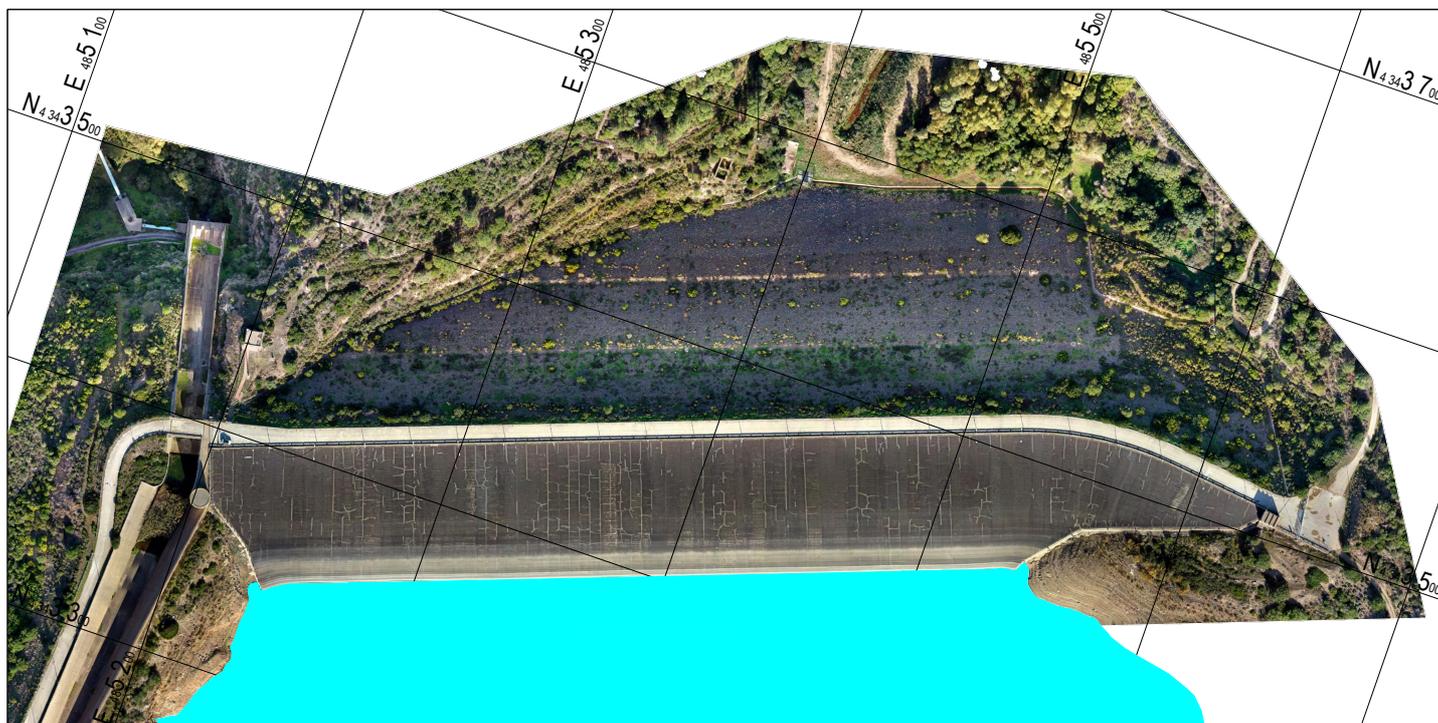




## MEDAU

**Intervento di ripristino del paramento di monte e della diga secondaria ed integrazione dello schermo di tenuta - Cig 82861868FF - Cup:E73E19002460001**



### FATTIBILITA' TECNICA - ECONOMICA

Relazione INDAGINI Vol. 4 di 13

200 GEN R SP 001 F 19 Mar 2022  
sezione - sub-sezione - tipo - ufficio - prog. n° - serie - rev. data

Tav./Elab. **E.04**  
Rev. **F**

#### Il Progettista



**Ingegnere Progettista e Responsabile dell'Integrazione  
tra le varie Prestazioni Specialistiche**

Dott. Ing. Antonio Brasca  
Ordine degli ingegneri di Roma - Iscr. n° 19574 sez. A

#### Sicurezza in fase di Progettazione

Arch. Andrea Serafini  
Ordine degli Architetti della Provincia di Roma -  
n° 13448

#### Geologia

Dott. Andrea Cona  
Ordine degli Geologi della Toscana - n° 795

**Il Direttore del Servizio Opere Idriche  
e Idrogeologiche - RUP**  
Ing. Costantino Azzena

**Marzo 2022**

<b>VOLUME</b>	<b>TITOLO</b>
1 di 13	Relazione GENERALE
2 di 13	Relazione TECNICA
3 di 13	Relazione CAMPO PROVE
4 di 13	Relazione INDAGINI
5 di 13	Elaborati GRAFICI
6 di 13	Prime INDICAZIONI e disposizioni per la stesura dei PIANI della SICUREZZA
7 di 13	Calcolo Sommario della Spesa e QUADRO ECONOMICO
8 di 13	CRONO PROGRAMMA dell'intervento
9 di 13	Documento di FATTIBILITÀ delle ALTERNATIVE Progettuali
10 di 13	Studio Preliminare AMBIENTALE
11 di 13	Studio di INSERIMENTO URBANISTICO
12 di 13	Relazioni di INCIDENZA
13 di 13	Piano Preliminare UTILIZZO TERRE in Sito

INDICE
--------

<i>Paragrafo</i>	<i>Titolo</i>	<i>Pag.</i>
1	CONTENUTO .....	1
1.1	INTRODUZIONE.....	1
1.2	SCOPO dell'INCARICO.....	1
1.3	CONTENUTO del PRESENTE ELABORATO .....	2
2	INDAGINI TOPOGRAFICHE .....	3
2.1	INTRODUZIONE.....	3
2.2	STRUMENTAZIONE .....	4
2.3	SISTEMA di RIFERIMENTO delle COORDINATE .....	4
2.4	ESECUZIONE del RILIEVO .....	4
2.5	RESTITUZIONE AEROFOTOGRAMMETRICA .....	7
2.6	FILTRO DSM-DTM .....	9
3	INDAGINI GEOLOGICHE e GEOTECNICHE.....	11
3.1	INTRODUZIONE.....	11
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....	12
3.3	GEOLOGIA DELLA ZONA DI SBARRAMENTO.....	13
3.4	INDAGINI ESISTENTI .....	17
3.5	DATI GEOSTRUTTURALI .....	20
3.6	PROFILO GEOLOGICO-GEOTECNICO.....	22
4	INDAGINI IDROLOGICHE .....	27
4.1	INTRODUZIONE.....	27
4.2	BACINO IDROGRAFICO di MEDAU ZIRIMILIS.....	27
4.3	DATI di PIOGGIA .....	28
4.4	STIMA delle PIENE .....	28
4.4.1	INTERO ANNO IDROLOGICO .....	28
4.4.2	STAGIONE SECCA .....	29

<i>Lista delle Figure</i>	<i>pag.</i>
<i>Figura 2.1.1: Limite Rilievo Drone</i> .....	3
<i>Figura 2.4.1: Rilievo Drone, punti di scatto</i> .....	5
<i>Figura 2.4.2: Rilievo Drone, disposizione dei target ed il loro errore residuo RMSE (scarto quadratico)</i> .....	6
<i>Figura 2.6.1: rilievo Drone, a) DSM; b) DTM</i> .....	10
<i>Figura 3.2.1: Carta geologica schematica del territorio a sud di Siliqua, 100k (Calvino, 1972)</i> .....	12
<i>Figura 3.3.1: Carta Geologica (SP) – Progetto Esecutivo 1972</i> .....	14
<i>Figura 3.3.2: Arenite quarziticca con venature di quarzo (sondaggio S2-1999)</i> .....	15
<i>Figura 3.3.3: Siltiti con venature di argillite (sondaggio S2-1999)</i> .....	16
<i>Figura 3.3.4: 2009, Stralcio del Foglio Geologico CARG n. 556 "Assemini"</i> .....	17
<i>Figura 3.4.1: Foto delle cassette catalogatrici (sondaggio S2-1999)</i> .....	18
<i>Figura 3.5.1: Stereoplot dei giunti rilevati nei pozzi geognostici realizzati durante la campagna indagini del 1982</i> .....	20
<i>Figura 3.5.2: Dettaglio di un giunto J1/J2 con una patina argillosa. (sondaggio S2-1999, prof. 28 m circa)</i> .....	21
<i>Figura 3.5.3: Dettaglio di un giunto J1/J2 ricementato e parzialmente aperto (sondaggio S2-1999, prof. 20 m circa)</i> .....	21
<i>Figura 3.6.1: Esempio di configurazioni dei Log dei sondaggi utilizzati nel profilo geologico-geotecnico</i> .....	23
<i>Figura 3.6.2: profilo geologico-tecnico</i> .....	24
<i>Figura 3.6.3: Distribuzione della frequenza delle classi di RQD all'interno dei sondaggi lungo il cunicolo</i> .....	25
<i>Figura 3.6.4: Estratto del profilo geologico-geotecnico – zona centrale</i> .....	26

<i>Lista delle Tabelle</i>	<i>pag.</i>
<i>Tabella 2.2.1: Caratteristiche principali DJI Mavic Pro 2</i> .....	4
<i>Tabella 2.4.1: Rilievo Drone, errore residuo RMSE (scarto quadratico) dei Target</i> .....	6
<i>Tabella 3.4.1: Base dati delle INDAGINI relative alla diga di Medau Zirimilis</i> .....	19
<i>Tabella 3.6.1: Sondaggi relativi al profilo geologico-geotecnico lungo il cunicolo (diga di Medau Zirimilis)</i> .....	22
<i>Tabella 4.2.1: Elenco dei dati Geomorfologici e idrogeologici del bacino con sezione di chiusura Medau-Zirimilis</i> .....	27
<i>Tabella 4.4.1: Portate al colmo per assegnato tempo di ritorno calcolate con i vari metodi</i> .....	28
<i>Tabella 4.4.2: Incidenza del periodo secco sull'anno idrologico in funzione del <math>T_r</math></i> .....	29
<i>Tabella 4.4.3: Portate al colmo per assegnato tempo di ritorno calcolate per il periodo secco</i> .....	30

#### DICHIARAZIONE DI ESCLUSIONE DI RESPONSABILITÀ

Le Società Studio Ing. G. Pietrangeli s.r.l. (SP) sottolinea che varie sezioni di questo rapporto si basano su dati forniti da o provenienti da fonti di terze parti. SP non si assume alcuna responsabilità per perdite o danni subiti dal cliente o da terzi a causa di errori o inesattezze in tali dati.

# 1 CONTENUTO

## 1.1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato è stato redatto in conformità allo schema di contratto di Appalto per " AFFIDAMENTO DELLE ATTIVITÀ DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA PROGETTAZIONE DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA, ESECUTIVA, DIREZIONE DEI LAVORI E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE AFFERENTE ALL'INTERVENTO DENOMINATO "MEDAU ZIRIMILIS (7D.S3): INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PARAMENTO DI MONTE DELLA DIGA PRINCIPALE E DELLA DIGA SECONDARIA ED INTEGRAZIONE DELLO SCHERMO DI TENUTA", CON INCARICO OPZIONALE PER DIREZIONE DEI LAVORI E ASSISTENZA AL COLLAUDO, PROVE DI ACCETTAZIONE, CONTABILITÀ DEI LAVORI, COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN ESECUZIONE" entrato in forza con verbale del 13 Novembre 2020.

## 1.2 SCOPO dell'INCARICO

L'art. 3 dello Schema di Contratto di Appalto, così recita

*"1. Il contratto ha ad oggetto l'incarico professionale relativo ai servizi di cui in premessa e di seguito indicati:*

- *Prestazioni principali*
  - *Progettazione di fattibilità tecnica ed economica comprensiva del documento di fattibilità delle alternative progettuali (articolo 3, comma 1, lettera ggggg-quater del D.Lgs. 50/2016) dell'intero compendio delle opere, che individui nel dettaglio i due stralci previsti:*
    - *(I° stralcio) "Intervento di ripristino del paramento di monte della diga principale e integrazione dello schermo di tenuta";*
    - *(II° stralcio) "Intervento di ripristino del paramento di monte della diga secondaria" ;*
  - *progettazione esecutiva e prestazioni inerenti la sicurezza in fase di progettazione, ex D. Lgs. 81/2008, per l' "Intervento di ripristino del paramento di monte della diga principale e integrazione dello schermo di tenuta" (I° stralcio)*
  - *progettazione esecutiva e prestazioni inerenti la sicurezza in fase di progettazione, ex D. Lgs. 81/2008, per l' "Intervento di ripristino del paramento di monte della diga secondaria" (II° stralcio)"*

Inoltre, come attività opzionale:

*"Direzione dei lavori, assistenza al collaudo, prove di accettazione, contabilità dei lavori, prestazioni inerenti la sicurezza in fase di esecuzione, ex D. Lgs. 81/2008, dell' "Intervento di ripristino del paramento di monte della diga principale e integrazione dello schermo di tenuta" (I° stralcio);  
Direzione dei lavori, assistenza al collaudo, prove di accettazione, contabilità dei lavori, coordinamento della sicurezza in esecuzione dell'Intervento di ripristino del paramento di monte della diga secondaria (II° stralcio)."*

### **1.3 CONTENUTO del PRESENTE ELABORATO**

Il presente elaborato, che fa parte dello studio di Fattibilità Tecnica – Economica, contiene la relazione delle indagini topografiche e geologiche-geotecniche svolte presso la diga di Medau Zirimilis, già elaborate e sottomesse nella fase dello studio delle alternative.

Il rapporto è suddiviso nei seguenti capitoli:

- INDAGINI TOPOGRAFICHE

In questo capitolo si illustrano le indagini topografiche, sviluppate da SP, mediante rilevamento aerofotogrammetrico da drone. Attraverso questa analisi, oltre al rilevamento fotografico dello stato dei luoghi, è stato altresì possibile ricreare un modello del terreno delle aree indagate.

- INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

In questo capitolo vengono riassunte le informazioni relative agli studi geologici ed alle indagini geognostiche eseguite a partire dal 1962 presso l'invaso di Medau Zirimilis.

- INDAGINI IDROLOGICHE

In questo capitolo sono illustrate le indagini idrologiche esperite al fine di determinare le portate di piena del bacino di Medau Zirimilis.

## 2 INDAGINI TOPOGRAFICHE

### 2.1 INTRODUZIONE

Così come previsto negli oneri delle attività da svolgere SP ha eseguito un rilievo fotogrammetrico con drone delle opere esistenti. Nei giorni 16 e 17 Novembre 2020 si è provveduto a realizzare, mediante l'impiego di un drone quadricottero, un'acquisizione topografica in alta risoluzione e accuratezza del sito diga, per un'estensione globalmente pari a 35 ha (superficie restituita) corrispondente all'involuppo della diga principale, diga di sella e pertinenze di collegamento tra i due sbarramenti. La figura seguente illustra le aree rilevate:

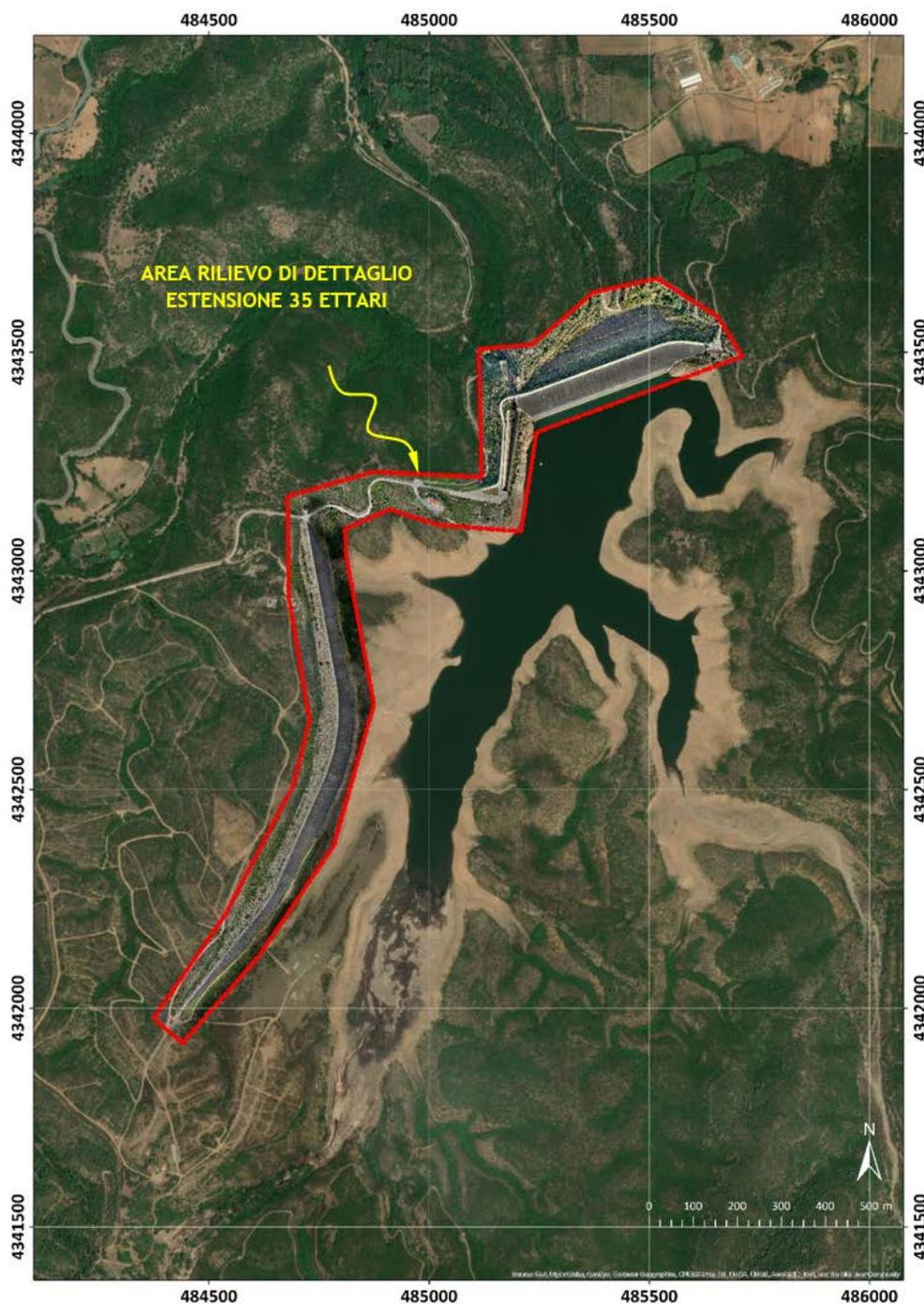


Figura 2.1.1: Limite Rilievo Drone

## 2.2 STRUMENTAZIONE

Il drone utilizzato è un quadricottero DJI MAVIC PRO 2; il velivolo è dotato di un'ottima fotocamera Hasselblad con ottica luminosa e ad ampio angolo di campo, montata su supporto gimbal stabilizzato elettronicamente su 3 assi, che produce immagini nitide e contrastate in tutte le condizioni di luce e si rivelano ideali per la fotogrammetria di dettaglio.

Le specifiche del sistema sono illustrate nella seguente tabella:



▪ Diagonale:		322	mm
▪ Peso nominale al decollo (incl. batteria e fotocamera)		0.91	kg
▪ Propulsione:		4 ELICHE A MOTORE BRUSHLESS	
▪ Durata massima del volo:	fino a	25	min.
▪ Velocità massima:		72	km/hr
▪ Resistenza al vento:	fino a	38	km/hr
▪ Risoluzione fotocamera:		20	Mpixel
▪ Risoluzione delle immagini:	tipico	<1	cm/pixel
▪ GPS di bordo:		DOPPIA COSTELLAZIONE GPS + GLONASS	

Tabella 2.2.1: Caratteristiche principali DJI Mavic Pro 2

## 2.3 SISTEMA di RIFERIMENTO delle COORDINATE

Il sistema di riferimento orizzontale adottato in fase di rilievo e restituzione di tutti gli elaborati è ETRF2000-RDN in proiezione UTM fuso 32 NORD.

Il sistema è agganciato alla Rete Dinamica Nazionale (RDN) certificata dall'Istituto Geografico Militare Italiano mediante rete di stazioni GPS permanenti afferenti alla rete Italpos/Smartnet.

Le quote sono riferite al geoide (quote ortometriche sul livello del mare) secondo il modello Italgeo2005. La conversione da quote ellissoidiche della RDN a quote ortometriche Italgeo2005 è avvenuta mediante grigliato fornito dall'Istituto Geografico Militare Italiano.

## 2.4 ESECUZIONE del RILIEVO

Il rilievo è stato realizzato mediante esecuzione di una serie di voli nelle due giornate, durante i quali sono state acquisite un totale di oltre 4'000 immagini ad un passo di campionamento effettivo medio pari a 1.79 cm/pixel.

Le immagini sono state acquisite con una forte sovrapposizione longitudinale e trasversale, al fine di garantire il rispetto del principio stereoscopico e permettere la triangolazione aerea con una sostanziale ridondanza e garanzia d'accuratezza del prodotto finale.

Si riporta nella seguente immagine la distribuzione planimetrica dei punti di scatto ed il numero di immagini in sovrapposizione per ogni porzione d'area ricoperta dal rilievo:

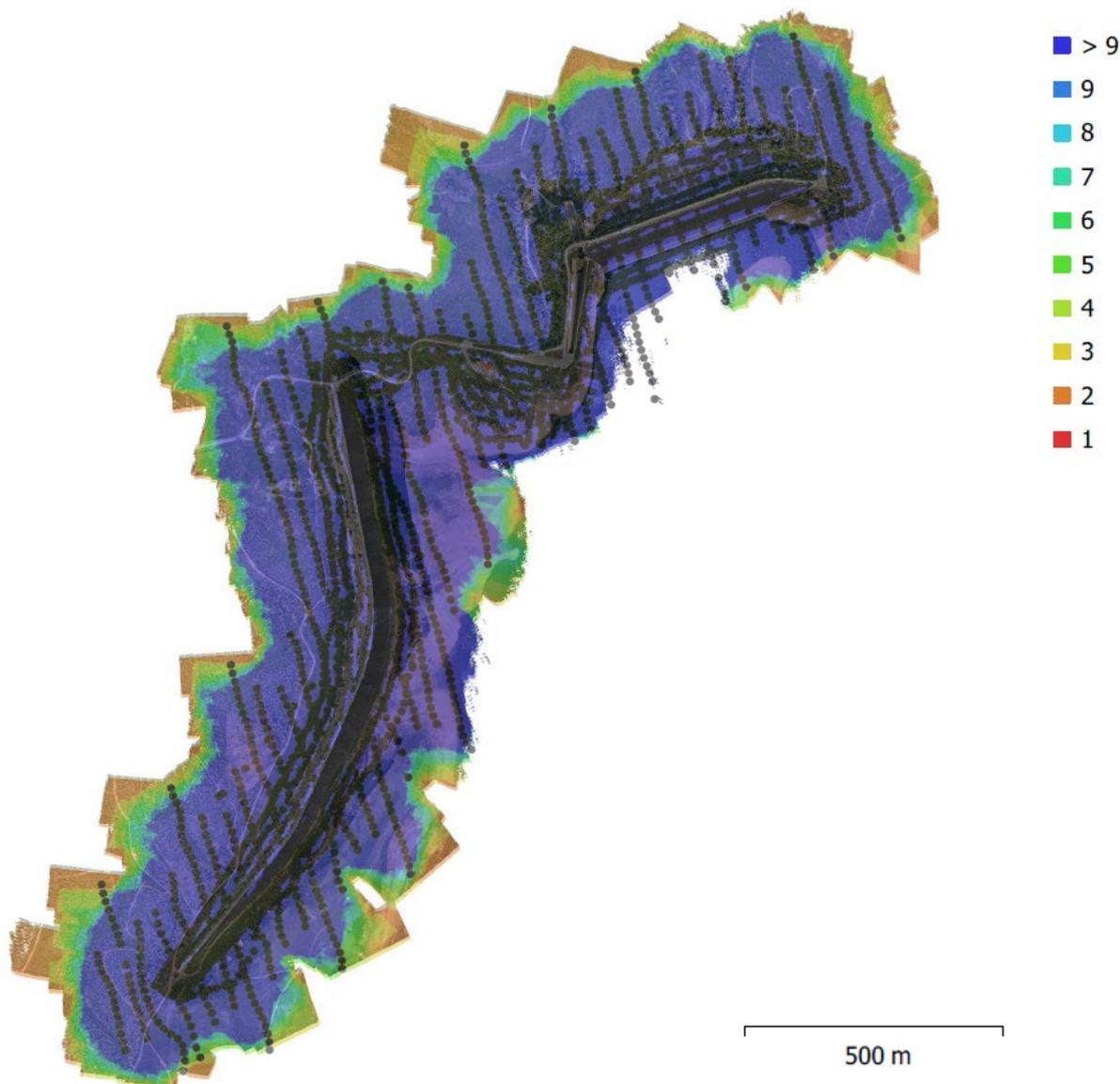


Figura 2.4.1: Rilievo Drone, punti di scatto

Il rilievo è stato georeferenziato tramite l'apposizione sul terreno di n° 14 target visibili e collimabili sulle fotografie, con funzione di GCP (ground control point) per il calcolo dei parametri di orientazione esterna delle foto (ossia coordinate del punto di scatto e angoli di orientamento dei fotogrammi) e l'appoggio a terra globale del blocco fotogrammetrico; le loro coordinate sono state rilevate mediante GPS differenziale in tripla frequenza Trimble R10 e ricezione delle correzioni mediante modem dalla rete dinamica nazionale come da precedente capitolo sul sistema di riferimento.

Gli errori residui sui target ammontano ad un valore globale di 4 cm (vettore 3D) confermando pertanto l'ottima accuratezza del rilievo.

Le seguenti immagini e tabelle riportano la disposizione dei target ed il loro errore residue RMSE (scarto quadratico) in fase di georeferenziazione come risultanti dal software di elaborazione fotogrammetrica:

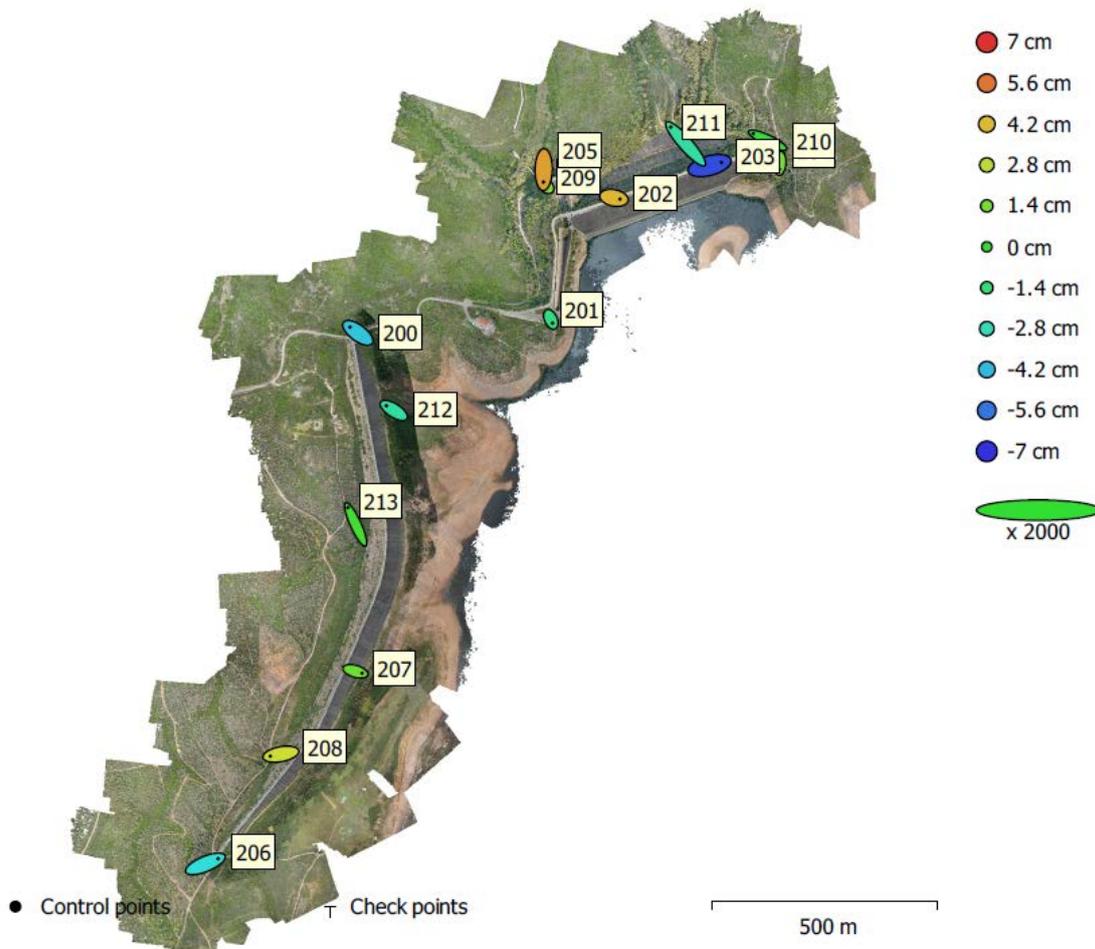


Figura 2.4.2: Rilievo Drone, disposizione dei target ed il loro errore residuo RMSE (scarto quadratico)

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
206	2.81125	1.17019	-3.40891	4.57091	0.792 (52)
208	-2.34136	-0.439644	3.16751	3.96338	0.585 (38)
207	1.47823	-0.428898	1.20964	1.95764	0.681 (59)
213	-1.70362	3.77036	0.379315	4.15474	0.562 (46)
212	-1.64469	1.04248	-2.27191	2.99221	0.638 (47)
200	-1.73742	1.28916	-3.99511	4.54328	0.847 (49)
201	0.379706	-0.846466	-1.62133	1.86799	0.856 (49)
202	1.34351	-0.270574	4.26406	4.47889	0.499 (23)
203	2.62711	0.713302	-6.44994	7.00088	0.696 (43)
204	-0.10691	-1.33787	1.33599	1.89373	0.653 (40)
210	-3.172	1.5049	-0.163546	3.51469	0.698 (63)
211	-3.27002	3.71548	-2.3086	5.46145	0.673 (60)
209	-0.398023	0.416454	1.57596	1.67794	0.921 (53)
205	-0.0469641	-2.75442	4.76713	5.50587	0.445 (33)
<b>Total</b>	<b>1.96348</b>	<b>1.80533</b>	<b>3.15263</b>	<b>4.12959</b>	<b>0.711</b>

Tabella 2.4.1: Rilievo Drone, errore residuo RMSE (scarto quadratico) dei Target

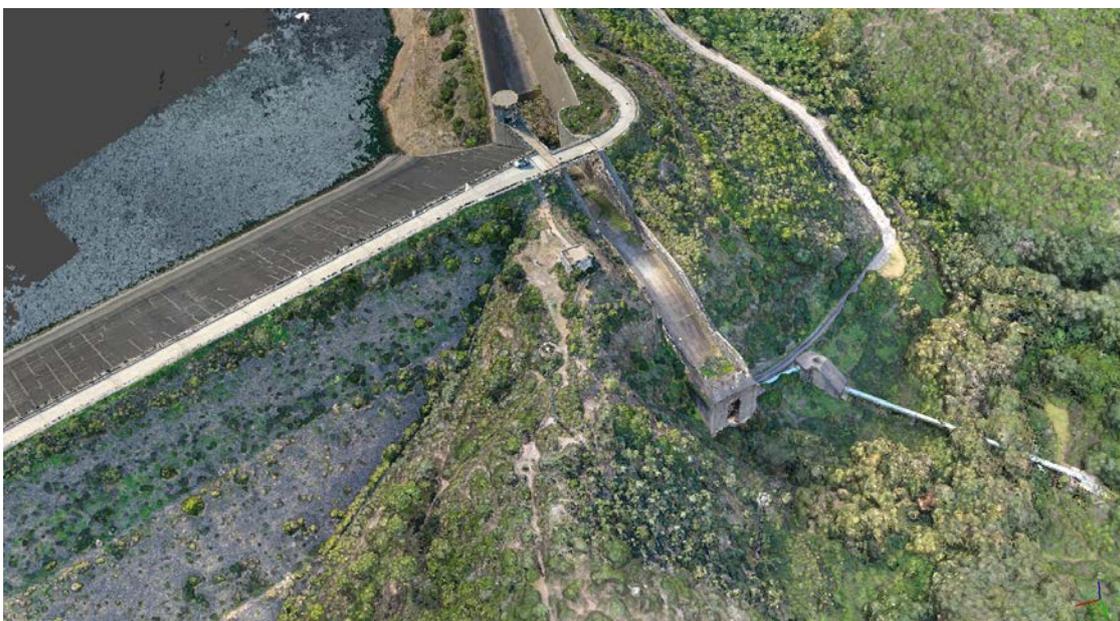
## 2.5 RESTITUZIONE AEROFOTOGRAMMETRICA

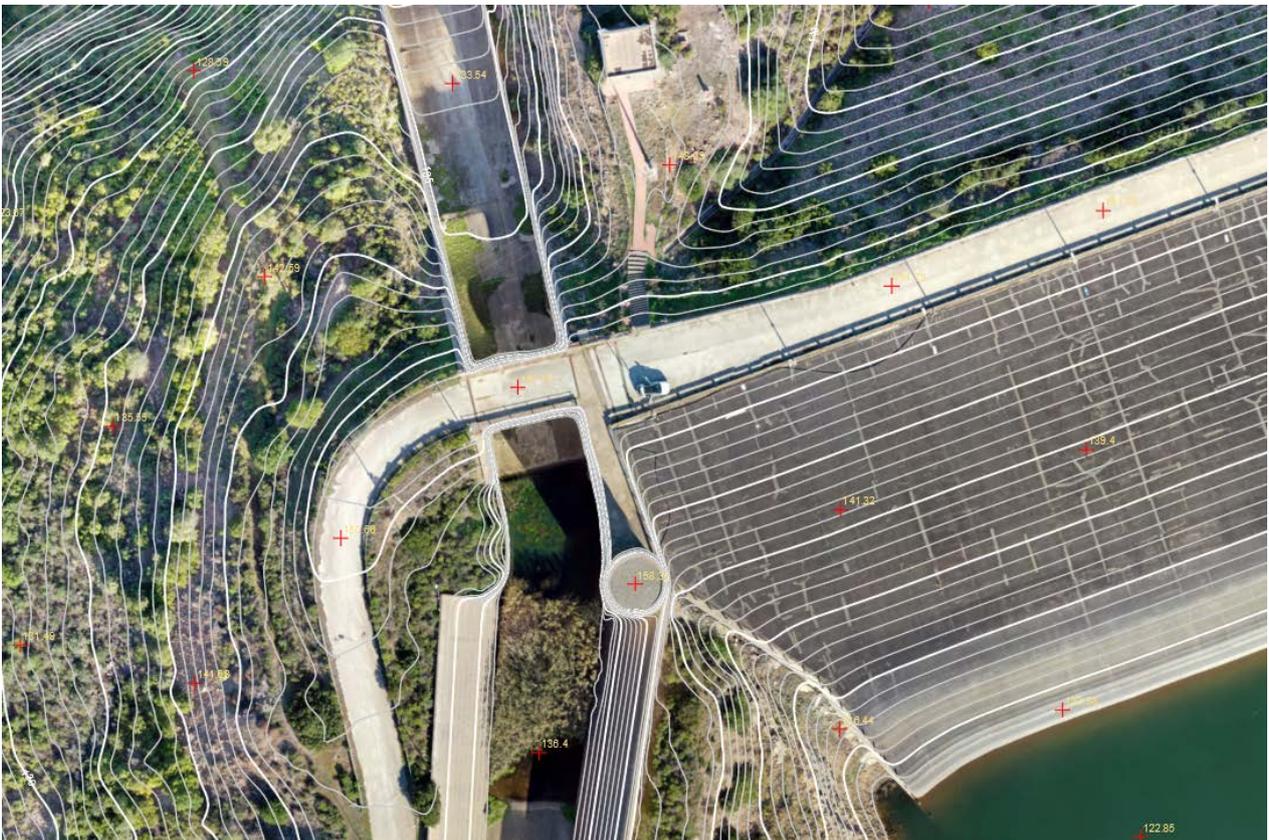
Il rilievo aereo è stato restituito tridimensionalmente tramite apposito software di elaborazione fotogrammetrica, ricostruendo l'orientamento delle acquisizioni fotografiche a partire dalle informazioni relative ai 14 GCP utilizzati, correggendo le distorsioni introdotte dal sistema obiettivo/sensore e generando le coordinate 3D dei punti omologhi visibili contemporaneamente su più fotografie (principio stereoscopico).

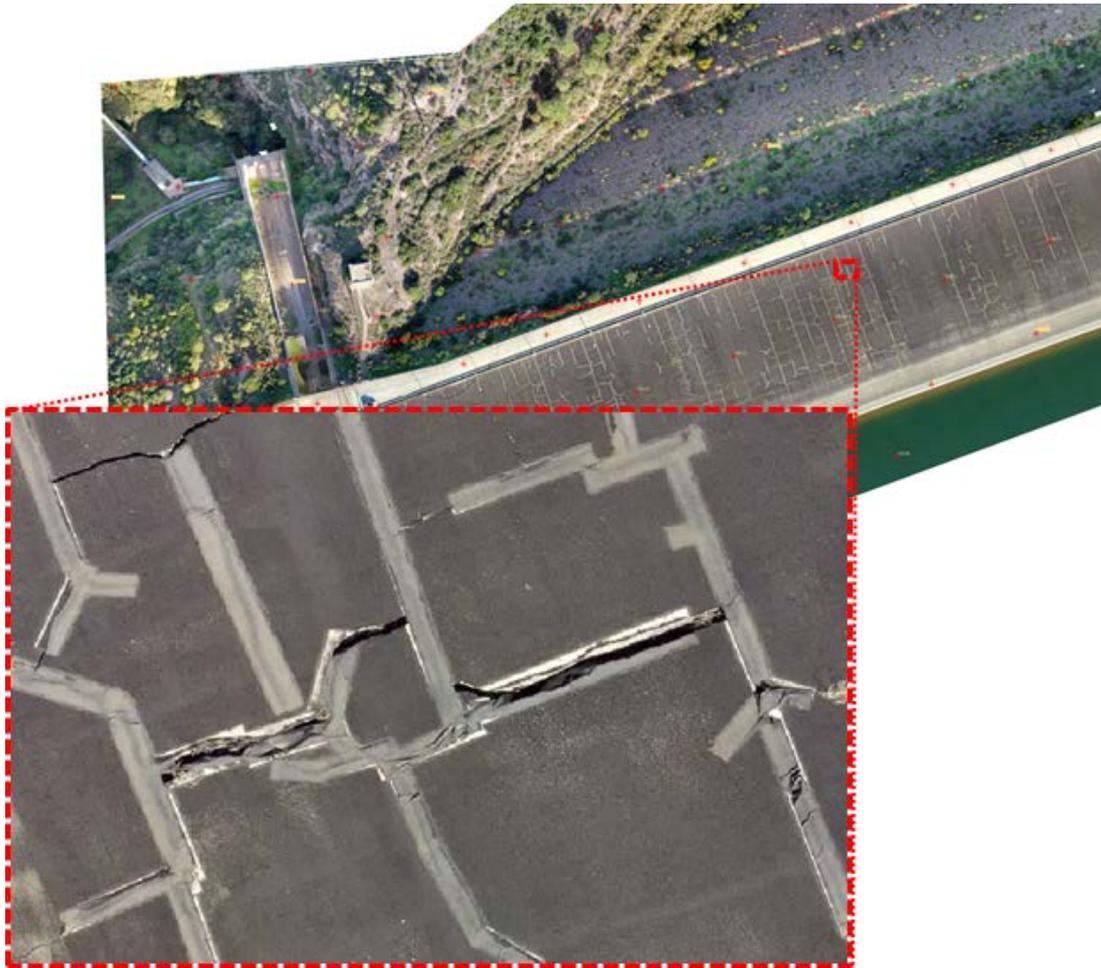
La densità risultante di punti 3D è estremamente alta e prossima a 300 punti/m<sup>2</sup>; il modello è stato quindi utilizzato per la generazione dei seguenti prodotti:

- o ORTOFOTO ad elevato dettaglio, con risoluzione nominale pari a 2 cm/pixel;
- o MODELLO DIGITALE DI ELEVAZIONE, con risoluzione nominale pari a 10 cm (DSM) e 20 cm (DTM).

Le seguenti immagini mostrano viste 3D del sito dalla nuvola di punti originale, un campione dell'area restituita mediante curve di livello ed ortofoto, ed il livello di dettaglio che è possibile apprezzare:







## 2.6 FILTRO DSM-DTM

La nuvola di punti originaria descrive la superficie delle aree di interesse con un dettaglio fotorealistico ed essa è inizialmente utilizzata per la creazione del Modello Digitale di Superficie (DSM).

Al fine di derivare, dal modello originario, la nuvola di punti relativa al terreno, è stata implementata una procedura che prevede l'applicazione in sequenza di una serie di filtri morfologici, secondo un processo iterativo finalizzato alla rimozione della vegetazione e degli oggetti fuori terra, e coadiuvata dall'inserimento manuale di breaklines per la forzatura di ulteriori vincoli geometrici in occorrenza di repentini cambi di pendenza del terreno.

Tutto il processo è realizzato mediante apposito software, dotato di metodiche appositamente studiate per la gestione ed il trattamento di grandi nuvole di punti derivate dalla ricostruzione fotogrammetrica od acquisite tramite veloci laser scanner.

Il processo di filtratura della nuvola di punti si basa su un'analisi ricorsiva dei dati mediante un approccio suddiviso per livelli, dal macroscopico al microscopico. In tale tecnica, ad ogni livello si realizza una suddivisione della nuvola di punti in accordo ad una griglia di dimensione via via più piccola. Per ogni cella della griglia si seleziona, con valutazione statistica, un punto considerato come rappresentativo del terreno detto RCP (Representative Cell Point). Tutti i punti RCP sono utilizzati per stimare una superficie locale che viene utilizzata

per scremare quanto, al di sopra di essa, eccede una determinata soglia di tolleranza in termini di distanza verticale. I punti rimanenti sono assegnati alle corrispondenti sottocelle (più piccole) del livello successivo ed il processo è ripetuto in modo da procedere ad una levigazione per step della superficie.

Le seguenti immagini mostrano il modello digitale dell'area con effetto ombreggiato prima (DSM) e dopo (DTM) l'applicazione del processo di filtraggio:

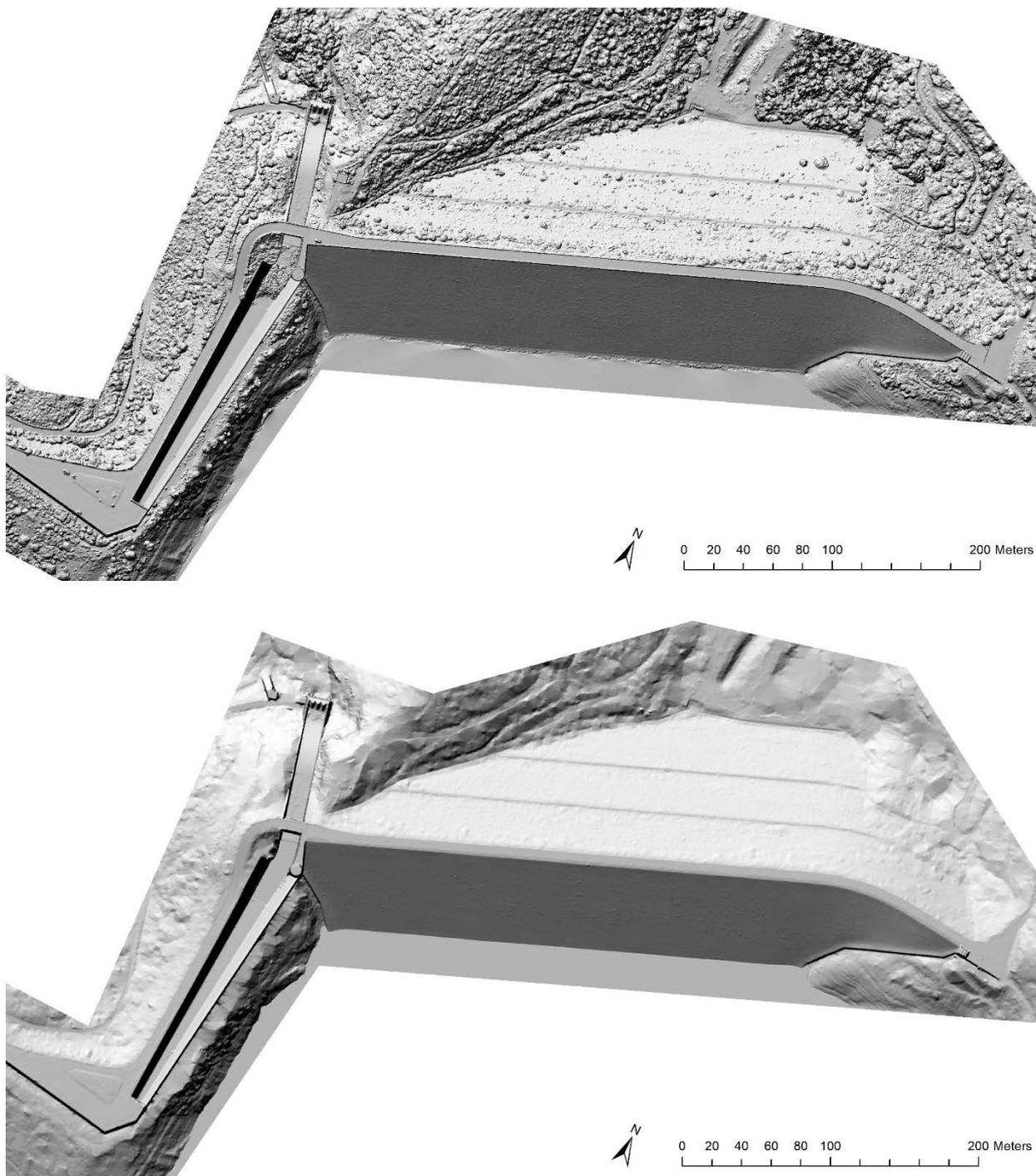


Figura 2.6.1: rilievo Drone, a) DSM; b) DTM

## 3 INDAGINI GEOLOGICHE e GEOTECNICHE

### 3.1 INTRODUZIONE

Al fine di avere un quadro accurato della geologia e geotecnica dell'area della diga di Medau Zirimilis, sono state analizzate le indagini geognostiche e i relativi studi eseguite a partire dal 1962.

Di seguito è illustrato:

- o L'inquadramento geologico estratto dagli studi precedenti;
- o i dati geologico-strutturali a disposizione;
- o una descrizione del profilo geognostico contenente i dati delle perforazioni eseguite ad oggi lungo il cunicolo di drenaggio.

I dati geologici e geotecnici finalizzati alla progettazione dello schermo di iniezione sono stati acquisiti dallo scrivente sia presso l'archivio della casa di guardia, quello della Direzione Generale per le Dighe (DGD) ed infine presso l'archivio dello Studio Pietrangeli (SP).

I seguenti documenti sono stati consultati al fine di avere un quadro storico e cronologico esaustivo sull'evoluzione delle diverse interpretazioni ed indagini pregresse eseguite:

- 1962\_ICOS, INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DELLA DIGA DI MEDAU ZIRIMILIS – PROGETTO DI MASSIMA.
- 1972\_Calvino (SP) – RELAZIONE GEOLOGICA PROGETTO ESECUTIVO – Allegato B1
- 1972\_SP, INDAGINI 1971-72 - SONDAGGI –PROVE ACQUA e CEMENTAZIONI - Allegato B8
- 1974\_Calvino (SP) - RELAZIONE GEOLOGICA INTEGRATIVA – Allegato B\_21
- 1982\_Calvino (SP) - RELAZIONE GEOLOGICA, PROGETTO di VARIANTE - (codice P177 C 30.101.1)
- 1982\_Calvino (SP) - RELAZIONE FONDAZIONI, PROGETTO di VARIANTE – (codice P177 C 62.101.1)
- 1982\_ICOS, INDAGINI GEOGNOSTICHE sul Rio "Su Casteddu" in località Medau Zirimilis
- 1989\_Scafati, INTERVENTI PER L'INTEGRAZIONE DEI DISPOSITIVI DI TENUTA - RELAZIONE TECNICA
- 1992\_Celico, RELAZIONE IDROGEOLOGICA sui risultati delle indagini geologiche ed allegati
- 1996\_Celico, NOTA su CARATTERIZZAZIONE STRUTTURALE E IDROGEOLOGICA della ZONA d'IMPOSTA della Diga di Medau Zirimilis
- 1999\_Artizzu, RAPPORTO GEOLOGICO SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- 1999\_Ibba, RAPPORTO GEOLOGICO CONCLUSIVO SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- 2003\_Miliziano, RELAZIONE DI CONSULENZA GEOTECNICA FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI COMPLETAMENTO E RISANAMENTO SCHERMO TENUTA

La raccolta e la sistemazione dei dati è stata tuttavia subordinata alla qualità ed alla non sempre completa disponibilità dei dati relativi alle indagini pregresse.

### 3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Qui di seguito si riporta la descrizione geologica di inquadramento generale così come descritta da Calvino (1972) e rimasta accettata ed invariata. La figura seguente riproduce la situazione geologica del territorio a da Siliqua a Nord e fino al Monte is Caravius a Sud, includendo l'area di studio e la porzione meridionale del Fiume Cixerri.

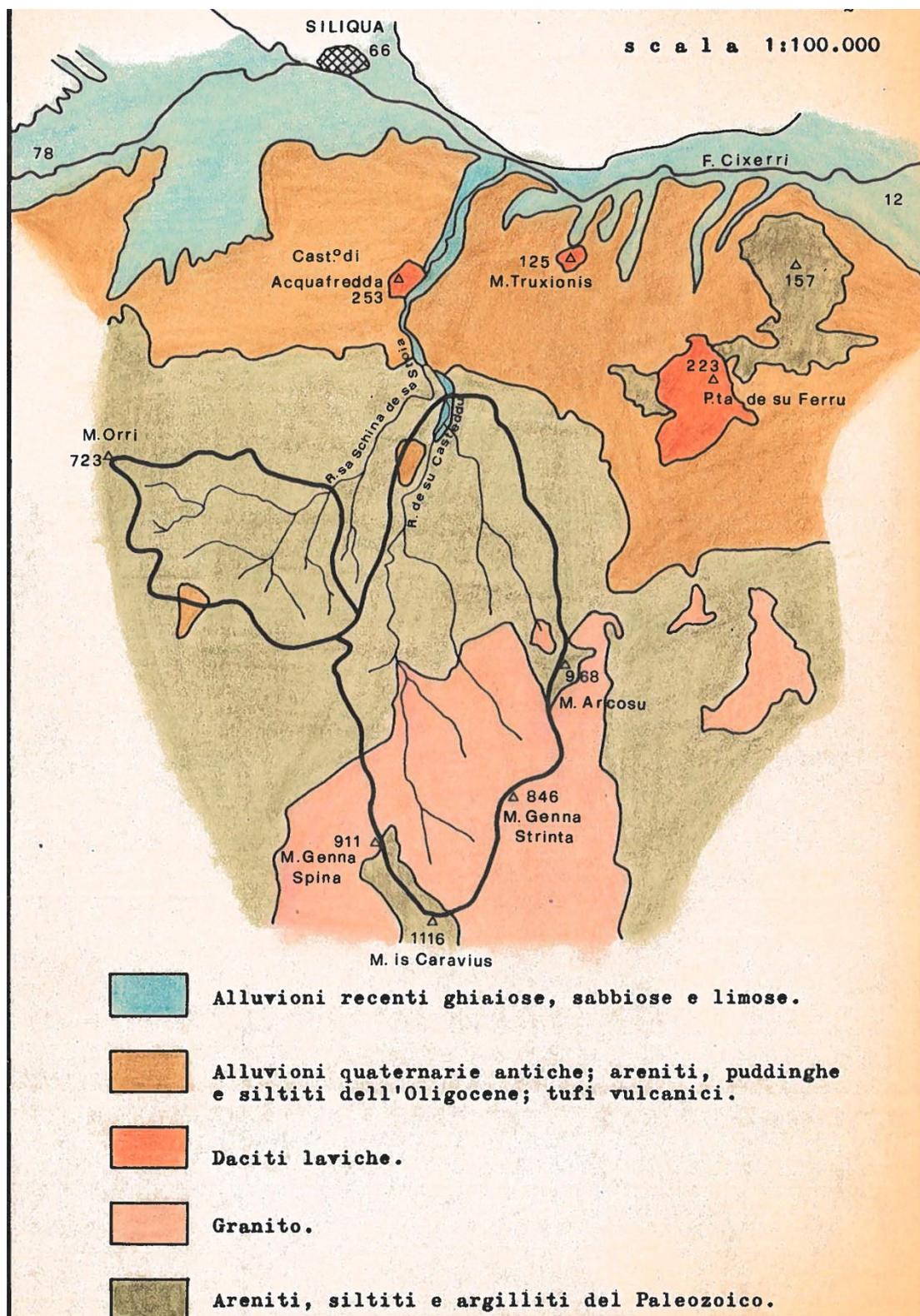


Figura 3.2.1: Carta geologica schematica del territorio a sud di Siliqua, 100k (Calvino, 1972).

Il Rio de su Casteddu appartiene a quel fascio di corsi d'acqua, lunghi 10-15 chilometri e poco anastomizzati, che dai monti del Sulcis a Sud e da quelli dell'Iglesiente a Nord si riversano nel Fiume Cixerri. Benché sprovvisto di proprio bacino montano, questo fiume funge da collettore principale lungo l'omonima depressione tettonica Est-Ovest, di età paleogenica terziaria, a sua volta sfociante nella Fossa Campidanese, sprofondata nel corso del Neogene o Terziario superiore.

L'ampio fondovalle del Cixerri è modellato in prevalenza nella caratteristica "Formazione del Cixerri", attribuita all'Oligocene anche su basi paleontologiche, consistente soprattutto in areniti e puddinghe di deposito fluviale e lacustre, dal colore violaceo o rossastro tipico degli antichi sedimenti continentali.

Di tale formazione, a struttura pressoché tabulare, spuntano qua e là prominenze del basamento paleozoico ed edifici vulcanici a chimismo meso-iposilicico, mentre la ricopre una coltre assai estesa di antiche alluvioni terrazzate del Quaternario antico, che fa anche da raccordo fra le spianate di fondovalle e le pendici montuose che delimitano la vallata. I rilievi periferici sono costituiti da rocce sedimentarie paleozoiche, del Cambriano (calcari, dolomie, areniti, siltiti ed argilliti) e del Siluriano e Post-siluriano (areniti, siltiti, argilliti e rari calcari), intensamente dislocate e ripiegate dal corrugamento ercinico queste, ed anche dalla "fase-sarda" del corrugamento caledoniano. Le intrusioni granitiche, prodottesi al termine dell'orogenesi ercinica, indussero un esteso metamorfismo nelle formazioni paleozoiche.

Come si osserva nella precedente figura, che riproduce la situazione geologica del territorio a Sud di Siliqua e cioè un tratto del versante destro (meridionale) del Cixerri, il bacino imbrifero del Rio de su Casteddu, sotteso dalla sezione di sbarramento di Medau Zirimilis, si estende interamente, salvo rare placche di Oligocene e di Quaternario antico, in formazioni paleozoiche clastiche ed in particolare in rocce prevalentemente arenacee del Siluriano e, probabilmente, anche del Devoniano, giungendo, nelle parti più elevate, ad interessare un lobo del batolite granitico del Sulcis.

### 3.3 GEOLOGIA DELLA ZONA DI SBARRAMENTO

Le principali litologie presenti nell'area della diga di Medau Zirimilis sono rappresentate da ARENITI e SILTITI appartenenti alla formazione paleozoica in banchi omogenei di vari metri di spessore, con reciproche intercalazioni di piccolo spessore.

Si tratta di rocce sedimentarie clastiche leggermente metamorfosate e scistose, più o meno ricche di fillosilicati ed in particolare di sericite.

Le areniti passano talora a QUARZITI micacee, mentre le siltiti possono assumere carattere di ARGILLITI o scisti sericitici.

La stratificazione all'interno dell'ammasso roccioso non risulta sempre evidente a causa dei processi metamorfici e deformativi. Tuttavia, essa appare riconoscibile e più fitta nei termini arenitici rispetto a quelli siltitici, caratterizzati da un aspetto tipicamente fissile. I giunti di stratificazione nelle areniti, comunque, sono in genere abbastanza serrati e talora presentano patine limoniti che derivanti dall'ossidazione della pirite della roccia.

Completano la geologia della stretta le seguenti unità quaternarie (vedi figura seguente):

- la coltre alluvionale attuale e recente (campitura azzurra), potente pochi metri, che ricopre il fondovalle

di ghiaia sabbiosa con massi;

- le falde detritiche (retino puntinato) che rivestono i versanti, costituite da pietrisco naturale in matrice a componente argillosa, in genere sottili salvo che in certi punti al piede dei pendii, dove può raggiungere qualche metro di spessore.

La geologia di superficie della zona di sbarramento è riportata nell'estratto della carta geologica riportato qui di seguito e derivante dal Progetto Esecutivo (1972) e rimasta invariata nel Progetto di Variante (1982), e ripresa negli studi successivi (ad esempio in Celico, 1992, 1996) e ad oggi non superata da significativi approfondimenti.

Dalla planimetria si individuano le due seguenti litologie principali:

- **ARENITI (no campitura):** areniti micacee paleozoiche, resistenti, fessurate ed a tratti scistose / quarziti micacee;
- **SILTITI (beige):** Siltiti sericitiche paleozoiche, resistenti, fessurate e fissili.

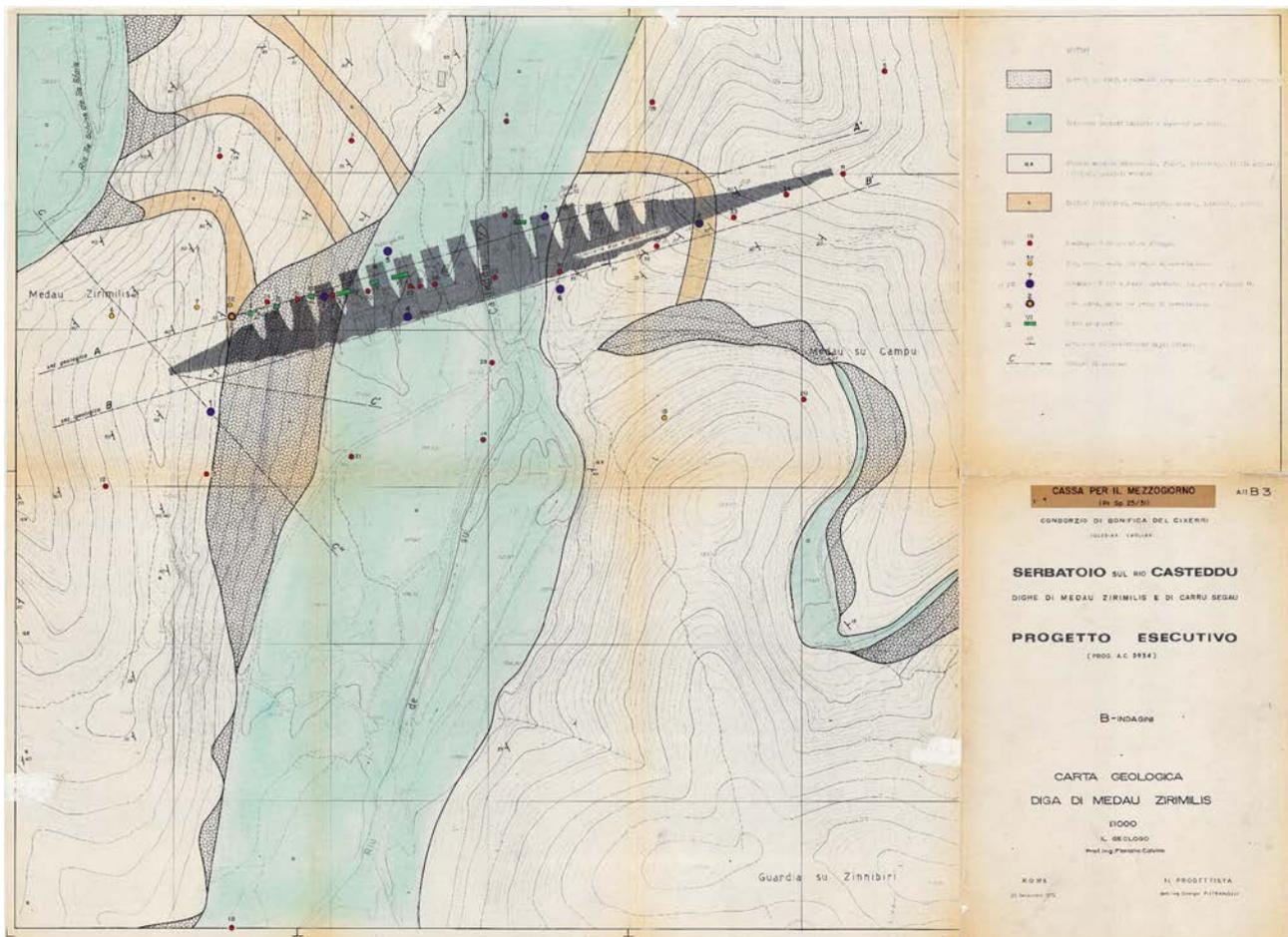


Figura 3.3.1: Carta Geologica (SP) – Progetto Esecutivo 1972.

Le ARENITI sono il tipo litologico prevalente e sono costituite da granuli di quarzo, per lo più di diametro compreso fra 0,1 e 0,02 mm, cementati da matrice quarzoso-micacea nella quale sono presenti sericite e clorite, mentre rade lamine iso-orientate di muscovite conferiscono un principio di scistosità all'aggregato.

Frequenti sono le venuzze di quarzo e talora di calcite e di barite, qua e là presenti nella regione anche in veri e propri filoni. Questi apporti idrotermali sono stati accompagnati da impregnazioni locali di pirite. La scistosità è per lo più appena accennata e così la stratificazione. Le areniti passano talora a QUARZITI micacee. Altamente resistenti alle martellate le areniti sono praticamente prive di porosità e sono caratterizzate da un carico di rottura a compressione superiore a 100 Mpa ed un peso di volume di circa 27 KN/m<sup>3</sup>.

Qui di seguito riportiamo un esempio di arenite proveniente dal sondaggio S2 (1999) analizzato durante la visita sul sito nel Novembre 2020, in cui sono evidenti le vene di quarzo, la stratificazione sedimentaria ed i granuli visibili ad occhio nudo.

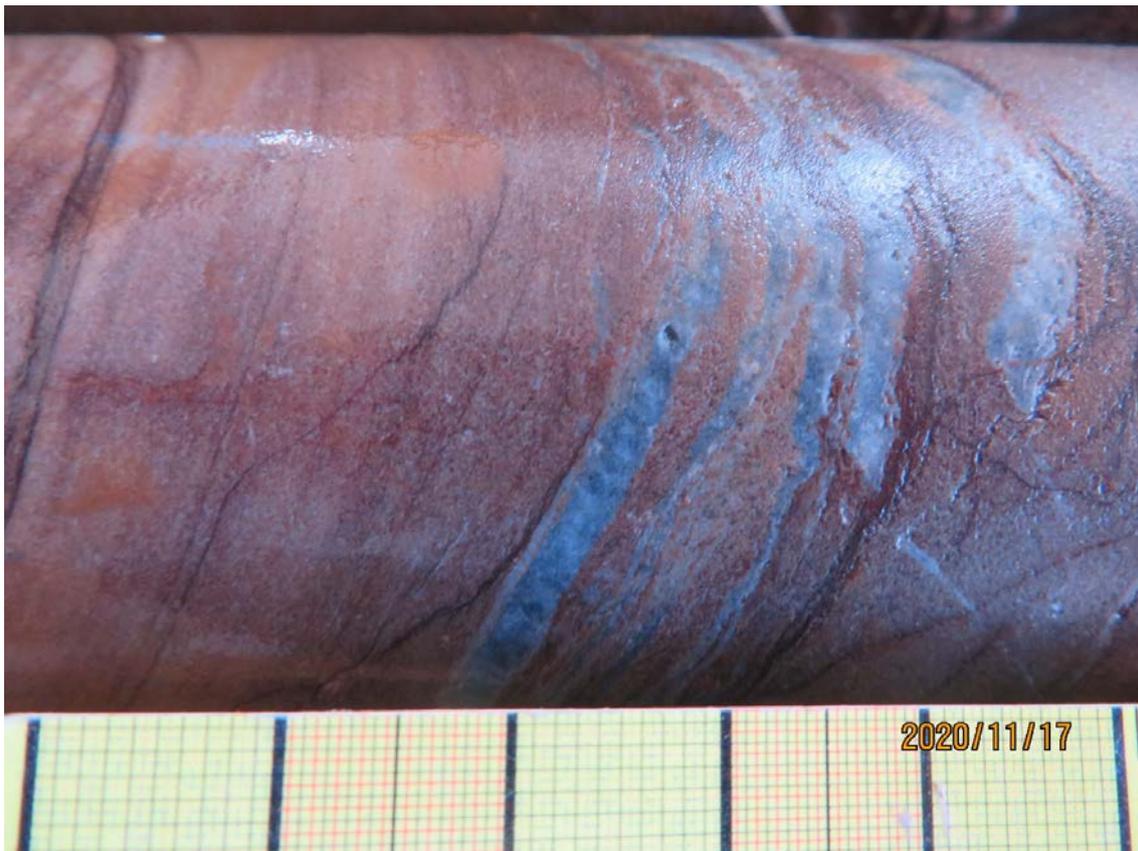


Figura 3.3.2: Arenite quarzifica con venature di quarzo (sondaggio S2-1999).

Tra le areniti si individuano inoltre le QUARZITI, poco stratificate e scarsamente scistose, estremamente resistenti e più povere di fillosilicati.

Le SILTITI si distinguono per la grana molto più fine e l'abbondanza di fillosilicati (vedi figura seguente).

Le siltiti possono assumere carattere di ARGILLITI o scisti sericitici. In esse la scistosità, più marcata e coincidente con la stratificazione, è tale da rendere fissile la roccia, cioè riducibile in lastre sottili. Anche le siltiti sono fessurate, ma trattandosi di rocce meno rigide delle areniti la fessurazione conseguente alle sollecitazioni tettoniche è meno accentuata.

Qui di seguito riportiamo un esempio di siltite proveniente dal sondaggio S2 (1999) analizzato durante la visita sul sito nel novembre 2020.

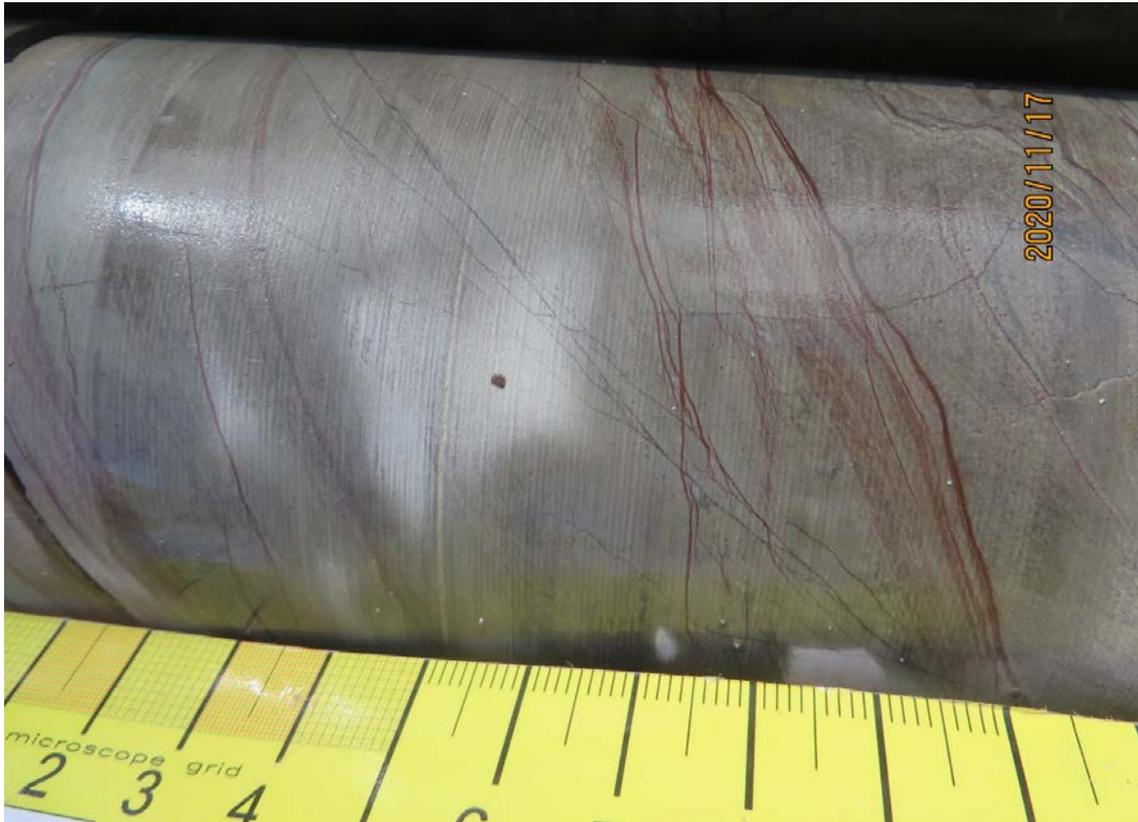


Figura 3.3.3: Siltiti con venature di argillite (sondaggio S2-1999).

L'assetto strutturale dell'area è costituito da una monoclinale complessa, immergente verso Sud-Ovest con inclinazione compresa tra 30° e 45°, composta da più blocchi dislocati da altrettante faglie dirette di modesto rigetto.

Ciò significa che le bancate della sponda destra immergono al di sotto di quelle della sponda sinistra, con forte componente di immersione verso monte.

In particolare, per quanto riguarda le principali linee di dislocazione tettonica, le direzioni principali sono N-S, E-W, NW-SE e NE-SW. Si tratta di faglie, talora mascherate da coltri detritiche che isolano blocchi di roccia a giacitura omogenea e che si presentano sul terreno con lineazioni continue, più o meno diritte e, spesso, a labbri serrati.

Di particolare interesse per i fini di questo studio è l'ipotesi di un'importante faglia chilometrica longitudinale alla valle del Riu Casteddu e passante per il fondovalle (Celico, 1996) e la conseguente presenza di una zona cataclasata profonda (> 100m).

Per completezza si evidenzia che il foglio geologico n. 556 "Assemini" del progetto CARG attribuisce l'area di studio alle ARENARIE DI SAN VITO, descritte come alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie medio-fini, metasiltiti con laminazioni piano-parallele, ondulate ed incrociate, e metasiltiti micacee di colore grigio. Intercalazioni di metamicroconglomerati poligenici.

Altresì lo stralcio del Foglio geologico n. 556 "Assemini" non riporta, il lineamento tettonico descritto da Celico (1996).



Figura 3.3.4: 2009, Stralcio del Foglio Geologico CARG n. 556 "Assemini".

### 3.4 INDAGINI ESISTENTI

Le indagini pregresse eseguite dal 1962 al 1999 e relative alle diverse fasi di progetto (di massima, esecutivo, di variante e d'integrazione) sono qui di seguito riportate:

Anno	No. Sondaggi	SCOPO
• 1962	32	Progetto di Massima
• 1972	9	Progetto Esecutivo
• 1982	7	Variante di Progetto
• 1990	6 (+1 a valle)	Integrazione schermo di iniezione (conci da 10 a 30)
• 1999	3	Integrazione schermo di iniezione (conci da 10 a 30)

I documenti utili consultati e relativi alle indagini pregresse sono stati i seguenti:

- 1962\_ICOS, Indagini Geognostiche per La Progettazione Esecutiva Della Diga Di Medau Zirimilis;
- 1992\_Celico, RELAZIONE IDROGEOLOGICA sui risultati delle indagini geologiche, allegato No. 2;
- 1999\_Ibba, RAPPORTO GEOLOGICO CONCLUSIVO SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE;
- 1999\_Artizzu, RAPPORTO GEOLOGICO SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE.

Oltre alla consultazione dei documenti disponibili, è stato condotto un sopralluogo presso la casa di guardia per verificare le condizioni delle cassette catalogatrici dei sondaggi più recenti, come illustrato nella foto seguente. Come si evince dalla seguente fotografia lo stato depauperato delle cassette ha permesso solamente di verificarne la litologia.



Figura 3.4.1: Foto delle cassette catalogatrici (sondaggio S2-1999).

La posizione delle indagini pregresse è riportata nel seguente elaborato:

- 120 GEN D SP 001A - Planimetria delle INDAGINI – 2K

Al fine di avere un quadro d'insieme dell'assetto geologico-geotecnico dell'area della diga di Medau Zirimilis è stata condotta una digitalizzazione delle informazioni relative alle indagini disponibili.

Tali indagini hanno riguardato principalmente sondaggi, ed in minor misura pozzi geognostici e trincee.

I dati di sondaggio raccolti e sintetizzati sono stati principalmente i seguenti:

- CR (%) (*Core Recovery*)
- RQD (%) (*Rock Quality Designation*)
- LITOLOGIA (Ms = Metasiltite, Ar = Arenarie, Sc = Scisti arenacei, Qz = quarziti, Mar = Marna)
- GRADO DI FRATTURAZIONE (cf = completamente fratturato, hf= altamente fratturato, mf = moderatamente fratturato, sf = leggermente fratturato)
- PROVE D'ACQUA (Portate di assorbimento vs Pressione massima, prove Lugeon)
- FOTOGRAFIE dei SONDAGGI

Come si evince dalla seguente tabella i valori di CR e di RQD non sono presenti rispettivamente nella totalità

dei sondaggi. Inoltre, le prove d'acqua effettuate in foro sono state eseguite spesso con test di assorbimento ad una data pressione, altre volte sono stati rispettati i gradini di pressione tipici delle prove Lugeon.

La tabella sinottica qui di seguito riassume le informazioni principali relative ai sondaggi eseguiti.

Campagna	No.	BH	E <sub>UTM,WGS84 32N</sub>	N <sub>UTM,WGS84 32N</sub>	Elevazione	inclinazione	azimuth	L	CR	ROD	Prove in foro		FOTO	Scopo
											Assorb.	Lugeon		
(anno)	(#)	(sigla)	(m)	(m)	(m s.l.m.)	(°)	(°)	(m)	(%)	(%)	(#)	(#)	(S/N)	-
1962	1	S2_1962	485229	4343524	141.64	90	-	30.00			2		N	Progetto di Massima
	2	S3_1962	485312	4343533	117.76	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	3	S4_1962	485412	4343545	101.72	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	4	S5_1962	485653	4343576	146.53	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	5	S6_1962	485159	4343420	143.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	6	S7_1962	485209	4343426	146.00	90	-	50.00			5		N	Progetto di Massima
	7	S8_1962	485292	4343430	107.22	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	8	S9_1962	485445	4343448	104.77	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	9	S10_1962	485519	4343467	123.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	10	S11_1962	485626	4343511	149.64	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	11	S12_1962	485155	4343311	142.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	12	S13_1962	485219	4343318	134.07	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	13	S14_1962	485396	4343339	106.13	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	14	S15_1962	485511	4343354	118.35	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	15	S16_1962	n.d.	n.d.	152.10	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	16	S17_1962	n.d.	n.d.	96.13	90	-	35.00			4		N	Progetto di Massima
	17	S18_1962	n.d.	n.d.	111.15	90	-	35.00			3		N	Progetto di Massima
	18	S19_1962	485504	4343557	109.72	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	19	S20_1962	485601	4343365	119.41	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	20	S21_1962	485312	4343329	105.79	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	21	S22_1962	485350	4343438	102.00	90	-	31.90			3		N	Progetto di Massima
	22	S23_1962	485403	4343444	99.49	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	23	S26_1962	485258	4343429	125.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	24	S28_1962	485402	4343389	105.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	25	S29_1962	485410	4343484	103.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	26	S30_1962	485322	4343435	103.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	27	S31_1962	485277	4343431	115.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	28	S32_1962	485234	4343427	135.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	29	S33_1962	485556	4343482	135.25	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	30	S34_1962	485590	4343497	142.50	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	31	S35_1962	485356	4343439	103.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	32	S36_1962	485365	4343440	105.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
1972	1	F1_1972	485222	4343360	135.19	90	-	50.20				16	S	Progetto Esecutivo
	2	F2_1972	485236	4343421	133.69	90	-	48.80				11	S	Progetto Esecutivo
	3	F3_1972	485295	4343433	109.59	90	-	30.30				8	S	Progetto Esecutivo
	4	F4_1972	485348	4343419	105.20	90	-	23.80				3	S	Progetto Esecutivo
	5	F5_1972	485336	4343462	103.60	90	-	25.00					S	Progetto Esecutivo
	6	F6_1972	485446	4343438	104.98	90	-	30.20				9	S	Progetto Esecutivo
	7	F7_1972	485436	4343485	103.80	90	-	25.10				7	S	Progetto Esecutivo
	8	F8_1972	485534	4343479	130.50	90	-	50.00				17	S	Progetto Esecutivo
	9	F9_1972	n.d.	n.d.	n.d.	90	-	15.20				4	S	Progetto Esecutivo
1982	1	S101_1982	485188	4343269	149	90	-	25.00			5		S	Progetto di Variante
	2	S102_1982	485203	4343369	146	90	-	50.20			10		S	Progetto di Variante
	3	S103_1982	485272	4343321	110	90	-	50.40			3		S	Progetto di Variante
	4	S104_1982	485346	4343341	106	90	-	50.00			2		S	Progetto di Variante
	5	S105_1982	485409	4343363	105	90	-	50.50			4		S	Progetto di Variante
	6	S106_1982	485489	4343397	107	90	-	48.50					S	Progetto di Variante
	7	S107_1982	485551	4343493	139	90	-	24.40			5		S	Progetto di Variante
1990	1	S1_1990	485301	4343315	97	32	73	72.50			16	7	N	Integrazione
	2	S2_1990	485337	4343325	98.2	30	73	100.50			6	3	N	Integrazione
	3	S3_1990	485373	4343336	100	30	74	61.20			19*		N	Integrazione
	4	S4_1990	485403	4343345	99	30	74	59.00			33*		N	Integrazione
	5	S5_1990	485455	4343369	98.9	30	62	34.20			8*		N	Integrazione
	6	S6_1990	485509	4343399	102.6	30	52	68.00					N	Integrazione
	7	S1001B_1990	n.d.	n.d.	n.d.	30	n.d.	83.50					N	Integrazione
1999	1	S2_1999	485430	4343355	96.8	90	-	100.30				10	S	Integrazione
	2	S3_1999	485393	4343342	97.4	90	-	102.00				10	S	Integrazione
	3	S4_1999	485362	4343333	98.7	90	-	90.00				8	S	Integrazione

(\*) portate spontanee durante la perforazione.

Tabella 3.4.1: Base dati delle INDAGINI relative alla diga di Medau Zirimilis.

### 3.5 DATI GEOSTRUTTURALI

L'area di Medau Zirimilis è stata indagata nei precedenti studi fornendo informazioni di tipo geologico-strutturale.

L'assetto strutturale e le connesse strutture principali alla scala dell'opera sono stati descritti nel paragrafo 3.3, mentre alla scala della fondazione diga sono stati utilizzati ed analizzati i dati geo-strutturali acquisiti all'interno dei pozzi geognostici condotti in occasione del progetto di Variante del 1982 (Studio Pietrangeli) al fine di ottenere informazioni circa le famiglie di giunti principali che caratterizzano l'ammasso roccioso di fondazione. Tali informazioni sono propedeutiche per la progettazione dello schermo di tenuta ed in particolare per la definizione dell'orientazione dei fori di iniezione.

Qui di seguito si riportano i dati di orientazione delle diverse famiglie di giunti raccolti all'interno di uno stereoplot.

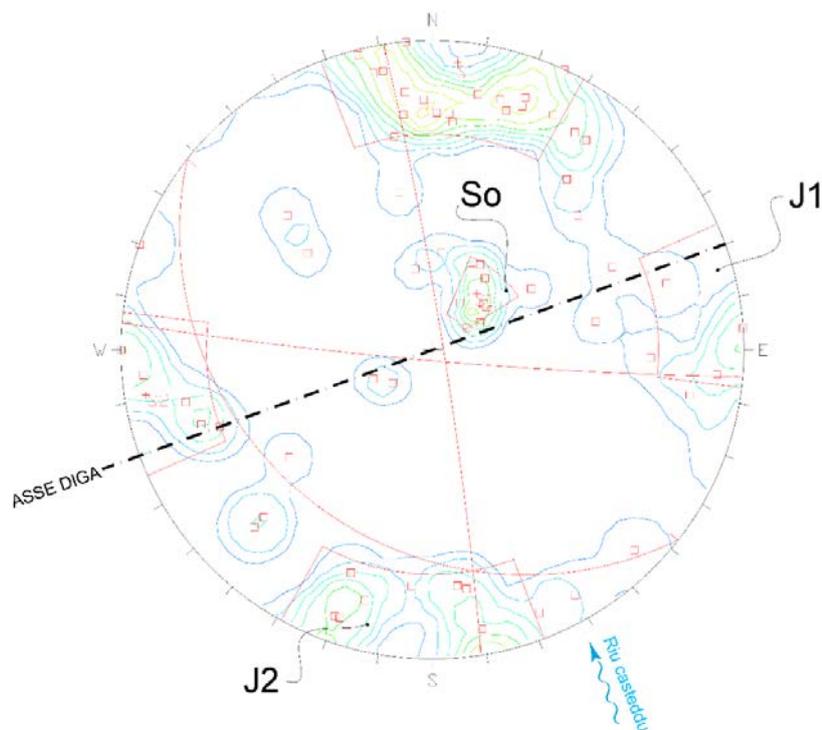


Figura 3.5.1: Stereoplot dei giunti rilevati nei pozzi geognostici realizzati durante la campagna indagini del 1982.

Le principali famiglie di giunti che si individuano sono le seguenti:

FAMIGLIA	INCLINAZIONE	IMMERSIONE	
• So	14 - 36	/	202 - 238 (stratificazione /scistosità)
• J1	70 - 72	/	159 - 029
• J2	72 - 72	/	066 - 277

La famiglia So rappresenta la stratificazione che come già enunciato ha una immersione generale verso Sud-Ovest, vale a dire verso monte-sinistra. I giunti di stratificazione So sono pressoché chiusi e poco alterati, talvolta con tracce di ossidazione.

I giunti J1 sono sub-verticali ed hanno una direzione all'incirca Nord-Sud, ossia all'incirca monte-valle. Si presentano in due gruppi principali di poli relativi sostanzialmente alla stessa famiglia ma antitetici.

I giunti J2 sono anch'essi subverticali e sub-perpendicolari ai giunti J1, quindi hanno una direzione sinistra-destra e si presentano all'incirca paralleli all'asse diga e di conseguenza alla direzione media del cunicolo di drenaggio.

I giunti J1 e J2, ovviamente indistinguibili all'interno dei sondaggi, sono talvolta caratterizzati da millimetrici riempimenti argillosi e patine limonitiche. Inoltre, nelle porzioni più superficiali si presentano riempite da una successiva cementazione dovuta probabilmente alle acque di circolazione. La superficie delle fratture non sempre si presenta ruvida e pulita, ma spesso appare patinata da ocra limonitica color ruggine, pulverulenta e poco coesiva, proveniente da ossidazione della pirite dispersa nella roccia.



Figura 3.5.2: Dettaglio di un giunto J1/J2 con una patina argillosa. (sondaggio S2-1999, prof. 28 m circa).



Figura 3.5.3: Dettaglio di un giunto J1/J2 ricementato e parzialmente aperto (sondaggio S2-1999, prof. 20 m circa).

### 3.6 PROFILO GEOLOGICO-GEOTECNICO

I dati di sondaggio riordinati sono stati utilizzati per realizzare un profilo geologico-geotecnico lungo il cunicolo di drenaggio.

A tal fine sono stati utilizzati i sondaggi eseguiti durante le No. 5 campagne di indagine (1962, 1972, 1982, 1990 e 1999), selezionando quelli più prossimi al cunicolo, con distanze planimetriche massime di 30 m.

I sondaggi utilizzati sono riportati nella seguente tabella.

Campagna	No.	BH	E <sub>UTM,WGS84</sub> 32N	N <sub>UTM,WGS84</sub> 32N	Elevazione	inclinazione	azimuth	L	CR	RQD	Prove in foro		FOTO	Scopo
											Assorb.	Lugeon		
1962	1	S10_1962	485519	4343467	123.00	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	2	S14_1962	485396	4343339	106.13	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	3	S21_1962	485312	4343329	105.79	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	4	S33_1962	485556	4343482	135.25	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
	5	S34_1962	485590	4343497	142.50	90	-	30.00			3		N	Progetto di Massima
1972	6	F1_1972	485222	4343360	135.19	90	-	50.20				16	S	Progetto Esecutivo
	7	F8_1972	485534	4343479	130.50	90	-	50.00				17	S	Progetto Esecutivo
1982	8	S102_1982	485203	4343369	146	90	-	50.20			10		S	Progetto di Variante
	9	S103_1982	485272	4343321	110	90	-	50.40			3		S	Progetto di Variante
	10	S104_1982	485346	4343341	106	90	-	50.00			2		S	Progetto di Variante
	11	S105_1982	485409	4343363	105	90	-	50.50			4		S	Progetto di Variante
	12	S106_1982	485489	4343397	107	90	-	48.50					S	Progetto di Variante
	13	S107_1982	485551	4343493	139	90	-	24.40			5		S	Progetto di Variante
1990	14	S1_1990	485301	4343315	97	32	73	72.50			16	7	N	Integrazione
	15	S2_1990	485337	4343325	98.2	30	73	100.50			6	3	N	Integrazione
	16	S3_1990	485373	4343336	100	30	74	61.20			19*		N	Integrazione
	17	S4_1990	485403	4343345	99	30	74	59.00			33*		N	Integrazione
	18	S5_1990	485455	4343369	98.9	30	62	34.20			8*		N	Integrazione
	19	S6_1990	485509	4343399	102.6	30	52	68.00					N	Integrazione
1999	20	S2_1999	485430	4343355	96.8	90	-	100.30				10	S	Integrazione
	21	S3_1999	485393	4343342	97.4	90	-	102.00				10	S	Integrazione
	22	S4_1999	485362	4343333	98.7	90	-	90.00				8	S	Integrazione

Tabella 3.6.1: Sondaggi relativi al profilo geologico-geotecnico lungo il cunicolo (diga di Medau Zirimilis).

Le informazioni principali riportate nei sondaggi sono le seguenti:

- CR (%) (Core Recovery)
- RQD (%) (Rock Quality Designation)
- LITOLOGIA (Ms = Metasiltite, Ar = Arenarie, Sc = Scisti arenacei, Qz = quarziti, Mar = Marna)
- GRADO DI FRATTURAZIONE (cf = completamente fratturato, hf = altamente fratturato, mf = moderatamente fratturato, sf = leggermente fratturato)
- PROVE D'ACQUA (prove Lugeon)

Qui di seguito si riporta un esempio di sintesi e rappresentazione dei dati relativi ad un sondaggio tipo e le relative caratteristiche.

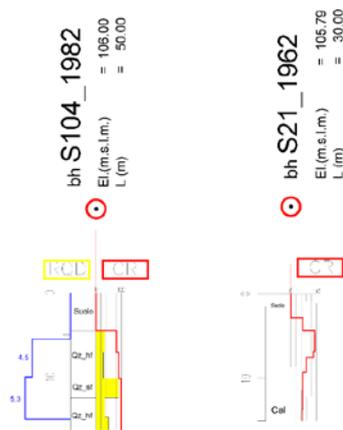


Figura 3.6.1: Esempio di configurazioni dei Log dei sondaggi utilizzati nel profilo geologico-geotecnico.

Occorre chiarire che i sondaggi della campagna del 1962 sono stati inseriti per completezza ma sono risultati, tuttavia, di scarsa affidabilità sia per quanto riguarda i valori percentuali di recupero di carota che la definizione litologica.

Lo stato di fratturazione è stato definito in funzione del valore *RQD* laddove disponibile e, in assenza di esso, dalle descrizioni contenute nei log di sondaggio.

I valori di assorbimento LUGEON non sono stati appositamente riportati per i sondaggi eseguiti dopo l'esecuzione dello schermo di progetto (campagne d'indagine 1990 e 1999) in quanto non rappresentativi della permeabilità originaria dell'ammasso roccioso.

I limiti geologici sono stati inseriti basandosi sulla base di quanto riportato dal professor Calvino (1982) nell'ambito del Progetto di Variante – (Studio Pietrangeli, 1982 - allegato C 30.103.1).

Le litologie riportate all'interno di ciascun sondaggio corrispondono alle litologie descritte nei rispettivi log. Significative incongruenze sono state riscontrate tra le terminologie e le litologie stesse utilizzate nelle diverse campagne di indagine. A valle di tali considerazioni nel profilo geologico-geotecnico è stata rappresentata una base litologica concettuale così come descritto nei capitoli precedenti ossia alternanze di ARENITI (talvolta chiamate arenarie o meta-arenarie) e SILTITI (talvolta chiamate meta-siltiti).

All'interno del profilo geologico-geotecnico sono state inoltre inserite le faglie incerte in corrispondenza dei livelli di cataclasite riportati nei log di sondaggio eseguiti nella campagna indagini del 1990 (Ibba, 1999).

I valori di assorbimento LUGEON sono inoltre approssimati in quanto non sono disponibili informazioni sulle perdite di carico nel circuito di prova. In particolare, laddove erano disponibili i gradini di pressione tipici della prova LUGEON (andata e ritorno), è stata determinata la tipologia del flusso (laminare, turbolento, etc.; Housby, 1976) ed il relativo valore Lugeon di riferimento.

Il profilo geologico-geotecnico è illustrato nella seguente figura (ref. Disegno 220 GEN D SP 002A - PROFILO GEOLOGICO-GEOTECNICO)

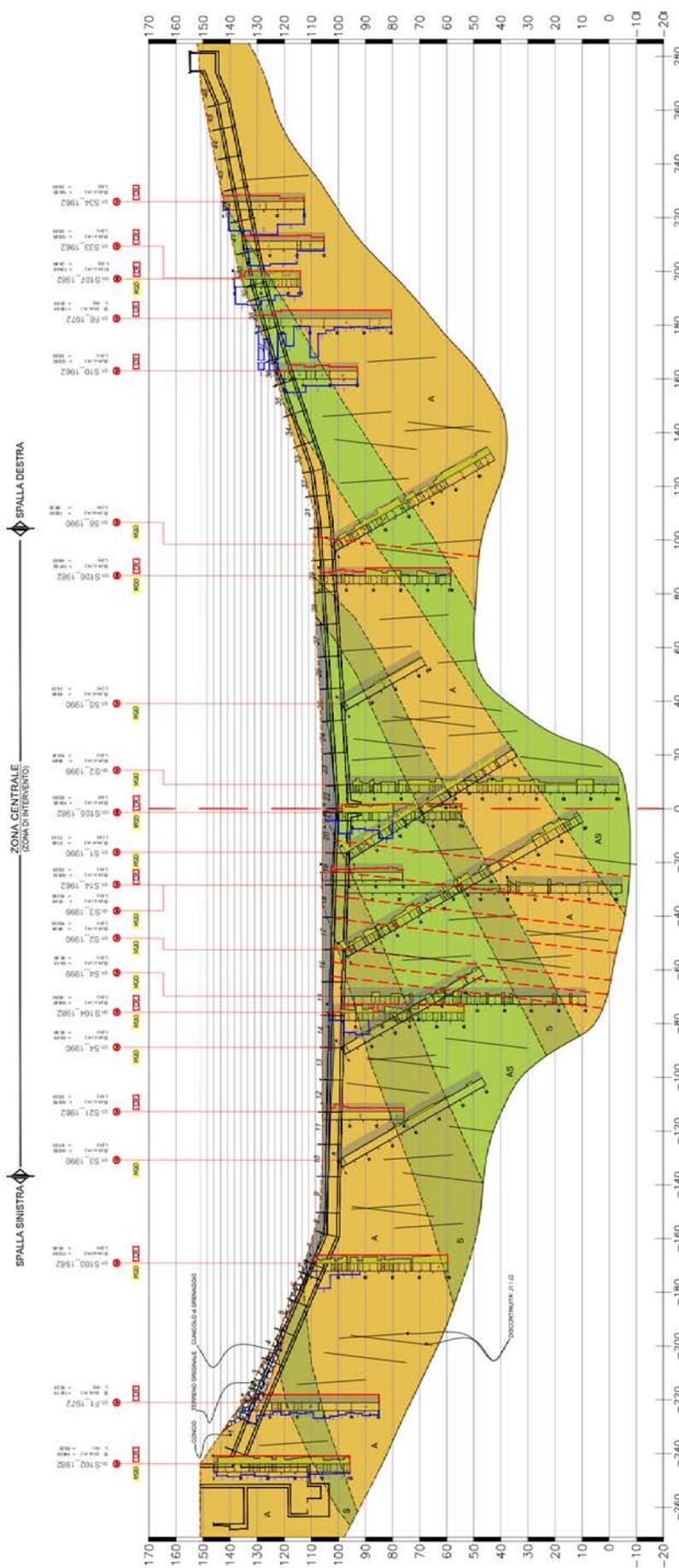


Figura 3.6.2: profilo geologico-tecnico.

Lo stile di fratturazione suggerito dai valori di distribuzione di *RQD* è stato analizzato e sintetizzato nei seguenti istogrammi ed è relativo ai sondaggi corrispondenti alle seguenti sezioni:

- intero profilo
- spalla sinistra (conci 1 ÷ 9);
- zona centrale (conci 10 ÷ 30);
- spalla sinistra (conci 31 ÷ 48).

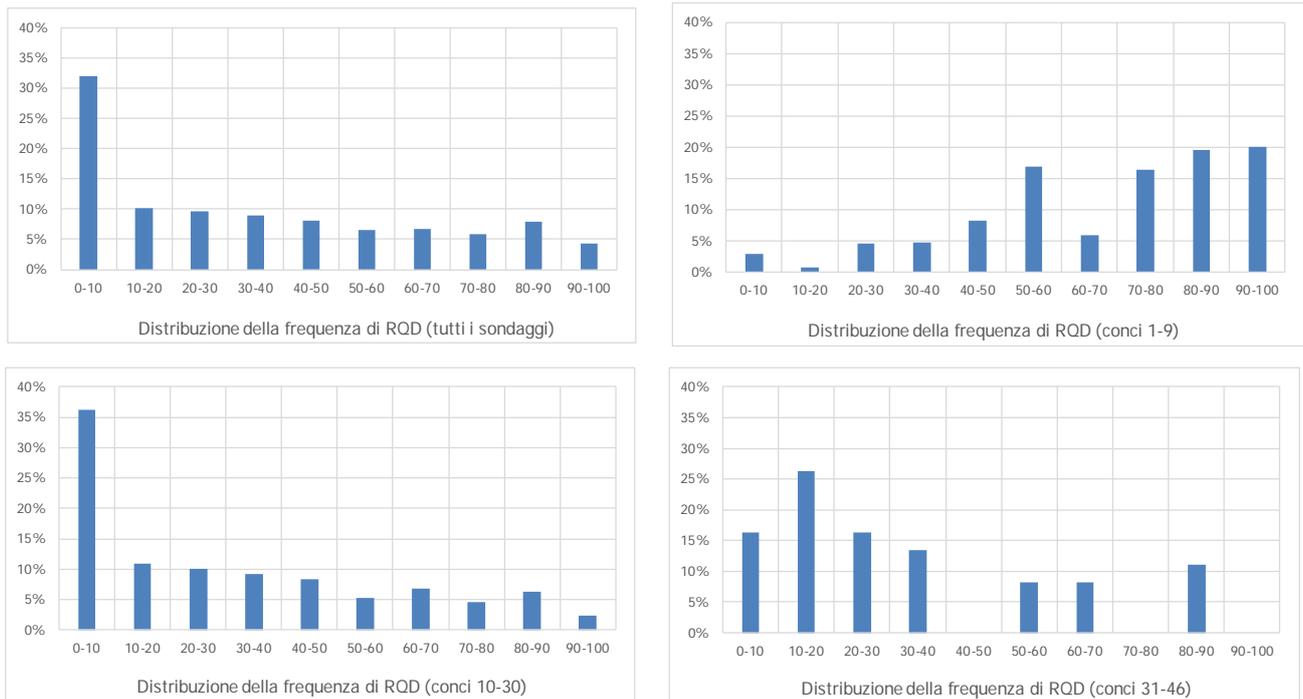


Figura 3.6.3: Distribuzione della frequenza delle classi di RQD all'interno dei sondaggi lungo il cunicolo.

L'analisi sopra riportata e relativa all'andamento della fratturazione all'interno dei sondaggi considerati permette di apprezzare una diminuzione dei valori di RQD ed un conseguente aumento della fratturazione nella zona centrale (conci 10 ÷ 30).

Inoltre, dall'estratto del profilo riportato qui di seguito e riferito alla zona centrale si evince che sondaggi della campagna di indagine del 1982 (S104, S105) presentano valori percentuali di *RQD* mediamente più elevati di quelli riportati nei sondaggi del 1990. Si confronti ad esempio il sondaggio S105\_1982 con il sondaggio S1\_1990 che pur insistendo sulla medesima zona presentò RQD differenti.

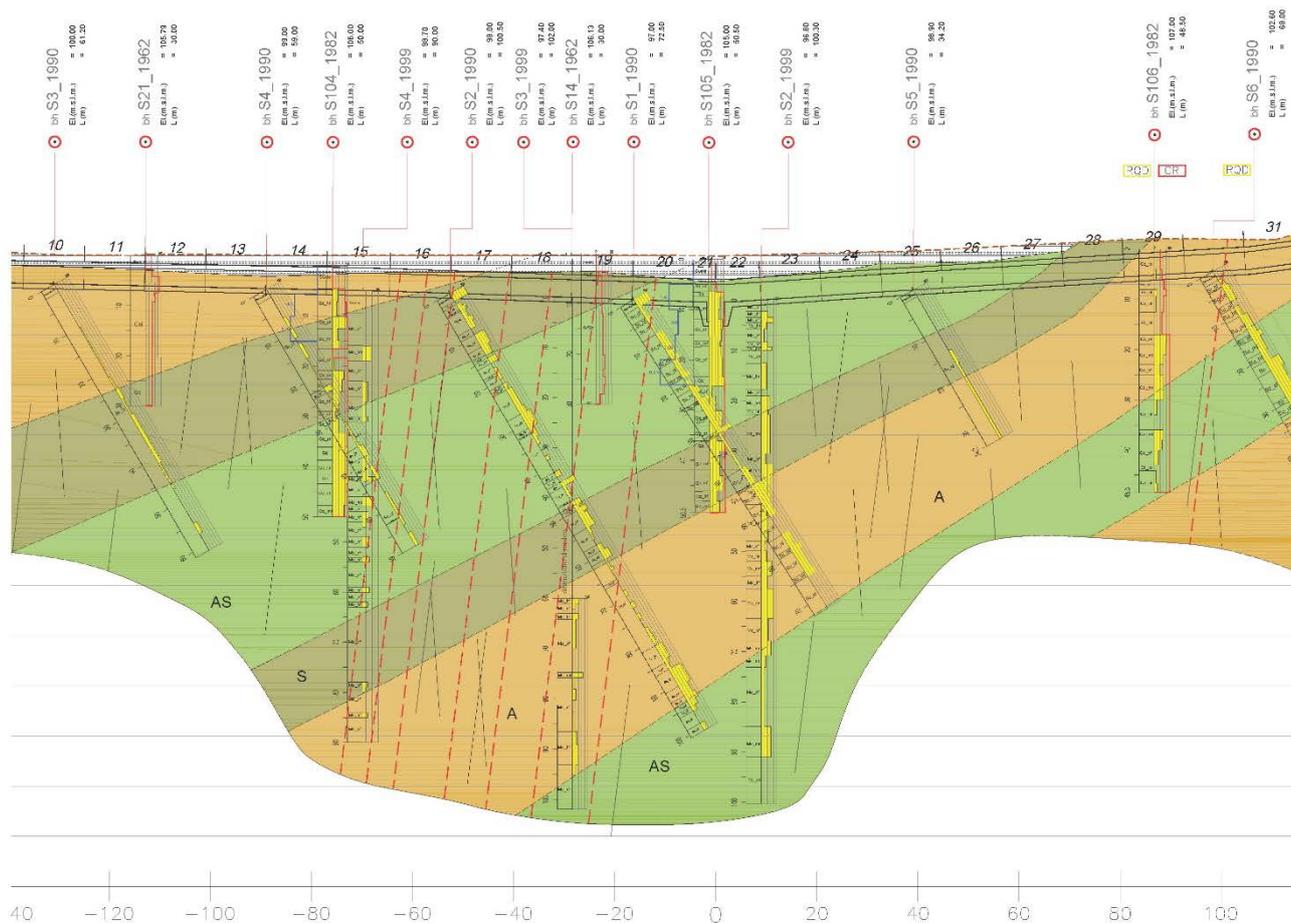


Figura 3.6.4: Estratto del profilo geologico-geotecnico – zona centrale.

Tale differenza potrebbe essere dovuta alla presenza di fasce sub-verticali più fratturate di spessore limitato. Si tenga tuttavia presente che tipicamente la presenza di giunti sub-verticali (famiglie J1 e J2) causano una fratturazione meccanica della carota durante la perforazione, inducendo spesso a sottostimare i valori effettivi di *RQD*.

Si osserva inoltre che i log di diversi sondaggi (campagne 1972, 1990 e 1999) non riportano informazioni sulla percentuale di recupero di carota. Tale informazione è di grande utilità per la valutazione della eventuale presenza di materiale decomposto di riempimento e di fratture beanti.

In generale, alla luce dei dati disponibili e così riportati nel profilo geologico-geotecnico, si evidenzia la presenza anche in profondità di un ammasso altamente fratturato. Tale assetto potrebbe essere dovuto ad una fascia di debolezza cataclata (faglia o *shear zone*) ad andamento monte-valle, già ipotizzata da Celico (1996).

## 4 INDAGINI IDROLOGICHE

### 4.1 INTRODUZIONE

Questa analisi ha lo scopo di analizzare i dati di pioggia esistenti al fine di determinare le portate di piena, correlandole ai tempi di ritorno, per l'intero anno idrologico e per un periodo ridotto idrologico tra Maggio e Settembre, che rappresenta il periodo di "secca".

Non avendo a disposizione dati diretti di portata, si è proceduto con l'analisi dei dati di pioggia, registrati alla diga di Medau Zirimilis, e attraverso l'applicazione del modello idrologico, desunto dal documento "Definizione dei modelli idrologici per la gestione degli eventi di piena nei principali serbatoi artificiali della Sardegna (Convenzione ENAS/UNICA rep.n. 188 del 16/07/2008)", si sono determinate le relative portate.

### 4.2 BACINO IDROGRAFICO di MEDAU ZIRIMILIS

Una sintesi dei dati caratteristici del bacino indicati nei precedenti studi idrologici è illustrata nella seguente tabella che riporta le informazioni geomorfologiche e idrogeologiche disponibili.

Dati del Bacino		
Parametri	u.m.	
Sezione di Chiusura	[#]	MEDAU ZIRIMILIS
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	28740000
Altitudine media	[m asl]	417.00
Quota sezione terminale	[m asl]	100
Lunghezza dell'asta principale	[m]	10700
Pendenza dell'asta principale	[%]	8.00
Curve Number (CN)	[#]	82.01
Antecedent Moisture Condition (AMC)	[#]	III
Velocità media della corrente	[m/s]	1.50
Esposizione	[#]	occidentale
Areal Reduction Factor (ARF)	[#]	1.00
Pioggia indice ( $\mu_d$ )	[mm]	71.79
Sottozona omogenea (SZO)	[#]	2
Tempo di corrivazione (Tc)	[day]	0.08

Tabella 4.2.1: Elenco dei dati Geomorfologici e idrogeologici del bacino con sezione di chiusura Medau-Zirimilis

### 4.3 DATI di PIOGGIA

Lo studio delle piene, di seguito illustrato, si basa sui dati di pioggia giornaliera fornita dall'ENAS in data 20 Novembre 2020 (nome file "Dati Medau Zirimilis.xlsx"). Questi dati rappresentano una serie storica di piogge giornaliere della durata di 15 anni, dal 2005 al 2020, alla stazione di Medau Zirimilis. Una sintesi dei dati di pioggia è illustrata nella figura seguente.

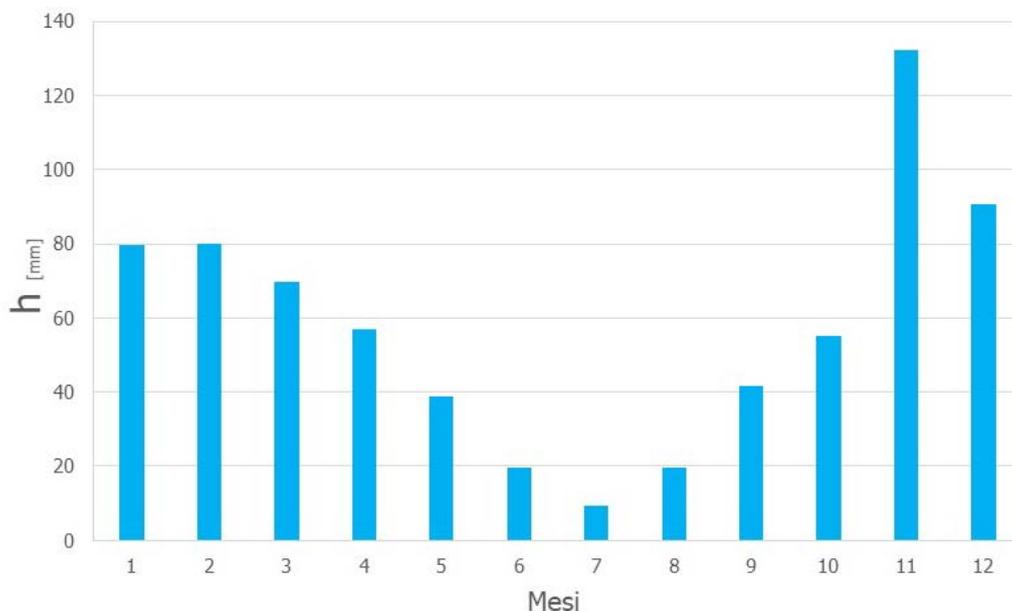


Figura 4.3.3: Altezza di pioggia media cumulata mensilmente sul bacino

### 4.4 STIMA delle PIENE

#### 4.4.1 INTERO ANNO IDROLOGICO

Sulla base di alcuni metodi citati, tarati e utilizzati nei precedenti studi idrologici, vedasi allegati All. A1.2 (Relazione Generale-Parte 2) e B4.1 (Bacino Del Cixerri) del rapporto sopra citato, è stato effettuato il calcolo della portata di piena del bacino di Medau-Zirimilis per diversi periodi di ritorno ( $T_r$ ), tra i 2 e i 20 anni.

Si riporta in tabella una sintesi dell'analisi effettuata per il calcolo della portata di piena con i diversi metodi.

Q <sub>piena</sub> (T <sub>r</sub> )						
		T <sub>r</sub>				
		2	5	10	15	20
Metodo	u.m.					
Lazzari modificato (VAPI)	m <sup>3</sup> /s	11.05	19.34	25.90	29.97	32.98
Lazzari et al. 2000	m <sup>3</sup> /s	8.11	17.36	25.83	31.50	35.87
TCEV	m <sup>3</sup> /s	10.45	21.00	35.21	44.24	50.63
Metodo Razionale	m <sup>3</sup> /s	15.66	36.90	56.49	69.81	81.03

Tabella 4.4.1: Portate al colmo per assegnato tempo di ritorno calcolate con i vari metodi

Dall'analisi si evince che i valori di portata di piena determinati con i diversi metodi restituiscono valori simili. Ad ogni modo si ritiene che il metodo razionale, detto anche cinematico, tenendo conto di una più ampia gamma di parametri caratteristici degli aspetti geomorfologici e idrogeologici del bacino in esame, fornisce tra i vari metodi, valori della portata di piena più affidabili. Pertanto, i valori delle portate di piene a cui si farà riferimento nel presente rapporto, sono quelli derivanti dal metodo razionale.

#### 4.4.2 STAGIONE SECCA

Dal grafico sopra riportato delle piogge si evince che il periodo meno piovoso è tra Aprile ed Ottobre. Considerando che il mese di Aprile ha avuto degli eventi estremali importanti, è stato isolato il periodo da Maggio a Settembre per valutazione delle piene nel periodo di secca. Allo scopo di valutare l'incidenza del periodo di secca sull'intero anno idrologico, sono state condotti due studi di distribuzione dei dati di pioggia giornalieri disponibili. Il primo è stato effettuato sull'intera serie di dati disponibili mentre il secondo è stato effettuato isolando dai primi i soli dati di pioggia giornalieri del periodo secco. Per entrambi i gruppi di dati è stata utilizzata una distribuzione di Wakeby, ottenendo le seguenti corrispondenze con i dati osservati.

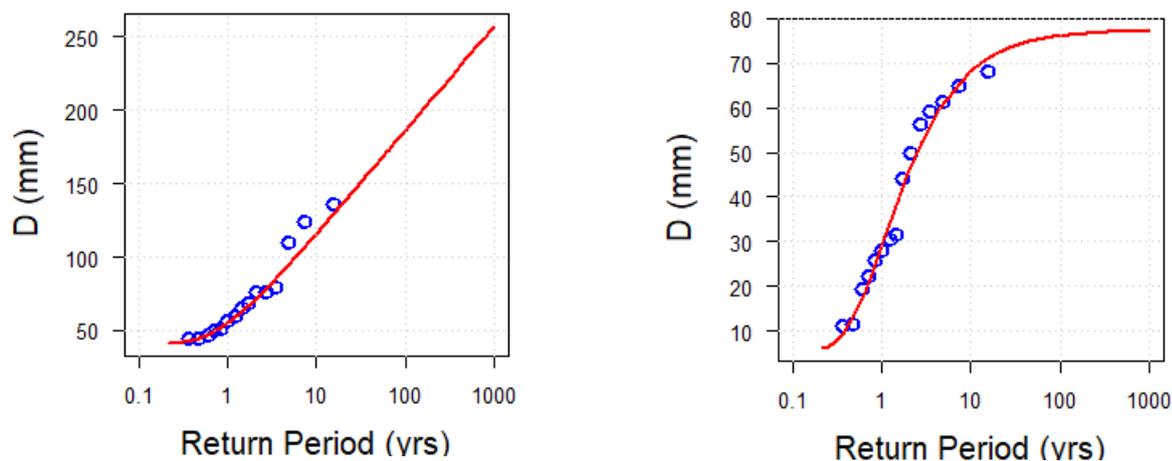


Figura 4.4.4: Distribuzione di Wakeby dei dati di pioggia giornalieri: (sinistra) intero anno idrologico, (destra) Maggio-Ottobre

A partire dalle distribuzioni di Waky, in funzione dei diversi  $T_r$ , sono state determinate le altezze di pioggia giornaliera per l'intero anno idrologico e per la stagione Maggio-Ottobre. Dai rapporti di questi valori di pioggia giornaliera è stato possibile stimare l'incidenza del periodo di secca sull'intero anno idrologico. Una sintesi di tale incidenza, in funzione del  $T_r$ , è riportata nella seguente tabella.

$T_r$	WKB-Serie Dati 2005-2019	WKB-Serie Dati 2005-2019 (Mag-Set)	Incidenza Periodo <sub>secco</sub> /Anno <sub>idrologico</sub>
[anni]	[mm]	[mm]	[-]
2	62.7	38.1	0.6072
5	91.96	59.7	0.6496
10	113.96	67.8	0.5946
15	126.78	70.17	0.5535
20	135.85	72.1	0.5310

Tabella 4.4.2: Incidenza del periodo secco sull'anno idrologico in funzione del  $T_r$

Ricavati i valori di incidenza del periodo secco sull'anno idrologico, per ricavare le portate di piena nel periodo secco, è stato utilizzato nuovamente il già citato metodo razionale; con l'accortezza di andare a decurtare, tramite i coefficienti d'incidenza, le altezze di piogge in una durata di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino  $[h(t_c)]$ .

Si riporta in tabella una sintesi dei valori di portata di piena durante il periodo di secca in funzione del  $T_r$ .

		$Q_{piena}(T_r)$				
		$T_r$				
		2	5	10	15	20
Metodo	u.m.					
Metodo Razionale	$m^3/s$	2.22	11.39	15.66	17.15	18.88

*Tabella 4.4.3: Portate al colmo per assegnato tempo di ritorno calcolate per il periodo secco*