



Sede Legale:
Via Lamarmora 230, 25124 Brescia
Sede direzionale e amministrativa:
Corso di Porta Vittoria 4, 20122 Milano
A2A/DGE/BGT/IMI/SII/OIC

Pratica: 10320	Intervento di miglioramento sismico della diga di Trepidò
Documento:	10320-C-OR-DTR-C-RT-210-1
Note:	Rif. M_inf.digheidrel.registro ufficiale.u.0009203.11-04-2019

**IMPIANTO IDROELETTRICO DI:
ORICHELLA**

**DIGA DI:
TREPIDO'**

**OGGETTO: Progetto Definitivo per l'intervento di miglioramento sismico della Diga di Trepidò
RELAZIONE GENERALE**

CONSULENTE:



Il progettista:
Dott. Ing. Marco Braghini

CONCESSIONARIO:



Visto
L'ingegnere Responsabile:
Dott. Ing. Paolo Valgoi

Visto
Il Legale Rappresentante:
Roberto Scottoni

TIPO DOCUMENTO:

RELAZIONE TECNICA

			LOMBARDI			A2A		
2								
1	27/10/2023	Prima emissione	C. Rossini	C. Crémer	M. Braghini	-	P. Valgoi	R. Castellano
0	31/07/2023	Emissione per commenti	C. Rossini	C. Crémer	M. Braghini	-	P. Valgoi	R. Castellano
REV.	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

IMPIANTI IDROELETTRICI DELLA SILA DIGA DI TREPIDÒ

PROGETTO DEFINITIVO INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO



RELAZIONE GENERALE

10320-C-OR-DTR-C-RT-210-1

1	27.10.2023	Ros	Cr
0	28.07.2023	Ros	Cr
Versione	Data	Redatto	Verificato

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

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	Struttura della relazione	2
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVE	4
2.1	Documentazione storica	4
2.2	Normative e Linee Guida	4
2.3	Indagini e studi specialistici	4
3.	DESCRIZIONE DELL'OPERA ESISTENTE	6
3.1	Localizzazione dell'opera	6
3.2	Quote altimetriche	6
3.3	Descrizione dell'opera esistente	7
3.3.1	Sbarramento principale	9
3.3.2	Sbarramento secondario	11
3.4	Dati caratteristici dell'opera	12
3.5	Organi di scarico	13
3.5.1	Scarico di superficie	13
3.5.2	Scarico di fondo	13
3.5.3	Scarico di alleggerimento	14
3.6	Monitoraggio	15
3.6.1	Generalità	15
3.6.2	Misure idrometeorologiche	15
3.6.3	Spostamenti piani-altimetrici	16
3.6.4	Movimenti dei giunti dello sbarramento principale	18
3.6.5	Temperatura del corpo murario	19
3.6.6	Sottopressioni	19
3.6.7	Perdite	20
3.6.8	Analisi delle misure	21
4.	SINTESI DELLE INDAGINI ESEGUITE	23
4.1	Premessa	23
4.2	Rilievi topografici	23

4.2.1	Rilievo dello sbarramento	23
4.2.2	Rilievo del terreno a valle dello sbarramento e dei cunicoli all'interno del corpo diga	24
4.2.3	Rilievo dei potenziali siti di prelievo del tout-venant per il nuovo rilevato in materiali sciolti	26
4.3	Rilievo batimetrico	26
4.4	Analisi preliminari del calcestruzzo (1988)	27
4.5	Campagna di indagine ISMES 1987-1989	28
4.6	Rilievi e sopralluoghi CESI 2013	32
4.7	Sopralluogo e rilievo sismico OGS 2020	33
4.8	Campagna di indagine 2021	33
4.9	Indagini eseguite sugli scarichi di fondo e alleggerimento	36
5.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO	37
5.1	Premessa	37
5.2	Inquadramento geologico	37
5.2.1	Assetto geologico	37
5.2.2	Assetto geologico-strutturale locale	40
5.2.3	Fagliazione superficiale	41
5.3	Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso di fondazione dello sbarramento	43
6.	INQUADRAMENTO SISMICO	46
6.1	Premessa	46
6.2	Inquadramento normativo e tempi di ritorno di progetto	46
6.3	Studio di pericolosità sismica	47
7.	PROPRIETÀ DEI MATERIALI CHE COSTITUISCONO LO SBARRAMENTO	49
7.1	Generalità	49
7.2	Materiali costituenti lo sbarramento principale	49
7.3	Materiali costituenti lo sbarramento secondario e i piloni	51
8.	INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA DIGA	52
8.1	Premessa	52

8.2	Iniezioni di consolidamento e impermeabilizzazione	54
8.2.1	Generalità	54
8.2.2	Iniezioni dal coronamento dello sbarramento principale	55
8.2.3	Iniezioni dal coronamento dello sbarramento secondario	57
8.2.4	Iniezioni dal paramento di valle dello sbarramento principale	57
8.3	Barre di cucitura in cresta	58
8.4	Nuovo sistema di drenaggio dello sbarramento principale	59
8.5	Ripristino del manto superficiale del paramento di monte	60
8.6	Realizzazione di un nuovo rilevato in materiali sciolti	62
8.7	Nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio	65
8.8	Nuova camera paratoie dello scarico di fondo	67
8.9	Nuovo cunicolo di accesso e scarico di fondo	70
8.10	Nuova cabina di controllo	72
8.11	Prolungamento del cunicolo di drenaggio della spalla sinistra	73
8.12	Manutenzione straordinaria dei cunicoli esistenti	74
8.13	Nuova strada di accesso a valle diga	74
8.13.1	Layout generale	74
8.13.2	Sezioni tipologiche	76
8.14	Adeguamento degli organi idromeccanici dello scarico di fondo	82
8.15	Adeguamento degli organi idromeccanici dello scarico di alleggerimento	83
8.16	Integrazione del sistema di monitoraggio della diga	83
8.17	Valutazione del miglioramento sismico ottenuto	87
9.	CANTIERIZZAZIONE	89
9.1	Generalità	89
9.2	Organizzazione del cantiere	89
9.2.1	Campo base (CB)	90
9.2.2	Campo operativo della diga (COD)	90
9.2.3	Sito di prelievo Tout-Venant (CV);	96
9.2.4	Sito di stoccaggio temporaneo dei materiali (ST).	98
9.2.5	Restituzione delle aree di cantiere	100
9.3	Gestione delle materie	100

10.	ASPETTI DI CARATTERE AMBIENTALE E PAESAGGISTICO	103
10.1	Studio preliminare ambientale e monitoraggio ambientale	106
10.2	Interventi di compensazione e ripristino	107
11.	CAMPI PROVA E INDAGINI PROPEDEUTICHE ALLO SVILUPPO DELLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA	109
11.1	Premessa	109
11.2	Campo prova per l'esecuzione delle iniezioni di consolidamento	109
11.3	Campo prova propedeutico alla realizzazione del nuovo sistema di drenaggio	109
11.4	Piano di indagini per la caratterizzazione dei siti di prelievo del tout-venant del rilevato	110
11.5	Indagini per la valutazione dello stato di consistenza del paramento di monte	110
11.6	Piano di indagini propedeutiche alle verifiche strutturali del ponte e del muro sfioratore	111
11.7	Sopralluoghi e rilievi lungo il tracciato della nuova strada di accesso a valle diga	111
12.	CRONOPROGRAMMA	112
13.	CONCLUSIONI	115

1. INTRODUZIONE

La diga di Trepidò (n. di archivio 85 – RID 39) si trova sul confine dei comuni di San Giovanni in Fiore (CS) e quello di Cotronei (KR), ed è uno sbarramento a gravità in muratura di pietrame con fondazioni in calcestruzzo, di altezza massima di circa 32.50 m, formato da un corpo principale ad asse leggermente arcuato, collegato ad uno sbarramento secondario in calcestruzzo mediante un pilone di forma poligonale presente in sponda sinistra. Lo sbarramento genera il serbatoio dell'Ampollino nell'Altopiano della Sila ed è alla testa di un importante schema di impianti idroelettrici in cascata, di cui A2A è proprietaria e gestore. La diga è stata realizzata negli anni 1923-1927 quando ancora non esisteva una normativa nazionale specifica nel campo delle dighe ed il sito non era considerato zona sismica.

Nel dicembre 2015 la società CESI ha valutato, per conto di A2A, la vulnerabilità sismica della diga, ai sensi delle Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (DM 26/06/2014). Nell'aprile 2019 la DG DIGHE ha evidenziato la necessità di prevedere interventi principalmente finalizzati al miglioramento sismico dello sbarramento.

Nel settembre 2020 A2A ha trasmesso alla DG DIGHE il progetto con l'analisi della fattibilità tecnica degli interventi di miglioramento sismico, redatto dalla società Lombardi, ed approvato dalla DG DIGHE stessa nel febbraio 2021. Il progetto prevedeva sia una serie d'interventi di rinforzo del corpo diga esistente, che la realizzazione di un rilevato in terra in adiacenza al paramento di valle dello sbarramento principale in muratura. Il progetto prevedeva anche una serie di attività propedeutiche al successivo livello di progettazione, finalizzate ad approfondire la conoscenza sia della diga che della roccia di fondazione, oltre alla conferma della geometria riportata negli elaborati progettuali storici. Tali approfondimenti si sono poi concretizzati in una campagna indagine in sito (agosto – novembre 2021) e successive prove di laboratorio sui campioni di materiale prelevato.

Il presente documento costituisce la Relazione generale del Progetto Definitivo degli interventi di miglioramento sismico della diga di Trepidò ed è parte della documentazione trasmessa:

- alla DG Dighe per l'istruttoria relativa agli interventi di miglioramento sismico della diga;
- al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e al Ministero della Cultura per lo svolgimento dell'istruttoria di Verifica di assoggettabilità alla Valutazione di Impatto ambientale ai sensi dell'art. 19 del d. lgs 152/2006.

Le quote altimetriche indicate in progetto, ove non specificatamente indicato, sono quelle rilevate dal Politecnico di Milano nel 2019 che risultano essere traslate verso l'alto di 10,17 m rispetto a quelle riportate nella documentazione storica della diga ed usualmente utilizzate; tale differenza di quota sussiste per l'intera asta idroelettrica.

1.1 Struttura della relazione

La relazione è articolata nei seguenti capitoli:

- **Capitolo 2 – Normative e riferimenti**
Sono elencati i principali documenti utilizzati come riferimento per la redazione della presente relazione.
- **Capitolo 3 – Descrizione della diga esistente**
Descrive brevemente le principali caratteristiche dell'opera esistente.
- **Capitolo 4 – Sintesi delle indagini eseguite**
Descrive brevemente i principali rilievi e indagini eseguite nel corso degli anni per la caratterizzazione topografica, geologico-geotecnica-sismica del sito e per la caratterizzazione dei materiali costituenti lo sbarramento.
- **Capitolo 5 – Inquadramento geologico-geotecnico**
Contiene un breve inquadramento geologico e geotecnico del sito oggetto dello studio, con particolare riferimento alla stima delle caratteristiche meccaniche dei materiali che costituiscono l'ammasso di fondazione dello sbarramento.
- **Capitolo 6 – Inquadramento sismico**
Contiene un breve inquadramento sismico del sito oggetto dello studio e richiama le azioni sismiche di progetto.
- **Capitolo 7 – Proprietà dei materiali che costituiscono lo sbarramento**
Contiene un breve descrizione delle principali proprietà dei materiali che costituiscono lo sbarramento.
- **Capitolo 8 – Interventi di miglioramento sismico della diga**
Contiene la descrizione degli interventi di miglioramento sismico previsti in progetto.
- **Capitolo 9 – Cantierizzazione**
Descrive i principali aspetti cantieristici funzionali alla realizzazione degli interventi di miglioramento sismico della diga previsti in progetto.
- **Capitolo 10 – Aspetti di carattere ambientale e paesaggistico**
In questo capitolo si illustrano sinteticamente i temi ambientale e paesaggistico che caratterizzano il progetto.
- **Capitolo 11 – Campi prova e indagini propedeutiche allo sviluppo della progettazione esecutiva**
Descrive i campi prova e le indagini propedeutiche allo sviluppo della progettazione esecutiva.
- **Capitolo 12 – Cronoprogramma**
Descrive brevemente le principali fasi lavorative previste per l'esecuzione degli interventi e riporta il cronoprogramma dei lavori.

- **Capitolo 13 – Conclusioni**

Questo capitolo contiene una sintesi della presente relazione e le conclusioni.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVE

2.1 Documentazione storica

- [1] Società per le forze idrauliche della Sila. Diga Ampollino - Trepidò. Sezione Longitudinale - Disegno n. 19b, 1927
- [2] Società per le forze idrauliche della Sila. Progetto di derivazione dal fiume Ampollino da Trepido' a quota 800 circa – Diga in Muratura: a gravità: Drenaggi - Disegno n. 21b, 1927
- [3] Società per le forze idrauliche della Sila. Diga Ampollino - Trepidò, Variante Spalla Sinistra– Sezioni Longitudinali - Disegno n. 3b, agosto 1926
- [4] Società per le forze idrauliche della Sila. Diga Ampollino - Trepidò, Variante Spalla Sinistra– Sezioni Trasversali - Disegno n. 4b, agosto 1926
- [5] Servizio Nazionale Dighe-*Diga di Trepidò: Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione*, Luglio 1997;
- [6] ANIDEL – Le Dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani (Les barrages de retenue des aménagements hydroélectriques italiens) – VOL. 5, n. 17 – 1952

2.2 Normative e Linee Guida

- [7] Decreto del Ministro dei lavori pubblici del 24 marzo 1982 – Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento
- [8] Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni
- [9] Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26 giugno 2014 – Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)
- [10] Ministero delle infrastrutture e dei trasporti – Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi delle opere complementari e accessorie – Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.D. 26.06.2014 (NTD14) e al D.M. 17.01.2018 (NTC18)
- [11] USACE- Earthquake design and evaluation of concrete hydraulic structures - EM 1110-2-6053, Maggio 2007
- [12] USACE- Gravity Dam Design- - EM 1110-2-2200, Giugno 1995

2.3 Indagini e studi specialistici

- [13] Autore sconosciuto–Analisi preliminari del calcestruzzo della diga di Trepidò– 3582 MB/md – Gennaio 1988;
- [14] ISMES – Diga di Trepidò-Indagini geotecniche ed installazione di strumentazioni – RAT-DGT-021 – Novembre 1988;
- [15] ISMES – Diga di Trepidò – Rilievo Radar – 18 Gennaio 1988;

- [16] ISMES – Diga di Trepidò – Indagini geotecniche ed installazione di strumentazione – 14 Novembre 1988;
- [17] ISMES – Diga di Trepidò – Indagini sulla muratura e nella roccia di fondazione – Indagini geomeccaniche in sito – 10 Gennaio 1989;
- [18] ISMES – Diga di Trepidò – Misure soniche – 14 Febbraio 1989;
- [19] ISMES – Diga di Trepidò – Indagini sulla muratura e nella roccia di fondazione – Indagini geomeccaniche in laboratorio – 4 Aprile 1989;
- [20] [12] ISMES – Diga di Trepidò – Indagini per la determinazione delle caratteristiche geologico-strutturali e petrografico-mineralogiche della roccia di fondazione della diga di Trepidò – 20 Aprile 1989;
- [21] ISMES – Diga di Trepidò – Indagini sulla muratura e nella roccia di fondazione. Strumentazione, acquisizione automatica delle misure – Rapporto finale e di sintesi - 29 Giugno 1989;
- [22] Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale, “Relazione sull’attività di rilievo delle dighe Trepidò e Orichella, Gennaio 2020;
- [23] Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale, “Relazione sull’attività di rilievo della diga di Trepidò, Novembre 2021;
- [24] Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale, Un rilievo fotogrammetrico da drone è stato comunque eseguito, allo scopo di ottenere un’ortofoto dell’area di interesse, Marzo-Aprile, 2023
- [25] GRAIA, “Lago ampollino, Relazione rilievo morfobatimetrico del 08 maggio 2019”, Giugno 2019
- [26] 10320-C-OR-DTR-C-RT-310, ISMES – DIGA DI TREPIDÒ, Comune di San Giovanni in Fiore (CS) – Progetto definitivo di miglioramento sismico: aggiornamento della caratterizzazione geomeccanica dell’ammasso roccioso in corrispondenza del sito d’imposta sulla base delle nuove indagini, Febbraio 2023
- [27] 10320-C-OR-DTR-C-RT-311, ISMES – Progetto Definitivo per l’intervento di miglioramento sismico della Diga di Trepidò, aggiornamento dello studio sismotettonico per il sito della diga, Febbraio 2023
- [28] 10320-C-OR-DTR-C-RT-312, ISMES – DIGA DI TREPIDÒ, Comune di San Giovanni in Fiore (CS) – Progetto definitivo per l’intervento di miglioramento sismico della Diga di Trepidò: Elaborazione dei risultati della campagna d’indagine 2021 finalizzata all’aggiornamento dei parametri fisico-meccanici dei materiali, Febbraio 2023.
- [29] 10320-C-OR-DTR-A-VA-410, GRAIA – Studio preliminare ambientale;
- [30] 10320-C-OR-DTR-A-PN-411, GRAIA – Piano di monitoraggio ambientale;
- [31] 10320-C-OR-DTR-A-RT-411, GRAIA – Relazione forestale.

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA ESISTENTE

3.1 Localizzazione dell'opera

La diga di Trepidò è situata nell'altopiano della Sila tra i Comuni di S. Giovanni in Fiore (CS) e Cotronei (KR) e invasa le acque del Fiume Ampollino. L'omonimo lago costituisce l'invaso principale del sistema che collega i laghi Arvo e Savuto che insieme alle sottostanti dighe di Orichella e Migliarite alimentano le centrali idroelettriche di Orichella, Timpagrande e Calusia.



Figura 3-1 – Localizzazione dell'opera e ortofoto dell'invaso dell'Ampollino sbarrato dalla diga di Trepidò (Google Earth)

3.2 Quote altimetriche

Il rilievo topografico eseguito nel 2019 indica delle quote altimetriche in generale maggiori di 10,17m rispetto alle quote originali del progetto. In particolare, il coronamento è stato rilevato ad una quota di 1284,27 m s.l.m., mentre il progetto originale indicava una quota di coronamento pari a 1274,10 m s.l.m. Nella documentazione del Progetto definitivo ci si riferisce alle quote altimetriche misurate nel rilievo del 2019 e per tale motivo le quote riportate nel progetto originale sono state tutte traslate verso l'alto di un delta pari a +10,17 m. Nelle figure estratte dai documenti del progetto originale riportate nella presente relazione bisogna dunque tenere conto del delta di +10,17 m per ricavare le quote corrette coerenti con i documenti del presente Progetto Definitivo..

Analogo delta di +10,17 m va ovviamente inserito per tutto ciò che riguarda anche i livelli idrici presenti negli elaborati progettuali storici, nelle quote del Foglio Condizioni per l'Esercizio e la Manutenzione (FCM), ed in quelle riportate nella Concessione a derivare di cui al decreto dirigenziale n. 539 del 11/3/2013 "presa d'atto dell'avvenuto subentro d'utenza d'acqua da Enel a Elettrogen SpA, successore a titolo universale, dopo Endesa Italia SPA, successivamente a E.On. produzione SpA e da questa a A2A produzione srl ed infine per fusione per incorporazione a A2A spa nella titolarità del decreto di concessione di grande derivazione d'acqua a uso idroelettrico – centrale di Orichella 1°

salto – Centrale di Tipagrande 2° salto – Centrale di Calusia 3° salto per una potenza nominare complessiva concessa di 100.700,33 kW da trasformare in energia elettrica”.

3.3 Descrizione dell'opera esistente

La diga di Trepidò, costruita negli anni 1923-27 e collaudata nel mese di settembre del 1930, è classificata come diga muraria a gravità ordinaria. Lo sbarramento principale, costituito da muratura, ha pianta leggermente arcuata e sezione trasversale corrispondente al profilo teorico triangolare. Lo sbarramento è delimitato alle estremità sinistra e destra da due piloni in calcestruzzo. Dal pilone sinistro, a pianta poligonale, si diparte ortogonalmente allo sbarramento, uno sbarramento secondario in calcestruzzo a profilo triangolare simmetrico.

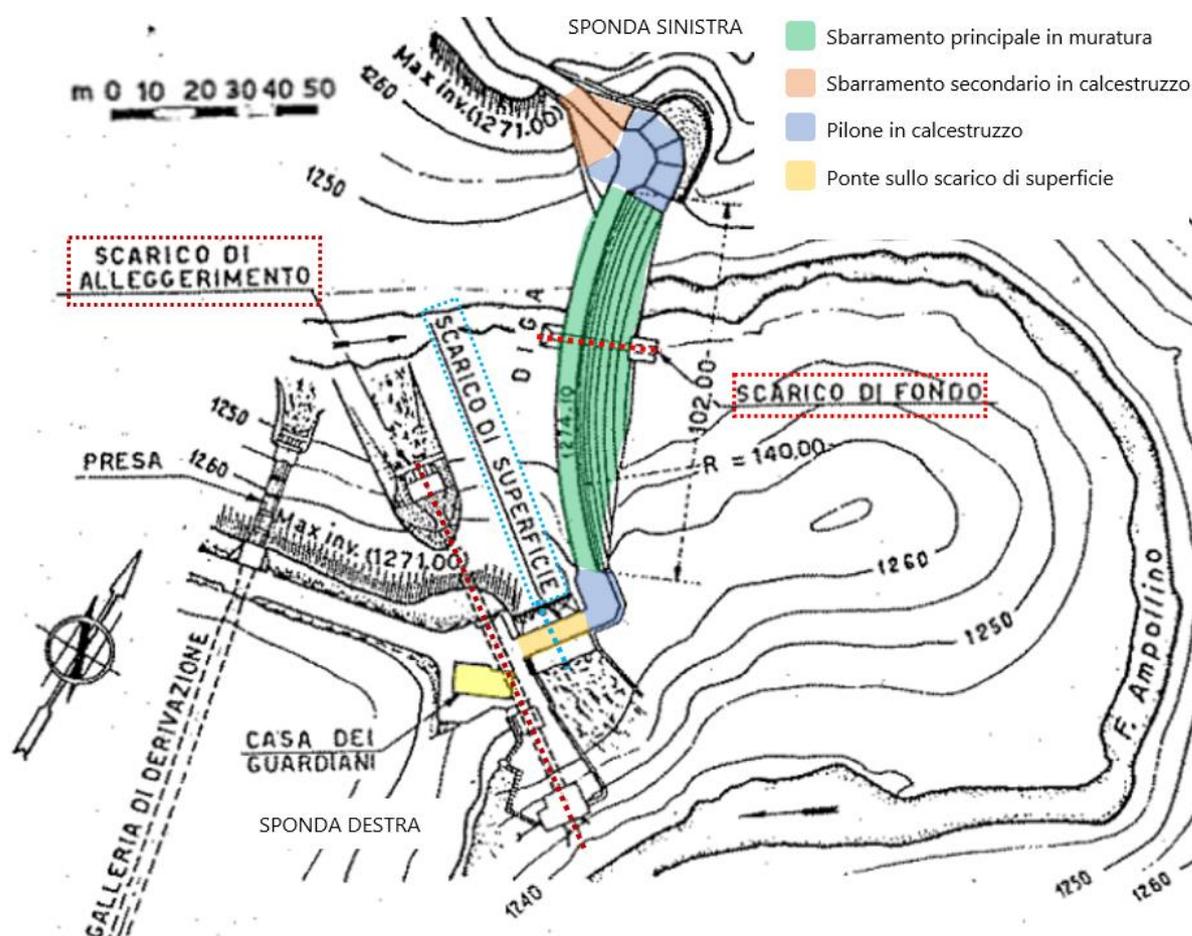


Figura 3-2 – Planimetria della diga di Trepidò [6], in cui sono stati evidenziati gli elementi principali.

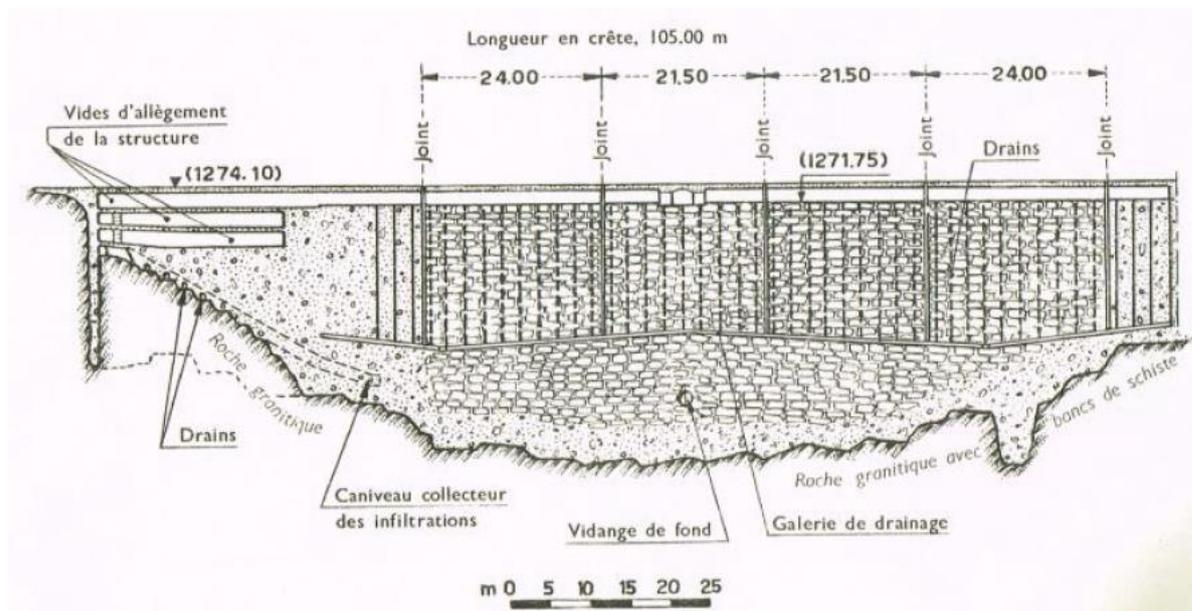


Figura 3-3 – Sezione longitudinale della diga di Trepidò [6]



Figura 3-4 – Sinistra: vista del paramento di monte. Destra: vista del paramento di valle



Figura 3-5 – Vista del paramento di valle della diga

3.3.1 Sbarramento principale

Lo sbarramento principale è costituito da muratura di pietrame granitico e metamorfico con malta cementata. Lungo tutto lo sviluppo della diga è presente un basamento in calcestruzzo di spessore metrico che si intesta nella roccia di fondazione.

Il paramento di monte è intonacato con gunite e impermeabilizzato, mentre il paramento di valle è rivestito in bolognini.

Il coronamento della diga ha una larghezza approssimativa di 4,75 m e uno sviluppo in pianta di circa 105 m. Il triangolo fondamentale della diga ha pendenze di monte e di valle rispettivamente pari a 0,04(o):1(v) e 0,7(o):1(v).

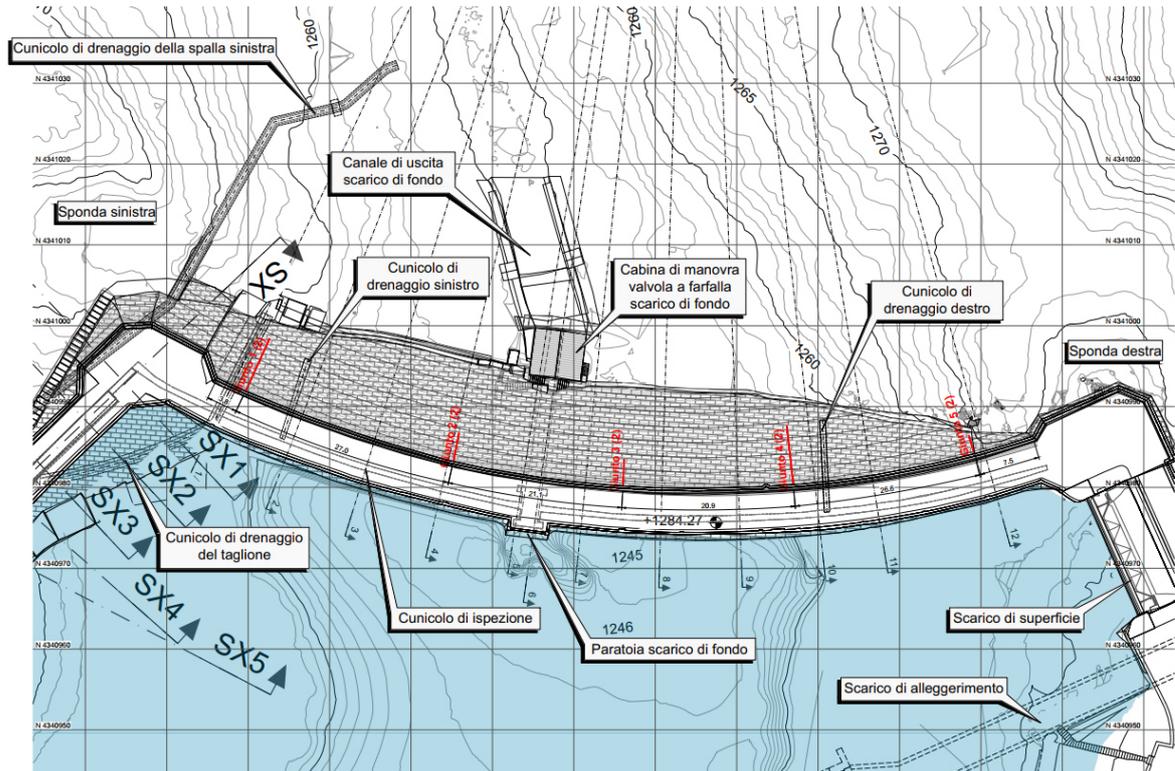


Figura 3-6 – Sbarramento principale, planimetria

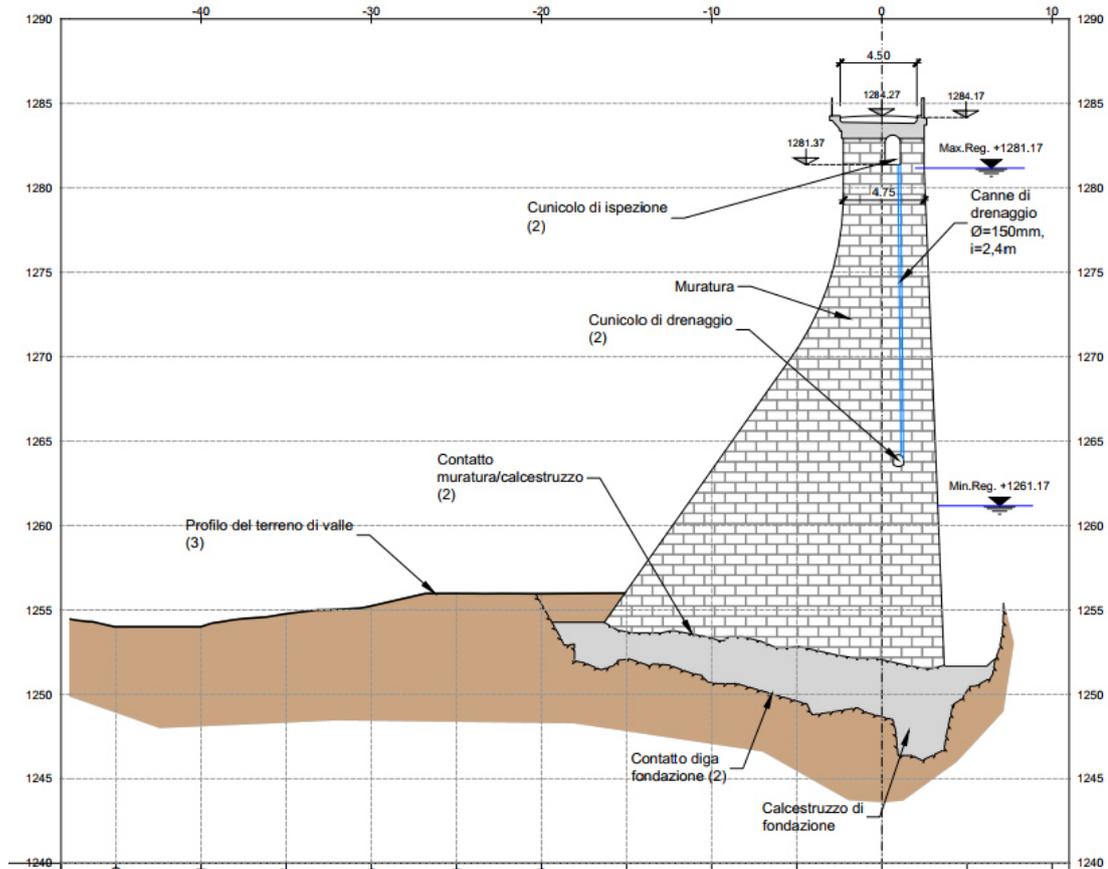


Figura 3-7 – Sbarramento principale, sezione trasversale

Lo sbarramento principale è sezionato da n. 5 giunti di dilatazione la cui tenuta è realizzata mediante piastre di lamiera zincata con guarnizione in corda catramata. I giunti di dilatazione si sviluppano solo nella porzione superiore della diga.

Il sistema di drenaggio è costituito da canne subverticali di diametro 150 mm e interasse 2,4 m. I drenaggi distano 1-2 m dal paramento di monte e si sviluppano tra il cunicolo di ispezione superiore e il cunicolo di drenaggio inferiore non ispezionabile. Nel terzo inferiore dello sbarramento e in fondazione non è presente un sistema di drenaggio.

3.3.2 Sbarramento secondario

Lo sbarramento secondario in calcestruzzo ha una larghezza approssimativa di 4,75 m e uno sviluppo in pianta di circa 35 m. Il triangolo fondamentale è simmetrico con pendenze di monte e di valle pari a 0,7(o):1(v). La porzione superiore dello sbarramento è alleggerita dalla presenza di tre cunicoli orizzontali.

Lo sbarramento secondario è provvisto di un profondo taglione di tenuta e del sistema di drenaggio della roccia di fondazione. I drenaggi sboccano in un cunicolo longitudinale disposto immediatamente a valle del taglione e che devia planimetricamente per penetrare nel terreno per circa 25 m in corrispondenza dell'estremità sinistra del muro d'ala. Verso la sponda sinistra esiste un secondo cunicolo, pressoché parallelo al primo, che intercetta le venute d'acqua riscontrate nell'esecuzione degli scavi di fondazione.

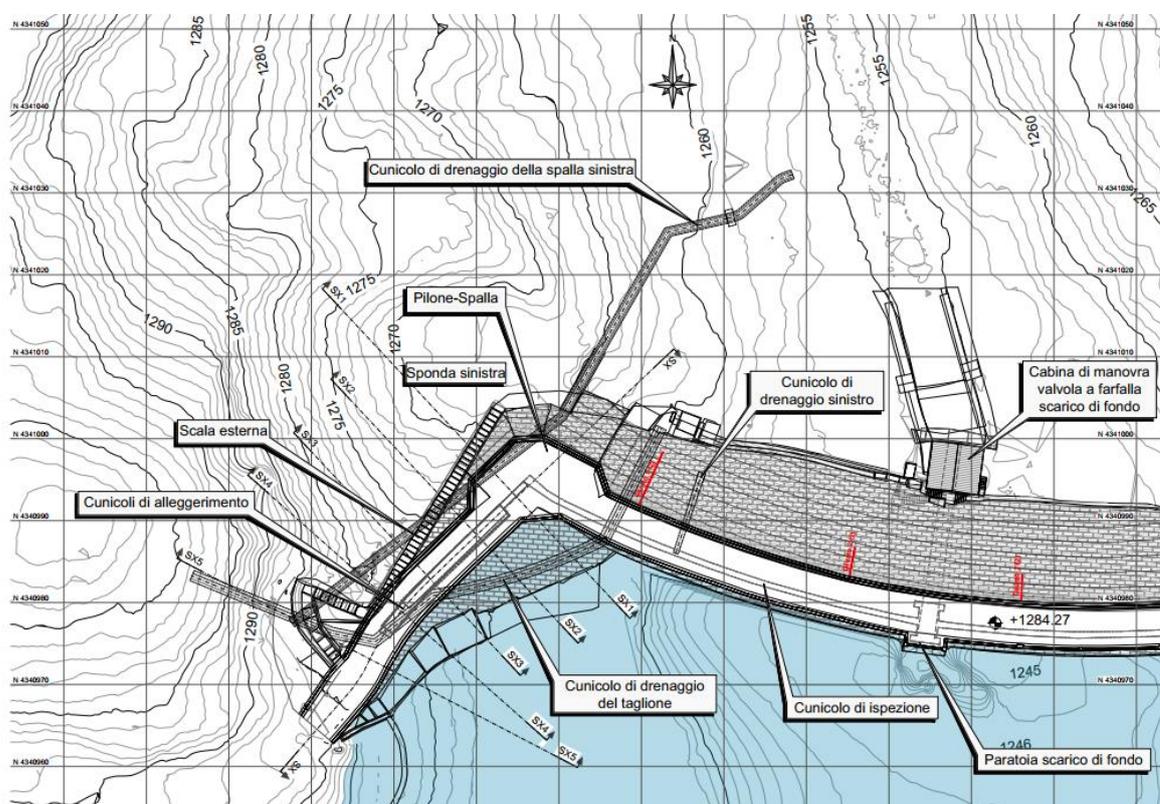


Figura 3-8 – Sbarramento secondario, planimetria

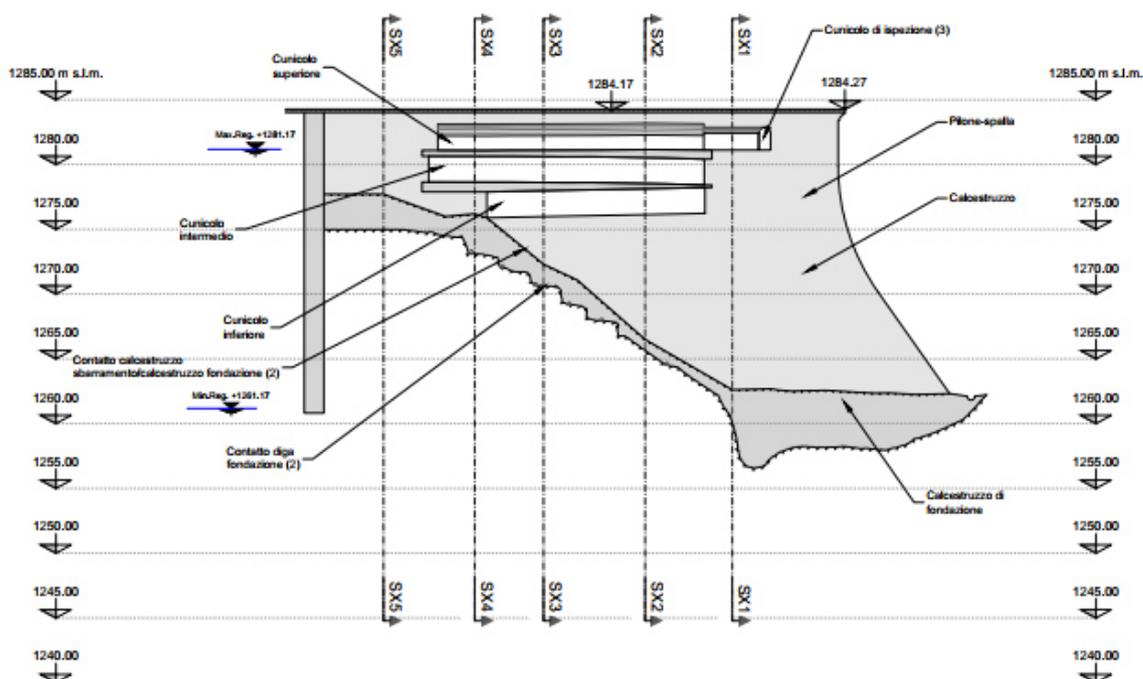


Figura 3-9 – Sbarramento secondario, sezione longitudinale

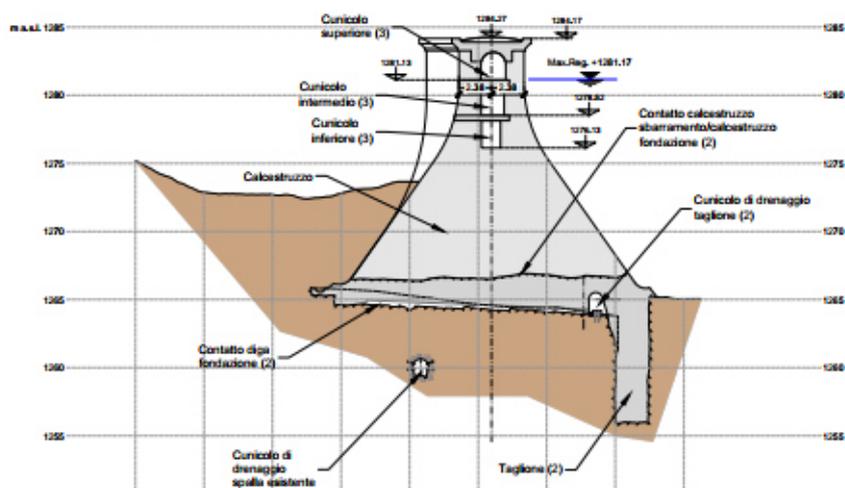


Figura 3-10 – Sbarramento secondario, sezione trasversale

3.4 Dati caratteristici dell'opera

I dati significativi della diga di Trepidò, desunti dal FCEM [5] e tenuto conto di quanto specificato al paragrafo 3.2, sono i seguenti:

- altezza della diga (ai sensi del D.M. 26/6/2014) 32,50 m
- altezza di massima ritenuta 29,50 m
- quota coronamento 1284,27 m s.l.m. (1274,10 m s.l.m. nel progetto originale)

- franco 3.00 m
- franco netto 1.60 m
- sviluppo del coronamento 105 m
- classifica ai sensi del D.M. 26/6/2014 Muraria a gravità A.a.1

I dati significativi del serbatoio, desunti dal FCEM [5] e tenuto conto di quanto specificato al paragrafo 3.2, sono i seguenti:

- quota di massimo invaso 1281.27 m s.l.m. (1271,10 m s.l.m. nel progetto originale)
- quota massima di regolazione 1281.17 m s.l.m. (1271,00 m s.l.m. nel progetto originale)
- quota minima di regolazione 1261.17 m s.l.m. (1251,00 m s.l.m. nel progetto originale)
- superficie dello specchio liquido:
 - alla quota di massimo invaso 5.59 km²
 - alla quota minima di regolazione 0.82 km²
- volume di invaso (ai sensi del D.M. 26/6/2014) 66.88 Mm³

3.5 Organi di scarico

3.5.1 Scarico di superficie

Lo scarico di superficie è costituito da una luce presidiata da una paratoia a settore con mantello di legno contrappesata con comando automatico a galleggiante. La luce della paratoia è di 16,00 m e l'altezza di 2,75 m; la soglia fissa è a quota 1278,42 m s.l.m. ed è profilata in modo che la lama d'acqua stramazzi liberamente. Con il serbatoio alla quota di massimo invaso, la portata esitata dallo scarico di superficie è di 144 m³/s.

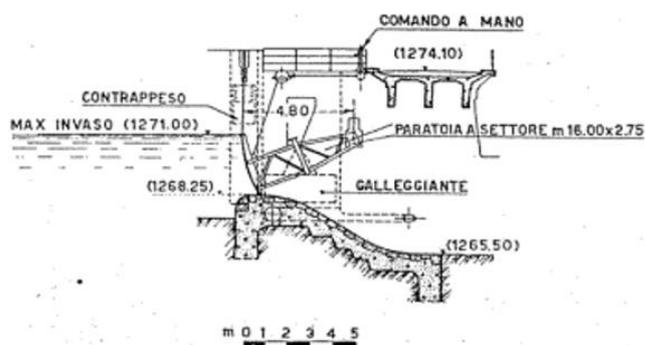


Figura 3-11 – Diga di Trepidò, scarico di superficie [6]

3.5.2 Scarico di fondo

Lo scarico di fondo consiste in una tubazione in lamiera di acciaio di diametro decrescente da 2,00 m a 1,60 m, con quota dell'asse di imbocco pari a 1257,17 m s.l.m. Essa attraversa la diga nella parte

centrale. La tubazione all'imbocco è intercettata da una paratoia piana di (2,00 x 2,00) m. Allo sbocco esiste un'ulteriore intercettazione, costituita da una valvola a farfalla di DN 1500 mm. Con il serbatoio alla quota di massimo invaso, la portata esitata dallo scarico di fondo è di 27.45 m³/s.

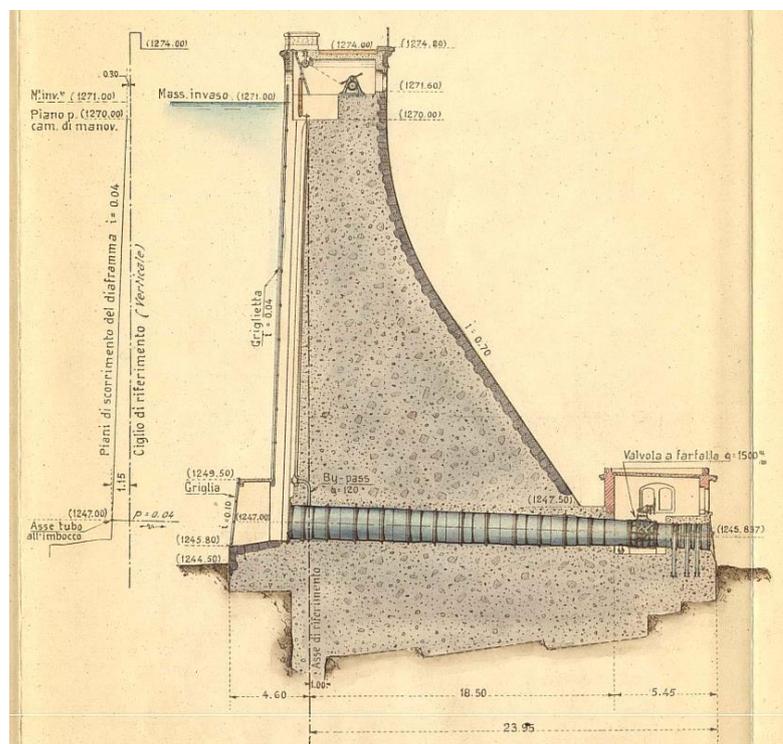


Figura 3-12: Diga di Trepidò, sezione della diga in corrispondenza dello scarico di fondo

3.5.3 Scarico di alleggerimento

Lo scarico di alleggerimento è ricavato in sponda destra e la sua parte iniziale all'imbocco è costituita da un tronco di galleria in calcestruzzo, di diametro interno 3,50 m, protetto da una griglia e con soglia a quota 1257,17 m slm. Il successivo tronco è rivestito in lamiera di acciaio ed ha un diametro decrescente fino ad un minimo di 2,0 m in corrispondenza della valvola a farfalla di DN 2000 mm posta allo sbocco. Con il serbatoio alla quota di massimo invaso, la portata esitata dallo scarico di alleggerimento è 51,70 m³/s.

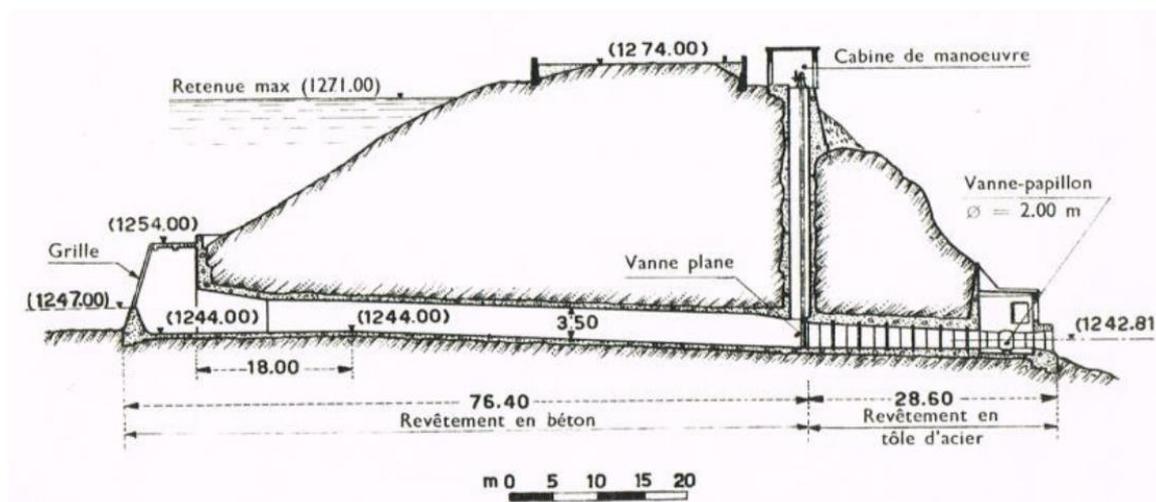


Figura 3-13: Diga di Trepidò, scarico di alleggerimento [6]

3.6 Monitoraggio

3.6.1 Generalità

Per gli approfondimenti relativi alla descrizione della strumentazione attualmente installata nella diga e all'analisi critica dei dati di monitoraggio registrati si rimanda alla relazione del Progetto definito dedicata all'illustrazione degli interventi di integrazione del sistema di monitoraggio (10320-C-OR-DTR-C-PN-211).

Il sistema di monitoraggio attualmente installato nella diga consente la misura delle seguenti grandezze:

- misure idrometeorologiche (livello dell'invaso, temperature di aria e acqua, manto nevoso, precipitazioni, spessore del ghiaccio);
- spostamenti plano-altimetrici;
- movimenti dei giunti della diga;
- temperatura del corpo murario;
- sottopressioni;
- perdite.

3.6.2 Misure idrometeorologiche

La Tabella 1 sintetizza le principali misure metereologiche effettuate al sito diga.

Parametro	Strumentazione	Ubicazione	Frequenza di lettura
Temperatura dell'area (minima massima)	Termometro installato nella stazione metereologica	Pilone destro	Giornaliera (A)

Pioggia	Pluviografo installato nella stazione metereologica	Pilone destro	Giornaliera (A)
Manto nevoso	Palina metrica	-	Giornaliera (M)
Spessore del ghiaccio		-	Giornaliera (M)
Livello d'invaso	Sensore piezoresistivo	-	Giornaliera (A)
Temperatura dell'acqua	Termometro a immersione	Superficie e 5 m di profondità	Giornaliera (M)

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 1: Misure idrometeorologiche

3.6.3 Spostamenti plani-altimetrici

Gli spostamenti plano-altimetrici della diga sono monitorati attraverso la seguente strumentazione:

- n. 2 pendoli rovesci per la misura degli spostamenti planimetrici;
- n. 2 mire mobili per la misura degli spostamenti plano-altimetrici;
- n. 2 estensimetri per la misura degli spostamenti altimetrici del piano d'imposta della diga;

Pendoli rovesci

Come illustrato nella Figura 3-14, nel corpo diga sono installati due pendoli rovesci ubicati rispettivamente nel concio centrale della diga (denominato **R101**) e nel pilone in calcestruzzo in spalla sinistra (denominato **R201**). Entrambi i pendoli misurano gli spostamenti radiali (monte-valle) e tangenziali (sinistra-destra) dell'arco di coronamento. Le caratteristiche geometriche dei pendoli e le informazioni sulla frequenza di lettura degli strumenti sono sintetizzate nella Tabella 2.

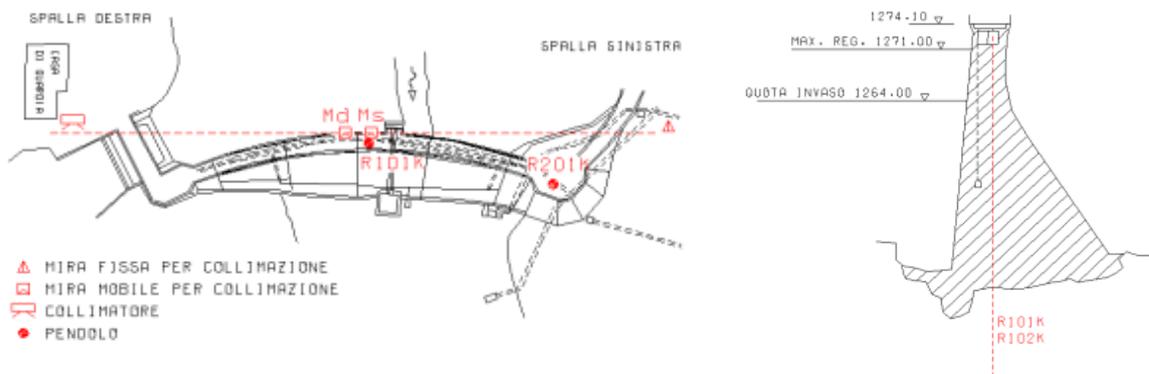


Figura 3-14 – Planimetria e sezione con l'indicazione dell'ubicazione delle mire e dei pendoli rovesci

Pendolo	Parametri misurati	Ubicazione	Quota di ancoraggio/ Quota di lettura [m s.l.m.]	Frequenza di lettura
R101	Spostamenti planimetrici radiali (M-V) e tangenziali (S-D)	Concio centrale (tra giunti 2 e 3)	1234,17/1282,17	Mensile dal 1993 al 2011 (M)
R201		Pilone spalla sinistra	1241,17/1282,17	Settimanale dopo il 2011 (M) Plurigioraliera dal 1999 (A)

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Note: Lettura eseguita in appositi locali situati a fianco del cunicolo di ispezione in prossimità del coronamento diga.

Tabella 2: Pendoli rovesci, ubicazione e frequenza di lettura

Collimazione

Come illustrato nella Figura 3-14, la misura degli spostamenti plano-altimetrici della diga tramite collimazione comprende:

- punto di stazione del collimatore ubicato in prossimità della casa di guardia in spalla destra;
- una mira fissa ubicata in sponda sinistra;
- una mira mobile (denominata **Ms**) ubicata sul coronamento del concio n. 2 della diga compreso tra i giunti 2 e 3;
- una mira mobile (denominata **Md**) ubicata sul coronamento del concio n. 3 della diga compreso tra i giunti 3 e 4.

Mira mobile	Parametri misurati	Ubicazione	Frequenza di lettura
Ms	Spostamenti planimetrici M-V e altimetrici	Concio centrale (tra giunti 2 e 3)	Mensile (M) e plurigiornaliera (A)
Md		Concio tra giunti 3 e 4	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 3: Mire mobili, ubicazione e frequenza di lettura

Estensimetri

Come illustrato in Figura 3-15, lo spostamento altimetrico del concio centrale n. 2 (compreso tra i giunti 2 e 3) è misurato da un estensimetro a lunga base con due punti di misura ubicati in corrispondenza del piano di imposta della diga (denominato **E1C1**) e nell'ammasso roccioso di fondazione (denominato **E1R2**).

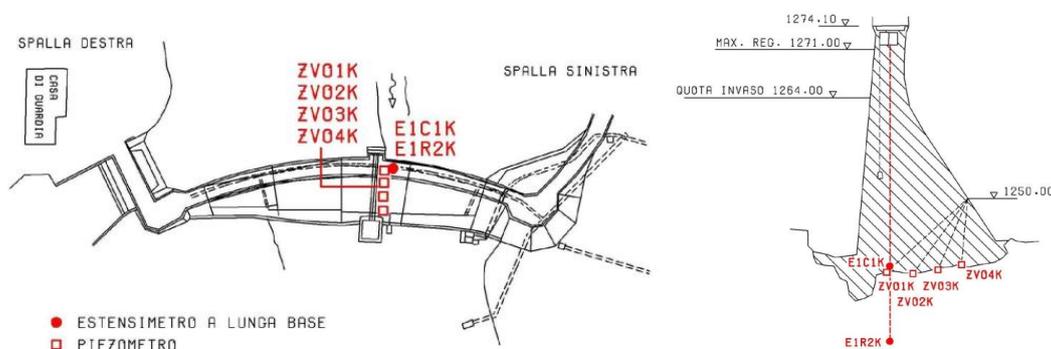


Figura 3-15 – Planimetria e sezione con l'indicazione dell'ubicazione degli estensimetri

Punto di misura	Parametri misurati	Ubicazione	Frequenza di lettura
E1C1	Spostamenti altimetrici	Concio centrale n. 2 Piano di imposta	Settimanale (M)
E1R2		Concio centrale n. 2 Fondazione	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 4: Estensimetri, ubicazione e frequenza di lettura

3.6.4 Movimenti dei giunti dello sbarramento principale

Il movimento dei giunti radiali viene monitorato mediante quattro teledilatometri biassiali installati sul piedritto di valle del cunicolo superiore in corrispondenza dei giunti radiali.

Gli strumenti misurano sia i movimenti di apertura/contrazione dei giunti sia gli scorrimenti relativi in direzione monte-valle.

La Figura 3-16 e la Tabella 5 illustrano l'ubicazione e la frequenza di lettura degli strumenti.

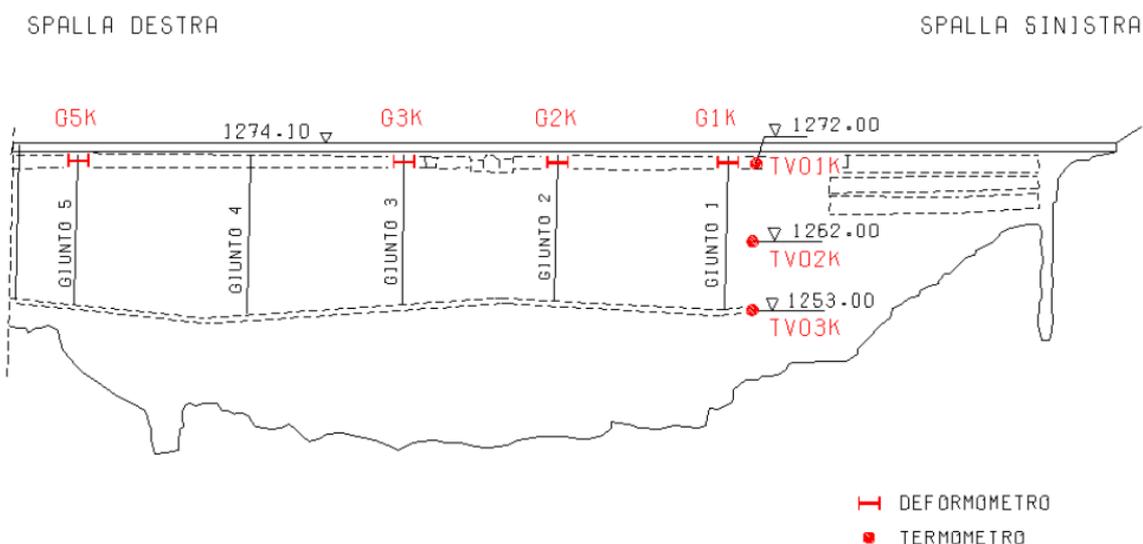


Figura 3-16 – Ubicazione dei teledilatometri e dei termometri nella muratura

Teledilatometro	Parametri misurati	Ubicazione	Frequenza di lettura
G1	Movimenti apertura/chiusura (S-D) Movimenti relativi M-V	Giunto 1	Mensile dal 1993 al 2011 (M) Settimanale dopo il 2011 (M) Plurigiornaliera dal 1999 (A)
G2		Giunto 2	
G3		Giunto 3	
G5		Giunto 5	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 5: Teledilatometri, ubicazione e frequenza di lettura

3.6.5 Temperatura del corpo murario

Come illustrato nella Figura 3-16, nel corpo diga sono installati n. 3 termometri elettrici per il controllo della temperatura del corpo murario. I tre termometri sono installati sul paramento di valle alle quote 1263,17 1272,17 e 1282,17 m s.l.m.; non è nota l'ubicazione dei sensori in direzione monte-valle all'interno del corpo diga.

Termometro	Parametri misurati	Ubicazione	Letture
TV01	Temperatura del corpo murario	Paramento di valle 1282,17 m s.l.m.	Plurigiornaliera (A)
TV02		Paramento di valle 1272,17 m s.l.m.	
TV03		Paramento di valle 1263,17 m s.l.m.	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 6: Termometri elettrici, ubicazione e frequenza di lettura

3.6.6 Sottopressioni

Come illustrato nella Figura 3-17, nel concio centrale dello sbarramento principale in corrispondenza del contatto diga-fondazione sono stati installati n. 4 piezometri (PZV01, PZV02, PZV03 e PZV04). Le perforazioni per l'installazione delle celle sono state eseguite dal paramento di valle della diga a circa quota 1260 m s.l.m. Le misure delle quote piezometriche sono disponibili, in formato digitale, per tutti i piezometri a partire dal Dicembre 2000.

Termometro	Parametri misurati	Ubicazione	Letture
PZV01	Temperatura del corpo murario	Concio n. 2, zona di monte 1248,87 m s.l.m.	Plurigiornaliera (A)
PZV02		Concio n. 2, zona centrale 1249,37 m s.l.m.	
PZV03		Concio n.2, zona centrale 1250,27 m s.l.m.	
PZV04		Concio n. 2, zona di valle 1251,07 m s.l.m.	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 7: Piezometri, ubicazione e frequenza di lettura

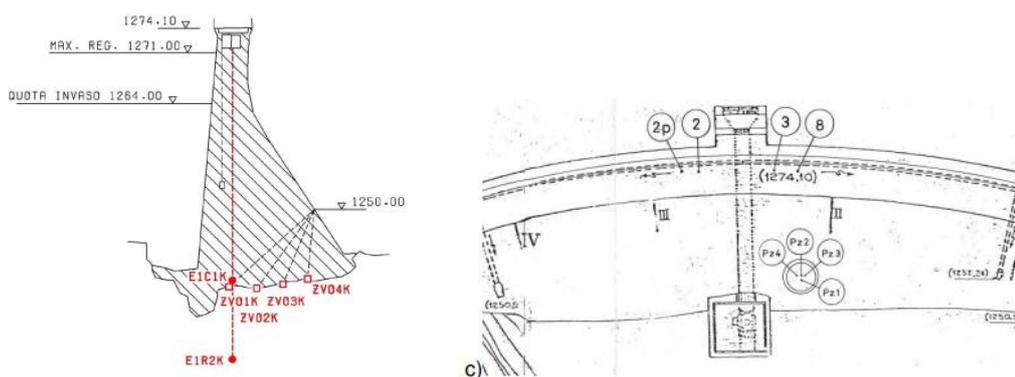


Figura 3-17 – Ubicazione e caratteristiche dei piezometri elettrici

3.6.7 Perdite

Come illustrato nello schema di Figura 3-18, la misurazione delle perdite della diga è eseguita in n. 8 punti, distribuiti come segue:

Punto di misura		Parametri misurati	Ubicazione	Letture
GI23	PDD4	Perdite giunti + sistema di drenaggio	Piede diga, zona centrale 1256,57 m s.l.m.	Giornaliere (M, A)
	PDD0	Perdite paramento porzione destra	Piede diga, zona centrale 1257,17 m s.l.m.	Giornaliere (M)
	PDD7	Perdite paramento porzione sinistra	Piede diga, zona centrale 1255,67 m s.l.m.	Giornaliere (M)
GI24	PDS1	Perdite spalla sinistra – filtrazioni roccia	Uscita cunicolo drenaggio spalla sinistra 1258,17 m s.l.m.	Giornaliere (M, A)
	PDM2	Perdite taglione lato lago	Piede diga, sinistra 1259,97 m s.l.m.	Giornaliere (M, A)
	PDM3	Perdite taglione lato fondazione		Giornaliere (M)
	PDS5	Perdite sponda sinistra	Piede pilone sinistro 1260,32 m s.l.m.	Giornaliere (M)
	PDS6	Perdite roccia in sponda destra	Sponda destra 1251,67 e 1253,67 m s.l.m.	Giornaliere (M)

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 8: Perdite, ubicazione e frequenza di lettura

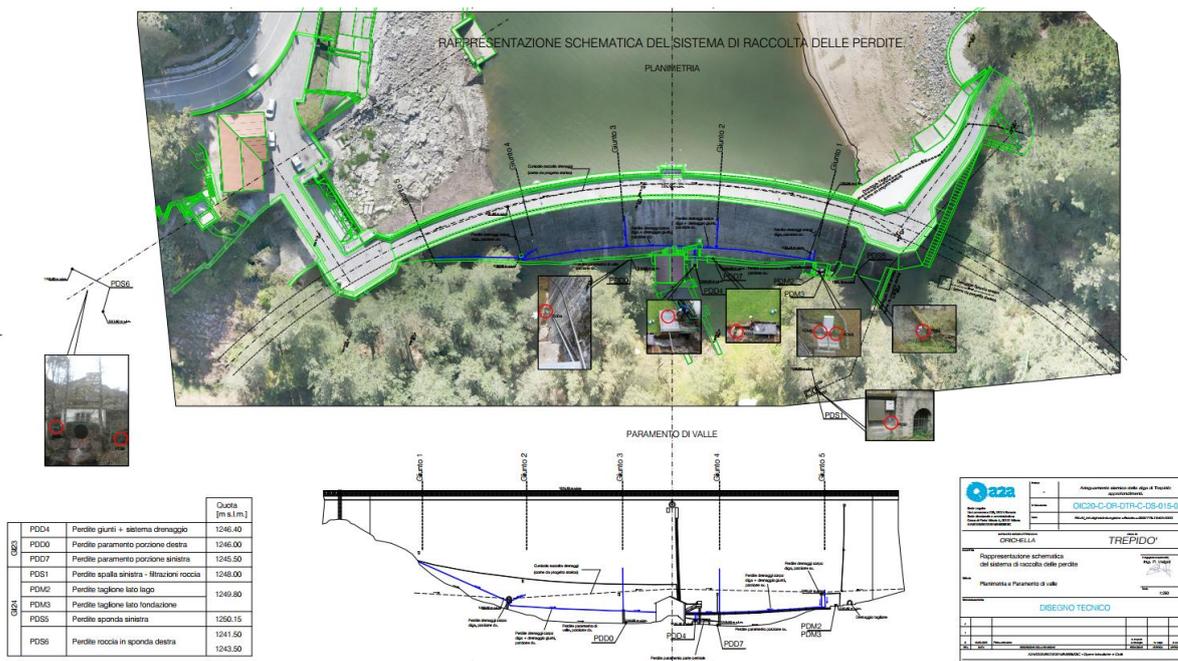


Figura 3-18 – Ubicazione dei punti di misura delle perdite della diga

3.6.8 Analisi delle misure

Gli spostamenti plano-altimetrici misurati per lo sbarramento principale dai diversi strumenti indicano spostamenti millimetrici nelle tre dimensioni (monte-valle, destra-sinistra, alto-basso) influenzati principalmente dalle variazioni stagionali della temperatura e secondariamente dalle variazioni del livello dell'invaso. Delle modeste anomalie sono state evidenziate nelle misure registrate dai pendoli. Non si evidenziamo criticità e derive nell'andamento degli spostamenti.

Per quanto riguarda le sottopressioni misurate nell'unica sezione strumentata (concio centrale dello sbarramento principale) si osserva che i livelli piezometrici sono piuttosto regolari e ben correlati con le oscillazioni del livello d'invaso (ad eccezione del piezometro più a valle che risulta scarsamente influenzato dal livello di invaso). Il valore delle pressioni è coerente con l'andamento teorico atteso nel caso di dighe prive di sistema di drenaggio in fondazione. A seguito delle perforazioni dal coronamento eseguite nell'estate 2021 nell'ambito della campagna di indagini conoscitive, si segnala una riduzione del carico piezometrico per le postazioni piezometriche ubicate più vicine al paramento di monte.

Le massime perdite misurate sono pari a circa 8 l/s in fondazione e circa 3 l/s in diga.

Per quanto riguarda le perdite in fondazione i contributi più rilevanti sono quelli dovuti alle perdite misurate all'uscita del cunicolo di drenaggio in spalla sinistra e dal cunicolo di drenaggio del taglione. Le perdite in fondazione mostrano una dipendenza sostanzialmente lineare con il livello dell'invaso; non si evidenziano variazioni significative nel tempo.

Per la diga il contributo più rilevante risulta quello dovuto alle perdite raccolte dai drenaggi e in corrispondenza dei giunti per le quali si osserva negli ultimi anni un incremento. Per le perdite della diga si osserva una significativa dispersione dei valori a parità del livello dell'invaso.

4. SINTESI DELLE INDAGINI ESEGUITE

4.1 Premessa

I principali rilievi e indagini eseguite nel corso degli anni per la caratterizzazione topografica, geologico-geotecnica-sismica del sito e per la caratterizzazione dei materiali costituenti lo sbarramento, sono elencate di seguito e brevemente descritte nei seguenti paragrafi:

- Rilievi topografici;
- Rilievo batimetrico;
- Analisi preliminari del calcestruzzo (1988)
- Campagna di indagini ISMES 1987-1989;
- Rilievi e sopralluoghi CESI 2013;
- Sopralluogo e rilievo sismico OGS 2020;
- Campagna di indagini CESI-ISMES 2021.

Recentemente sono state inoltre eseguiti dei sopralluoghi e delle indagini mirate per la valutazione dello stato di consistenza dello scarico di fondo e dello scarico di alleggerimento.

4.2 Rilievi topografici

4.2.1 Rilievo dello sbarramento

Il rilievo topografico di dettaglio della diga di Trepidò è stato effettuato nel mese di Ottobre 2019 dal Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale del Politecnico di Milano, con l'obiettivo di rilevare con precisione la geometria dello sbarramento per la verifica dei disegni del progetto storico.

La metodologia di rilievo e i risultati sono descritti in dettaglio nel documento [22] e descritti sinteticamente di seguito.

Il rilievo è stato eseguito utilizzando due diverse metodologie:

- **multistation** (stazione totale con caratteristiche di misura di nuvole di punti tramite laser scanner), secondo uno schema geometrico di rilievo topografico classico;
- **fotogrammetria da drone**

Dalle due metodologie di rilievo sopra elencate sono state ottenute due nuvole di punti costituite da circa 10 milioni di punti per il rilievo multistation, e da circa 9 milioni di punti per il rilievo da drone. Le due nuvole di punti sono state sovrapposte, confrontate e unite in un'unica "nuvola unione" privilegiando, in ciascuna zona, i punti di maggiore qualità. Infine, la nuvola risultante è stata sotto campionata, così da avere una distanza minima tra i punti pari a 2 cm.

La Figura 4-1 illustra a titolo di esempio la vista da valle della nuvola di punti finale dello sbarramento.



Figura 4-1 – Nuvola di punti finale ottenuta dal rilievo topografico del 2019 [22].

4.2.2 Rilievo del terreno a valle dello sbarramento e dei cunicoli all'interno del corpo diga

Nel mese di Novembre 2021 il Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale del Politecnico di Milano ha eseguito una serie di rilievi topografici con la seguente duplice finalità:

- rilievo del terreno a valle dello sbarramento;
- rilievo dei cunicoli e delle camere interne al corpo diga.

La metodologia di rilievo e i risultati sono descritti in dettaglio nel documento [23] e descritti sinteticamente di seguito.

Considerando che l'area a valle dello sbarramento presenta una forte copertura arborea, è stato scelto di utilizzare come metodologia di rilievo il **laser scanner da drone**, strumento in grado di rilevare in modo rapido i punti al suolo anche in presenza di vegetazione.

I risultati ottenuti dell'elaborazione del rilievo lidar da drone sono stati validati effettuando una scansione da TLS (**Terrestrial Laser Scanner**) di una piccola porzione dell'area a valle della diga.

Un **rilievo fotogrammetrico da drone** è stato comunque eseguito, allo scopo di ottenere un'ortofoto dell'area di interesse.

La Figura 4-2 illustra a titolo di esempio il DEM e le curve di livello in quote ortometriche ottenute dall'elaborazione del dato Lidar da drone.

Il rilievo dei cunicoli e delle camere interne al corpo diga sono state eseguiti con la metodologia multistation appoggiandosi alla rete topografica materializzata durante la campagna di misura del 2019. La Figura 4-3 illustra a titolo di esempio la vista prospettica delle nuvole di punti ottenute dal rilievo.

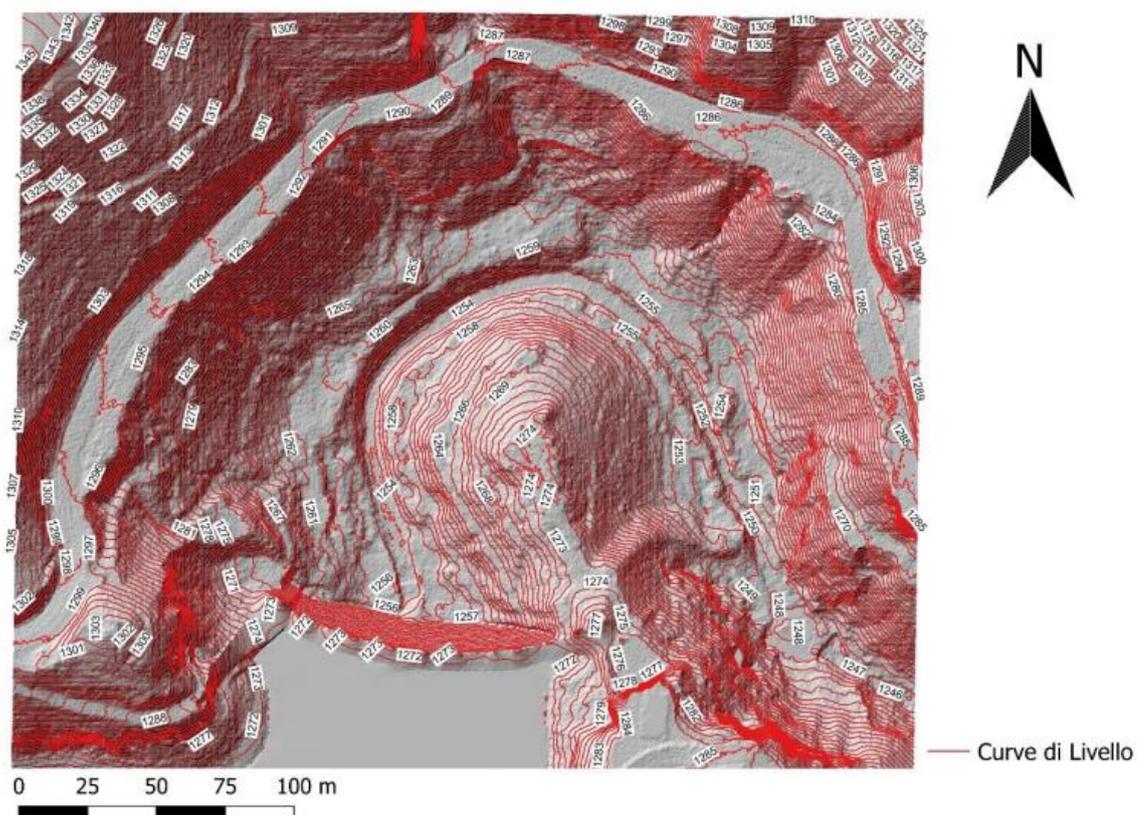


Figura 4-2 – DEM e curve di livello in quote ortometriche ottenute dall'elaborazione del dato Lidar da drone [23]

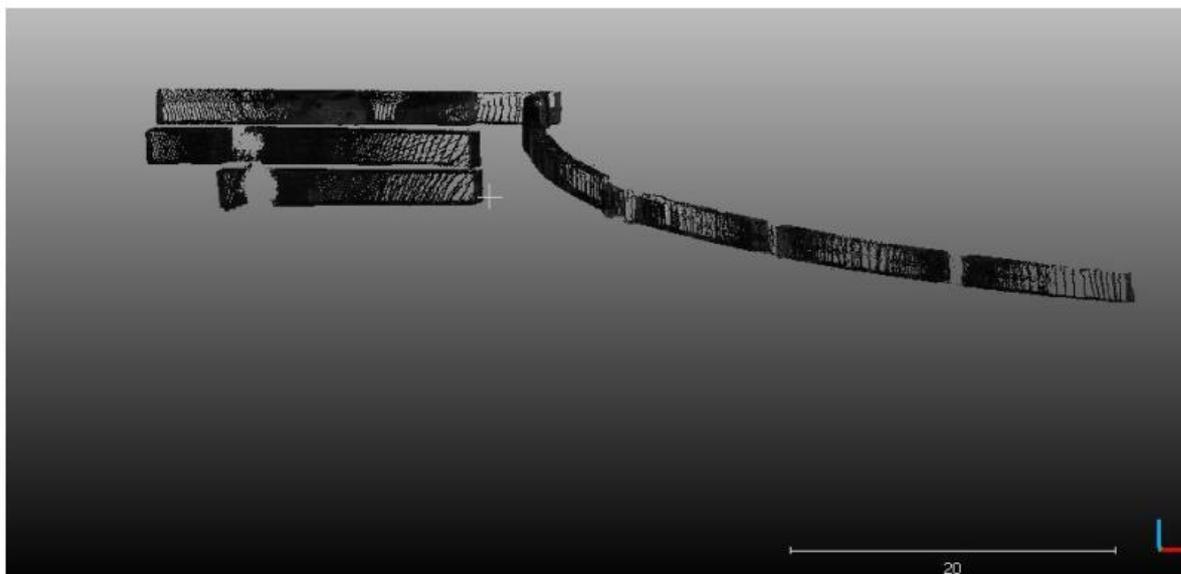


Figura 4-3 – Vista prospettica delle nuvole di punti ottenute dal rilievo [23]

4.2.3 Rilievo dei potenziali siti di prelievo del tout-venant per il nuovo rilevato in materiali sciolti

Nel mese di Marzo 2023 il Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale del Politecnico di Milano ha eseguito il rilievo topografico dei due siti (denominati sito 2 e sito 3) selezionati come aree per il prelievo del tout-venant necessario alla realizzazione del corpo centrale del nuovo rilevato in materiali sciolti.

I rilievi sono stati eseguiti utilizzando due diverse metodologie:

- **Lidar da drone** (scanner laser montato a bordo di un UAV);
- **Fotogrammetria da drone.**

La metodologia di rilievo e i risultati sono descritti in dettaglio nel documento [24]. Nella Figura 4-4 si illustra a titolo di esempio il DEM e le curve di livello in quote ortometriche ottenute dall'elaborazione della nuvola di punti per il sito 2 (sinistra) e il sito 3 (destra).

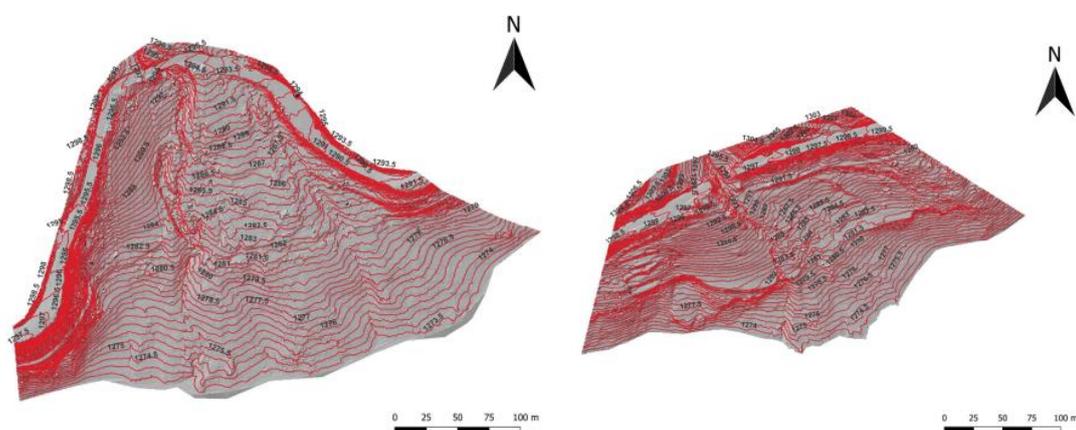


Figura 4-4 – DEM e curve di livello in quote ortometriche ottenute dall'elaborazione della nuvola di punti (sinistra: sito 2; destra: sito 3)[24]

4.3 Rilievo batimetrico

Nel mese di Maggio 2019 GRAIA ha eseguito un rilievo morfobatimetrico parziale dell'invaso dell'Ampollino con lo scopo di indagare il livello di sedimentazione presente nell'area antistante la diga, le opere di presa e lo scarico di fondo.

La metodologia di rilievo e i risultati sono descritti in dettaglio nel documento [25] e sintetizzati di seguito.

Il rilievo morfobatimetrico, è stato eseguito scandagliando la porzione del bacino antistante lo sbarramento e lungo le sponde del bacino, seguendo con la navigazione le rotte necessarie per formare una maglia quadrata su tutta la superficie indagata. Seguendo questa metodologia il rilievo batimetrico eseguito ha portato a registrare 10.270 punti.

Nella Figura 4-5 si riporta il rilievo batimetrico in falsi colori della zona oggetto del rilievo.

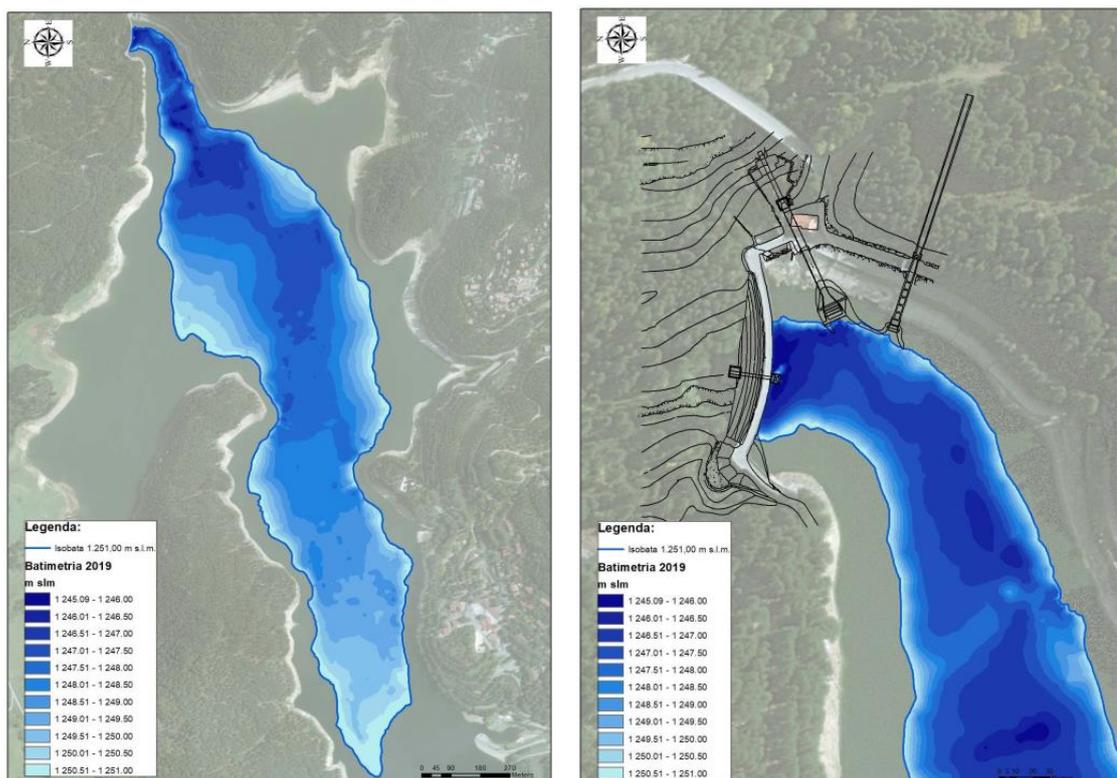


Figura 4-5 – Rilievo batimetrico in falsi colori (sinistra: zona completa di rilievo; destra: ingrandimento in corrispondenza dello sbarramento e delle opere di presa) [25].

4.4 Analisi preliminari del calcestruzzo (1988)

A seguito dei lavori di impermeabilizzazione del paramento di monte del 1987, si riscontrarono sul calcestruzzo della spalla sinistra e del muro a gravità avanzati segnali di degrado.

Nel 1988 sono state eseguite delle analisi fisiche, mineralogiche e chimiche di campioni di calcestruzzo provenienti da 7 perforazioni, di lunghezza compresa tra 2.5 e 7 m, eseguite sul paramento di monte della diga.

Il rapporto [13] imputa il degrado del calcestruzzo allo scarso grado di compattazione del materiale al momento della messa in opera ed all'alterazione dell'aggregato, in particolare di quello costituito da feldspati che si sono trasformati, in molti casi, in prodotti sericitici argillosi. Si registra dunque la presenza di una reazione tipo alcali-aggregati, che può avere causato l'indebolimento dell'aderenza all'interfaccia tra aggregato e pasta cementizia.

La porosità del calcestruzzo, anche con la presenza di cavità, ha inoltre favorito i processi di dilavamento e carbonatazione.

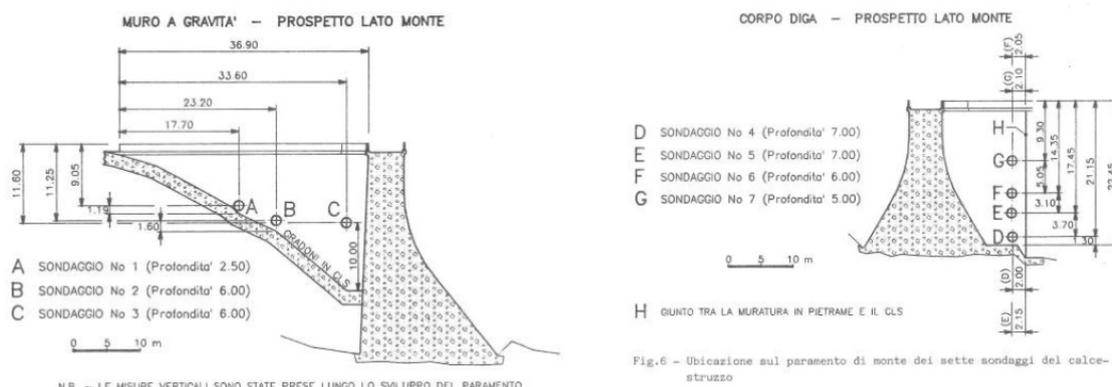


Figura 4-6 – Ubicazione delle perforazioni eseguite nel 1988 sul paramento di monte della diga [13]

4.5 Campagna di indagine ISMES 1987-1989

Questo paragrafo sintetizza le indagini eseguite durante la campagna di indagine ISMES eseguita nel periodo compreso tra il 1987 e il 1989. La campagna di indagini è descritta in dettaglio nei documenti [13][15][16][17][18][19][20][21][26][27] e sintetizzata di seguito.

Furono realizzate le seguenti indagini:

Sondaggi geognostici:

- n. 8 sondaggi verticali con avanzamento a carotaggio:
 - **Sondaggio 1:** nel concio n. 4 dello sbarramento principale (profondità circa 42 m, diametro 101 mm);
 - **Sondaggi 2 e 3:** nel concio centrale (n.2) dello sbarramento principale (profondità circa 50 m, diametro 116 mm). Il foro del sondaggio 3 è stato successivamente adibito a sede di basi estensimetriche;
 - **Sondaggi 4, 5 e 6:** nel pilone poligonale in sinistra (profondità circa 45 m, diametro 116 m per il sondaggio 4, diametro 101 mm per il sondaggio 5, diametro 73 mm per il sondaggio 6).
 - **Sondaggio 7:** nel pilone poligonale in sinistra tra i sondaggi 5 e 6 (profondità circa 12 m, diametro 224 mm);
 - **Sondaggio 8:** nel concio centrale (n.2) in prossimità del sondaggio 3 (profondità circa 15 m, diametro 224 mm);

- n. 2 sondaggi verticali con avanzamento a distruzione di nucleo con diametro finale di 314 mm per l'installazione dei pendoli rovesci.
 - **Sondaggio 2P:** nel concio centrale (n.2) dello sbarramento principale (profondità circa 51 m);
 - **Sondaggio 5P:** nel pilone poligonale in sinistra (profondità circa 44 m);

- 4 sondaggi variamente inclinati con avanzamento a carotaggio e diametro pari a 101 mm, realizzati per l'alloggiamento di 4 celle piezometriche per il controllo delle sotto pressioni. I 4 fori denominati **Pz1, Pz2, Pz3 e Pz4** sono lunghi 9,2 m, 13,7 m, 16,7 m e 16,5 m. Il foro Pz 1 è verticale, mentre gli altri 3 fori sono inclinati rispettivamente 21,8°, 43° e 35,9°. Sono ubicati nel concio centrale presso il piede del paramento di valle dello sbarramento principale.

L'ubicazione in planimetria e in sezione dei sondaggi sopra elencati è illustrata nella Figura 4-7 e nella Figura 4-8.

Indagini in sito

- Ispezione con **sonda televisiva** dei sondaggi da 1 a 6;
- n. 21 **prove dilatometriche** in foro nei sondaggi da 1 a 6 (n. 12 in roccia e n. 9 nel calcestruzzo di fondazione);

Indagini geofisiche

- Misure di **carotaggio sonico** nei fori dei sei sondaggi da 1 a 6;
- Misure di **tomografia** sonica in 4 sezioni trasversali verticali fra i fori dei sondaggi 1, 2, 3 e 5 e il paramento di valle della diga;
- **misure di tomografia sonica lungo due sezioni longitudinali** tra fori verticali. Una sezione è stata realizzata tra i sondaggi 2 e 3 e l'altra tra quelli dei sondaggi 4, 5 e 6.

Indagini di laboratorio

Dalle carote estratte dai sondaggi geognostici sono stati selezionati 60 campioni di vario diametro prelevati dal corpo diga e 21 campioni di roccia di fondazione, sui quali sono state realizzate determinazioni delle caratteristiche fisiche e prove di resistenza meccanica (Tabella 9 e Tabella 10).

Inoltre, sono stati esaminati 10 campioni di roccia mediante uno studio petrografico di sezioni sottili con microscopia ottica.

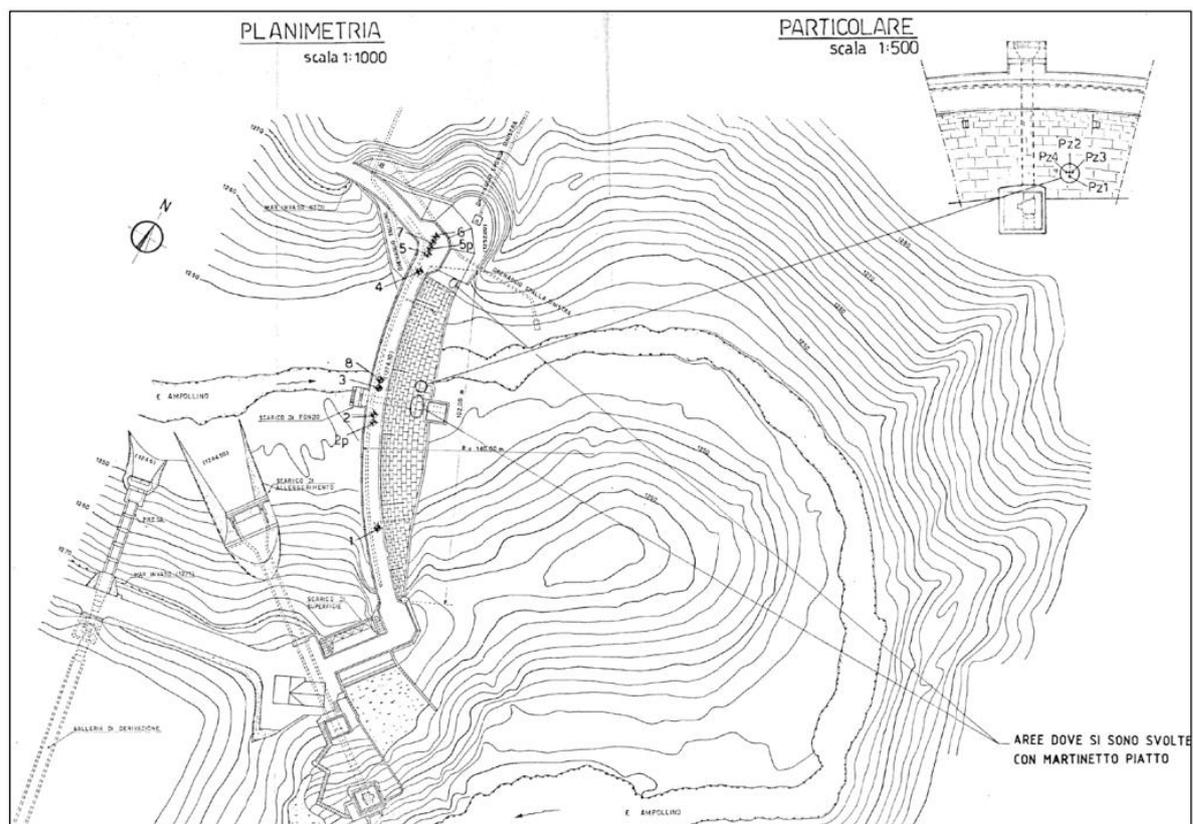


Figura 4-7 – Ubicazione planimetrica delle perforazioni realizzate da ISMES sulla diga di Trepidò (ISMES, Giugno 1989)

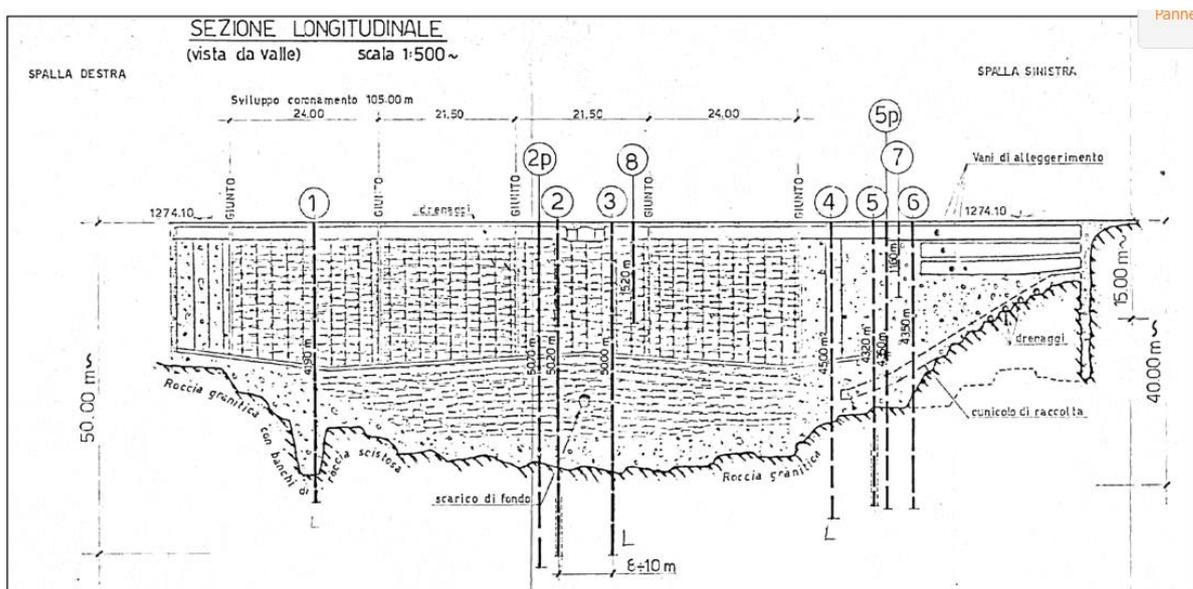


Figura 4-8 – Ubicazione in sezione delle perforazioni realizzate da ISMES sulla diga di Trepidò (ISMES, Giugno 1989)

Prova	Numero
Massa volumica apparente	21
Massa volumica reale	10
Porosità	10
Assorbimento	4
Velocità sonica pre-essiccamento	21
Velocità sonica post-essiccamento	21
Carico a rottura	12
Modulo elastico secante	8
Coefficiente di Poisson secante	7

Tabella 9: Campagna di indagini ISMES 1987-1989, prove di laboratorio su campioni di roccia di fondazione

Prova	Numero		
	Calcestruzzo basamento	Calcestruzzo pilone sinistro	Malta della muratura
Massa volumica apparente	8	39	12
Velocità sonica pre-essiccamento	8	39	12
Velocità sonica post-essiccamento	8	39	12
Resistenza a compressione uniassiale	3	21	12
Resistenza a trazione diretta	3	5	0
Modulo elastico secante	3	21	12
Coefficiente di Poisson secante	1	20	12
Coefficiente di permeabilità	5	5	0

Tabella 10: Campagna di indagini ISMES 1987-1989, prove di laboratorio su campioni del corpo diga

Rilievi geostrutturali

Nell'ambito delle indagini del 1987-1989, ISMES ha realizzato n. 12 stazioni geostrutturali sui principali affioramenti rocciosi presenti nelle immediate vicinanze della diga ed a valle di essa.

Nella Figura 4-9 sono riportate l'ubicazione delle stazioni di misura e le corrispondenti rappresentazioni stereografiche polari.

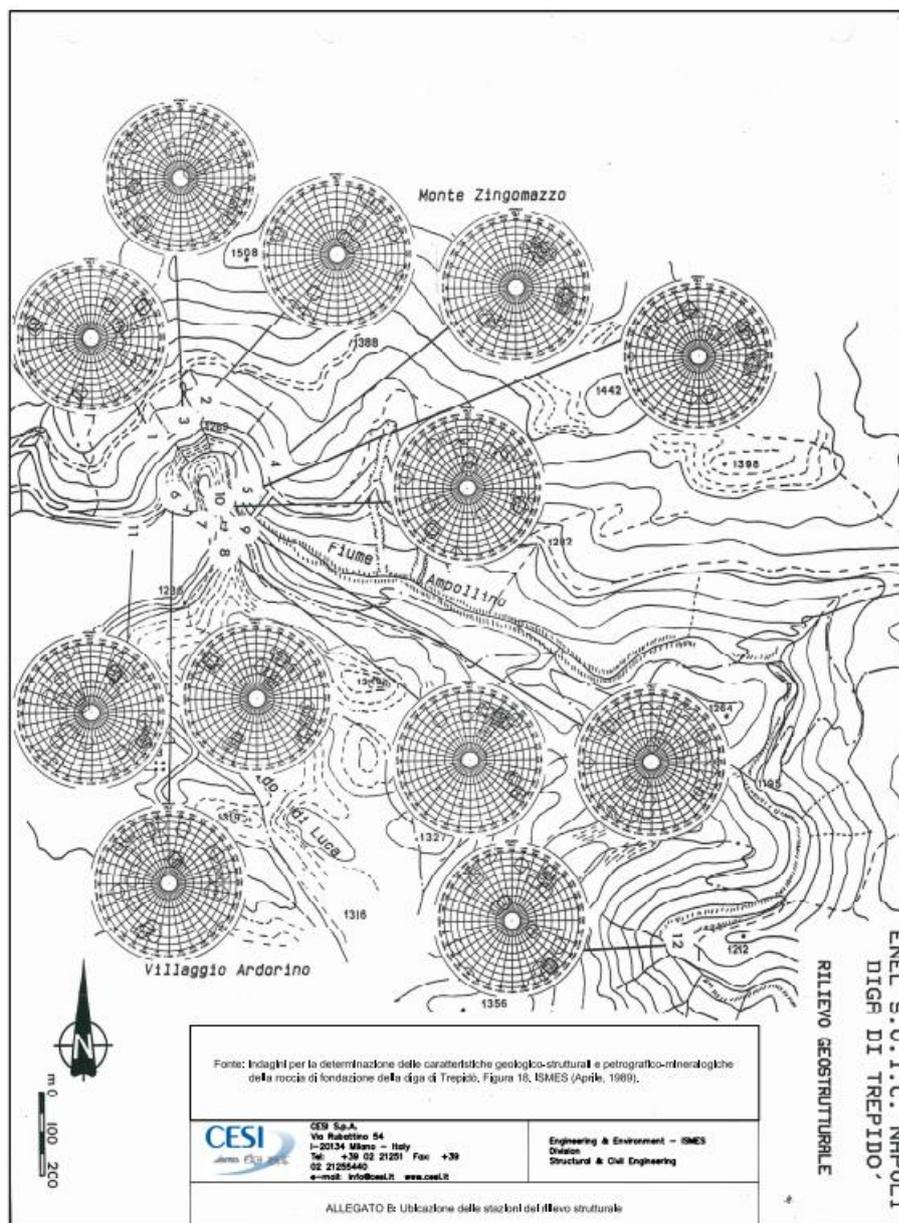


Figura 4-9 – Campagna di indagini ISMES 1987-1989, ubicazione delle stazioni geostrutturali e corrispondenti rappresentazioni stereografiche polari

4.6 Rilievi e sopralluoghi CESI 2013

Nel mese di Febbraio 2013 CESI ha effettuato una stazione geostrutturale (denominata STOP 13) lungo il taglio della Strada Provinciale SP35 a poca distanza dalla spalla sinistra del ponte sul fiume Ampollino, giusto sotto la cava dello STOP 4 (eseguito nella campagna di indagini 1987-1989).

Nello stesso sopralluogo (Febbraio 2013) CESI ha visionato un vallone ubicato circa 1 km ad ONO della diga di Trepidò dove, secondo la documentazione disponibile, la traccia della faglia dei Laghi intercetta la riva settentrionale del lago Ampollino.

4.7 Sopralluogo e rilievo sismico OGS 2020

Nell'ambito dello Studio sismo-tettonico e analisi probabilistica della pericolosità sismica per la diga di Trepidò commissionato per tramite CESI S.p.A. all'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste (OGS), è stata effettuato un sopralluogo geologico in sito nel mese di settembre 2020 con la finalità di identificare eventuali indizi di fagliazione superficiale associati alla presenza di faglie potenzialmente attive e capaci nell'immediato intorno della diga.

Sulla base di quanto emerso dal sopralluogo geologico, si è ritenuto indispensabile effettuare un **rilievo sismico ad alta risoluzione (Boomer)** nella parte orientale del Lago Ampollino ospitante la Diga di Trepidò al fine di verificare la possibile presenza della prosecuzione sommersa della Faglia dei Laghi.

Per le metodologie di indagine e i relativi risultati si rimanda ai documenti [26][27].

4.8 Campagna di indagine 2021

Nel corso del 2021 è stata eseguita da ISMES una campagna di indagini in sito e di laboratorio, propedeutica allo sviluppo del presente Progetto, finalizzata ad acquisire nuovi dati utili per completare ed integrare le stime delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali costituenti la diga e la roccia di fondazione.

La campagna di indagini è descritta in dettaglio nei documenti [26][27][28] e sintetizzata di seguito.

Furono realizzate le seguenti indagini:

Sondaggi geognostici:

- **Sondaggio S1:** sondaggio verticale a carotaggio continuo (profondità circa 20 m, diametro 101 mm) eseguito all'estremità di monte dello sbarramento secondario in calcestruzzo;
- **Sondaggio S1bis:** sondaggio verticale a carotaggio continuo (profondità 23 m, diametro 131 mm nel corpo diga e 101 mm in roccia) eseguito nella porzione centrale dello sbarramento secondario in calcestruzzo;
- **Sondaggio S2:** sondaggio verticale a carotaggio continuo (profondità 50 m, diametro 131 mm nel corpo diga e 101 mm in roccia) eseguito nel primo concio dello sbarramento principale;
- **Sondaggio S3:** sondaggio verticale a carotaggio continuo (profondità 50 m, diametro 131 mm nel corpo diga e 101 mm in roccia) eseguito nel concio n. 3 dello sbarramento principale;
- **Sondaggio S4:** sondaggio verticale a carotaggio continuo (profondità 40 m, diametro 131 mm nel corpo diga e 101 mm in roccia) eseguito nel concio n. 4 dello sbarramento principale;
- **Sondaggio S5:** sondaggio sub-orizzontale (inclinazione ca. 5°) a carotaggio continuo eseguito dal paramento di valle del concio n. 1 (lunghezza 15 m, diametro 131 mm);
- **Sondaggio S6:** sondaggio sub-orizzontale (inclinazione ca. 5°) a carotaggio continuo eseguito dal paramento di valle del concio n. 3 (lunghezza 15 m, diametro 131 mm);
- **Sondaggio S7:** sondaggio verticale a carotaggio continuo (profondità circa 10 m, diametro 101 mm) eseguito a valle del canale rivestito in calcestruzzo all'uscita dello scarico di fondo;

- **Sondaggio S2bis:** sondaggio verticale a distruzione di nucleo (profondità 50 m, diametro 116 mm) eseguito nel concio n. 1 a una distanza dal sondaggio S2 di circa 7 m;
- **Sondaggio S3bis:** sondaggio verticale a distruzione di nucleo (profondità 50 m, diametro 116 mm) eseguito nel concio n. 3 a una distanza dal sondaggio S3 di circa 7 m.

L'ubicazione in planimetria dei sondaggi sopra elencati è illustrata nella Figura 4-10.

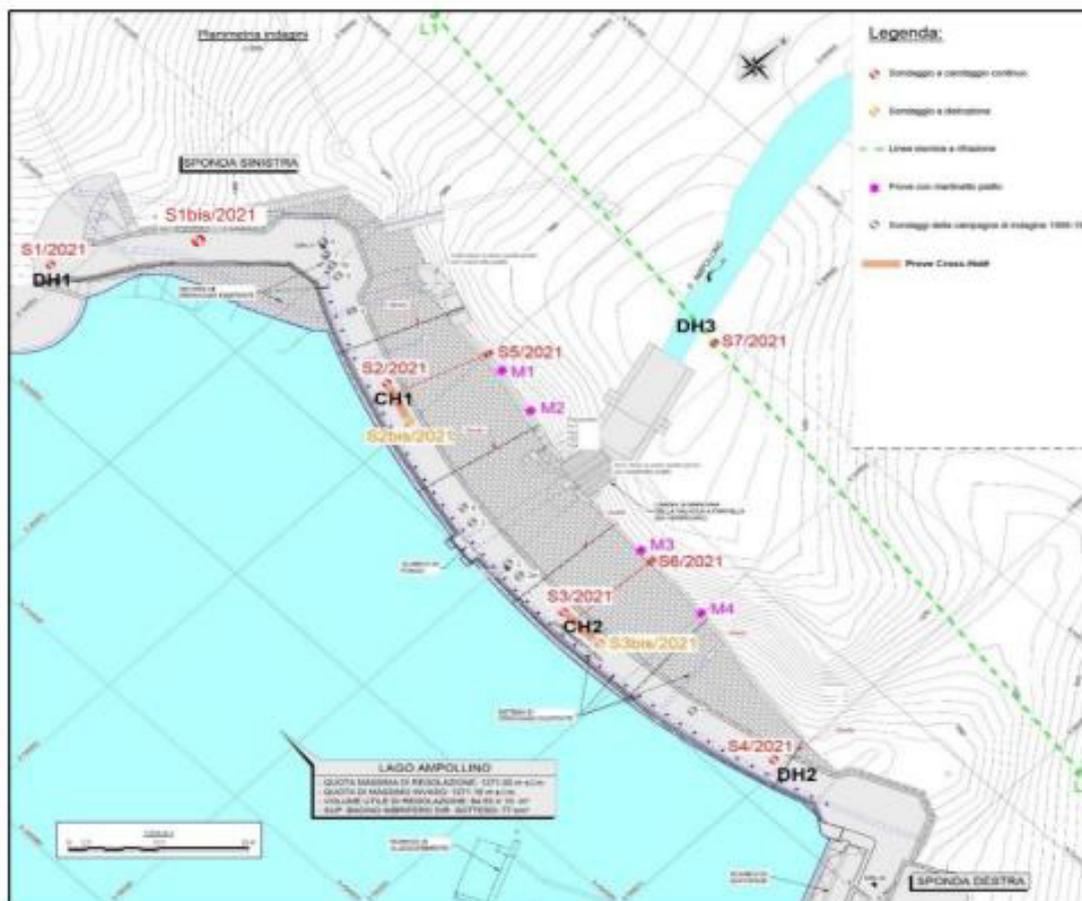


Figura 4-10 – Ubicazione planimetrica delle perforazioni eseguite da ISMES durante la campagna di indagini del 2021.

Indagini in sito

Le indagini in sito eseguite nella campagna di indagini 2021 sono sintetizzate nella Tabella 11 ed elencate di seguito:

- rilievi a mezzo di sonda ottica (OPTV) e relative interpretazioni geostrukturali nei sondaggi S1bis, S2, S3, S4, S5, S6 e S7;
- prove di permeabilità di tipo Lugeon nei sondaggi S1bis, S2, S3, S4, S5, S6 e S7;
- prove di permeabilità di tipo Lefranc nel sondaggio S1;
- prove dilatometriche in foro nei sondaggi S2, S3, S4 e S7;
- rilievo geomeccanico in spalla destra;
- prove con martinetto piatto sul paramento di valle.

Sondaggi- Carotaggi	Lunghezza	Azimut	Inclinazione	Tipo Carotaggio	Diametro Carotaggio	Prove Lugeon	Prove Lefranc	Prove dilatometriche	Rilievi geostr. sonda OPTV	Campioni di Roccia	Campioni di Terreno	Campioni di Muratura-CLS
	[m]				mm	[n]		[n]	[m]	[n]	[n]	[n]
S1	20	--	Vert.	C.C.	101	--	3	--	--	8	5	
S1bis	22,70	--	Vert.	C.C.	131-101	2	--	--	--	--	--	
S2	51	--	Vert.	C.C.	131-101	4	--	2	1,01 ÷ 50,12	10	--	14
S2 bis	51	--	Vert.	C.D.	116	--	--	--	--	--	--	--
S3	50	--	Vert.	C.C.	131-101	5	--	2	1,06 ÷ 50,47	10	--	14
S3 bis	50	--	Vert.	C.D.	116	--	--	--	--	--	--	--
S4	40	--	Vert.	C.C.	131-101	4	--	2	1,06 ÷ 39,51	10	--	10
S5	15	199,1°	5°	C.C.	131	2	--	--	0,90 ÷ 14,95	--	--	8
S6	15	183,3°	5°	C.C.	131	2	--	--	0,51 ÷ 14,81	--	--	8
S7	15	--	Vert.	C.C.	101	2	--	2	3,98 ÷ 22,27	6	3	--
Totali	300	--	--	--	--	21	3	8	--	44	8	54

Tabella 11: Campagna di indagini ISMES 2021, sintesi delle prove in sito e del numero di campioni prelevati per le prove di laboratorio

Indagini geofisiche

Le indagini geofisiche eseguite nella campagna di indagini 2021 sono sintetizzate nella Tabella 12 ed elencate di seguito:

- rilievi Cross-Hole in onde P e S con elaborazione tomografica in onde P e carotaggio sonico nelle coppie di fori S2-S2 bis (CH1), S3-S3 bis (CH2). I rilievi CH sono stati precedute delle propedeutiche misure di carotaggio sonico e clinometriche per valutare buona riuscita della cementazione dei tubi di rivestimento dei fori e la reale distanza fra i fori;
- Rilievi Down-Hole in onde P e S con elaborazione in termini di profili di velocità delle onde nei sondaggi verticali (S1, S4 e S7). I rilievi DH sono stati precedute delle propedeutiche misure di carotaggio sonico e clinometriche per valutare la buona riuscita della cementazione dei tubi di rivestimento.
- Rilievo sismico a rifrazione lungo una sezione longitudinali (L1-L2) nel terreno immediatamente a valle della diga (in corrispondenza del sondaggio S7, Figura 4-10);
- Misure di microtremore (fondazione) e di dinamica strutturale (monitoraggio dinamico del corpo diga).

Sondaggio	Cross Hole – Down Hole	Sismica a rifrazione	Lunghezza	Carotaggio sonico	Misura clinometrica	Cross Hole P ed S	Down Hole	Sismica a rifrazione	HVSR	Ubicazione
			[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[n]	
S1	DH1	--	15	15	--	--	15	--	--	Coronamento
S2	CH1	--	50	50	50	50	--	--	--	Coronamento
S2 bis		--	50	50	50		--	--	--	Coronamento
S3	CH2	--	50	50	50	50	--	--	--	Coronamento
S3 bis		--	50	50	50		--	--	--	Coronamento
S4	DH2	--	40	40	--	--	40	--	--	Coronamento
S7	DH3	--	15	15	--	--	15	--	--	Valle diga
S. Rifraz.	--	L1-L2	--	--	--	--	--	138	--	Long. a valle diga
HVSR	--	--	--	--	--	--	--	--	7	6 stazioni sul corpo diga + 1 campo libero
Totali			270	270	200	100	70	138	7	--

Tabella 12: Campagna di indagini ISMES 2021, sintesi delle indagini geofisiche

Prove di laboratorio

Dalle carote estratte dai sondaggi geognostici sono stati selezionati dei campioni dal corpo diga e dalla roccia di fondazione, sui quali sono state realizzate determinazioni delle caratteristiche fisiche e prove di resistenza meccanica (Tabella 13 e Tabella 14).

Prova	Numero
Granulometrie	8
Massa volumica apparente	72
Massa volumica reale	32
Prove di compressione monoassiale con misura delle deformazioni assiali e radiali	36
Prove di compressione triassiale con misura deformazioni assiali e radiali	12
Misura della velocità delle onde elastiche longitudinali	69
Prove di permeabilità diretta all'acqua su campioni d	2
Analisi mineralogiche	5

Tabella 13: Campagna di indagini ISMES 2021, prove di laboratorio su campioni di roccia di fondazione

Prova	Numero			
	Calcestruzzo basamento	Calcestruzzo pilone sinistro	Malta della muratura	Pietrame
Massa volumica apparente	11	6	28	28
Resistenza a compressione uniassiale	7	4	13	12
Resistenza a trazione indiretta	3	1	8	8
Modulo elastico secante	2	2	7	12
Velocità sonica	11	6	28	27
Coefficiente di Poisson	2	2	7	12
Porosità totale	5	3	15	13
Porosità aperta	5	3	15	13
Permeabilità	0	0	2	0

Tabella 14: Campagna di indagini ISMES 2021, prove di laboratorio su campioni del corpo diga

4.9 Indagini eseguite sugli scarichi di fondo e alleggerimento

Nell'Ottobre 2022 Bytest, insieme con i tecnici del progettista Lombardi e di A2A, ha eseguito un sopralluogo agli scarichi di fondo e di alleggerimento per un esame visivo delle opere e per l'esecuzione di spessimetria UT.

L'ispezione visiva è stata effettuata dall'interno ed ha interessato i tratti accessibili della condotta. Sono state sottoposte a controllo tutte le virole, le valvole e i componenti a corredo dell'impianto.

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO

5.1 Premessa

Questa sezione contiene un breve inquadramento geologico e geotecnico del sito oggetto dello studio, con particolare riferimento alla stima delle caratteristiche meccaniche dei materiali che costituiscono l'ammasso di fondazione dello sbarramento.

5.2 Inquadramento geologico

5.2.1 Assetto geologico

La descrizione dettagliata del contesto geologico del sito di studio è riportata nei documenti [20][26][27] e brevemente richiamata di seguito.

L'ammasso roccioso in corrispondenza della diga di Trepidò è costituito da due unità geologiche principali, ossia il "Complesso delle rocce acide" ed il "Complesso igneo-metamorfico", secondo la nomenclatura riportata nella Tavoleta "Lago Ampollino" della Carta Geologica della Calabria alla scala 1:25'000 (Figura 5-1). Il substrato roccioso affiorerebbe essenzialmente lungo i tagli stradali, lungo la sezione d'imposta, sulle sponde del Lago Ampollino in prossimità dello sbarramento ed a valle dello stesso.

Nell'area oggetto di studio il "Complesso delle rocce acide" (o Graniti della Calabria) è rappresentato da graniti e granodioriti (talora di tipo "ghiaandone") che affiorano su gran parte del versante destro poco a monte dello sbarramento e a Est dello stesso lungo la valle del fiume Ampollino.

Il "Complesso igneo-metamorfico" costituisce il substrato roccioso in corrispondenza della sezione d'imposta dello sbarramento ed è rappresentato dall'alternanza dei seguenti litotipi: Gneiss quarzoso-feldspatici, gneiss biotitici listati e filladi; migmatiti (anatesiti); graniti, granodioriti, dioriti.

I depositi superficiali riconosciuti nella zona d'imposta sono costituiti dalla copertura eluviale e detritica, da quella colluviale, da depositi fluviali e da accumuli di frana (Figura 30).

Le coltri eluviale e detritica sono caratterizzate frequentemente da elevati spessori e costituite in prevalenza da sabbia, da media a grossolana, inglobante frammenti del substrato alterato, il quale anche dove è compatto, in realtà è spesso così alterato da poter essere facilmente disgregato da essere paragonabile ad un materiale sciolto. Questi depositi coprono gran parte dei versanti.

I depositi colluviali sono presenti lungo le incisioni principali dei versanti circostanti l'invaso e sono costituiti da sabbie, limi ed argille. I depositi alluvionali si sviluppano esclusivamente a valle dello sbarramento lungo il fiume Ampollino.

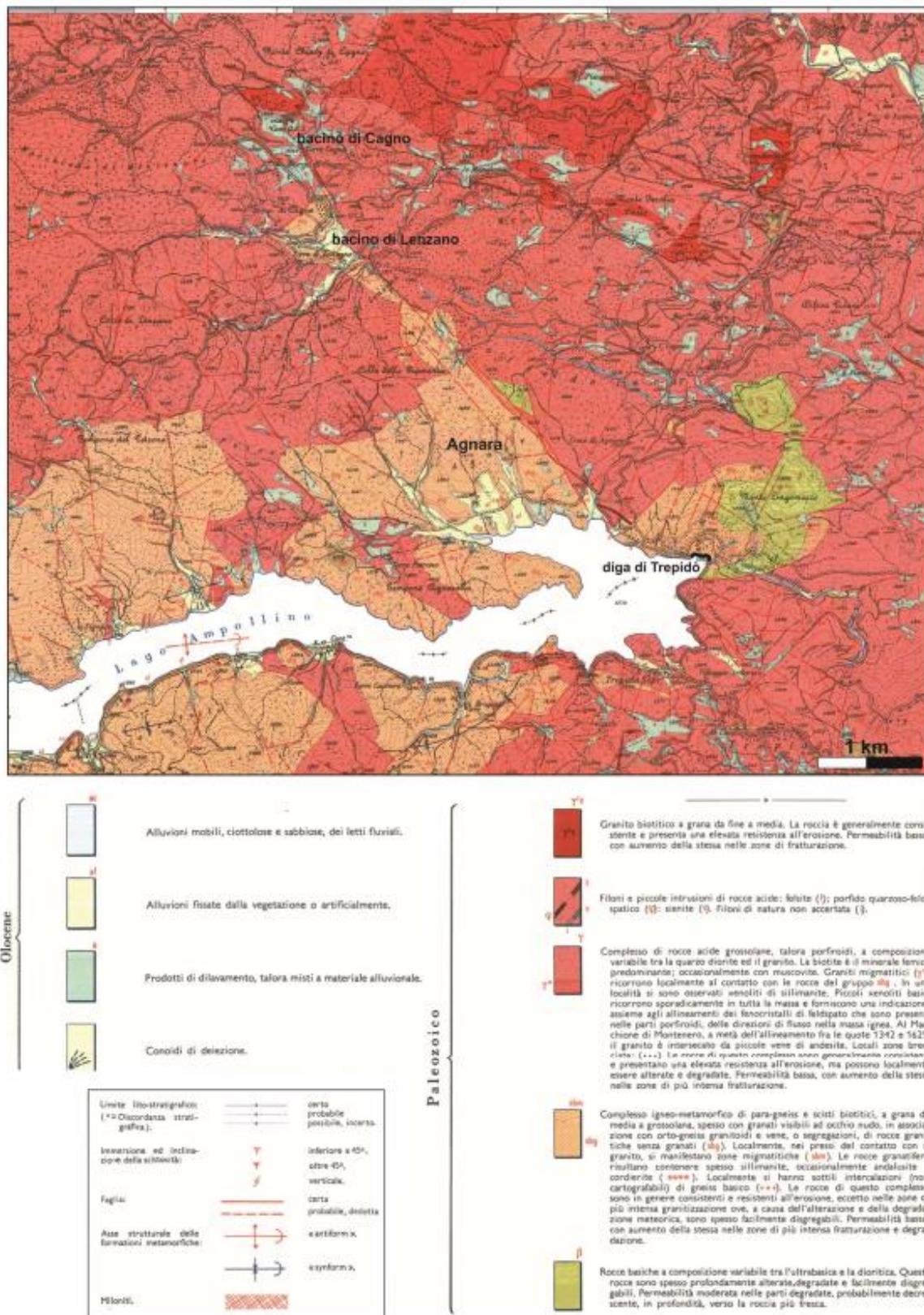


Figura 5-1 – Stralcio della Carta Geologica della Calabria in scala 1:25.000, Tavoletta 237 IV SE “Lago Ampollino”.

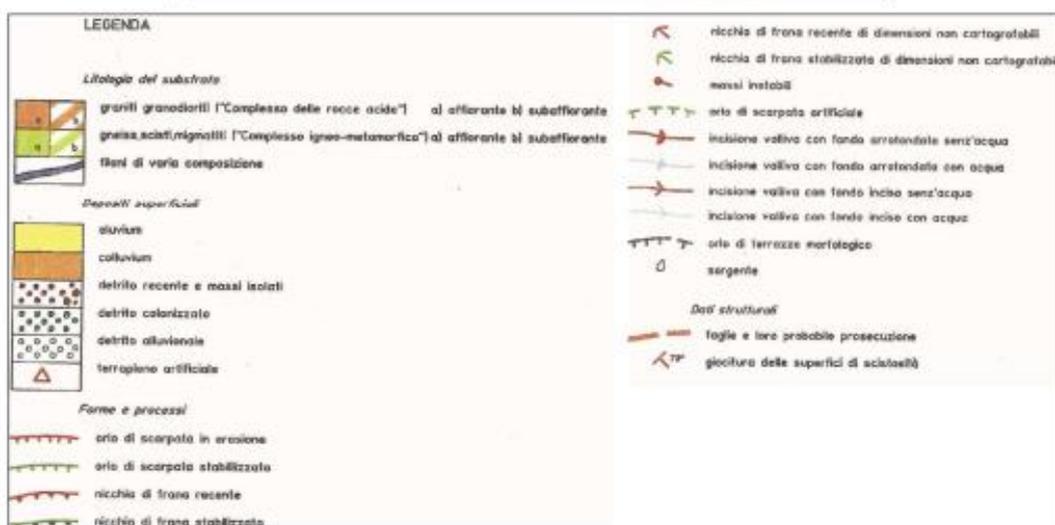
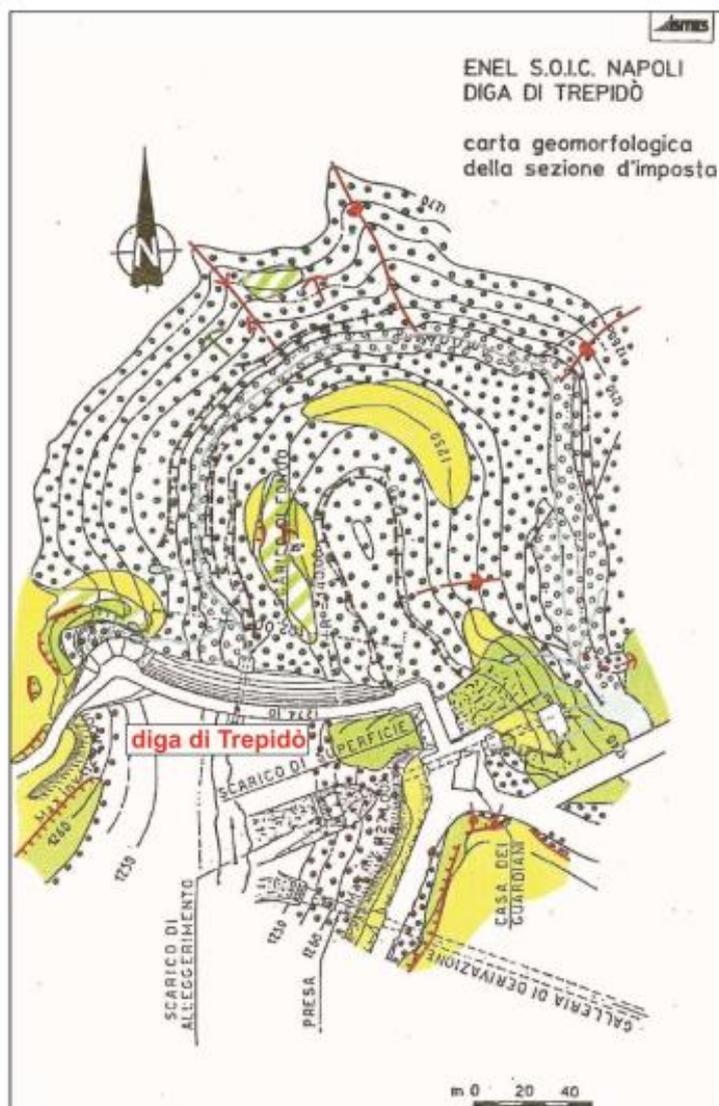


Figura 5-2 – Carta geologica-geomorfologica della zona della sezione d'imposta della diga di Trepidò (ISMES, Aprile 1989).

5.2.2 Assetto geologico-strutturale locale

L'analisi dei principali lineamenti geologici dell'area di studio è stata effettuata sia da ISEMS nel 1989 attraverso un'analisi fotointerpretativa di fotografie aeree in bianco e nero a scala 1:125000 sia da CESI nel 2013 sulla base delle informazioni riportate nella tavoletta Lago Ampollino della Carta Geologica della Calabria. Per la metodologia di analisi e per i risultati di tali studi si rimanda ai documenti [26] e [20].

Come descritto in precedenza, nell'ambito delle indagini eseguite da ISMES/CESI negli anni 1987-1989, 2013 e 2021 sono stati eseguiti n. 15 rilievi geostruturali su affioramenti rocciosi presenti nelle vicinanze della diga e a valle di essa.

I dati raccolti durante i rilievi evidenziano la presenza, oltre ai piani di scistosità, di n. 4 sistemi di discontinuità principali (K1, K2, K3 e K4). Nella seguente figura è illustrata la proiezione stereografica schematica dei principali sistemi di discontinuità sopra citati.

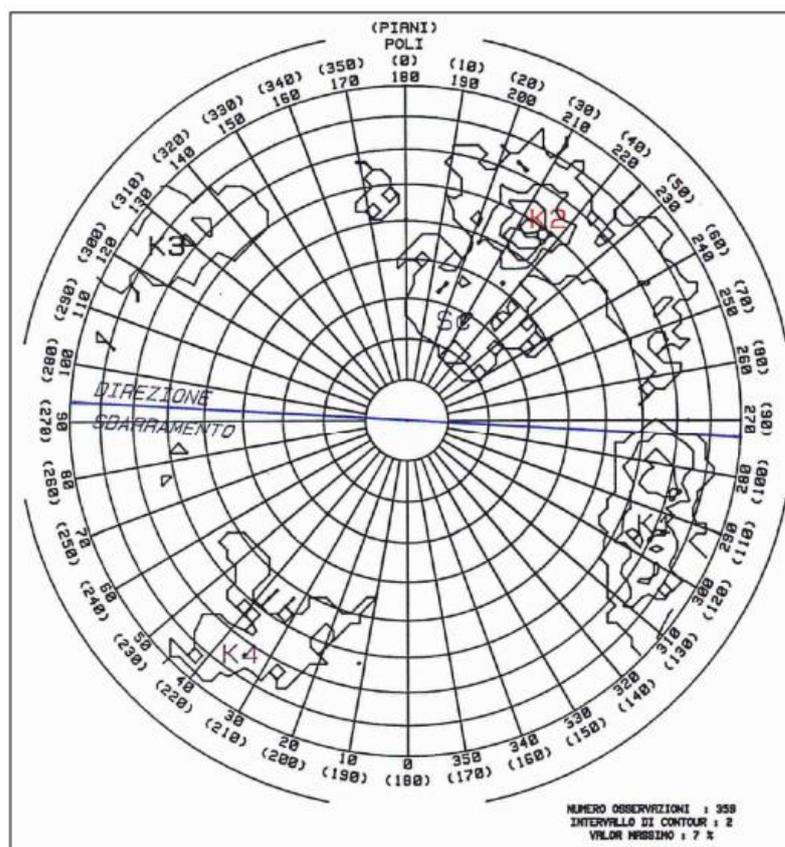


Figura 5-3 - Diagramma della densità dei poli corrispondenti alla totalità dei dati raccolti nei rilievi strutturali di ISMES (Aprile 1989). Il grafico riporta le principali famiglie di giunti misurati (K1, K2, K3 e K4) e la scistosità della roccia.

L'elaborazione delle indagini acustiche eseguite nei fori dei sondaggi eseguiti nel 2021 nello sbarramento, confermano sostanzialmente le informazioni desunte dalle stazioni geostruturali sopra descritte.

Per quanto riguarda le caratteristiche principali delle discontinuità si riporta una la tabella di sintesi redatta da ISMES sulla base delle prime n. 13 stazioni geostrutturali (Aprile 1989).

	giacit.	persis. (m)	apert. (mm)	spaz. (m)	term.	alter.	andam/ rugos
Scist	190-210 /20-40°	0.5-2	0-10	0.3-1.5	xd-dd	A,D	P-O/L
K 1	280-300 /60-80°	0.5-4	2-20	0.3-2	xx-xd	A,C	P/L
K 2	200-230 /50-80°	0.3-2	0-10	0.5-1	xd	"	"
K 3	120-140 /70-80°	0.3-1	0-30	0.5-3	xd-dd	"	"
K 4	20-40 /60-80°	"	0-5	1-5	"	"	"

Tabella 3.5 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche delle principali famiglie di discontinuità osservate nelle stazioni strutturali rilevate da ISMES (Aprile 1989).

LEGENDA. Terminazioni: x, terminazione non visibile sull'affioramento; d, terminazione contro un altro giunto. Alterazione: A, roccia sana; C, leggermente alterato con argilla; D, alterato con argilla. Andamento: P, giunto a profilo planare; O, giunto a profilo ondulato. Rugosità: L, giunto a superficie liscia.

Figura 5-4 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche delle principali famiglie di discontinuità osservate nelle stazioni strutturali rilevate da ISMES (Aprile 1989).

5.2.3 Fagliazione superficiale

La Diga di Trepidò è localizzata nel massiccio della Sila in Calabria, in particolare all'estremità orientale dell'invaso artificiale del Lago Ampollino. L'area della Sila è costituita dalla sovrapposizione di una serie di unità tettoniche costituite da rocce ignee e polimetamorfosate di età paleozoica, appartenenti al margine continentale europeo. Il basamento paleozoico è interessato da una serie di lineamenti tettonici di origine alpina orientati NO-SE che presentano riattivazioni recenti. In questo contesto, in prossimità dello sbarramento è ampiamente documentata, da dati di letteratura, la presenza di una struttura tettonica attiva e capace denominata Faglia dei Laghi. Questa struttura, orientata NO-SE, passerebbe, a meno di 500 m ad ovest dalla Diga di Trepidò e sarebbe responsabile del terremoto del 1638 di magnitudo $M_w=6.8$ [27].

Come già descritto nei documenti [26] e [27] nell'ambito dello studio di pericolosità sismica è stato effettuato un sopralluogo geologico in sito nel mese di settembre 2020 con la finalità di identificare eventuali evidenze della presenza di faglie potenzialmente attive e capaci in grado di produrre effetti sulla diga in occasione di terremoti di forte intensità. Sulla base di quanto emerso dal sopralluogo

geologico, si è ritenuto indispensabile effettuare un rilievo sismico ad alta risoluzione (Boomer) nella parte orientale del Lago Ampollino ospitante la Diga di Trepidò al fine di verificare la possibile presenza della prosecuzione sommersa della Faglia dei Laghi, in modo da localizzarla con più precisione.

La Figura 5-5 illustra la mappa della porzione orientale del Lago Ampollino in cui viene riportata la traccia della Faglia dei Laghi derivante dalle osservazioni effettuate nel corso del sopralluogo geologico, della bibliografia esistente e dall'interpretazione delle linee sismiche ad alta risoluzione acquisite nel lago.



Figura 5-5 – Mappa della porzione orientale del Lago Ampollino in cui viene riportata la traccia della Faglia dei Laghi derivante dalle osservazioni effettuate nel corso del sopralluogo geologico, dalla bibliografia esistente e dall'interpretazione delle linee sismiche ad alta risoluzione acquisite nel lago. In alto a destra dettaglio relativo alla sola parte sommersa della Faglia dei Laghi evidenziata dall'interpretazione delle linee sismiche ad alta risoluzione [28].

Si riporta un estratto delle considerazioni conclusive del documento [27] “sulla base degli indizi tettonici e morfotettonici emersi dal sopralluogo geologico, dal rilievo sismico ad alta risoluzione effettuato nel Lago Ampollino e dai dati di letteratura disponibili, la Diga di Trepidò è posta a qualche centinaio di metri (tra 360 m e 500 m nella sua parte sommersa) dalla struttura tettonica attiva e capace nota come Faglia dei Laghi, ritenuta responsabile di terremoti di notevole magnitudo ($M_w > 6$). In ogni caso, pur essendo la distanza della traccia della Faglia dei Laghi dalla Diga di Trepidò dell'ordine di poche centinaia di metri, si ritiene improbabile una possibile interazione dal punto di vista

della possibile fagliazione superficiale in occasione di eventi sismici rilevanti. La distanza appurata è comunque superiore all'ampiezza della Zona di Attenzione (ZAFAC) di 200+200 a cavallo della traccia del piano di rottura principale raccomandata per faglie attive e capaci certe dalle linee guida per la gestione del territorio interessato da faglie attive e capaci (CTMS, 2015).

Inoltre, un ulteriore fattore da considerare, che potrebbe limitare la deformazione in caso di movimenti lungo la Faglia dei Laghi, è l'ubicazione della Diga di Trepidò nel letto della faglia a prevalente cinematica normale. Infatti, la deformazione associata a tali strutture si esplica in massima parte nel tetto della faglia e quindi nel caso in questione nella zona posta ad ovest rispetto all'insenatura ospitante la Diga di Trepidò."

5.3 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso di fondazione dello sbarramento

Come illustrato nel modello geomeccanico in Figura 5-6 la zona di imposta della diga è caratterizzata dalla presenza di n. 2 zone geomeccaniche, definite essenzialmente in funzione della distribuzione della litologia, in particolare:

- **Zona geomeccanica 1 (ZG1):** interessa la quasi totalità della sezione di imposta dello sbarramento principale ed è caratterizzata dalla presenza di rocce di natura igneo-metamorfica di tessitura granulare-cristallina o poco scistosa, da poco a mediamente fratturate e poco alterate;
- **Zona geomeccanica 2 (ZG2):** interessa una porzione limitata della zona di imposta in destra (conci n. 3 e n. 4 dello sbarramento principale) ed è caratterizzata dalla presenza di litologie scistose.

In corrispondenza dello sbarramento secondario in sinistra è stata inoltre individuata una zona di alterazione con spessore di oltre 20 m, in cui la roccia si mostra sempre molto fratturata ed alterata, con marcata ossidazione e frequente riduzione in sabbia limoso-ghiaiosa fino alla profondità di circa 15 m. In corrispondenza dell'imposta della diga il materiale fortemente alterato è stato completamente asportato con le opere di scavo connesse alla realizzazione della variante in spalla sinistra, resasi necessaria per il mancato rinvenimento in fondazione di roccia di adeguata qualità. L'ammasso roccioso al di sotto della zona di completa alterazione si mostra comunque parzialmente alterato per alcuni metri (**Ammasso parzialmente alterato, APA**)

La Tabella 15 sintetizza le principali caratteristiche fisico-meccaniche dell'ammasso roccioso di fondazione per le tre diverse zone geomeccaniche sopra descritte.

La Figura 5-7 illustra il criterio di rottura (Hoek-Brown) dell'ammasso roccioso di fondazione per le tre diverse zone geomeccaniche sopra descritte. Nella figura è inoltre illustrata la linearizzazione del criterio di H-B nel campo di tensioni atteso durante l'esercizio dell'opera (massima tensione principale minima pari a circa 1 MPa).

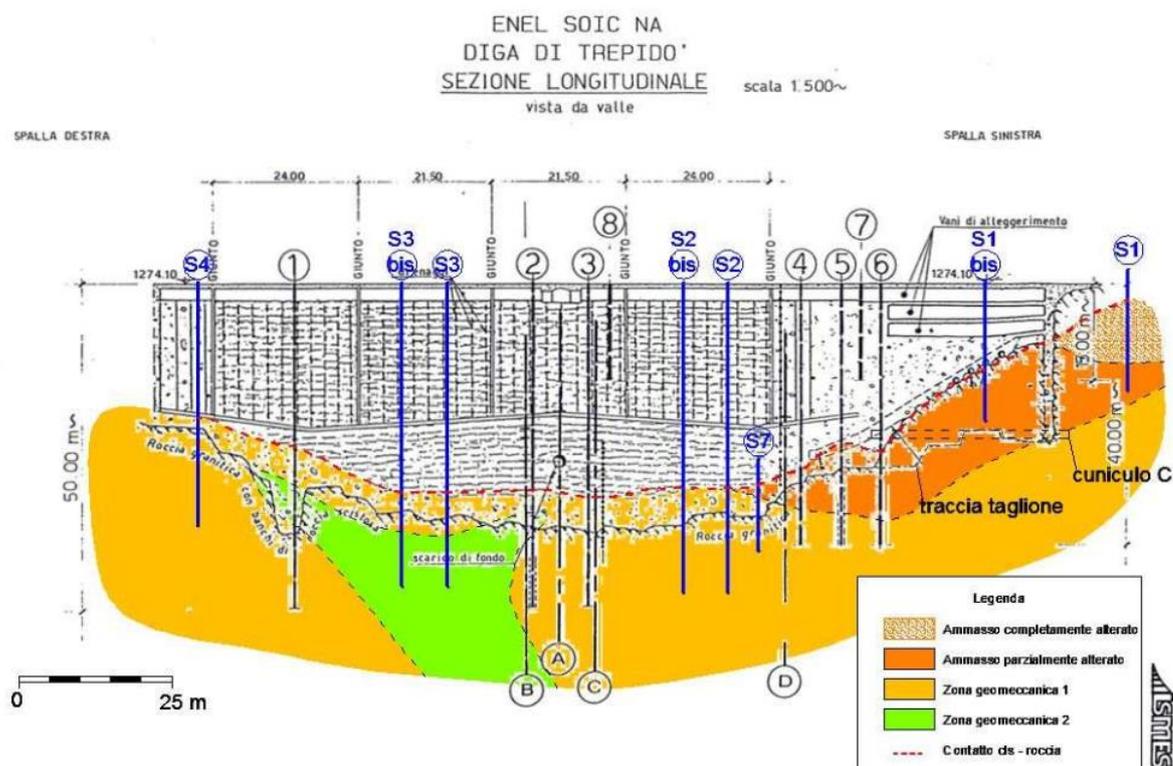


Figura 5-6 – Sezione geomeccanica [27]

Parametro	Simbolo [u.m.]	ZG1	ZG2	APA	Note
Roccia intatta					
Resistenza a compressione monoassiale	σ_{ci} [MPa]	60,0	38,0	40,0	Da prove di laboratorio
Parametro criterio H-B	m_i [-]	22	12	20	Da prove di laboratorio
Modulo elastico	E_i [GPa]	35,0	25,0	25,0	Da prove di laboratorio
Ammasso roccioso					
Peso dell'unità di volume	γ [kN/m ³]	26,5	26,5	25,5	Da prove di laboratorio e stima progettuale
GSI	[-]	60	65	35	Stima da prove in sito
Modulo elastico	E_c [GPa]	18,3	15,7	3,0	Da correlazione empirica Hoek & Diederichs 2006
Angolo di attrito di picco	φ_p [°]	60	53	50	Linearizzazione H-B ($\sigma_{3max} = 1$ MPa)
Coesione di picco	c_p [Mpa]	0,9	0,8	0,4	Linearizzazione H-B ($\sigma_{3max} = 1$ MPa)

Tabella 15: Sintesi dei parametri considerati per la roccia di fondazione

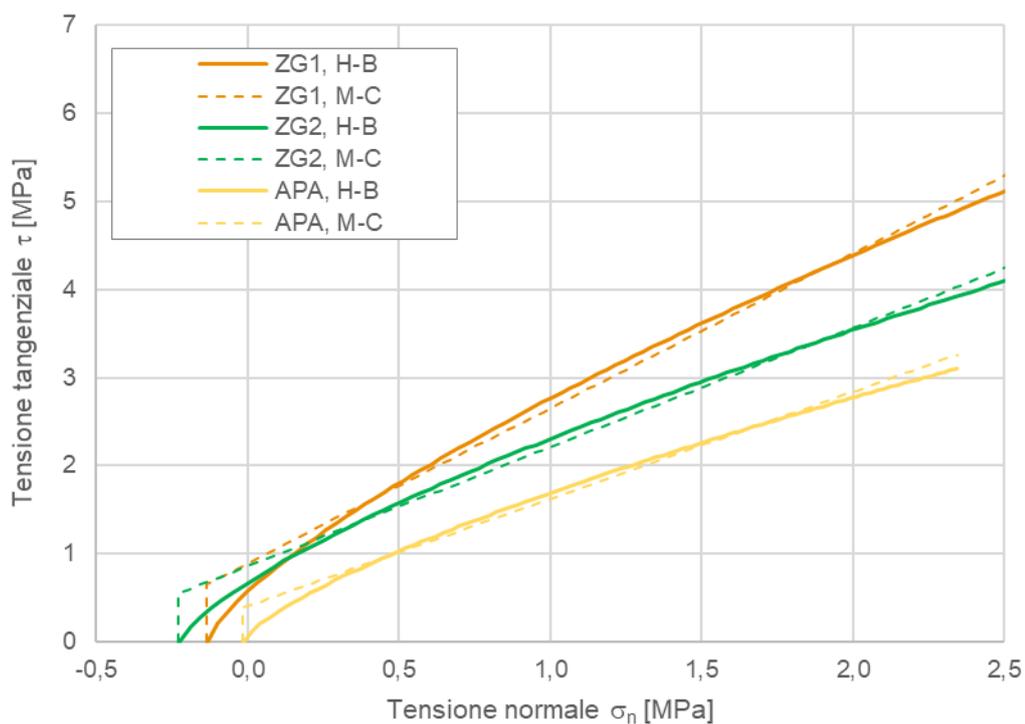


Figura 5-7 – Criterio di resistenza dell'ammasso roccioso (Piano di Mohr)

Per quanto riguarda il comportamento dell'ammasso roccioso, come descritto in dettaglio nella relazione [26] dati disponibili (volume roccioso unitario, persistenza delle discontinuità, assenza in corrispondenza della sezione d'imposta di lineamenti o macrostrutture) portano a considerare l'ammasso roccioso, da un punto di vista meccanico, come un continuum il cui meccanismo di deformazione e rottura non è assimilabile ad un ammasso con caratteristiche discrete, ovvero guidato dalla presenza di discontinuità pervasive che possano isolare porzioni di roccia definibili come "macrocunei".

6. INQUADRAMENTO SISMICO

6.1 Premessa

Per quanto riguarda l'inquadramento sismico del sito e la determinazione delle azioni sismiche di progetto sia in termini di spettro di risposta sia di accelerogrammi spettro-compatibili si rimanda allo studio simotettonico e ai relativi allegati redatti da OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste) e coordinato da CESI/ISMES [27].

6.2 Inquadramento normativo e tempi di ritorno di progetto

I valori di pericolosità sismica di riferimento (TR = 475 anni) per il sito di Trepidò, sono caratterizzati da valori di PGA di riferimento nella classe 0.225-0.250 g (MPS04, MPS Working Group, 2004).

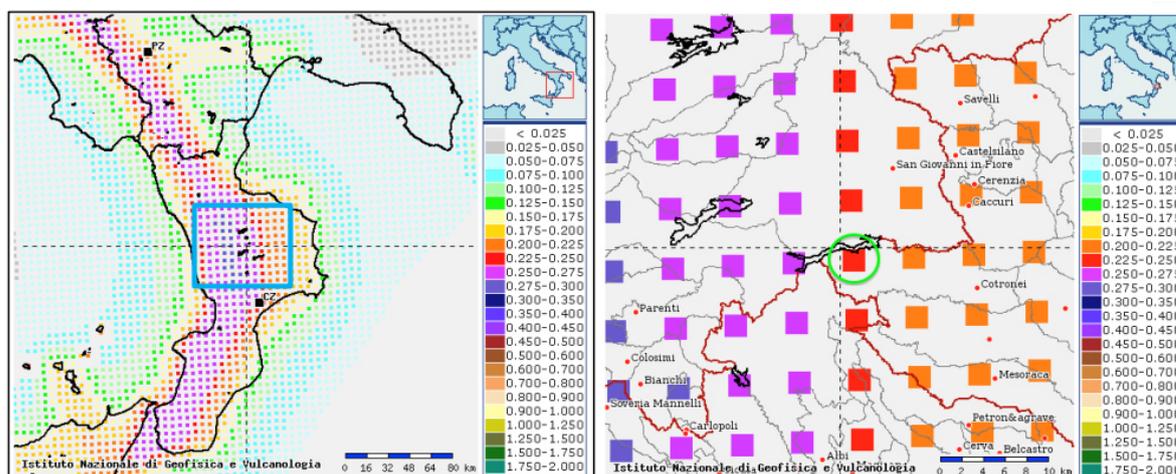


Figura 6-1 – Dettaglio dei valori di pericolosità di riferimento (PGA al 10% di eccedenza in 50 anni) della normativa in vigore (MPS04), sui punti della griglia di calcolo. Il nodo di griglia più vicino alla diga di Trepidò (ID 40342) è indicato dal cerchio verde chiaro con valori di PGA compresi 0.225-0.250 g.

Il tempo di ritorno delle azioni sismiche di progetto è stato calcolato conformemente al par. H.3.4.1 del D.M. 2014 assumendo una vita nominale di 50 anni (**diga esistente**) e un coefficiente d'uso pari a 2.0 (**diga strategica**). Il suolo considerato è di tipo A senza alcuna amplificazione stratigrafica:

- $V_N = 50$ anni vita nominale
- $C_U = 2.0$ coefficiente d'uso, diga strategica
- $V_R = V_N \cdot C_U = \mathbf{100}$ anni vita di riferimento

Le soglie di probabilità di eccedenza P_{VR} definite nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC2018) sono riportate nella Tabella 16. Nella tabella con $P_{VR(50)}$ viene indicata la soglia di probabilità di eccedenza equivalente al periodo di osservazione predefinito a 50 anni.

Stati limite	SLO (Operatività)	SLD (Danno)	SLV (Salvaguardia della vita)	SLC (Prevenzione del collasso)
P_{VR}	81%	63%	10%	5%
$P_{VR(50)}$	56%	39%	5%	2.5%
T_R	60	101	950	1950

Tabella 16: Probabilità di superamento e periodi di ritorno per gli stati limite significativi.

6.3 Studio di pericolosità sismica

Per la metodologia e i risultati di dettaglio dello studio di pericolosità sismica si rimanda al documento [27]. Nel presente paragrafo si riporta un estratto delle considerazioni conclusive dello studio citato.

La pericolosità sismica è stata valutata seguendo una metodologia ad albero logico a 9 rami. La pericolosità sismica (PSHA) è stata valutata in termini di PGA e accelerazione spettrale (AS) per i periodi di ritorno di $T=101$ anni (stato limite di esercizio, SLD), $T=475$ anni (tempo di ritorno convenzionale della pericolosità sismica), $T=950$ anni (stato limite ultimo, SLV) e $T=1950$ anni (stato limite ultimo, SLC).

Come illustrato nella seguente figura, i valori di scuotimento ottenuti nell'ambito dello studio sismotettonico per la tipologia di suolo roccia sono superiori a quelli della mappa nazionale di pericolosità sismica MPS04.

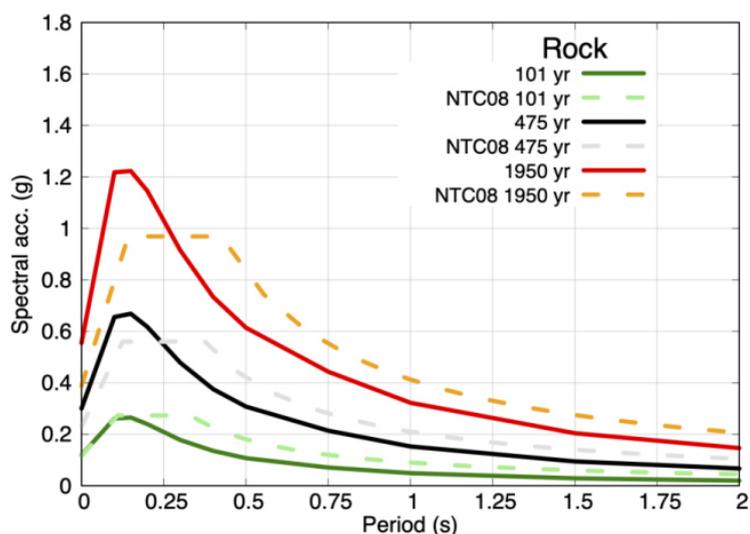
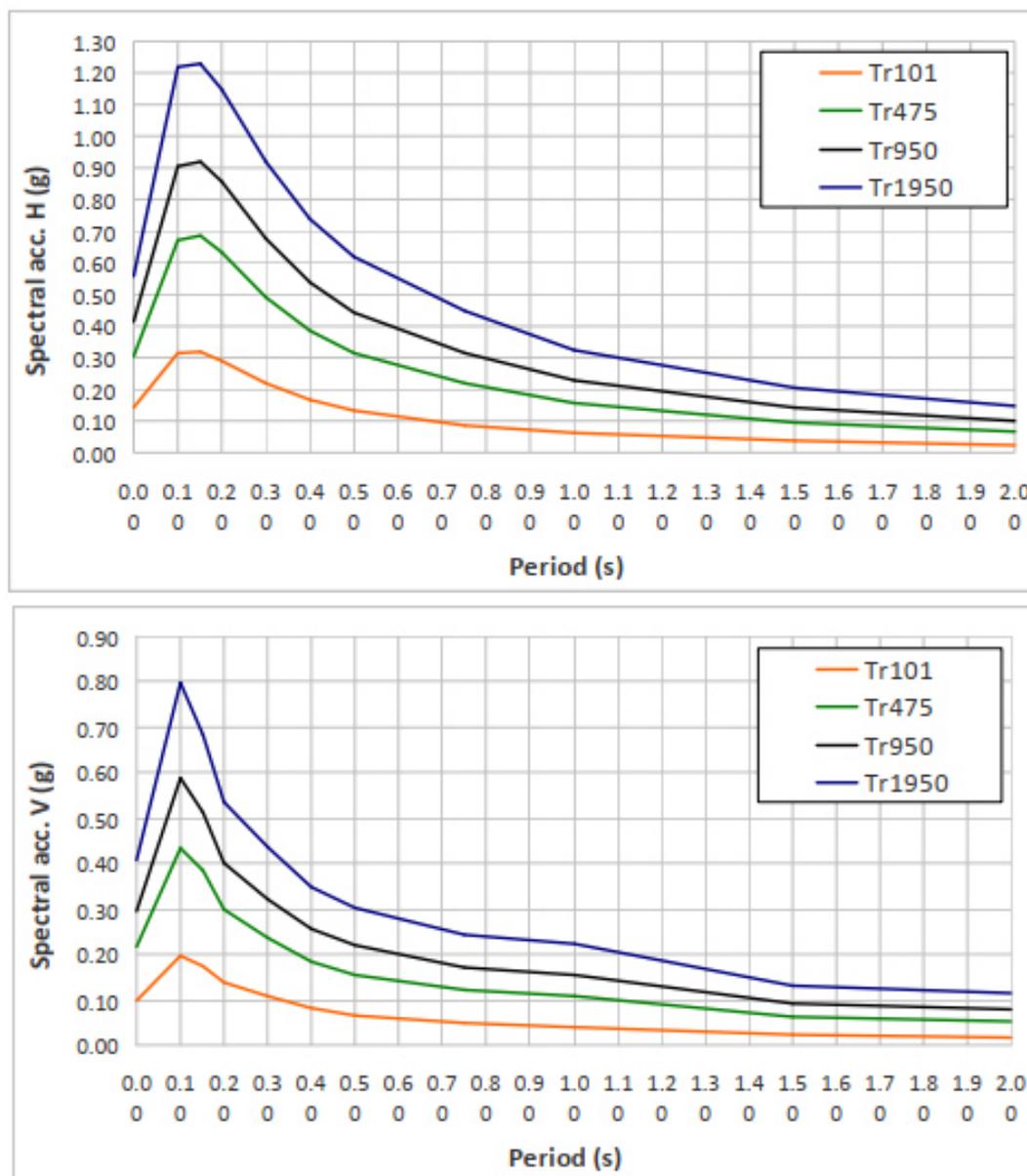


Figura 6-2 – UHRS medi calcolati per il sito di Trepidò per i tre periodi di ritorno 101, 475 e 1950 e confronto con gli spettri da Normativa Sismica NTC18 [27].

La **Figura 6-3** illustra gli spettri UHRS in direzione orizzontale e verticale ottenuti dallo studio di pericolosità sismica.

Gli interventi in progetto sono stati dimensionati e verificati mediante analisi dinamiche a time – history, in cui l'input sismico è fornito da una serie di accelerogrammi naturali, selezionati da OGS nell'ambito dell'aggiornamento dello studio sismotettonico.



UHRs medi da rivalutazione della pericolosità sismica OGS del 2020									
Componente orizzontale					Componente verticale				
T	Tr101	Tr475	Tr950	Tr1950	T	Tr101	Tr475	Tr950	Tr1950
(s)	(g)	(g)	(g)	(g)	(s)	(g)	(g)	(g)	(g)
0.00	0.143	0.307	0.415	0.557	0.00	0.099	0.217	0.297	0.408
0.10	0.314	0.671	0.907	1.22	0.10	0.197	0.433	0.588	0.797
0.15	0.319	0.684	0.92	1.23	0.15	0.175	0.383	0.514	0.683
0.20	0.29	0.632	0.856	1.15	0.20	0.139	0.298	0.401	0.535
0.30	0.217	0.491	0.675	0.919	0.30	0.107	0.237	0.323	0.438
0.40	0.166	0.385	0.536	0.737	0.40	0.082	0.185	0.255	0.348
0.50	0.132	0.316	0.444	0.617	0.50	0.067	0.156	0.219	0.302
0.75	0.088	0.22	0.315	0.446	0.75	0.049	0.121	0.172	0.242
1.00	0.061	0.157	0.227	0.324	1.00	0.04	0.107	0.156	0.223
1.50	0.036	0.097	0.142	0.205	1.50	0.022	0.062	0.092	0.133
2.00	0.025	0.069	0.102	0.147	2.00	0.018	0.053	0.079	0.115

Figura 6-3 – Spettri di risposta UHR nella direzione orizzontale H e verticale V derivati dallo studio probabilistico di pericolosità sismica [27]

7. PROPRIETÀ DEI MATERIALI CHE COSTITUISCONO LO SBARRAMENTO

7.1 Generalità

Le proprietà dei materiali che costituiscono gli sbarramenti principale e secondario della diga sono stati stimati sulla base dei risultati delle campagne di indagini precedentemente descritti, con particolare riferimento alle campagne ISMES 1987-1989 e 2021.

L'elaborazione dei risultati delle indagini eseguite e la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche sia dei materiali costituenti la diga che della roccia di fondazione, è stata eseguita da ISMES ed è illustrata nel documento [28].

Le risultanze del lavoro di caratterizzazione sono state poi utilizzate dal progettista per la definizione dei dati di progetto da utilizzare nelle verifiche di stabilità e nelle verifiche strutturali del corpo diga.

Nel presente capitolo si riporta una sintesi del lavoro di caratterizzazione contenuto nel documento [28], rimandando alla relazione strutturale (10320-C-OR-DTR-C-RT-211) per le valutazioni relative alla selezione dei valori di progetto.

7.2 Materiali costituenti lo sbarramento principale

Come descritto in precedenza, lo sbarramento principale è costituito da muratura di pietrame granitico e metamorfico con malta cementizia. Lungo tutto lo sviluppo della diga è presente un basamento in calcestruzzo di spessore metrico che si intesta nella roccia di fondazione.

La **muratura** che costituisce lo sbarramento principale è costituita da malta e pietrame (Figura 7-1). La **malta** è un legante cementizio e sabbia in cui sono immersi numerosi clasti lapidei di dimensioni molto eterogenee (da pochi millimetri a valori pluricentrici). Il **pietrame** è costituito da blocchi lapidei non squadrati di dimensioni decimetriche e di diversa litologia. La distribuzione dei clasti e dei blocchi lapidei è complessivamente molto eterogenea sia in direzione verticale sia sub orizzontale. Una stima orientativa molto semplificata della percentuale di pietrame e malta indicherebbe una percentuale di pietrame del 40% e del 60% di malta.

Il **calcestruzzo** che costituisce il basamento della diga ha una granulometria più regolare degli aggregati rispetto alla muratura (Figura 7-1). La massima dimensione degli aggregati è di 30-40 mm. La matrice cementizia si presenta di porosità media con microporosità diffusa e pori di dimensione da 2 mm a 6 mm distribuiti irregolarmente.

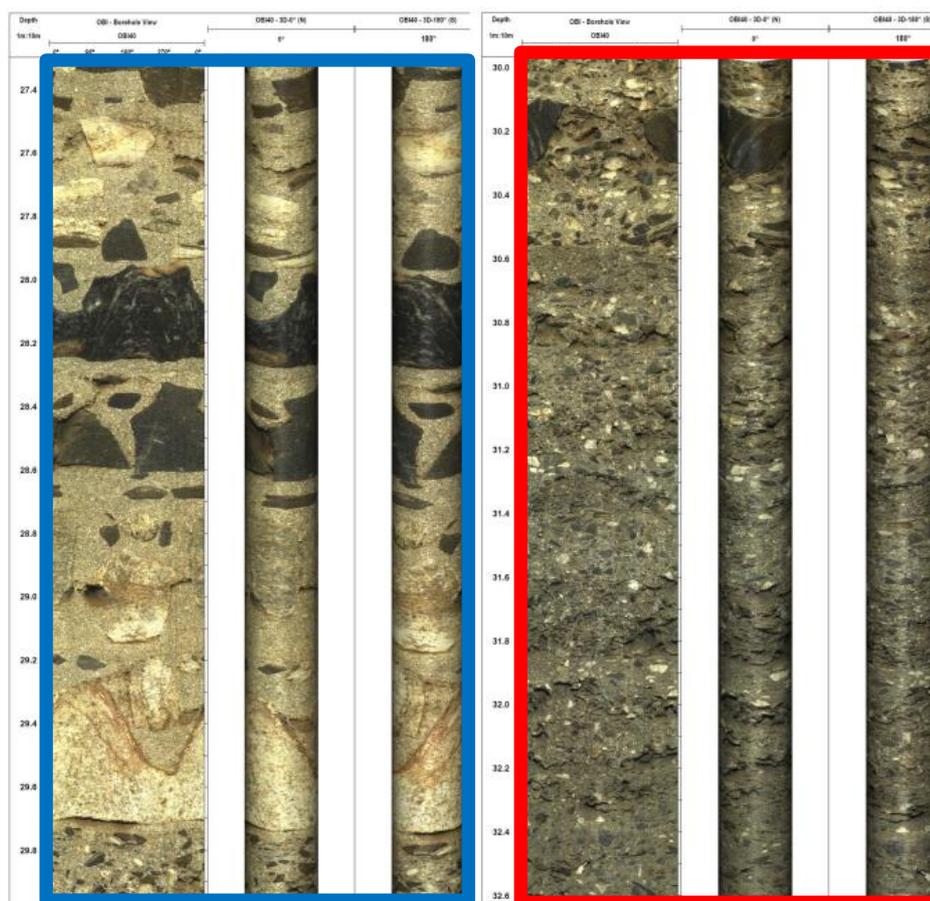


Figura 7-1 – Indagini BHTV, tessitura della muratura (incorniciato in blu) e del calcestruzzo nel corpo diga (incorniciato in rosso)

Le principali proprietà fisiche e meccaniche della malta, del pietrame e del calcestruzzo di fondazione sono riportate nella Tabella 17.

Parametro	Simbolo [u.m.]	Malta	Pietrame	Cls basamento
Peso dell'unità di volume	γ [kN/m ³]	22,7	26,8	21,6
Resistenza media compressione	f_{cm} [Mpa]	19,4	77,5	23,8
Resistenza caratteristica a compressione	f_{ck} [MPa]	11,8		9,1
Resistenza media a trazione	f_{ctm} [MPa]	2,9		2,7
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk} [MPa]	1,9÷2,0		1,9
Modulo elastico	E_c [GPa]	15,0÷19,0	33,6	15,0
Coefficiente di Poisson	ν [-]	0,27	0,34	0,25

Tabella 17: Proprietà della malta costituenti la muratura, del pietrame e del calcestruzzo di basamento dello sbarramento principale.

7.3 Materiali costituenti lo sbarramento secondario e i piloni

Il **calcestruzzo** che costituisce lo sbarramento secondario e i piloni destro e sinistro ha caratteristiche simili in termini dimensionali al calcestruzzo del basamento dello sbarramento principale.

Le principali proprietà fisiche e meccaniche del calcestruzzo dello sbarramento secondario e dei piloni sono riportate nella Tabella 18.

Parametro	Simbolo [u.m.]	Sbarramento secondario	Piloni sx e dx
Peso dell'unità di volume	γ [kN/m ³]	21,6	21,6
Resistenza media compressione	f_{cm} [Mpa]	23,8	15,6
Resistenza caratteristica a compressione	f_{ck} [MPa]	9,1	5,2
Resistenza media a trazione	f_{ctm} [MPa]	2,7	1,8
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk} [MPa]	1,9	1,3
Modulo elastico	E_c [GPa]	20,5	14,1
Coefficiente di Poisson	ν [-]	0,25	0,25

Tabella 18: Proprietà del calcestruzzo dello sbarramento secondario e dei piloni

8. INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA DIGA

8.1 Premessa

La capacità della diga di Trepidò di assorbire sismi di notevole intensità è stata valutata mediante modelli ed analisi a complessità crescente, che hanno messo in luce i meccanismi di collasso più probabili. La snellezza della parte superiore dello sbarramento principale in muratura agevola la comparsa di quadri fessurativi, con possibile innesco di cinematismi di scorrimento soprattutto nelle condizioni statiche immediatamente successive ad un terremoto severo. L'eterogeneità della muratura in pietrame emersa dalle indagini ha comportato una certa difficoltà nella completa caratterizzazione dei parametri meccanici e fisici del materiale stesso, pertanto, in virtù dell'importanza e dell'età dell'opera, gli interventi di miglioramento sono stati dimensionati seguendo un approccio progettuale prudente e cautelativo, riducendo quindi i valori dei parametri ottenuti dalle indagini.

L'intervento principale è rappresentato sicuramente dalla creazione di un rilevato in materiali sciolti da realizzare in aderenza al paramento di monte dello sbarramento principale, quale opera di presidio nei confronti dei possibili cinematismi di scorrimento. La posizione di tale rilevato non interferisce con il deflusso delle acque provenienti dallo scarico di superficie. Con riferimento ai risultati delle indagini effettuate, assumono notevole importanza anche gli interventi finalizzati al consolidamento sia del corpo diga esistente che della parte di roccia di fondazione a contatto con la diga. Con le iniezioni di consolidamento sarà anche creato uno schermo di tenuta a monte delle nuove canne di drenaggio, ad integrazione e completamento del previsto rifacimento del manto superficiale del paramento di monte.

L'attuale sistema di drenaggio che consente di intercettare le permeazioni della sola porzione superiore dello sbarramento sarà abbandonato mentre il nuovo, conforme agli standard normativi, sarà esteso fino alla roccia di fondazione.

La presenza del rilevato comporta necessariamente una serie di accorgimenti finalizzati al convogliamento, a valle dello stesso, delle acque provenienti sia dallo scarico di fondo, che dal sistema di raccolta delle perdite. Per tale scopo è stato progettato un cunicolo che, a partire dall'attuale camera di manovra della valvola a farfalla dello scarico di fondo, attraversa tutto il rilevato. Tale camera di manovra sarà demolita per lasciar spazio ad una di più ampie dimensioni, che potrà ospitare due nuove paratoie con cui gestire lo scarico di fondo.

Anche lo scarico di alleggerimento della diga sarà oggetto di una manutenzione straordinaria che prevede anche la sostituzione degli organi idraulici e dei relativi sistemi di movimentazione.

La nuova strada di accesso al piede di valle della diga si rende necessaria sia per la realizzazione degli interventi previsti in progetto che, in fase di esercizio dell'opera, per l'accesso alle nuove paratoie di intercettazione dello scarico di fondo, anche in funzione di eventuali loro interventi di

manutenzione/sostituzione. L'accessibilità alle stesse tramite gru posizionata sul coronamento della diga esistente sarà infatti inibita dalla presenza del rilevato. Vale la pena ricordare come l'efficienza e la rapidità manutentiva degli organi idraulici e quindi la loro agevole accessibilità, è fondamentale non solo per ripristinare eventuali danneggiamenti a seguito terremoti di notevole intensità, ma anche per eseguire manovre di emergenza.

La progettazione ha curato attentamente gli aspetti legati all'inserimento ambientale e paesaggistico delle opere, a partire dalla larghezza della strada di accesso che è la minima indispensabile per il transito, con unico senso di marcia di mezzi necessari per la manutenzione. La pavimentazione della strada sarà realizzata con terre stabilizzate, le opere di sostegno con gabbioni rinverdibili e terre rinforzate, le barriere di sicurezza rivestite in legno ed anche le scarpate saranno rinverdite.

Rientrano nel perimetro degli interventi sia l'integrazione dell'attuale sistema di monitoraggio della diga muraria che l'installazione di idonea strumentazione per il monitoraggio del nuovo rilevato.

Gli interventi di miglioramento sismico della diga previsti nel presente Progetto Definitivo sono sintetizzati nella Tabella 19 e descritti in dettaglio nei seguenti paragrafi.

INTERVENTO	OBIETTIVO
Interventi di consolidamento e impermeabilizzazione	
Sbarramento principale - Iniezioni Esecuzioni di iniezioni cementizie nel corpo diga, al contatto diga-fondazione e nei primi metri della fondazione dello sbarramento principale.	Consolidamento e riduzione della permeabilità del corpo diga, del contatto diga fondazione e dei primi metri della fondazione
Sbarramento secondario - Iniezioni Esecuzioni di iniezioni cementizie nel corpo diga dello sbarramento secondario.	Consolidamento e riduzione della permeabilità della parte superiore del corpo diga
Barre di cucitura in cresta Installazione di barre passive nella porzione superiore degli sbarramenti principale e secondario.	Consolidamento strutturale della parte sommitale della diga al fine di garantirne la stabilità nel caso di evento sismico.
Ripristino del manto superficiale del paramento di monte Demolizione parziale del rivestimento del paramento di monte e ricostruzione dello stesso con malta strutturale.	Miglioramento delle caratteristiche meccaniche e di tenuta del paramento di monte.
Interventi di drenaggio	
Nuovo sistema di drenaggio Intasamento del sistema esistente e realizzazione di un nuovo sistema di drenaggio dello sbarramento principale.	Riduzione delle sottopressioni nel corpo diga e in fondazione dello sbarramento principale
Interventi di stabilizzazione	
Nuovo rilevato in materiali sciolti Realizzazione di un rilevato in materiali sciolti a ridosso del paramento di valle dello sbarramento principale.	Miglioramento delle condizioni di stabilità della diga in condizioni statiche, sismiche e post-sismiche.
Ripristino e realizzazione di nuove opere in calcestruzzo	
Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio Realizzazione di un nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio al piede di valle dello sbarramento principale.	Raccolta delle acque del nuovo sistema di drenaggio. Ispezione della base del paramento di valle esistente e del sistema di drenaggio. Accesso alla nuova camera paratoie dello scarico di fondo dalla spalla destra e sinistra.

Nuova camera paratoie dello scarico di fondo Realizzazione di una nuova camera paratoie dello scarico di fondo.	Installazione e manovra delle nuove paratoie di valle installate sullo scarico di fondo.
Nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo Realizzazione di un nuovo cunicolo di accesso e scarico di fondo e relative opere di dissipazione/protezione allo sbocco	Accesso da valle alla nuova camera paratoie. Prolungamento, a valle del rilevato, dello scarico di fondo esistente.
Nuova cabina di controllo Realizzazione di un nuovo manufatto con la funzionalità di cabina di controllo dei nuovi organi di controllo dello scarico di fondo.	Installazione della centralina oleodinamica e del quadro di comando delle nuove paratoie
Prolungamento del cunicolo di drenaggio in spalla sinistra	Garantire il corretto smaltimento delle perdite raccolte dall'esistente cunicolo di drenaggio in spalla sinistra
Manutenzione straordinaria cunicoli esistenti Manutenzione straordinaria dei cunicoli di drenaggio esistenti (cunicoli di drenaggio del taglione dello sbarramento secondario, cunicolo di drenaggio in spalla sinistra).	Pulizia e risanamento dei cunicoli esistenti.
Accessi	
Nuova strada di accesso a valle diga	Garantire accesso temporaneo (durante la costruzione) e permanente (per le esigenze di esercizio e manutentive) a valle del rilevato in materiali sciolti (cabina di controllo, cunicolo di acceso/scarico di fondo) e alla berma superiore del rilevato stesso.
Organi di scarico – opere idromeccaniche	
Adeguamento e integrazione degli organi idromeccanici dello scarico di fondo.	Manutenzione straordinaria delle condotte e installazioni nuovi organi di intercettazione idraulica e dei relativi sistemi di controllo.
Adeguamento e integrazione degli organi idromeccanici dello scarico di alleggerimento.	Manutenzione straordinaria delle condotte e installazioni nuovi organi di intercettazione idraulica e dei relativi sistemi di controllo.
Monitoraggio	
Integrazione del sistema di monitoraggio della diga	Integrazione del sistema di monitoraggio esistente (sottopressioni, misure dinamiche, deformazioni in fondazione, ecc.) e installazione strumentazione sul rilevato in materiali sciolti.

Tabella 19: Interventi di miglioramento sismico della diga

8.2 Iniezioni di consolidamento e impermeabilizzazione

8.2.1 Generalità

Il progetto prevede i seguenti interventi di consolidamento e impermeabilizzazione tramite iniezioni:

1. Iniezioni dal coronamento dello sbarramento principale;
2. Iniezioni dal coronamento dello sbarramento secondario in spalla sinistra;
3. Iniezioni dal paramento di valle dello sbarramento principale.

Lo schema generale delle iniezioni e il loro obiettivo sono descritti nei seguenti paragrafi. Per quanto riguarda le specifiche tecniche previste per l'esecuzione delle iniezioni, che comprendono in particolare:

- composizione della miscela d'iniezione da adottare;
- metodologia di iniezione;
- modalità operative per l'esecuzione delle iniezioni;
- prove di controllo.

si rimanda alla relazione dedicata del progetto definitivo (10320-C-OR-DTR-C-RT-217).

8.2.2 Iniezioni dal coronamento dello sbarramento principale

Sull'intero sviluppo del coronamento dello sbarramento principale è prevista l'esecuzione di due file di iniezioni eseguite approssimativamente a una distanza di un metro dai paramenti di monte e di valle.

Le iniezioni previste hanno le seguenti finalità:

- consolidare e rendere meno permeabile la porzione superiore dello sbarramento (cresta diga);
- consolidare e rendere meno permeabile la porzione di monte dello sbarramento;
- consolidare la porzione di monte del contatto diga-fondazione e dei primi metri dell'ammasso roccioso;
- schermo di tenuta (solo fila di monte).

Si prevede di realizzare per entrambe le file almeno una serie di iniezioni con interasse 2,4 m.

La fila di valle sarà estesa dal coronamento per una profondità di circa 21 - 22 m, in modo da consolidare la parte superiore della diga che sarà interessata dall'inserimento delle barre di cucitura (vedi par. 8.3). La fila di monte, che ha anche la funzionalità di schermo di tenuta, sarà estesa fino a circa 8 m al di sotto del contatto diga-fondazione (lunghezze variabili tra 30 e 45 m)

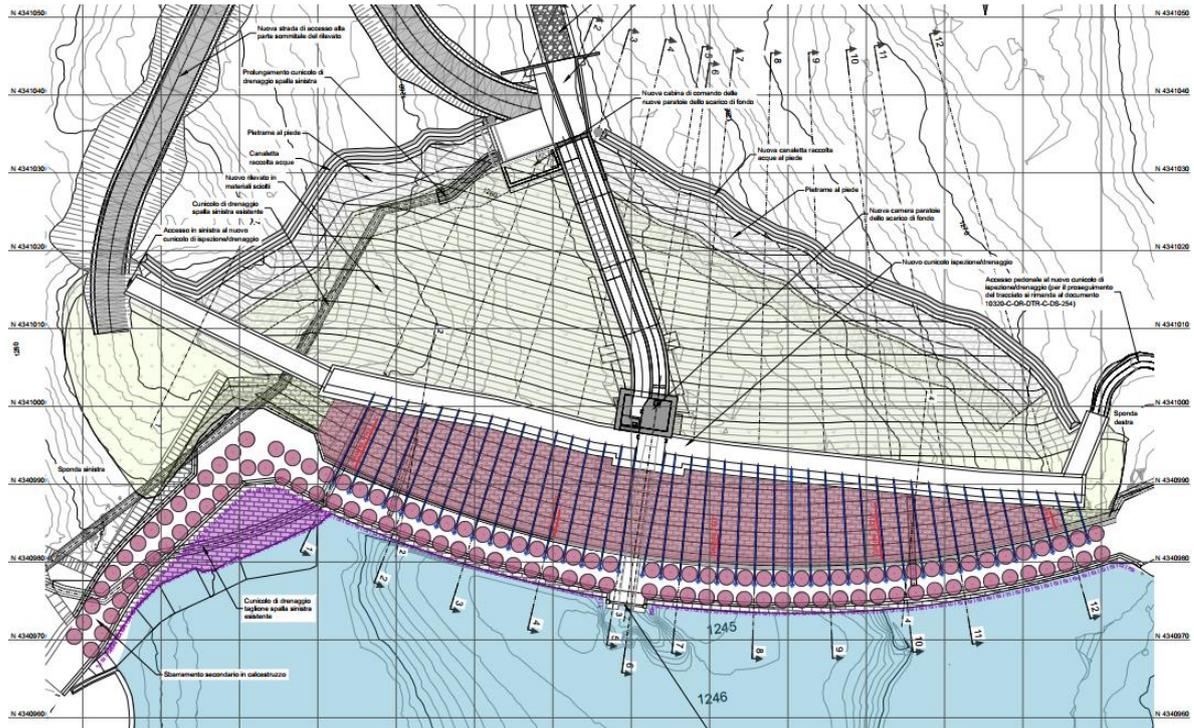


Figura 8-1 – Stralcio planimetrico con indicazione dell'ubicazione delle iniezioni eseguite dal coronamento dello sbarramento principale e dello sbarramento secondario

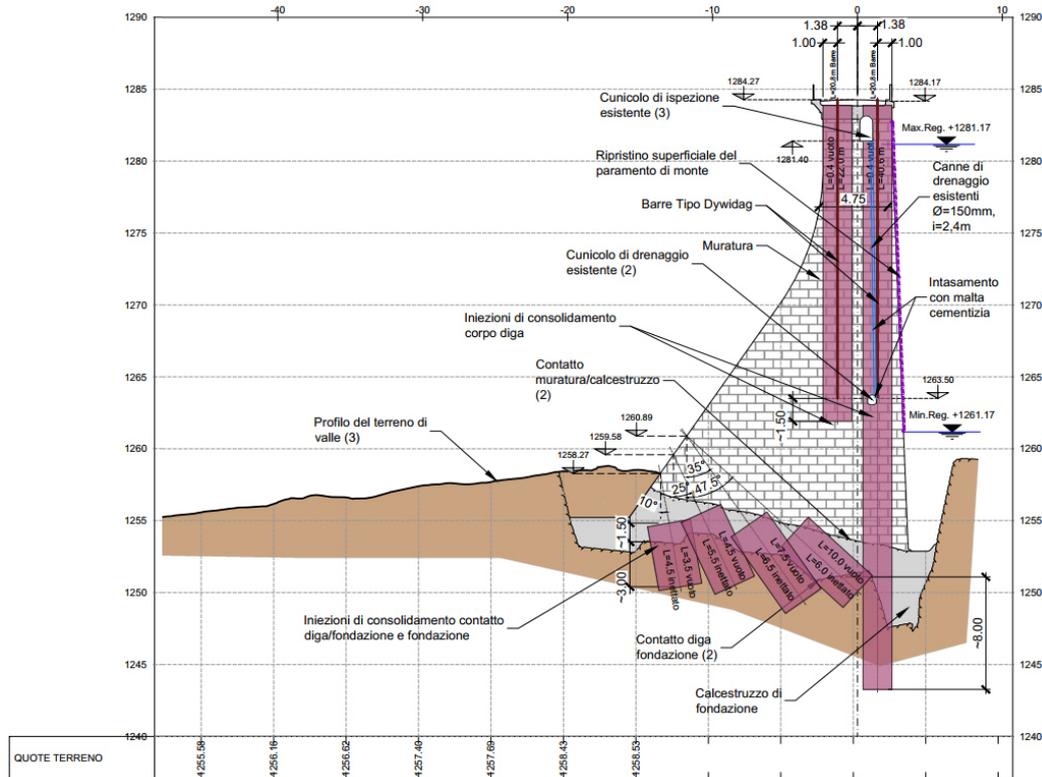


Figura 8-2 – Iniezioni dal coronamento e dal paramento di valle dello sbarramento principale, sezioni trasversale

8.2.3 Iniezioni dal coronamento dello sbarramento secondario

Per consolidare la porzione superiore dello sbarramento secondario si prevede l'esecuzione dal coronamento di due file di iniezioni approssimativamente a una distanza di un metro dai paramenti di monte e di valle.

Nella porzione di maggior altezza dello sbarramento le iniezioni saranno approfondite fino a circa 5 m al di sotto del cunicolo di alleggerimento inferiore (quota 1271,00 m s.l.m.). Nella porzione di minor altezza dello sbarramento le iniezioni saranno spinte fino a circa 1 m all'interno del calcestruzzo di fondazione. Si prevede di realizzare almeno una serie di iniezioni con interasse 2,4 m, in analogia con quanto previsto per lo sbarramento principale.

8.2.4 Iniezioni dal paramento di valle dello sbarramento principale

Per consolidare il contatto diga-fondazione e l'ammasso roccioso sotto la fondazione dello sbarramento principale, si prevede un intervento di cucitura da realizzarsi mediante iniezioni cementizie.

Le iniezioni saranno spinte da circa 1,5 m al di sopra del contatto diga-fondazione fino a una profondità di 3 m sotto il piano di fondazione della diga e saranno eseguite dal paramento di valle (Figura 8-2). Si prevede di realizzare almeno una serie di iniezioni con interasse 2,4 m in accoppiamento con la posizione dei consolidamenti eseguiti dal coronamento.

Per ogni postazione si prevede di eseguire delle raggiere costituite da 3 o 4 file di iniezioni con inclinazioni diverse al fine di interessare l'intero volume di ammasso roccioso sotto la fondazione, entro la profondità di intervento sopracitata. Le singole file avranno lunghezza variabile tra circa 5 e circa 15 m e saranno eseguite ad un'altezza di qualche metro dal piede di valle della diga.

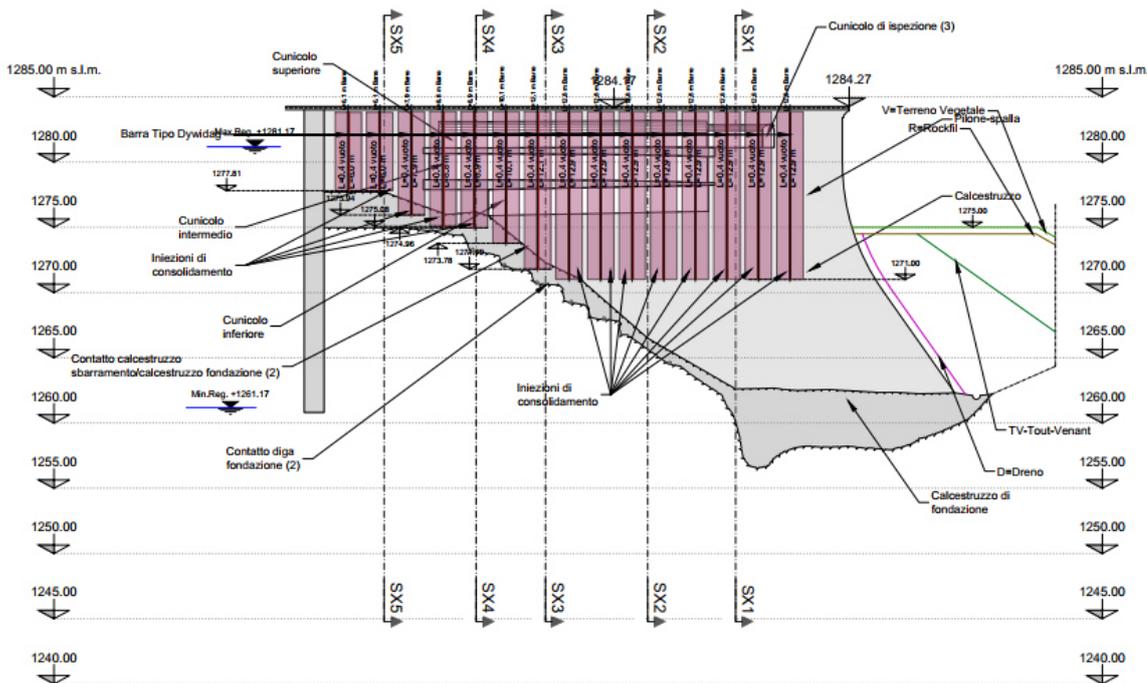


Figura 8-3 – Iniezioni dal coronamento dello sbarramento secondario, sezione longitudinale

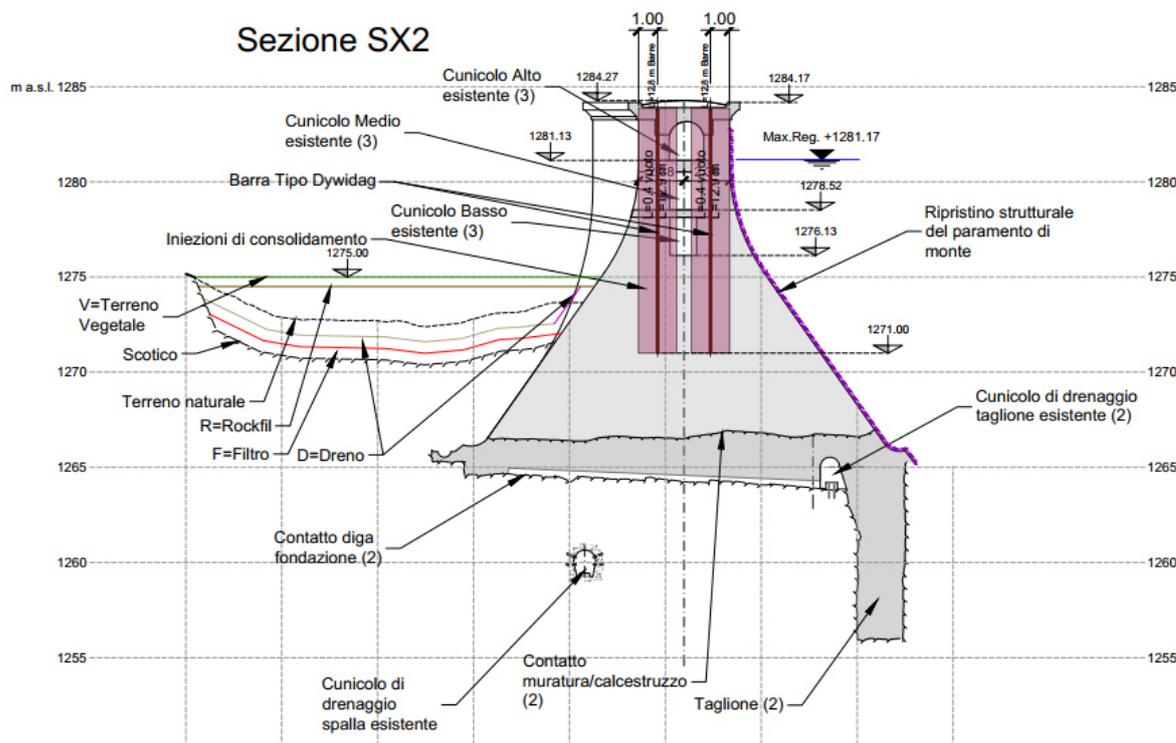


Figura 8-4 – Iniezioni dal coronamento dello sbarramento secondario, sezione trasversale

8.3 Barre di cucitura in cresta

La parte sommitale dello sbarramento principale è particolarmente snella, con inclinazione quasi verticale sia a monte che a valle e spessore minimo di 4,75 m. Le analisi numeriche in condizioni di sisma SLC evidenziano delle accelerazioni e conseguentemente delle sollecitazioni significativamente non sopportabili dalla struttura nelle condizioni attuali. Considerazioni analoghe possono essere condotte per lo sbarramento secondario in calcestruzzo che, anche se di minore altezza, possiede una porzione sommitale strutturalmente indebolita dalla presenza dei tre cunicoli di alleggerimento.

Per i motivi sovra esposti è stata prevista, tra gli interventi progettuali, l'installazione di barre passive di cucitura eseguite dal coronamento per l'intero sviluppo degli sbarramenti principale e secondario. L'intervento ha lo scopo di collegare la parte superiore molto snella e vulnerabile degli sbarramenti a quella inferiore più massiva, trasmettendo i carichi in caso di sisma estremo.

Si prevede in particolare di installare le barre con le seguenti caratteristiche:

- Tipologia di barre: DYWIDAG GEWI PLUS S670/800

- Diametro barra: 75 mm
- Diametro perforazione: min. 120 mm
- Inghisaggio barre: Boiaccia cementizia antiritiro ($R_{ck} \geq 30$ MPa)
- Spaziatura: 2,4 m
- Lunghezza:
 - Sbarramento principale: ca. 12÷20 m
 - Sbarramento secondario: ca. 6 ÷ 13 m

Come illustrato nelle figure riportate precedentemente le barre saranno approssimativamente installate in corrispondenza delle perforazioni effettuate per le iniezioni di consolidamento dal coronamento. Le barre avendo la stessa spaziatura delle nuove canne di drenaggio verticali saranno equi spaziate ed intervallate alle canne stesse.

8.4 Nuovo sistema di drenaggio dello sbarramento principale

Come descritto in precedenza, l'attuale sistema di drenaggio interessa solo la porzione superiore dello sbarramento mentre il terzo inferiore e la fondazione non sono drenati.

Al fine di ridurre le sottopressioni agenti sul corpo diga e quindi migliorare sensibilmente le condizioni di stabilità dello sbarramento sia in condizioni statiche sia durante potenziali eventi sismici, è stato previsto in progetto un nuovo sistema di drenaggio dell'intero corpo diga e della fondazione. Il sistema di drenaggio esistente (canne drenanti e cunicolo) sarà intasato prima dell'esecuzione delle iniezioni di consolidamento dal coronamento della diga.

Il nuovo sistema di drenaggio sarà realizzato mediante i due seguenti interventi (Figura 8-5):

- **Nuove canne drenanti verticali eseguite dal coronamento**

Le canne drenanti saranno verticali e saranno realizzate dal coronamento della diga. Esse termineranno alcuni metri sotto la fondazione. La lunghezza massima prevista è di circa 40 m. I drenaggi avranno diametro finale di 200 mm e interasse di 2.4 m (i drenaggi saranno alternati alle barre di cucitura in cresta precedentemente descritte). I drenaggi saranno posizionati ad una distanza dal coronamento di monte indicativamente di 3,0 m (tale posizione, che dovrà essere definita in dettaglio nel campo prove previsto in progetto, dovrà garantire che le perforazioni non intercettino i sottostanti cunicoli orizzontali di drenaggio e di ispezione).

- **Nuove canne drenanti sub-orizzontali eseguiti dal piede del paramento di valle**

Le canne drenanti sub-orizzontali saranno realizzate per quanto possibile all'interno del calcestruzzo di basamento perforando dal paramento di valle in corrispondenza del piede della diga. I drenaggi avranno diametro minimo di 200 mm e interasse di 2.4 m. La lunghezza dei drenaggi è variabile da pochi metri (nelle spalle) a circa 10-15 m (nella zona centrale). L'inclinazione dei drenaggi sarà dell'ordine dei 10-15°.

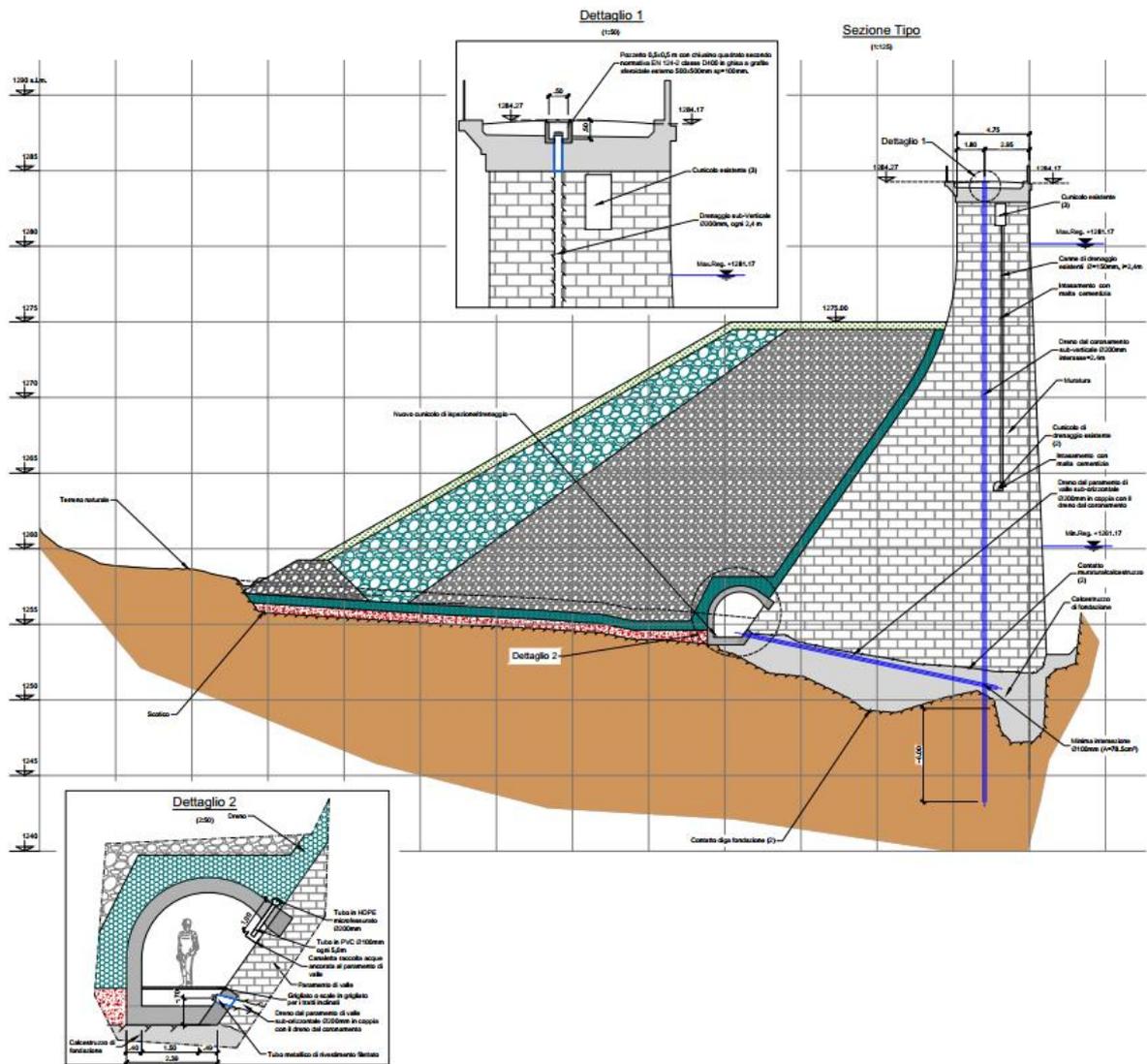


Figura 8-5 – Nuovo sistema di drenaggio dello sbarramento principale, sezione tipologica

Elemento fondamentale per il corretto funzionamento del sistema è che tutte le canne sub-orizzontali intercettino le relative canne verticali. Affinché ciò sia possibile è richiesta una **precisione esecutiva molto elevata** e per questo, al fine di comprendere la fattibilità esecutiva dell'intervento e definire le modalità operative più idonee al raggiungimento dell'obiettivo, come descritto più avanti nella relazione, è stata prevista la realizzazione di un propedeutico campo prova. L'esperienza maturata durante il campo prova consentirà anche di redigere delle specifiche tecniche dettagliate da applicare durante l'esecuzione dell'intervento.

8.5 Ripristino del manto superficiale del paramento di monte

Il paramento di monte dello sbarramento principale fu intonacato originariamente con uno strato di gunite di spessore minimo 3 cm rivestito da uno strato di Inertol. Un intervento di ripristino del paramento con gunite e prodotti elastomerici è stato effettuato nel 1987. Attualmente non si hanno

informazioni di dettaglio sullo stato di consistenza del rivestimento del paramento di monte ma si ritiene che dopo oltre 30 anni dall'ultimo intervento sia necessario eseguire un intervento di manutenzione straordinaria dello stesso.

In particolare, si prevede il ripristino del paramento di monte degli sbarramenti principale e secondario attraverso l'utilizzo di una malta strutturale.

Il ripristino è previsto dalla quota di minima regolazione fino al coronamento per le seguenti due motivazioni principali:

- evitare di svuotare completamente l'invaso per ragioni sia ambientali che di gestione dello stesso;
- in genere il degrado superficiale del paramento di monte è maggiore alle quote dove c'è alternanza di asciutto e bagnato; si ritiene pertanto che le superfici che rimangono costantemente sommerse siano ancora in buono stato di conservazione .

Tra le diverse alternative studiate per il trattamento del paramento di monte sono state considerate anche quelle di impermeabilizzazione dello stesso attraverso l'applicazione di un manto in PVC o di una membrana a spruzzo. Si è scelto di applicare una malta strutturale, con bassa permeabilità ma comunque non completamente stagna, sulla base delle seguenti considerazioni:

- le perdite attualmente misurate in diga sono relativamente modeste (circa 3 l/s);
- in progetto sono già previsti interventi di consolidamento e impermeabilizzazione del corpo diga che ridurranno la permeabilità degli sbarramenti;
- in progetto è previsto un nuovo sistema di drenaggio per l'intercettazione e la gestione delle perdite;
- l'intervento di ripristino è localizzato nell'area del paramento dove sono previste oscillazioni regolari della quota dell'invaso con conseguente rischio di pressioni negative.

Si prevede di eseguire l'intervento di ripristino attraverso la seguente procedura:

- valutazione dello stato di consistenza del paramento di monte e dell'impermeabilizzazione dei giunti di dilatazione dello sbarramento principale attraverso l'esame visivo del paramento e l'esecuzione di sondaggi e di prove di laboratorio (vedere il capitolo 11);
- asportazione meccanica parziale o totale di tutte le porzioni di intonaco ammalorato o in fase di distacco fino a ottenere un supporto sano, coeso, meccanicamente resistente e ruvido;
- applicazione della malta cementizia fibrorinforzata idonea per il ripristino di calcestruzzi;
- impermeabilizzazione dei giunti di movimento della diga tramite sigillante a basso modulo applicato in uno scasso appositamente predisposto.
- I residui solidi derivanti dall'asportazione meccanica dell'intonaco ammalorato confluiranno alla base della zona di intervento sul paramento di monte della diga, ove saranno raccolti per essere poi trattati, attraverso la posa di opportuni sistemi (teli, casoni, pedane) assicurati al paramento stesso.

8.6 Realizzazione di un nuovo rilevato in materiali sciolti

La realizzazione di un nuovo rilevato in materiali sciolti in adiacenza al paramento di valle dello sbarramento ha l'obiettivo principale di migliorare le condizioni di stabilità della diga in condizioni sismiche e post-sismiche.

La geometria del rilevato di valle è illustrata nella Figura 8-6 e nella Figura 8-7. Il rilevato sarà realizzato a ridosso del paramento di valle della diga al di sotto della quota 1275,00 m s.l.m. e si estenderà per l'intero sviluppo longitudinale della diga principale e per una porzione dello sbarramento secondario in spalla sinistra.

Le principali caratteristiche geometriche del rilevato sono di seguito elencate:

- Quota superiore: 1275 m s.l.m.
- Larghezza berma superiore: ca. 14 m
- Pendenza di valle: 1,75(o):1,00 (v)
- Volume: ca. 40'000 m³

Come descritto in dettaglio nella relazione strutturale (10320-C-OR-DTR-C-RT-211) la geometria del rilevato è stata ottimizzata sulla base dei risultati dell'analisi di stabilità. In particolare, rispetto alla geometria proposta nel PFTE si è scelto di aumentare la larghezza della berma superiore in modo da massimizzare la componente stabilizzante del peso del rilevato sulla diga a scapito di un modesto aumento di volume.



Figura 8-6 – Geometria del rilevato di valle, planimetria

Il corpo centrale del rilevato sarà realizzato con **Tout-venant (T)**, mentre la zona in prossimità del nuovo paramento di valle sarà realizzata, per motivi di stabilità, con materiale selezionato di pezzatura maggiore (**R = Rockfill**).

Lo strato di rockfill avrà spessore variabile con un minimo in cresta di circa 3,5 m. L'interfaccia tra tout-venant e rockfill avrà una pendenza approssimativa di 36° rispetto all'orizzontale.

Sono previsti due strati di materiale selezionato al contatto con il paramento di valle della diga e con la fondazione al fine di garantire le funzioni di drenaggio e filtro, in particolare:

- **Filtro (F)**: strato di spessore minimo di 60 cm posato in corrispondenza del contatto fondazione-rilevato. Questo materiale ha la funzione di filtrare le acque provenienti dalla fondazione e impedire l'eventuale trasporto di materiale fino dalla fondazione all'interno del rilevato;
- **Dreno (D)**: strato di spessore minimo di 60 cm posato al contatto con il paramento di valle della diga e al di sopra dello strato filtro. Questo materiale ha la funzione di raccolta e drenaggio delle acque provenienti dalla diga, dalla fondazione e delle eventuali acque di infiltrazione all'interno del rilevato a seguito di eventi meteorici.

Lo strato corticale del rilevato sarà realizzato con terreno vegetale, di spessore 50 cm, al fine di garantire il successivo inerbimento e conseguentemente consentire un inserimento ambientale e paesaggistico ottimale dello sbarramento nel contesto naturale. La porzione di terreno vegetale posata al di sopra del paramento di valle in rockfill sarà opportunamente rinforzata tramite geosintetico al fine di evitare fenomeni di erosione superficiale.

Inoltre, in prossimità del piede di valle del rilevato è prevista una berma realizzata in pietrame (dimensione dei grani 100-800 mm) al fine di evitare fenomeni locali di erosione e/o di dilavamento.

Il corpo del rilevato sarà soggetto a circolazione d'acqua dovuta alle seguenti principali potenziali cause: filtrazioni all'interno del corpo diga, filtrazioni nella fondazione, infiltrazione all'interno del rilevato e ruscellamento superficiale, entrambi causati da eventi meteorici.

Le filtrazioni provenienti dal corpo diga saranno raccolte dal dreno realizzato a ridosso del paramento di valle e convogliate all'interno del nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio tramite una tubazione posizionata sulla volta del cunicolo stesso.

Durante gli eventi meteorici, parte dell'acqua ruscellerà sulla superficie esterna del rilevato e parte potrebbe infiltrarsi all'interno del rilevato stesso.

L'acqua di ruscellamento superficiale sarà raccolta dalla canaletta di guardia al piede del rilevato che convoglierà la portata nell'alveo di valle.

Le acque di infiltrazione percoleranno all'interno del rilevato e saranno raccolte, insieme alle acque provenienti dalla fondazione, dal materiale dreno alla base. Il dreno convoglierà le acque verso l'alveo di valle. Nel caso di eventi meteorici particolarmente intensi, il flusso d'acqua potrebbe circolare anche all'interno del tout-venant e del rockfill.

In corrispondenza dell'impluvio della valle, a ridosso della galleria dello scarico di fondo/cunicolo di accesso, il dreno avrà uno spessore minimo di 1,5 m e, in corrispondenza del nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo, saranno installati, in destra e sinistra, due tubi microfessurati in HPDE di diametro 400 mm.

Le acque raccolte nel centro valle al piede del rilevato saranno convogliate nel canale tramite un adeguato sistema di raccolta e scarico. Per il layout e i dettagli del sistema di drenaggio si rimanda agli elaborati grafici del progetto definitivo.

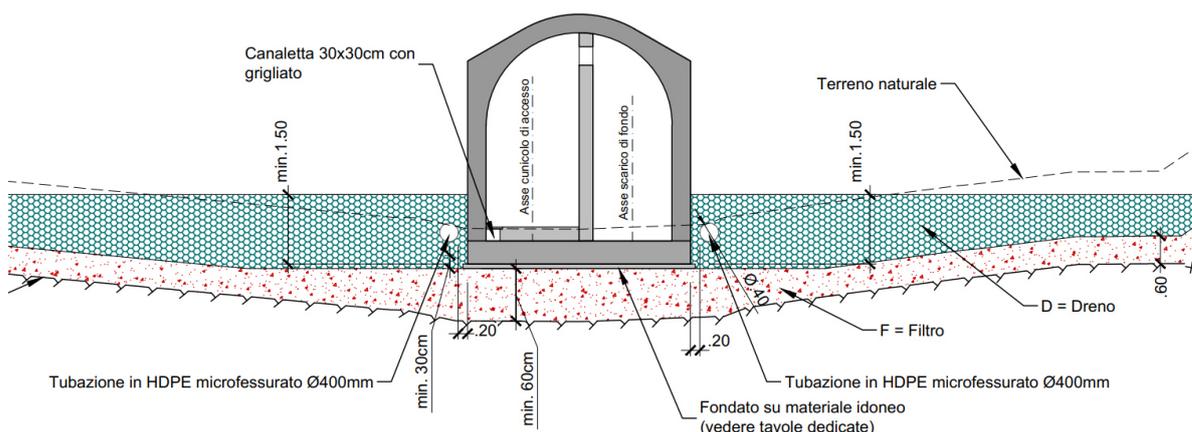


Figura 8-9 – Nuovo rilevato in materiale sciolto, dettaglio della zonazione in corrispondenza della galleria dello scarico di fondo/cunicolo di accesso.

8.7 Nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio

Negli interventi di progetto è prevista la realizzazione di un nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio realizzato in calcestruzzo armato con le seguenti principali funzionalità:

- raccolta delle acque intercettate dal nuovo sistema di drenaggio, dal cunicolo del taglio dello sbarramento secondario esistente e dal drenaggio in spalla sinistra;
- ispezione e manutenzione delle nuove canne di drenaggio sub-orizzontali e della strumentazione installata all'interno del cunicolo;
- ispezione della base del paramento di valle della diga esistente;
- accesso alla nuova camera paratoie dello scarico di fondo dalla spalla destra e sinistra.

Come illustrato nello stralcio planimetrico in Figura 8-10 il nuovo cunicolo sarà realizzato in aderenza al piede del paramento di valle dello sbarramento principale ad eccezione dei due tratti terminali in corrispondenza degli accessi in destra e sinistra. Il nuovo cunicolo si estende per una lunghezza totale approssimativa di 150 m.

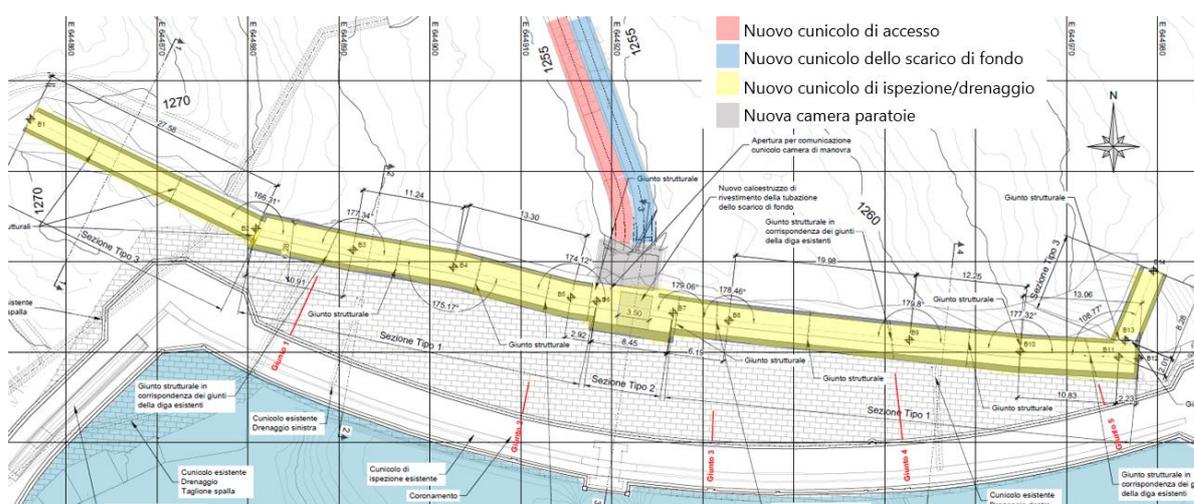


Figura 8-10 – Nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio, planimetria

Lungo lo sviluppo del cunicolo possono essere identificate tre sezioni tipologiche:

Sezione tipo 1: sezione realizzata in aderenza al paramento di valle della diga. Il rivestimento sarà fondato sul calcestruzzo del piede di valle della diga e sarà immerso nel paramento esistente attraverso la realizzazione di scassi sul paramento stesso. Il rivestimento sarà realizzato in calcestruzzo armato con spessori di 40 cm nel piedritto e nella volta e di 50 cm nella soletta di fondazione. Oltre alla predisposizione di uno scasso, la volta sarà collegata al paramento esistente attraverso l'installazione di barre di cucitura.

All'interno del cunicolo si prevede l'installazione di un grigliato (tratto orizzontale) o di una scala in grigliato (tratti inclinati) al di sotto dei quali saranno raccolte le acque provenienti dal sistema di drenaggio. La dimensione interna del cunicolo, al di sopra del piano di calpestio, è pari a 2,2 (larghezza) x 2,5 m (altezza).

Sezione tipo 2: sezione realizzata in corrispondenza dello scarico di fondo. Il cunicolo, progettato con lo stesso approccio metodologico della sezione tipo 1 precedentemente descritta, avrà un'altezza interna maggiore per consentire il passaggio al di sopra della tubazione dello scarico di fondo che, in corrispondenza della sezione in esame, sarà inghiottito all'interno di un blocco di calcestruzzo. Il rivestimento in questo tratto sarà solidale alla nuova camera paratoie. Dal cunicolo si potrà accedere alla camera paratoie attraverso un'apertura realizzata sul lato sinistro del setto di monte della stessa. Il passaggio al di sopra dello scarico di fondo è consentito dalla presente di scale alla marina. L'altezza interna utile al di sopra dello scarico di fondo è pari a 2,15 m.

Sezione tipo 3: le porzioni terminali del cunicolo in sinistra e destra si distaccheranno dal paramento di valle della diga e saranno fondate sul terreno in sito o sui materiali nel nuovo rilevato. Il rivestimento del cunicolo sarà realizzato in calcestruzzo armato con spessori di 40 cm nei piedritti e nella volta e di 50 cm nella soletta di fondazione. All'interno del rivestimento strutturale saranno realizzate delle scale in massetto con canaletta laterale per la raccolta delle acque. La dimensione interna del cunicolo, al di sopra del piano di calpestio, è pari a 2,2 (larghezza) x 2,5 m (altezza).

Il rivestimento del cunicolo sarà sezionato da giunti strutturali impermeabilizzati tramite l'installazione di waterstop.

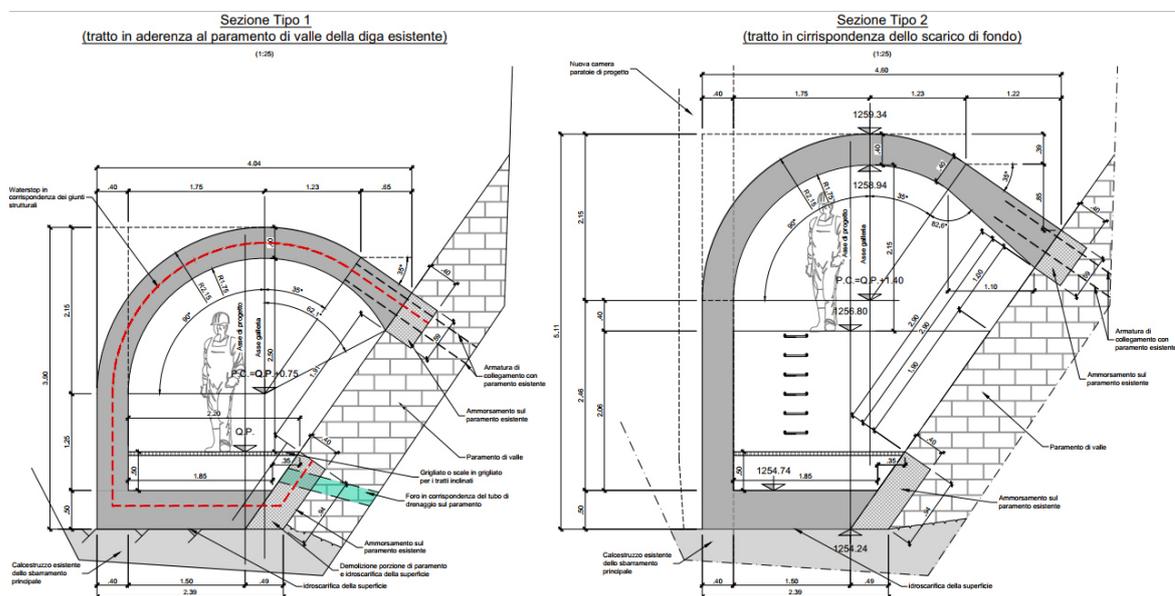


Figura 8-11 – Nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio, sezione tipologiche 1 e 2

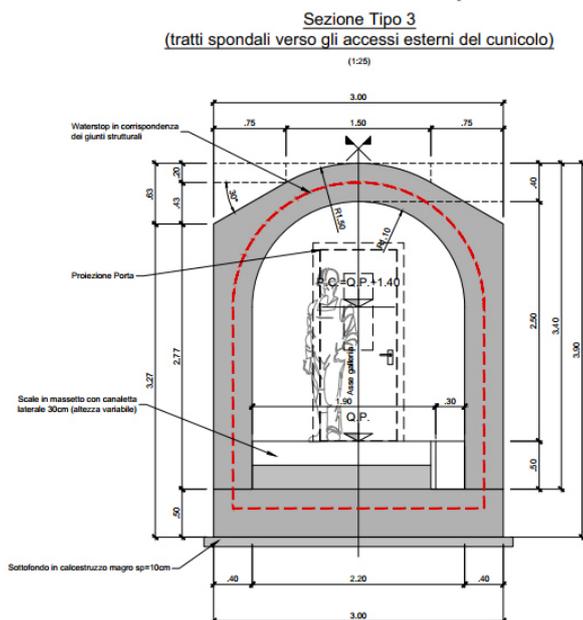


Figura 8-12 – Nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio, sezione tipologica 3

8.8 Nuova camera paratoie dello scarico di fondo

Tra gli interventi progettuali previsti c'è la realizzazione di un nuovo manufatto in calcestruzzo armato per l'installazione delle nuove paratoie piane dello scarico fondo (in sostituzione, come descritto in dettaglio nel paragrafo dedicato allo scarico di fondo, della valvola a farfalla esistente).

Per la realizzazione della nuova camera paratoie si prevede la demolizione totale della parte in elevazione del fabbricato esistente e la parziale demolizione della fondazione in calcestruzzo per la rimozione degli ancoraggi del tratto terminale della tubazione dello scarico di fondo.

Considerando le dimensioni della nuova camera paratoie, descritte di seguito, e lo spazio necessario per la realizzazione a monte del cunicolo di ispezione e drenaggio (sezione tipo 2 sopra descritta), è previsto di estendere il piede di valle della fondazione in calcestruzzo massivo dello sbarramento principale, sia verso monte sia verso sinistra, in modo da realizzare la fondazione della nuova camera paratoie. Il nuovo getto di calcestruzzo armato sarà reso solidale all'esistente prevedendo l'installazione di barre di cucitura verticali e orizzontali.

La camera sarà realizzata in calcestruzzo armato con spessori delle pareti e della soletta di copertura di 70 cm e avrà dimensioni complessive in pianta di 5,3 x 7,4.

La camera paratoie sarà divisa in due settori:

- Settore di sinistra (idraulica): area di accesso alla camera paratoie dal nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio e dal nuovo cunicolo di accesso da valle, di dimensioni interne 3,9 x 2,5 x 9,2 m.
- Settore di destra (idraulica): costituito nella porzione inferiore dal blocco di inghisaggio della nuova porzione di tubazione dello scarico di fondo e delle nuove paratoie piane, di dimensioni pari a 3,9x3,5x3,5 m. Lo spazio al di sopra del blocco di inghisaggio di altezza pari a 5,7 m consentirà le operazioni montaggio/smontaggio delle parti mobili delle paratoie e le attività di manutenzione ordinaria (quota piano di calpestio 1258,29 m s.l.m.). L'accesso a tale piano è possibile attraverso una scala alla marinara installata sulla parete del blocco di ancoraggio.

La camera paratoie è dotata di un'apposita apertura sul lato di valle che consente l'aerazione della vena effluente dalle paratoie. Il condotto di aerazione è accessibile anche dal piano a quota 1258,29 m s.l.m. attraverso un passo d'uomo.

Sulla soletta di copertura della camera è prevista l'installazione di due monorotaie e di un argano manuale di sollevamento. L'accesso all'argano è consentito da una passerella metallica "ad elle" di larghezza pari a circa 1 m installata sulle pareti sinistra e di monte della camera.

Il piano di calpestio a quota 1258,29 m s.l.m. si estende a sbalzo nel settore sinistro della camera per una larghezza di 1,25 m. Sulla mensola è prevista l'installazione del quadro di comando oleodinamico e della scala di accesso alla passerella sopra citata.

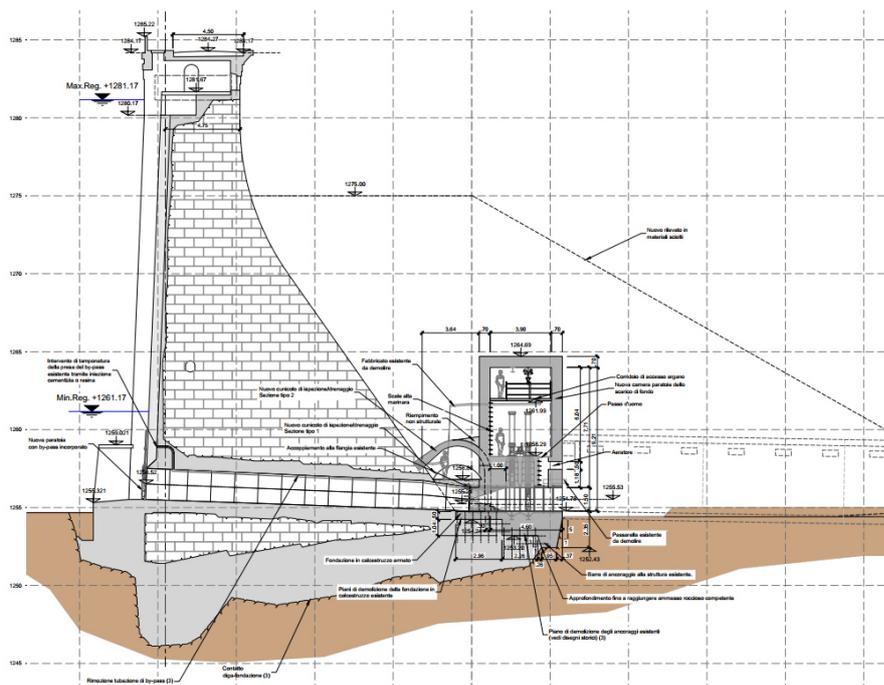


Figura 8-13 – Sezione trasversale della diga in corrispondenza dello scarico di fondo

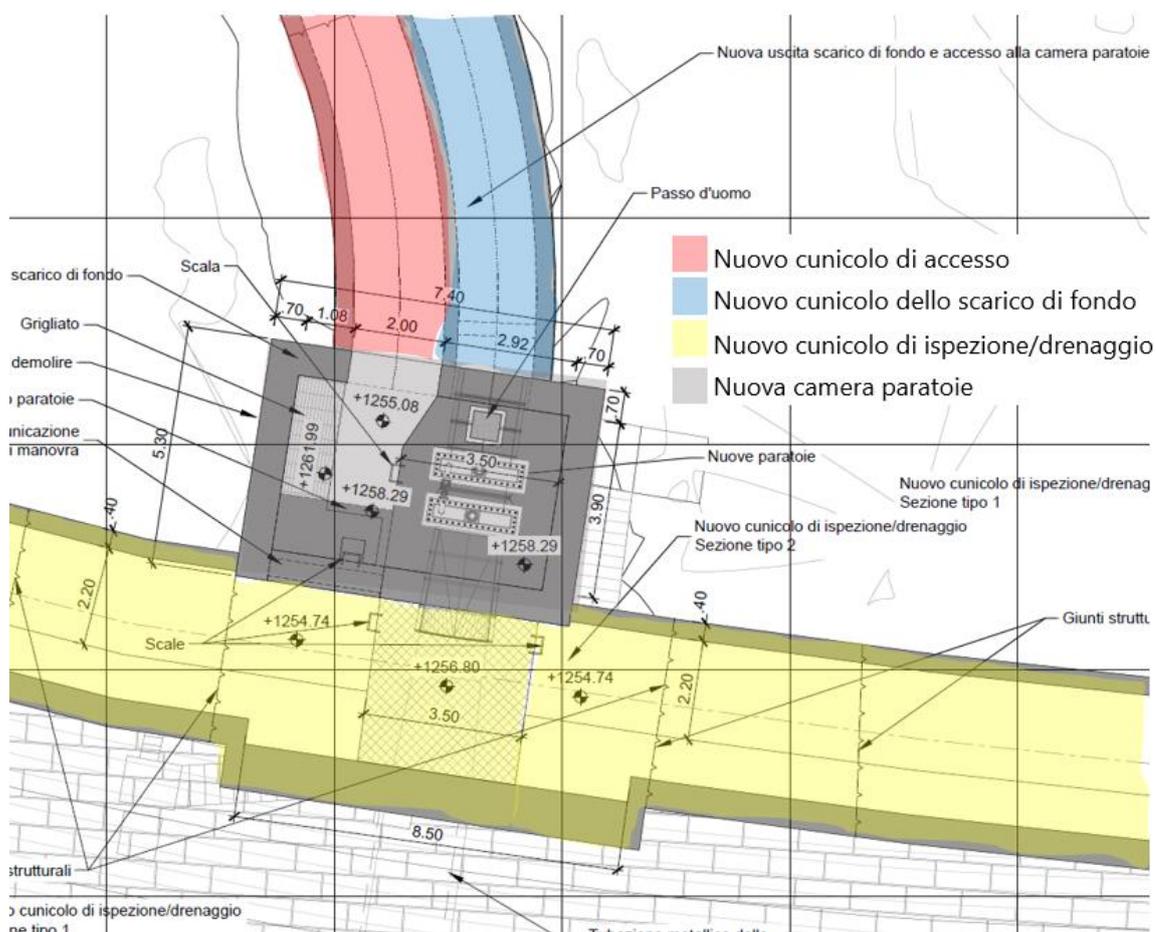


Figura 8-14 – Nuova camera paratoie, sezione orizzontale

8.9 Nuovo cunicolo di accesso e scarico di fondo

La realizzazione di un nuovo cunicolo ha la duplice funzionalità di:

- accesso da valle alla camera paratoie e conseguentemente al cunicolo di ispezione e drenaggio;
- prolungamento dello scarico di fondo reso necessario dalla realizzazione del nuovo rilevato in materiali sciolti.

Il cunicolo ha una lunghezza totale di circa 35 m e pendenza pari a circa 1-2%. Planimetricamente (Figura 8-6) il cunicolo segue approssimativamente la geometria del canale esistente.

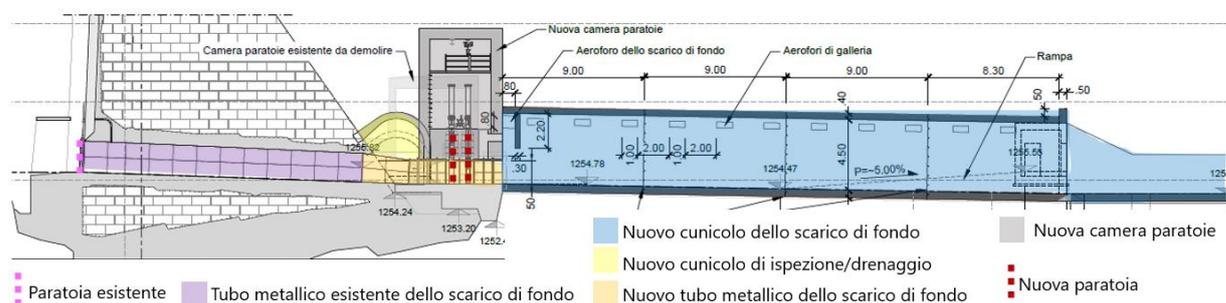


Figura 8-15 – Nuovo cunicolo di accesso e scarico di fondo, sezione longitudinale

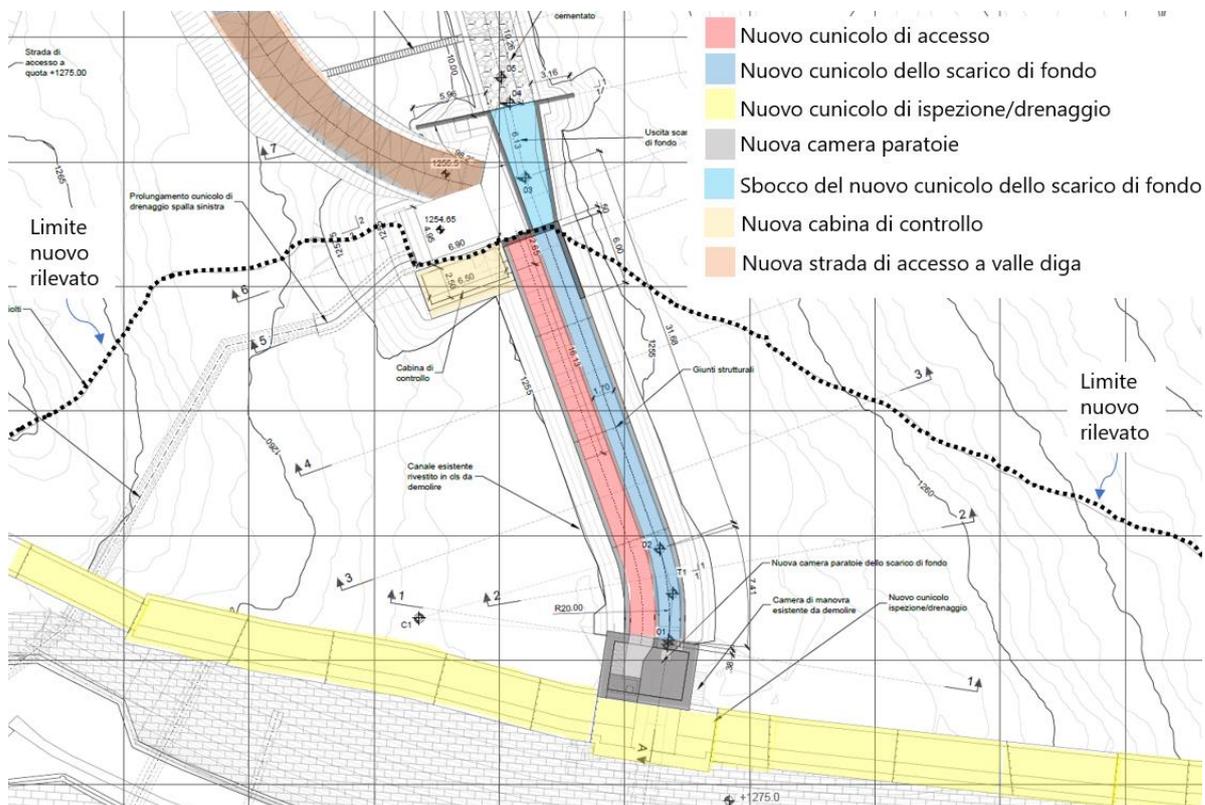


Figura 8-16 Nuovo cunicolo di accesso e scarico di fondo, pianta

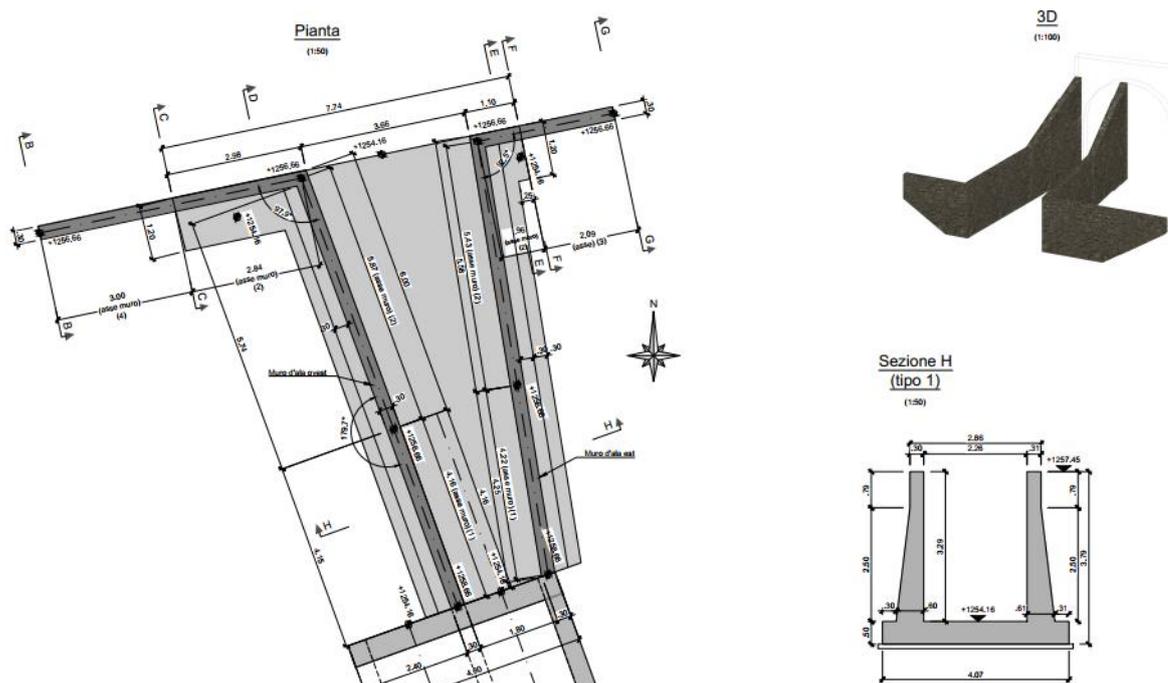


Figura 8-18 – Muri d’ala all’uscita dello scarico di fondo: planimetria, sezione trasversale e modello 3D

8.10 Nuova cabina di controllo

In sinistra, idraulica in prossimità della sezione terminale del nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo, è prevista la realizzazione di un nuovo manufatto con la funzione di cabina di controllo delle nuove paratoie di valle dello scarico di fondo. La cabina di controllo sarà realizzata in calcestruzzo armato con dimensioni interne pari a 2,5 x 6,5 m. All’interno della cabina saranno installati il quadro di comando delle paratoie e la centralina oleodinamica. La cabina sarà completamente interrata dal nuovo rilevato in materiali sciolti al fine di limitare l’impatto paesaggistico dell’opera. Il setto frontale visibile sarà rivestito in pietra naturale. Lateralmente alla cabina di controllo è prevista la realizzazione di un muro triangolare di contenimento del rilevato. L’accesso alla cabina sarà possibile sia dal piazzale realizzato a valle della stessa sia dall’interno del nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo.

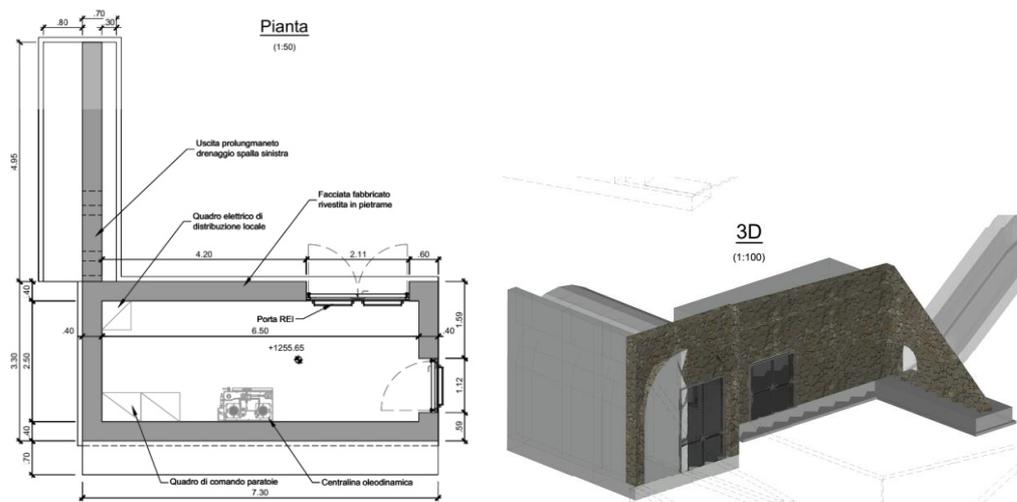


Figura 8-19 – Cabina di controllo: planimetria e modello 3D

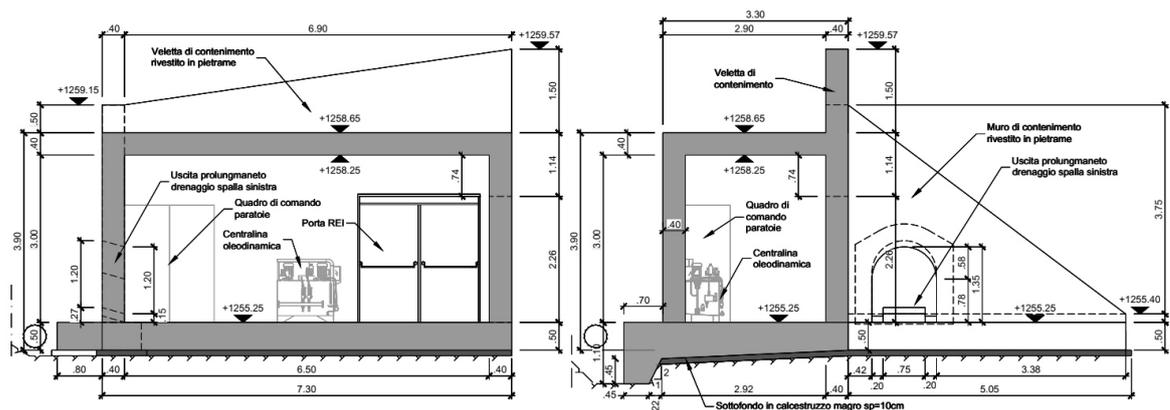


Figura 8-20 – Cabina di controllo: sezione longitudinale e sezione trasversale

8.11 Prolungamento del cunicolo di drenaggio della spalla sinistra

L'attuale portale di accesso del cunicolo di drenaggio della spalla sinistra è ubicato all'interno dell'impronta del nuovo rilevato. Al fine di continuare a garantire sia l'accesso al cunicolo stesso che il drenaggio delle perdite, si prevede di prolungare il cunicolo esistente attraverso la realizzazione di un nuovo tratto realizzato in calcestruzzo armato. Il nuovo accesso al cunicolo è previsto in corrispondenza del piazzale antistante la cabina di controllo, in corrispondenza del muro triangolare di contenimento del rilevato collegato alla cabina stessa.

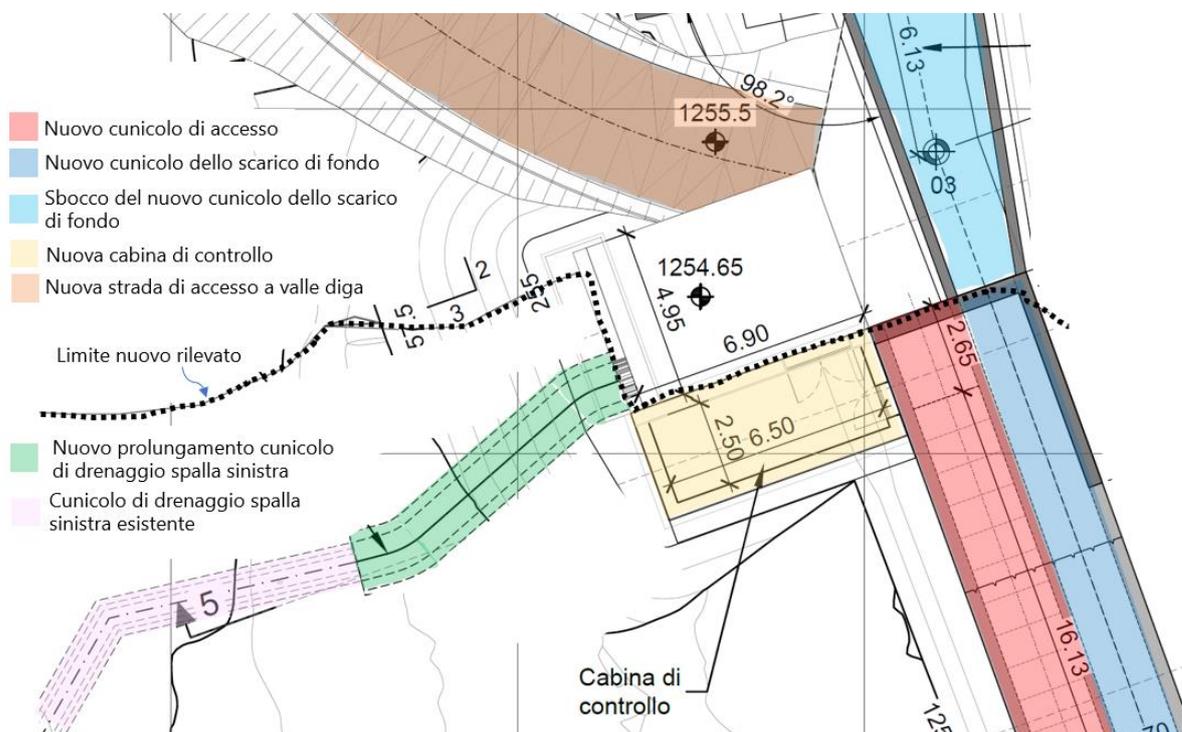


Figura 8-21 Prolungamento del cunicolo di drenaggio della spalla sinistra: pianta

8.12 Manutenzione straordinaria dei cunicoli esistenti

Si prevede di realizzare degli interventi di risanamento dei cunicoli esistenti di drenaggio del taglione e della spalla sinistra. Gli interventi includeranno, dove necessario, le seguenti attività: pulizia e/o risanamento della malta di rivestimento del cunicolo, applicazione di una nuova malta di rivestimento, pulizia delle canalette, sigillatura delle fessure.

8.13 Nuova strada di accesso a valle diga

8.13.1 Layout generale

La Figura 8-6 illustra lo stralcio planimetrico della nuova strada di accesso. Come illustrato in figura la strada si sviluppa sulla sponda sinistra del fiume Ampollino ed è collegata alla strada provinciale SP35 esistente.

Nella progettazione della nuova viabilità di accesso alla diga si è fatto ricorso per quanto possibile a tecniche di ingegneria naturalistica.

La strada avrà le seguenti funzionalità:

- accesso temporaneo al cantiere di valle per la realizzazione degli interventi di miglioramento sismico della diga previsti in progetto;
- accesso permanente alla zona di valle del nuovo rilevato in materiali sciolti (ingresso nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo, ingresso cabina di controllo, ecc.);
- accesso permanente alla berma superiore del rilevato e al nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio (ingresso lato sinistro).

La strada ha uno sviluppo complessivo approssimativamente pari a 400 m (circa 320 m dalla strada SP35 al piazzale a valle della cabina di controllo, circa 80 m dalla diramazione fino alla berma superiore del rilevato). Le principali caratteristiche geometriche della strada sono sintetizzate di seguito:

- Strada SP35 > Piazzale della cabina di controllo
 - Quota iniziale: ca. 1286 m s.l.m.
 - Quota finale: ca. 1255 m s.l.m.
 - Lunghezza: ca. 320 m
 - Pendenza max: ca. 13%
- Diramazione > Rilevato
 - Quota iniziale: ca. 1263 m s.l.m.
 - Quota finale: ca. 1275 m s.l.m.
 - Lunghezza: ca. 80 m
 - Pendenza max: ca. 20%

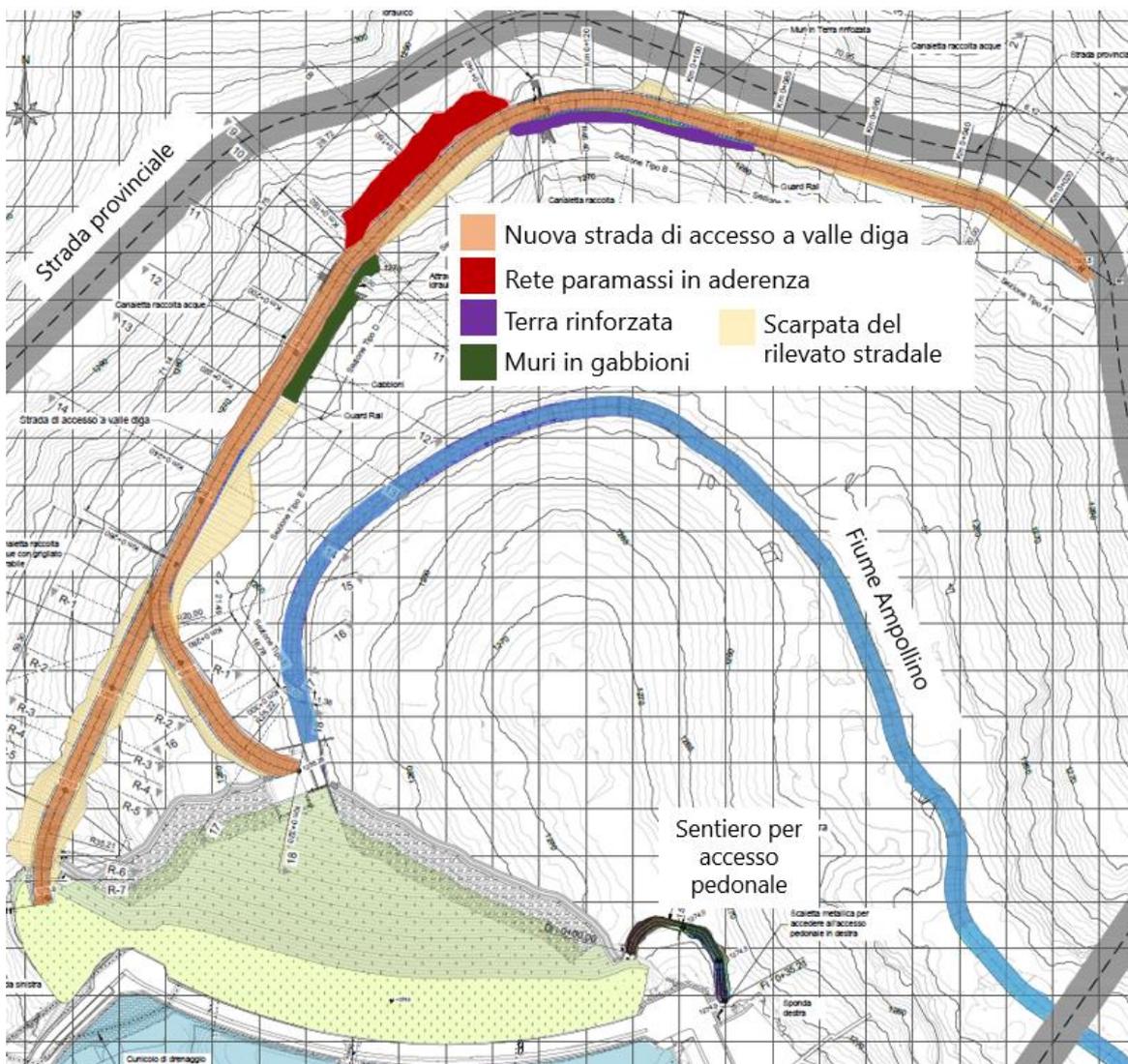


Figura 8-22 – Tracciato della strada di accesso, planimetria



Figura 8-23 – Foto satellitare della zona della diga con evidenziata la zona d’innesto della nuova strada dalla provinciale SP35.

8.13.2 Sezioni tipologiche

Generalità

Come illustrato nella Tabella 20, lungo lo sviluppo della nuova strada di accesso sono state definite n. 5 sezioni tipologiche in funzione degli interventi previsti per la realizzazione dell’opera.

Sezione tipologica	Interventi previsti	Progressiva
A	Scavi a larga sezione Non sono previsti specifici interventi di stabilizzazione	0+000 ÷ 0+084 (L = 84 m)
B	Scavi e rilevato in terra rinforzata Interventi di ingegneria naturalistica con funzione stabilizzante e anti-erosiva	0+084 ÷ 0+140 (L = 56 m)
C	Scavi in trincea Interventi di stabilizzazione con chiodature passive e rete corticale in aderenza, Interventi di ingegneria naturalistica con funzione stabilizzante e anti-erosiva	0+140 ÷ 0+180 (L = 40 m)
D	Scavi e rilevato con muro in gabbioni Interventi di ingegneria naturalistica con funzione stabilizzante e anti-erosiva	0+180 ÷ 0+217 (L = 37 m)

E	Scavi e rilevato in materiali sciolti Interventi di ingegneria naturalistica con funzione stabilizzante e anti-erosiva	0+217 ÷ 0+320 (L = 103 m) Diramazione per l'accesso al rilevato (L = 80 m)
---	---	--

Tabella 20: Sezioni tipologiche della nova strada di accesso al piede diga con indicazione degli interventi previsti nei vari tratti

Nei seguenti sottoparagrafi sono descritte le principali caratteristiche delle sezioni tipologiche sopra elencate.

Carreggiata

La carreggiata stradale avrà una larghezza minima di 4,5 m e sarà costituita dai seguenti elementi principali:

- pavimentazione stradale di larghezza minima 3,5 m realizzata in misto stabilizzato di spessore 0,3 m;
- canaletta di raccolta delle acque piovane di dimensioni interne 0,4 x 0,4 m;
- barriera di tipo H2 rivestita in legno (dalla progressiva 0+066 alla progressiva 0+270 m)

Sezione tipologica A

La sezione tipologica denominata A si estende dalla progressiva 0+000 m alla progressiva 0+084 m, per una lunghezza totale di 84 m. In questo primo tratto per la realizzazione della sezione stradale sono previsti scavi a larga sezione di modesta entità (dell'ordine di 1-2 m). Non sono previsti particolari interventi di stabilizzazione. Si prevede, dopo la realizzazione della carreggiata stradale, il ricoprimento degli scavi con terreno vegetale di spessore minimo 20 cm al fine di garantire il successivo inerbimento.

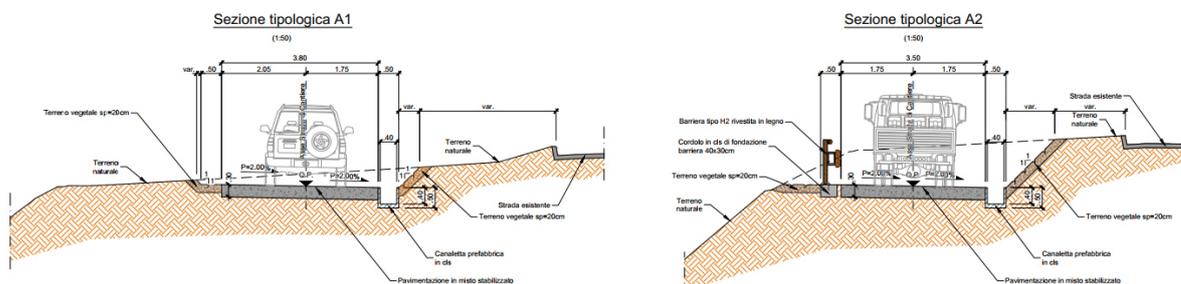


Figura 8-24 – Sezione tipologica A

Sezione tipologica B

La sezione tipologica denominata B si estende dalla progressiva 0+084 m alla progressiva 0+140 m, per una lunghezza totale di 56 m. In questo tratto è prevista la realizzazione di un rilevato in terra rinforzata di altezza massima pari a 6 m e larghezza 4 m.

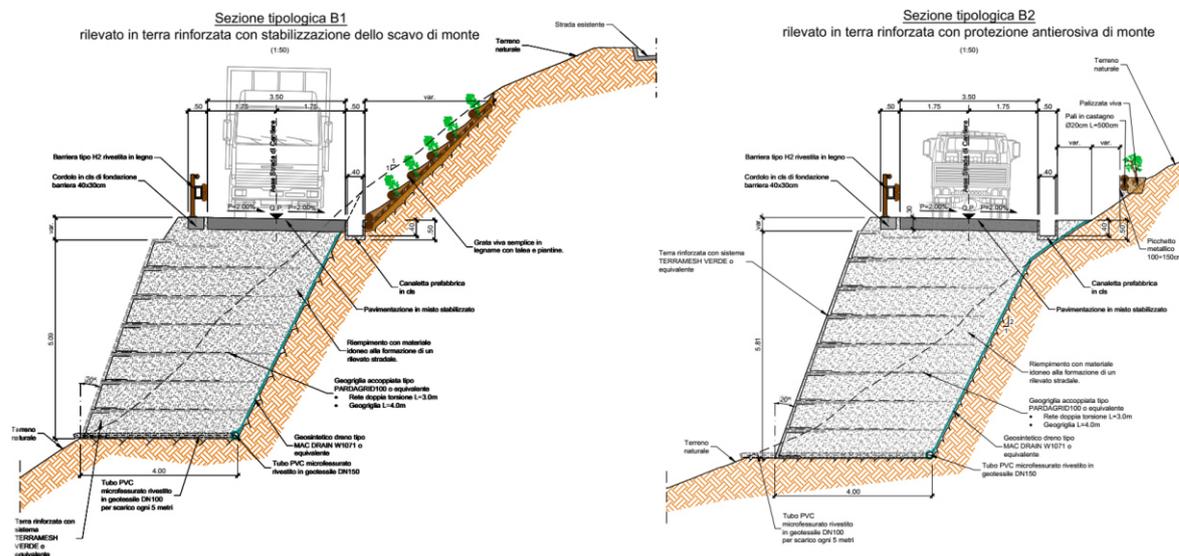


Figura 8-25 – Sezione tipologica B

Il rilevato stradale sarà realizzato con il sistema Terramesh Verde o sistema equivalente con pendenza del paramento pari a 70°. Tale sistema prevede la realizzazione del rilevato in unità di altezza 0.76 m realizzate in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale riempite con materiale idoneo alla formazione di un rilevato stradale. Il paramento di monte sarà rinforzato con un ulteriore pannello in rete elettrosaldata accoppiato a una biostuoia con la funzionalità di proteggere il terreno vegetale dall'erosione e garantire il rinverdimento del paramento stesso. Ogni telo di rinforzo in maglia elettrosaldata sarà accoppiato con una geogriglia ad alta resistenza del tipo Paragrid 100 o equivalente di lunghezza pari a 4 m.

A tergo del rilevato in terra rinforzata è prevista l'installazione di un geosintetico dreno per l'intera estensione del contatto rilevato-scavo temporaneo. Il sistema di drenaggio è completato da un tubo in PVC microfessurato posto al piede dello scavo temporaneo che si estende per l'intero tratto in oggetto. Lo scarico delle acque è garantito dalla presenza ogni 5 m di una tubazione trasversale.

Il pendio o gli eventuali scavi nella porzione di monte della carreggiata stradale saranno interessati da interventi di ingegneria naturalistica (palizzata viva, grata viva, ecc.) con funzionalità stabilizzante e anti-erosiva.

Nel tratto in oggetto, in corrispondenza di un impluvio presente sul versante, è stato previsto un attraverso idraulico della strada realizzato con un sistema a due livelli di pozzetti e scatolati in calcestruzzo. L'opera di sbocco in calcestruzzo sarà rivestita in pietra naturale. All'uscita dell'opera è previsto un rivestimento del terreno in pietra cementata al fine di prevenire fenomeni di erosione al piede.

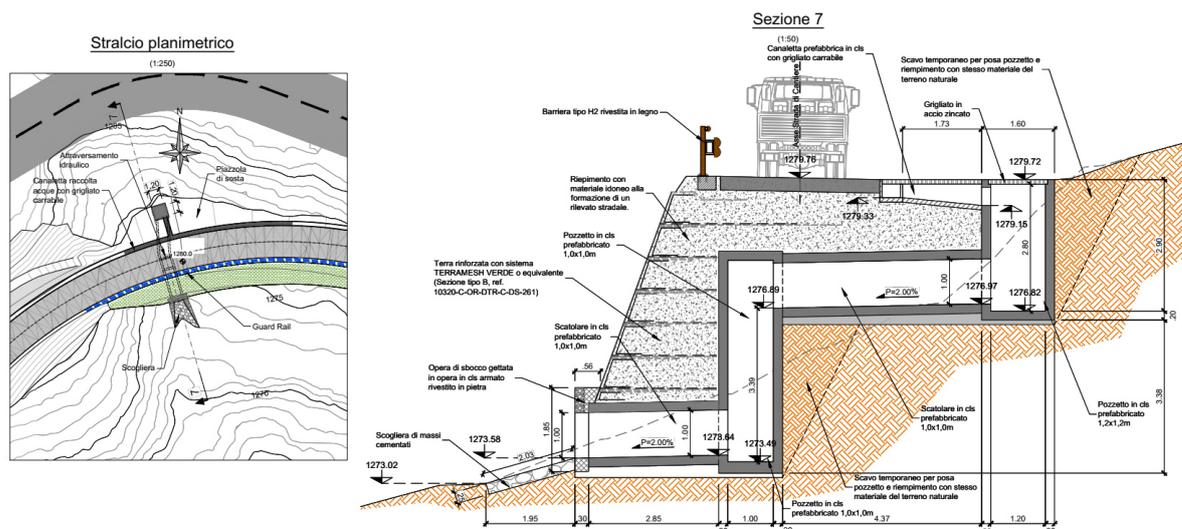


Figura 8-26 – Sezione tipologica B, attraversamento idraulico

Sezione tipologica C

La sezione tipologica denominata C si estende dalla progressiva 0+140 m alla progressiva 0+180 m, per una lunghezza totale di 40 m. In questo tratto è prevista la realizzazione di scavi in trincea per un'altezza massima di circa 15 m.

Lo scavo di monte sarà realizzato con le seguenti pendenze:

- 1(h):1(v) nel primo strato di ammasso roccioso, per uno spessore indicativo di 2-3 m, dove si prevede la presenza di terreno di copertura e/o ammasso roccioso di minori caratteristiche meccaniche;
- 1(h):3(v) nella porzione di ammasso roccioso più profonda.

La porzione di fronte scavata con pendenza 1:1 sarà rivestita con un geocomposito ottenuto per accoppiamento di una rete metallica a doppia torsione con una biorete biodegradabile, con la funzionalità di proteggere il terreno dall'erosione e garantire il rinverdimento del pendio. In funzione delle condizioni geotecniche locali il geocomposito potrà essere rinforzato con funi metalliche con maglia 3,0x3,0 m opportunamente ancorate.

Il fronte di scavo con pendenza 1:3 sarà stabilizzato tramite i seguenti consolidamenti:

- chiodatura sistematica con barre Dywidag $\phi 25$ con spaziatura 1,5x3,0 m e lunghezza 4 m.
- drenaggi con spaziatura 3,0x3,0 m e lunghezza 5 m;
- rete corticale in aderenza migliorata con funi metalliche con maglia quadrata 3,0x3,0 m.

Lo scavo di valle sarà realizzato con pendenza 1:1 e sarà interessato da interventi di ingegneria naturalistica (palizzata viva, grata viva, ecc.) con funzionalità stabilizzante e anti-erosiva.

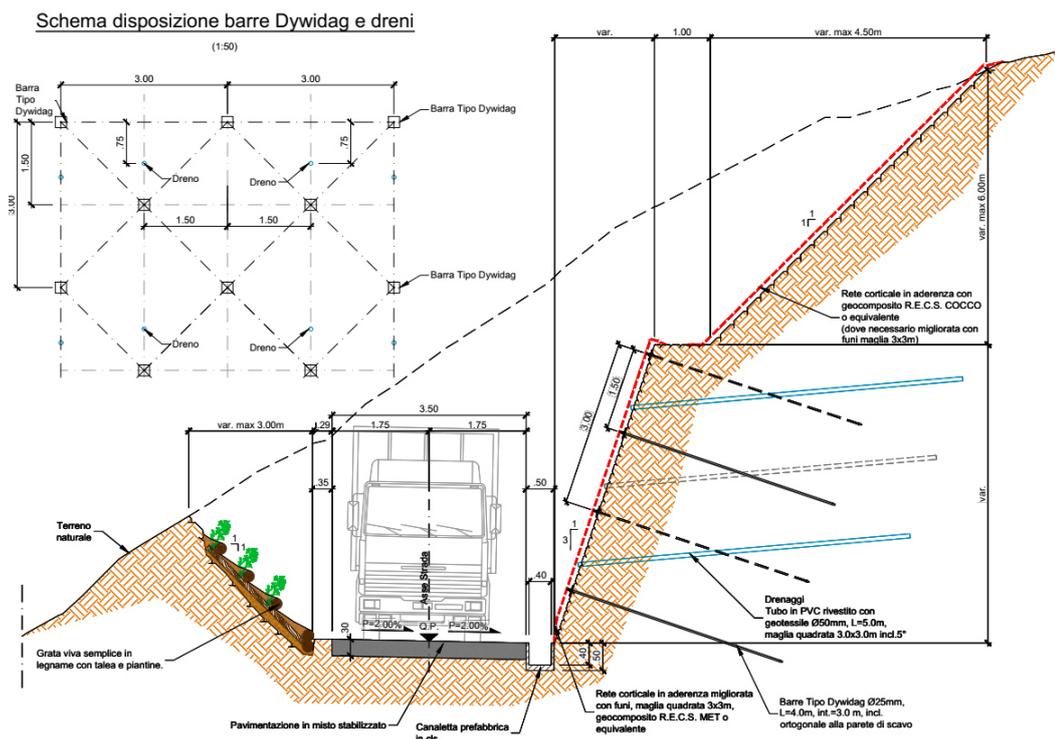


Figura 8-27 – Sezione tipologica C

Sezione tipologica D

La sezione tipologica denominata D si estende dalla progressiva 0+180 m alla progressiva 0+217 m, per una lunghezza totale di 37 m. In questo tratto è prevista la realizzazione di un rilevato sostenuto da un muro in gabbioni rinverdibili di altezza massima pari a 4 m.

I gabbioni rinverdibili sono strutture realizzate in rete metallica tessuta con filo di ferro galvanizzato a caldo con rivestimento in lega Zinco-Alluminio in maglia esagonale a doppia torsione tipo 8x10, dotati di tasche preassemblate con la funzione di realizzare un elemento "vivo" frontale. Le tasche sono rivestite con geotessili e/o biotessili e vengono riempite con terreno vegetale e successivamente rinverdate.

Lo spazio a tergo del muro in gabbioni sarà riempito con materiale idoneo alla formazione di un rilevato stradale ottenuto da un processo di selezione del materiale di scavo per la realizzazione della strada stessa.

Il pendio o gli eventuali scavi nella porzione di monte della carreggiata stradale saranno interessati da interventi di ingegneria naturalistica (palizzata viva, grata viva, ecc.) con funzionalità stabilizzante e anti-erosiva.

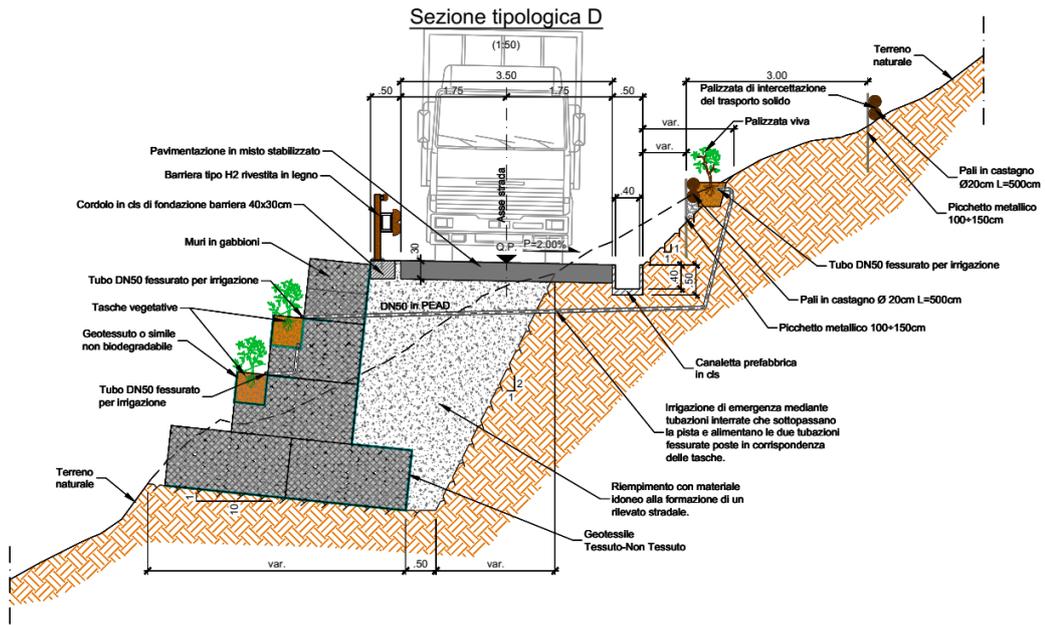


Figura 8-28 – Sezione tipologica D

In analogia con la sezione tipologia B, anche nel tratto in oggetto, in corrispondenza di un impluvio presente sul versante, è stato previsto un attraverso idraulico della strada realizzato con un pozzetto e uno scatolare sub-orizzontale in calcestruzzo. L'opera di sbocco in calcestruzzo sarà rivestita in pietra naturale per ridurre l'impatto paesaggistico. All'uscita dell'opera è previsto un rivestimento del terreno in pietra cementata al fine di prevenire fenomeni di erosione al piede.

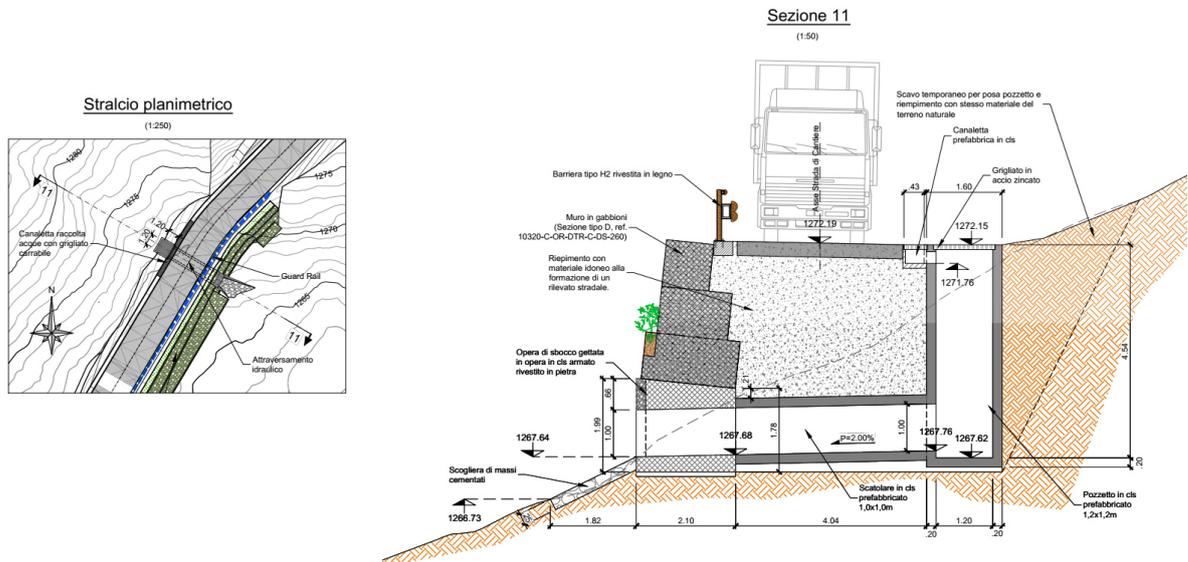


Figura 8-29 – Sezione tipologica D, attraversamento idraulico

Sezione tipologica E

La sezione tipologica denominata E si estende dalla progressiva 0+217 m alla progressiva 0+320 m della strada di accesso a valle diga e per l'intera estensione della rampa di accesso alla berma superiore del rilevato in materiali sciolti. La lunghezza totale prevista è pari a 183 m.

In questo tratto la strada sarà realizzata in scavo e rilevato o attraverso la realizzazione di scavi in trincea di modeste dimensioni.

Per quanto riguarda gli scavi, essi saranno realizzati con pendenza 1:1 e saranno interessati da interventi di ingegneria naturalistica (palizzata viva, grata viva, ecc.) con funzionalità stabilizzante e anti-erosiva.

Il rilevato stradale sarà realizzato con pendenza del paramento di valle di 3(o):2(v). Sul paramento di valle è prevista la posa di uno strato vegetale di spessore indicativo di 20 cm al fine di garantire il successivo inerbimento e conseguentemente consentire un inserimento ambientale ottimale.

Prima della realizzazione del rilevato è previsto uno scotico di spessore minimo di 30 cm per la rimozione del terreno vegetale.

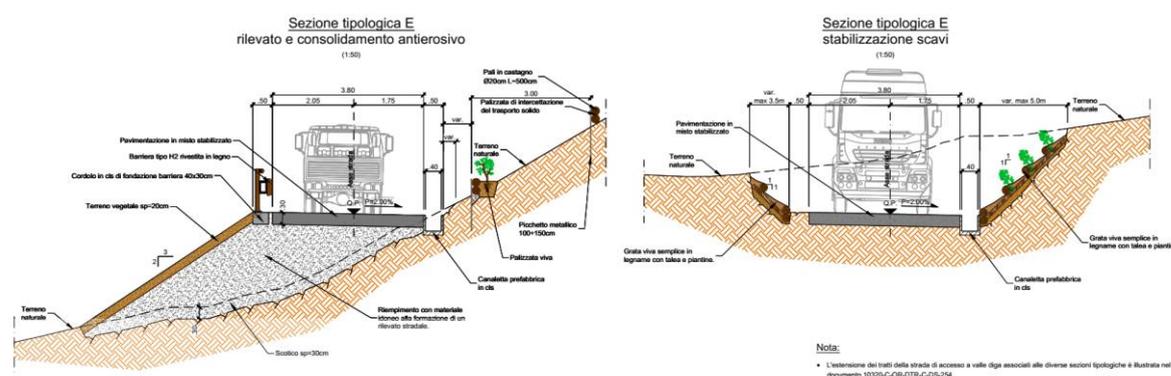


Figura 8-30 – Sezione tipologica E

8.14 Adeguamento degli organi idromeccanici dello scarico di fondo

Il progetto degli interventi di miglioramento sismico prevede anche la manutenzione straordinaria e l'ammodernamento degli organi idro-meccanici dello scarico di fondo. Le lavorazioni previste sono descritte in dettaglio nella relazione dedicata del progetto definitivo (10320-C-OR-DTR-I-RT-210) e brevemente sintetizzate di seguito:

- rimozione della tubazione di by-pass esistente e tamponatura della presa del by-pass lato bacino e lato condotta;
- sostituzione della paratoia di monte esistente con una nuova paratoia delle stesse dimensioni, dotata di by-pass;
- rimozione della valvola a farfalla esistente;
- rimozione della tubazione a valle della valvola;
- riverniciatura della tubazione esistente non rimossa;
- installazione di un nuovo tronchetto metallico di raccordo tondo quadro (diametro 1.5 m a BxH=1,3x1,5 m), flangiato a monte per accoppiarsi sulla flangia della tubazione esistente;

- installazione di due nuove paratoie piane (dimensioni BXH=1,3x1,5 m);
- installazione di un nuovo tronchetto di raccordo con il canale di scarico;

8.15 Adeguamento degli organi idromeccanici dello scarico di alleggerimento

Gli interventi previsti per lo scarico di alleggerimento sono descritti in dettaglio nella relazione dedicata del progetto definitivo (10320-C-OR-DTR-I-RT-211) e brevemente sintetizzati di seguito:

- Risanamento della tubazione metallica esistente;
- Manutenzione della paratoia di monte esistente (attività da completare prima dell'inizio dei lavori)
- Demolizione della copertura esistente;
- Smontaggio della valvola a farfalla esistente, demolizione dei relativi basamenti in calcestruzzo. Installazione di una flangia cieca sulla saracinesca di by-pass esistente;
- Predisposizione degli ammassaggi delle nuove paratoie;
- Installazione del tronchetto di collegamento tra tubazione esistente e nuove forniture, lato monte;
- Installazione della nuova paratoia;
- Installazione del tronchetto di collegamento tra tubazione esistente e nuove forniture, lato valle;
- Installazione del tronchetto con aeroforo, con sistema di aggiustamento;
- Rimozione della flangia cieca dalla saracinesca esistente di by-pass; installazione valvola e tubazione di by-pass;
- Installazione tubazione aeroforo;
- Realizzazione del getto di inghisaggio in calcestruzzo armato.
- Realizzazione della nuova copertura.

8.16 Integrazione del sistema di monitoraggio della diga

Gli interventi di integrazione del sistema di monitoraggio esistente sono descritti in dettaglio nella relazione dedicata del Progetto Definitivo (10320-C-OR-DTR-S-PN-210) e brevemente sintetizzati di seguito:

Misure idrometeorologiche

Per quanto riguarda le misure idrometeorologiche si prevede di verificare ed eventualmente integrare il sistema di monitoraggio attualmente in uso con la seguente strumentazione per la misurazione del livello dell'invaso:

- un'asta idrometrica con targa ubicata sul paramento di monte lato casa di guardia per permetterne una più agevole lettura;

- Sostituzione o reinstallazione del trasduttore di pressione alloggiato in una tubazione adeguatamente predisposta in corrispondenza del concio centrale alla quota 1258,00 m s.l.m.;
- un misuratore di livello radar posizionato sul coronamento in corrispondenza del concio centrale.

Misure dinamiche

Il progetto prevede l'installazione di un sistema di misura per la sorveglianza sismica. Sono stati previsti, nello specifico, n°3 accelerometri:

- n. 1 ubicato sul coronamento del concio centrale dello sbarramento principale;
- n. 1 ubicato nella nuova camera paratoie dello scarico di fondo;
- n. 1 ubicato sulla berma del rilevato a quota 1275,00 m s.l.m. in corrispondenza del concio centrale dello sbarramento principale.

Spostamenti plano-altimetrici

Sbarramento principale

Per quanto riguarda la misura degli spostamenti plano-altimetrici dello sbarramento principale si prevede di integrare il sistema di monitoraggio attualmente in uso con n. 2 mire mobili per la misura degli spostamenti tramite collimazione:

- n. 1 mira mobile (Mc1) ubicata sul coronamento del concio 1;
- n. 1 mira mobile (Mc2) ubicata sul coronamento del concio 4.

Inoltre, si prevede per la misura dello spostamento altimetrico del primo concio (compreso tra i giunti 1 e 2) l'installazione di un estensimetro a lunga base con due punti di misura ubicati in corrispondenza del piano di imposta della diga (approssimativamente 1 m al di sotto del contatto diga-fondazione,) e nell'ammasso roccioso di fondazione (approssimativamente 10 m al di sotto del contatto diga-fondazione).

Rilevato

Per il monitoraggio di eventuali spostamenti/cedimenti del rilevato, in particolar modo nel caso di un evento sismico e a seguito dello stesso, si prevedere di installare la seguente strumentazione:

- n. 4 mire mobili per la misura degli spostamenti altimetrici installate sulla berma superiore del rilevato e riferite a dei punti spondali ritenuti fissi;
- n. 2 tubi inclinometrici allineati su una sezione di misura ubicata nella porzione di maggiore altezza del rilevato sulla sinistra del nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo. Gli inclinometri si estenderanno dalla superficie del rilevato (quote 1272,50 m s.l.m. e 1267,50 m s.l.m.) fino alla fondazione.

Movimenti dei giunti

Sbarramento principale

Per quanto riguarda la misura dei movimenti dei giunti di contrazione dello sbarramento principale si prevede di integrare il sistema di monitoraggio attualmente in uso con n. 1 misuratore di giunto biassiale in corrispondenza del giunto n. 4.

Nuovo cunicolo di acceso/scarico di fondo

Si prevede l'installazione di un misuratore di giunto triassiale in corrispondenza del giunto tra nuova camera paratoie e il nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo al fine di monitorare eventuali movimenti differenziali tra le due strutture.

Sottopressioni

Sbarramento principale e secondario

Per quanto riguarda la misura delle sottopressioni si prevede di integrare il sistema di monitoraggio attualmente in uso, installando n. 8 nuove celle piezometriche in corrispondenza di n. 4 sezioni:

1. Sbarramento secondario in spalla sinistra: n. 2 celle piezometriche installate dal paramento di valle e posizionati in fondazione in prossimità del contatto diga-fondazione. In direzione monte-valle i due piezometri saranno installati rispettivamente a valle del taglione e in corrispondenza dell'asse dello sbarramento;
2. Sbarramento principale, concio n. 1: n. 2 celle piezometriche installate dal paramento di valle e posizionate in fondazione in prossimità del contatto diga-fondazione. In direzione monte-valle i due piezometri saranno installati rispettivamente a valle delle nuove canne di drenaggio verticali e nella zona centrale;
3. Sbarramento principale, concio n. 3: n. 2 celle piezometriche installate in prossimità dei piezometri esistenti dal paramento di valle e posizionati in fondazione in prossimità del contatto diga-fondazione. In direzione monte-valle i due piezometri saranno installati rispettivamente a valle delle nuove canne di drenaggio verticali e nella zona centrale;
4. Sbarramento principale, concio n. 4: n. 2 celle piezometriche installate dal paramento di valle e posizionate in fondazione in prossimità del contatto diga-fondazione. In direzione monte-valle i due piezometri saranno installati rispettivamente a valle delle nuove canne di drenaggio verticali e nella zona centrale;

Rilevato

Si prevede di monitorare il livello piezometrico all'interno del rilevato attraverso l'installazione di n. 2 celle piezometriche allineate, in analogia con i tubi inclinometrici, su una sezione di misura ubicata nella porzione di maggiore altezza del rilevato sulla sinistra del nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo. Le due coppie di strumenti si estenderanno dalla superficie del rilevato (quote 1272,50 m s.l.m. e 1267,50 m s.l.m.) fino alla fondazione

Perdite

I punti di misura delle perdite attualmente installati a valle dello sbarramento principale saranno rimossi e riposizionati all'interno delle nuove opere. Saranno mantenuti invariati solo i punti di controllo delle perdite in fondazione in spalla destra (PDS6).

Si prevede in particolare l'installazione di n. 11 nuovi punti di misura delle perdite (Tabella 21).

ID	Descrizione	Origine delle perdite	Ubicazione
1	Perdite dei nuovi drenaggi nello sbarramento principale in sinistra	Filtrazioni in fondazione e nel corpo diga	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
2	Perdite dei nuovi drenaggi nello sbarramento principale in destra	Filtrazioni in fondazione e nel corpo diga	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
3	Perdite dei nuovi drenaggi nello sbarramento principale, totale	Filtrazioni in fondazione e nel corpo diga (attuale contributo somma dei punti PDD0, PDD4 e PDD7)	Nuovo cunicolo di accesso in prossimità dell'uscita nel piazzale a valle della cabina di controllo
4	Perdite del taglione, lato lago	Filtrazioni in fondazione (attuale contributo punto PDM2)	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
5	Perdite del taglione, lato fondazione	Filtrazioni in fondazione (attuale contributo punto PDM3)	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
6	Perdite sponda sinistra	Filtrazione in sponda sinistra (attuale contributo punto PDS5)	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
7	Perdite raccolte dal tubo drenante al piede dello strato dreno del rilevato sul paramento di monte, sinistra	Perdite del paramento di valle dello sbarramento principali, possibili infiltrazioni durante gli eventi meteorici	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
8	Perdite raccolte dal tubo drenante al piede dello strato dreno del rilevato sul paramento di monte, destra	Perdite del paramento di valle dello sbarramento principali, possibili infiltrazioni durante gli eventi meteorici	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
9	Perdite cunicolo spalla sinistra	Filtrazioni in fondazione (attuale contributo punto PDS1)	Sezione terminale del cunicolo in spalla sinistra in corrispondenza del piazzale a valle della cabina di controllo
10	Tubazione di drenaggio del rilevato, sinistra	Filtrazioni all'interno del rilevato	Piazzale a valle della cabina di controllo
11	Tubazione di drenaggio del rilevato, destra	Filtrazioni all'interno del rilevato	Piazzale a valle della cabina di controllo

Tabella 21: Punti di misura delle perdite

Nella tabella 21 sono indicati per confronto anche i contributi degli attuali punti di misura delle perdite rispetto ai nuovi punti in progetto: si potrà così effettuare un'analisi comparativa al termine dei lavori di miglioramento sismico della diga,

Le nuove installazioni strumentali dovranno permettere la lettura dei dati anche in modo automatico almeno per quanto concerne il livello di invaso, l'estensimetro a base lunga, il giunto biassiale n 4, il giunto triassiale tra la nuova camera paratoie e il nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo, tutte le postazioni piezometriche e tutti i punti di perdita oltre che, ovviamente, la strumentazione dinamica.

È altresì previsto in Progetto un intervento di verifica, controllo e manutenzione straordinaria della strumentazione di monitoraggio esistente, sia per quanto riguarda le postazioni fisse di appoggio strumentale sia per le apparecchiature di lettura, visualizzazione ed eventuale trasferimento del dato.

8.17 Valutazione del miglioramento sismico ottenuto

Per la valutazione del miglioramento sismico ottenuto dagli interventi progettuali sopra descritti sono state eseguite verifiche di stabilità e verifiche strutturali. I dettagli relativi alla metodologia di calcolo e ai risultati ottenuti sono illustrati nelle relazioni dedicate del presente progetto definitivo.

Il comportamento dello sbarramento è stato studiato attraverso diverse metodologie con grado di complessità crescente, in particolare:

- Verifiche statiche, pseudo-statiche e post-sismiche della diga modellata come corpo rigido;
- Analisi statiche con modellazione FEM 2D;
- Analisi dinamiche con modellazione FEM 2D elastica lineare con spettro di risposta;
- Analisi dinamiche con modellazione FEM nel dominio nel tempo applicando le sette terne accelerometriche sismo-compatibili per gli stati limite SLD e SLC.

Nelle verifiche sono stati analizzati sia lo stato di fatto sia lo stato di progetto a seguito degli interventi di miglioramento sismico, con particolare riferimento alla realizzazione del nuovo sistema di drenaggio, del rilevato in materiali sciolti e delle barre di cucitura in cresta diga.

Le verifiche sono state eseguite nelle condizioni statiche, sismiche e post sismiche.

Per le verifiche sismiche sono stati considerati gli stati limite SLD e SLC.

Nelle condizioni statiche la realizzazione del nuovo sistema di drenaggio aumenta le condizioni di sicurezza nei riguardi di potenziali cinematismi di scorrimento e ribaltamento, ma soprattutto garantisce che la diga sia sostanzialmente tutta compressa (nella situazione attuale la diga si trova in condizioni di decompressione/lieve trazione sul tacco di monte). Il rilevato in materiali sciolti di valle migliora ulteriormente le condizioni di sicurezza. Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento dello sbarramento principale passa da circa 1,80 a circa 3,60.

Nello stato di fatto, le analisi di stabilità hanno indicato la possibilità che si verifichino spostamenti permanenti dell'opera durante l'evento sismico estremo SLC (fattori di sicurezza istantanei minori dell'unità). Alla base dello sbarramento è stato stimato uno spostamento di circa 40 mm.

Gli interventi progettuali, con particolare riferimento al rilevato di valle, migliorano notevolmente le condizioni di stabilità nella porzione inferiore dello sbarramento evitando fenomeni di spostamento irreversibile. Le barre di cucitura eseguite dal coronamento, con lo scopo di collegare la porzione

superiore molto snella dello sbarramento a quella inferiore più massiccia e stabilizzata dal rilevato, garantiscono la stabilità della cresta.

Nelle condizioni post-sisma il rilevato migliora e garantisce le condizioni di sicurezza dell'opera, che nelle condizioni attuali non sarebbe assicurata. Il coefficiente di sicurezza post-sisma passa da un valore minore dell'unità nella condizione attuale (0,6-0,8) a circa 1,6-2,0 nella condizione di progetto.

Per quanto riguarda il sisma di SLD ($T_r = 101$ anni) non si evidenziano apprezzabili superamenti delle resistenze di progetto, fenomeni irreversibili e significativi movimenti dei giunti. Pertanto, per quanto riguarda il sisma di SLO ($T_r = 60$ anni), la diga ha certamente un comportamento lineare e reversibile anche per quel che riguarda il rilevato.

Per il sisma di SLV ($T_r = 950$ anni) è ragionevole aspettarsi gli stessi cinematismi emersi per lo SLC ($T_r = 1950$ anni) ma di entità più modesta; considerato che il sisma di SLC non determina danni tali da comportare rilascio incontrollato di un volume significativo di acqua, si ritengono soddisfatti i requisiti che la Norma prevede anche per il sisma di SLV.

9. CANTIERIZZAZIONE

9.1 Generalità

Questo capitolo descrive i principali aspetti cantieristici funzionali alla realizzazione degli interventi di miglioramento sismico della diga previsti in progetto. Per la trattazione completa dell'argomento si rimanda alla "Relazione di Cantierizzazione" (10320-C-OR-DTR-C-RT-218).

9.2 Organizzazione del cantiere

Questa sezione descrive le aree logistiche di cantiere e i principali impianti funzionali alla realizzazione degli interventi di miglioramento previsti in progetto.

Come illustrato nella **Figura 9-1**, sono previste le seguenti n. 5 aree principali adibite a cantiere:

1. Campo base (CB);
2. Cantiere operativo della diga (COD)
3. Cantiere operativo strada di accesso (COS);
4. Sito di prelievo Tout-Venant (CV);
5. Sito di stoccaggio temporaneo dei materiali (ST).

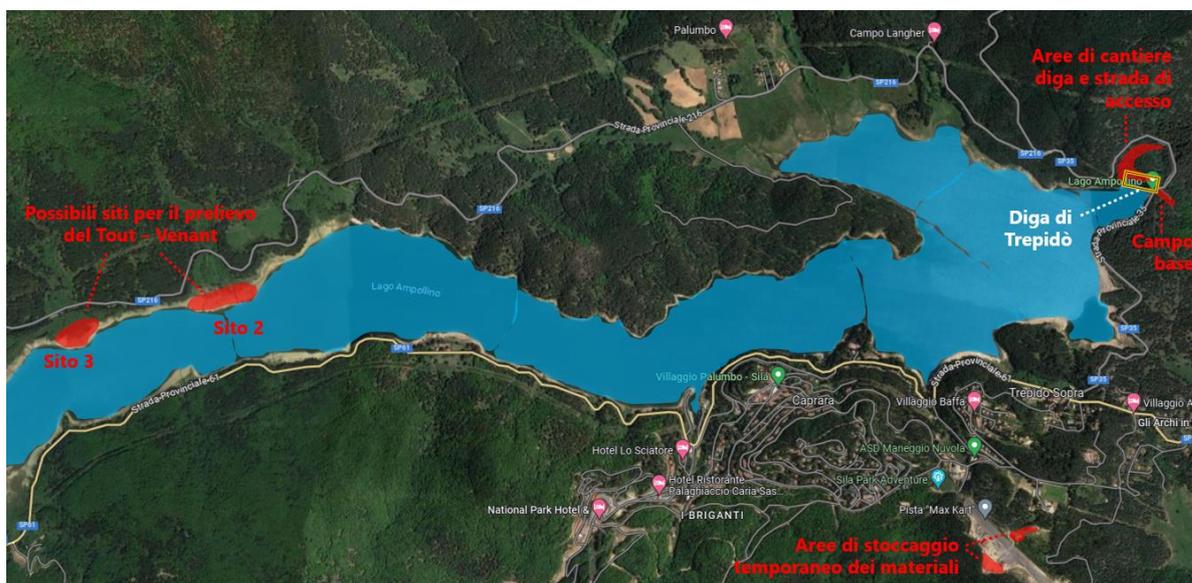


Figura 9-1 – Localizzazione delle principali aree interessate dai lavori

Le aree logistiche sopra elencate sono state individuate sulla base delle seguenti esigenze principali:

- disponibilità di aree libere che risultano già a disposizione di A2A;
- vicinanza con lo sbarramento per minimizzare i disagi dovuti al passaggio di mezzi operativi di cantiere;
- collegamento con la viabilità esistente;
- minimizzazione del consumo di territorio;

- dimensione areale strettamente necessaria;
- interferenze con la regolare gestione ed esercizio dello sbarramento legate al mantenimento dell'operatività degli impianti della diga;
- disponibilità idrica ed energetica;
- morfologia (evitando, per quanto possibile, pendii o luoghi eccessivamente acclivi e conseguenti sbancamenti o riporti di elevata entità);
- limitare l'occupazione di aree di interesse paesaggistico ed ambientale.

9.2.1 Campo base (CB)

Il Campo Base (CB) verrà allestito in sponda destra nelle vicinanze della casa di guardia in un'area già a disposizione di A2A, accessibile dalla strada provinciale SP35.

Lo schema planimetrico del campo base è illustrato nella Figura 9-2. Tale area ha un'estensione approssimativa di 400 mq e all'interno è prevista l'installazione delle seguenti principali strutture:

- Uffici per la direzione di cantiere (adattamento edificio esistente)
- Uffici per la Direzione Lavori (adattamento edificio esistente);
- Servizi igienici/Spogliatoi/Presidi pronto soccorso (nuovo container);
- Magazzino/rimessa (adattamento edificio esistente);
- Parcheggi.

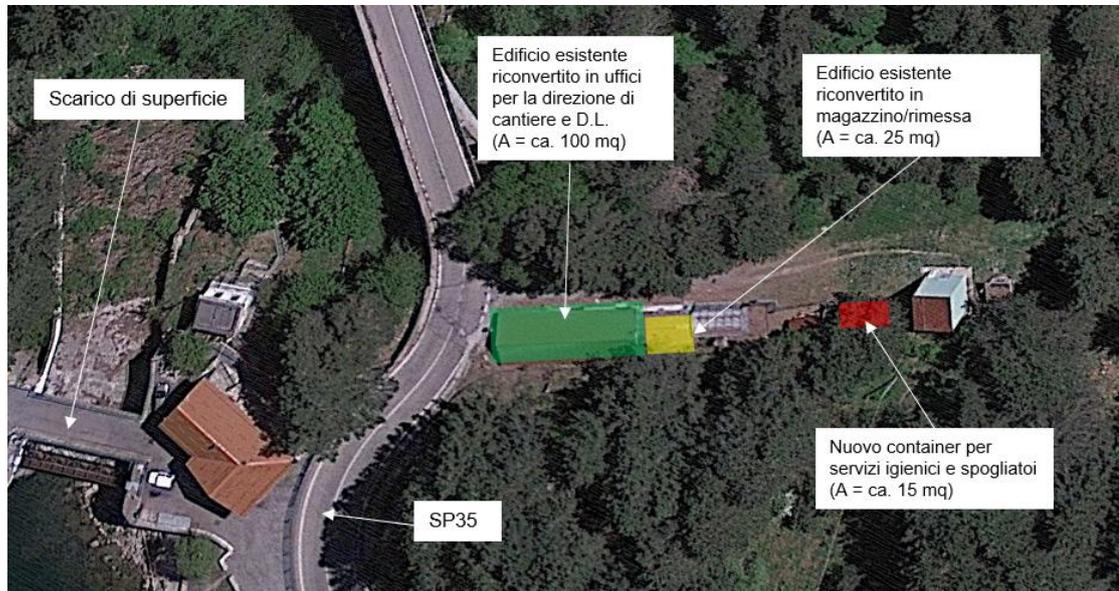


Figura 9-2 – Schema planimetrico del campo base

9.2.2 Campo operativo della diga (COD)

Il cantiere operativo della diga (COD) comprende approssimativamente lo sbarramento esistente e l'area a valle dello stesso dove saranno realizzati il rilevato e le nuove opere in calcestruzzo.

Questa area comprende al suo interno le seguenti n. 5 aree operative principali per la realizzazione dei diversi interventi previsti in progetto:

- CODa: Cantiere operativo in cresta diga;
- CODb: Cantiere operativo al piede di valle della diga;
- CODc: Cantiere operativo a valle dello sbarramento.
- CODd: Cantiere operativo sul paramento di monte
- CODe: Cantiere operativo dello scarico di fondo.
- CODf: Cantiere operativo dello scarico di alleggerimento.

La planimetria del cantiere operativo della diga con indicazione delle principali aree operative e degli impianti è illustrata nella Figura 9-3.

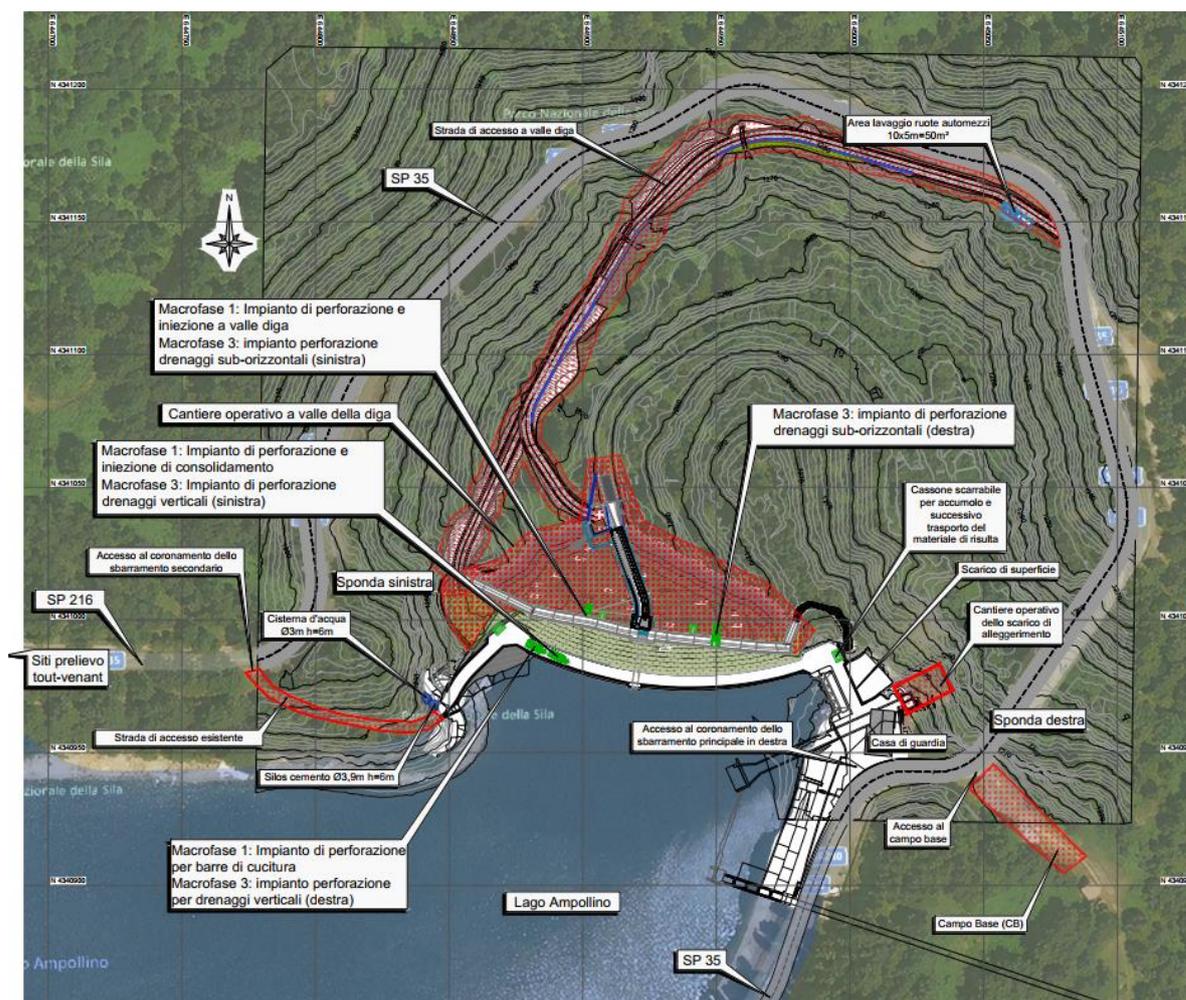


Figura 9-3 – Cantiere operativo della diga (COD), planimetria con indicazione delle principali aree operative e degli impianti.

Cantiere operativo in cresta diga (CODa)

L'area operativa occuperà l'intera estensione del coronamento degli sbarramenti principale e secondario. Le principali lavorazioni previste dal coronamento comprendono:

- iniezioni di intasamento delle canne di drenaggio esistenti;

- esecuzione delle iniezioni di consolidamento;
- installazione delle barre di cucitura;
- perforazione delle nuove canne di drenaggio verticali.

Le principali installazioni e i principali impianti funzionali alle lavorazioni sopra descritte comprendono:

- Cisterna d'acqua (capacità 25'000 litri, dimensione indicativa D3,0xH6,0 m): ubicata nel piazzale in spalla sinistra in corrispondenza del taglione del muro d'ala in spalla sinistra. L'acqua sarà approvvigionata tramite sistema di pompaggio dal lago Ampollino;
- Silos per lo stoccaggio del cemento per le iniezioni (capacità 25'000 mc, dimensione indicativa D3,9xH6,0 m): ubicato nel piazzale in spalla sinistra in corrispondenza del taglione del muro d'ala in spalla sinistra;
- n. 2 impianti di perforazione comprensivi, oltre che dalle sonde, di un sistema di vasche (primaria e secondaria) per la circolazione dell'acqua di perforazione e la sedimentazione del cutting. Nella macrofase 1 (iniezioni e consolidamenti) gli impianti serviranno le lavorazioni di iniezione e installazione delle barre di cucitura. Nella macrofase 3 (nuovo sistema di drenaggio) gli impianti serviranno per la perforazione dei nuovi drenaggi verticali (lavorazione divisa in due settori: semi-coronamento sinistro e semi-coronamento destro);
- n. 1 impianto di iniezione composto da un miscelatore, un agitatore, una pompa di iniezione, un plc di registrazione delle velocità di iniezioni e delle pressioni;
- cassoni scarrabili per l'accumulo temporaneo del materiale in esubero derivante dalle perforazioni e dalle iniezioni (cutting/fanghi di perforazione, miscela cementizia in esubero, ecc.).

L'accesso al cantiere operativo in cresta diga è garantito dalla viabilità già esistente collegata alla strada provinciale SP35.

Cantiere operativo al piede di valle della diga (CODb)

Le principali lavorazioni previste al piede di valle della diga comprendono:

- riempimento dei cunicoli di drenaggio esistenti nel corpo diga;
- esecuzione delle iniezioni di consolidamento;
- perforazione delle nuove canne di drenaggio sub-orizzontali;
- realizzazione del nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio;
- le perforazioni per l'installazione dei nuovi piezometri.

Per le esecuzioni dei consolidamenti si prevede un'area operativa che si sviluppa per l'intera estensione del piede di valle della diga per una larghezza indicativa di 10-20 m. In quest'area saranno realizzate delle piazzole e delle rampe temporanee per l'esecuzione delle lavorazioni alle diverse

quote previste in progetto. In fase di Progetto Esecutivo saranno ottimizzati i movimenti terra per la realizzazione delle piazzole e delle rampe temporanee.

Le perforazioni delle canne di drenaggio sub-orizzontali si svilupperanno sostanzialmente nella stessa fascia operativa prevista per le iniezioni. Le attività di perforazione saranno precedute dall'esecuzione degli scavi per il raggiungimento delle quote di progetto e per la realizzazione delle piazzole temporanee di posizionamento delle sonde.

Durante le attività di perforazione è previsto n. 1 impianto di perforazione e iniezione che lavorerà in parallelo alle lavorazioni di iniezione sul coronamento.

Come scritto in precedenza le perforazioni delle canne di drenaggio verticali e orizzontali saranno eseguite nella stessa fase operativa. Per tale motivo saranno presenti due coppie di impianti di perforazione (n. 2 nel settore destro e n. 2 nel settore sinistro) rispettivamente posizionati sul coronamento e al piede di valle della diga.

Al termine della perforazione delle canne di drenaggio saranno eseguite le lavorazioni per la realizzazione del nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio (scavi, demolizioni, preparazione dei piani di fondazione, posa delle armature e casseri e getto del calcestruzzo, in alternativa posa di conci prefabbricati, ecc.). Per la realizzazione delle opere in calcestruzzo non sono previsti particolari impianti. Il calcestruzzo sarà approvvigionato già confezionato tramite autobetoniera.

L'accesso al cantiere operativo al piede di valle della diga esistente sarà garantito dalla realizzazione della nuova strada che si diparte dalla strada provinciale SP35.

Nella fase iniziale, per l'esecuzione delle lavorazioni di preparazione delle aree (rimozione della vegetazione, disboscamento, esecuzioni delle iniezioni di valle, perforazione delle canne di drenaggio, ecc.), l'accesso pedonale è garantito dalla presenza della scalinata esistente che costeggia il paramento di valle della diga in spalla sinistra. I macchinari e i mezzi potranno invece essere calati dal coronamento della diga in corrispondenza del pilone-spalla in sponda sinistra.

Cantiere operativo a valle della diga (CODc)

Il cantiere operativo occuperà approssimativamente l'area di impronta del rilevato e delle opere allo sbocco dello scarico di fondo. Una fascia operativa aggiuntiva oltre l'impronta delle opere sarà necessaria per garantire la movimentazione dei materiali e l'accesso tramite rampe alle varie quote di posa del rilevato. Complessivamente tale area è stimabile in circa 4500 mq di cui circa 3'500 mq corrispondenti alla dimensione dei nuovi manufatti e 1'000 mq quale fascia operativa che verrà ripristinata al termine dei lavori.

Le principali lavorazioni previste in quest'area sono sintetizzate di seguito:

- rimozione e demolizione delle opere esistenti lungo il canale di restituzione dello scarico di fondo (gabbioni, rivestimento del canale esistente, ecc.);

- disboscamento, esecuzione dello scotico e degli scavi per il raggiungimento del piano di posa per la realizzazione delle opere in calcestruzzo e l'installazione delle tubazioni di drenaggio;
- preparazione del piano di posa delle opere in calcestruzzo;
- realizzazione delle opere in calcestruzzo;
- posa dei materiali costituenti il rilevato.

Per la realizzazione delle lavorazioni sopra elencate non è prevista l'installazione di particolari impianti. L'accesso al cantiere operativo a valle della diga sarà garantito dalla realizzazione della nuova strada di collegamento con la strada provinciale SP35.

Cantiere operativo sul paramento di monte (CODd)

Il cantiere operativo occuperà il paramento di monte dalla cresta diga fino alla quota di minima regolazione. Le principali lavorazioni previste comprendono:

- demolizione meccanica controllata selettiva dello strato di intonaco deteriorato e rimozione delle parti incoerenti;
- ripristino del paramento di monte con malta strutturale.

Per l'esecuzione delle lavorazioni sarà necessario predisporre sul coronamento dei ponteggi sospesi su fune. Inoltre, sarà necessario prevedere un sistema di raccolta dei detriti derivanti dalla demolizione controllata dell'intonaco, come indicato al capitolo 8.5.

Cantiere operativo all'interno dello scarico di fondo esistente (CODE)

L'adeguamento degli organi idro-meccanici dello scarico di fondo comprenderà delle lavorazioni che saranno eseguite direttamente all'interno del condotto che comprenderanno in particolare:

- installazione di una nuova paratoia di monte
- rimozione della tubazione di by-pass esistente;
- lavori di ripristino della verniciatura delle virole;
- rimozione della valvola a farfalla esistente;
- Installazione delle nuove paratoie.

La presa da bacino del by-pass esistente dovrà essere chiusa mediante adeguato tampone; per l'installazione di detto tampone si prevede l'impiego di un sommozzatore. Una volta tamponata la presa del by-pass, la tubazione andrà tagliata e rimossa dal condotto dello scarico di fondo.

Occorrerà poi chiudere mediante tampone anche l'esistente apertura di immissione del tubo di by-pass nella condotta di scarico.

Le operazioni andranno effettuate con quota del lago alla minima regolazione.

Cantiere operativo dello scarico di alleggerimento (CODf)

L'adeguamento degli organi idro-meccanici dello scarico di alleggerimento comprenderà delle lavorazioni che saranno eseguite all'interno della condotta e della camera di manovra di valle, in particolare:

1. Risanamento della tubazione esistente;
2. Demolizione della copertura esistente e realizzazione nuova copertura
3. Smontaggio della valvola a farfalla attuale e demolizione dei relativi basamenti in calcestruzzo;
4. Installazione della nuova paratoia e relative opere accessorie;
5. Realizzazione del getto di inghisaggio in calcestruzzo armato.

Il trasporto dei pezzi fino alla cabina di manovra potrà essere effettuato tramite un autogru sul ponte della statale SP35 o in alternativa attraverso l'installazione di un piano inclinato lungo il versante che, a partire dal piazzale della casa di guardia, raggiungerebbe la copertura della cabina dello scarico, a lato della cabina (lato monte). Un'altra possibilità consiste nell'installare un blondin tra il piazzale della casa di guardia e la sponda opposta, passante in prossimità del lato di monte della cabina di scarico, per depositare i pezzi in questa area.

Per prelevare i pezzi trasportati (tramite carrello, blondin o gru) e movimentarli fino alla posizione di installazione, è comunque da prevedere un adeguato sistema di sollevamento. Si prevede perciò di installare sulla copertura della cabina un portico a sostegno di carroponete a singola trave o in alternativa può essere prevista una gru a bandiera, installata su un angolo della cabina.

Cantiere operativo della strada di accesso (COS)

Il cantiere operativo si svilupperà per l'intera estensione della strada di accesso (Figura 9-3). Le principali lavorazioni previste comprendono:

- disboscamento;
- esecuzione di scavi in terre e rocce e stabilizzazione dei fronti di scavo;
- realizzazione di opere di sostegno in gabbioni e terre rinforzate;
- realizzazione di rilevati;
- sistemazione con opere di ingegneria naturalistica;
- realizzazione di carreggiata in misto granulare stabilizzato con relativo sistema di raccolta delle acque;
- realizzazione di attraversamenti idraulici con limitate opere in calcestruzzo.

Per la realizzazione della strada non è prevista l'installazione di particolari impianti. Si prevede solamente la realizzazione di un'area di lavaggio delle ruote degli automezzi, di area approssimativa pari a 50 mq (10x50m) in prossimità dell'innesto nella strada provinciale SP35 (Figura 9-3).

9.2.3 Sito di prelievo Tout-Venant (CV);

Per la costruzione del nuovo rilevato in materiale sciolto si prevede l'utilizzo di sedimento fluviale già presente nel bacino, o nella fascia di regolazione dell'invaso, per l'approvvigionamento parziale o totale del Tout-venant (materiale volumetricamente più rilevante). Gli altri materiali (dreno, filtri, rockfill) saranno reperiti da cave già esistenti/siti di produzione.

Sulla base dei sopralluoghi e delle indagini eseguite nella fase di progettazione definitiva due siti (denominati sito 2 e sito 3) ubicati lungo le sponde del lago Ampollino sono risultati i più idonei tra quelli investigati sia in termini di potenziale volume estraibile sia in termini di caratteristiche granulometriche.

I due siti sono localizzati in conoidi di deposito alluvionale quasi pianeggianti facilmente accessibili dalla strada provinciale 216, rispettivamente a distanze di 6.7 km (sito 2) e 7.7 km (sito 3) dalla diga. Considerando l'estensione massima delle aree, pari a circa 27'000 mq per il sito 2 e 15'000 mq per il sito 3, e le risultanze delle prime indagini eseguite (trincee e analisi granulometriche) si prevede di realizzare dei prelievi di modesta entità di spessore sostanzialmente costante pari a circa 1-1,5 m.

La Figura 9-4 e la Figura 9.5 illustrano la planimetria con le massime aree di scavo previste per i due potenziali siti di prelievo che si trovano a quote inferiori alla massima regolazione dell'invaso. Si precisa che, nell'ottica di diminuire l'impatto ambientale e paesaggistico, le aree di scavo potranno essere ridotte a seguito degli approfondimenti previsti nella fase esecutiva del progetto, come illustrato nel paragrafo 11.4.

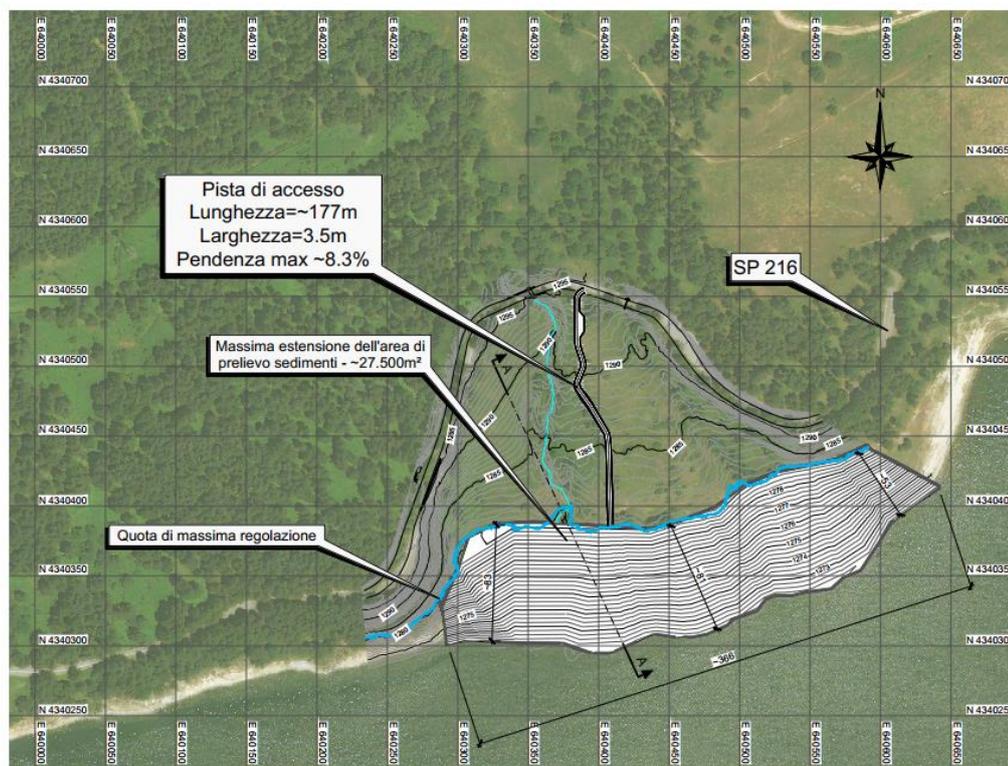


Figura 9-4 – Sito di prelievo Tout-Venant (CV), sito 2, planimetria

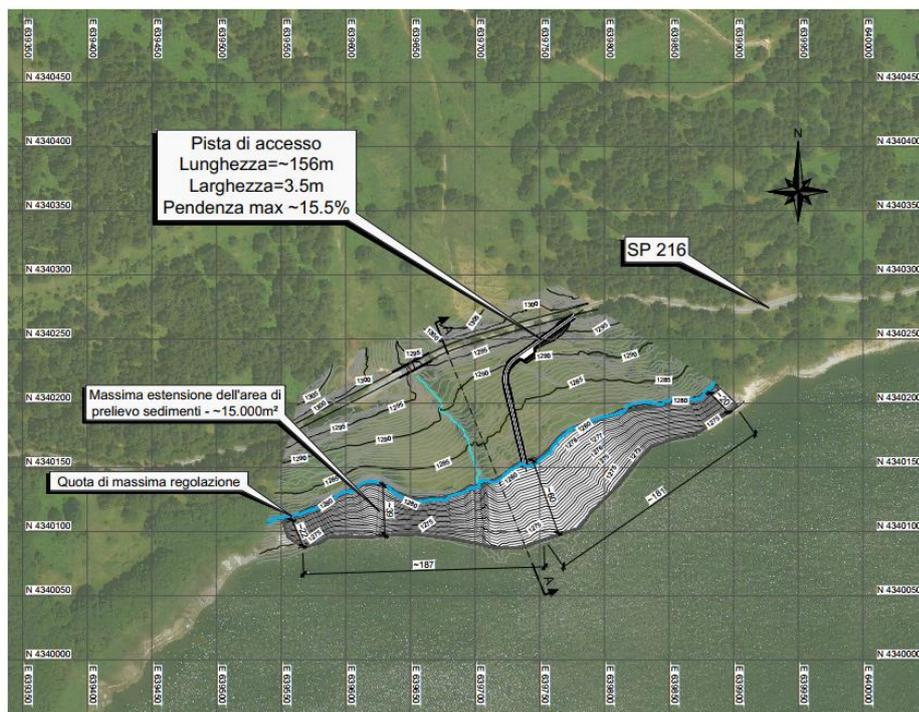


Figura 9-5 – Sito di prelievo Tout-Venant (CV), sito 3, planimetria

Come descritto di seguito nel capitolo dedicato alle fasi costruttive, si prevede di trasportare il materiale prelevato direttamente in sito diga per lo stendimento. Nelle aree selezionate potranno essere predisposti dei limitati e temporanei cumuli di materiale prelevato, sempre comunque a quote inferiori alla massima regolazione, solo per consentire di ottimizzare la gestione del carico degli automezzi adibiti al trasporto a valle diga.

L'accessibile alle zone di prelievo sarà garantita da piste di accesso temporaneo che si collegano alla viabilità esistente (SP216).

Le aree spondali di prelievo del Tout Venant saranno sistemate e rimodellate secondo il profilo naturale del terreno subito al termine delle operazioni di trasporto in diga del materiale.

Al termine dei lavori si procederà con il completo ripristino delle piste di accesso attraverso la posa del terreno di scotico, precedentemente rimosso e accantonato, e la semina di essenze erbacee autoctone.

Sono state comunque valutate, quali possibili alternative per l'approvvigionamento del Tout Venant, il ricorso a siti di produzione inerti, che comporterebbe però un notevole incremento dell'inquinamento ambientale ed acustico prodotto dai mezzi di trasporto a causa delle maggiori distanze da percorrere per il loro raggiungimento.



Figura 9-6 Tracciati stradali e distanze dalla diga dei possibili siti di approvvigionamento dei materiali per la realizzazione del rilevato.

9.2.4 Sito di stoccaggio temporaneo dei materiali (ST).

Il cantiere prevede il deposito temporaneo dei materiali necessari per la realizzazione del rilevato e della strada di accesso al fine di favorire le attività di movimentazione nei tempi programmati di realizzazione.

Al fine di limitare il più possibile le attività di disboscamento e modifica del territorio nell'area a valle della diga si prevede di realizzare il sito di stoccaggio in un'area indipendente ubicata in corrispondenza di un aviostruttura esistente situata a circa 3,5 km dallo sbarramento.

Come illustrato in Figura 9-7 si prevede di occupare due zone di area rispettivamente pari a circa 7'000 mq (ST1) e 4'000 mq (ST2).

L'area ST1 è sostanzialmente pianeggiante ad eccezione della presenza di uno sperone roccioso che sarà rimosso prima dell'esecuzione delle lavorazioni. L'area ST2 è caratterizzata da pendenze del 10%. Entrambe le aree sono accessibili dalla viabilità già esistente.

Considerando l'area totale a disposizione, dell'ordine dei 10'000-11'000 mq, si prevede di organizzare il sito di stoccaggio in due fasi distinte:

- Fase 1: realizzazione della strada di accesso a valle
 - Stoccaggio temporaneo materiali di scavo della strada per successivo riutilizzo (terreno vegetale, materiale per rilevato, ecc.);
 - Stoccaggio delle forniture necessarie alla realizzazione degli interventi (gabbioni, materiali per terre rinforzate, chiodature, reti in aderenza, ecc.);
- Fase 1: realizzazione del rilevato
 - Stoccaggio del terreno vegetale in esubero dagli scavi della strada da riutilizzare per il rilevato;
 - Stoccaggio temporaneo del materiale di scavo per la realizzazione del rilevato e delle opere in calcestruzzo (terreno vegetale da riutilizzare, materiale in esubero da portare a discarica);
 - Stoccaggio dei materiali selezionati per il rilevato (rockfill, dreno, filtri);

I materiali naturali stoccati dovranno essere disposti in cumuli separati in funzione delle caratteristiche granulometriche degli stessi. Si prevede in prima approssimazione la seguente disposizione, da dettagliare nella fase di progettazione esecutiva:

- Terreno vegetale: altezza massima dei cumuli di 4 m, larghezza in cresta massima di 3-4 m, pendenze laterali massime 3:2. Area approssimativa necessaria in pianta: 800-1'000 mq nella prima fase, 1'500-2'000 mq nella seconda fase.
- Materiale di scavo e rinterro della strada: altezza massima dei cumuli di 6 m, pendenze laterali massime 3:2. Area approssimativa necessaria in pianta (fase 1): 2'000-3'000 mq.
- Rockfill: altezza massima dei cumuli di 6 m, pendenze laterali massime 3:2. Area approssimativa necessaria in pianta (fase 2): 2'500-3'000 mq.
- Filtro: altezza massima dei cumuli di 6 m, pendenze laterali massime 3:2. Area approssimativa necessaria in pianta (fase 2): 1'000-1'500 mq.
- Dreno: altezza massima dei cumuli di 6 m, pendenze laterali massime 3:2. Area approssimativa necessaria in pianta (fase 2): 1'500-2'000 mq.



Figura 9-7 – Sito di stoccaggio temporaneo dei materiali (ST), planimetria

Poiché i depositi nell'area di stoccaggio saranno solo temporanei, non sono richieste particolari strutture di protezione, tuttavia l'impresa esecutrice dei lavori dovrà provvedere delle forme di protezione mobili, come teloni, per evitare la dispersione d'inerti depositati in caso di eventi climatici.

9.2.5 Restituzione delle aree di cantiere

Al termine delle attività di cantiere, le aree interessate da occupazione temporanea saranno ripristinate nelle qualità ambientali precedenti all'impianto del cantiere.

In generale, l'attività di ripristino delle aree non coinvolte dalla realizzazione delle opere, prevede le seguenti operazioni:

- rimozione di tutte le strutture installate;
- rimozione e smaltimento come rifiuto di terreno eventualmente contaminato;
- stesura del terreno vegetale precedentemente accantonato e successiva piantumazione, ove richiesta.

9.3 Gestione delle materie

Questo paragrafo illustra gli aspetti inerenti alla gestione delle materie e delle terre che verranno movimentate e impiegate per la realizzazione degli interventi previsti in progetto. In particolare, nei seguenti paragrafi sono descritti e quantificati:

- fabbisogno dei materiali per la realizzazione delle opere (Tabella 22);
- volumetrie e movimentazione delle materie di scavo (Tabella 23);
- bilancio delle materie (Tabella 24).
- volumetrie delle materie in esubero (Tabella 25)

Codice	Opera	Descrizione	Quantità	
			u.m.	valore
RILEVATO E OPERE IN CALCESTRUZZO				
R1	Rilevato	Filtro	m ³	3'000
R2	Rilevato	Dreno	m ³	4'000
R3	Rilevato	Tout-venant	m ³	23'000
R4	Rilevato	Rockfill - corpo del rilevato	m ³	9'500
		Rockfill - berma di valle	m ³	1'500
R5	Rilevato	Terreno vegetale	m ³	3'000
TOTALE			m³	44'000
STRADA DI ACCESSO				
STR1	Strada di accesso	Terreno vegetale	m ³	200
STR2	Strada di accesso	Rinterri	m ³	3'000
STR3	Strada di accesso	Misto granulare per carreggiata	m ³	450
STR4	Strada di accesso	Pietrame per gabbioni	m ³	350
TOTALE			m³	4'000

Tabella 22: Fabbisogno dei materiali per la realizzazione delle opere

Codice	Origine	Descrizione	Tipologia di lavorazione	Quantità		Destinazione finale
				u.m.	valore	
RILEVATO E OPERE IN CALCESTRUZZO						
S1	Produzione in cantiere	Rimozione vegetazione e alberi esistenti	Disboscamento	m ²	4'000	Discarica/sito di recupero
S2	Produzione in cantiere	Rimozione dello strato superficiale di terreno organico/vegetale (sp ≤ 30 cm)	Scotico	m ³	1'150	Riutilizzo per lo strato di terreno vegetale del rilevato
S3	Produzione in cantiere	Rimozione dello strato superficiale di terreno vegetale/organico e/o dei materiali non idonei per le fondazioni delle opere in calcestruzzo (sp > 30 cm)	Scotico/scavo	m ³	4'500	Discarica/sito di recupero
STRADA DI ACCESSO						
S4	Produzione in cantiere	Rimozione dello strato superficiale di terreno organico/vegetale (sp ≤ 30 cm)	Scotico	m ³	1'150	Riutilizzo per lo strato di terreno vegetale per la strada e per il rilevato
S5	Produzione in cantiere	Scavo per la realizzazione della strada di accesso	Scavo	m ³	3'300	Riutilizzo per rilevati e rinterrati della strada Discarica/sito di recupero

Tabella 23: Volumetrie e movimentazione delle materie di scavo

Codice	Descrizione	Riutilizzo materiale di scavo			Approvvigionamento da cava			Quantità totale	
		origine	u.m.	valore	origine	u.m.	valore	u.m.	valore
RILEVATO E OPERE IN CALCESTRUZZO									
R1	Filtro	-	m ³	0	Cava esistente	m ³	3'000	m ³	3'000
R2	Dreno	-	m ³	0	Cava esistente	m ³	4'000	m ³	4'000
R3	Tout-venant	-	m ³	0	Prelievo spondale	m ³	23'000	m ³	23'000
R4	Rockfill	-	m ³	0	Cava esistente	m ³	11'000	m ³	11'000
R5	Terreno vegetale	S1, S4	m ³	2'100	Cava esistente	m ³	900	m ³	3'000
STRADA DI ACCESSO									
STR1	Terreno vegetale	S4	m ³	200	-	m ³	0	m ³	200
STR2	Rinterrati	S5	m ³	3'000	-	m ³	0	m ³	3'000
STR3	Misto granulare per carreggiata	-	m ³	0	Cava esistente	m ³	450	m ³	450
STR4	Pietrame per gabbioni	-	m ³	0	Cava esistente	m ³	350	m ³	350

Tabella 24: Bilancio delle materie

Codice	Origine	Descrizione	Tipologia di lavorazione	Quantità		Destinazione finale
				u.m.	valore	
SCAVI						
S1	Produzione in cantiere	Legname, vegetazione	Disboscamento (Rimozione vegetazione e alberi esistenti)	m ²	4'000	Discarica/sito di recupero
S3	Produzione in cantiere	Terre e rocce da scavo	Rimozione dello strato superficiale di terreno vegetale/organico e/o dei materiali non idonei per le fondazioni delle opere in calcestruzzo (sp > 30 cm)	m ³	4'500	Discarica/sito di recupero
S5	Produzione in cantiere	Terre e rocce da scavo	Scavo per la realizzazione della strada di accesso	m ³	300	Discarica/sito di recupero
DEMOLIZIONI PRINCIPALI						
D1	Produzione in cantiere	Misto calcestruzzo, materiali elastomerici	Ripristino paramento di monte per installazione membrana	m ³	500	Discarica/sito di recupero
D2	Produzione in cantiere	Muratura, bolognini, calcestruzzo	Demolizione paramento di valle per realizzazione nuovo cunicolo	m ³	60	Discarica/sito di recupero
D3	Produzione in cantiere	Calcestruzzo, materiale di costruzione vario	Demolizione camera paratoie e rivestimento del canale	m ³	350	Discarica/sito di recupero
D4	Produzione in cantiere	Ferro	Demolizione camera paratoie e rivestimento del canale	t	10	Discarica/sito di recupero
D5	Produzione in cantiere	Ferro	Rimozione paratoie esistente			Discarica/sito di recupero
D6	Produzione in cantiere	Ferro	Rimozione valvola a farfalla esistente			Discarica/sito di recupero
D7	Produzione in cantiere	Ferro	Rimozione by-pass e virole esistenti	t	1,5	Discarica/sito di recupero
PERFORAZIONI						
P1	Produzione in cantiere	Cutting e fanghi di perforazione	Perforazioni per iniezioni di consolidamento, installazione barre di cucitura, drenaggi, ecc.	m ³	150	Discarica/sito di recupero

Tabella 25: Volumetrie delle materie in esubero

Come illustrato nella tabella 24 sopra riportata si prevede il prelievo per l'approvvigionamento parziale/totale del Tout-venant (materiale volumetricamente più rilevante), sulle sponde del bacino mentre gli altri materiali saranno reperiti da cave/siti di produzione già esistenti nel territorio.

Come illustrato nella tabella 24 si prevede di riutilizzare parte del materiale scavato per la realizzazione delle opere.

Per quanto riguarda la possibilità di riutilizzare quota parte dei materiali scavati, attualmente non sono disponibili indagini ambientali per la caratterizzazione del materiale in sito ma si ritiene, considerando l'assenza di attività antropiche nelle vicinanze e che la maggior parte delle aree interessate è inclusa all'interno del Parco della Sila, che la maggior parte di esso non sia stato soggetto a fenomeni di contaminazione e quindi riutilizzabile all'interno dello stesso sito.

La collocazione dei materiali di risulta potrà avvenire nelle discariche o impianti di recupero autorizzati presenti sul territorio.

10. ASPETTI DI CARATTERE AMBIENTALE E PAESAGGISTICO

In questo capitolo si illustrano sinteticamente i temi ambientale e paesaggistico che caratterizzano il progetto, rimandando per maggiori dettagli ed approfondimenti agli elaborati progettuali.

La soluzione progettuale scelta si basa sulla volontà di evitare uno svasso completo del lago Ampollino, che comporterebbe effetti sull'ambiente lacustre e sulle sue biocenosi, e la conseguente fluitazione a valle dello sbarramento dei sedimenti finì accumulati nel tempo nei pressi dello scarico di fondo, preservando così anche le caratteristiche del torrente Ampollino con riferimento alla qualità delle acque e allo stato delle componenti biotiche. Gli interventi di miglioramento sismico sono stati quindi concentrati principalmente a valle della diga (rilevato e strada di accesso), mentre le perforazioni necessarie sia al consolidamento dello sbarramento che alla realizzazione del nuovo sistema di drenaggio saranno realizzate a partire dal coronamento e dal piede di valle dello sbarramento principale in muratura. L'unico intervento che riguarda il ripristino del manto superficiale del paramento di monte a contatto con l'invaso, non sarà esteso a quote inferiori alla minima regolazione dell'invaso.

In merito all'inserimento paesaggistico delle opere in progetto occorre sottolineare come il rinverdimento del rilevato costituisce un elemento di miglioramento rispetto all'impatto attuale della diga, in ragione del contesto naturale montano in cui si trova. I nuovi manufatti in calcestruzzo come i cunicoli e la camera di manovra delle paratoie, indispensabili per la gestione e la sicurezza dello sbarramento, sono stati previsti all'interno del rilevato per cui, non essendo visibili dall'esterno, non producono impatti sul paesaggio; le superfici visibili dall'esterno di tali manufatti saranno rivestite in pietra locale in modo da migliorarne l'inserimento paesaggistico.

La scelta di impiegare terreno naturale per la realizzazione del rilevato a valle della diga evidenzia vantaggi anche dal punto di vista ambientale. Infatti, essa comporta un minore rischio di insorgenza di impatto ambientale sia nel corso della fase realizzativa, in quanto non prevede l'impiego di sostanze potenzialmente inquinanti per la costruzione del manufatto, sia nella in fase di esercizio, in relazione all'assenza di possibili effetti sulle matrici ambientali (acque, suolo, sottosuolo...); inoltre, un ulteriore vantaggio è determinato dal migliore inserimento nel contesto paesaggistico, connesso al rinverdimento del rilevato.

Per quanto riguarda gli altri interventi individuati secondo criteri tecnico-economici, la scelta tra alternative è da riferirsi, sotto il profilo dell'impatto ambientale, alle possibili modalità realizzative.

Le possibili soluzioni alternative analizzate hanno riguardato l'intervento di ripristino superficiale del paramento di monte, i siti di reperimento del materiale inerte per la realizzazione del rilevato e la localizzazione delle aree di cantiere.

Per quanto riguarda la rimozione dello strato di intonaco che riveste il paramento di monte è stato scartato l'impiego della tecnica di idroscarifica per la cui esecuzione sarebbe necessario destinare rilevanti volumi d'acqua da raccogliere adeguatamente e smaltire in idonei impianti di depurazione. La raccolta in loco dei reflui derivanti da tale operazione comporterebbe, oltre ad oggettivi rischi di

incidenti ambientali, difficoltà tecniche d'installazione significative; il trattamento delle acque contaminate dal materiale di rivestimento dell'attuale paramento, oggetto di successivi interventi manutentivi nel corso della vita dell'opera, non sarebbe attuabile presso un impianto di depurazione installato appositamente in area cantiere. Quindi al fine di evitare un consumo di risorsa idrica significativo, oltre al rischio di trattenerne e raccogliere adeguatamente i reflui derivanti dalle lavorazioni, si è scelta la rimozione meccanica del rivestimento, garantendo la raccolta del materiale di risulta e il relativo corretto smaltimento, evitando il coinvolgimento della componente liquida, intesa sia come risorsa sia come matrice ambientale.

Per la realizzazione del rilevato è previsto l'impiego di un volume significativo di materiale inerte, in parte necessariamente di tipo selezionato in funzione di specifiche caratteristiche fisiche e dimensionali e in parte, quasi per la metà del volume, di tipo tout-venant, ossia senza particolari caratteristiche di uniformità o qualità. L'approvvigionamento del materiale inerte con caratteristiche ben determinate deve essere effettuato necessariamente in corrispondenza di siti di produzione ove la risorsa disponibile soddisfa i criteri progettuali, mentre per quanto concerne il materiale tout-venant è stato possibile considerare l'opportunità di attuare il prelievo in corrispondenza delle sponde del bacino dell'Ampollino. Questa soluzione permette di trasferire sedimenti depositatisi naturalmente nel bacino nella fascia di regolazione dell'invaso, come previsto dal Progetto di Gestione dell'invaso, a valle della diga per la costruzione del rilevato, secondo i principi di recupero del volume utile e della continuità del trasporto solido richiamati dal DM 205/2022.

In questo modo è possibile anche ridurre il numero dei transiti di mezzi pesanti dedicati al trasporto di materiale al sito di intervento e provenienti da aree estrattive esterne all'area di progetto, limitando, quindi, le emissioni di gas inquinanti e a effetto serra derivanti da tale attività e le possibili interferenze generate sui flussi di traffico che interessano le strade di lunga percorrenza di collegamento tra area di progetto e i possibili siti di approvvigionamento del materiale inerte.

Con maggiore dettaglio, se si considera la stima delle emissioni in atmosfera prodotte dai veicoli adibiti al trasporto del materiale riferita alle due soluzioni ipotizzate, emerge che il prelievo di materiale tout-venant lungo le sponde (Hp 2) comporta una percentuale del 40% in meno di emissioni rispetto alla soluzione che prevede il reperimento di tutto il materiale da siti di produzione esterni (Hp 1).

Per il calcolo delle emissioni di gas e polveri è stato considerato il transito di mezzi fino al sito di approvvigionamento più lontano individuato nel corso dello sviluppo della progettazione, che dista circa 47 km dalla diga di Trepidò e si trova in comune di Rocca di Neto (provincia di Crotone). I siti di prelievo lungo le sponde sono due e distano in media circa 7 km dalla diga. Nella tabella seguente sono riportate le stime delle emissioni di inquinanti atmosferici per le due soluzioni progettuali considerate. I fattori di emissione considerati per il calcolo delle emissioni complessive sono dedotti da "Air pollutant emission inventory guidebook 2019, Technical guidance to prepare national emission inventories", EMEP/EEA (2019).

Materiale	Volume di progetto (m ³)	n. viaggi A/R	Hp 1	Hp 2
			km	km
Filtro	3.000	200	18.800	18.800
Dreno	4.000	267	25.067	25.067
Tout-venant	23.000	1.533	144.133	22.080
Rockfill	11.000	733	68.933	68.933
Terreno vegetale	3.280	219	20.555	20.555
Totale	44.280	2.952	277.488	155.435

Tabella 26: volumi di materiale inerte destinato alla realizzazione del rilevato a ridosso del paramento di valle, corrispondente numero di viaggi per il trasporto e chilometri percorsi secondo le due soluzioni progettuali considerate (Hp 1 - approvvigionamento di tutto il materiale da siti esterni, Hp 2 - approvvigionamento del Tout – venant dalle sponde del lago).

Autocari 16-32 t Euro VI A/B/C		CO	NMVO C	NO _x	N ₂ O	NH ₃	CO ₂	PM2.5
Fattori di emissione (g/km)		0,105	0,01	0,422	0,032	0,009	4,86E-01	0,0012
Emissioni totali (kg)	Hp 1	29	3	117	9	2	135	0,3
	Hp 2	16	2	66	5	1	76	0,2
	Differenza	13	1	52	4	1	59	0,1

Tabella 27: stima delle emissioni imputabili ai mezzi pesanti adibiti al trasporto del materiale inerte destinato alla realizzazione del rilevato a ridosso del paramento di valle (Hp 1 - approvvigionamento di tutto il materiale da siti esterni, Hp 2 - approvvigionamento del Tout – venant dalle sponde del lago).

Nella definizione delle soluzioni progettuali si è optato per l'individuazione di un'area di deposito temporaneo dei materiali non limitrofa ai cantieri posti a valle della diga, in modo tale da non interessare aree di pregio naturalistico oltre a quelle necessariamente coinvolte per la realizzazione dei manufatti in progetto. Sono state così valutate alcune differenti possibilità per la collocazione dell'area di stoccaggio temporaneo:

1. la prima ipotesi (Hp A) riguardava un'area in sinistra idrografica del lago Ampollino, posta a una distanza di circa 2,5 km dal sito di cantiere della diga di Trepidò in comune di San Giovanni in Fiore;
2. la seconda ipotesi (Hp B) riguardava un'area in comune di Cotronei, frazione di Trepidò Sopra, posta a una distanza di circa 2,5 km in direzione sud rispetto al sito di cantiere della diga;
3. la terza ipotesi (Hp C), quella di progetto, prevede l'utilizzo di due aree poste in corrispondenza dell'aviosuperficie in comune di Cotronei, a una distanza di circa 3,5 km dal sito di cantiere della diga.

Nonostante le aree individuate secondo le prime due ipotesi si trovino ad una distanza minore dai cantieri operativi, si è preferito optare per le aree site in corrispondenza dell'aviosuperficie, in quanto queste ultime non presentano caratteristiche di pregio paesaggistico-ambientale al contrario delle superfici di cui alle prime due ipotesi. I siti individuati dalle ipotesi A e B sono, infatti, caratterizzati da prati e pascoli a valenza paesaggistica e ambientale, il sito A, inoltre, ricade all'interno del Parco Nazionale della Sila.



Figura 8: localizzazione delle aree di possibile collocazione del sito di stoccaggio temporaneo (A e B, poligoni rossi) e area identificata per tale destinazione dal progetto (C, poligoni blu)

10.1 Studio preliminare ambientale e monitoraggio ambientale

La verifica degli impatti ambientali legati alla realizzazione degli interventi di miglioramento sismico della diga di Trepidò è attua nell'ambito dello Studio Preliminare Ambientale (SPA), al quale si rimanda (elaborato 10320-C-OR-DTR-A-VA-410). Nello Studio è stata appurata la piena compatibilità del progetto con il quadro normativo-pianificatorio e la non rilevanza degli impatti ambientali generati sia in fase di cantiere che di esercizio.

L'effetto positivo atteso con la realizzazione degli interventi è rappresentato dal miglioramento della sicurezza sismica dello sbarramento coerentemente ai criteri imposti della normativa vigente; non si ravvisano effetti negativi significativi riferiti alla fase successiva alla realizzazione delle opere, rappresentate dal rilevato in materiale sciolto a ridosso della diga esistente e dalla strada di accesso a valle della diga.

Nell'ambito delle valutazioni condotte con riferimento alla fase realizzativa sono state individuate le attività potenzialmente interferenti con le componenti ambientali, sono così state evidenziate le criticità e gli elementi di attenzione e definite le modalità operative, recepite dal progetto stesso, che consentono di evitare effetti perturbativi permanenti o a lungo termine sullo stato dell'ambiente.

Sono individuate, a corredo dello Studio preliminare ambientale e mediante specifico elaborato (Piano di monitoraggio ambientale, 10320-C-OR-DTR-A-PN-411), le attività di monitoraggio ambientale da effettuare nelle fasi di ante operam, corso d'opera e post operam con lo scopo di verificare lo scenario ambientale di riferimento e, successivamente, verificare le previsioni degli impatti ambientali e l'efficacia delle misure di mitigazione contenute nello SPA, nonché di individuare tempestivamente eventuali impatti ambientali inattesi in modo tale da intervenire tempestivamente in maniera opportuna. Le componenti oggetto di monitoraggio sono rappresentate da: acque superficiali, avifauna, vegetazione, suolo, rumore e vibrazioni.

10.2 Interventi di compensazione e ripristino

La realizzazione degli interventi in progetto comporta l'interessamento di superfici boscate localizzate a valle della diga di Trepidò da parte sia delle opere che delle installazioni di cantiere. Per tale motivo è stata redatta la Relazione forestale (elaborato 10320-C-OR-DTR-A-RT-411), in cui è presentato l'inquadramento forestale delle aree coinvolte e le pertinenti valutazioni in termini di trasformazione temporanea e permanente del bosco. Gli interventi prevedono una trasformazione complessiva di bosco di 8.216 m²; le superfici boscate in trasformazione interessano tipologie forestali ampiamente rappresentate nel contesto locale e non coinvolgono habitat di interesse comunitario riconosciuti. Dovranno, quindi, essere assolti gli oneri compensativi derivanti dalla trasformazione del bosco mediante esecuzione di un rimboschimento in corrispondenza di una superficie di pari estensione o provvedere alla monetizzazione. Complessivamente si ritiene che gli interventi previsti, per quanto riguarda gli aspetti forestali, siano ammissibili e possano quindi essere autorizzati.

Le previsioni progettuali includono accorgimenti realizzativi finalizzati alla minimizzazione degli effetti paesaggistici e al conseguimento del corretto inserimento delle opere nel contesto territoriale e paesistico caratterizzante l'area di intervento:

- quale misura di mitigazione dei potenziali effetti paesaggistici dovuti all'occupazione di superfici naturali da parte delle piste di accesso ai siti di prelievo del materiale tout venant, è individuata l'attività di ripristino al termine dei lavori con lo scopo di conseguire una condizione del tutto simile allo stato ante operam delle aree. Si prevede l'accantonamento dello strato vegetale/cotico erboso rimosso nella fase iniziale delle lavorazioni e, successivamente al termine dei lavori, il riporto del terreno vegetale precedentemente accantonato, integrato con una componente organica, e il ripristino a prato delle aree. Per favorire una rapida affermazione del cotico erboso sarà preferibile ricorrere alla tecnica dell'idrosemina. La miscela di sementi utilizzata dovrà prevedere unicamente l'impiego di specie autoctone con corredo floristico selezionato in base alla composizione delle limitrofe aree prato pascolive. La miscela utilizzate dovrà essere preventivamente sottoposta all'approvazione della committenza;
- la realizzazione del rilevato prevede la posa di uno strato superficiale di terreno vegetale, al fine di garantire il successivo inerbimento e, in prossimità del piede del rilevato, la posa di una

berma in pietra locale, al fine di evitare fenomeni di erosione e/o di dilavamento, che risulterà coerente con il contesto montano di inserimento;

- i manufatti visibili al piede del rilevato, ossia la nuova cabina di controllo delle paratoie dello scarico di fondo, l'uscita dello scarico di fondo e il fondo alveo, saranno rivestiti in pietra locale per conseguire un corretto inserimento paesaggistico;
- le soluzioni progettuali definite per la realizzazione della strada di accesso alla diga comprendono soluzioni tipiche dell'ingegneria naturalistica, quali grate e palizzate vive e tasche vegetative, che consentiranno un miglior inserimento dell'opera stradale nel contesto paesaggistico del versante in sinistra al fiume Ampollino.

11. CAMPI PROVA E INDAGINI PROPEDEUTICHE ALLO SVILUPPO DELLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA

11.1 Premessa

Questo capitolo descrive i campi prova, le indagini e gli approfondimenti propedeutici allo sviluppo della progettazione esecutiva.

11.2 Campo prova per l'esecuzione delle iniezioni di consolidamento

Per ognuno degli interventi progettuali di consolidamento previsti in progetto (iniezioni dal coronamento degli sbarramenti principale e secondario, iniezioni dal paramento di valle dello sbarramento principale) si prevede di realizzare un propedeutico campo prova per tarare le modalità esecutive, la composizione della miscela di iniezione, la maglia di intervento ed i parametri di iniezione. I campi prova saranno effettuati in corrispondenza delle prime iniezioni eseguite nelle diverse porzioni dell'opera. Per ogni campo prova, saranno eseguite 2 o più aree di prova, all'interno delle quali saranno testati diverse miscele e/o diverse procedure operative.

Per la trattazione dettagliata dello schema geometrico e della procedura operativa dei campi prova si rimanda alla relazione dedicata del Progetto definitivo (10320-C-OR-DTR-C-RT-217).

In questo campo prova saranno anche installate una o più barre metalliche previste per il consolidamento della parte sommitale dello sbarramento, in modo da effettuare le prove di sfilamento per la conferma delle ipotesi progettuali.

11.3 Campo prova propedeutico alla realizzazione del nuovo sistema di drenaggio

Come descritto precedentemente, tra gli interventi di miglioramento sismico progettati per la diga in oggetto è prevista la realizzazione di un nuovo sistema di drenaggio del corpo diga e della fondazione. Il sistema di drenaggio presenta uno schema non convenzionale e prevede la realizzazione di un doppio sistema di canne verticali (eseguite dal coronamento) e sub-orizzontali (eseguite dalla parte bassa del paramento di valle). Elemento fondamentale per il corretto funzionamento del sistema è che tutte le canne suborizzontali intercettino le relative canne verticali. La realizzazione di tale intervento richiede dunque una precisione esecutiva molto elevata.

Per tale motivo si ritiene necessaria la realizzazione di un propedeutico campo prova al fine di comprendere la fattibilità esecutiva dell'intervento e definire le modalità esecutive più idonee al raggiungimento dell'obiettivo. Inoltre, l'esperienza maturata durante il campo prova consentirà di redigere delle specifiche tecniche dettagliate da applicare durante l'esecuzione dell'intervento.

Per il campo prova, si prevede in particolare di realizzare n. 3 coppie di drenaggi verticali-orizzontali. Essi saranno ubicati nella parte centrale della diga, all'interno del primo concio (tra il 1° ed il 2° giunto).

Per la trattazione dettagliata dello schema geometrico e della procedura operativa dei campi prova si rimanda alla relazione dedicata del Progetto definitivo (10320-C-OR-DTR-C-ST-210).

11.4 Piano di indagini per la caratterizzazione dei siti di prelievo del tout-venant del rilevato

Le due aree (denominate sito 2 e sito 3) selezionate come siti di prelievo del tout-venant per la realizzazione del nuovo rilevato in materiali sciolti saranno investigate tramite una serie di indagini utili a comprendere sia la potenziale disponibilità in termini volumetrici sia la qualità del materiale estraibile. In particolare, si prevede di eseguire, le seguenti indagini:

- Sito 2
 - n. 1 sondaggio verticale eseguito fino al raggiungimento del substrato roccioso (comunque non superiore a 10 m);
 - n. 4 trincee di profondità pari a circa 2 m.
- Sito 2
 - n. 1 sondaggio verticale eseguito fino al raggiungimento del substrato roccioso (comunque non superiore a 10 m);
 - n. 2 trincee di profondità pari a circa 2 m.

Dai sondaggi e dalle trincee saranno prelevati dei campioni per le prove di laboratorio (analisi di caratterizzazione delle terre, analisi petrografiche, prove di resistenza all'abrasione e agli agenti atmosferici, ecc.)

Per la trattazione dettagliata del piano di indagini dei siti 2 e 3 si rimanda alla relazione dedicata del Progetto definitivo (10320-C-OR-DTR-C-PN-210).

11.5 Indagini per la valutazione dello stato di consistenza del paramento di monte

Come descritto in precedenza si prevede tra gli interventi di progetto di effettuare un ripristino del manto superficiale del paramento di monte.

I dettagli relativi ai materiali impiegati e alle procedure operative dovranno essere definiti nella fase di progettazione esecutiva sulla base dei risultati di un piano di indagini per valutare lo stato di consistenza del rivestimento attualmente presente sul paramento di monte degli sbarramenti principale e secondario.

Si prevede di eseguire in particolare n. 6 sondaggi nello sbarramento principale e n. 2 nello sbarramento secondario. I sondaggi saranno a carotaggio continuo di lunghezza minima di 1 m.

L'ubicazione dei carotaggi dovrà essere definita in fase esecutiva. Le lavorazioni dovranno essere eseguite nel periodo di minimo livello dell'invaso in modo da poter investigare anche la porzione inferiore del paramento di monte.

Dalle carote estratte dai carotaggi si prevede di selezionare dei campioni per l'esecuzione di prove di laboratorio (prove di resistenza a compressione, prove di resistenza a trazione indiretta)

Inoltre, si prevede si eseguire delle prove di pull-out per valutare la forza di adesione tra il rivestimento esterno del paramento e il calcestruzzo costituente il corpo dello sbarramento.

11.6 Piano di indagini propedeutiche alle verifiche strutturali del ponte e del muro sfioratore

Per quanto riguarda il ponte sullo sfioratore in sponda destra e il muro di sostegno adiacente allo stesso sfioratore sono previste delle indagini e delle prove in laboratorio sui materiali, propedeutiche alla verifica statica e sismica delle strutture stesse. Queste attività s'inseriscono nell'ambito degli ulteriori approfondimenti in situ in modo che gli eventuali interventi di rinforzo che si rendessero necessari sulle opere in oggetto potranno essere dimensionati direttamente nel progetto esecutivo.

In particolare, si prevede si eseguire le seguenti indagini:

- 1) RILIEVO: rilievo plano-altimetrico dell'area in corrispondenza dello sfioratore tramite laser scanner, comprendendo il muro di sostegno e il ponte soprastante lo sfioratore stesso.
- 2) MURO DI SOSTEGNO DELLO SFIORATORE: ispezione visiva e rilievo difettologico del muro di sostegno. Indagine diagnostica degli elementi in rilievo.
- 3) PONTE SULLO SFIORATORE: ispezione visiva e rilievo difettologico delle parti d'opera costituenti il ponte. Indagine diagnostica.

Per la trattazione dettagliata delle indagini sopra sintetizzate si rimanda alla relazione dedicata del Progetto definitivo (10320-C-OR-DTR-C-PN-212).

11.7 Sopralluoghi e rilievi lungo il tracciato della nuova strada di accesso a valle diga

Per quanto riguarda l'ammasso roccioso interessato dalla realizzazione della strada non si hanno informazioni di dettaglio rispetto al profilo stratigrafico e alle caratteristiche meccaniche. Si prevede dunque di effettuare, propedeuticamente alla fase di progettazione esecutiva, dei sopralluoghi geologici e dei rilievi geostrutturali per la valutazione delle caratteristiche geotecniche locali con particolare riferimento a: la qualità dell'ammasso roccioso, la presenza e lo spessore del terreno di copertura, le caratteristiche delle discontinuità, l'eventuale presenza di acqua, ecc.

12. CRONOPROGRAMMA

Le fasi di lavoro sono illustrate nel cronoprogramma dei lavori riportato in Figura 12-2 (10320-C-OR-DTR-G-CR-210) e descritte in dettaglio nella relazione di cantierizzazione (10320-C-OR-DTR-C-RT-219).

La successione delle lavorazioni può intendersi schematicamente suddivisa nelle n. 6 macrofasi principali sintetizzate nella seguente figura.

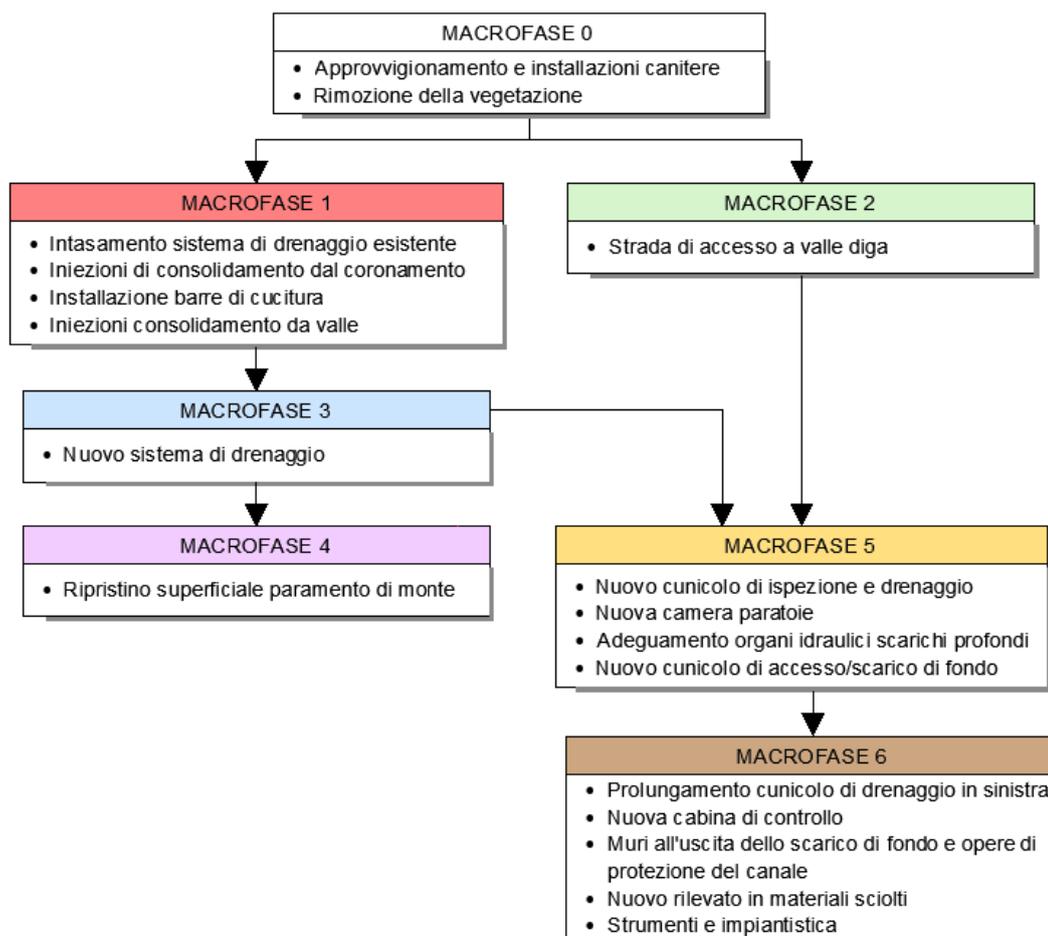


Figura 78 – Macrofasi delle lavorazioni

Il cronoprogramma delle lavorazioni è stato definito tenendo conto dei seguenti vincoli gestionali:

- possibilità di limitare alla minima regolazione l'invaso solo nei mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre sia per ragioni di approvvigionamento e disponibilità della risorsa idrica che per alimentazione delle utenze irriguo-potabili lungo l'asta;
- mantenere sempre e comunque operativo almeno uno degli scarichi profondi presenti nella diga (scarico di fondo o scarico di alleggerimento).

13. CONCLUSIONI

Il presente documento costituisce la Relazione generale del Progetto Definitivo degli interventi di miglioramento sismico della diga di Trepidò ed è parte della documentazione trasmessa:

- alla DG Dighe per l'istruttoria relativa agli interventi di miglioramento sismico della diga;
- al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e al Ministero della Cultura per lo svolgimento dell'istruttoria di Verifica di assoggettabilità alla Valutazione di Impatto ambientale ai sensi dell'art. 19 del d. lgs 152/2006.

Nella prima parte della relazione, oltre alla descrizione dell'opera allo stato attuale (**Capitolo 3**), sono sintetizzati i principali rilievi e indagini eseguiti nel corso degli anni per la caratterizzazione topografica, geologico-geotecnica-sismica del sito e per la caratterizzazione dei materiali costituenti lo sbarramento (**Capitolo 4**).

Nei successivi capitoli (**Capitoli 5 e 6**) è stato presentato un breve inquadramento geologico, geotecnico e sismico del sito oggetto dello studio, con particolare riferimento alla descrizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che costituiscono l'ammasso di fondazione dello sbarramento e alla definizione delle azioni sismiche di progetto utilizzate nelle analisi di stabilità e nelle verifiche strutturali dello sbarramento.

Nel **Capitolo 7** sono state descritte le principali proprietà dei materiali che costituiscono lo sbarramento, desunte dai risultati delle campagne di indagini descritte nei capitoli precedenti.

Nella parte centrale della relazione (**Capitolo 8**) sono stati descritti gli interventi di miglioramento sismico previsti nel presente Progetto Definitivo. I principali interventi previsti sono elencati di seguito:

- Consolidamento tramite iniezioni cementizie del corpo diga, del contatto diga-fondazione e dei primi metri della fondazione;
- Consolidamento/cucitura della parte sommitale degli sbarramenti principale e secondario tramite installazione di barre passive;
- Ripristino superficiale del paramento di monte;
- Realizzazione di nuovo sistema di drenaggio del corpo diga;
- Realizzazione di un nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio;
- Realizzazione di un rilevato in materiale sciolto a ridosso del paramento di valle;
- Realizzazione di un cunicolo monte-valle con la duplice funzionalità di accesso e di prolungamento dello scarico di fondo;
- Realizzazione di una nuova camera di manovra dello scarico di fondo e della relativa cabina di controllo;
- Adeguamento e integrazione degli organi idromeccanici dello scarico di fondo e dello scarico di alleggerimento;
- Realizzazione di una strada di accesso a valle diga;

- Integrazione del sistema di monitoraggio della diga

L'intervento principale è rappresentato sicuramente dalla creazione di un rilevato in materiali sciolti da realizzare in aderenza al paramento di monte dello sbarramento principale. Con riferimento ai risultati delle indagini effettuate, assumono notevole importanza anche gli interventi finalizzati al consolidamento sia del corpo diga esistente che della parte di roccia di fondazione a contatto con la diga. Con le iniezioni di consolidamento sarà anche creato uno schermo di tenuta a monte delle nuove canne di drenaggio, ad integrazione e completamento del previsto rifacimento del manto superficiale del paramento di monte.

L'attuale sistema di drenaggio che consente di intercettare le permeazioni della sola porzione superiore dello sbarramento sarà abbandonato mentre il nuovo, conforme agli standard normativi, sarà esteso fino alla roccia di fondazione.

La presenza del rilevato comporta necessariamente una serie di accorgimenti finalizzati al convogliamento, a valle dello stesso, delle acque provenienti sia dallo scarico di fondo, che dal sistema di raccolta delle perdite. Per tale scopo è stato progettato un cunicolo che, a partire dall'attuale camera di manovra della valvola a farfalla dello scarico di fondo, attraversa tutto il rilevato. Tale camera di manovra sarà demolita per lasciar spazio ad una di più ampie dimensioni, che potrà ospitare due nuove paratoie con cui gestire lo scarico di fondo.

Anche lo scarico di alleggerimento della diga sarà oggetto di una manutenzione straordinaria che prevede anche la sostituzione degli organi idraulici e dei relativi sistemi di movimentazione.

La nuova strada di accesso al piede di valle della diga si rende necessaria sia per la realizzazione degli interventi previsti in progetto che, in fase di esercizio dell'opera, per l'accesso alle nuove paratoie di intercettazione dello scarico di fondo, anche in funzione di eventuali loro interventi di manutenzione/sostituzione.

Rientrano nel perimetro degli interventi sia l'integrazione dell'attuale sistema di monitoraggio della diga muraria che l'installazione di idonea strumentazione per il monitoraggio del nuovo rilevato.

Gli interventi progettuali previsti garantiscono, come evidenziato nelle relazioni di calcolo e verifica dedicate, un miglioramento sostanziale della sicurezza della diga in condizioni statiche, sismiche e post-sismiche.

Nel **Capitolo 9** sono stati descritti i principali aspetti cantieristici funzionali alla realizzazione degli interventi previsti in progetto con particolare riferimento all'organizzazione del cantiere, alla gestione dei materiali e alle fasi delle lavorazioni. Per la realizzazione degli interventi sono state individuate n. 5 aree principali: il campo base (CB), il cantiere operativo della diga (COD), il cantiere operativo strada di accesso (COS), i siti di prelievo Tout-Venant (CV) e il sito di stoccaggio temporaneo dei materiali (ST).

Per ogni area sono stati affrontati gli aspetti relativi alle lavorazioni previste, agli impianti e alle installazioni funzionali alla realizzazione degli interventi, all'accessibilità.

Inoltre, sono stati quantificati il fabbisogno dei materiali per la realizzazione delle opere, le volumetrie e la relativa movimentazione delle materie di scavo, il fabbisogno dei materiali da approvvigionare da siti di produzione esistenti, il bilancio dei materiali e le volumetrie degli esuberi.

Sono state descritte altresì le modalità di gestione e smaltimento previste per i materiali in esubero ed individuati i siti di produzione per l'approvvigionamento degli stessi.

Nel **Capitolo 10** sono stati affrontati i temi ambientale e paesaggistico che caratterizzano il progetto.

Nel **Capitolo 11** sono stati descritti i campi prova e le indagini propedeutiche previsti per lo sviluppo della progettazione esecutiva (campo prova per l'esecuzione delle iniezioni di consolidamento, campo prova propedeutico alla realizzazione del nuovo sistema di drenaggio, piano di indagini per la caratterizzazione dei siti di prelievo del tout-venant del rilevato, indagini per la valutazione dello stato di consistenza del paramento di monte, piano di indagini propedeutiche alle verifiche strutturali del ponte e del muro sfioratore, sopralluoghi e rilievi lungo il tracciato della nuova strada di accesso a valle diga).

Nel **Capitolo 12** è stato sinteticamente descritto il cronoprogramma dei lavori. Le tempistiche delle lavorazioni sono state definite tenendo conto dei seguenti vincoli gestionali:

- possibilità di limitare alla minima regolazione l'invaso solo nei mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre sia per ragioni di approvvigionamento e disponibilità della risorsa idrica che per alimentazione delle utenze irriguo-potabili lungo l'asta;
- mantenere sempre e comunque operativo almeno uno degli scarichi profondi presenti nella diga (scarico di fondo o scarico di alleggerimento).

Ipotizzando di iniziare le lavorazioni a settembre, la durata totale prevista per l'esecuzione dei lavori è pari a circa 24 mesi solari. Durante il periodo delle lavorazioni sono previste le seguenti limitazioni:

- Limitazione della quota di invaso a 1279,00 m s.l.m. nel periodo compreso tra le attività di intasamento del sistema di drenaggio esistente e la completa realizzazione del nuovo sistema di drenaggio (circa 11 mesi, Ottobre anno 1 - Settembre anno 2);
- Limitazione della quota di invaso a 1273,50 m s.l.m. durante il ripristino superficiale della porzione superiore del paramento di monte (ca. 2 mesi, Ottobre-Novembre anno 1)
- Limitazione alla minima regolazione (1261,17 m s.l.m.) durante le lavorazioni relative al ripristino del manto superficiale del paramento di monte e all'adeguamento degli organi idromeccanici degli scarichi (3 mesi, Ottobre-Dicembre anno 2);
- Limitazione della quota di invaso a 1273,50 m s.l.m. durante la costruzione del rilevato per consentire il prelievo del tout-venant dai siti lungo le sponde del lago Ampollino (ca. 6 mesi, Gennaio-Luglio anno 2);
- Scarico di fondo non utilizzabile (5 mesi, Novembre anno 2 – Marzo anno 3);
- Scarico di alleggerimento non utilizzabile (2 mesi, Settembre-Ottobre anno 2)