longitudinale alla diga in scala 1:500
- 2020.0240.002-GT-GEN-DW-703 Sezione geologica-geotecnica A-A' in scala 1:250
- 2020.0240.002-GT-GEN-DW-704 Sezione geologica-geotecnica B-B' in scala 1:250
- 2020.0240.002-GT-GEN-DW-705 Sezione geologica-geotecnica C-C' in scala 1:250

Le valutazioni di ordine geotecnico e geostrutturale, così come l'analisi delle indagini pregresse e attuali, vengono presentate nella Relazione Geotecnica 2020.0240.002-GT-GEN-RT-103 [22], parte integrante del presente studio.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>6 di 40</b>

## 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEL PROGETTO

La diga di Muzzone, costruita fra il 1924 ed il 1927, è ubicata in corrispondenza dell'omonima stretta lungo il corso del Fiume Coghinas, circa 7 km a valle della confluenza del Rio Mannu di Ozieri e del Rio Mannu di Berchidda nel Comune di Oschiri, Provincia di Sassari. La diga origina a monte un serbatoio di oltre 240x106 m<sup>3</sup>, con un bacino imbrifero direttamente sotteso di circa 1'900 km<sup>2</sup>.

Il serbatoio permette la regolazione stagionale delle portate del fiume Coghinas sia per la produzione di energia elettrica nella sottostante centrale del Coghinas che per uso irriguo, industriale e potabile.

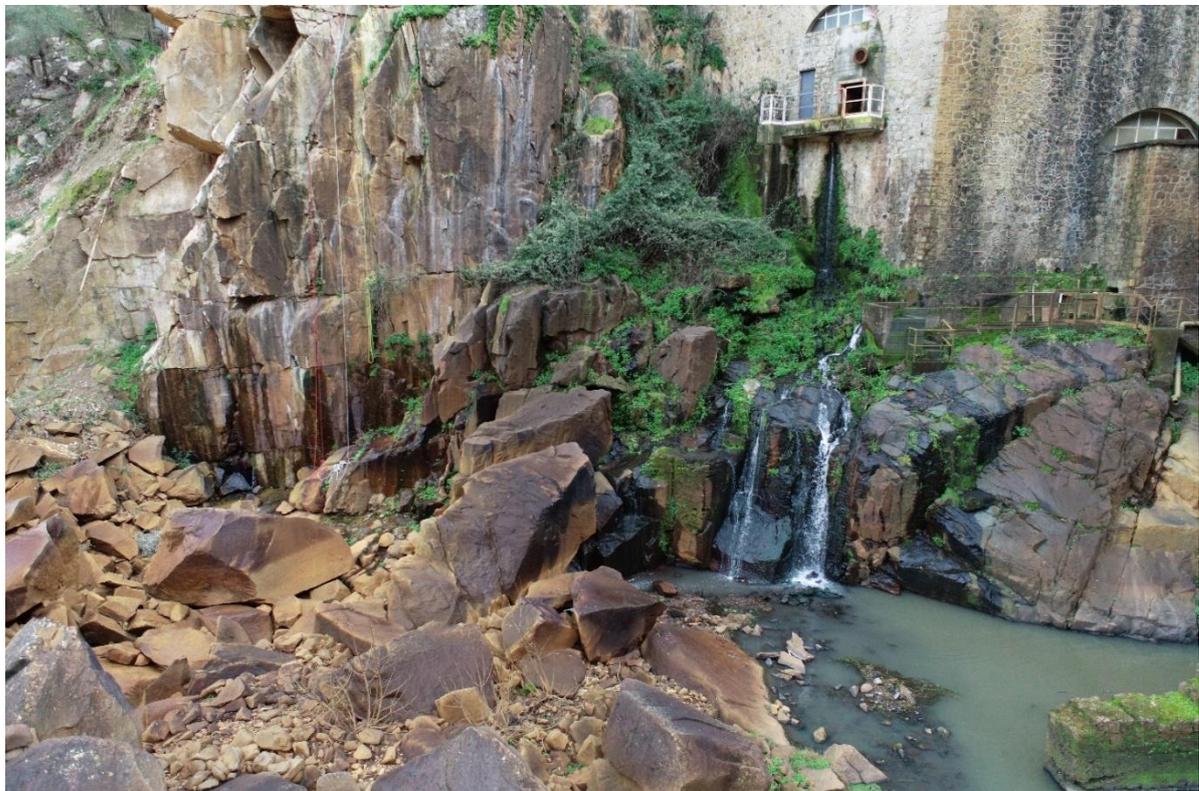
Dal punto di vista statico si tratta di una diga a gravità ordinaria (Aa1), a pianta rettilinea e sezione triangolare, realizzata in muratura costituita da un conglomerato cementizio composto da inerti di pezzatura variabile comprendente numerosi elementi di grosse dimensioni (inerti maggiori di 20-40cm), legati da malta di cemento e materiale fino. La diga è provvista di sei giunti verticali disposti alla distanza media di circa 20 m. La tenuta dei giunti è assicurata da un pozzo verticale riempito di bitume in prossimità del paramento di monte e da un foglio di speciale feltro impermeabile applicato con una leggera incassatura. Verso l'acqua il giunto è chiuso mediante una soletta coprigiunto in cemento armato.

La costruzione è stata eseguita con calcestruzzo con inerti di classe granulometrica variabile da ordinaria a ciclopica (dalle indagini risultano evidenti grosse pezzature). Dalle indagini eseguite da TECNO IN Geosolutions S.p.A. nel 2021, il concio verticale attraversato dagli scarichi profondi e dalla tubazione di presa mostra una costruzione eseguita per strati con inerti di diversa pezzatura, eventualmente intasati con malta.

Il paramento di valle è rivestito in pietrame di granito con pezzatura irregolare. Il paramento di monte in calcestruzzo è rivestito con intonaco retinato impermeabilizzato con apposite vernici. Nel corpo diga, in prossimità del paramento di monte, sono predisposti pozzi verticali drenanti, collegati superiormente ed inferiormente da due gallerie d'ispezione.

La stretta, nella quale è costruito lo sbarramento, è incisa profondamente nel granito. Questa roccia è attraversata da filoni diabasici paralleli, ma l'insieme si presenta sul fondo completamente sano e compatto e costituisce un'ottima base per la fondazione. Nella sponda destra il granito presenta delle fessurazioni che danno luogo ad alcune perdite dalla roccia. A titolo esemplificativo si espone una foto dell'area in esame: le venute (sulla sinistra) sono attribuite, per posizione, entità e variabilità, all'infiltrazione nelle fratture dell'ammasso roccioso delle acque dello scarico in alveo dei drenaggi (sulla destra, al termine del canaletto di adduzione). L'ordine di grandezza delle acque emergenti è dell'ordine delle frazioni di litro per secondo.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>7 di 40</b>



**Figura 2:** Perdite d'acqua in roccia in corrispondenza della sponda destra a valle diga.

Sulla sponda sinistra la diga si addentra maggiormente nel versante, in quanto le condizioni della roccia in posto hanno reso necessario dare uno sviluppo particolarmente accurato al sistema di drenaggio, per cui qui, anteriormente alla diga, è stato realizzato un grande diaframma a protezione della fondazione, munito di 9 pozzi verticali di drenaggio collegati inferiormente da una galleria.

Il bacino imbrifero comprende una vasta zona interna della parte settentrionale della Sardegna e ricade in terreni granitici e trachitici. Le sponde sono in prevalenza ricoperte da terreno vegetale con macchia mediterranea, degradanti con leggera pendenza verso l'invaso. L'alveo a valle corre tortuosamente incassato tra sponde rocciose, fino a sfociare nell'invaso di Casteldoria.

Attualmente lo scarico di fondo si presenta fuori servizio ed in condizione di sicurezza. L'imbocco di monte è completamente interrito. Una batimetria effettuata nel 1988 ha evidenziato che i sedimenti raggiungevano all'incirca quota 121.00 m s.l.m., circa 8 m al di sopra dell'imbocco dello scarico di fondo posto a quota 113.00 m s.l.m. L'ultima batimetria effettuata nel 2011, evidenzia una quota dei sedimenti nel tratto antistante il paramento della diga di 125.50 m s.l.m.

Nel corso del 2012 lo scarico di fondo è stato oggetto di lavori di messa in sicurezza che hanno previsto la chiusura definitiva dello scarico mediante la realizzazione di un tampone in calcestruzzo,

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>8 di 40</b>

a tergo della paratoia di intercettazione, di spessore 200 cm ed inghisato alle murature esistenti. Le pareti del tratto di galleria esistente a contatto con il tampone sono state ravvivate e sagomate in modo da ottenere una superficie concava che impedisca a quest'ultimo di spostarsi in virtù della sua forma. A seguito dei lavori effettuati lo scarico di fondo originario è stato pertanto messo fuori servizio.

Il nuovo scarico di fondo in progetto è costituito da una tubazione in acciaio alloggiata all'interno del corpo diga con imbocco ad una quota superiore rispetto al livello attuale dell'interrimento e dotato di due paratoie piane di intercettazione poste in prossimità dell'uscita della condotta dal corpo diga.

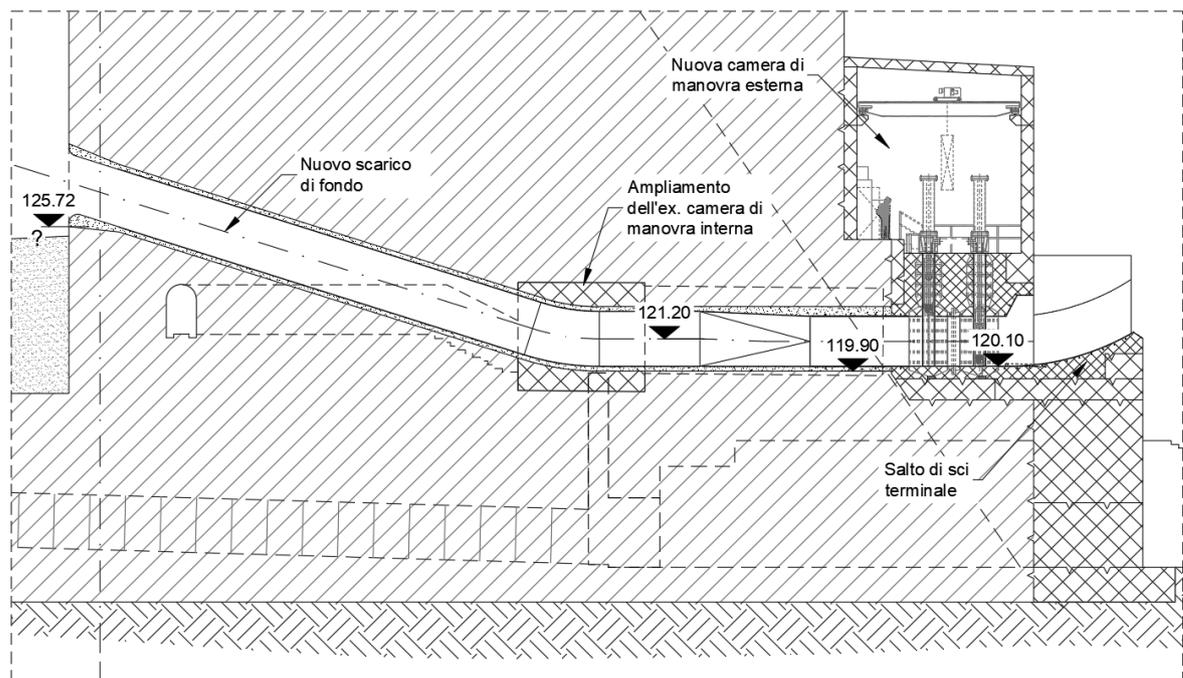
L'asse dello scarico in prossimità dell'imbocco è ubicato a quota 127.50 m s.l.m. mentre l'uscita è prevista con asse a quota 121.20 m s.l.m., ovvero 8.10 m al di sopra rispetto a quanto inizialmente previsto in fase di progetto definitivo.

La tubazione metallica annegata nel calcestruzzo è prevista con diametro interno pari a 2'200 mm.

Il nuovo assetto dello scarico di fondo è quindi in variante rispetto al progetto definitivo.

La modifica permette di avere a disposizione un'area di lavoro per lo scavo che riutilizza in parte la camera di manovra esistente ed aree di cantiere certamente collocate al di fuori delle aree bagnate in alveo a valle.

Il nuovo scarico di fondo, con recapito in aria a mezzo di un salto di sci terminale, sarà in grado di evacuare, alla quota di massimo invaso 167.60 m s.l.m. la portata di ca. 90 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 3:** Sezione in asse al nuovo scarico di fondo in corpo diga.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>9 di 40</b>

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>10 di 40</b>

### 3. METODOLOGIA DI LAVORO

Nell'ambito dello studio sono state effettuate le seguenti attività:

- Ricerca ed analisi del materiale bibliografico disponibile e dei rapporti di indagini pregresse;
- Rilievo topografia a valle diga tramite laser scan terrestre;
- Rilevamento geologico di dettaglio in campo;
- Esecuzione di rilievi geostrutturali su affioramenti rocciosi;
- Rilievo fotogrammetrico mediante drone;
- Rilievo fotogrammetrico “close range” per l’analisi della scabrezza dei giunti;
- Analisi dei dati ottenuti dalle campagne di indagine;
- Stesura della relazione geologica-geotecnica, relativi allegati e tavole.

#### 3.1 Materiale bibliografico

Come attività iniziale, oltre allo studio della documentazione fornita da ENEL, è stata eseguita una ricerca bibliografica di documenti utili a definire le caratteristiche geologiche dell’area in esame. La documentazione principale analizzata viene elencata nel Capitolo 9.

#### 3.2 Base topografica

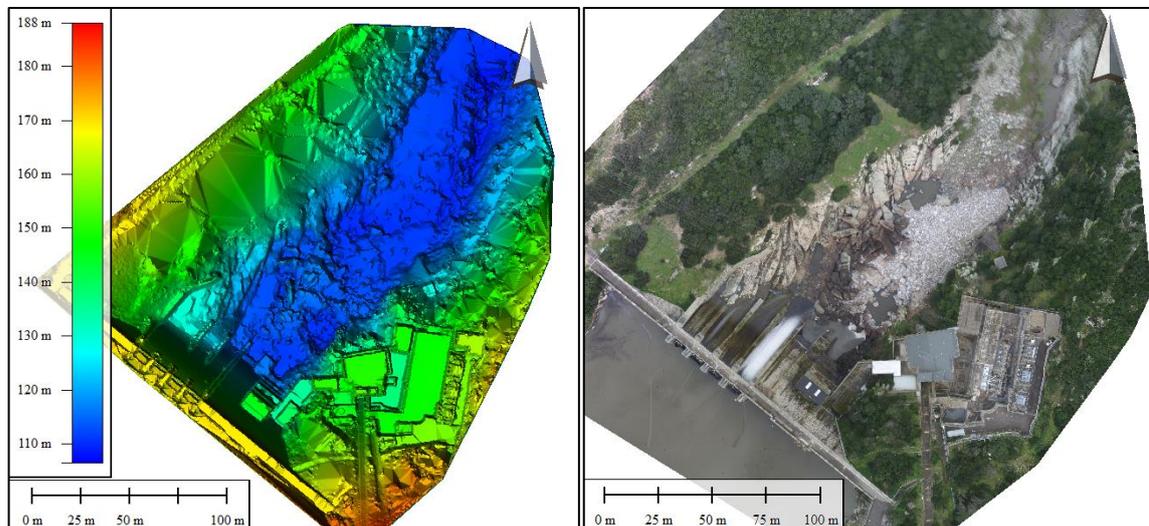
La base topografica utilizzata per lo studio è stata prodotta tramite un rilievo laser scan terrestre e fotogrammetria da drone eseguito nel marzo 2021.

Il rilievo è stato restituito sotto forma di:

- Curve di livello a passo 1m
- Modello digitale di elevazione DTM con risoluzione di 0.07m/pixel
- Ortofoto con risoluzione di 0.045m/pixel

Il sistema cartografico di riferimento utilizzato è UTM WGS84 Fuso 32N.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>11 di 40</b>



**Figura 4:** DTM e ortofoto risultanti dal rilievo topografico laser-scan terrestre e fotogrammetrico con drone.

### 3.3 Rilievi geomeccanici e fotogrammetrico con drone

Contemporaneamente all'attività di rilevamento geologico è stato eseguito il rilevamento geomeccanico degli affioramenti lungo la sponda destra e sinistra a valle della sezione di imposta.

I rilievi sono stati condotti allo scopo di definire l'assetto geostrutturale degli ammassi e le caratteristiche dei sistemi di discontinuità in essi presenti. I dati rilevati sono stati elaborati per determinare la classi di ammasso secondo il sistema di classificazione geomeccanico GSI e valutare i parametri di resistenza meccanica dell'ammasso.

Il dettaglio della metodologia di rilevamento e l'elaborazione dei dati vengono illustrati nell'Allegato A del Rapporto Geotecnico [22].

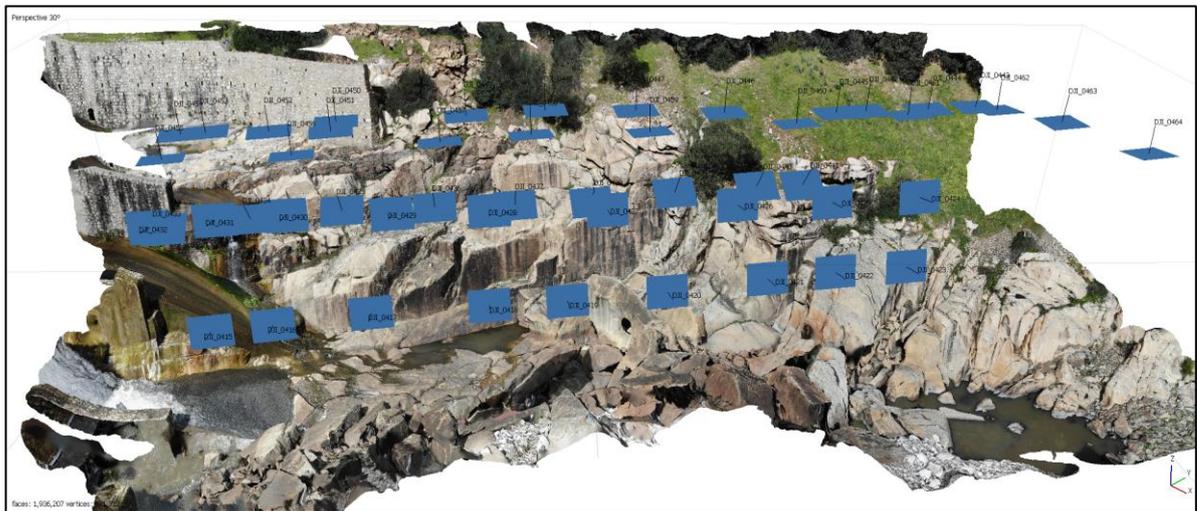
In abbinamento al rilevamento geomeccanico sono state eseguite riprese fotogrammetriche aeree mediante drone DJI Mavic Air equipaggiato con una camera digitale di 12 Mpx di risoluzione.

Il rilievo è stato esteso su entrambi i margini dell'alveo fino a 160 m di distanza a valle della diga. Sono state acquisite un totale di 73 foto per il versante destro e di 50 per quello sinistro con risoluzione fino a un massimo di 5 cm/pixel.

Le immagini sono state elaborate con software fotogrammetrico per estrarre modelli tridimensionali ad elevata risoluzione, estremamente utili per dettagliare sia gli elementi strutturali che le caratteristiche morfologiche.

I modelli semplificati dei 2 versanti sono inclusi in Allegato B al Rapporto Geotecnico [22] come files pdf tridimensionali.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>12 di 40</b>



**Figura 5:** Modello 3d con punti di ripresa delle foto con drone (rettangoli blu). Sopra: sponda destra, sotto: sponda sinistra.

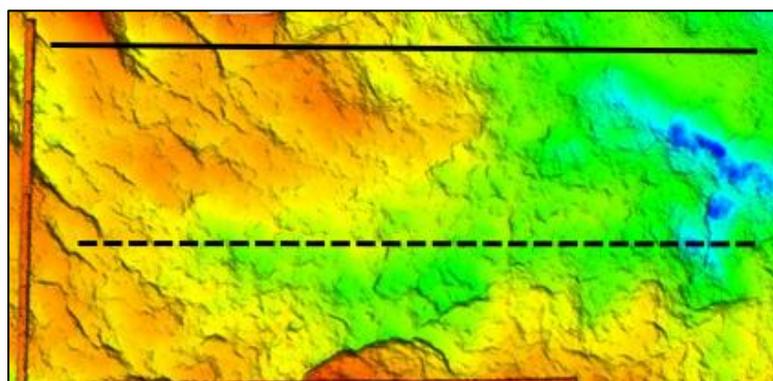
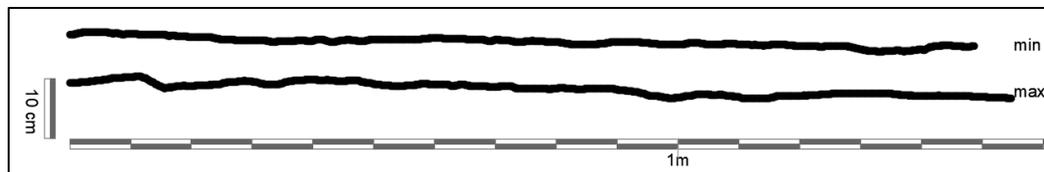
### 3.4 Analisi scabrezza giunti

A completamento delle attività di rilevamento geomeccanico è stato svolto un rilievo della rugosità dei giunti a scala metrica sui 3 sistemi di disgiunzione principali dell'ammasso roccioso.

Il valore minimo e massimo del parametro JRC (Joint Roughness Coefficient) di Barton [1] è stato determinato lungo 7 superfici di giunti attraverso tecniche di fotogrammetria close range utilizzando una fotocamera ad alta risoluzione (27 MPixel).

Il dettaglio della metodologia di rilevamento e l'elaborazione dei dati vengono illustrati nell'Allegato C al Rapporto Geotecnico [22].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>13 di 40</b>



**Figura 6:** Esempio di profili di asperità estratti dalla superficie del modello DEM sottostante.

### 3.5 Rilevamento geologico

Nel marzo 2021 è stato effettuato il rilievo geologico e geomorfologico sul posto al fine di identificare le principali unità litologiche, le strutture tettoniche e le forme morfologiche presenti in prossimità della diga.

Le attività sul campo sono state condotte con l'ausilio di tablet rugged dotati di ricevitore GPS monofrequenza (precisione di posizionamento 3-5m) e applicativo GIS FieldMove che ha permesso l'editing diretto sul campo degli affioramenti.

Sono state identificate e classificate le forme morfologiche con particolare attenzione agli elementi che indicano condizioni di instabilità degli ammassi rocciosi. In aggiunta, un dettagliato rilievo delle discontinuità è avvenuto mediante classificazione secondo gli standard ISRM e i sistemi RMR di Bieniawski e GSI di Hoek/Cai.

I risultati del rilievo geologico di superficie sono illustrati nella Carta geologica-geomorfologica [24].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>14 di 40</b>

## 4. ASSETTO GEOLOGICO GENERALE

Il sito della Diga di Muzzone si inserisce all'interno del complesso intrusivo tardo-ercinico conosciuto con il nome di "Batolite sardo-corso" la cui messa in posto è da ricondurre alla tettonica estensionale legata al collasso gravitativo della catena ercinica iniziata a partire da 308 Ma tra il Carbonifero superiore e il Permiano inferiore. Questi elementi granitoidi costituiscono circa un quarto dell'Isola e definiscono una estensione marcata da una lunghezza di 150km per una larghezza di circa 50km, proseguendo anche verso N lungo tutto il margine meridionale e centro occidentale della vicina Corsica per più di 400 km.

I caratteri tessiturali del batolite sono notoriamente compositi dovuti in parte alle caratteristiche sia geochimiche che strutturali, e in parte al lasso di tempo legato alla sua intrusione che gli studiosi stimano in circa 60 Ma. Mentre nella porzione di Corsica settentrionale l'associazione magmatica principale è rappresentata da Mg-K, nella zona meridionale dell'isola francese e nella porzione N della Sardegna le composizioni chimiche risultano principalmente calcicoalcaline.

La sequenza di messa in posto include inoltre intrusioni a carattere gabbro-tonalitico fino a leucomonzogranitico.

A livello petrografico, i litotipi della serie calcicalina che affiorano nella porzione nord-orientale della Sardegna sono rappresentati dalle seguenti proporzioni:

- 6-7% di granitoidi di composizione intermedia con silice compresa tra 60-65%. A questa classe appartengono tonaliti e granodioriti.
- 60% di granitoidi di composizione acida con silice compresa tra 65-75%. Prevalenti granodioriti e monzograniti.
- 30% di granitoidi super-acidi con silice tra il 75 e il 78% rappresentati da monzograniti, alaskiti e leucograniti.

La genesi del batolite è stata studiata mediante differenti modelli proposti da vari autori: secondo Zorpi et alii [2] la sua formazione è da ricondurre a magma acido in camere magmatiche profonde nelle quali si sono sviluppate zonature composizionali allo stato liquido, precedenti alla cristallizzazione di parete. In una fase successiva, in tali camere si sarebbero verificate iniezioni di magma basaltico più denso. Secondo le valutazioni di Poli et alii [2], l'origine del batolite è da ricercarsi nell'anatessi (fusione) crostale di rocce con composizione corrispondente ad una anfibolite biotitica; da questo fenomeno sarebbero quindi derivati stadi petrogenetici di magmi monzogranitici e intrusioni granodioritiche e tonalitiche. Anche Rossi e Cocherie [2] abbracciano la teoria che l'associazione calcicalina derivi da fusione della crosta anfibolitica e in presenza di magmi basici.

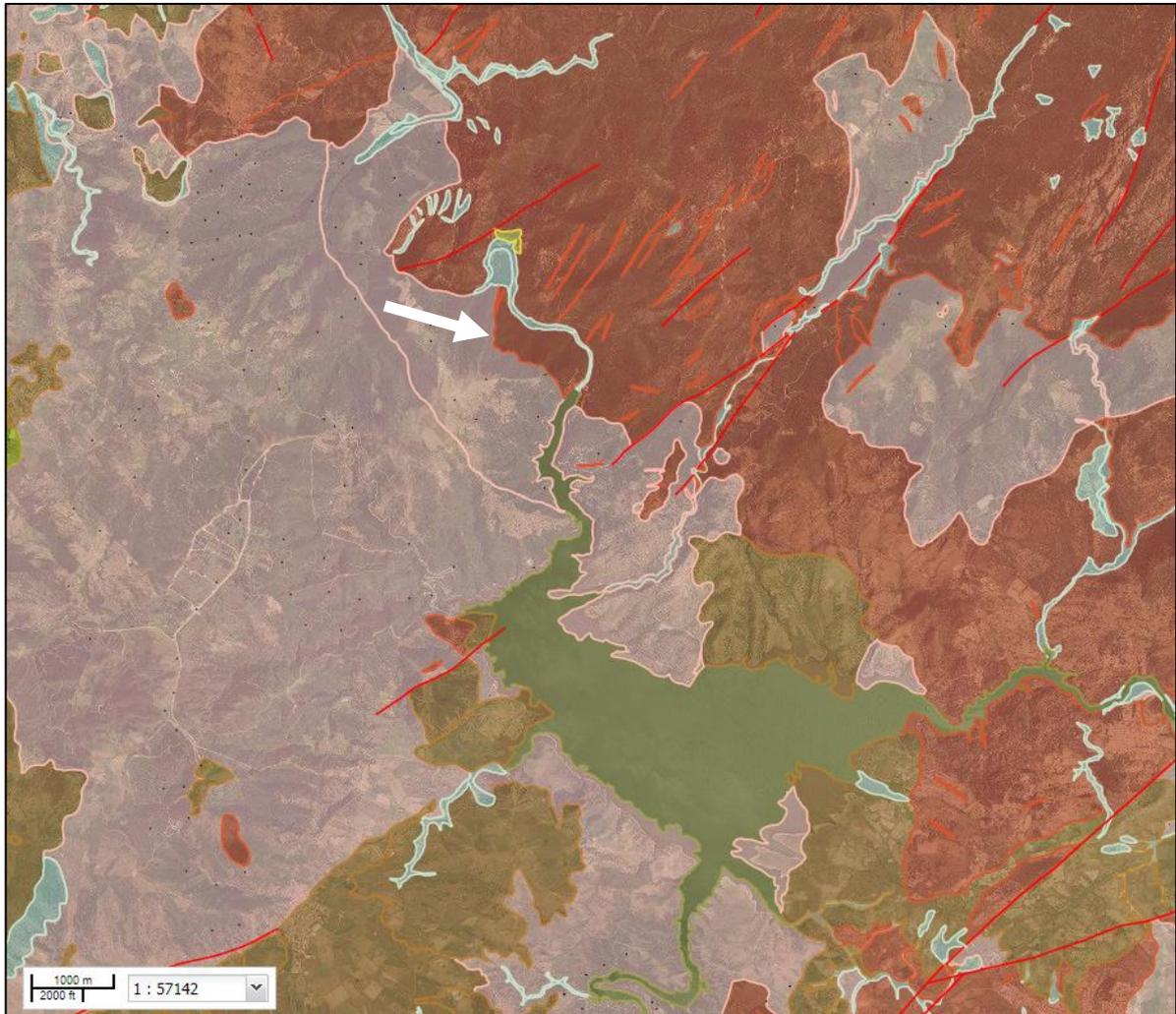
	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>15 di 40</b>

Dalla carta geologica in scala 1:10.000 della Regione Sardegna in **Figura 7** [8] risulta che la Diga di Muzzone sia impostata sull'“Unità Intrusiva di Tempio Pausania” e più specificatamente sulla facies “Valliciona” della “Subunità Intrusiva di Monte Limbara”. Le note illustrative del foglio geologico CARG n. 443 “Tempio Pausania” [2] descrivono affioramenti a carattere leucogranitico, con tessiture che variano da moderatamente inequigranulari a equigranulari fino a porfiriche a grana medio-fine. L'ordine di abbondanza decresce passando dal quarzo, al K-feldspato, al plagioclasio e infine alla biotite con diffusa alterazione di quest'ultima e del feldspato che conferisce alla roccia una colorazione bianco-giallastra. Sono abbastanza diffuse nei litotipi leucogranitici “tasche pegmatitiche”, vene e filoni di apliti e micrograniti da grana fine a spiccatamente porfirici con abbondante presenza di quarzo globulare. L'analisi radiometrica U-Pb condotta per la redazione del foglio CARG, proprio su di un campione di questa litofacies ha fornito una età di  $281.5 \pm 2.3$  Ma associandola al Permiano [2].

Tutto il batolite sardo-corso risulta intruso da un sistema di dicchi a composizione sia acida che basica, orientati mediamente NE-SW nella porzione settentrionale dell'Isola fino a NNW-SSE in quella meridionale. Dal punto di vista petrografico si tratta di filoni calcocalini (basalti andesitici a rioliti), basalti tholeitici e alcalini, rioliti i cui caratteri tessiturali risultano molto variabili. La mineralogia degli elementi basici è rappresentata fenocristalli di plagioclasio, orneblenda, augite e rara olivina, con strutture tra porfiriche e ofitiche e olivina generalmente alterata, mentre per quelli acidi si osservano plagioclasio, biotite, quarzo, feldspato alcalino e minerali accessori quali magnetite, titanite e allanite. Da studi pregressi sono stati distinti due principali cicli di attività filoniana ed effusiva successiva alla collisione ercinica: il primo post-collisionale è associato alle già citate fasi di collasso dell'orogene e segue un regime tettonico trans-estensivo con intrusioni di magmi a geochemica calcocalina (tardo Carbonifero – Permiano inferiore) mentre il secondo risulta associato ad regime di precoce rifting continentale marcato per una attività basica-acida maggiormente alcalina (Permiano superiore – Triassico inferiore). Filoni di diabase sono stati identificati sia negli affioramenti granitici a valle della diga che nelle carote recuperate dai sondaggi.

Il batolite sardo-corso è strettamente integrato con il basamento metamorfico Paleozoico che nella porzione settentrionale della Sardegna è rappresentato da una complessa formazione geologica costituita fondamentalmente da rocce genericamente classificate come "scisti". L'intero bacino di Coghinas si sviluppa su questo basamento metamorfico, formatosi al culmine dell'orogenesi ercinica durante il Carbonifero. La sua origine deriva da un metamorfismo di grado variabile dal basso all'alto, fino a vere e proprie trasformazioni migmatitiche con protoliti principalmente sedimentari, in cui sono comunque ben rappresentati anche quelli di origine magmatica e quelli metamorfici.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>16 di 40</b>

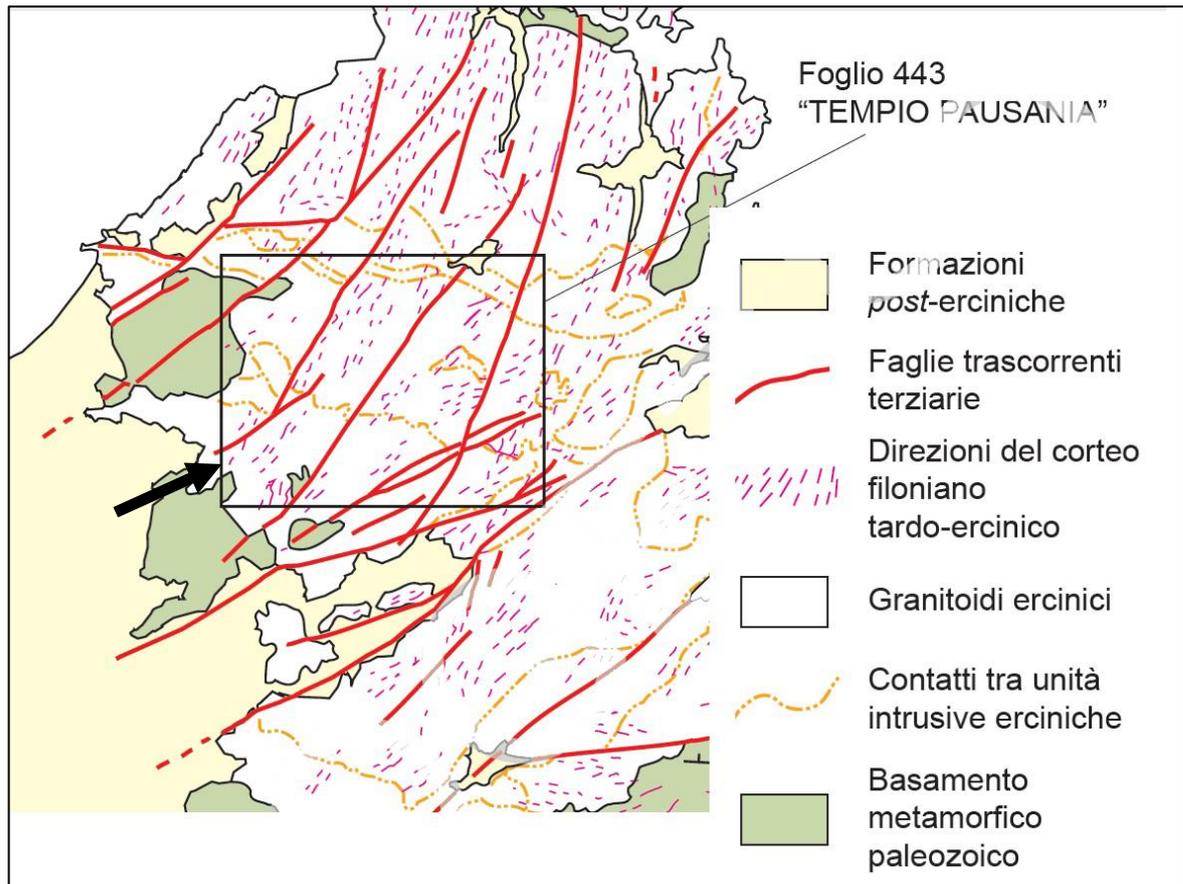


**Figura 7:** Estratto della Carta Geologica della Sardegna – Geoportale on line. La freccia indica l'ubicazione della diga. In rosso il batolite sardo-corso, in rosa il basamento metamorfico e in verde il Lago di Coghinas [8].

L'assetto tettonico della regione è stato determinato in larga misura dalle deformazioni legate all'orogenesi ercinica, la quale ha creato l'ossatura fondamentale sia del basamento metamorfico che di quello intrusivo. Nel foglio geologico "Tempio Pausania" [2] limitrofo alla diga, le principali strutture fragili sono rappresentate da lineamenti e faglie plurichilometriche con cinematica prevalentemente sinistra e minore diretta, che risultano parallele al complesso filoniano tardo-ercinico. Si segnala come la direzione e la cinematica delle faglie terziarie risulta fortemente controllata dalle strutture erciniche preesistenti, con orientazioni NNE-SSW e minori NE-SW, talvolta con andamenti curvilinei (**Figura 8**). Spesso, tra le faglie trascorrenti e i filoni si generano sistemi di faglie e fratture coniugate di secondo ordine.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>17 di 40</b>

È presente inoltre un sistema secondario di lineamenti morfostrutturali orientato circa E-W, che viene associato a movimenti trascorrenti destri, anch'essi possibilmente legati alla riattivazione di precedenti discontinuità post-erciniche.



**Figura 8:** Schema dei rapporti tra faglie trascorrenti terziarie e principali discontinuità del basamento ercinico (CARG-Foglio Tempio Pausania). Con la freccia si indica il sito della diga [2].

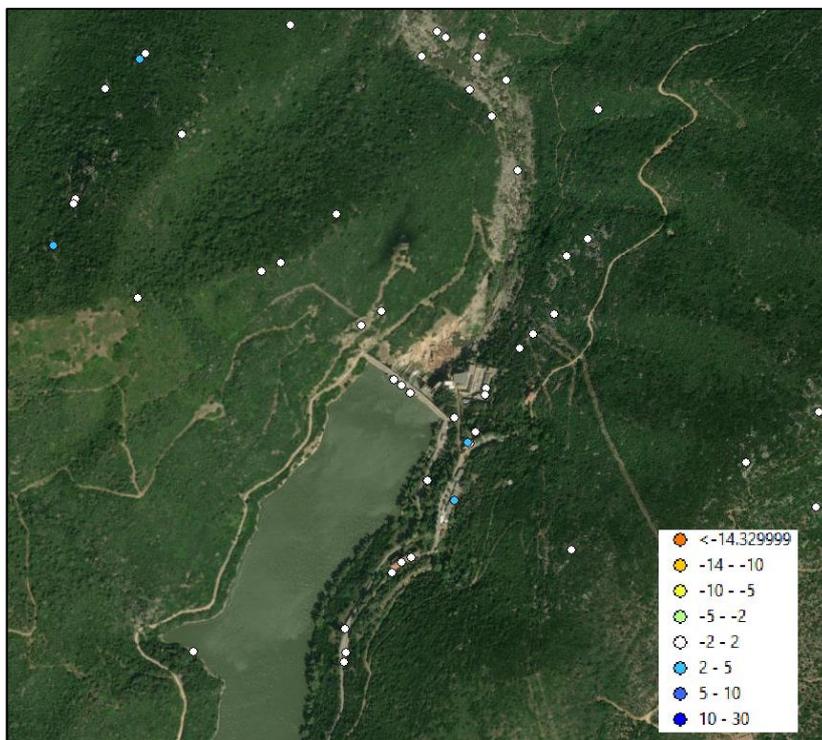
	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>18 di 40</b>

## 5. GEOMORFOLOGIA

L'analisi geomorfologica è stata condotta attraverso l'interpretazione della ortofoto e modello digitale (DTM) elaborati per questo studio e dei dati ottenuti dagli enti, quali il DTM lidar a 1 m [6] e le ortofoto disponibili on line. L'attività è stata completata con il rilevamento di terreno e il prodotto finale è stato la redazione di una carta Carta Geologica-geomorfologica [24] del sito diga alla scala 1:500.

La valle del Fiume Coghinas nel settore della diga è orientata in direzione verso NE per poi svoltare più a valle verso NW con stretti meandri condizionati dalla tettonica regionale. Il profilo della valle risulta abbastanza simmetrico tra i due versanti, con pendenze mediamente comprese tra 30°-35°. Solo a ridosso del fondovalle sono presenti pareti verticali in parte connesse agli scavi eseguiti per la costruzione della diga e delle strutture ad essa associate.

Le condizioni dei versanti nella zona di imposta della diga risultano generalmente stabili: il catalogo IFFI [4] non segnala alcun fenomeno di dissesto nell'area, mentre i dati di Interferometria Radar Satellitare (InSAR) ottenuti dal Ministero dell'Ambiente [5] non identificano movimenti lungo i versanti, infatti i riflettori radar a terra, denominati Permanent Scatters, disponibili sono illustrati in **Figura 9** e mostrano una situazione pressoché stabile, con velocità di spostamento generalmente incluse tra -2 e +2 mm/anno.

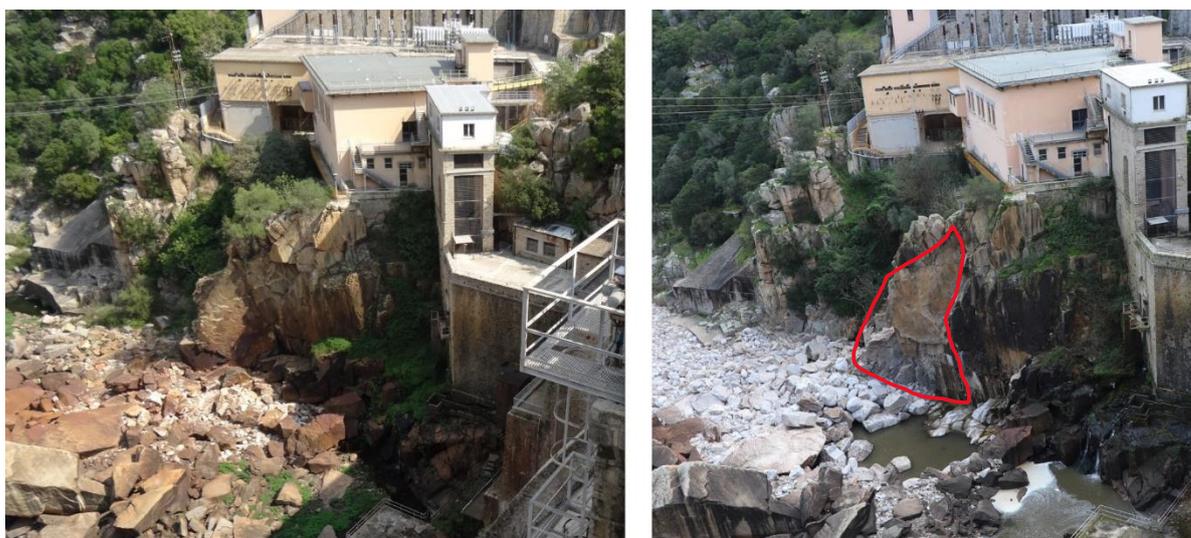


**Figura 9:** PS relativi al monitoraggio InSar – Ministero dell'Ambiente. Le velocità sono espresse in mm/anno [5].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
	Pagina <b>19 di 40</b>	

Si segnala tuttavia che nel corso del sopralluogo è stata identificata in sponda destra a valle della diga una zona in dissesto (**Figura 10**). Si tratta di un'area interessata da crolli in roccia che si sviluppa tra circa 60 ed 85 m a valle dall'asse della diga lungo la base di uno sperone di granito. Il dissesto è stato causato dal getto dello scarico di mezzofondo che nel gennaio 2021 è stato operato, in accordo con il piano di Protezione Civile, per mantenere le acque del serbatoio ad una quota inferiore a quella dello sfioratore. Il getto di acqua rilasciata dallo scarico di destra è andato ad impattare direttamente contro la base dello sperone producendone una erosione progressiva che ha coinvolto anche la porzione di roccia sovrastante e la copertura di detrito che era presente dietro allo stesso. Il materiale crollato è stato mobilizzato verso valle insieme agli accumuli di blocchi che erano già presenti in alveo creando una zona di accumulo con blocchi di colore grigio chiaro per la assenza di alterazione, che si estende fino a 150 m dall'asse della diga. Il confronto tra le foto riprese in Settembre 2020 e Marzo 2021 di **Figura 10** mostra la zona di crollo, l'erosione nel letto del fiume nel punto di impatto dei getti profonda fino a circa 2-3m e l'area a blocchi mobilizzati per la quale si stima un volume complessivo di circa 1'500-2'000 m<sup>3</sup>.

Si ritiene che tale situazione non ponga alcun rischio sulla stabilità della diga, tuttavia genera condizioni di pericolo per gli edifici tecnici e di servizio immediatamente prospicienti il punto del crollo e che potrebbero essere interessati da ulteriori crolli direttamente sul piano di fondazione.



**Figura 10:** Zona in dissesto in sponda destra a valle della diga: confronto tra la situazione di settembre 2020 a sinistra e quella di Marzo 2021 a destra. Delimitata dalla linea rossa la superficie di distacco della porzione di roccia crollata.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>20 di 40</b>

Il dissesto viene rappresentato nella Carta Geologica-geomorfologica [24] del sito diga dai seguenti elementi:

- Area di crollo in roccia: si tratta di un'area interessata da crolli in roccia che interessa tutto lo sperone granitico posizionato a valle dello sbarramento.
- Deposito da crollo recente: blocchi crollati e depositi di fondovalle rimobilizzati dai getti dello scarico di mezzofondo e sparsi lungo una superficie di circa 1500 m<sup>2</sup>, ben identificabile dall'elevato contrasto che i blocchi biancastri, lavati dal getto degli scarichi, presentano rispetto ai massi circostanti alterati in superficie. Il materiale si compone di blocchi irregolari di forma grossolanamente parallelepipedica e cubica con dimensioni che raggiungono 1-2 m<sup>3</sup> di volume.



**Figura 11:** vista del deposito da crollo recente.

- Frana in materiale sciolto (suolo): si tratta di uno scivolamento superficiale di suolo lungo il contatto con il substrato roccioso, con estensione di 11 m di larghezza e massimo 9 m di altezza, ubicato lungo il margine destro immediatamente dietro alla zona di crollo (**Figura 12**). La frana ha interessato la coltre di deposito che copre in questo settore lo spazio tra due speroni di roccia granitica bene esposta e coperta da vegetazione. Il materiale visibile lungo la superficie del

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>21</b> di <b>40</b>

distacco risulta essere composto da terreno granulare, principalmente ghiaia e sabbia con frammenti spigolosi di granito il cui spessore sembra non possa superare 1.5-2 m. Il coronamento dello scivolamento non ha raggiunto gli edifici localizzati a monte mentre il corpo franato è stato completamente asportato dal getto dello scarico.



**Figura 12:** Estensione della frana superficiale in suolo lungo il margine destro a valle del corpo della diga.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>22</b> di <b>40</b>

## 6. LITOLOGIE

Il presente capitolo illustra le caratteristiche delle unità geologiche rappresentati nella carta geologica e nella sezione trasversale.

### 6.1 Depositi superficiali

#### 6.1.1 Riporti antropici e detrito di versante

Si compongono da materiali granulari di ghiaie e sabbie in prevalenza con frammenti angolari di granito di dimensioni fino a 20-30 cm, in stato di addensamento medio-basso.

Sono stati cartografati lungo il versante sinistro e si estendono fino al letto del Fiume Coghinas solo a circa 200 m a valle della diga in quanto nelle sue vicinanze sono stati asportati per lo scavo dello sfioratore. Gli spessori sono limitati e possono aumentare fino a qualche metro nella parte superiore del versante.

Coltri limitate di riporti di origine antropica sono presenti lungo il versante sinistro a ridosso del piede di valle della diga.

#### 6.1.2 Deposito alluvionale

Il deposito alluvionale si compone di granulometrie molto grossolane, principalmente ghiaie e blocchi fino a una dimensione di 1 m<sup>3</sup> e sono stati cartografati a partire da 130 m a valle della diga con spessori stimabili tra 1 m e 3-4 m, maggiormente potenti al margine sinistro dove la minore incisione delle acque del fiume hanno generato la formazione di un piccolo terrazzo.

La composizione dei clasti è monogenica, composta nella quasi totalità da graniti.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>23 di 40</b>



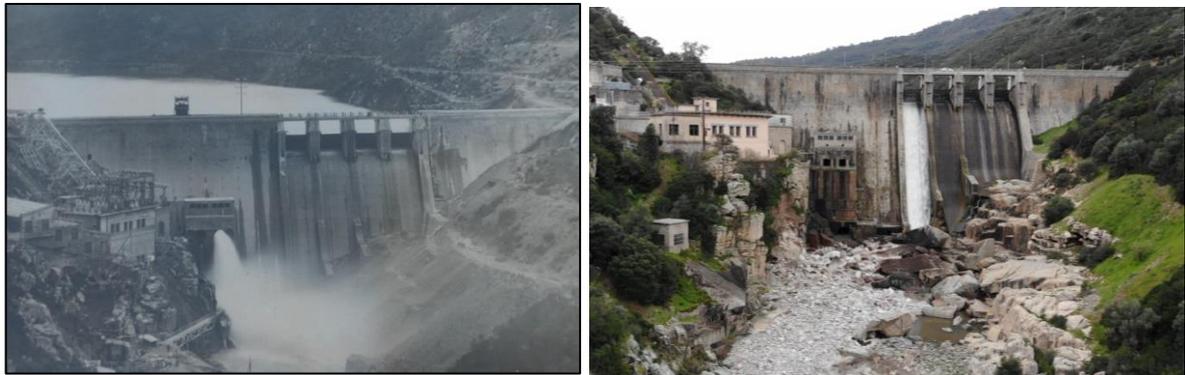
**Figura 13:** Deposito alluvionale a blocchi in primo piano.

### 6.1.3 *Blocchi ciclopici*

In alveo a partire dal piede di valle della diga e per una distanza di circa 150 m si estende una zona caratterizzata da blocchi ciclopici sparsi su di un'area di circa 1500 m<sup>2</sup>. I blocchi, chiaramente derivanti dal sottostante substrato granitico, presentano volumi anche superiori ai 10 m<sup>3</sup> con forme parallelepipedo a facce nette e planari. Spesso si rinvengono in un complesso gioco di incastri ed equilibrio precario con limitati punti di contatto al suolo.

Il confronto tra immagini storiche e attuali di **Figura 16** mostra come la loro formazione possa essere derivata dall'azione erosiva delle acque di scarico dello sfioratore che hanno rimosso la copertura detritica superficiale e disarticolato l'ammasso roccioso sottostante, caratterizzato da spaziatura plurimetrica dei giunti, generando così i blocchi ciclopici.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>24 di 40</b>



**Figura 14:** Viste del settore a valle dello sfioratore in una immagine storica ripresa nel 1924 al termine della costruzione (sinistra) e una attuale (destra) in cui si apprezza la rimozione di parte del detrito sul pendio e la presenza di blocchi ciclopici in alveo.

## 6.2 Substrato roccioso

### 6.2.1 Graniti

I graniti appartengono all'Unità di Monte Limbara e compongono il substrato roccioso della sezione di imposta e dei pendii a valle ove affiorano con continuità lungo l'alveo del Fiume Coghinas.

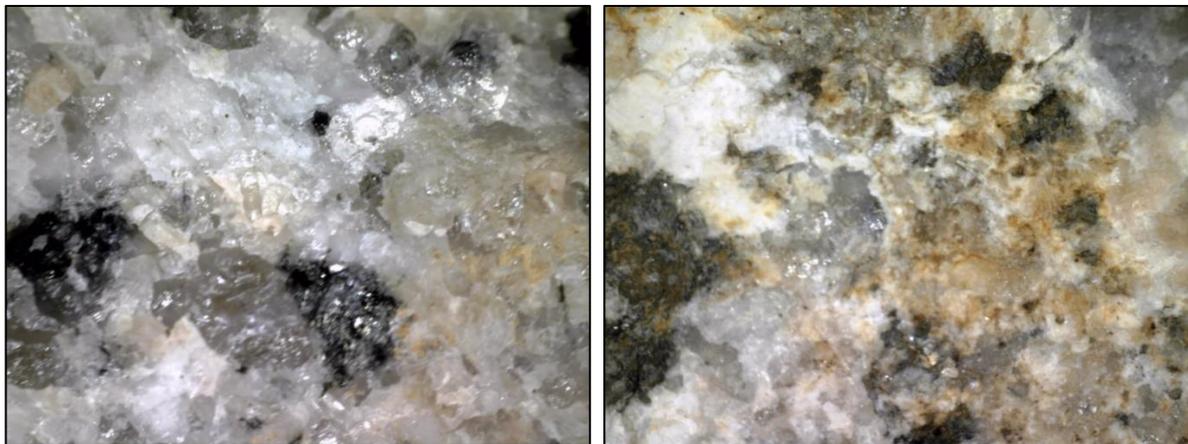
Si tratta di petrofacies granitiche a carattere leucocratico, con tessiture che variano da moderatamente inequigranulari a equigranulari fino a porfiriche.

Le datazioni U-Pb realizzate nell'ambito del progetto CARG su questa litologia, definiscono una età radiometrica di  $281.5 \pm 2.3$  Ma (Permiano) [2].

Alla scala microscopica con ingrandimento 50X si osserva una tessitura faneritica a grana grossa con fenocristalli equigranulari in cui il quarzo si presenta con maggior occorrenza, seguiti da K-feldspato, plagioclasio e biotite aventi dimensione massima di 5 mm (**Figura 15**).

La colorazione della roccia è tipicamente bianco-rosata quando sana; in condizioni superficiali o lungo le superfici dei giunti principali si nota una leggera alterazione associata principalmente alla ossidazione delle biotiti.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>25 di 40</b>



**Figura 15:** Scansione da microscopio ottico a ingrandimento 50X di un campione di granito sano a sinistra e di uno leggermente alterato in superficie a destra. Dimensione delle immagini=25x20mm.

Alla scala dell'affioramento i graniti si presentano poco alterati (classi ISRM W1-W2) e con resistenze a compressione elevate, comprese cioè tra 60 e 200 Mpa e valore medio pari a 130 Mpa. Solo localmente, l'alterazione in superficie coinvolge minerali ferro-magnesiaci con tipica colorazione giallo-brunastra. L'occorrenza in superficie ammonta a circa il 98% del totale degli affioramenti, mentre nelle carote delle perforazioni è stato rinvenuto per circa il 60% della lunghezza totale.

La fratturazione osservata in campo presenta grado molto basso con un valore di RDQ, misurato nei sondaggi ISMES e nel sondaggio recente P1, sempre superiore a 80% e con la grande maggioranza delle tratte con 100% (**Figura 16**). Sono attraversati da 4 sistemi di disgiunzione principali, meglio descritti nel prossimo capitolo, caratterizzati da spaziatura da metrica a plurimetrica e persistenza che può superare varie decine di metri.



**Figura 16:** Struttura dell'ammasso roccioso granitico in sponda destra e da campioni di perforazione nel sondaggio S4.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>26 di 40</b>

### 6.2.2 *Dicchi di diabase*

Una serie di filoni basici subverticali e allungati in direzione NNE-SSO (giunti K2 ([22]) si osservano in sinistra al piede dello sfioratore e sono stati carotati al di sotto del corpo centrale della diga dai sondaggi S2, S3 e P1.

I dicchi sono composti da rocce basaltiche e trachibasaltiche ipoabissali (diabasi) che in superficie mostrano lunghezze di oltre 30metri e spessori compresi tra minimo di 10cm e massimo di 2 metri. Il contatto coi graniti è lungo superfici planari localmente anastomizzate che generano bande decimetriche di granito allungate nella stessa direzione dei filoni (**Figura 18**).

Alla scala microscopica i dicchi presentano una struttura densa ofitica a tratti porfirica a grana minuta, con fenocristalli rari e poco distinguibili, molto compatti la cui origine e tessitura è associabile a diabasi. Dove riconoscibili, i fenocristalli sono rappresentati principalmente da plagioclasio idiomorfo e pirosseno, i quali non superano comunque la dimensione di 1 mm. Dalla scansione del campione a mano con microscopio ottico di **Figura 17** è stata osservata anche una piccola quantità di minerali di quarzo. Il colore della massa è tipicamente nero passante al verdone-scuro nelle zone superficiali esterne per una incipiente ma lievissima alterazione che porta a una colorazione marrone.



**Figura 17:** Scansione da microscopio ottico a ingrandimento 50X di un campione di diabase proveniente da un filone sub-verticale. Dimensione dell'immagine=25x20mm.

Alla scala dell'affioramento i filoni si presentano poco alterati (classi ISRM W1-W2) e con resistenze alla compressione più alte di quelle dei graniti, comprese tra 70 e 235 MPa e valore medio pari a 160 MPa. La loro frequenza volumetrica stimata in superficie ammonta a circa il 2% del totale degli affioramenti.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinass	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>27 di 40</b>

Il grado di fratturazione come per i graniti è molto basso con valore medio di RDQ del 75% e con la maggior parte della recuperazione con TCR uguale a 100%.



**Figura 18:** Filone basico osservato in affioramento e carote recuperate nel sondaggio P1.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>28 di 40</b>

## 7. IDROGEOLOGIA

L'assetto idrografico di questo settore della Gallura è strettamente condizionato dall'assetto strutturale del substrato roccioso, infatti l'andamento del Fiume Coghinas nel settore in esame e di vari altri torrenti al di fuori di esso si sviluppa prevalentemente in direzione verso NNE-SSO, allineato al sistema di lineamenti descritti nel capitolo 4.

Per quanto concerne le acque sotterranee a livello regionale il complesso plutonico granitoide costituisce un acquifero moderatamente permeabile dotato di permeabilità per fessurazione in cui le acque meteoriche vengono direttamente raccolte e trattenute all'interno del sistema di diaclasi: l'acquifero risulta più produttivo nei settori interessati da intensa fratturazione e in corrispondenza di faglie/contatti tettonici. Tali riserve idriche presentano quindi notevole interesse strategico: i relativi acquiferi risultano difatti sede di numerosi pozzi trivellati che emungono da falde confinate o semiconfinate con produttività discrete [2].

La circolazione profonda nelle porzioni granitiche costituisce a livello generale la via di alimentazione delle principali sorgenti. Si osserva infatti un allineamento coerente delle sorgenti con le principali strutture tettoniche e i filoni di diabase (**Figura 19**). Le caratteristiche di permeabilità medio bassa dei dicchi che intersecano il batolite possono inoltre costituire degli sbarramenti al flusso idrico sotterraneo.

Le note illustrative del foglio geologico indicano inoltre una circolazione idrica sotterranea comunemente diffusa nelle coltri detritiche legate all'alterazione della roccia in situ, che nel sito in esame, essendo poco sviluppata, risulterebbe alquanto scarsa. Stesso discorso vale per i depositi alluvionali, che seppure dotati di alta permeabilità per porosità, non costituiscono grandi risorse idriche dato il loro limitato sviluppo areale e il limitato spessore.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>29 di 40</b>



**Figura 19:** Schema idrogeologico del foglio CARG-Tempio Pausania preso come riferimento per il sito in esame, il quale risulta esterno al margine SW della figura [2].

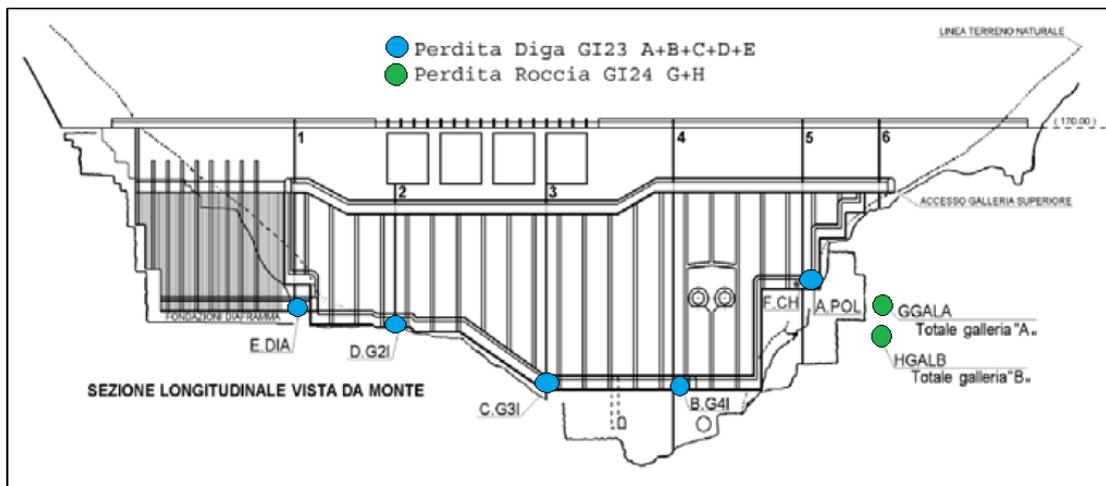
A livello locale durante il rilievo sono state identificate venute d'acqua superficiali unicamente dal massiccio roccioso in destra a valle della diga, in corrispondenza dell'intersezione di fratture orizzontali con giunti verticali; le portate sono state stimate in 2-3 l/s. Lungo il margine sinistro invece, sono stati riscontrati solo gocciolamenti puntuali a partire da fratture verticali. Le posizioni delle sorgenti sono state rappresentate all'interno della carta geologica allegata.

Va tuttavia considerato che la quasi totalità delle filtrazioni dal serbatoio di Coghinas sono intercettate da due gallerie drenanti scavate in roccia immediatamente a valle del margine destro della diga e dal sistema di drenaggio interno alla struttura. Le filtrazioni confluiscono a due stramazzi di misura per i quali sono disponibili le serie storiche a partire dal 1985.

Lo schema di figura **Figura 20** illustra lo schema dei punti di misura, distinti in:

- Perdita diga GI23: raccoglie le perdite dei punti A, B, C, D, E posti lungo la galleria longitudinale di ispezione
- Perdite Roccia GI24: raccoglie le perdite dalle gallerie A e B.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>30 di 40</b>

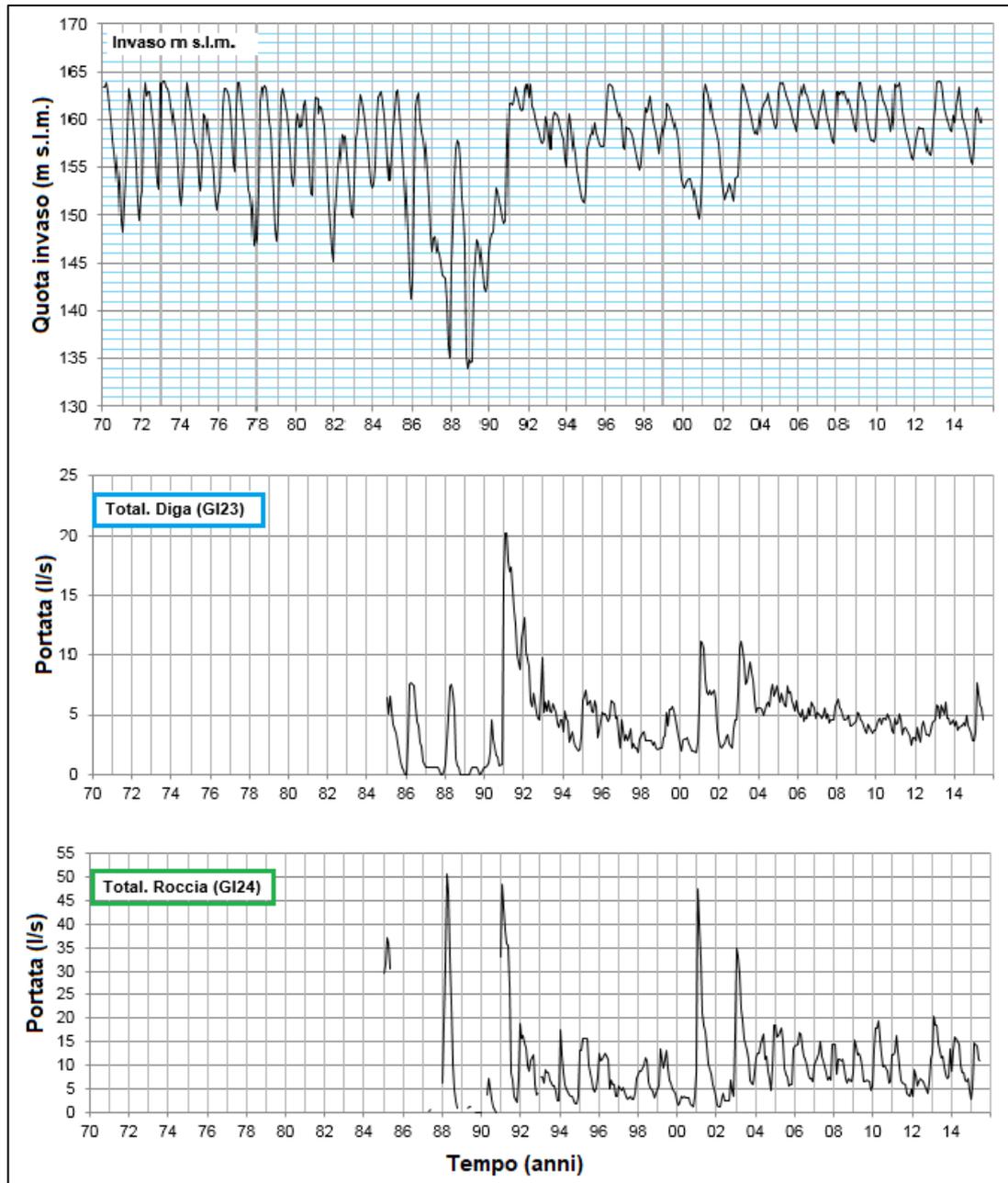


**Figura 20:** Schema dei punti misura delle perdite [17].

La serie storica 1970-2015 rappresentata in **Figura 21** mostra il confronto tra le quote dell'invaso di Coghinas e le portate associate alle filtrazioni nel corpo diga e in roccia [17]. Dai diagrammi si osserva che la portata dal corpo diga (totalizzatore GI23) si attesta negli ultimi anni su un valore medio di circa 5 l/s con massimi in diminuzione che raggiungono ora i 7-8 l/s, si tratta in ogni caso di valori molto contenuti. Dai dati storici risulta che le portate sono inferiori a quelle, già soddisfacenti, rilevate al termine della campagna di iniezione di fine anni '20.

Per quanto concerne le filtrazioni in roccia il totalizzatore GI24 registra flussi che si attestano in media sui 10 l/s con picchi che nel periodo 2004-2015 hanno raggiunto un massimo di 20 l/s. Le memorie storiche [7] confermano indicano che le perdite si sono drasticamente ridotte con le iniezioni sopra citate rispetto ai 110 l/sec precedenti all'intervento.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>31 di 40</b>



**Figura 21:** Perdite totali associate ai due punti di misura in confronto con le quote relative all'invaso. Modificato da [17].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>32 di 40</b>

## 8. MODELLO GEOLOGICO

Il modello geologico elaborato per lo studio è risultato del rilievo di dettaglio effettuato in campo integrato da informazioni relative ai documenti di bibliografia e dai risultati delle indagini geognostiche realizzate nel corso degli anni.

Il modello viene illustrato per mezzo della Carta Geologica-Geomorfologica alla scala 1:500 il cui estratto viene rappresentato in **Figura 22** oltre a n.4 sezioni geologico-geotecniche [25], [26], [27], [28].

Gli elementi rappresentati sono composti da:

- distribuzione delle unità geologiche del substrato e dei depositi quaternari,
- elementi morfologici connessi anche all'evoluzione del sito;
- sondaggi eseguiti da ISMES [19] nell'anno 1988 rappresentati con la loro proiezione reale in planimetria;
- sondaggio eseguito da Tecnoln S.p.a. nel luglio 2021 [22];
- tracce planimetriche delle discontinuità e delle faglie;
- elementi antropici rappresentati dalla diga, strutture, edifici, complessi antropici.

La base cartografica è stata estratta dal modello digitale DTM realizzato mediante rilievo topografico lidar e fotogrammetrico con drone dotata di curve di livello equidistanti 1 m.

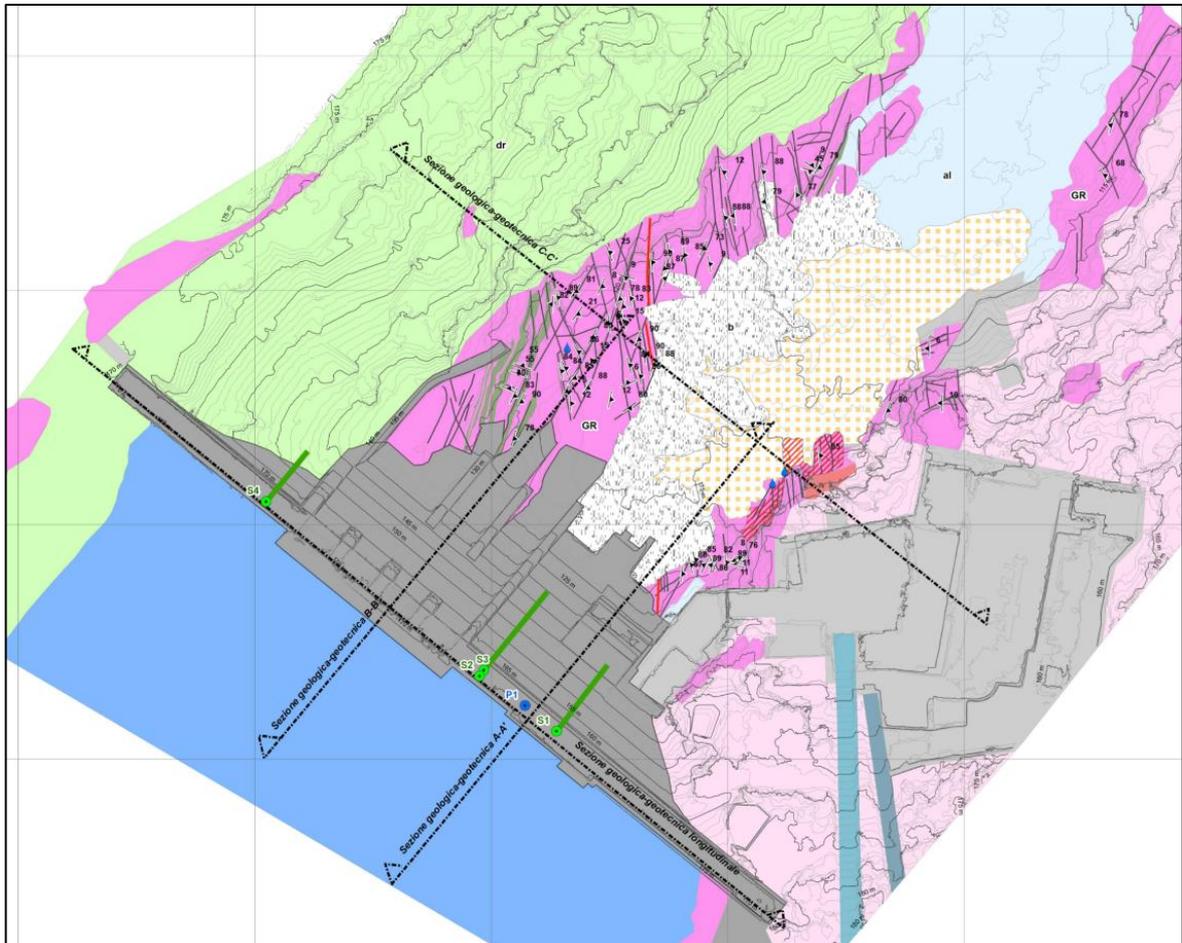
L'assetto geologico della sezione di imposta è costituito quasi interamente dai graniti dell'unità intrusiva di "Monte Limbara" (Permiana).

I graniti sono intrusi da alcuni filoni di diabase che in superficie presentano spessori compresi tra 10 cm e 2 m e persistenze maggiori di 20 m distribuiti lungo un pattern di fratturazione grossomodo NNE-SSO. I sondaggi indicano inoltre la presenza al di sotto della porzione centrale della diga di diabase: almeno la sezione di imposta si caratterizzerebbe interamente per la presenza di altri filoni di diabase che a valle lungo l'alveo del fiume vengono coperti dai depositi alluvionali; si tratta di bande allineate secondo il trend regionale NNE-SSO con spessore fino a 10 m.

Le resistenze a compressione dei graniti e dei diabasi sono comparabili, leggermente più alte per il diabase, con medie rispettivamente di 160 Mpa e di 130 Mpa per i graniti.

Si segnala che lungo la spalla sinistra della diga, in corrispondenza di una zona superficiale con graniti alterati, è stato realizzato un diaframma impermeabilizzato con a tergo a una serie di pozzi drenati che confluiscono ad una galleria alla base. La spalla destra invece è stata tratta con iniezioni cementizie in pressione [7].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>33 di 40</b>



**Figura 22:** Estratto della Carta Geologica-Geomorfologica [24].

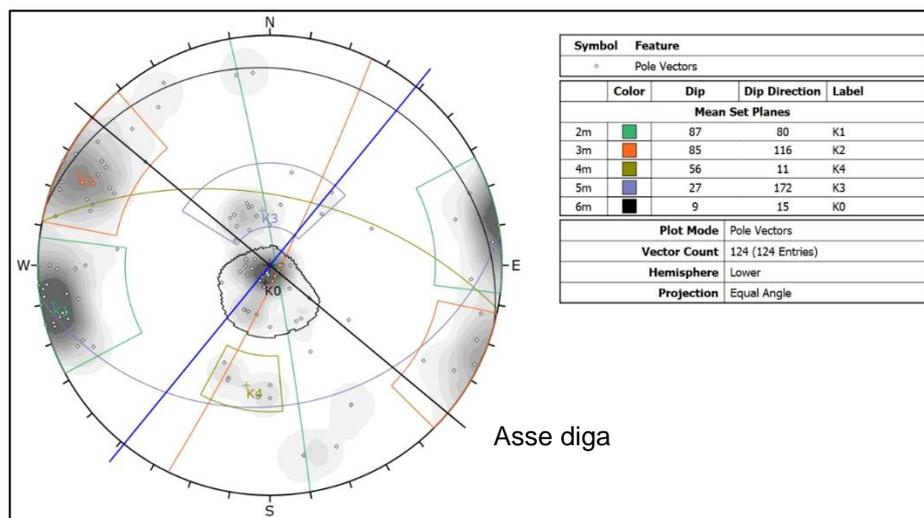
L'assetto strutturale del substrato roccioso è definito da 5 famiglie di discontinuità sistematiche, distinguibili chiaramente dall'analisi delle giaciture misurate nei rilievi geomeccanici e nelle indagini ottiche eseguite nei fori di sondaggio (**Figura 23**). La descrizione delle caratteristiche di dettaglio dei giunti e dell'ammasso roccioso in fondazione viene trattata nella Relazione Geotecnica [22].

In sintesi, sono stati identificati i seguenti sistemi:

- K0: set orientato 015/09° con spaziatura media di 146 cm e persistenza maggiore di 10 m, che rappresenta circa il 34% delle misure registrate. Le pareti dei giunti sono planari con rugosità medio-bassa; le aperture in affioramento variano da 0 a massimo 400 mm, mentre in profondità risultano ben serrate. Si tratta di un sistema di disgiunzione a basso angolo probabilmente associato a fenomeni di rilascio dello stato tensionale (stress relief).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>34 di 40</b>

- K1: set con orientazione media di 080/87° con spaziatura media di 161 cm e persistenza tra 10-20 m, che rappresenta circa il 26% delle misure registrate. Le pareti dei giunti sono planari con rugosità medio-bassa le cui aperture in affioramento variano da 0 a massimo 300 mm, mentre in profondità risultano ben serrate. Appartiene a questa famiglia anche la zona di faglia identificata al margine sinistro e dotata di spessore ad elevata fratturazione pari a 1 m di spessore.
- K2: set con orientazione media di 116/85° con spaziatura media di 219 cm e persistenza tra 10 e 20 m, che rappresenta circa il 24% delle misure registrate. Le pareti dei giunti sono planari con rugosità medio-bassa le cui aperture in affioramento variano da 0 a massimo 100 mm, mentre in profondità risultano ben serrate. Il set corrisponde come orientazione al sistema di lineamenti regionali e alla direzione dei dicchi doleritici.
- K3: set con orientazione media di 172/27° con spaziatura media di 115 cm e persistenza tra 1 e 10 m, che rappresenta circa l'11% delle misure registrate. Le pareti dei giunti sono planari con rugosità medio-bassa le cui aperture in affioramento variano da 1 a 10 mm, mentre in profondità risultano ben serrate. Si nota la distribuzione di questa discontinuità alquanto sporadica, infatti è stato osservato unicamente in sponda destra e nei sondaggi S2 e S4.
- K4: set con orientazione media di 011/56° con spaziatura media di 205 cm e persistenza di 10-20m, che rappresenta circa il 5% delle misure registrate. Le pareti dei giunti sono planari con rugosità medio-bassa, con aperture in affioramento variabili da 0 a 100 mm, mentre in profondità risultano ben serrate.

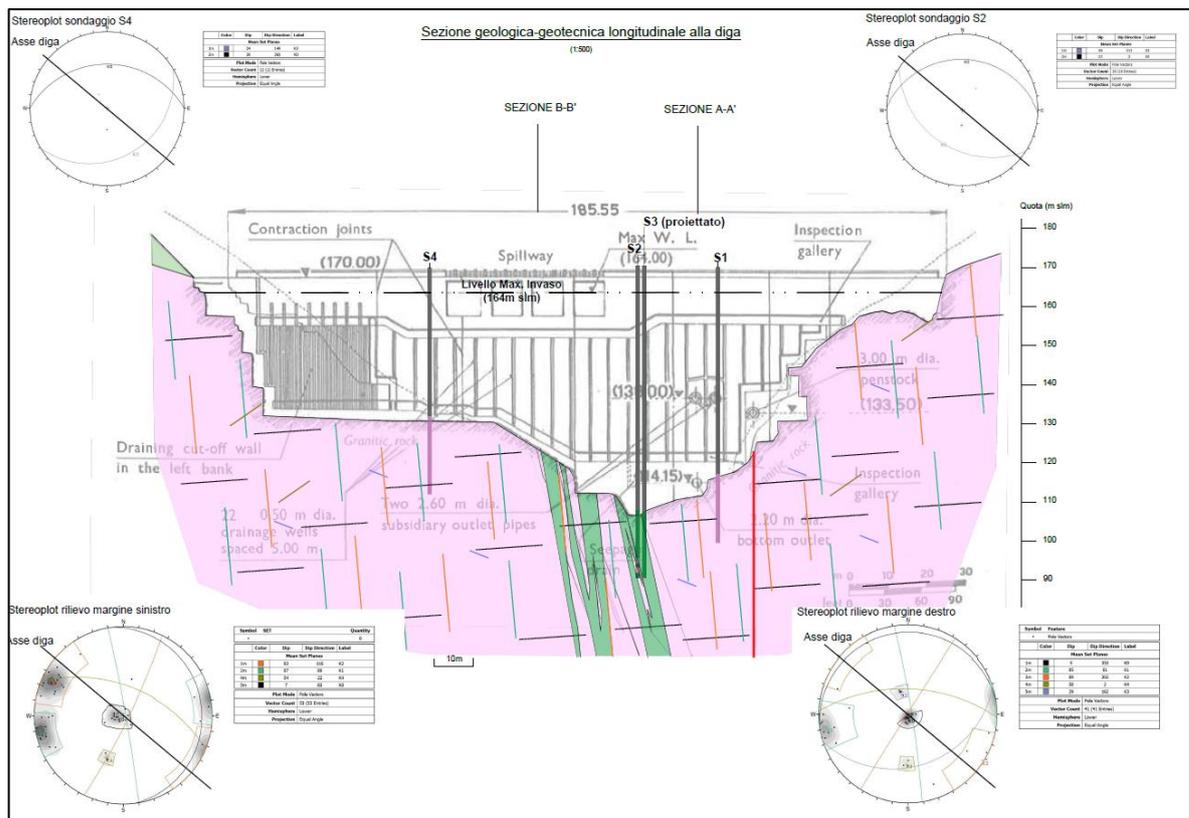


**Figura 23:** Stereoplot delle giaciture misurate da affioramento e da rilievo ottico nei sondaggi progressi.

La **Figura 24**, **Figura 25**, **Figura 26** e **Figura 27** mostrano il modello geologico in base a sezioni longitudinali e trasversali alla diga in cui si sono state rappresentate le famiglie di giunti in quantità

	IMPIANTO <b>Impianto idroelettrico di Coghinas</b>	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO <b>Diga di Muzzone</b> <b>Progetto di ripristino dello scarico di fondo</b> <b>Relazione geologica</b>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		<b>Data 07/03/2023</b>
		<b>Pagina 35 di 40</b>

proporzionale alla loro frequenza e persistenza pari al valore medio misurato nei rilievi; l'orientazione è quella apparente definita dall'angolo tra la giacitura e la sezione. Si nota la presenza diffusa di graniti lungo le spalle della diga e la sua porzione centro sinistra, mentre nella zona centrale si sviluppa un sistema di dicchi di diabase la cui posizione ed estensione è stata definita in base ai sondaggi e alla cartografia geologica di dettaglio.



**Figura 24:** Sezione geologica longitudinale all'asse della diga [25].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>36 di 40</b>

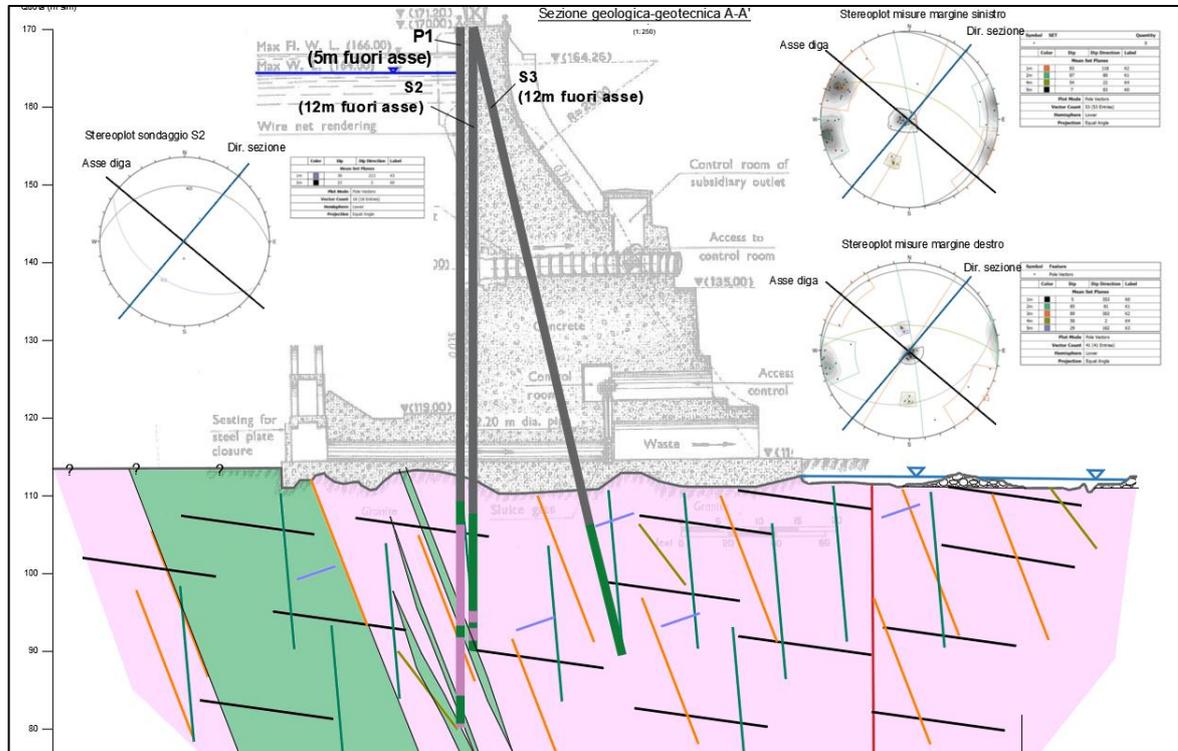
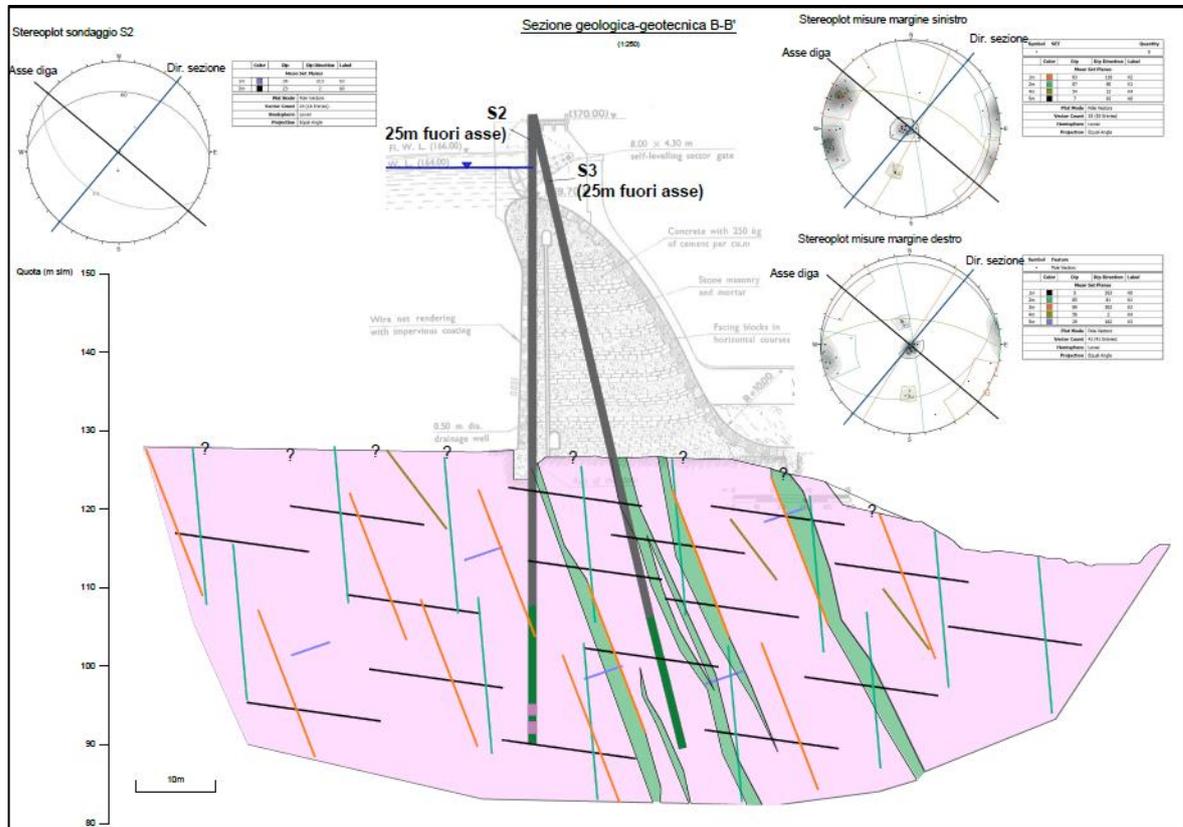
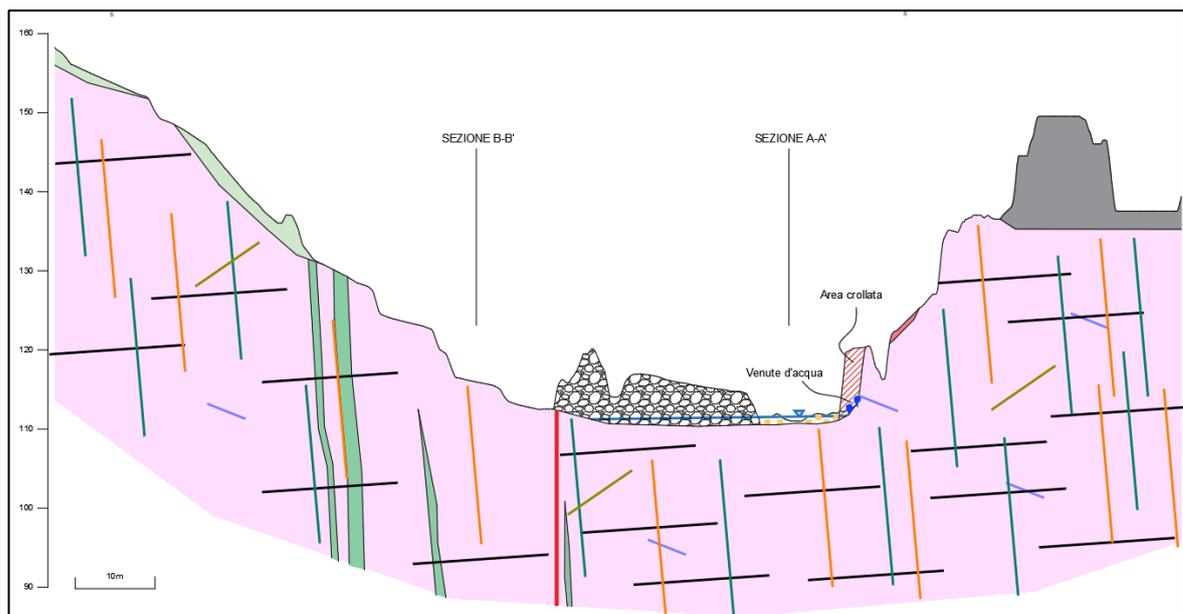


Figura 25: Sezione geologica trasversale A-A [26].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>37 di 40</b>



**Figura 26:** Sezione geologica trasversale B-B' [27].



**Figura 27:** Sezione geologica C-C' [28].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>38 di 40</b>

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici il substrato roccioso al sotto della fondazione è in genere poco permeabile. Inoltre, la sponda destra è stata tratta con iniezioni cementizie, mentre a sinistra, ove era presente una zona di alterazione a maggior permeabilità, è stato costruito un diaframma impermeabile: ne segue che le filtrazioni dal serbatoio sono molto ridotte, in media di 5 l/s secondo i dati di monitoraggio.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>39 di 40</b>

## 9. BIBLIOGRAFIA

### 9.1 Riferimenti tecnici scientifici

- [1] Barton N. (2011). Müller Lecture "From empiricism, through theory, to problem solving in rock engineering". 12th Congress of the ISRM. Beijing, China.
- [2] CARG - Carta Geologica d' Italia Foglio 443 Tempio Pausania - scala 1:50'000 e note illustrative
- [3] Carmignani L., et al. (2001), Carta geologica della Sardegna in scala 1:200.000
- [4] Catalogo degli eventi franosi in Italia – IFFI, Isprambiente
- [5] Progetto PST-Prodotti interferometrici. Ministero dell'Ambiente
- [6] DTM lidar a passo 1m fornito dal Ministero dell'Ambiente
- [7] Rampazzi A. (1931). L'Energia Elettrica "Scorrimento delle acque sotto le fondazioni (...)" –p. 763
- [8] Sistema Informativo Cartografico on-line - Regione Sardegna.
- [9] Wahlstrom, E.E. (1974) Dams, dam foundations and reservoir sites. (Developments in Geotechnical Engineering, Vol. 6). Elsevier S.P. C., Amsterdam, Oxford. New York

### 9.2 Norme tecniche applicabili

- [10] Circolare della D.G. Dighe 3 luglio 2019, n. 16790 Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari e accessorie - Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica (Rev. 1)
- [11] Circolare della D.G. Dighe 18 marzo 2019, n. 6660 Rivalutazione sismica delle grandi dighe – Procedura
- [12] Circolare della D.G. Dighe 26 luglio 2018, n. 17281 Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari e accessorie
- [13] Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, D.M. 17 gennaio 2018.
- [14] Circolare della D.G. Dighe 15 dicembre 2014, n. 25172 Verifiche di rivalutazione della sicurezza sismica delle dighe, Individuazione casi prioritari (DM 26/6/2014 art. 3, comma 4)
- [15] Decreto Min. Infrastrutture e dei Trasporti 26 giugno 2014 Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01</b>
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione geologica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GT-GEN-RT-101
		Data <b>07/03/2023</b>
		Pagina <b>40 di 40</b>

### 9.3 Documenti storici sull'opera

- [16] Coghinas Dam, Società Elettrica Sarda ANIDEL - 1963
- [17] Impianto del Coghinas, L'Elettrotecnica n. XVII p. 482 -1931
- [18] Relazione "Diga Muzzone – Caratterizzazione geologica e geomeccanica roccia di fondazione" ENEL GREEN POWER, 13/05/2019 redatta dal Geol. Iacopo Brogi
- [19] Relazione Indagini geotecniche Diga di Muzzone - ISMES 1988
- [20] Relazione Indagini di laboratorio Diga di Muzzone - ISMES 1988
- [21] Relazione Indagini geofisiche Diga di Muzzone - ISMES 1988

### 9.4 Documenti di progetto

- [22] Tecnoin Geosolutions – Stratigrafia sondaggio P1 e Log geofisici presso la Diga di Muzzone (SS)
- [23] 2020.0240.002-GT-GEN-RT-103 Relazione Geotecnica
- [24] 2020.0240.002-GT-GEN-DW-701 Mappa geologica-geomorfologica in scala 1:500
- [25] 2020.0240.002-GT-GEN-DW-702 Sezione geologica-geotecnica longitudinale alla diga in scala 1:500
- [26] 2020.0240.002-GT-GEN-DW-703 Sezione geologica-geotecnica A-A' in scala 1:250
- [27] 2020.0240.002-GT-GEN-DW-704 Sezione geologica-geotecnica B-B' in scala 1:250
- [28] 2020.0240.002-GT-GEN-DW-705 Sezione geologica-geotecnica C-C' in scala 1:250