



COMUNE DI CORTONA

(Provincia di Arezzo)



NUOVE ACQUE S.p.A.

Località Poggio Cuculo, Patrignone 52100 - Arezzo - Tel.0575/339500 Fax. 0575/320289 - www.nuoveacque.it

INTERVENTI PER L'INCREMENTO DELLA SICUREZZA DELLA DIGA DI CERVENTOSA

CIG: 9579036692



Elaborato	PROGETTO DEFINITIVO		Scala
	R-01	RELAZIONE GENERALE	

Revisione	Nome file:	Data:	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
3 ^a						
2 ^a						
1 ^a	R-01.docx	Mag 2023	1° Revisione	Ing. Andrea Chiarini	Ing. Alessandro Berni	Ing. Remo Chiarini
emissione	R-01.docx	Gen 2023	1° Emissione	Ing. Andrea Chiarini	Ing. Alessandro Berni	Ing. Remo Chiarini

Progettisti

Visto del committente

<p>Gruppo di lavoro: Ing. Remo Chiarini (Responsabile integrazione prestazioni specialistiche) Ing. Andrea Chiarini (Geotecnica e Strutture) Ing. Alessandro Berni (Idrologia, Idraulica, elaborati economici e piano particolare) Ing. Cosimo Convertino (Sicurezza)</p>	 CHIARINI ASSOCIATI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE <small>Via Galileo Ferraris, 63- 52100 AREZZO - Tel. 0575 355817 - Fax 0575 1824157 www.chiariniassociati.com info@chiariniassociati.com</small>			 II R.U.P.
--	--	--	--	-------------------

Consulenza tecnico scientifica per l'allestimento di modelli e piano strutturale: Prof. Ing. Andrea Benedetti	Ing. Remo Chiarini	Ing. Andrea Chiarini	Ing. Omar Milighetti
--	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Topografia ed elaborazioni Gis e Cad: Ing. Elisa Luciola; Geom. Meri Migliacci, Geom. Mario Sensi, Geom. Ugo Manganaro, Geom. Daniele Tellini

Il presente elaborato, posto sotto tutela di legge, è stato redatto per conto di NUOVE ACQUE S.p.A. da CHIARINI ASSOCIATI Ingegneria Civile e Ambientale e, senza la preventiva autorizzazione scritta dell'autore, sono vietate la riproduzione, anche parziale, e la cessione a terzi estranei ai procedimenti autorizzativi o di appalto.

Verifica e validazione eseguita secondo Norme UNI EN ISO 9001:2000 da Nuove Acque S.p.A.

SOMMARIO

1	Introduzione	4
1.1	Necessità e finalità degli interventi in progetto	4
1.2	Dati caratteristici principali della diga e del serbatoio	4
2	Quadro normativo e documenti di riferimento.....	7
2.1	Principali norme vigenti attinenti alla progettazione delle dighe e delle strutture in genere	7
2.2	Documenti di riferimento consultati per la formazione del quadro conoscitivo	7
3	Descrizione dello stato attuale dell'opera	9
3.1	Caratteristiche geometriche salienti dello sbarramento e delle opere accessorie	10
3.1.1	Sistema di drenaggio	12
3.1.2	Opere di scarico	13
3.1.3	Torre di presa.....	14
3.1.4	Paramento di valle	16
3.1.5	Fondazione	17
3.1.6	Sponde.....	17
4	Richiami sulla costruzione dello sbarramento	19
4.1	Documentazione fotografica storica.....	19
5	Caratteri geologici, geomorfologici e sismotettonici dell'area di intervento	26
5.1	Inquadramento geologico-geomorfologico	26
5.2	Aggiornamento dello studio sismotettonico	28
6	Sviluppo delle fasi di studio e progettazione precedenti all'elaborazione del progetto definitivo	31
6.1	Lo studio per la "Verifica della sicurezza statica e sismica della Diga di Cerventosa".....	31
6.2	La "Relazione istruttoria" emessa dalla Divisione 6 – Strutture e Geotecnica della Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche	31
6.3	Il progetto di fattibilità tecnico economica degli "Interventi per l'incremento della sicurezza della diga di Cerventosa"	32
6.3.1	Interventi per l'incremento della sicurezza della diga previsti nel PFTE.....	33
6.3.2	Modelli di calcolo utilizzati nelle analisi strutturali esposte nel PFTE e sintesi dei risultati ottenuti	34
6.3.3	Il parere istruttorio sul PFTE	35
6.4	Esito del procedimento di Verifica di Assoggettabilità a VIA.....	37
7	Criteri di progettazione, rilievi e indagini di approfondimento.....	39
7.1	Coerenza del progetto definitivo con le ipotesi d'intervento adottate nel progetto di fattibilità tecnico economica	39
7.2	Adempimento alle prescrizioni istruttorie espresse dall'UTD di Firenze rispetto al PFTE	41
7.3	Rilevanza ambientale e strategicità della risorsa idropotabile derivabile dalla diga di Cerventosa	43
7.4	Aggiornamento dei costi economici nell'ipotesi di dismissione della diga che rafforza la scelta di procedere all'esecuzione degli interventi di incremento della sicurezza	46
7.5	Rilievi topografici e indagini sperimentali integrative a supporto del progetto definitivo ...	47
7.5.1	Rilievi topografici integrativi - STINGEA (2020-2022).....	47

7.5.2	Campagna geognostica Georisorse Italia (2019-2021).....	47
7.5.3	Indagini esplorative sul cunicolo di ispezione dello scarico di fondo. UNILAB Sperimentazioni (2022).....	50
8	Descrizione degli interventi.....	51
8.1	Interventi principali per l'incremento della sicurezza statica e sismica della diga.....	51
8.2	Interventi complementari sulle opere accessorie.....	57
8.3	Aspetti attinenti alla logistica ed organizzazione del cantiere	64
8.3.1	Campo Base	65
8.3.2	Campo ausiliario	65
8.3.3	Aree operative.....	66
8.3.4	Viabilità di cantiere.....	68
8.4	Fasi della cantierizzazione	71
8.5	Successione e descrizione delle fasi lavorative.....	72
8.6	Ripristini ambientali.....	74
9	Movimenti di materie.....	77
10	Bibliografia.....	80

Allegato 1: "STIMA DELLE OPERE NECESSARIE PER LA DISMISSIONE DELLA DIGA DI CERVENTOSA, COMPRESI GLI INTERVENTI PER I RIPRISTINI AMBIENTALI"

1 INTRODUZIONE

1.1 Necessità e finalità degli interventi in progetto

La presente relazione illustra i contenuti e gli obiettivi del progetto definitivo degli *“Interventi per l'incremento della sicurezza della diga di Cerventosa”*, elaborato su incarico del gestore Nuove Acque S.p.A., designato quale soggetto attuatore di dette opere nell'ambito dell'accordo siglato con la Direzione Generale per le Dighe ed le Infrastrutture Idriche ed Elettriche e l'Autorità Idrica della Toscana ai sensi della Delibera Cipe n° 54/2016 e trasmesso al gestore con nota del 08-02-2018.

La diga di Cerventosa (n. arch. 673) è situata in Comune di Cortona (AR) e sbarrata il Fosso della Cerventosa (già Rio Gaude), affluente del Torrente Seano, a sua volta affluente del Torrente Nestore, tributario questo del Fiume Tevere. I lavori di costruzione, su progetto dell'Ing. Notari, approvato dal Consiglio Superiore dei LL.PP. nel 1957, ebbero corso nel periodo 1957-1960 e furono realizzati dall'impresa Pacini di Pisa.

Tuttavia, in ragione di alcune anomalie realizzative originarie e di alcuni incipienti dissesti e malfunzionamenti dell'opera che si manifestarono in più occasioni nel corso degli invasi sperimentali disposti nel tempo, anche a seguito della realizzazione da parte del gestore di vari provvedimenti di miglioramento o ripristino della sicurezza via via ordinati, prima dal Servizio Nazionale Dighe e successivamente anche dalla Direzione Generale Dighe, non è stato ad oggi comunque possibile concludere le operazioni di collaudo ex art. 14 del D.P.R. 1363/1959.

In proposito si richiama infatti la nota n. 8494 del 26-06-2013 con cui la Direzione Dighe, in accordo con la Commissione di Collaudo (ex art. 14) prescrisse la progettazione di interventi di consolidamento/intasamento della diga, inserendola tra quelle richiedenti interventi urgenti di incremento della sicurezza ex. Art. 7, c.7, D.L. 201/2011, convertito in L. 214/2011, nonché la successiva determinazione della Commissione di Collaudo che nel 2015 ribadì la non collaudabilità della diga nella sua situazione attuale indicando che l'alternativa agli interventi prescritti fosse la dismissione dello sbarramento.

1.2 Dati caratteristici principali della diga e del serbatoio

I dati significativi della diga e del serbatoio, desumibili dal FCEM (versione aggiornata al 2004), sono riportati nella tabella che segue la successiva Figura 1-1 nella quale sono

rappresentate le viste in pianta e in sezione della diga. Si evidenzia che le misure e le quote¹ indicate nei disegni del FCEM non sono aggiornate ai rilievi più recenti; inoltre, il FCEM non è stato aggiornato a seguito dei lavori effettuati sullo scarico di superficie e sulla torre di presa.

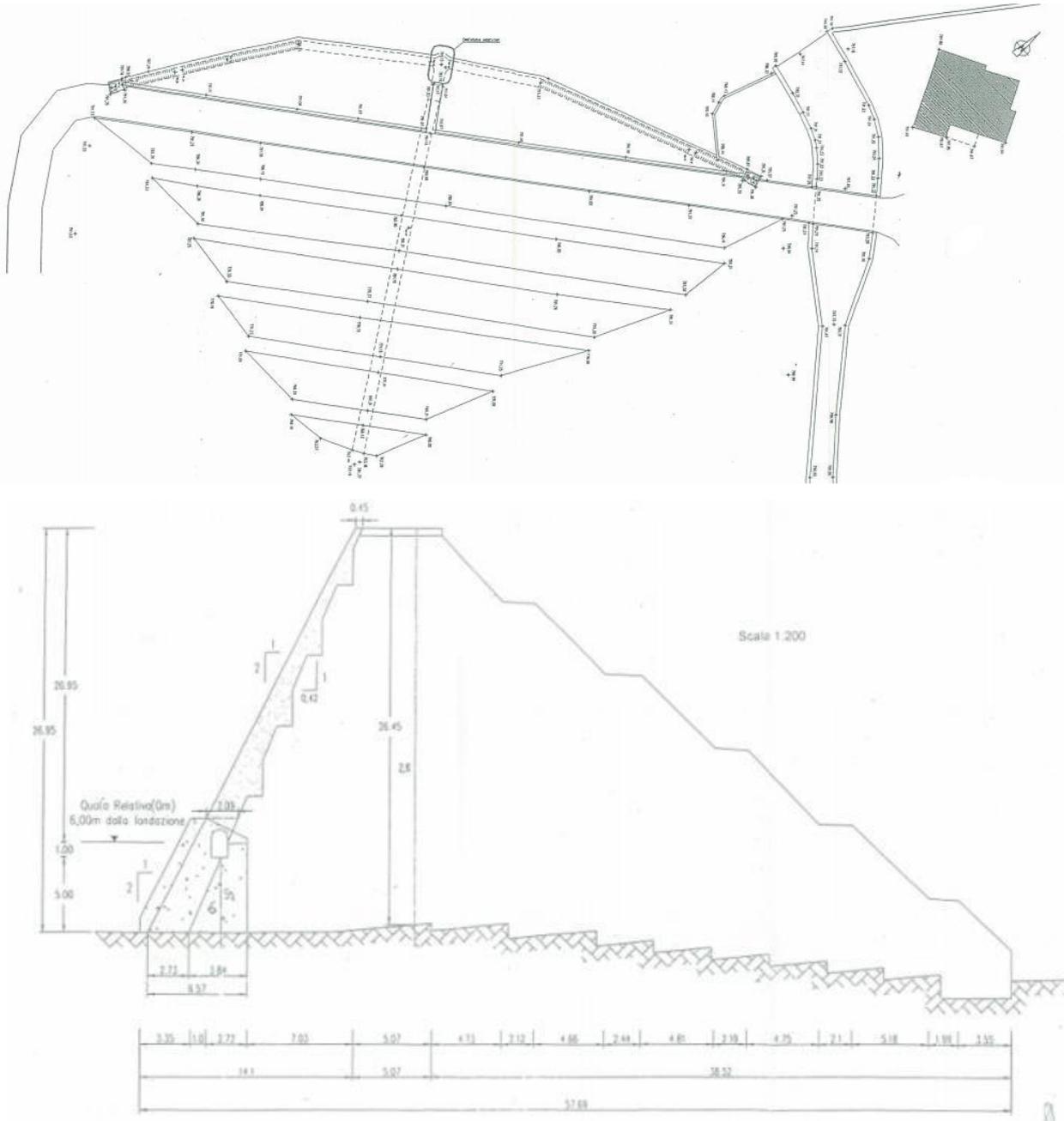


Figura 1-1: Pianta e sezione maestra della Diga di Cerventosa, tratte dal FCEM 2004

¹ Tale discordanza è stata infatti evidenziata a seguito dei rilevamenti effettuati con strumentazione GPS nel corso delle campagne topografiche condotte nella fase propedeutica alla progettazione definitiva, nelle quali l'altimetria rilevata a terra nel sistema di coordinate WGS 84 è stata successivamente convertita mediante l'uso del software VERTO (IGM) con i relativi grigliati ufficiali GK2 dell'area d'interesse. A seguito di tali approfondimenti è risultato che mediamente i valori effettivi delle quote altimetriche assolute in m s.l.m. della diga e delle opere accessorie sono inferiori a quelle espresse nel FCEM 2004 di circa 55 cm.

Tabella 1: Dati caratteristici della Diga e del Serbatoio desunti dal FCEM 2004

- altezza della diga (DM82)	31,00 m
- altezza della diga (L. 584/94)	29,00 m
- altezza di massima ritenuta	27,75 m
- quota del coronamento	791,10 m s.m.
- franco (DM82)	1,00 m
- franco netto (DM82)	---
- sviluppo del coronamento	102,00 m
- volume della diga	50000 m ³
- grado di sismicità assunto in progetto	nullo
- quota minima fondazione	760,00 m s.m.
- quota di massimo invaso	790,10 m s.m.
- quota massima di regolazione (aggiornato)	786,45 m s.m.
- quota minima di regolazione	771,70 m s.m.
- volume totale di invaso (DM82)	150'000 m ³
- volume di invaso (L. 584/94)	130'000 m ³
- volume utile di regolazione	120'000 m ³
- volume di laminazione	20'000 m ³
- superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	0,67 km ²
- superficie del bacino imbrifero allacciato	0,48 km ²
- portata di massima piena di progetto	ca 20 m ³ /sec
- portata esitabile dallo scarico di superficie	15 m ³ /sec
- portata esitabile dallo scarico di fondo	9,5 m ³ /sec

I lavori di adeguamento dello scarico di superficie, effettuati nel 2008, hanno comportato una modifica della quota di massima ritenuta, che (sempre nel riferimento originario non armonizzato ai rilievi più recenti) da 788,85 m s.m. fu ridotta a 786,45 m s.m. Queste modifiche non sono ancora state recepite dal FCEM, che pure necessita dell'aggiornamento dei valori della portata di piena, delle portate esitate dagli scarichi e dei volumi di invaso, grandezze peraltro ricalcolate nella allegata Relazione Idrologico-Idraulica (Elaborato R-03) cui si rimanda per ogni dettaglio.

2 QUADRO NORMATIVO E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Principali norme vigenti attinenti alla progettazione delle dighe e delle strutture in genere

- [N1] “Norme tecniche per le costruzioni” D.M. Infrastrutture del 17 gennaio 2018 (*NTC2018*)
- [N2] Circolare 21 Gennaio 2019 n°7/C.S.LL.PP.
- [N3] “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)”, D.M. Infrastrutture 26 giugno 2014 (*NTD2014*)

2.2 Documenti di riferimento consultati per la formazione del quadro conoscitivo

- [D1] Relazione geologica intorno al progetto di sbarramento della valletta delle Gaude in territorio del comune di Cortona per la creazione di un serbatoio di acqua potabile - Prof. Geol. Paolo Principi, Maggio 1949;
- [D2] Progetto esecutivo dei lavori di costruzione dell'acquedotto del capoluogo di Cortona, Relazione - Dott. Ing. Giuseppe Notari, Marzo 1957, comprensivo degli elaborati grafici da 1 a 9;
- [D3] Inquadramento geotecnico dei terreni di fondazione e del corpo diga - Acquamarina 2000 s.r.l., Novembre 2002;
- [D4] Relazione di calcolo - Acquamarina 2000 s.r.l., Novembre 2002;
- [D5] Indagini geognostiche per la caratterizzazione dei materiali costituenti il corpo diga e dei terreni di fondazione - Sondeos S.r.l., Giugno 2006;
- [D6] Relazione geologica a supporto del Progetto esecutivo degli interventi di adeguamento sismico della Diga di Cerventosa - Dott.sa Geol. Benedetta Chiodini, Novembre 2006;
- [D7] Diga di Cerventosa adeguamento sismico della torre di presa e manutenzione straordinaria per il miglioramento delle condizioni di sicurezza della diga – Variante al progetto esecutivo - Idrostudio, Ottobre 2008;
- [D8] Indagine geofisica multimetodologica finalizzata alla valutazione della consistenza del corpo diga della Cerventosa - Georisorse Italia s.a.s, Ottobre 2013
- [D9] Esecuzioni di indagini geognostiche sul corpo diga della Cerventosa – Rapporto tecnico - SONDEOS, Febbraio 2015
- [D10] Relazione 10153-R01PA/15_Rev.0 – Indagini sperimentali su materiali diga di Cerventosa – Cortona (AR) - Experimentations S.r.l., Luglio 2015

- [D11] Esecuzioni di indagini geognostiche sul corpo diga della Cerventosa – Indagini integrative – Rapporto tecnico - SONDEOS, Agosto 2015
- [D12] Relazione sismotettonica – Georisorse Italia, 2015
- [D13] Verifica della sicurezza statica, sismica e idraulica della diga di Cerventosa – Chiarini Associati, 2015
- [D14] Relazione istruttoria su Verifica della sicurezza statica e sismica della diga di Cerventosa – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche, 2016

3 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELL'OPERA

La conformazione del corpo diga, costituito da pietrame sciolto disposto alla rinfusa (*rockfill*) e provvisto sul paramento di monte di uno schermo esterno impermeabile in calcestruzzo, ai sensi delle norme tecniche di cui al citato decreto 26 giugno 2014, rende l'opera di sbarramento classificabile all'interno della categoria **b.3** (*Dighe in materiali sciolti di pietrame con struttura di tenuta esterna*). Inoltre, secondo la medesima normativa (capitolo C7.7.2) è possibile annoverare la diga di Cerventosa fra le dighe definibili "rilevanti per le conseguenze di un eventuale collasso" ai fini della determinazione del periodo di riferimento dell'azione sismica.



Figura 3-1 – Vista aerea dello sbarramento (2015)

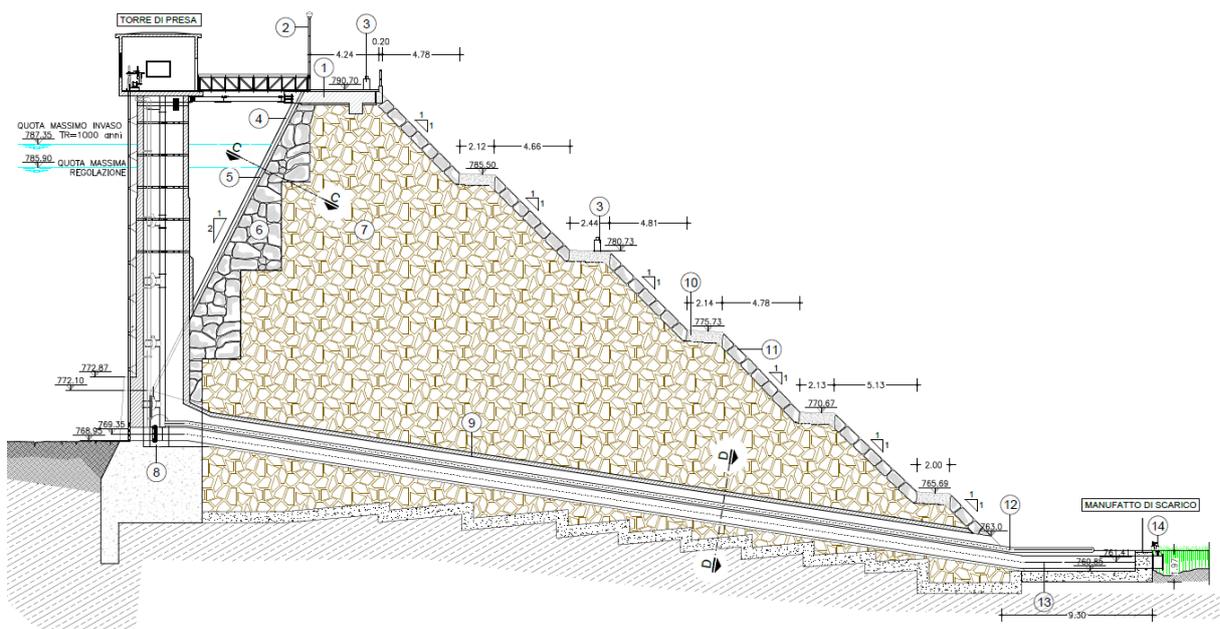


Figura 3-2 – Sezione trasversale della diga in asse al cunicolo dello scarico di fondo e della condotta di derivazione.

3.1 Caratteristiche geometriche salienti dello sbarramento e delle opere accessorie

Come già accennato e come si può desumere dalla sua sezione maestra (vedi Figura 3-2/Figura 3-1), la diga è costituita da un paramento di monte rivestito in lastre di calcestruzzo ad elevata pendenza ($H:V = 1:2$, pari a circa 63° sull'orizzontale), fino al coronamento orizzontale carrabile di larghezza costante pari a circa 5.0 m, posto a quota 790,70² m s.l.m., da un corpo omogeneo in pietrame sciolto in blocchi alla rinfusa (rockfill) che presenta un paramento di valle avente scarpa 1:1, ma interrotto da 5 berme orizzontali intermedie di larghezza pari a 2.1 – 2.2 m, aventi equidistanza verticale pressoché costante e pari a 6.0 m. Detta configurazione determina una pendenza media del paramento di valle (dal ciglio del coronamento al piede di valle) pari a 1:1,3 che corrisponde ad un angolo di 38° sull'orizzontale. Come già osservato tutto il paramento di valle è protetto da uno strato esterno di muratura in pietrame arenaceo o calcarenitico stilato con malta.

Al piede del paramento di monte, per quanto desumibile dalla documentazione di progetto a disposizione del gestore, fu realizzato un basamento in calcestruzzo³ che presenta una sezione trasversale trapezoidale avente altezza massima pari a circa 8.30 m e larghezza alla base di circa 6.10 m. Al suo interno è contenuto il cunicolo di ispezione e raccolta delle acque provenienti dal sistema di drenaggio incluso nel paramento di monte, realizzato affiancando secondo la direzione della massima pendenza canali semicircolari in c.a.v. di 200 mm di diametro, murati su un letto di calcestruzzo posato sul fronte esterno della struttura muraria principale al di sotto del manto di tenuta in lastre di rivestimento in c.a.

In corrispondenza della mezzera trasversale dello sbarramento, al piede del paramento di monte, è collocata la torre di presa (Figura 3-8), avente altezza complessiva (al lordo del locale di manovra posto in sommità) pari a 25.40 m e sezione circolare cava in calcestruzzo di diametro interno costante su tutta l'altezza pari a circa 2.50 m, ma di spessore decrescente verso l'alto. Il torrino risulta infatti articolato in quattro tronchi a spessore costante, pari a 65 cm nel fusto basale, a 58 cm in quello intermedio, 38 cm e

² Quota altimetrica aggiornata ai rilievi topografici più recenti e conforme al riferimento IGM per le quote assolute in m s.l.m.

³ Basamento che nei disegni di progetto pare munito di una sorta di taglione di tenuta sul bordo di monte, verosimilmente approfondito fino a raggiungere il bedrock più compatto presente sotto gli strati di alterazione della formazione affiorante.

a 30 cm di quello terminale. Il torrino è fondato in asse al basamento del paramento di monte ed alla base risulta parzialmente inglobato nello stesso.

In corrispondenza del margine superiore del predetto basamento è impostato il rivestimento impermeabile del paramento di monte, realizzato mediante moduli rettangolari in c.a. di dimensione 3 m x 2.1 m, posati su un allettamento di calcestruzzo contenente il sistema di drenaggio delle acque di filtrazione. Dietro di questo è presente uno strato in muratura di pietrame in blocchi grossolani di natura litologica simile a quella degli elementi lapidei del rivestimento del paramento di valle.

Lo spessore di questa struttura muraria è variabile perché ha una pendenza costante e continua del paramento di monte, mentre su quello di valle mostra un andamento verticale a tratti che vengono a collocarsi sempre più verso l'asse della diga man mano che salgono di quota. Presumibilmente, per quanto emerso dalle indagini in situ effettuate mediante carotaggi, tale spessore risulta pari a circa 2 m in corrispondenza dell'ammorsamento nel corpo in c.a. del basamento, mentre si riduce fino a circa 50 cm alla base del coronamento. La ricostruzione dell'andamento dello spessore del rivestimento murario del paramento di monte, per quanto non del tutto certa, anche se comunque basata sugli esiti delle indagini esplorative effettuate durante la stesura del presente progetto (vedi paragrafo 4), è illustrata nella successiva Figura 3-3.

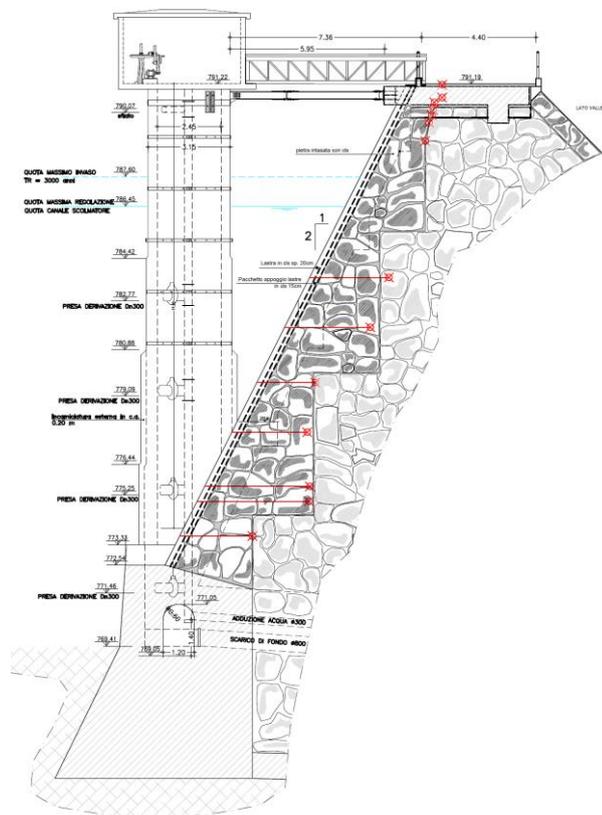


Figura 3-3: Assetto del paramento di monte ricostruito sulla base dei carotaggi e saggi distruttivi effettuati nel 2015.

3.1.1 SISTEMA DI DRENAGGIO

Come già osservato il sistema drenante dello sbarramento è costituito da una serie di semi-tubi verticali in cemento di diametro 0,20 m posti ad interasse costante pari a 0,50 m immediatamente al di sotto dello schermo impermeabile di monte. I tubi interessano l'intero paramento di monte e si estendono verticalmente dalla quota del coronamento fino al cunicolo di ispezione (vedi Figura 3-4). L'ingresso diretto delle acque meteoriche nei condotti è di norma impedito dalla presenza di carter metallici posizionati a monte della sede carrabile del coronamento. Su ciascun semi-tubo drenante, orientato verso monte, durante le fasi di costruzione, è stato posizionato un pannello in legno truciolare con funzione di cassero a perdere per l'appoggio delle lastre in c.a. costituenti lo schermo impermeabile. In molti casi questa modalità costruttiva ha dato luogo a frequenti parziali o totali ostruzioni del sistema di drenaggio, causate dalla progressiva caduta di porzioni di truciolato deteriorato dagli agenti atmosferici all'interno dei condotti, obbligando il gestore ad operazioni di spurgo delle canne drenanti.



Figura 3-4 – Imbocco dei condotti di drenaggio

I condotti di drenaggio sub verticali confluiscono poi all'interno del cunicolo di ispezione in una canaletta metallica di raccolta rappresentata in Figura 3-5.

Il cunicolo ha dimensioni pari a 2 m di altezza al colmo per 1,5 m di larghezza e corre all'interno del basamento di fondazione. L'accesso al cunicolo avviene attraverso la torre di presa, che lo intercetta nella mezzeria, oltre che tramite due ingressi laterali posti alle estremità del coronamento.

In corrispondenza della mezzeria del cunicolo, ovvero in asse alla torre di presa, si dirama, parallelamente alla sezione maestra della diga, un ulteriore cunicolo d'ispezione in cui sono alloggiata la tubazione metallica DN 800 costituente lo scarico di fondo e la

sovrapposta condotta di derivazione in acciaio inox DN 300. Nel cunicolo sono presenti inoltre le canalette necessarie all'evacuazione delle acque captate dai condotti sub-verticali di drenaggio. Durante le fasi costruttive dell'opera il cunicolo fu impiegato per consentire il deflusso delle acque provenienti dal fosso di Cerventosa.



Figura 3-5 – Cunicolo di ispezione e sbocco dei condotti di drenaggio

3.1.2 OPERE DI SCARICO

Lo scarico di superficie è ricavato in sponda sinistra nella spalla della diga con soglia di sfioro a quota 785,90⁴ m s.l.m. Il canale fugatore dello scarico si sviluppa con sezione prevalentemente rettangolare. Esso è stato oggetto di lavori di ripristino e messa in sicurezza nel 2008, portando la quota di sfioro al valore attuale e provvedendo alla realizzazione di una gaveta centrale (vedi Figura 3-6), nonché alla tirantatura delle pareti verticali dello stesso mediante tiranti attivi.



Figura 3-6: vista dell'imbocco del canale fugatore dello scarico di superficie a soglia libera.

⁴ Valore aggiornato al riferimento altimetrico IGM delle quote assolute in m slm.

Lo scarico di fondo è invece posizionato in corrispondenza della mezzeria del piede del paramento di monte ed è costituito da una tubazione metallica saldata di diametro DN 800mm. La quota dello scorrimento della tubazione dello scarico di fondo in corrispondenza della presa è pari a 768.95 m s.l.m. Come descritto al paragrafo precedente la condotta dello scarico attraversa tutto lo spessore della diga all'interno di un cunicolo (vedi Figura 3-7) fino al piede del paramento di valle. Gli organi di manovra e intercettazione dello scarico di fondo sono costituiti da una paratoia piana a monte (azionata dalla torre di presa) e da una valvola a farfalla motorizzata a valle, posta in corrispondenza dello sbocco della condotta, con asse a quota 760.97 m.s.l.m.



Figura 3-7: cunicolo d'ispezione dello scarico di fondo e della condotta di derivazione.

3.1.3 TORRE DI PRESA

La torre di presa (Figura 3-8) poggia nel punto centrale più depresso del blocco di fondazione in calcestruzzo del paramento di monte, è di forma cilindrica cava con diametro interno costante di 2,55 m e spessore decrescente verso l'alto, essendo infatti il fusto articolato secondo tre tratti cilindrici, il primo dei quali, fino all'altezza di 7.08 m dalla base, presenta uno spessore di 65 cm, mentre il secondo fino all'altezza di 15.33 m

ha uno spessore di 38 cm e, infine, il terzo, fino all'altezza di sommità pari a 21.90 m ha uno spessore di 30 cm.



Figura 3-8 - Paramento di monte della diga

In sommità alla struttura in c.a. è posizionata una cabina di manovra in muratura di mattoni. La struttura portante del fusto cilindrico sottostante in cemento armato è attraversata da quattro bocche di presa dell'acqua del serbatoio, poste a quote diverse munite di relative saracinesche interne alla torre. Alla base della stessa è presente la saracinesca di intercettazione della condotta di scarico di fondo.

L'accesso alla cabina di manovra si effettua dalla sommità della diga mediante una passerella in carpenteria metallica di lunghezza 7 m e larghezza 1 m. Nel 2008 sono stati realizzati alcuni lavori di consolidamento che hanno portato alla realizzazione di una incamiciatura esterna in c.a. della base della torre, di spessore 20 cm per un'altezza di 7.5 m e l'esecuzione di cerchiature esterne in acciaio, nonché la modifica del sistema di vincolo statico del manufatto, connettendo tramite una travatura reticolare metallica la torre all'altezza della soletta inferiore della cabina di manovra con una nuova soletta in calcestruzzo collocata sul coronamento dello sbarramento. L'obiettivo di quest'intervento è stato quello di ridurre la sollecitazione al piede della torre durante eventi sismici,

trasformando uno schema di vincolo di fatto pendolare in un più conveniente “incastro-appoggio”. Le conseguenze sulla struttura della torre di eventuali cedimenti, verticali od orizzontali, prodottisi nel corpo diga a causa di sollecitazioni sismiche sono stati indagate in questa sede e saranno descritte nei successivi paragrafi.

3.1.4 PARAMENTO DI VALLE

Il paramento di valle (vedi Figura 3-9) è rivestito interamente con pietrame stilato e malta, formando un rivestimento murario di spessore pari a circa 70 cm. La scarpa media del paramento, pari a $H:V = 1:1.3 \cong 38^\circ$, deriva dalla presenza di 5 berme equidistanti di larghezza pari a 2 m circa, intervallate da tratti a pendenza costante 1:1 (45°). Il rivestimento del paramento di valle non assolve alcun ruolo strutturale e non partecipa direttamente alla stabilità della diga. Esso invece limita l'esposizione del *rockfill* sottostante all'azione dilavante dell'acqua piovana, contrastando i naturali effetti di alterazione o degrado.



Figura 3-9: Vista dalla spalla sinistra del paramento di valle della diga.

Il rivestimento del paramento di valle mostra un quadro fessurativo caratterizzato da lesioni passanti attraverso lo spessore del pietrame stilato (70 cm). Le fessure di maggior ampiezza sono attualmente monitorate attraverso l'impiego di 8 estensimetri e periodicamente mappate. Oltre alla presenza delle fessure è stato rinvenuto in destra idraulica un locale limitato rigonfiamento del paramento.

3.1.5 FONDAZIONE

Il piano di fondazione della diga ha andamento suborizzontale dal piede di monte fino all'asse del coronamento; da detto asse fino al piede di valle il profilo del terreno è mediamente inclinato verso valle (circa 7°-8°) con superficie sagomata a gradoni in modesta contropendenza (verso monte vedi Figura 3-2). Alla base del rilevato, sul piano di posa gradonato, è presente una soletta in calcestruzzo spessa 1 m circa.



Figura 3-10: vista a serbatoio vuoto sulla parte emergente dal terreno (al piede del manto di tenuta del paramento di monte) del blocco di fondazione al cui interno si sviluppa il cunicolo d'ispezione dei drenaggi.

3.1.6 SPONDE

Le sponde del serbatoio sono costituite da una formazione composta di alternanze di strati arenacei prevalentemente a grana fina e calcarenitici, separati da livelli più marnosi sino ad argillosi/scistososi. In superficie i litotipi si presentano estremamente alterati e poco cementati costituendo una vera e propria coltre detritica. Circa l'assetto strutturale della formazione di base, in corrispondenza della sezione di imposta della diga si può fare riferimento a valori "medi" caratterizzati da immersione degli strati di circa 225° e inclinazione di circa 30°; l'assetto litostratigrafico si presenta a reggipoggio in spalla destra e a franapoggio in spalla sinistra.



Figura 3-11: vista delle sponde del serbatoio artificiale a monte della diga.

4 RICHIAMI SULLA COSTRUZIONE DELLO SBARRAMENTO

La diga è stata realizzata su iniziale progetto iniziale del Genio Civile di Arezzo, in corrispondenza di un locale restringimento della valle, ritenuto idoneo sia per la favorevole morfologia che per le favorevoli caratteristiche geolitologiche dei terreni d'imposta costituiti da alternanze di strati arenacei e argillitici, in particolare per la stabilità complessiva e la bassa permeabilità delle formazioni affioranti sui versanti.

4.1 Documentazione fotografica storica

Il gestore Nuove Acque ha fornito agli scriventi alcune fotografie storiche della diga riprese durante le fasi costruttive iniziali antecedenti alla posa in opera del rockfill. Si notano i lavori di preparazione del fondo e delle sponde con formazione di gradonature di ammorsamento, la struttura in c.a. di fondazione del paramento di monte ed il cunicolo contenente lo scarico di fondo.



Figura 4-1: vista da valle del cantiere nella fase precedente alla formazione del corpo diga. Si notano le strutture fondali e la base del cunicolo dello scarico di fondo.



Figura 4-2: vista dagli scavi di sbancamento a valle in spalla sinistra.



Figura 4-3: viste sull'unghia di fondazione di valle dalla sponda in sinistra idrografica

Per maggiori notizie e dettagli nel merito della storia delle vicissitudini successive all'epoca della costruzione nelle fasi dei reiterati periodi di invasi sperimentali, ordinati a seguito della realizzazione di interventi volti di volta in volta a porre rimedio alle anomalie riscontrate, si riporta integralmente il contenuto dell'esautiva "Analisi storico-critica della Diga di Cerventosa" svolta nel capitolo 2 della "Relazione Istruttoria" redatta nel settembre 2016 dalla Divisione 6 (Geotecnica e strutture) della D. G. Dighe:

«.....

2. ANALISI STORICO-CRITICA DELLA DIGA DI CERVENTOSA

Questo Ufficio ritiene che, preliminarmente a ogni valutazione della sicurezza di una diga esistente, sia indispensabile acquisire una conoscenza quanto più possibile approfondita delle vicende che hanno interessato l'impianto in fase di costruzione e di esercizio, del comportamento dello sbarramento e dello stato generale delle opere. Tale quadro informativo rappresenta il necessario riferimento per definire i criteri di analisi e di verifica, per interpretare i risultati e quindi formulare un giudizio finale di sicurezza.

Nel caso della diga di Cerventosa, l'importanza dell'analisi storica è accentuata dalle criticità che ne hanno interessato l'esercizio, manifestatesi con dissesti di varia natura che hanno impedito la conclusione delle procedure di collaudo funzionale.

Questo capitolo è pertanto dedicato a una ricostruzione della storia dello sbarramento, effettuata sulla base degli atti a disposizione di questa Amministrazione.

2.1 Storia della diga: costruzione, esercizio, lavori

La diga di Cerventosa fu costruita sulla base del progetto di derivazione dal torrente Gaude (oggi Rio Cerventosa) redatto nel 1949 dall'Ing. Bellincioni. Il progetto prevedeva la realizzazione di una diga a gravità, in parte in muratura di pietrame a secco sistemato a mano

e in parte in pietrame alla rinfusa, con manto di tenuta costituito da uno strato di muratura di pietrame e malta cementizia e sovrapposti lastroni di calcestruzzo previa applicazione di un doppio strato di asfalto. L'adeguatezza delle condizioni geognostiche della stretta fu asserita dal Prof. Paolo Principi (Università di Firenze) con relazione del 1949 e dal Geologo di Stato Prof. Tito Lipparini con relazione del 1950. La relazione di progetto assicurava la stabilità e la tenuta dello sbarramento, sottolineando che la formazione di imposta poteva ritenersi impermeabile, e che qualora si fossero verificate fughe d'acqua attraverso le diaclasi, queste si sarebbero sigillate naturalmente grazie all'apporto di materiale argilloso contenuto nelle acque.

Nel 1954, l'Ingegnere Sapienza, Capo dell'allora Servizio Dighe (Quarta Sezione del CSLLPP), riteneva il progetto approvabile, subordinatamente ad alcune prescrizioni, tra cui è bene ricordare: (1) la necessità di eseguire un diaframma impermeabile sulla sponda e sul fondo per mezzo di apposite iniezioni di boiaccia di cemento o di altre miscele idonee, (2) **la non ammissibilità di un rilevato in pietrame alla rinfusa, che invece, ai sensi dell'allora vigente regolamento (R.D. n. 1370/ 1931) doveva essere realizzato con pietrame a secco sistemato a mano.**

Il progetto fu rivisto e approfondito nel 1955, e approvato nello stesso anno dal Servizio Dighe con altre prescrizioni relative alla pendenza del paramento di monte e alle gradonature della base di appoggio in corrispondenza delle sezioni più alte. Il progetto esecutivo finale, datato 29 marzo 1957, è stato redatto dall'Ing. Notari. I lavori furono affidati nel 1956 all'impresa Pacini di Pisa e consegnati nel maggio dello stesso anno.

Fin dai primi sopralluoghi, effettuati una volta aperti gli scavi per la fondazione, emerse una situazione geologica diversa da quella prevista in progetto. In particolare si rinvenne la presenza, nella sinistra orografica, di un ammasso di fondazione costituito da alternanze di arenarie compatte più o meno fratturate con lenti di argilla scagliose non cementate, fortemente permeabili e presenti, in quantità rilevanti, sino a 30 metri di profondità. Nel corso del sopralluogo del marzo 1957, l'Ing. Sapienza suggerì di aprire quattro pozzi esplorativi sulle sponde, rilevando l'effettiva successione stratigrafica; inoltre, prescrisse di approfondire gli scavi della fondazione fino al raggiungimento di formazioni sufficientemente compatte. Questa circostanza, insieme ad altre deficienze progettuali riscontrate, comportò un notevole incremento di spesa in fase esecutiva. Nonostante fosse già stata ravvisata l'opportunità di realizzare uno schermo di tenuta in fondazione, questo non venne realizzato per mancanza di fondi in conseguenza del maggior costo verificatosi nella costruzione. Si ritenne di poter rimandare l'esecuzione dello schermo a una fase successiva, da attuarsi solo qualora gli invasi parziali ne avessero dimostrato la stretta necessità. I lavori furono completati nel 1960, e nel novembre dello stesso anno iniziarono gli invasi parziali.

Nell'archivio di questa Amministrazione non si rinvennero notizie sulla fase di costruzione, eccetto che per i sopralluoghi agli scavi di fondazione. La relativa documentazione potrebbe essere stata conservata presso il Genio Civile di Arezzo, all'epoca responsabile della vigilanza in fase di costruzione.

Per le successive considerazioni è utile richiamare che la quota di massima regolazione (quota della soglia dello scarico di superficie) risultante dagli atti progettuali era di *798,75 m s.m.², corrispondente a una altezza relativa di 19,55 m.

A seguito di un forte temporale nell'aprile del 1961, la quota di invaso raggiunse rapidamente *792,85 m

s.m. In tale occasione, si verificarono filtrazioni evidenti attraverso il paramento di monte. L'invaso fu svuotato e si procedette con lavori di sigillatura dei giunti tra le lastre in calcestruzzo. Nel mese di ottobre fu autorizzato il raggiungimento della quota di *791 m s.m.

I primi indizi di un comportamento poco soddisfacente della diga furono osservati già nel sopralluogo di un Funzionario del Servizio Dighe del 31/10/1961. Nel verbale di visita sono segnalati i seguenti dissesti del paramento di valle, presenti a tutt'oggi:

Il paramento di valle si presentava nel complesso in discrete condizioni salvo mostrare in forma molto evidente alcune lesioni ad andamento sub-orizzontali o leggermente inclinate in corrispondenza della parte centrale e della zona superiore destra della diga; dette lesioni, a detta dei testimoni, si produssero in corso di costruzione e furono immediatamente suturate con malta cementizia; furono quindi apposte delle piastre per l'apprezzamento delle eventuali ulteriori deformazioni che però, sempre a detta dei testimoni, non sarebbero state successivamente segnalate.

Riguardo alle banchine si poteva notare che esse, specie nella zona centrale della diga, presentavano la particolarità di risultare scalanti verso il paramento diga anziché verso il ciglio a valle, essendo ciò in contrasto con il senso della pendenza originariamente ad esse assegnata; il fenomeno riscontrato sembra doversi attribuire ad un assestamento del relativo piano sotto il carico trasmesso dalla muratura del paramento di valle.

Inoltre, al tempo, le sensibili perdite misurate nel cunicolo furono attribuite all'assenza di un rivestimento impermeabile del coronamento. I diversi problemi riscontrati imposero un nuovo svuotamento dell'invaso e l'esecuzione di altri lavori di manutenzione per ridurre le perdite.

*Nel gennaio del 1962 ripresero gli invasi parziali, raggiungendo la quota autorizzata di *791 m s.m. Il comportamento fu ritenuto soddisfacente e si chiese l'autorizzazione a invasare fino a *797 m s.m. Dopo la visita di un Funzionario del 18 aprile 1962, che confermò l'assenza di anomalie, il Servizio Dighe autorizzò il raggiungimento della quota di *795 m s.m., subordinata ad alcune prescrizioni: (1) installazione di un gruppo elettrogeno, (2) impermeabilizzazione del coronamento, (3) sistemazione della paratoia dello scarico di fondo, (4) realizzazione di uno scarico di fondo ausiliario tramite derivazione dalla condotta di presa. Nel novembre 1962, in occasione del raggiungimento della quota di *794 m s.m., si rilevarono ingenti perdite. Il livello fu nuovamente abbassato per eseguire riparazioni e l'esercizio riprese nel successivo gennaio.*

*Nel marzo 1963 fu effettuato il collaudo tecnico-amministrativo. In aprile si raggiunse con successo la quota di *795 m s.m., senza riscontrare anomalie e osservando che i dissesti del paramento di valle si erano mantenuti stabili. Conseguentemente, la quota autorizzata fu innalzata a *797,75 m s.m. (1 m al di sotto della quota massima di regolazione).*

*Gli anni successivi furono caratterizzati da una fitta serie di eventi collegati alle ingenti perdite che si manifestavano attraverso la spalla sinistra e al di sotto della fondazione non appena la quota di invaso superava i *794 m circa. Da un lato, il comune di Cortona premeva affinché l'invaso potesse essere riempito per approvvigionare d'acqua gli abitati; dall'altro il Genio Civile di Arezzo/Provveditorato, il Servizio Dighe imponevano limitazioni di invaso richiedendo l'esecuzione dello schermo di tenuta in fondazione. La quota di *797,75 m fu in effetti raggiunta nel febbraio 1966, ritenendo che le perdite non pregiudicassero la stabilità dello sbarramento. Tuttavia, il rendimento del serbatoio era gravemente compromesso, come testimoniato dal forte squilibrio del bilancio idrologico da cui risultava che le perdite "nascoste" (i.e. attraverso le fondazioni) erano largamente superiori ai prelievi effettuati. Le perdite inoltre aumentarono di circa cinque volte tra il 1966 e il 1969, circostanza che poteva indicare l'asportazione di materiale nell'ammasso di fondazione, fenomeno con potenziali conseguenze sulla stabilità dell'opera. La gravità della questione portò, nel 1968, all'avvio di un'inchiesta ministeriale. In quegli anni, per evitare il superamento anche involontario della quota autorizzata, la soglia del canale di scarico fu abbassata di 1 m, facendo così coincidere la quota di regolazione con*

quella autorizzata (*797,75 m s.m.). Dagli atti di questo periodo risulta anche una lesione longitudinale sul fondo del cunicolo da cui scaturivano delle risorgive.

Rimandando agli atti per i dettagli dei numerosi provvedimenti che si susseguirono, nel 1970 vennero avviati i lavori per l'esecuzione dello schermo di impermeabilizzazione in fondazione. I lavori furono affidati all'impresa specializzata Sicos di Torino che li ultimò nel giugno del 1971. Lo schermo di tenuta fu realizzato mediante iniezioni praticate lungo tutto il perimetro della diga e prolungate anche lungo le spalle. In particolare, in sinistra lo schermo fu prolungato oltre il canale di scarico fino al muro di contenimento della casa di guardia. Vennero impiegati tre tipi di miscele: miscele instabili, a base di cemento e acqua, per la sigillatura e cucitura del contatto roccia-taglione; miscele stabili, a base di cemento e bentonite, per realizzare lo schermo di tenuta; miscele chimiche utilizzate quando le miscele stabili non si rivelavano risolutive. L'efficacia dello schermo fu testata con prove Lugeon.

L'intervento si rivelò risolutivo, e nel 1971 fu raggiunta la massima quota autorizzata di 797,75 m s.m. con risultati più che soddisfacenti. Il Genio Civile chiese quindi di poter rialzare la soglia dello scarico di superficie alla quota di *798,75 m s.m. L'autorizzazione fu concessa dal Servizio Dighe nel novembre 1971.

Relativamente al periodo compreso tra il 1971 e il 1987, dagli atti consultati non risultano vicende di particolare rilievo. L'esercizio del serbatoio sarebbe stato piuttosto regolare, e la quota massima (*798,75 m s.m.) sarebbe stata raggiunta in diverse occasioni. Si rinvennero una serie di comunicazioni riguardanti alcuni dissesti che hanno da sempre interessato la diga, tra cui: (1) le lesioni sul paramento di valle e sul coronamento, (2) le lesioni sul fondo del cunicolo, (3) alcuni problemi di tenuta del rivestimento del paramento di monte. Con ogni probabilità, negli anni furono effettuati diversi interventi di manutenzione. Ad esempio, dal verbale della visita di vigilanza del 25/11/1983 risultano effettuate la manutenzione del coronamento e del paramento di valle, a cui seguì la richiesta del Servizio Dighe di monitorare il paramento di valle e di attuare un intervento di sigillatura dei giunti del paramento di monte.

I dissesti anzidetti vennero ritenuti più gravi a seguito della visita di vigilanza del 7/10/1987. Il Servizio Dighe ritenne che le condizioni dell'opera non erano soddisfacenti, che i dissesti avrebbero potuto comprometterne la stabilità e suggerì l'esecuzione di interventi di manutenzione straordinaria preceduti da appositi studi sul comportamento dello sbarramento. Non vi è traccia di interventi realizzati a seguito di queste comunicazioni. Dal verbale di visita del novembre 1989, la diga risultava in condizioni normali.

Nel novembre 1991, in occasione di piogge intense, fu osservato un movimento franoso in atto sul versante sinistro prospiciente la casa di guardia. L'invaso fu abbassato e la casa di guardia dichiarata inagibile. Furono avviate una serie di attività tra cui il monitoraggio degli spostamenti del corpo di frana e la redazione di un apposito studio (relazione geologica del Geol. B. Chiodini, 1991). Il fenomeno non fu ritenuto di particolare gravità per la sicurezza dello sbarramento, pur riconoscendo che esso avrebbe potuto intensificarsi all'occorrenza di forti piogge. Il Servizio Dighe prescrisse il monitoraggio della frana, l'esecuzione di indagini geognostiche, l'esecuzione di interventi di consolidamento del versante e di regimentazione delle acque superficiali. Con l'occasione, vennero nuovamente segnalati i dissesti del paramento di valle e le fessure nel cunicolo, richiedendo al contempo l'integrazione del monitoraggio con fessurimetri (per le lesioni) e collimazioni (per gli spostamenti del paramento di valle). Gli interventi non furono realizzati immediatamente, e un progetto di consolidamento del versante fu presentato solo nel 1995. Il progetto prevedeva l'esecuzione di un sistema drenante con canne sub-orizzontali che intercettavano e sottopassavano la superficie di distacco, lavori che poi furono effettivamente realizzati conseguendo la stabilizzazione del pendio.

Oltre alla questione riguardante il movimento franoso, negli anni '90 fu in più occasioni segnalata l'evoluzione dei dissesti ormai noti (lesioni nel cunicolo e sul paramento di valle). Alcuni vetrini sul paramento di valle si distaccarono, si evidenziarono segni di sollevamento del fondo del cunicolo, i capisaldi 4 e 5, posizionati sulla berma più alta, misurarono abbassamenti.

Nel 1996 la gestione dello sbarramento venne trasferita dal comune di Cortona alla società Nuove Acque

S.p.A. Nel 1998 fu nominata la Commissione per il collaudo ex art 14 che, già in una nota del 1999, segnalò la necessità di interventi di manutenzione progettati sulla base di appositi studi interpretativi delle cause dei

dissesti, del comportamento dell'opera e delle condizioni di stabilità.

In risposta alle richieste della Commissione di collaudo, il gestore avviò, con il supporto della società Acquamarina 2000 srl, una fase di studio geologico-geotecnico della diga. Gli studi furono ultimati ufficialmente nel 2002, ma alcuni elaborati furono esaminati dal Servizio Dighe già nel 2001. I risultati di questi studi sono richiamati anche nelle valutazioni oggetto di questa istruttoria. Con nota del 29/05/2001 l'ufficio Geotecnica dell'allora Servizio Dighe espresse il parere che l'opera di sbarramento mostri un comportamento sostanzialmente regolare. Nel contempo ...omissis... si ritiene necessario che il Gestore approfondisca le indagini e le valutazioni sui terreni di fondazione e sui materiali da costruzione della diga. Le relazioni furono integrate con nuovi e aggiornati elaborati.

Contestualmente alle verifiche di sicurezza della diga, venne redatto un progetto di adeguamento sismico della torre di presa, che prevedeva il collegamento in sommità con una soletta in c.a. vincolata al coronamento. Questi lavori furono realizzati successivamente, nel 2008, sulla base di un progetto aggiornato.

Nel 2002 furono effettuate anche le verifiche di sicurezza idraulica, valutando la portata di piena, gli effetti di laminazione e verificando la capacità dello scarico di superficie. Emerse che la capacità dello scarico di superficie non era sufficiente a garantire un franco netto adeguato a quanto previsto dalla norma. Invece, dai calcoli della portata massima transitabile a valle emerse che la massima portata scaricabile era largamente contenuta nell'alveo fluviale. Nelle more della realizzazione di interventi di adeguamento della sicurezza idraulica, il Servizio Dighe (allora RID) impose la demolizione della soglia presente lungo il canale dello scarico di superficie, abbassando così di 1 m la quota massima di regolazione (lavori poi effettuati nel 2004).

Sempre nel 2002 si verificò un incidente sulla condotta dello scarico di fondo, che impose a seguito di fenomeni di moto vario innescati da una brusca chiusura della paratoia di monte. Dopo aver svuotato l'invaso, la tubazione fu sostituita e vennero migliorati i meccanismi di azionamento delle paratoie.

Altri studi sulla sicurezza statica, sismica e idraulica furono effettuati tra il 2006 e il 2008 da Idrostudio, con l'obiettivo di definire un quadro di interventi per risolvere le diverse problematiche dell'opera. Lo studio, oltre a richiamare i precedenti lavori di Acquamarina, si basava su nuove indagini geognostiche effettuate nel 2006 che avevano riguardato i versanti, la fondazione e la torre di presa. Ne risultò un progetto che prevedeva: (1) l'adeguamento sismico della torre di presa; (2) il consolidamento del corpo diga tramite iniezioni; (3) l'adeguamento del canale sfioratore, con l'abbassamento della soglia di sfioro e il rinforzo strutturale, migliorando così anche le condizioni di sicurezza idraulica. Gli interventi furono realizzati nel 2008. La torre di presa fu cerchiata alla base e collegata in sommità al coronamento per mezzo di una struttura reticolare metallica. La soglia del canale sfioratore fu abbassata di circa 1,5 m, portandola a quota 786,45 m s.m³., permettendo di smaltire la piena millenaria con un franco netto di 2,36 m; i muri laterali del canale furono approfonditi e ancorati con tiranti sub-orizzontali. Le iniezioni di consolidamento del corpo diga eseguite a titolo

sperimentale si rivelarono invece inefficaci a causa dell'elevata permeabilità del rilevato; pertanto, ad esse non fu dato seguito.

Si arriva così al recente passato, in cui si sono succeduti diversi provvedimenti di limitazione di invaso e l'esercizio del serbatoio non è stato regolare. Con nota del 30/01/2013 questa Amministrazione, basandosi sui diagrammi strumentali riportati nell'asseverazione del primo semestre 2012, rilevava processi deformativi in atto, così descritti:

L'esame di tali diagrammi evidenzia per la diga, come del resto già segnalato in passato, processi deformativi in atto ...omissis... trend di cedimenti e di spostamenti verso valle, con massimi dell'ordine del centimetro (in 5 anni di misure). Detto processo deformativo risulta pure confermato dalle misure di apertura delle lesioni interessanti il paramento di valle in sponda destra ...omissis... il piezometro 10, posto nel cunicolo longitudinale, indica quote piezometriche non sufficientemente ridotte rispetto ai livelli idrici di monte.

In ragione di queste osservazioni, veniva disposta una nuova limitazione di invaso alla quota di 783 m s.m., potendo raggiungere i 785 m in occasione di eventi di piena.

Con nota n. 8494 del 26/6/2013, la Direzione Dighe, in accordo con la Commissione di collaudo, ha prescritto la progettazione di interventi di consolidamento/intasamento della diga, inserendola tra quelle necessitanti di interventi urgenti di incremento della sicurezza ex art. 7, c. 7, D.L. 201/2011 conv. L. 214/2011.

Nel 2015, la Commissione ha ribadito che la diga, nella sua condizione attuale, non è collaudabile e che l'alternativa agli interventi prescritti è la dismissione dello sbarramento.

.....»

5 CARATTERI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI E SISMOTETTONICI DELL'AREA DI INTERVENTO

5.1 Inquadramento geologico-geomorfologico

L'ubicazione della diga, posizionata in corrispondenza di un locale restringimento della valle del Fosso di Cerventosa, fu scelta sia per la favorevole morfologia e la stabilità complessiva, che per le caratteristiche geolitologiche delle rocce affioranti che furono considerate idonee per la presenza degli interstrati argillosi e marnosi che rendono la formazione a "bassissima permeabilità". L'area è infatti caratterizzata, in affioramento, da alternanze di banchi arenacei e calcarenitici il cui spessore varia da pochi decimetri ad oltre il metro, a cui si alternano strati marnosi e argillosi il cui spessore raramente supera i 30 cm.

Detti tipi litologici (Fig.7), di età Oligo-Miocenica, affiorano secondo una prevalente direzione appenninica NO-SE ed appartengono alla formazione delle Arenarie del Monte Falterona - (FAL)" facenti parte dell'Unità di Monte Cervarola nel DOMINIO TOSCANO.

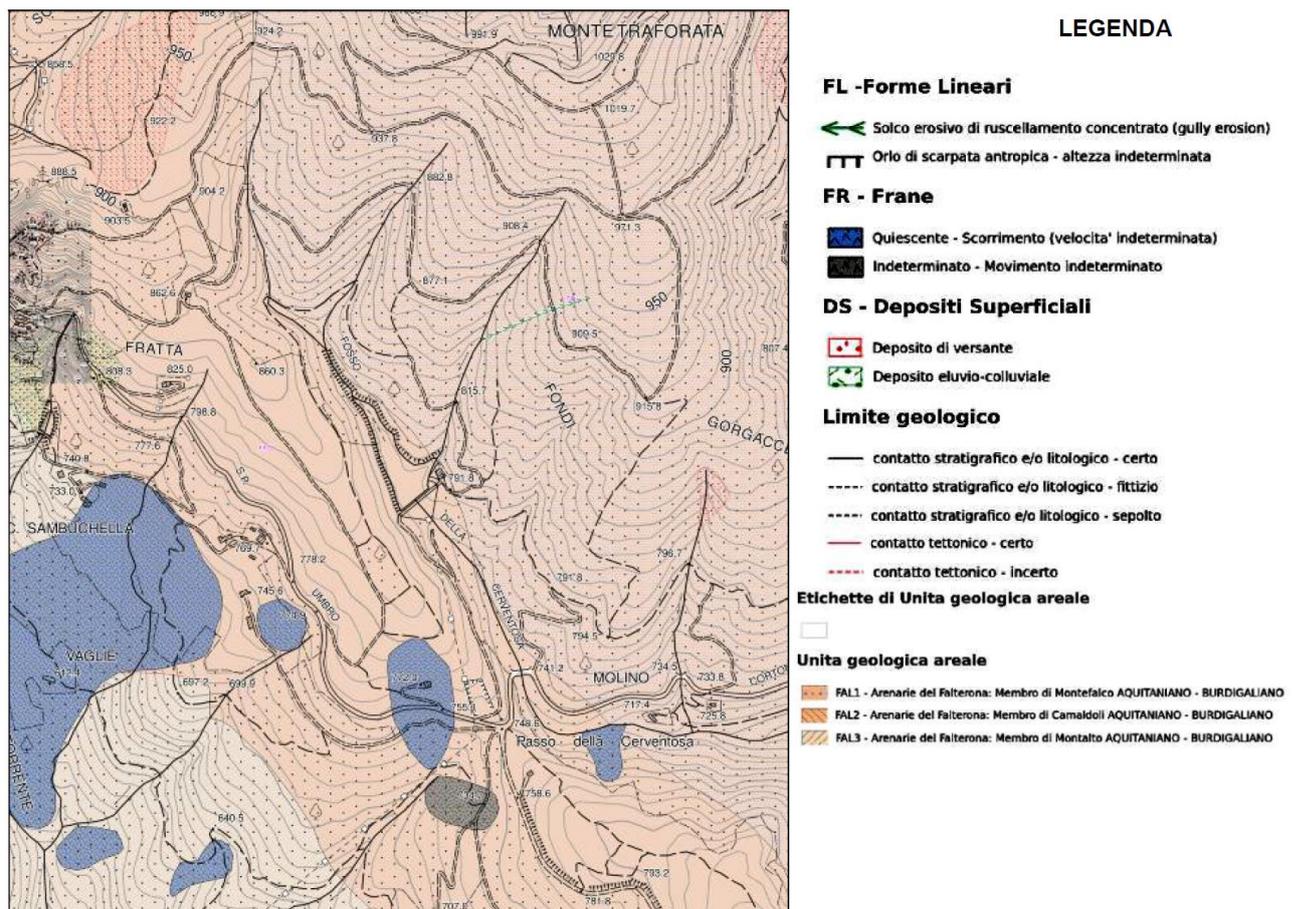


Figura 5-1: estratto dalla Carta Geologica-geomorfologica da DB Regione Toscana (fuori scala).

Strutturalmente le suddette formazioni si dispongono secondo una piega monoclinale, rovesciata sul fianco orientale, allineata secondo una prevalente direzione NO-SE concordemente alla direzione valliva e degli strati che, verificata strumentalmente su affioramenti ben esposti nell'intorno della diga, indica un'immersione degli stessi tra 220-230° ed inclinazione compresa tra 40-45°.

Questo assetto ha determinato, in corrispondenza dell'incisione valliva in questione, una situazione strutturale in cui sul versante esposto ad Ovest (destra idraulica) affiorano le testate degli strati che, pertanto, risultano disposti a "reggipoggio" mentre sul versante opposto, in sinistra idraulica, gli stessi strati presentano un andamento a "franapoggio".

Ciò ha determinato un'asimmetria della valle legata principalmente al fatto che la stratificazione a reggipoggio offre una maggiore stabilità al versante che risulta maggiormente acclive (pendenze dell'ordine del 60-70%), mentre al contrario la disposizione a franapoggio modella un versante coerente con l'andamento degli strati e quindi meno acclive (pendenza dell'ordine del 30-40%).

Sotto l'aspetto geomorfologico il rilievo superficiale dei luoghi, allo stato attuale, ha evidenziato condizioni di sostanziale stabilità generale dell'area e la mancanza di elementi morfogenetici da attribuire a fenomeni di instabilità gravitativa in atto o quiescente, aspetto che, peraltro, viene avvalorato dalle varie cartografie geomorfologiche ufficiali riferite ai vari "piani territoriali" sia a livello regionale (DB Regione Toscana - IFFI) che locale (Piano Strutturale Comunale) i quali, sull'area di diretto interesse e su un esteso intorno, non evidenziano forme morfologiche degne di interesse (vedi Figg.7-8-9).

Ciò nonostante, sul versante esposto ad Est l'andamento a franapoggio degli strati, l'intensa fratturazione, la presenza di interstrati argillo-marnosi talora plasticizzati e l'azione di degrado superficiale indotta dall'azione degli agenti esogeni, hanno prodotto zone con spesse coperture detritiche che possono essere mobilizzate lungo superfici preferenziali di scivolamento, in genere relativamente corticali, specialmente qualora vengano messi in atto interventi antropici che vadano a modificare sostanzialmente gli equilibri raggiunti.

A tali modificazioni può essere attribuito il movimento franoso che, in passato, ha coinvolto una porzione di versante posto a monte del canale sfioratore, monitorato costantemente da tempo e comunque oggi totalmente stabilizzato, il quale, verosimilmente, può essere stato attivato dagli interventi di sbancamento e riporto messi

in atto per la creazione del piazzale dove insiste il fabbricato della Casa di Guardia e per la realizzazione del canale sfioratore.

In ogni caso per una maggiore definizione e illustrazione in dettaglio dei caratteri geologici, geomorfologici dell'area di intervento si rimanda comunque all'elaborato R-02.1 "RELAZIONE GEOLOGICA CON CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DELL'AREA DI IMPOSTA DELLA DIGA DI CERVENTOSA" redatto a supporto del presente progetto definitivo dal Dott. Geol. Gianfranco Censini (Rev. Novembre 2021).

5.2 Aggiornamento dello studio sismotettonico

Tra le indagini propedeutiche alla progettazione definitiva figura il nuovo studio sismotettonico redatto nel luglio 2021 per conto del Gestore dal Prof. Bruno Pace, dal Dott. Francesco Visini e dal Dott. Alessandro Valentini che è allegato come elaborato R-02.2.

Tale lavoro è stato svolto tenendo conto del documento "Linee-guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe" (Basili et al., 2017) redatto nell'ambito dell'accordo ai sensi dell'art. 15 della l. 241/90 e successive modifiche tra la Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Questo documento fornisce indicazioni riguardo a metodologie e contenuti per la valutazione della pericolosità sismica in corrispondenza di uno sbarramento di ritenuta.

Gli autori hanno inoltre tenuto conto anche della Relazione Istruttoria della "Verifica della sicurezza statica e sismica" del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (settembre 2016) per quanto osservato in merito al precedente studio sismotettonico. Le suddette osservazioni richiedevano infatti approfondimenti che tenessero conto del contesto del sito della diga, della sismicità dell'area e dell'eventuale presenza di strutture sismogenetiche che possano influire sulla pericolosità sismica del sito.

A conclusione di tale analisi probabilistica di pericolosità sismica per la diga di Cerventosa sono stati individuati gli spettri di risposta a pericolosità uniforme (UHS) per diversi periodi di ritorno. In seguito, gli UHS ottenuti da questo lavoro sono stati confrontati con gli spettri elastici di progetto di normativa (NTC18), ottenuti dal modello di pericolosità sismica nazionale (MPS04). Tutti i risultati riportati in detta relazione si riferiscono a condizioni di sottosuolo di tipo A.

Gli UHS sono stati calcolati per diversi periodi di ritorno dell'azione sismica 45, 75, 712 e 1462 anni, che corrispondono rispettivamente a probabilità di eccedenza pari all' 81%, 63% 10% e 5% in 75 anni. Inoltre, è stato calcolato l'UHS per un periodo di ritorno pari a 475 anni, che corrisponde al 10% in 50 anni, una probabilità di riferimento per quanto riguarda la normativa. Questi valori del periodo di ritorno dell'azione sismica vengono fuori dalla vita nominale (V_n) e dal coefficiente d'uso (C_u) della struttura per la quale si vuole fare il calcolo probabilistico. Nel caso in questione, questi due parametri sono uguali a 50 anni e 1.5, rispettivamente. Moltiplicati tra loro, questi due parametri ci permettono di ottenere la vita di riferimento (V_r) della struttura, che in questo caso è pari a 75 anni. Con questo valore di V_r , gli stati limite di operatività (SLO), di danno (SLD), di vita (SLV) e di collasso (SLC), sono uguali a: 45, 75, 712 e 1462 anni. Il valore del periodo di ritorno di 475 anni, quello classicamente utilizzato dalla normativa italiana quando il coefficiente d'uso della struttura è pari a 1, è stato calcolato solo come riferimento.

Come si può evincere dalla Figura 5-2 gli spettri relativi agli stati limite SLD (Tr 75) e SLO (Tr 45) sono risultati inferiori ai corrispondenti spettri definiti dalla normativa (NTC 2018), mentre invece vale l'opposto per gli spettri SLV (Tr 712) e SLC (Tr 1462). Pertanto solo questi ultimi sono stati effettivamente adottati in sostituzione di quelli standard come spettro obiettivo per la selezione di accelerogrammi reali spettro-compatibili e nelle analisi dinamiche in spettro di risposta.

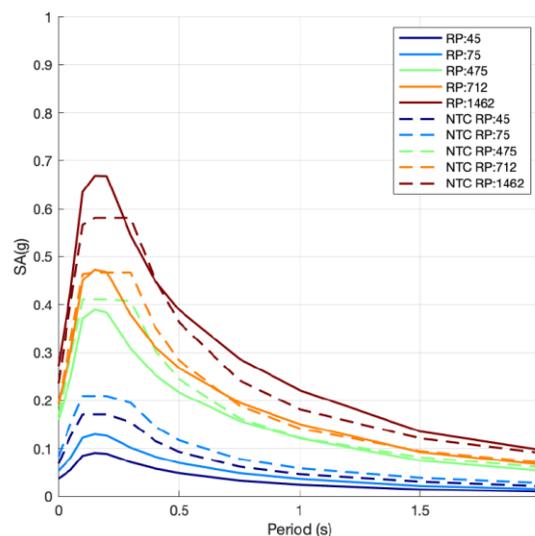


Figura 5-2: spettri a pericolosità uniforme calcolati per il sito d'indagine (linea solida) e seguendo le normative tecniche per le costruzioni (NTC18, linee tratteggiate). RP = periodo di ritorno in anni.

In tutti i casi, per ogni eventuale ulteriore approfondimento nel merito si rinvia al citato elaborato R-02.2 nonché alle relazioni strutturali R-05.1, R-05.2 e R-05.3.

6 SVILUPPO DELLE FASI DI STUDIO E PROGETTAZIONE PRECEDENTI ALL'ELABORAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO

6.1 Lo studio per la “Verifica della sicurezza statica e sismica della Diga di Cerventosa”

In ragione del motivato interesse del gestore alla conservazione di una risorsa considerata strategica per garantire la continuità della copertura dei fabbisogni idropotabili del Comune di Cortona anche in condizioni di emergenza per fallanza delle ordinarie fonti approvvigionamento, questi commissionò agli scriventi uno specifico studio inerente alla “Verifica della sicurezza statica e sismica della Diga di Cerventosa”. Detto studio fu preceduto da indagini propedeutiche volte a conseguire una migliore conoscenza della effettiva geometria della struttura muraria in malta e pietrame costituente l'elemento strutturale di contenimento del paramento di monte, dapprima mediante *georadar e tomografia sismica* (Georisorse, 2013), successivamente mediante carotaggi (Sondeos, 2015). Le successive verifiche della sicurezza statica e sismica dell'opera di sbarramento furono condotte mediante l'allestimento di un modello bidimensionale agli elementi finiti mediante il software *Plaxis 2D*. Esse evidenziarono, in sintesi, la sussistenza di alcune criticità strutturali in condizioni di “serbatoio vuoto”, e nello specifico alla base della struttura muraria del paramento di monte che funge da opera di contenimento del materiale in pietrame sciolto costituente il corpo diga.

Lo studio in esame fu quindi trasmesso alla D.G.D. nel febbraio-marzo 2016.

6.2 La “Relazione istruttoria” emessa dalla Divisione 6 – Strutture e Geotecnica della Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche

Nel settembre 2016, la *Divisione 6 – Strutture e Geotecnica della Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche*, su richiesta della *Divisione 4 – Coordinamento istruttorie progetti e vigilanza lavori*, redasse una specifica “Relazione istruttoria” circa lo studio inerente alla “Verifica della sicurezza statica e sismica della Diga di Cerventosa” prodotto dal gestore in cui, si dava sostanzialmente atto dell'idoneità dell'approccio teorico esperito per l'analisi strutturale, riscontrando la criticità evidenziata a serbatoio vuoto, ma anche il modesto margine di sicurezza sussistente anche in condizioni di “serbatoio pieno”, come verosimilmente sarebbe potuto emergere da una approfondita analisi di sensitività al variare dei parametri caratteristici fisico meccanici dei materiali presenti.

In ogni caso detta istruttoria, al fine di incrementare il livello di sicurezza statica e sismica della diga concludeva circa la necessità di valutare l'opportunità della riduzione

della pendenza media del paramento di valle, previa rimozione del rivestimento in muratura ivi presente. Inoltre se, a seguito della simulazione nel mutato assetto geometrico di valle, fosse emerso un sufficiente grado di sicurezza anche per la struttura portante del paramento di monte, si sarebbe potuto mantenerne la configurazione attuale, salvo procedere alla verifica della sostenibilità del moto di filtrazione nel corpo del rilevato senza produrre rischi a valle dello sbarramento fino al completo svuotamento del serbatoio nel caso si verificasse la rottura del manto di tenuta in lastre di calcestruzzo.

Infine, il parere, all'esito delle verifiche presentate, in alternativa alla dismissione dell'opera, ribadiva le prescrizioni già impartite dalla D.G.D. circa la necessità di un progetto di adeguamento con specifici interventi sul corpo diga che tenesse conto dell'effettiva composizione dello sbarramento (*"corpo di materiali sciolti delimitato da paramenti in muratura"*), che allo stato attuale risulta non collaudabile in quanto non inquadrabile nelle tipologie previste né dalla normativa attuale, né da quella vigente all'epoca di costruzione.

Il parere in questione prescriveva inoltre che l'efficacia degli interventi proposti per l'incremento della sicurezza della diga dovesse essere comprovata da valutazioni progettuali che analizzino gli spostamenti e la stabilità dello sbarramento e delle formazioni d'imposta.

In ogni caso, per chiarezza espositiva, oltretutto per una diretta consultazione delle analisi e delle prescrizioni espressi nella "Relazione istruttoria" in parola, si acclude integralmente tale elaborato in calce alla presente come "allegato A", anche in considerazione dell'esaustiva descrizione ivi riportata dell'opera di sbarramento esistente e delle sue opere accessorie e complementari, nonché della puntuale ricostruzione ed analisi storico-critica degli eventi che hanno via via interessato la diga a partire dall'epoca della sua costruzione.

6.3 Il progetto di fattibilità tecnico economica degli "Interventi per l'incremento della sicurezza della diga di Cerventosa"

A seguito della emanazione della Delibera CIPE n. 54/2016 e del conseguente accordo siglato tra la Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche e l'Autorità Idrica della Toscana trasmesso al gestore Nuove Acque S.p.A. con nota del 08-02-2018, su incarico del medesimo gli scriventi nel luglio 2018 elaborarono il progetto di fattibilità tecnico economica degli "Interventi per l'incremento della sicurezza della diga di Cerventosa", rientranti nell'elenco di cui alla Circ. Dir. DG Dighe n. 8497/RU

del 26/06/2013 di applicazione dell' art. 43, co. 7 della L. 214/2011, in applicazione del DL 79/2004 conv. L. 139/2004.

Il predetto PFTE considerava tre soluzioni progettuali alternative: (i) dismissione, (ii) ristrutturazione complessiva dell'opera mediante rinforzo del paramento di monte e riduzione della pendenza del paramento di valle e (iii) riduzione della pendenza del paramento di monte.

In quella sede la dismissione appariva svantaggiosa in relazione al fatto che a fronte della necessità di sopportare comunque costi elevati per l'esecuzione dei lavori (soprattutto per la necessità di conferire a discarica controllata o ad impianti di recupero autorizzati i materiali di risulta dagli scavi e dalle demolizioni), non consentiva la conservazione della disponibilità della risorsa idrica. Parimenti la riduzione della pendenza del paramento di monte era considerata inattuabile in ragione della conseguente rilevante perdita di volume del serbatoio di accumulo della risorsa idropotabile.

Per le motivazioni su esposte e soprattutto per la possibilità di conservare la disponibilità della risorsa idrica, il PFTE sviluppava l'ipotesi di ristrutturazione complessiva dell'opera mediante la realizzazione di un rinforzo in c.a. del paramento murario di monte e la riduzione del paramento di valle mediante l'apporto di un congruo rinfiacco in materiali aridi di idonea granulometria, permeabilità e natura litologica, previa asportazione dell'attuale rivestimento in muratura di pietrame e suo riutilizzo in sito dopo frantumazione.

6.3.1 INTERVENTI PER L'INCREMENTO DELLA SICUREZZA DELLA DIGA PREVISTI NEL PFTE

In sintesi, gli interventi proposti e analizzati nel PFTE sotto il profilo strutturale ed economico prevedevano che:

- a) il paramento di valle venisse demolito e con esso l'attuale vasca di dissipazione e le apparecchiature a servizio dello scarico di fondo e delle opere di adduzione; il materiale risultante dalla demolizione del paramento venisse riutilizzato in sito. Era quindi previsto che il rinfiacco del paramento di valle fosse costituito da un rilevato di ringrosso con pendenza 3/2 e 2 berme intermedie, realizzato con misto stabilizzato di cava integrato con i materiali riciclati risultanti dalla precedente demolizione e da uno strato superficiale in terreno vegetale sp. 30cm, protetto da geostuoia antierosione, con opportuno sistema di raccolta, convogliamento e smaltimento delle acque superficiali. Infine, il rinfiacco doveva essere poggiato su una nuova platea in c.a. sp. 80 cm, su cui far insistere anche il nuovo sbocco dello scarico di fondo;

- b) il paramento di monte fosse rinforzato mediante un ringrosso in c.a. addossato all'attuale paramento murario, di spessore variabile, massimo in fondazione e decrescente verso il coronamento, dotato di giunti verticali a tenuta idraulica ed ammorsato in fondazione con l'ampliamento e l'approfondimento dell'attuale taglione. Era poi previsto che il collegamento tra il nuovo ringrosso in c.a. e l'attuale paramento murario di monte avvenisse mediante inghisaggi con 2 barre $\Phi 26$ per m^2 ;
- c) il coronamento venisse interessato dalla demolizione dell'attuale pavimentazione, dalla successiva regolarizzazione e ricarica con misto stabilizzato di cava e dal rifacimento del binder e dello strato di usura;
- d) l'imbocco dello scarico di fondo, in conseguenza dell'intervento sul paramento di monte fosse conformato in accordo alla nuova configurazione del paramento stesso e che venisse sostituita la griglia grossolana che lo precede;
- e) la galleria del cunicolo d'ispezione dello scarico e della derivazione fosse prolungata verso valle fino al nuovo piede della diga. Contestualmente che fossero prolungate le tubazioni di scarico e di presa con sostituzione delle relative apparecchiature e pezzi speciali; che fosse realizzata ex novo una vasca di dissipazione allo sbocco della condotta di scarico.

6.3.2 MODELLI DI CALCOLO UTILIZZATI NELLE ANALISI STRUTTURALI ESPOSTE NEL PFTE E SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI

Le verifiche di stabilità furono condotte, sia allo stato attuale che di progetto, con due diversi metodi di calcolo: metodo dell'equilibrio limite (LEM) e metodo agli elementi finiti (FEM). Nel primo caso fu utilizzato il software STAP 12, nel secondo il software PLAXIS 2D. Il metodo dell'equilibrio limite (LEM) fu impiegato per la verifica del paramento di valle. La linea di falda, coerentemente con quanto riscontrato dal monitoraggio dell'opera, fu impostata ad una profondità tale da non influenzare la stabilità del corpo diga. I rivestimenti del paramento di valle, del coronamento e del paramento di monte furono considerati solo come carichi esterni.

Il metodo agli elementi finiti (FEM) fu impiegato per la valutazione della stabilità dell'intero sbarramento e per la verifica del paramento di monte. Esso era di tipo bidimensionale con alcune semplificazioni assunte a favore di sicurezza. La torre di presa non era stata inserita nel modello, i rivestimenti del paramento di valle e del coronamento erano stati introdotti come carichi esterni; lo schermo impermeabile del paramento di monte, anche se modellato con elementi finiti, era di tipo evanescente, ovvero non in grado di fornire alcun contributo alla rigidità e resistenza dell'opera.

Nella tabella che segue si riportano i risultati delle verifiche statiche e sismiche condotte sul corpo diga in direzione valle con i tradizionali metodi all'equilibrio limite (LEM) di Jambu e di Bishop. Si osserva come la configurazione di progetto determini un miglioramento delle condizioni di stabilità con coefficienti di sicurezza maggiori di quelli imposti dalle norme.

Tabella 2: raffronto dei coefficienti di sicurezza tra le configurazioni di stato attuale e di progetto (PFTE) ottenuti per il paramento di valle con i metodi all'equilibrio limite (agli stati limite di Salvaguardia della Vita SLV e a quello di Collasso SLC).

Configurazione	Metodo	SLV	SLC
Attuale	Bishop	1.274	1.224
	Janbu	1.216	1.168
Progetto	Bishop	1.395 (+9.5%)	1.338 (+9.3%)
	Janbu	1.355 (+11%)	1.295 (+10.8%)

Nella successiva tabella si riportano invece sinteticamente i risultati ottenuti mediante le analisi sismiche condotte sull'intero corpo diga con modellazione FEM.

Tabella 3: raffronto tra gli scenari di stato attuale e di progetto in termini di risultati ottenuti in condizioni sismiche mediante modellazione FEM

	Attuale	Progetto
Spostamento orizzontale corpo diga	60,0 mm	44,8 mm
Spostamento verticale corpo diga	47 mm	47 mm
Accelerazione al coronamento	0,75 g	0,60 g
Paramento di monte	Danneggiamenti	-
Paramento di valle	-	Cedimenti localizzati

6.3.3 IL PARERE ISTRUTTORIO SUL PFTE

Con nota prot. U. 0010639.06-05-2019 l'Ufficio Tecnico delle Dighe di Firenze trasmetteva al Concessionario e p.c. al Gestore il proprio parere di competenza ai sensi dell'art. 1 del regolamento di cui al DPR 1363/59, al quale si rimanda per maggiori dettagli nel merito.

Nel seguito si trascrive comunque integralmente la sintesi finale contenuta al punto 6 (OSSERVAZIONI ISTRUTTORIE) di detto parere nel quale si dà atto che

« Il progetto esaminato contiene nella sostanza le informazioni e le verifiche necessarie ad inquadrare e descrivere gli interventi e a dimostrarne la fattibilità tecnica. Inoltre, lo stesso risulta coerente con gli obiettivi prefissati dalla scheda interventi relativa all'Accordo di finanziamento prot. n. 3020/RU del 08/02/2018.

Sulla base dell'istruttoria condotta, si ritiene che il progetto presentato sia meritevole del parere favorevole di competenza dell'Ufficio con le integrazioni ed gli approfondimenti seguenti.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici di competenza specifica (ai sensi dell'art. 1 del DPR 1363/59):

1. **Consistenza del progetto definitivo.** *Il progetto definitivo dovrà contenere tutti gli elaborati previsti all'art. 24 del DPR 207/2010, rammentando che il progetto di fattibilità non ha ricompreso, tra l'altro, le relazioni specialistiche, il piano di gestione delle materie, gli aspetti legati al mantenimento in sicurezza dello sbarramento durante i lavori, (OSSERVAZIONI N.01). Il progetto dovrà anche menzionare tra le alternative storicamente prese in considerazione, il consolidamento del corpo diga (osservazione 0.3a) e prevedere il progetto del sistema di monitoraggio del comportamento dell'opera, successivo agli interventi (osservazione 04.a).*
2. **Progetto di gestione:** *ai fini della cantierabilità delle opere oggetto di intervento, il Gestore dovrà presentare un Progetto di gestione, ovvero se consentito dalla Regione, un Piano Operativo, da sottoporre a parere obbligatorio di questo Ufficio per gli aspetti di sicurezza e all'approvazione della Regione (osservazione 01. c).*
3. **Sottoscrizione degli elaborati.** *Il progetto definitivo dovrà essere sottoscritto dai progettisti, dal Concessionario, dal Gestore e dall'Ingegnere responsabile (osservazione 02.a).*
4. **Riferimento alle verifiche presentate nel 2016.** *Dovranno essere integralmente recepite le osservazioni di cui all'istruttoria tecnica prot. n. 26522/RU del 01/12/2016 (OSSERVAZIONI N. 05-09).*
5. **Modellazione.** *Prevedere anche per il paramento di monte diversi metodi di verifica da confrontare fra loro, ovvero approfondire la scelta di non applicare il metodo LEM al paramento di monte e comunque escludere il possibile innesco di fenomeni d'instabilità analoghi a quelli considerati per il paramento di valle, anche a serbatoio vuoto (Osservazione 06.c);*
6. **Materiali.** *Motivare la scelta dei parametri adottati per il paramento di valle e fornire indicazioni circa la sua granulometria (osservazione 07.c) e fornire indicazioni sulla messa in opera del materiale stesso e sull'eventuale raccordo con il rockfill esistente (osservazione 07.d);*
7. **Verifiche e combinazioni di carico.** *Riportare le verifiche statiche sia allo stato attuale che di progetto, per entrambi i metodi di modellazione (osservazione 08.c), considerando i diversi stati limite (SLE e SLU) ed i diversi accelerogrammi selezionati, prevedendo tutte le combinazioni di carico previste dalla normativa, inclusa la combinazione sismica a livelli intermedi prossimi alla minima regolazione quali quelli spesso riscontrati nei mesi estivi (osservazioni 08.d e 08.e);*

8. **Analisi e verifiche.** Prevedere un'approfondita analisi dei cedimenti, valutare l'interazione del corpo diga con la torre di presa e prendere in considerazione tutte le fasi anche transitorie (osservazione 09.e). In relazione alle analisi LEM, presentare anche i risultati ottenuti con il metodo di Newmark, se effettivamente applicato (osservazioni 09.c). In relazione alle analisi sismiche, approfondire la modellazione del paramento di valle con analisi FEM per modellare più accuratamente l'apparente fenomeno di cedimento ottenuto dalle simulazioni (osservazione 09.d);
9. **Opere accessorie.** Includere nel progetto definitivo, le verifiche sismiche delle opere accessorie, ed eventualmente, il loro adeguamento (osservazione 09.f).

..»

6.4 Esito del procedimento di Verifica di Assoggettabilità a VIA

A seguito di presentazione in data 16/08/2019 dell'istanza per l'avvio del procedimento di Verifica di Assoggettabilità a VIA da parte del gestore Nuove Acque S.p.A. (proponente), ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. n.152/2006 come da ultimo modificato dal D.Lgs. n. 104/2017, la Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, nel **Parere n.3430 del 22 maggio 2020**, ha analizzato gli elaborati di Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica unitamente allo "Studio Preliminare Ambientale" (corredato di Allegato 1 – "Valutazione previsionale della diffusione di polveri" e Allegato 2 – "Rapporti di prova delle analisi sui campioni di terra"), redatto dall'Ing. Francesca Aquilanti e dal Dott. Agr. Fabio Maneli e alla "Relazione di Incidenza Ambientale inerente al sito ZSC/ZPS IT5180017 Monte Ginezzo", redatta dal Dott. Agr. Fabio Maneli.

Visti anche i contributi istruttori nel merito espressi da:

- ARPAT, Direzione Tecnica – Settore VIA/VAS;
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo (MiBAC) - Direzione Generale Archeologia, Belle Arti e Paesaggio - Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Siena, Grosseto e Arezzo;
- MiBAC - Direzione Generale Archeologia, Belle Arti e Paesaggio – Servizio V;
- Regione Toscana - Giunta Regionale - Direzione Ambiente ed Energia - Settore Valutazione Impatto Ambientale, Valutazione Ambientale Strategica, Opere Pubbliche di Interesse Strategico Regionale;
- Regione Toscana – Giunta Regionale - Direzione Ambiente ed Energia - Settore Tutela della Natura e del Mare;

la Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS, con il citato atto n.3430/2020, ha emesso **parere negativo all'esclusione dalla procedura di VIA** del progetto, richiedendo pertanto la redazione di uno Studio di Impatto Ambientale a corredo della futura fase di progettazione definitiva.

7 CRITERI DI PROGETTAZIONE, RILIEVI E INDAGINI DI APPROFONDIMENTO

7.1 Coerenza del progetto definitivo con le ipotesi d'intervento adottate nel progetto di fattibilità tecnico economica

Il progetto definitivo conferma le scelte fondamentali d'intervento operate nel PFTE per l'incremento della sicurezza statica e sismica della diga, ovvero:

A- decremento della pendenza media attuale del paramento di valle mediante la realizzazione di un rinfianco in misto granulare stabilizzato (pietrisco 0/80 in frazione unica di natura calcarea) da sovrapporre all'attuale materiale il pietrame alla rinfusa costituente il corpo diga, previa asportazione dell'attuale rivestimento in muratura di pietrame, del quale è previsto il riutilizzo nell'ambito del cantiere, previa frantumazione. Il nuovo profilo del paramento di valle sarà quindi costituito da tre tratti con scarpa costante (H:V) pari a 1.75:1, interrotti da due berme intermedie di larghezza pari a 3 m, provviste di fossetta di scolo al piede della scarpata di monte (vedi elaborato grafico T-P02).

Tale conformazione decrementa la pendenza media del paramento di valle rispetto a quella adottata nel PFTE, dove la scarpa dei tratti acclivi era invece pari a 1.5:1. Tale modifica è stata introdotta per innalzare i coefficienti di sicurezza nelle verifiche di stabilità globali a valle, in condizioni statiche e sismiche, considerate le caratteristiche medie di resistenza al taglio attribuibili all'ammasso in pietrame alla rinfusa esistente e al materiale granulare ad elevata permeabilità costituente il nuovo rinfianco. Tale esigenza si è infatti appalesata a seguito dell'aggiornamento dello studio sismotettonico elaborato dal Prof. Pace (2021) che ha posto in evidenza la necessità di considerare accelerogrammi più gravosi per gli stati limite SLV ed SLC rispetto a quelli adottati per il PFTE.

B- Realizzazione di uno schermo di tenuta in c.a. sul paramento di monte costituito da conci separati da giunti tecnici disposti su piani verticali, avente simultanea funzione strutturale di rinforzo della attuale struttura muraria di contenimento da monte del riempimento del corpo diga in pietrame alla rinfusa. Tale nuova struttura avrà spessore decrescente dal piede a salire verso il coronamento e, previa demolizione dell'attuale schermo in lastre giuntate di calcestruzzo con sottostante sistema di drenaggio, sarà sovrapposta e connessa mediante idonei ancoraggi con barre in acciaio inghisate all'attuale opera muraria in malta e pietrame di sostegno da monte del corpo diga. All'interno del nuovo manto di tenuta idraulica e di rinforzo in c.a. del paramento di

monte saranno ricavate le canne drenanti ad andamento subverticale aventi esito negli attuali fori presenti sul lato di monte della volta del cunicolo d'ispezione della diga.

Il blocco di fondazione del nuovo schermo sarà affiancato a quella attuale sempre in c.a. a cui sarà connessa mediante idonei inghisaggi. Essa, in corrispondenza dei tre conci centrali del nuovo schermo di tenuta in c.a. sarà tuttavia munita di fondazioni profonde costituite da due file parallele di pali di grande diametro ($D = 1 \text{ m}$) aventi lunghezza pari a 10 m, delle quali quella più prossima al blocco di fondazione attuale sarà costituita da pali compenetrati posti ad interasse 0.8 m ed armati alternativamente (vedi ancora elaborato grafico T-P02). Tale nuova conformazione dell'opera di fondazione si è imposta per nuove esigenze emerse nel corso degli approfondimenti esperiti in relazione alla difficoltà tecnica di effettuare scavi di grande profondità a monte del blocco di fondazione esistente. La prima motivazione discende infatti dalla tutela delle maestranze non solo dal rischio di seppellimento, ma anche da quello di annegamento. Si è inoltre così ritenuto di realizzare un ulteriore presidio in grado di contrastare l'insorgenza di fenomeni di sifonamento o di perdita per filtrazione tra le strutture di fondazione e gli strati più superficiali della formazione rocciosa in strati arenacei e argillitici di base.

C- Per quanto attiene infine all'adeguamento dell'imbocco dello scarico di fondo e della griglia grossolana ivi presente, al prolungamento del cunicolo di ispezione e delle condotte dello scarico di fondo e di derivazione, alla ricostruzione della vasca di dissipazione, nonché al rifacimento della sovrastruttura stradale del coronamento, il progetto definitivo conserva sostanzialmente le soluzioni adottate nel PFTE.

Differiscono invece le scelte relative agli interventi su altre opere accessorie, quali ad esempio la scelta condivisa con il gestore di procedere al rifacimento integrale del manufatto di attraversamento del canale fugatore stante la sua pressoché sicura inidoneità rispetto ai requisiti normativi vigenti anche in considerazione degli elevati e frequenti carichi cui andrà soggetto nel corso dei lavori; la non disponibilità dei disegni originari e la necessità di predisporre onerose indagini anche distruttive di accertamento della resistenza dei materiali, nonché della quantità e disposizioni delle barre di armatura. Detto ponte (vedi elaborato grafico T-PC02) avrà la medesima collocazione planimetrica di quello esistente ma sarà strutturalmente indipendente sia a livello di fondazioni che d'impalcato dalle strutture del canale fugatore.

Si è inoltre convenuto, di concerto con il committente gestore, sentito il Concessionario, di dismettere l'uso dell'edificio ad oggi destinato alla funzione di casa

di guardia in quanto privo di qualunque titolo edilizio e di relativi certificati di agibilità, sopperendo all'esigenza dei servizi di guardiania mediante la realizzazione di un bilocale ad uso ufficio e attigua area di riposo per ospitare il personale di guardia, munito dei relativi servizi igienici e degli impianti di telefonia e trasmissione dati. Tale bilocale sarà ricavato mediante l'unione di due box prefabbricati nei quali troveranno sistemazione anche i quadri di comando e controllo dei servizi ausiliari. Il generatore di emergenza sarà invece collocato in una tettoia attigua ai due box (vedi elaborato grafico T-PC03).

7.2 Adempimento alle prescrizioni istruttorie espresse dall'UTD di Firenze rispetto al PFTE

Si riferisce nel merito adottando la stessa numerazione utilizzata nel parere emesso dall'UTD di Firenze e riportata nel precedente paragrafo 6.3.3.

1. Consistenza del progetto definitivo

Il progetto definitivo, come noto, salvo diversa disposizione del RUP, contiene tutti gli elaborati previsti all'art. 24 del DPR 207/2010. Nella fattispecie, rispetto alle carenze nel PFTE delineate nel parere in ordine alle relazioni specialistiche, queste sono state inserite per quanto necessarie e comprendono, la Relazione Geologica, la Relazione Sismotettonica, la Relazione Idrologico-Idraulica, le Relazione Geotecnica e le Relazioni Strutturali, la Relazione tecnica sugli Impianti.

Per quanto attiene invece il mantenimento in sicurezza dello sbarramento durante i lavori, la presente relazione tecnica fornisce la descrizione del sistema di tute provvisorie e di scarico dei contributi di piena provenienti da monte dello sbarramento in corso d'opera, il cui dimensionamento è descritto nella relazione Idrologico Idraulica. Il monitoraggio topografico durante i lavori sarà prescritto nel Capitolato Speciale Appalto e basato sui capisaldi della rete esistente non interessati dai lavori. Altri aspetti inerenti alla sicurezza dei manufatti in corso d'opera saranno esposti nel Piano di Sicurezza e Coordinamento.

Circa il piano di gestione delle materie si segnala che oltre all'esautiva descrizione degli scavi e delle demolizioni occorrenti e della relativa entità esposta nei capitoli successivi della presente relazione, tali temi saranno esaustivamente trattati all'interno dello Studio di Impatto Ambientale formante parte integrante del progetto.

2. Progetto di gestione

Il progetto di gestione dell'invaso esula dal presente incarico e sarà redatto dal gestore in una fase successiva alla progettazione definitiva.

3. Sottoscrizione degli elaborati

Gli elaborati del progetto definitivo saranno firmati digitalmente dai PROGETTISTI, DAL Concessionario, dal Gestore e dall'Ingegnere responsabile della sicurezza della diga.

4. **Riferimento alle verifiche presentate nel 2016**

Per gli approfondimenti esperiti in ordine alle osservazioni N. 05-09 della citata relazione istruttoria emessa dall'UTD di Firenze circa il PFTE, si rinvia alle Relazioni strutturali (Elaborato R-05.1, R-05.2 e R-05.3), nonché alla Relazione sismotettonica (Elaborato R-02.2).

5. **Modellazione**

Così come per il paramento di valle, l'analisi di stabilità del paramento di monte della diga nella configurazione di progetto è stata valutata attraverso molteplici approcci comprendenti fra l'altro anche un'analisi semplificata condotta attraverso il metodo LEM come richiesto. Si rinvia in proposito all'Elaborato R-05.1.

6. **Materiali**

La Relazione strutturale R-05.1 (Corpo diga) espone in dettaglio la tipologia litologica e granulometrica del materiale inerte adottato per la formazione del rinfiango di valle, prevalentemente proveniente da cava e costituito da misto granulometrico 0/80 a frazione unica (UNI EN 13242), adeguatamente compattato fino al raggiungimento della densità prescritta. Per la caratterizzazione geotecnica di detto materiale in termini di resistenza al taglio, considerata la distribuzione granulometrica e l'origine mineralogica del medesimo, è stato adottato un valore prudenziale dell'angolo d'attrito interno in accordo con i dati presenti in letteratura per materiali del tutto simili.

Il materiale inerte utilizzato per la formazione del rinfiango garantirà altresì una maggiore permeabilità di quello costituente l'attuale corpo diga in pietrame alla rinfusa che presenta però una maggiore percentuale di materiali a granulometria fine.

7. **Verifiche e combinazioni di carico**

La Relazione strutturale relativa al corpo diga (R-05.1) contiene le verifiche richieste al presente punto 7.

8. **Analisi e verifiche**

La Relazione strutturale relativa al corpo diga (R-05.1) contiene le verifiche richieste al presente punto 8.

9. **Opere accessorie**

La torre di presa è stata oggetto di verifica statica e sismica mediante modellazione FEM nella configurazione di progetto, il ponte di attraversamento del canale fugatore è invece stato oggetto di nuova progettazione in quanto si optato per il suo completo rifacimento con diversa tipologia strutturale (impalcato in acciaio calcestruzzo e fondazioni profonde. Il tutto come esposto rispettivamente nella Relazione strutturale relativa alla torre di presa (R-05.2) e nella Relazione strutturale relativa al ponte sul canale fugatore (R-05.2).

7.3 Rilevanza ambientale e strategicità della risorsa idropotabile derivabile dalla diga di Cerventosa

La risorsa idrica invasata dalla diga ha costituito fino agli anni '80 la principale fonte idropotabile per la città di Cortona. Successivamente, resasi non più sufficiente, rimase essenziale sebbene integrata mediante la realizzazione del campo pozzi di Montanare.

Oggi i fabbisogni idropotabili della città sono soddisfatti preminentemente dal sistema di adduzione alimentato dalla diga di Montedoglio; tuttavia, l'invaso di Cerventosa rivestirebbe ancora il fondamentale ruolo di unica rilevante riserva di accumulo strategico per far fronte alle situazioni di emergenza idrica connesse ai possibili fermi o fallanze delle ordinarie fonti idropotabili principali del capoluogo del Comune di Cortona.

La Diga di Cerventosa fu realizzata negli anni 60 dall'Amministrazione Comunale con il preciso scopo di alimentare il proprio sistema idropotabile che di fatto è composto da due infrastrutture acquedottistiche distinte, ma interconnesse: quella superiore di Cortona capoluogo e quella inferiore di Camucia, frazione sviluppatasi come polo residenziale e artigianale nella vallata. Entrambe le reti sono ad oggi alimentate dal campo pozzi di Montanare (26 pozzi posti tra Pergo e Montanare) e dal nuovo potabilizzatore attivo in località Vallone che è invece alimentato dalla risorsa grezza proveniente dall'invaso artificiale di Montedoglio.

Quest'ultimo impianto di potabilizzazione ha di fatto fornito una definitiva risoluzione alle carenze quali-quantitative dell'approvvigionamento idrico del comune di Cortona, ciò nonostante, fino a 5 anni fa, la Diga di Cerventosa conservava il preciso e indispensabile ruolo di copertura del surplus di consumi del periodo agosto – ottobre, cui il campo pozzi di Montanare, complici la minor produttività dell' acquifero nel corso del periodo estivo e l'aumento di consumi stagionali, non riusciva a far fronte.

Non di meno va rilevato il fatto che i prelievi dalla Diga di Cerventosa, così come il potabilizzatore del Vallone ora, oltre a reintegrare la risorsa, ne migliorano sensibilmente la potabilità e la qualità organolettica miscelandosi alle acque emunte dal campo pozzi di Montanare che, nei periodi di maggior sfruttamento della falda, possono presentare alcuni parametri chimici al limite del consentito (ammoniaca, nitrati, manganese), come del resto avviene in molti pozzi della Valdichiana.

Se è pur vero che la Diga di Cerventosa da sola non riuscirebbe ad alimentare Cortona poiché da giugno ad ottobre il fosso omonimo (già torrente Gaude) va in secca e per il fatto che gli stessi 12 lt/sec di prelievo ordinario derivabili da Cerventosa non sarebbero comunque sufficienti per alimentare l'intero sistema acquedottistico che ne richiede

almeno 20, resta comunque il fatto innegabile che, ad oggi, pur con l'avvento del preminente contributo proveniente dall'invaso di Montedoglio, **permane pienamente inalterato il ruolo strategico della Diga di Cerventosa** che, garantendo i suoi 70.000 mc d'accumulo di acque di ottima qualità, è in grado di assicurare circa 50/60 giorni di autonomia all'approvvigionamento idropotabile del capoluogo comune di Cortona, il cui fabbisogno giornaliero oscilla tra gli 800 e i 1.500 mc/giorno, a seconda della stagione e della densità turistica stagionale.

Infatti, tale riserva risulta strategica, non tanto per poter garantire un approvvigionamento "stabile" per il capoluogo comunale, quanto per supplire alla eventuale mancanza di una delle due principali fonti di approvvigionamento (invaso di Montedoglio o campo pozzi di Montanare). Entrambe dette fonti ordinarie, per diversi motivi, non possono di fatto garantire in generale una assoluta disponibilità e continuità del servizio: Montedoglio, ad esempio in ragione dell'uso promiscuo irriguo-idropotabile ha già talvolta denotato situazioni di criticità nei mesi di settembre - ottobre, in ragione dei sempre più frequenti e duraturi periodi siccitosi che riducono gli accumuli invasabili in autunno-inverno e incrementano drasticamente i prelievi ad uso irriguo in estate. Fenomeni questi, peraltro in via di intensificazione, stante il cambiamento climatico in atto.

Anche il campo pozzi di Montanare va storicamente soggetto a periodiche interruzioni dovute ai fisiologici guasti elettromeccanici che interessano il sistema di spinta che deve sollevare la risorsa di circa 400 m verso i serbatoi di Cortona "alta", situati a circa 6 Km dal campo pozzi, attraversando pendii potenzialmente soggetti a dissesti gravitativi (frane e smottamenti) non infrequenti nella collina cortonese.

È evidente come la conservazione dell'impianto di Cerventosa adeguatamente ripristinato consentirebbe di far fronte a entrambe le criticità emergenziali sopradescritte e con tempi di intervento che consentirebbero l'effettuazione di regolari attività manutentive non condizionate dall'urgenza che di norma ne limita l'efficacia.

Ulteriore, non secondaria, motivazione che rafforza la necessità di mantenere attivo l'approvvigionamento da Cerventosa è quella, come già accennato, riguardante la qualità della risorsa. Infatti sia la qualità dell'acqua di Montedoglio che quella del campo pozzi di Montanare sono di certo inferiori a quella derivabile dall'invaso della Diga di Cerventosa che, pur essendo una risorsa di tipo superficiale, proviene da un bacino montano non antropizzato e pertanto sostanzialmente al sicuro sia da contaminazioni biologiche

(scarichi) che da quelle chimiche (pesticidi o concimi, in parte invece di norma presenti nelle falde degli acquiferi prossimi ad aree coltivate e antropizzate).

Vi è infine da non trascurare il beneficio in termini energetici che deriva dal funzionamento a gravità del sistema di adduzione proveniente dalla Diga di Cerventosa, diversamente da quelli degli impianti di Montanare e Vallone che per alimentare Cortona devono superare un dislivello di 400 metri. Ne deriva quindi che anche dal punto di vista "ambientale" l'utilizzo della risorsa di Cerventosa ha un impatto energetico inferiore rispetto all'utilizzo delle altre due risorse. Infatti, proprio sotto il profilo della sostenibilità ambientale dell'intervento è utile osservare quanto segue.

Oltre ai diretti benefici derivanti dal ripristino dell'habitat di un piccolo lago ormai naturalizzato, nel quale durante il periodo di esercizio avevano già trovato rifugio alcune specie ittiche e anfibe protette, insieme ad altre di avifauna acquatica, una volta ripristinata la funzionalità dell'invaso della Cerventosa, in ragione della preminenza altimetrica di questo rispetto alla rete di distribuzione acquedottistica, sarà possibile abbattere⁵ di circa 110'000 kWh all'anno i consumi energetici dell'attuale sistema di sollevamento che alimenta Cortona capoluogo.

Tale risultato, oltre a costituire di per sé un significativo beneficio ambientale per la sostituzione di una fonte energetica fossile con un'altra fonte di tipo "rinnovabile" (l'adduzione della diga avverrà infatti "a gravità"), consentirà di abbattere di circa 76 t/anno le emissioni di CO₂ in atmosfera, oltre a generare anche un apprezzabile vantaggio economico valutabile, al costo attuale dell'energia, in circa 40'000 €/anno da detrarre dai costi di gestione dell'acquedotto di Cortona.

In ultimo va considerato il fatto che l'ipotizzata utilizzazione di un volume medio annuo derivabile di 70'000 mc rappresenta un valore minimo prudenziale derivante dall'ipotesi di una politica di gestione della derivazione riservata al periodo estivo nel quale possono con maggior probabilità aversi necessità d'integrazione delle fonti ordinarie di

⁵ Infatti, l'energia, espressa in kWh/anno, oggi necessaria al sollevamento per un'altezza H di 400 m del volume V di 70'000 mc di acqua potabile all'anno dalla pianura ai serbatoi di Cortona Alta, nell'ipotesi che il rendimento medio η dell'impianto di pompaggio sia del 70%, è data dalla seguente formula, in cui ρ e g sono rispettivamente la densità in kg/m³ dell'acqua e l'accelerazione di gravità in m/s²:

$$E = (\rho \cdot g \cdot V \cdot H) / (3.6 \cdot 10^6 \cdot \eta) = (1000 \cdot 9.81 \cdot 70000 \cdot 400) / (3.6 \cdot 10^6 \cdot 0.70) = 109'000 \text{ kWh} (=109 \text{ MWh})$$

Essendo noto che la produzione di 1 MWh da fonti di energia fossile comporta l'emissione di circa 0.7 t di CO₂ in atmosfera, ne deriva che il ripristino della funzionalità del sistema di derivazione dall'invaso della Diga di Cerventosa comporterà la riduzione di circa $0.7 \cdot 109 = 76.3$ t di emissioni in atmosfera di "gas serra" all'anno.

approvvigionamento idropotabile, ma se si considera altresì il fatto che mediamente alla fine del periodo autunnale l'invaso sarebbe già in grado di sostenere congrui prelievi a scopo idropotabile in ragione degli apporti meteorici che altrimenti potrebbero dare luogo a sfiori, si comprende come il volume medio annuo complessivamente derivabile, in ragione dell'andamento medio stagionale dei bilanci mensili di volumi affluiti al bacino negli anni di regolare esercizio osservati in passato, potrebbe anche essere incrementato del 100%.

Ovviamente in tali ipotesi meno conservativa, ma realistica, i benefici attesi in termini di risparmio energetico, economico e di emissioni evitate raddoppierebbero. Questa ragionevole considerazione si rafforza ulteriormente se si prende in conto la possibilità di ripristinare in pieno l'efficienza della canaletta di gronda che per un certo periodo ha consentito l'allaccio (già previsto nel FCEM) dei due più prossimi sottobacini attigui posti ad est dell'asta principale scolanti a valle dell'invaso.

7.4 Aggiornamento dei costi economici nell'ipotesi di dismissione della diga che rafforza la scelta di procedere all'esecuzione degli interventi di incremento della sicurezza

Come noto nell'arco del periodo intercorso tra l'elaborazione del PFTE e l'inizio dell'anno corrente i costi dei materiali da costruzione ed in generale tutti i prezzari ufficiali regionali hanno subito forti incrementi legati a vari fattori di turbativa del mercato, indotti simultaneamente sia dagli effetti della pandemia che ha influito sulla contrazione dell'offerta di molti prodotti, sia al notevole aumento dei costi delle fonti energetiche conseguente alle vicende belliche internazionali ancora in atto.

Per tali motivi si è ritenuto necessario procedere ad un approfondimento in senso analitico dell'effettivo ammontare del prevedibile costo dei lavori nel caso si optasse per la dismissione della diga e delle relative opere accessorie.

È stata quindi elaborata una dettagliata stima dei medesimi attraverso la redazione di uno specifico computo metrico estimativo (vedi Allegato 1 "STIMA DELLE OPERE NECESSARIE PER LA DISMISSIONE DELLA DIGA DI CERVENTOSA, COMPRESI GLI INTERVENTI PER I RIPRISTINI AMBIENTALI", accluso in calce alla presente relazione.

Come si ricava a conclusione del medesimo l'importo dei lavori di dismissione al netto delle somme a disposizione, aggiornato all'ultimo prezzario regionale (Toscana 2023, salvo le voci direttamente analizzate) e con la valutazione analitica delle quantità in gioco resa possibile dalla più dettagliata conoscenza acquisita circa lo stato di consistenza delle opere esistenti, ammonterebbe a: € 4'683'778,17.

Considerato che l'omologo importo dei lavori previsti invece nel presente progetto definitivo (vedi Elaborato E-04 "Computo metrico estimativo") ammonta a: € 4'909'771,14, ne risulterebbe che **l'ipotesi dismissione, con perdita totale della risorsa, avrebbe un costo di realizzazione pari a circa il 95% di quello previsto per il recupero della piena funzionalità della diga** e la conseguente conservazione della disponibilità della risorsa idropotabile originaria.

Di qui l'ovvia conferma della preferibilità dell'opzione che prevede la realizzazione degli interventi di incremento della sicurezza statica e sismica della Diga di Cerventosa.

7.5 Rilievi topografici e indagini sperimentali integrative a supporto del progetto definitivo

7.5.1 RILIEVI TOPOGRAFICI INTEGRATIVI - STINGEA (2020-2022)

Allo scopo di valutare l'entità e l'estensione delle operazioni di scavo da effettuare a monte ed a valle dell'opera di sbarramento attuale e di quantificare l'entità delle opere di ordinaria e straordinaria manutenzione occorrenti per il ripristino in sede della funzionalità dell'assetto della viabilità principale di accesso alla diga nonché delle piste provvisorie a servizio del cantiere la necessità dell'eventuale adeguamento in sede, la società Stingea ha effettuato specifici rilievi di dettaglio in situ mediante l'impiego di tecnologia GPS e stazione totale robotizzata, provvedendo a restituire piani quotati, sezioni e profili delle aree rilevate nonché il relativo TIN tridimensionale. I rilievi sono stati restituiti in coordinate Gauss-Boaga con datum altimetrico conforme alle quote assolute IGM in m s.l.m.m.

Detti rilievi sono rappresentati planimetricamente negli elaborati grafici T-A02, T-A02.1, T-A02.2, T-A02.3

Le campagne di indagine integrative condotte a supporto del presente progetto definitivo sono di seguito elencate:

7.5.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA GEORISORSE ITALIA (2019-2021)

Al fine di incrementare il grado di conoscenza relativo alla conformazione delle strutture del corpo diga, con riferimento in particolare al paramento di monte ed al cunicolo di ispezione nonché relativo alle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi presenti sulle spalle ed in fondazione tra il 2019 ed il 2021, la società Georisorse Italia, a supporto della Relazione Geologica inclusa nel presente progetto definitivo, ha condotto le indagini di seguito descritte, la cui collocazione planimetrica è riportata nella successiva Figura 7-1:

- A. Rilievo geomeccanico. Al fine di valutare le caratteristiche di resistenza meccanica attribuibili all'ammasso roccioso interagente con le opere ed in particolare valutare lo stato dei sistemi di discontinuità in esso presenti è stato adottato il criterio di classificazione di Bieniawski (1989) che comporta l'assegnazione per lo stesso dell'indice sintetico noto come RMR (Rock mass rating). Il rilievo geomeccanico propedeutico alla definizione dell'RMR è stato condotto su 3 stazioni di rilievo in corrispondenza di locali affioramenti nell'area di interesse. Sono state identificate 4 famiglie di discontinuità di cui una predominante denominata sistema N120-130 con inclinazione media di 50° Ovest, corrispondente alla superficie di stratificazione dell'arenaria affiorante. Gli indici RMR per ciascuna famiglia di discontinuità variano nell'intervallo 64-75 identificando una buona qualità dell'ammasso roccioso (RMR compreso tra 61-80, Bienawski 1989).
- B. Sondaggi a carotaggio continuo effettuati all'interno del cunicolo di ispezione e al piede di valle dello sbarramento. Sono stati effettuati 4 carotaggi (S1÷S4) sul fondo del cunicolo necessari a stabilire lo spessore del blocco di fondazione in c.a. e l'assetto lito-stratigrafico delle rocce sottostanti. È stato condotto inoltre un sondaggio (S5) posizionato al piede di valle in corrispondenza dal piano di posa del futuro rinfianco di progetto. All'interno dei fori di sondaggio sono state effettuate altrettante prove Lugeon, dalle quali sono stati ricavati valori di permeabilità da bassa a molto bassa ($10^{-9} < k < 10^{-5}$ m/s).
- C. Profili sismici a rifrazione in onde P e SH. Sono stati eseguiti 3 profili sismici finalizzati alla determinazione degli spessori locali della coltre detritica soprastante le formazioni rocciose, sia a monte che a valle dello sbarramento.
- D. Carotaggi orizzontali sul paramento di monte. Sono stati eseguiti 16 carotaggi orizzontali sul paramento di monte al fine di verificare gli effettivi spessori della struttura muraria in malta e pietrame di contenimento del corpo diga costituito da blocchi di pietrame disposti alla rinfusa.

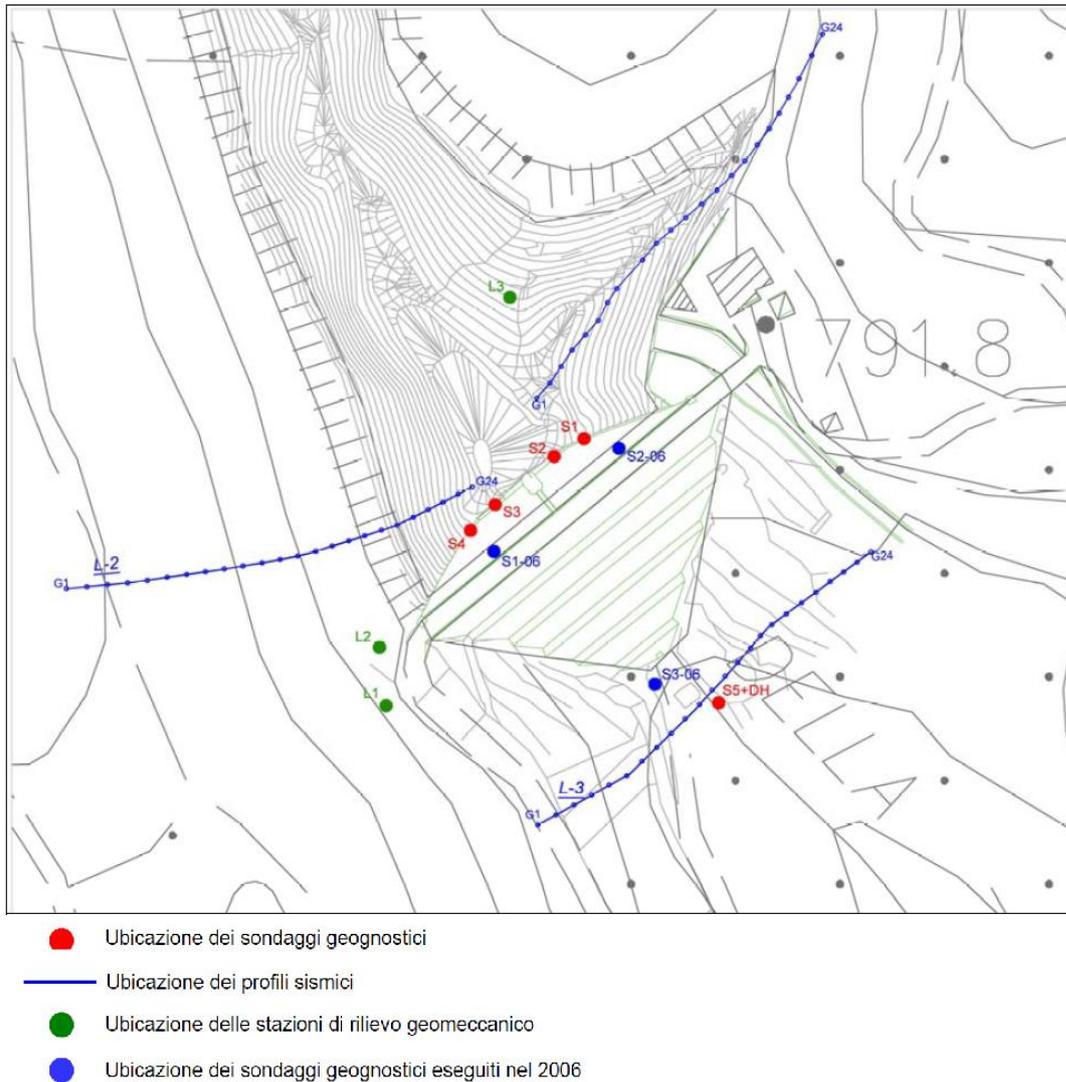


Figura 7-1 Indagini geognostiche a cura di Georisorse Italia - 2019-2020

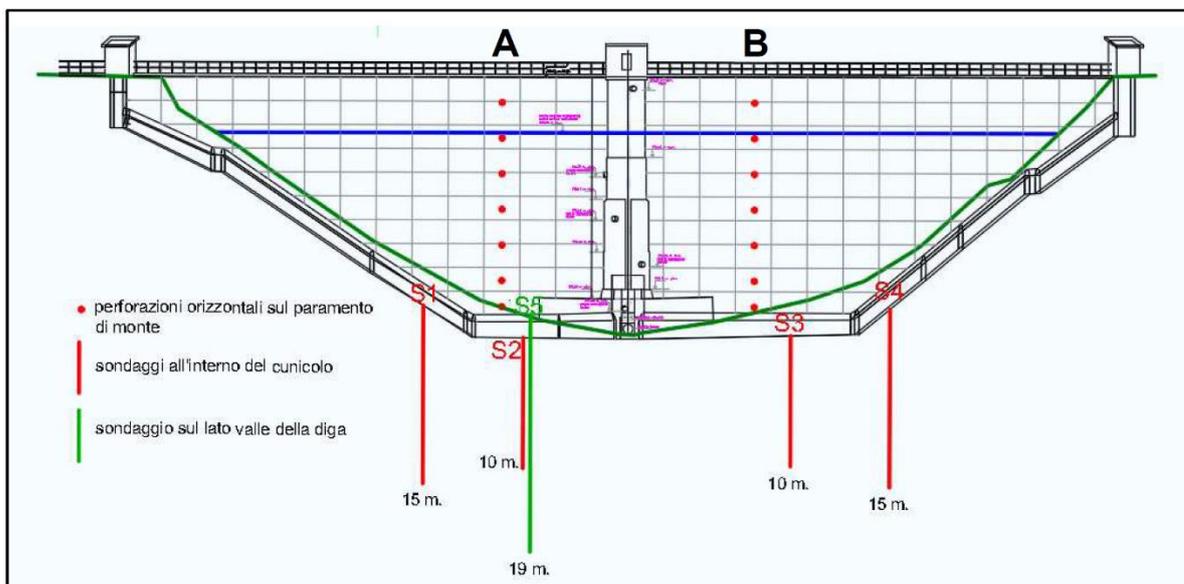


Figura 7-2 Ubicazione prospettica delle verticali di indagine dei carotaggi effettuati nel cunicolo ed al piede di valle della diga nonché delle perforazioni orizzontali sul paramento di monte.

Tutte le indagini sopra richiamate sono più estesamente descritte nei relativi allegati acclusi alla relazione Geologica (Elaborato R-02.1).

7.5.3 INDAGINI ESPLORATIVE SUL CUNICOLO DI ISPEZIONE DELLO SCARICO DI FONDO. UNILAB SPERIMENTAZIONI (2022)

La società UNILAB Sperimentazioni ha provveduto ad eseguire saggi esplorativi volti alla determinazione degli spessori delle pareti (piedritti in muratura di malta e pietrame) e della soletta di copertura (traverso in c.a.) del cunicolo di ispezione dello scarico di fondo, nonché accertare nel secondo caso la presenza o meno di armature mediante *ferroscan* e la loro eventuale corrispondenza ai disegni di progetto, oltre alle caratteristiche meccaniche dell'acciaio e del calcestruzzo mediante prelievo di spezzoni e carote successivamente sottoposte a prove di laboratorio. Sui piedritti sono state inoltre effettuate prove penetrometriche su malta, prove di compressione sugli elementi lapidei e una prova di martinetto piatto (singolo e doppio) volta a determinare il locale livello di sollecitazione presente nella membratura e la sua resistenza.

Tutti i risultati delle indagini espletate da Unilab Sperimentazioni figurano nello specifico report accluso all'elaborato R-05.1 (Relazione strutturale e fascicolo di calcolo: diga).

8 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

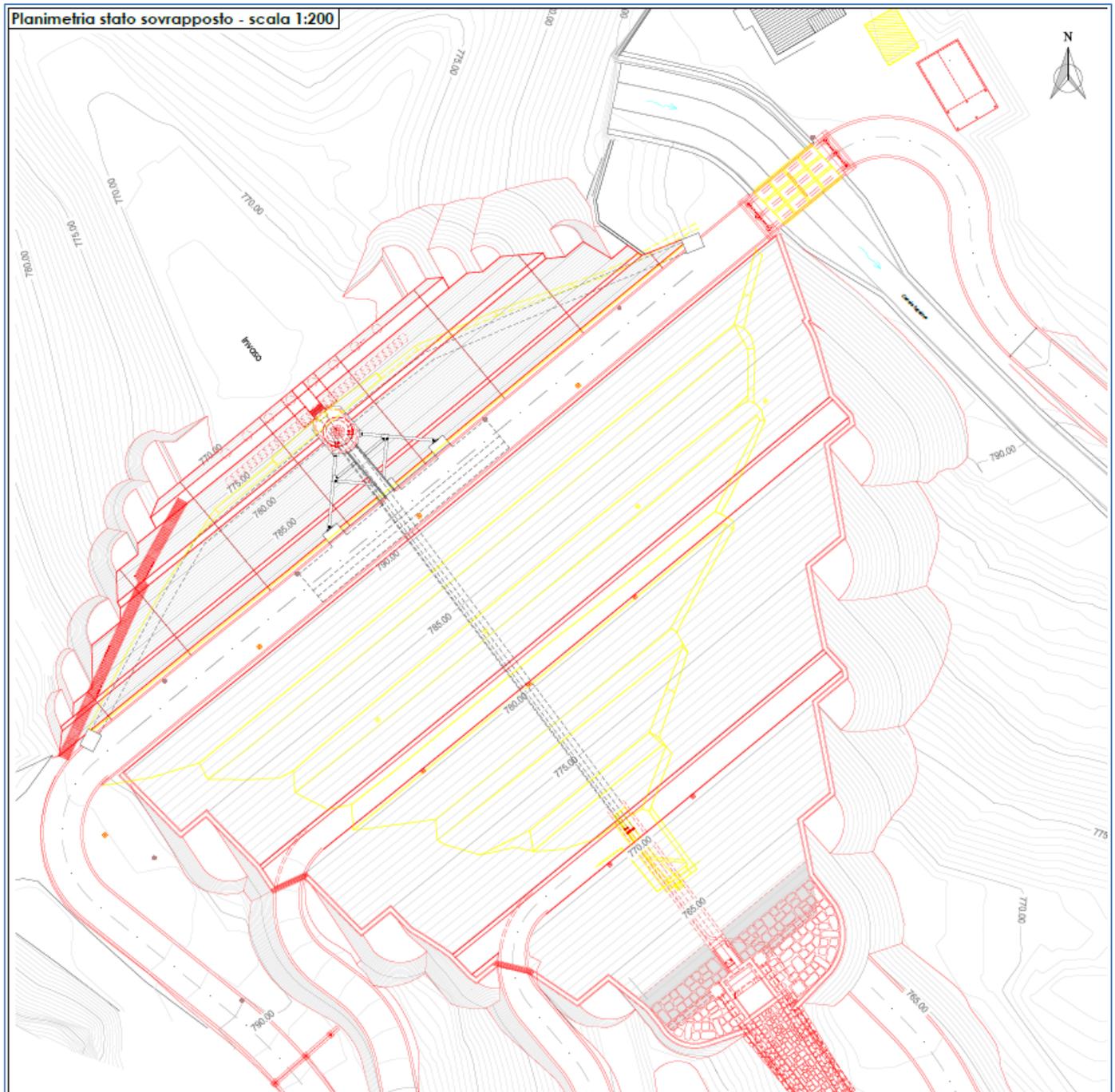


Figura 8-1: planimetria dello stato sovrapposto dell'opera di sbarramento. In giallo lo stato attuale, in rosso gli interventi in progetto.

8.1 Interventi principali per l'incremento della sicurezza statica e sismica della diga

Con riferimento agli elaborati grafici facenti parte del presente progetto definitivo, ai quali si rimanda in ogni caso per ulteriori dettagli, i principali interventi da realizzare per l'incremento della sicurezza statica e sismica della Diga di Cerventosa consistono sostanzialmente nella realizzazione delle due opere di seguito descritte.

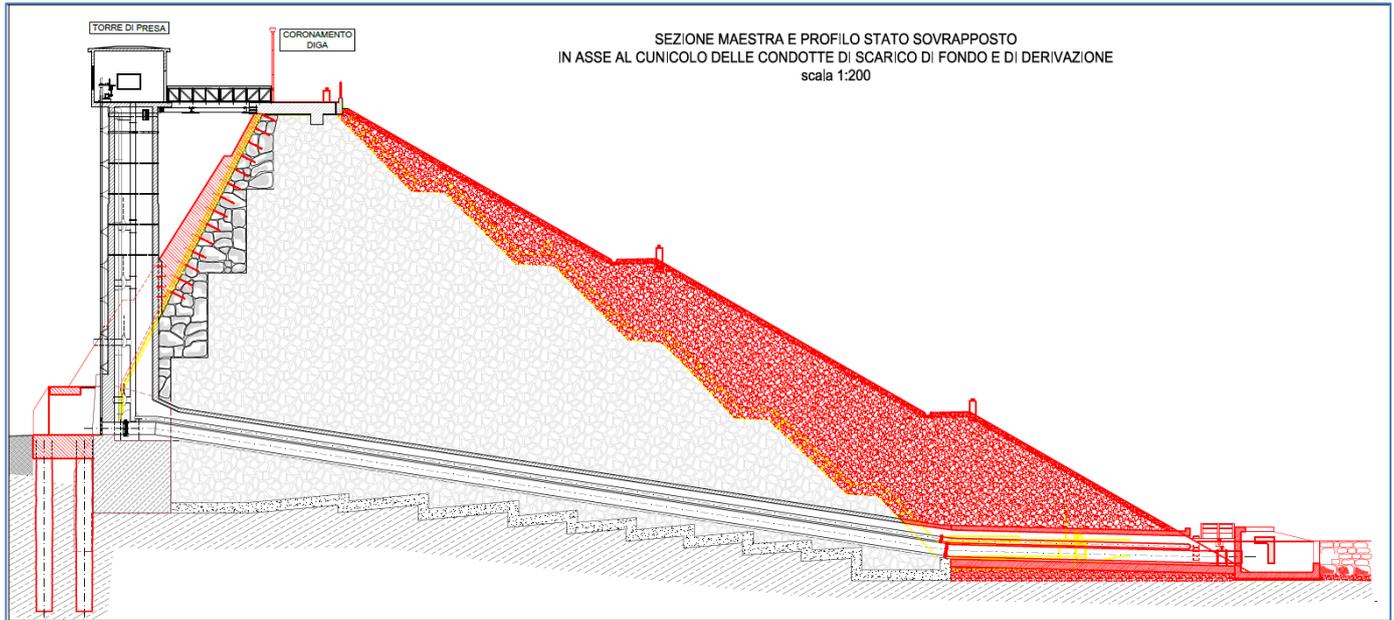


Figura 8-2: sezione maestra dell'opera di sbarramento. Stato sovrapposto. In rosso gli interventi in progetto.

- Rinfianco del paramento di valle (vedi Elaborato grafico T-P02) ottenuto mediante un congruo riporto di idoneo materiale inerte, compattato, di natura calcarea e granulometria grossolana (0/80) in frazione unica conforme alla UNI EN 13242, con elevato grado di permeabilità, proveniente da cava.

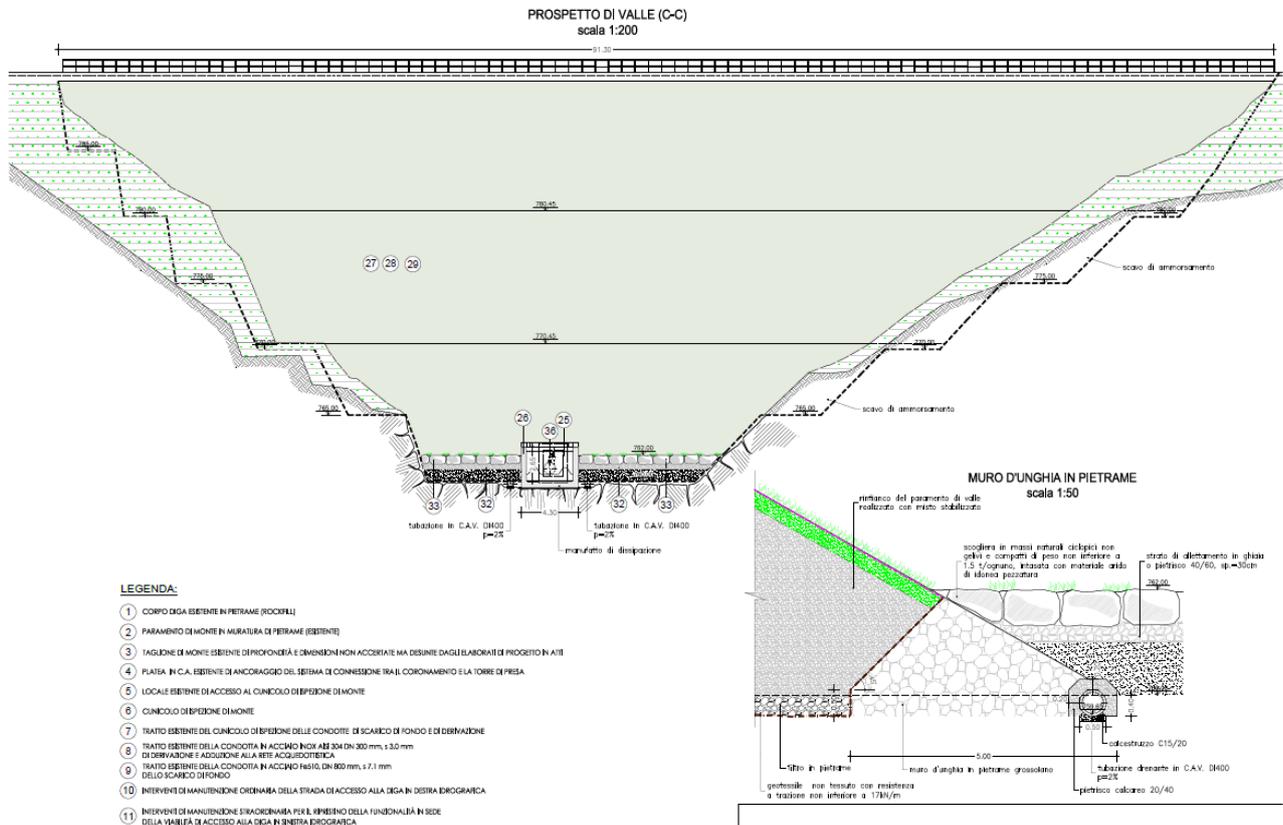


Figura 8-3: prospetto del rinfianco previsto nel paramento di valle.

Tale intervento di consolidamento, con paramento esterno articolato su tre tratti a pendenza costante (1:1,75) separati da due berme intermedie di 3 m di larghezza, avrà lo scopo di attenuare le attuali pendenze del paramento di valle, riconducendo le stesse a valori più consoni e conformi a quelli delle dighe in materiali sciolti e sarà comunque conformato in modo tale da garantire la stabilità globale e locale del paramento di valle in condizioni statiche e sismiche. Sia per contrastare gli effetti dell'azione erosiva delle acque meteoriche, sia per mitigare l'impatto visivo dell'opera, il paramento esterno sarà coperto da uno strato di terreno da coltivo necessario all'attecchimento del cotico erboso che si svilupperà per semina a spaglio di essenze autoctone resistenti anche in condizioni di aridità. Nel primo periodo vegetativo la superficie inseminata sarà protetta da una biostuoia di tipo biodegradabile che fungerà anche da supporto nutritivo per le fasi di sviluppo successive della coltre erbacea.

Il rinfiacco sarà posto in opera previa demolizione, asportazione, frantumazione in sito e riutilizzo dell'attuale rivestimento in muratura di pietrame stilato e malta, che riveste oggi il corpo diga realizzato in blocchi di pietrame disposti alla rinfusa, di natura prevalentemente arenacea o calcarenitica, ma anche marnosa e siltitica. Sulle sponde il riporto sarà esteso sino ad appoggiarsi agli affioramenti del sostrato roccioso messi a nudo previa asportazione della coltre detritica.

- Rinforzo del paramento di monte.

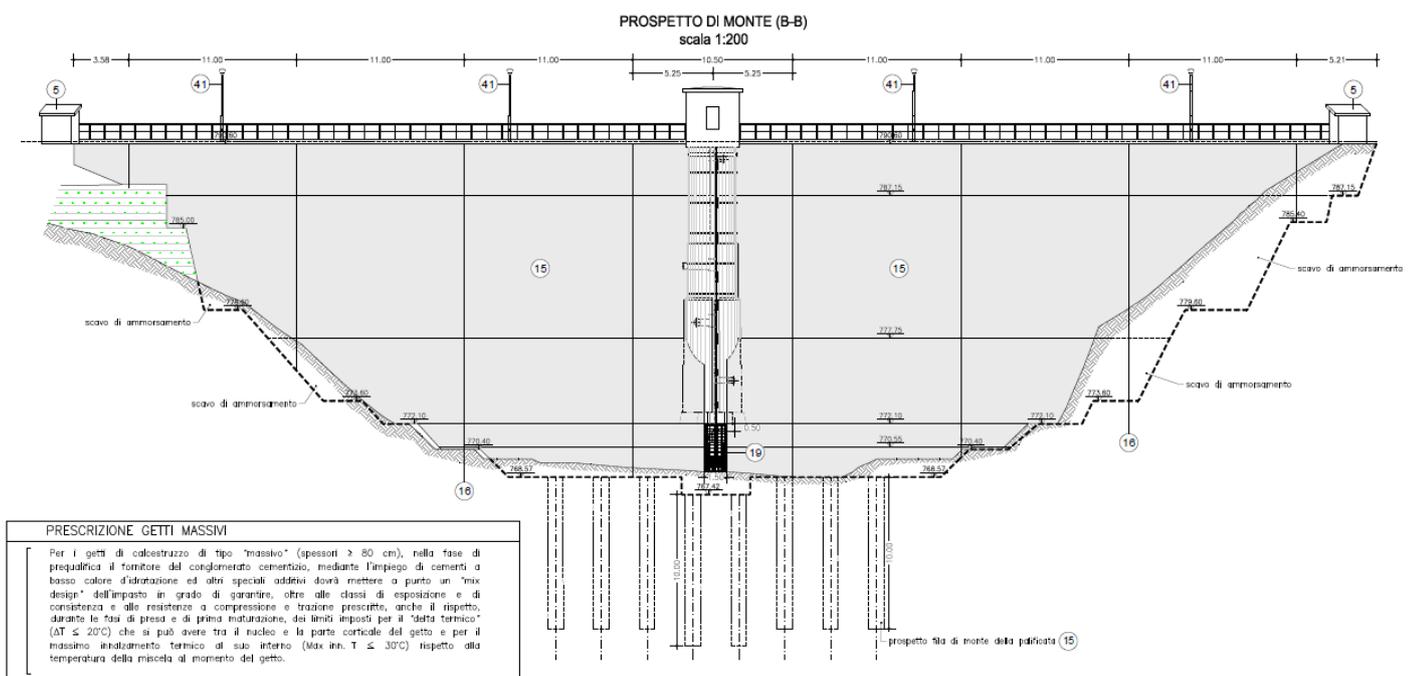


Figura 8-4: prospetto del paramento di monte nello stato di progetto.

Tale intervento consiste nella costruzione di un nuovo manto di tenuta in calcestruzzo armato, di spessore variabile decrescente verso l'alto, realizzato per conci affiancati, strutturalmente giuntati, il quale assolverà anche la fondamentale funzione di garantire un'adeguata resistenza strutturale del paramento di monte, in condizioni statiche e sismiche; sia nella configurazione a serbatoio vuoto che in quella a serbatoio pieno con livello del pelo libero alla quota di massimo invaso.

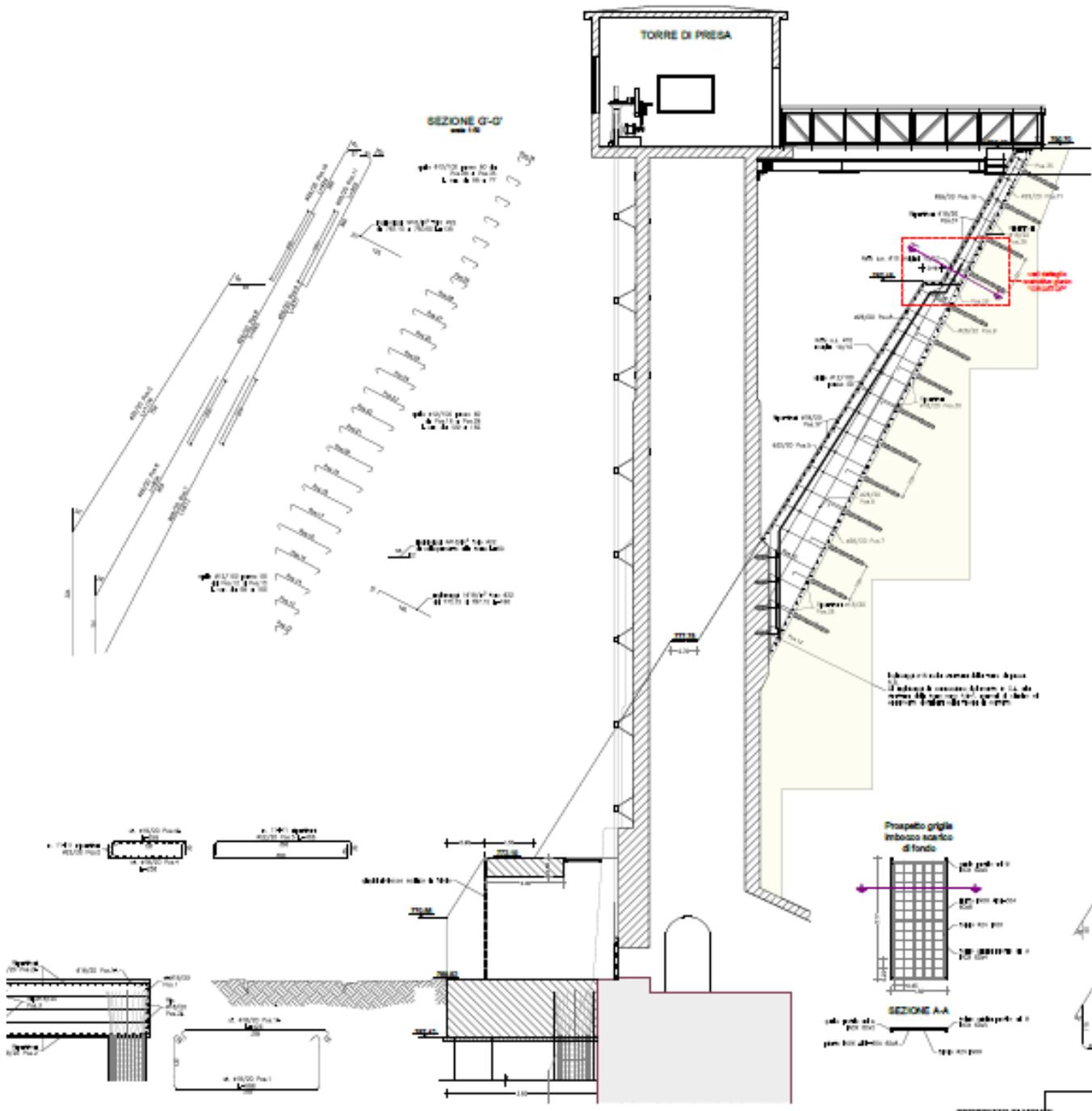


Figura 8-5: sezione del manto di tenuta e di rinforzo in c.a. del paramento di monte (concio centrale, in corrispondenza della torre di presa).

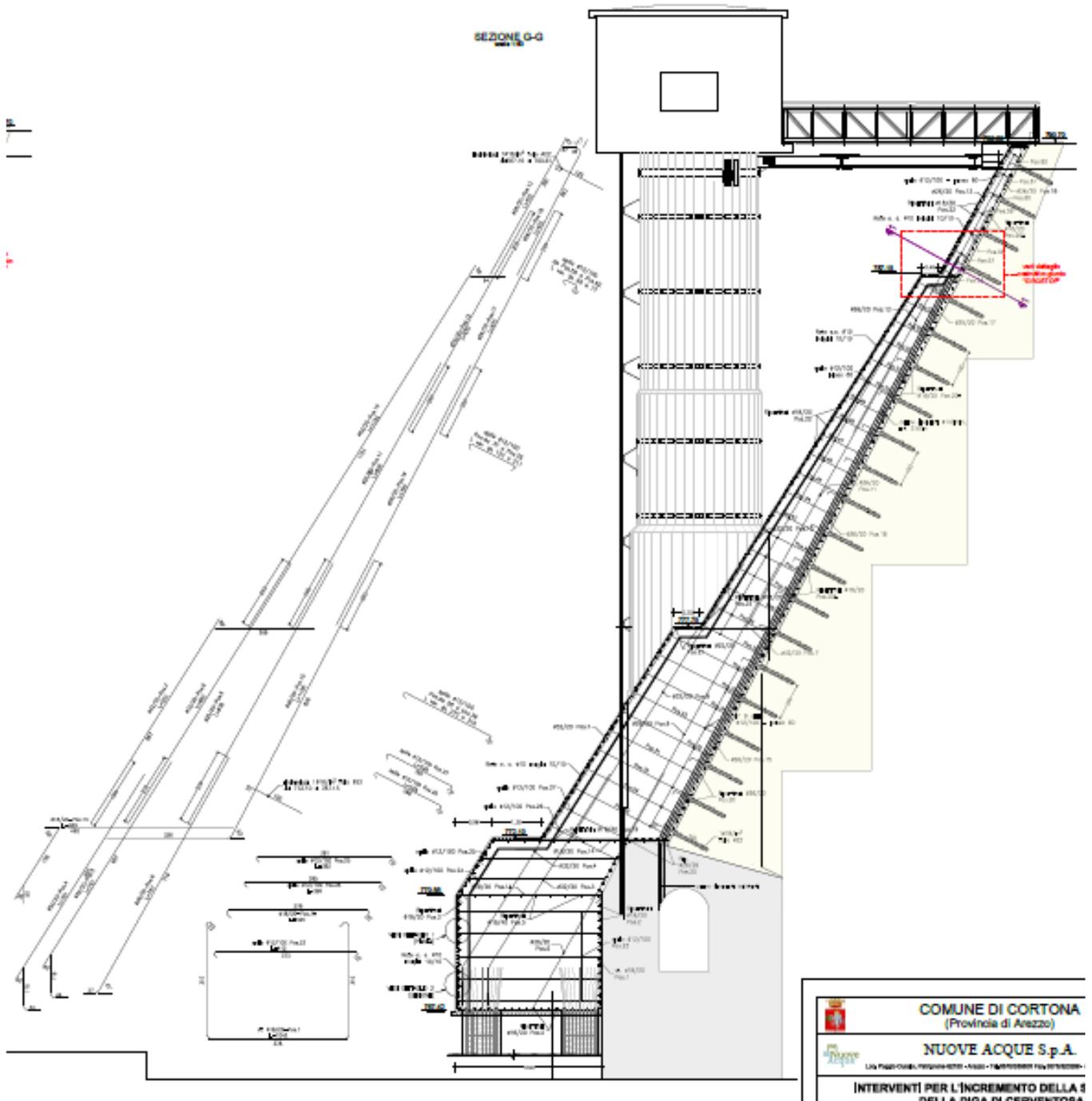


Figura 8-6: sezione del manto di tenuta e di rinforzo in c.a. del paramento di mote (concio centrale - parte esterna alla torre di presa).

Detta struttura massiva di rinforzo, previa demolizione e rimozione dell'attuale rivestimento di tenuta in lastre giuntate di c.a., sarà solidarizzata con idonei inghisaggi alla sottostante opera in muratura che allo stato attuale funge da struttura di contenimento da monte del corpo della diga in blocchi di pietrame disposti alla rinfusa, con superficie esterna sub verticale e interna disposta a gradoni di spessore variabile

via via arretranti verso l'asse dello sbarramento (vedi struttura in giallo in Figura 8-5 e in Figura 8-6).

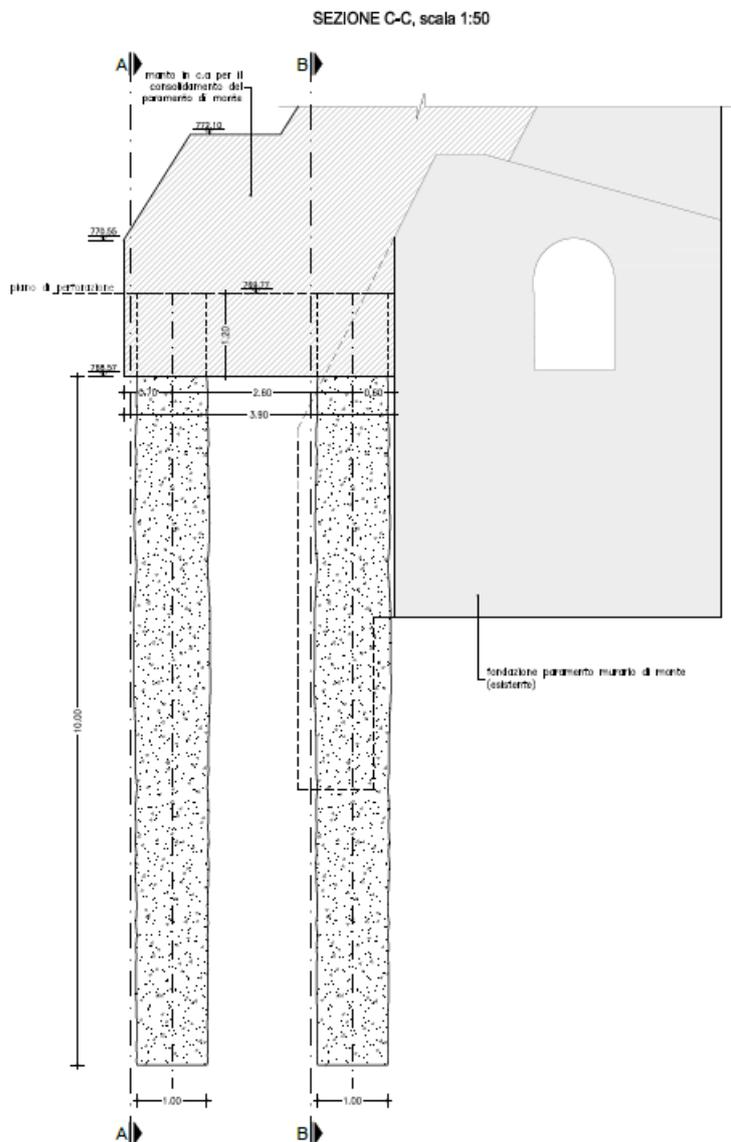


Figura 8-7: blocco di base del manto di tenuta e di rinforzo in c.a. fondato su pali trivella di D 1 m, L 10 m.

Il nuovo manto di tenuta e rinforzo in c.a., articolato in conci di larghezza pressoché costante inferiore a 12 m, resi strutturalmente indipendenti mediante giunti disposti su piani verticali e muniti di elementi di tenuta tipo "idrostop", poggerà su un nuovo blocco di base in c.a. affiancato a quello esistente e fondato, nella zona dei tre conci centrali più profondi, su due file di pali trivellati di grande diametro (1 m) di lunghezza pari a 10 m, intestati nei sottostanti livelli di roccia compatta (vedi Figura 8-7 e Figura 8-8). La fila più interna di detta palificata formerà una sorta di diaframma scarsamente permeabile, essendo realizzata con pali compenetrati (dei quali alternativamente uno armato ed uno no) aventi interasse di 75 cm inferiore al diametro (1 m) e si estenderà

lateralmente sulle spalle sino ad aderire alla roccia in posto messa a nudo dopo l'asportazione dello strato di coltre detritica attualmente presente.

PIANTA PALIFICATE ALLA QUOTA DEL PIANO DI PERFORAZIONE (769.77 m s.l.m.) - scala 1:100

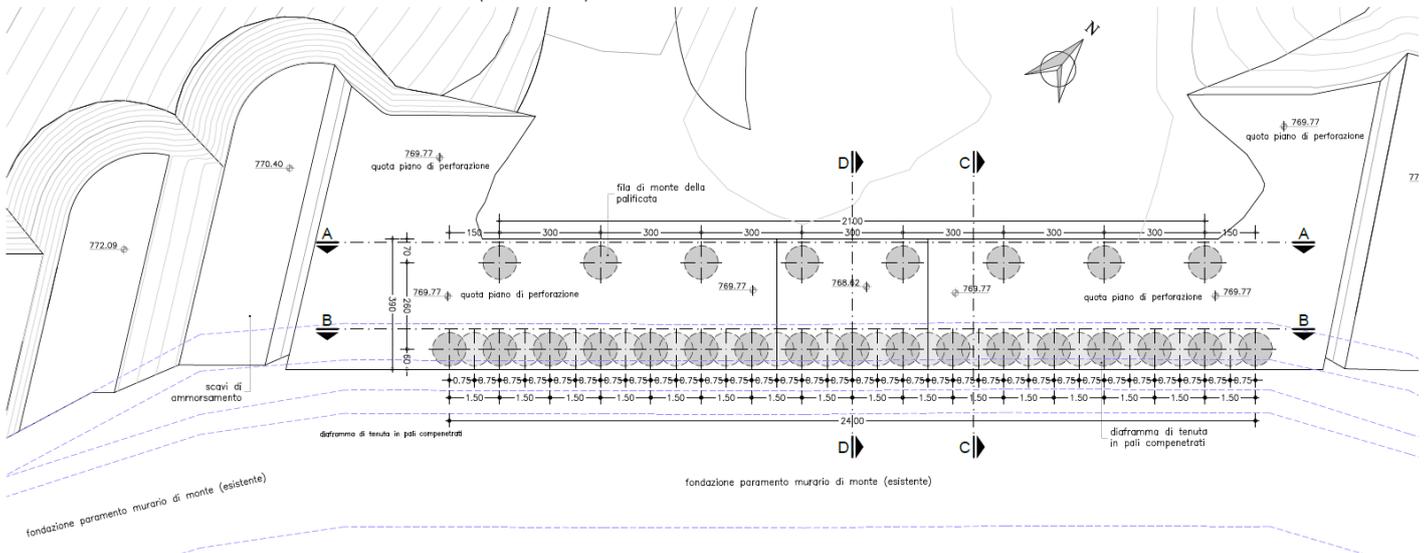


Figura 8-8: pianta palificata di fondazione dei conci centrali del manto di tenuta e di rinforzo in c.a. del paramento di monte.

8.2 Interventi complementari sulle opere accessorie

- Rifacimento del ponte sul canale fuggatore.



Figura 8-9: sezione trasversale del nuovo ponte sul canale fuggatore.

La esistente struttura in c.a., non più idonea a garantire i prescritti livelli di sicurezza rispetto alle più gravose sollecitazioni statiche e sismiche imposte oggi dalla normativa vigente (NTC 2018), verrà demolita e ricostruita adottando fondazioni profonde su pali e un impalcato costituito da travi in acciaio con soprastante soletta in c.a. collaborante. La nuova struttura sarà posizionata nella stessa collocazione del ponte attuale, ma risulterà del tutto indipendente e priva di interazioni con le attigue pareti del canale fuggatore.

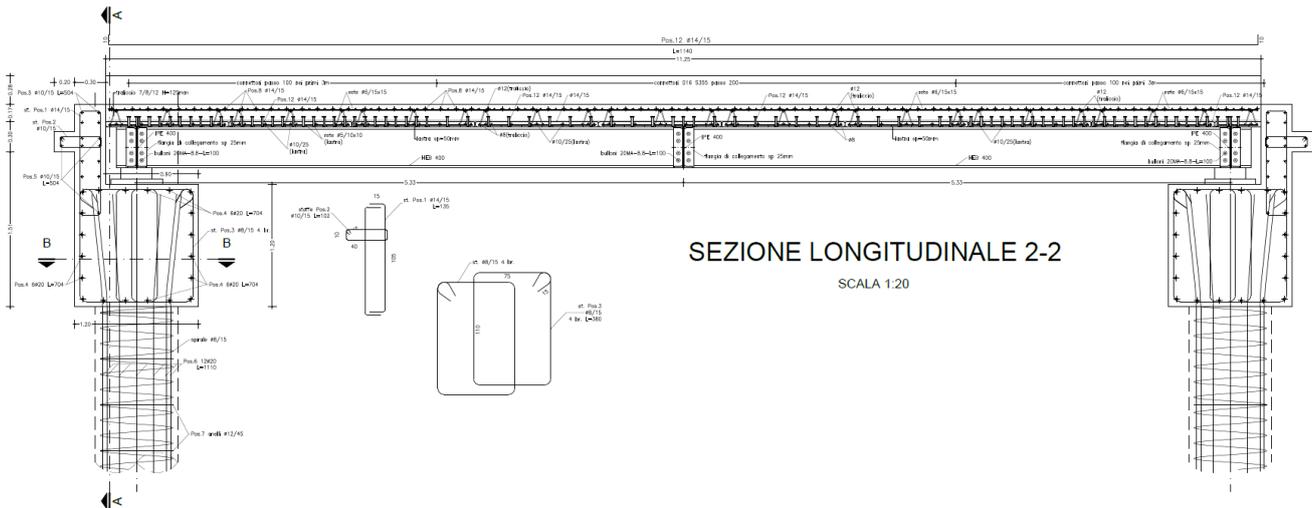


Figura 8-10: sezione longitudinale del nuovo ponte sul canale fuggatore.

- Prolungamento del cunicolo ospitante le condotte dello scarico di fondo e di derivazione.

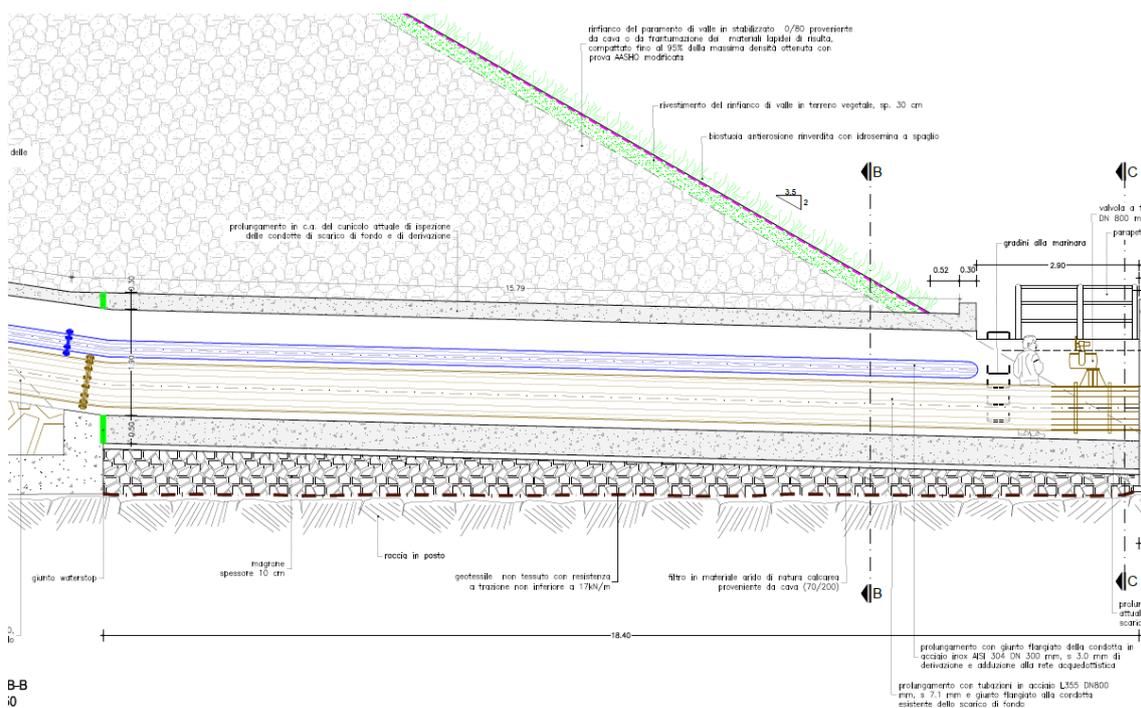


Figura 8-11: prolungamento del cunicolo di ispezione dello scarico di fondo e della condotta di derivazione.

Allo scopo di poter realizzare il rinfianco di valle del corpo diga sarà necessario estendere di circa 19 m verso valle l'attuale cunicolo d'ispezione dello scarico di fondo che ospita anche la condotta di derivazione. La nuova struttura sarà costituita da uno scatolare in c.a. con giunto tecnico a tenuta da realizzarsi all'estremità di valle del cunicolo esistente. Ovviamente all'interno di detto cunicolo saranno prolungate in egual misura anche le condotte di scarico (DN 800 in acciaio) e di derivazione (DN 300).

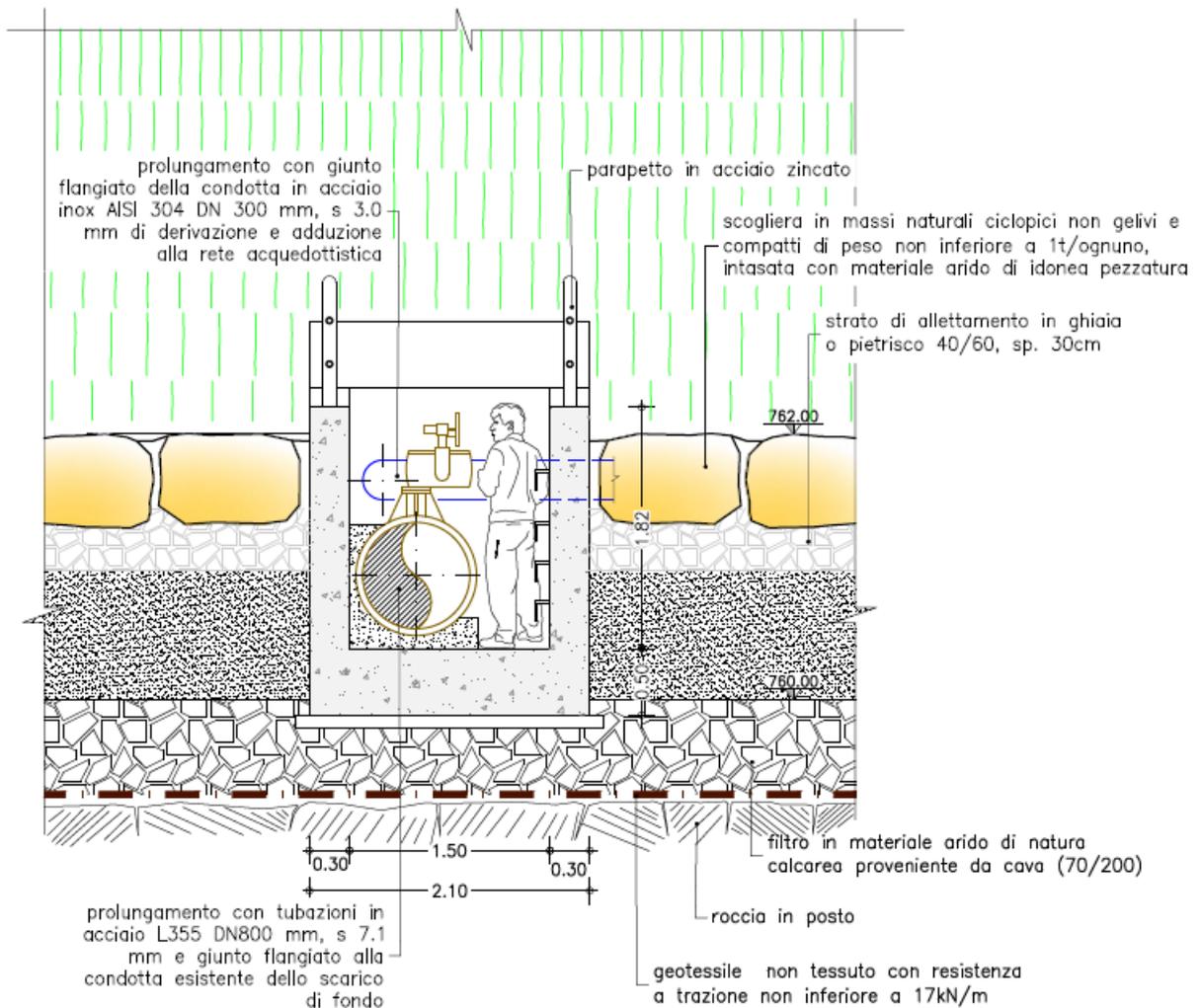


Figura 8-12: sezione trasversale del cunicolo di ispezione dello scarico di fondo e della condotta di derivazione.

- **Realizzazione del manufatto di dissipazione.** Al massimo grado di apertura dello scarico di fondo, in concomitanza del raggiungimento del massimo livello d'invaso in condizioni di piena millenaria laminata, questo riversa in alveo una portata pari a circa 6 mc/s, con un getto di 80 cm di diametro che esce dalla condotta alla velocità di circa 12 m/s. È evidente quindi che sussista l'esigenza di dissipare una tale energia con un idoneo manufatto in c.a. da collocare allo sbocco del cunicolo d'ispezione. Esso consentirà di ancorare l'estremo libero della condotta di scarico e al medesimo tempo

di smorzare l'azione del getto in uscita (pari a 7.33 t) sul muro frontale di contrasto, provvedendo anche al contenimento tra le pareti e la platea in c.a. dei vortici conseguenti all'impatto della stessa sullo schermo antistante la vena di efflusso. Tale manufatto, rappresentato nella Figura 8-13, è stato conformato alla tipologia "impact-type stilling basin" descritta nel manuale "Design of small dams" del Bureau of Reclamation - United States Department of the Interior (3rd Ed. 1987). Per il suo dimensionamento si rimanda all'elaborato R-03 (Relazione idrologico-idraulica).

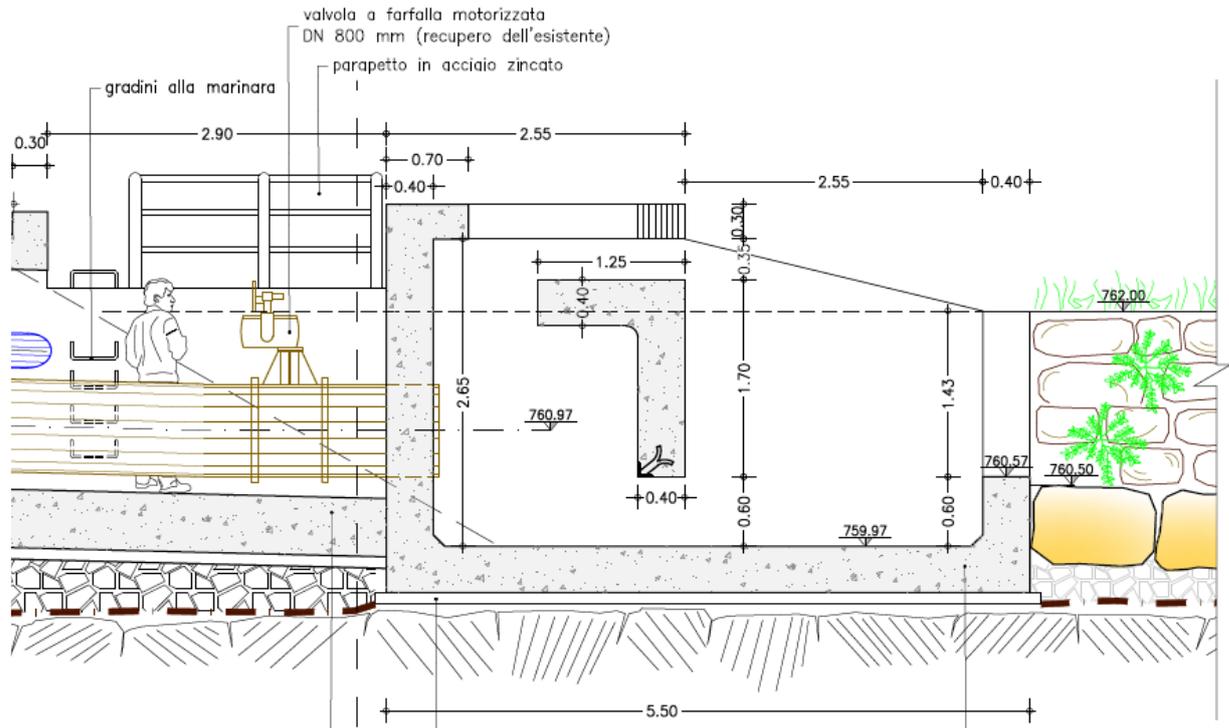


Figura 8-13: sezione longitudinale del manufatto di dissipazione dello scarico di fondo.

- Dismissione attuale edificio casa di guardia e installazione di nuovi locali per la guardiania

Come precedentemente accennato, nella fase di progettazione definitiva, di concerto con il committente-Gestore, sentito il Concessionario, si è optato per la dismissione dell'uso dell'edificio di proprietà Comunale ad oggi destinato alla funzione di casa di guardia in quanto esso, non solo risulta privo di qualunque titolo edilizio, ma anche dei relativi certificati di agibilità. Per sopperire quindi all'esigenza dei servizi di guardiania il progetto prevede la realizzazione di un bilocale ad uso ufficio e attiguo vano di riposo per ospitare il personale di guardia, munito dei relativi servizi igienici e degli impianti di telefonia e trasmissione dati. Tale bilocale sarà ricavato mediante l'unione di due box prefabbricati nei quali troveranno sistemazione anche i quadri di comando e controllo dei servizi ausiliari. Il generatore di emergenza sarà invece collocato in una tettoia attigua ai due box (vedi figure seguenti ed elaborato grafico T-PC03).

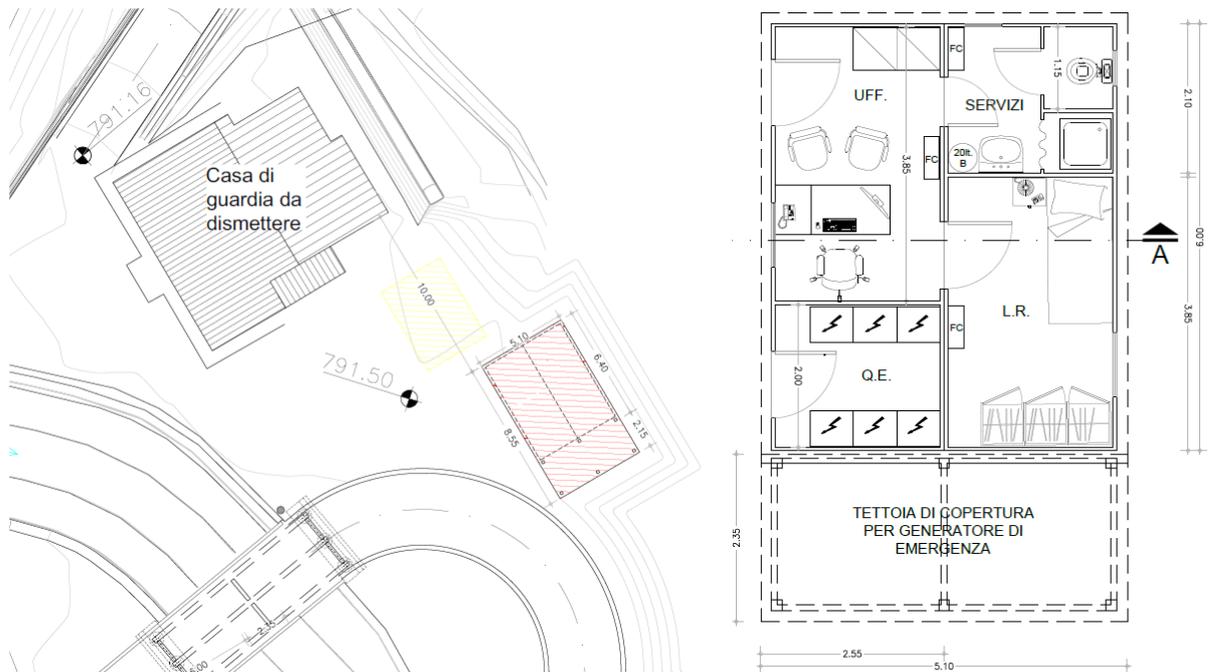


Figura 8-14: nuovi locali per la guardiania: planimetria e pianta.



Figura 8-15: nuovi locali per la guardiania: prospetto.

- Rifacimento degli impianti elettrici e di illuminazione

Il progetto prevede la messa a norma di tutti gli impianti elettrici relativi ai servizi ausiliari ed all'illuminazione del coronamento, della torre di presa e dei cunicoli di ispezione. Per quanto attiene all'illuminazione del coronamento si prevede di smontare pali e armature del sistema attuale per la loro reinstallazione dopo il rifacimento delle sovrastrutture viarie del piano di coronamento. Gli schemi unifilari e la relativa relazione tecnica inerenti al progetto di ristrutturazione degli impianti elettrici sono contenuti negli elaborati R-06.1 e R-06.2.

- Rifacimento del coronamento

In ragione della necessità di raccordare il rinfianco di valle al piano di coronamento attuale con una larghezza utile degli ultimi strati di rinfianco da compattare non minore di 2 m, sarà necessario procedere alla demolizione della porzione di valle del piano stradale del coronamento, inoltre a causa del notevole sovraccarico di passaggi dei mezzi pesanti che la pavimentazione attuale dovrà sopportare durante le varie fasi di costruzione, il progetto prevede l'integrale rifacimento della sovrastruttura stradale del coronamento (vedi Figura 8-16) previa demolizione di quella attuale fino a circa 80 cm dal piano stradale attuale, collocando due cordoli prefabbricati in c.a. ai bordi per il contenimento della fondazione stradale e degli strati di pavimentazione soprastanti in conglomerato bituminoso (binder 10 cm e manto di usura 5 cm). È poi prevista la posa in opera di nuovi parapetti in acciaio zincato ed il rimontaggio del sistema di illuminazione preesistente.

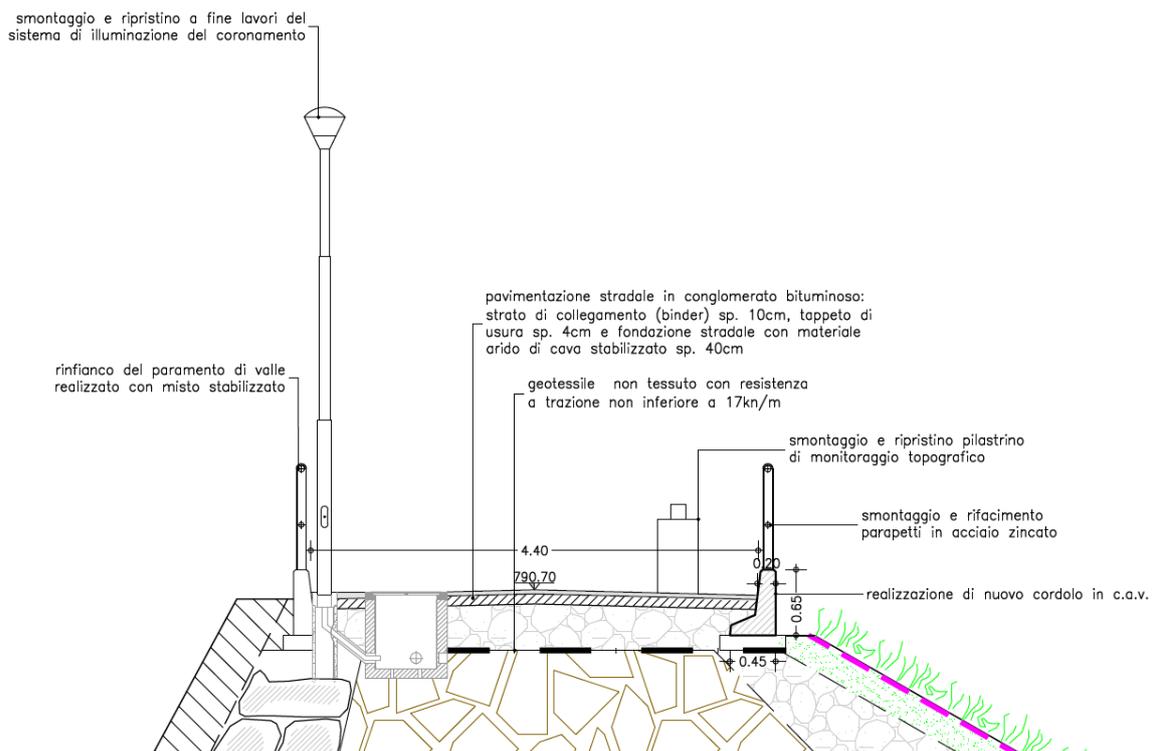


Figura 8-16: sezione trasversale del coronamento nello stato di progetto.

- Adeguamento in sede della viabilità di accesso alla diga e delle piste di cantiere.

Il progetto contempla interventi di manutenzione prevalentemente ordinaria sulla viabilità di accesso alla diga e straordinaria sulle piste esistenti che saranno utilizzate nella fase di cantiere. Considerato il contesto ambientale di pregio in cui tali infrastrutture si collocano, detti interventi saranno limitati al minimo indispensabile a ripristinare la loro funzionalità ed il transito in sicurezza dei mezzi d'opera e degli addetti ai lavori, prevalentemente organizzando i flussi veicolari in percorsi a senso unico. La

rappresentazione grafica, mediante planimetrie profili e sezioni di tali lavori è riportata nelle tavole T-P03, T-P03.1, T-P03.2, T-P03.3, T-P03.4, T-P03.5, T-P03.6 e T-P03.7. Per quanto attiene ad una più dettagliata descrizione di questa tipologia di lavori e della organizzazione logistica della movimentazione dei materiali e dei mezzi d'opera all'interno del cantiere si rinvia al successivo § 8.3 ed in particolare al sottoparagrafo 8.3.4.

Sezione in sterro e riporto scala 1:100

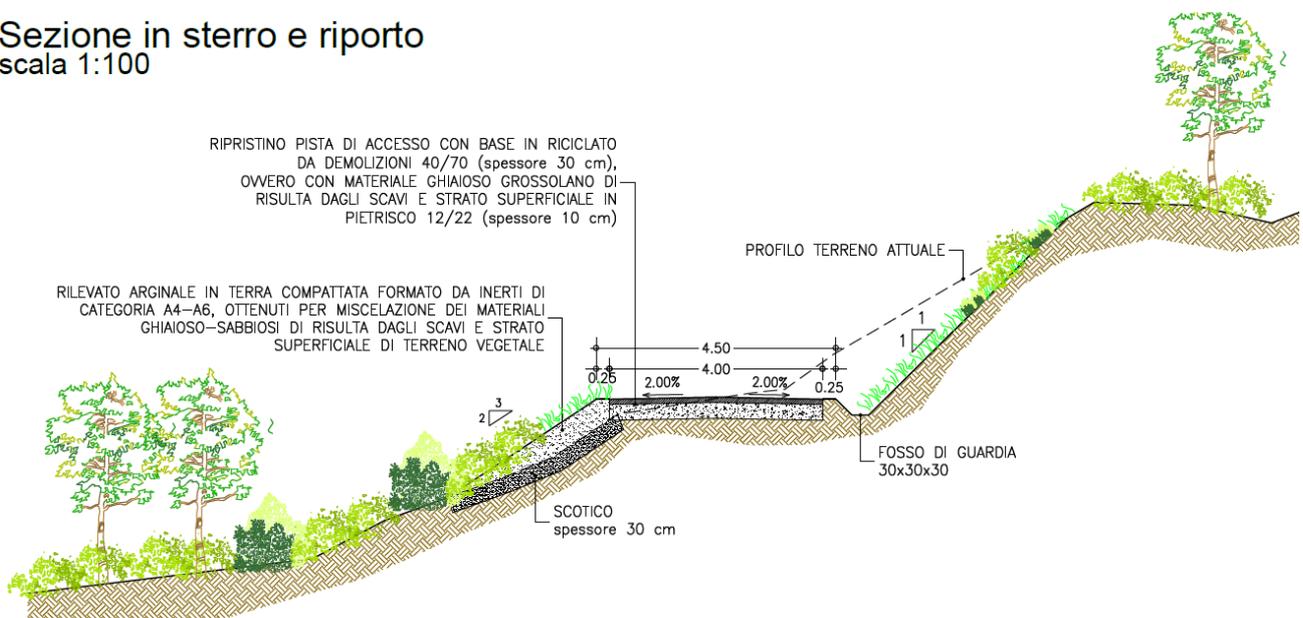


Figura 8-17: esempio di ripristino in sede della funzionalità delle piste di cantiere in un tratto a mezza costa.

- Ripristino del sistema di monitoraggio topografico, inclinometrico e piezometrico

Nell'elaborato grafico T-MON è riportata la localizzazione planimetrica della rete e dei dispositivi fissi di monitoraggio topografico, inclinometrico e piezometrico, di cui è previsto il ripristino funzionale al termine dei lavori.

- Altre opere accessorie

Per agevolare l'ispezione degli addetti alla sicurezza della diga e la manutenzione della stadia idrometrica presente sulla torre di presa, il Gestore ha richiesto l'installazione di una scala in carpenteria metallica in acciaio zincato, ancorata al manto di tenuta in c.a. del paramento di monte.

Presso l'accesso principale in spalla destra si provvederà al rifacimento del cancello d'ingresso con l'adozione di una tipologia scorrevole e l'inserimento di un impianto citofonico.

8.3 Aspetti attinenti alla logistica ed organizzazione del cantiere

In ragione delle implicazioni ambientali che comporta la delicata fase di cantierizzazione, appare necessario procedere ad una rappresentazione articolata, nello spazio e nel tempo, di quella che si ritiene essere una configurazione ottimizzata dal punto di vista funzionale ed ergonomico del cantiere, in grado di armonizzare anche le cogenti esigenze di sicurezza delle maestranze e di massima tutela dell'ambiente e del paesaggio. Naturalmente va da sé che il piano di cantierizzazione qui considerato potrà subire i necessari adattamenti e migliorie impostisi a valle del SIA e delle risultanze della conseguente VIA, le quali saranno recepite nella successiva fase di progettazione esecutiva. Infine, il definitivo Piano Ambientale di Cantierizzazione (PAC) sarà inoltre suscettibile delle modifiche connesse anche alle scelte logistiche e organizzative che rimangono prerogativa dell'esecutore dell'opera e che dovranno tuttavia conformarsi sia ai dettami contenuti nelle prescrizioni rivenienti dalla fase di VIA che a quelli comunque indicati nelle specifiche "*Linee guida per la gestione dei cantieri ai fini della protezione ambientale*" (ARPAT, 2018).

Come rappresentato negli specifici elaborati grafici relativi alla cantierizzazione, le aree di cantiere saranno spazialmente articolate in un Campo Base, destinato all'allestimento dei servizi igienico assistenziali e degli uffici di cantiere; un campo ausiliario, destinato al rifornimento dei mezzi d'opera e al lavaggio delle autobetoniere in uscita dal cantiere; nonché da altre due aree operative, ovvero nelle quali dovranno essere specificamente realizzati gli interventi aventi lo scopo di conseguire l'incremento della sicurezza della diga, le quali ricadono rispettivamente a monte e a valle dello sbarramento, ivi inclusa la zona del coronamento.

Le suddette aree di cantiere si raccorderanno tra loro e alla viabilità ordinaria principale, costituita dalla S.P. n° 34 "*Umbro - Cortonese*", mediante apposite piste che saranno ricavate con minimizzazione d'impatto sul suolo, ricorrendo al recupero ed adeguamento in sede di preesistenti percorsi secondari costituiti da strade bianche o sentieri cartografati su Mappa Catastale o CTR e comunque rilevati in campo nel corso dei rilievi topografici propedeutici al presente progetto, molti dei quali presumibilmente già utilizzati nella fase di originaria costruzione della Diga di Cerventosa negli anni '60 del secolo scorso.

8.3.1 CAMPO BASE

Il Campo Base a servizio dell'intero cantiere sarà approntato presso la spalla sinistra della diga, attorno al resede dell'attuale edificio di guardiania, di cui è prevista la dismissione.

All'interno del Campo Base saranno installati tutti i servizi logistici e i presidi per far fronte all'attività ordinaria ed alle eventuali emergenze che dovessero verificarsi durante i lavori. Detti servizi e presidi saranno costituiti da:

- n° 1 box adibito ad ufficio (a disposizione della DL e Direzione di cantiere);
- n° 1 box adibito a spogliatoio e ricovero delle maestranze (previsti fino a 20 addetti);
- n° 1 box contenente servizi igienici (W.C., lavamani, docce);
- eventuali ulteriori box, a discrezione dell'Impresa, da adibire a deposito dei manufatti e/o delle attrezzature che verranno impiegate nei lavori.

Nel piazzale presso la casa di guardia della diga, nel quale verrà approntato il Campo Base, saranno inoltre predisposte anche un'area per il deposito dei materiali da costruzione, un'area di parcheggio per gli automezzi e un'area per la raccolta differenziata dei rifiuti prodotti in cantiere.

Oltre alla prima zona per lo stoccaggio dei materiali da costruzione prevista presso la casa di guardia lungo la pista di accesso n° 4, stante le ridotte dimensioni dell'area disponibile, è prevista una seconda zona di stoccaggio dei materiali da ricavarsi nell'area pianeggiante presente presso la spalla destra della diga ove verrà anche installata una delle due gru a torre.

In ogni caso, viste le ridotte dimensioni delle suddette aree di stoccaggio, si dovrà ridurre il più possibile la permanenza in cantiere dei materiali da costruzione, i quali dovranno essere via via approvvigionati immediatamente prima del loro impiego e preferibilmente stoccati direttamente nelle aree in cui ne è prevista la posa in opera.

Viceversa, i materiali di risulta degli scavi e delle demolizioni da reimpiegare per il rifianco del paramento di valle, verranno immediatamente trasferiti nella relativa area operativa, nella quale verrà installato il frantoio mobile, dove verranno di volta in volta reimpiegati nei lavori con tempi di stoccaggio estremamente ridotti.

8.3.2 CAMPO AUSILIARIO

Il campo ausiliario verrà invece allestito su un'area laterale all'attuale strada di accesso alla diga, con ingresso posto a circa 20 m dall'immissione di questa nella S.P. n° 34 "Umbro - Cortonese". Tale area, di fatto ottenuta dal recupero del fondo di una ex cava di prestito per il pietrame verosimilmente utilizzato durante la costruzione della diga

originaria, verrà recintata e provvisto di cancello di accesso; in essa saranno ubicate l'area di rifornimento dei mezzi d'opera e il bacino per il lavaggio delle autobetoniere in uscita dal cantiere.

8.3.3 AREE OPERATIVE

Le aree interessate dalla realizzazione degli interventi finalizzati all'incremento della sicurezza della diga comprenderanno rispettivamente il paramento di monte della diga attuale e i suoi margini circostanti, nonché il coronamento ed il paramento di valle dello sbarramento, comprese le aree interessate dall'espansione del rinfianco previsto.

Esse saranno raggiungibili e interconnesse attraverso apposite piste di cantiere, così come riportato più avanti nella presente relazione e rappresentato negli elaborati grafici di progetto.

8.3.3.1 Aree operative di monte

Al fine di impedire l'allagamento del cantiere in prossimità delle zone di imposta della fondazione del previsto nuovo manto in calcestruzzo, conseguenti a precipitazioni ordinarie o aventi tempo di ritorno commisurato alla durata dell'opera provvisoria, il progetto prevede la preventiva realizzazione di:

- una tura provvisoria principale, in terra, a monte dello sbarramento e a idonea distanza dal piede del relativo paramento, con la contestuale realizzazione di un collettore provvisorio in grado di incanalare le acque provenienti da monte della tura nello scarico di fondo attuale della diga;
- una tura provvisoria secondaria, in terra, lungo il tratto terminale dell'affluente in sinistra idrografica, le cui acque saranno incanalate in un altro apposito collettore costituito da tubi in PVC che, aggirando sul lato Est l'attuale casa di guardia, avrà recapito nel canale fuggatore.

Per l'accesso a tale area è prevista la preventiva apertura di una pista di cantiere di minimo impatto visivo e sul suolo perché si svilupperà prevalentemente all'interno dell'area d'invaso e quindi a fine lavori sarà quasi del tutto sommersa. Il tracciato della stessa si adatterà infatti a mezza costa nel versante immediatamente a monte della spalla sinistra della diga e i materiali di risulta dagli scavi saranno per la maggior parte reimpiegati per la formazione dei rilevati delle due ture provvisorie in terra compattata.

In questa sede sarà innanzitutto realizzata la fondazione su doppia fila di pali trivellati del nuovo schermo di tenuta in calcestruzzo e si procederà all'adeguamento dell'opera di imbocco dello scarico di fondo.

Sul paramento esistente, verrà quindi realizzato, procedendo con getti dal basso verso l'alto su conci alternati, il nuovo manto in c.a. atto a garantire la tenuta idraulica dello

sbarramento ed il consolidamento del suo attuale paramento in muratura di pietrame e malta.

Nell'interfaccia tra il nuovo manto di tenuta in c.a. e il paramento esistente in muratura di pietrame saranno ricavate le nuove canne drenanti che avranno recapito all'interno del cunicolo trasversale esistente.

8.3.3.2 Aree operative di valle

In questa sede avranno luogo gli interventi di rinfianco del paramento di valle, con rimozione del rivestimento murario in pietrame esistente e apposizione dei riporti compattati di inerti grossolani (0/80 mm) adeguatamente ammorsati sulle spalle della diga rimuovendo la coltre detritica e i trovanti instabili ivi presenti, previo taglio, asportazione e smaltimento della vegetazione attuale. Essi saranno necessariamente preceduti dal prolungamento delle strutture in c.a. del cunicolo dello scarico di fondo e dalla successiva realizzazione della nuova vasca di dissipazione.

Su una apposita piazzola realizzata sul margine in destra idrografica di quest'ultima, verrà collocato un frantoio mobile per il recupero e riutilizzo in loco degli inerti riciclabili risultanti dagli scavi e dalle demolizioni della muratura di pietrame del rivestimento del paramento di valle, nonché della parte riciclabile riveniente dalla frantumazione dello schermo di protezione del paramento di monte, costituito da lastre di calcestruzzo. In quest'area avranno luogo anche gli interventi necessari al prolungamento delle condotte di scarico di fondo e di adduzione della risorsa con il ripristino dei relativi organi di intercettazione.

8.3.3.3 Coronamento

In questa sede, avrà luogo il normale transito e stazionamento delle betoniere e delle autopompe necessarie all'approvvigionamento e alla messa in opera del calcestruzzo occorrente alla costruzione dei pali di fondazione e del nuovo manto di tenuta in c.a., nonché il passaggio dei mezzi pesanti destinati al trasporto a rifiuto (o recupero) dei materiali di scavo in esubero o di tutti quelli prodotti dalle demolizioni effettuati a monte dello sbarramento.

Nella fase finale dei lavori, il coronamento sarà oggetto dei necessari interventi di ripristino della sovrastruttura stradale e di rifacimento dell'impianto di illuminazione, dei muretti e dei parapetti laterali.

8.3.4 VIABILITÀ DI CANTIERE

Le aree di cantiere a valle della diga e la strada presente sul coronamento saranno raggiungibili a partire dalla viabilità pubblica (S.P. n° 34 “*Umbro - Cortonese*”) attraverso apposite piste di cantiere che verranno realizzate recuperando la funzionalità delle strade bianche esistenti, mentre per raggiungere l’area operativa a monte dello sbarramento sarà necessario, come già accennato, realizzare ex-novo una pista che avrà origine nel piazzale in cui è ubicata la casa di guardia attuale da dismettere.

8.3.4.1 *Piste di accesso all’area a valle dello sbarramento e al piazzale della casa di guardia*

L’attuale strada di accesso alla diga (**pista di accesso n° 1**), oggi percorribile nei due sensi di marcia, sviluppandosi sul versante in destra rispetto al fosso della Cerventosa, consente di raggiungere il coronamento della diga a partire dall’innesto nella S.P. n° 34 “*Umbro - Cortonese*” e viceversa. Invece, durante la fase di cantiere, essa sarà di norma percorribile (salvo le eccezioni di cui si dirà più avanti) a senso unico in uscita dalla diga, ovvero in direzione dell’immissione nella S.P. n° 34 “*Umbro - Cortonese*” e, solo a lavori ultimati, potrà recuperare la sua destinazione originaria di accesso principale alla diga, percorribile in entrambe le direzioni di marcia.

Circa l’eccezione prima accennata si intende la necessità di approvvigionare le barre di armatura mediante autoarticolati che hanno una lunghezza complessiva pari a circa 16 m e che potranno raggiungere la spalla destra della diga e fare ritorno solo procedendo nella strada bianca principale di accesso alla medesima (**pista di accesso n° 1**). Tale necessità sussisterà anche nella fase iniziale per il trasporto delle componenti delle gru a torre da assemblare in sede.

In generale, invece, l’ordinaria adozione del senso unico sul sistema di piste di cantiere viene imposta dalla impossibilità di scambio di due automezzi pesanti e di altri mezzi d’opera lungo i percorsi a causa della ristretta dimensione della carreggiata che non potrà essere incrementata in ragione dei vigenti obiettivi e vincoli di tutela ambientale.

Questa fondamentale scelta, quindi, dettata *in primis* da esigenze ecologiche, condiziona l’intero assetto del sistema delle piste di accesso e di collegamento delle varie aree di cantiere, dando luogo di fatto ad una serie di percorsi circolatori, tutti a senso unico, in direzione antioraria (si vedano gli elaborati grafici esprimenti il layout di cantiere).

Ovviamente una tale impostazione del transito dei mezzi pesanti in prossimità e all’interno delle aree di cantiere presenterà il vantaggio della minimizzazione delle interferenze e dei tempi di attesa, riducendo al contempo i rischi per le maestranze e

consentendo una buona celerità e continuità nei flussi di approvvigionamento dei materiali di maggiore entità volumetrica, quali gli inerti provenienti dalle cave di approvvigionamento o i calcestruzzi forniti dagli impianti di produzione a mezzo delle autobotti.

Sempre a partire dalla S.P. n° 34 “*Umbro - Cortonese*”, ma dalla progressiva posta circa 200 m oltre l'innesto della pista di accesso n° 1 in direzione Trestina, avrà origine la pista di accesso n° 3, la quale, ricalcando una strada bianca secondaria esistente, sarà percorsa ancora a senso unico a salire e consentirà di raggiungere l'area operativa posta a valle dello sbarramento, per poi proseguire nella pista di accesso n° 2, sempre percorribile a senso unico, la quale si raccorderà alla suddetta pista di accesso n° 1 per raggiungere nuovamente la strada provinciale nel tragitto di ritorno.

La pista di accesso n°3 servirà soprattutto per l'approvvigionamento degli inerti provenienti da cava da impiegarsi nella realizzazione del rinfilanco di valle, nonché per il trasporto nei siti di posa degli altri materiali da costruzione da impiegarsi nel paramento di valle (calcestruzzi per il prolungamento della galleria di scarico, canalette del sistema di raccolta delle acque meteoriche provenienti dai versanti prospicienti la diga, geostuoie antierosione, ecc..).

Dopo circa 150 m dall'uscita della strada provinciale, dalla pista di accesso n° 3 si origina la pista di accesso n° 4, anch'essa ricalcante la viabilità esistente che tutt'ora porta alla casa di guardia. Essa si sviluppa quindi sul versante in sinistra idrografica del fosso della Cerventosa, ma più a monte del canale fuggatore che attraversa il medesimo pendio, fino a raggiungere il piazzale della casa di guardia e la strada sul coronamento della diga. Anche tale pista sarà percorribile soltanto a senso unico, potendo i mezzi procedere unicamente in direzione della diga.

In sostanza, tutte le suddette piste di cantiere, utilizzate a senso unico, formeranno di fatto i due seguenti “anelli” percorribili in direzione antioraria con due punti di raccordo alla S.P. n° 34 “*Umbro - Cortonese*” distinti e opportunamente distanziati:

- “anello alto”: pista n° 3 - pista n° 4 - strada sul coronamento – pista n° 1;
- “anello basso”: pista n° 3 - pista n° 2 - pista n° 1.

Tutte le piste di cantiere sopra indicate, fatte salve piccole modifiche imposte dai raggi minimi di curvatura dei mezzi d'opera (prevalentemente autocarri e autobotti con tre assi), saranno realizzate recuperando la funzionalità dei tracciati delle strade bianche esistenti, le quali non sono tuttavia al momento idonee al transito in sicurezza dei mezzi pesanti che dovranno essere impiegati nei lavori essendo le loro carreggiate attuali interessate

da dissesti del fondo stradale, quali solchi d'erosione, dossi, massi, vegetazione caduta ecc.. A seguito dei necessari interventi di adeguamento dette viabilità secondarie saranno ricondotte ad avere larghezza normale carreggiabile pari a 4.0 m (compresa la banchina), con fossetta di guardia a monte nei tratti a mezza costa. Il ripristino della sovrastruttura, dalla fondazione allo strato di finitura, sarà ottenuto ponendo in opera sul sottofondo regolarizzato e compattato, dapprima uno stabilizzato grossolano⁶ (40/70) dello spessore di 30 cm, poi uno strato di finitura superficiale compattato di spessore pari a circa 10 cm, realizzato con pietrisco siliceo o calcareo (12/22) proveniente da cava.

8.3.4.2 *Piste di accesso all'area operativa a monte dello sbarramento*

Per raggiungere l'area di cantiere a monte dello sbarramento sarà necessario realizzare un'apposita nuova pista di servizio. Ad essa non saranno ascrivibili apprezzabili impatti sul suolo e sull'assetto vegetazionale perché, come già accennato, interesserà prevalentemente superfici destinate alla sommersione, mentre nei tratti al di sopra del livello d'invaso a lavori ultimati sarà fatta oggetto di ripristino mediante inerbimenti e messa a dimora di specie arbustive autoctone.

Tale pista procederà sempre a mezza costa eccetto il primo breve tratto in trincea a partire dal piazzale della casa di guardia della diga e l'ultimo in rilevato laddove formerà il piano di coronamento della tura principale di monte. Essa avrà larghezza pari a 3.0 m, e consentirà di realizzare sia la tura principale che di raggiungere l'area di cantiere posta al piede del paramento di monte dello sbarramento, la quale sarà tra l'altro interessata dalla realizzazione di n°2 file parallele di pali di fondazione trivellati in c.a. da 100 cm di diametro, di cui quella più a valle formerà anche un ulteriore schermo di tenuta idraulica essendo realizzata mediante pali compenetrati, alternativamente armati e non.

In ragione dell'impossibilità di accesso diretto da questa pista di cantiere alla strada sul coronamento della diga, al fine di consentire l'immissione su quest'ultima da parte dei mezzi in uscita dall'area operativa a monte dello sbarramento, gli stessi dovranno necessariamente eseguire una manovra a retromarcia sul piazzale della casa di guardia. Pertanto, al fine di ricavare gli spazi necessari per consentire agevolmente tale manovra,

⁶ Costituito in proporzioni paritetiche da ghiaie provenienti dalla frantumazione delle materie di risulta dagli scavi, in parte da riciclato da demolizioni prodotto da impianti di recupero certificati, in parte proveniente da cava.

durante la fase di cantierizzazione sarà necessario demolire preventivamente l'attuale tettoia collabente presente in adiacenza all'attuale casa di guardia.

8.4 Fasi della cantierizzazione

Rimandando al diagramma di Gantt allegato, la cantierizzazione prevede come prima fase l'installazione del Campo Base, con tutti i suoi apprestamenti ed impianti e la realizzazione degli allacci alle reti elettrica, idrica e fognaria, le quali sono già presenti in quanto a servizio della casa di guardia della diga. Si potrà quindi procedere all'installazione del campo ausiliario e delle recinzioni dell'area di cantiere posta a valle dello sbarramento, nonché all'installazione della segnaletica stradale indicante l'ingresso/uscita dei mezzi di cantiere sulla S.P. n° 34 presso i punti di svincolo.

Le successive fasi della cantierizzazione, che dovranno necessariamente essere precedute dal completo svuotamento della diga con cattura, salvataggio e diversa collocazione delle eventuali specie anfibe e/o ittiche presenti, consistono in:

- realizzazione delle piste di accesso n° 1, 2, 3 e 4, mediante adeguamento geometrico e consolidamento della sovrastruttura delle strade bianche esistenti; questo al fine di consentire l'accesso in sicurezza dei mezzi d'opera sia al piazzale della casa di guardia che all'area a valle dello sbarramento. Successivamente a questa fase e prima di procedere alle successive fasi della cantierizzazione, l'Impresa dovrà provvedere alla demolizione e al rifacimento del manufatto di attraversamento del canale fugatore che collega il piazzale della casa di guardia alla strada sul coronamento della diga, in maniera tale da consentire la fruizione a senso unico delle piste di cantiere. Nelle more di maturazione del getto del nuovo impalcato, l'attraversamento del canale avverrà con un guado provvisorio ottenuto riempiendo di materiali inerti un tratto dello stesso, previa installazione di una condotta di scarico provvisoria in PEAD corrugato appoggiata sul fondo attuale;
- montaggio delle due gru a torre, una delle quali in una piazzola ricavata in destra idrografica immediatamente a valle dello sbarramento e l'altra in una piazzola ricavata in sinistra idrografica immediatamente a monte dello sbarramento. Le due piazzole dovranno avere idonee dimensioni in relazione alle gru e alle loro zavorre e sulle stesse dovranno essere realizzate platee di fondazione in c.a., adeguatamente dimensionate in maniera tale da poter efficacemente ripartire sul terreno i carichi trasmessi. La platea della gru che sarà posizionata in sinistra idrografica dovrà essere verosimilmente fondata su n° 4 pali trivellati in c.a., con idoneo progetto esecutivo a cura dell'appaltatore;
- costruzione della tura provvisoria secondaria in terra nel tratto terminale dell'affluente in sinistra idrografica e realizzazione del collettore che recapiterà le acque di tale affluente nel canale fugatore. Questo al fine di impedire l'allagamento, a seguito di precipitazioni

ordinarie⁷, dell'area operativa a monte dello sbarramento e di consentire la realizzazione della pista di cantiere necessaria per accedere a tale area;

- realizzazione della pista di cantiere che raccorderà il piazzale in cui è ubicata la casa di guardia all'area operativa a monte dello sbarramento. Contestualmente alla realizzazione di tale pista dovrà essere rimossa la tettoia adiacente alla casa di guardia, al fine di ottenere un adeguato spazio di manovra per i mezzi che, in uscita dall'area di invaso, si apprestano ad imboccare la strada sul coronamento per lasciare il cantiere seguendo il percorso antiorario a senso unico del sopra nominato "anello alto";
- contestualmente alla realizzazione della sopra detta pista di cantiere, si dovrà procedere alla costruzione della tura provvisoria principale e del collettore di scarico provvisorio che si raccorderà allo scarico di fondo, allo scopo di impedire l'allagamento, a seguito di precipitazioni ordinarie e non, dell'area a monte dello sbarramento;
- approntamento delle aree operative a monte e a valle dello sbarramento. Questa lavorazione consisterà nel taglio e nella rimozione della vegetazione, comprese le ceppaie, nello spianamento delle aree e nell'installazione del frantoio mobile nell'area operativa a valle dello sbarramento.

8.5 Successione e descrizione delle fasi lavorative

Successivamente alla cantierizzazione, la realizzazione degli interventi in progetto si articola nelle fasi seguenti, le quali si riferiscono sia all'area operativa di monte (AM) che a quella di valle (AV) e alla strada sul coronamento (SC):

1. demolizione e rifacimento del ponte per l'attraversamento del canale fugatore (SC);
2. demolizione della vasca di dissipazione; smantellamento delle apparecchiature d'intercettazione e regolazione dello scarico di fondo e delle opere di adduzione (AV);
3. prolungamento della galleria dello scarico di fondo mediante realizzazione di un apposito manufatto scatolare in c.a. (AV);
4. inizio, a partire dall'unghia di base, della demolizione dello strato superficiale in muratura di pietrame del paramento di valle avente uno spessore pari a circa 70 cm e frantumazione dei materiali lapidei di risulta mediante frantoio mobile (AV);
5. preparazione del piano di posa del rinfiacco del paramento di valle, mediante regolarizzazione del sottofondo e realizzazione del letto drenante con inerti grossolani di pietrame provenienti dalla frantumazione dell'attuale rivestimento del paramento di valle; esecuzione degli scavi necessari per consentire l'ammorsamento laterale del rinfiacco (AV);
6. realizzazione del rinfiacco del paramento di valle, procedendo per successivi strati dal basso verso l'alto, compattando un misto stabilizzato proveniente da cava integrato dai materiali riciclabili rivenienti dalla frantumazione del rivestimento murario da demolire e delle altre materie di risulta dagli scavi dopo idonea cernita, separazione e frantumazione

⁷ O anche straordinarie ma aventi tempo di ritorno pari o inferiore a 10 anni.

mediante il frantoio mobile. Il nuovo profilo del paramento di valle prevede due banche intermedie di larghezza pari a 3.0 m, che saranno accessibili mediante apposite piste in destra idrografica che si raccorderanno alla pista di accesso n°1. Contestualmente alla progressiva realizzazione del rinfianco si provvederà: alla profilatura del suo paramento esterno; al rivestimento dello stesso con uno strato di terreno vegetale di spessore 30 cm protetto da geo-stuoia antierosione; alla progressiva realizzazione del sistema provvisorio di raccolta, convogliamento e smaltimento delle acque superficiali afferenti al coronamento, al paramento di valle e ai versanti naturali ivi scolanti (AV);

7. realizzazione della nuova vasca di dissipazione alla sua estremità di valle in gabbioni metallici sulle sponde e scogliera in massi naturali sul fondo (AV);
8. completamento del sistema definitivo di raccolta, convogliamento e smaltimento delle acque superficiali afferenti al coronamento, al paramento di valle e ai versanti naturali ivi scolanti (AV);
9. scavi laterali per consentire l'ammorsamento del nuovo manto in c.a. da realizzare per il rinforzo del paramento di monte (AM). Fase svolta contestualmente alla 6;
10. demolizione dello schermo impermeabile del paramento di monte (costituito da lastre in calcestruzzo di spessore 20 cm) e del relativo sistema di drenaggio (AM) impiegando per lo smontaggio delle lastre appositi ponteggi metallici (in grado di adattarsi all'inclinazione del paramento) e successivamente le gru a torre per la loro rimozione e caricamento nei mezzi di trasporto per conferire i materiali in impianti autorizzati al loro smaltimento. Fase svolta contestualmente alla 6;
11. parziale locale demolizione del taglione di monte e realizzazione dei pali trivellati affiancati in calcestruzzo nella parte centrale del paramento della diga (AM). Fase svolta contestualmente alla 6;
12. esecuzione degli inghisaggi delle barre in acciaio sul taglione e sul paramento in muratura di monte, al fine di consentire il successivo ancoraggio delle armature del nuovo manto in c.a. (AM);
13. adeguamento dell'imbocco di monte dell'opera di presa e installazione della nuova griglia di intercettazione con simultanea manutenzione ordinaria della paratoia esistente (AM);
14. assemblaggio del sistema di drenaggio di monte mediante la predisposizione di canne drenanti da 200 mm di diametro ad interasse di 2 m adagate sulla superficie del paramento murario di monte (AM);
15. armatura, casseratura e getto del manto in c.a. da realizzare a ridosso del paramento di monte, in maniera progressiva a partire dal piede e procedendo per conci anche simultanei, ma non contigui e per fasi successive verso l'alto, con contestuale interposizione dei giunti verticali a tenuta idraulica (AM);
16. ripristino del rivestimento corticale in spalla sinistra a monte della diga mediante strato di calcestruzzo proiettato e tiranti passivi tipo dywidag (AM);
17. fresatura e rimozione dell'attuale pavimentazione in conglomerato bituminoso della strada sul coronamento della diga; regolarizzazione, ricarica con misto stabilizzato di

cava e compattazione del piano di coronamento, previa rimozione dei parapetti e posa in opera dei nuovi muretti laterali in c.a.v. (SC);

18. ripristino della pavimentazione stradale in conglomerato bituminoso della strada sul coronamento della diga (SC);
19. ripristino dei parapetti, installazione dei pilastri per il monitoraggio topografico e dei lampioni di illuminazione (SC);
20. ristrutturazione dei locali di accesso al cunicolo d'ispezione e sostituzione del cancello sulla strada di accesso alla diga (SC);
21. installazione del nuovo bilocale in box prefabbricati affiancati da adibire a casa di guardia, di tutti i relativi impianti tecnologici e realizzazione degli allacciamenti alle varie reti di distribuzione;
22. adeguamento delle condotte e delle apparecchiature idrauliche ed elettromeccaniche di regolazione e intercettazione (AV);
23. adeguamento/rifacimento del sistema di monitoraggio della diga (AV);
24. ripristini ambientali (idrosemia, messa a dimora di specie arbustive e arboree autoctone).

8.6 Ripristini ambientali

Come desumibile dalla VINCA redatta nel 2019 dal Dott. Agr. Fabio Maneli, *“il paesaggio vegetale è contraddistinto dalla presenza di estese superfici boscate costituite da latifoglie a prevalenza di cerro (Quercus cerris), roverella (Q. pubescens) e in associazione con castagni (Castanea sativa), talora dominanti a formare castagneti cedui, cui si alternano aree di gariga dominate da erica (Erica scoparia) e brugo (Calluna vulgaris), che costituiscono aree di elevato pregio, cui si associano nelle aree più elevate diffuse piccole radure con pascoli (Festuco-Brometea) più o meno arbustati. In particolare, nel sito di intervento si rileva la presenza di cedui di castagno, che presentano un corteggio floristico che risente delle attività antropiche presenti, che specie in prossimità della diga sono evidenti per la presenza di numerosi individui di robinia (Robinia pseudacacia). Sono inoltre presenti nelle aree contermini formazioni di brughiere a dominanza di Erica scoparia e Calluna vulgaris, formazioni queste di elevato pregio naturalistico, sia dal punto di vista floristico vegetazionale, sia dal punto di vista faunistico, per la conservazione dell'avifauna in quanto ospitano svariate specie nidificanti rare o minacciate (Albanella minore, Calandro, Magnanina), alcune delle quali presenti nel sito con buone densità”*.

Rimandando per ulteriori dettagli alle tavole grafiche T-RA01 e T-RA02 relative ai *“Ripristini ambientali”* che il progetto prevede sia a monte che a valle della diga e allo Studio di Impatto Ambientale redatto da ETA Consulenze S.r.l., preme osservare che,

per quanto attiene alla nuova pista di accesso all'area operativa a monte dello sbarramento, ad essa non saranno ascrivibili apprezzabili impatti sul suolo e sull'assetto vegetazionale perché, come già accennato, interesserà prevalentemente superfici destinate alla sommersione, mentre nei tratti al di sopra del livello d'invaso, a lavori ultimati, sarà fatta oggetto di ripristino mediante inerbimento e messa a dimora di specie arbustive autoctone.

A valle della diga, a fine lavori, il progetto prevede i seguenti interventi di ripristino ambientale:

- rinaturalizzazione mediante stesa di terreno vegetale e seminagione a spaglio di essenze erbacee autoctone sul ringrosso del paramento dello sbarramento (comprese le piazzole residue degli scavi di ammorsamento laterali), sulla pista di cantiere temporanea di accesso al piede dello sbarramento (pista n°3) nonché sulla piazzola adiacente al tratto rivestito in scogliera del Fosso della Cerventosa, in destra idrografica;
- reimpianto di specie arbustive autoctone lungo entrambi i lati della pista di cantiere temporanea di accesso al piede dello sbarramento (pista n°3), sulle piazzole residue degli scavi di ammorsamento laterali del paramento di valle della diga, intorno al manufatto di dissipazione dello scarico di fondo e successivo tratto di Fosso della Cerventosa;
- piantagione di talee di salice nelle scogliere previste per il rivestimento antierosivo del Fosso della Cerventosa nel tratto a valle del manufatto di dissipazione dello scarico di fondo.

Di seguito si riportano le essenze che saranno impiegate:

- Ripristino mitigazione in ambiente di bosco/boscaglia essenze arboree e alto arbustive talora con portamento arboreo: *Castanea sativa* (castagno), *Quercus cerris* (cerro), *Acer opalus subsp. obtusatum* (acero opalo), *A. campestre* (acero campestre), *A. pseudoplatanus* (acero montano), *Carpinus betulus* (carpino bianco), *Corylus avellana* (nocciolo), *Fraxinus ornus* (orniello), *Ostrya carpinifolia* (carpino nero), *Populus tremula* (pioppo tremulo), *Prunus avium* (ciliegio), *Sorbus domestica* (sorbo domestico), *S. torminalis* (ciavardello).
- Ripristino mitigazione in ambiente di arbusteto essenze arbustive: *Cytisus scoparius* (ginestra dei carbonai), *Erica scoparia* (erica da scope), *Calluna vulgaris* (brugo), *Crataegus monogyna* (biancospino), *Prunus spinosa* (prugnolo).

- Ripristino mitigazione in ambiente erbaceo (es. per rinverdimento corpo diga di valle): *Lolium perenne* (loietto perenne), *Festuca rubra* (festuca rossa), *Poa pratensis* (erba fienarola), *Festuca ovina* (paleo capillare), *Trifolium pratense* (trifoglio dei prati), *Onobrychis viciifolia* (lupinella), *Lotus corniculatus* (ginestrino).

9 MOVIMENTI DI MATERIE

La Tabella 9-1 mostra i movimenti di materie necessari alla realizzazione dell'intervento, dalla quale si evince che l'insieme delle lavorazioni comporterà un volume complessivo di scavo pari a 20'856.89 mc. Il cui materiale di risulta sarà riutilizzato in parte nella realizzazione dei rilevati e dei rinterri previsti per una quantità di 7'303.11 mc (35%), mentre nella restante parte, per un volume di 13'553.78 mc (65%), sarà conferito presso impianti autorizzati allo smaltimento o al recupero, secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Il progetto prevede la demolizione corticale del paramento di valle della diga in muratura di pietrame (per uno spessore pari a 70 cm) e di una fascia sul lato di monte dello strato di fondazione del coronamento, sempre in muratura di pietrame, (per uno spessore pari a 40 cm), oltre a perforazioni in roccia per l'esecuzione dei pali di fondazione per complessivi 1'917.46 mc che saranno riutilizzati, previa frantumazione (mediante frantoio mobile), per l'esecuzione di parte del rilevato che costituirà il rinfianco del paramento di valle, avente un volume complessivo pari a 14'500 mc, riducendo l'apporto di materiale da cava.

Per quanto riguarda la formazione dei rilevati (compreso il rilevato costituente il rinfianco del paramento di valle) e dei rinterri, il progetto prevede l'impiego di un volume complessivo di materiale pari a 22'462.87 mc che, come si evince dalla Tabella 9-1, sarà in parte (per 12'582.54 mc) approvvigionato da cava. Il volume necessario rimanente, pari a 9'880.33 mc, sarà invece quello di risulta dalle lavorazioni.

I materiali inerti occorrenti per realizzare le sovrastrutture stradali saranno in parte ottenuti dai materiali di risulta dagli scavi, per 680.62 mc, in parte approvvigionati da cava per 897.05 mc che saranno impiegati per il ripristino delle piste di accesso e della viabilità sul coronamento della diga e, per la restante parte pari a 689.25 mc, saranno invece approvvigionati come riciclato da frantumazione di materiali da costruzione prodotto presso impianti di recupero e troverà collocazione prevalente nelle piste di accesso. Lo strato superficiale di finitura delle piste di cantiere, per complessivi 681.30 mc, sarà costituito da pietrisco di cava (12/22).

Saranno inoltre approvvigionati da cava i massi lapidei di natura silicea o calcarea necessari alla formazione delle scogliere, per complessivi 541.27 mc, nonché gli inerti che saranno utilizzati per la formazione dei drenaggi in pietrisco calcareo 40/70 da porre alla base del rinfianco di valle o per l'allettamento delle scogliere, per ulteriori complessivi 212.22 mc (volume da intendersi compattato in opera).

Occorreranno inoltre circa 380 t di terreno vegetale da allocare come strato superficiale da coltivo nelle aree in cui il ripristino ambientale prevede la seminagione di essenze erbacee e la messa a dimora di essenze arbustive dopo l'ultimazione dei lavori.

Tabella 9-1: bilancio sintetico dei movimenti di materie.

SCAVI e DEMOLIZIONI	Volumi di scavo o di demolizione	Porzione di volume che verrà riutilizzata nell'ambito del cantiere per formazione di rinterrati e rilevati	Volume residuo da conferire in discariche o impianti di recupero autorizzati
	[mc]	[mc]	[mc]
Scotico terreno vegetale	857.40	840.00	17.40
Scavi di sbancamento e a sezione obbligatoria	20'856.89	7'303.11	13'553.78
Demolizioni muratura di pietrame e perforazioni in roccia per l'esecuzione dei pali	2'779.07	1'917.46	861.61
Totale	24'493.36	10'060.57	14'432.79

FORMAZIONE DI RILEVATI E RINTERRI	Volume occorrente per formazione di rilevati e rinterrati	Porzione di volume coperta dal reimpiego degli inerti provenienti dagli scavi e dalle demolizioni	Volume di inerti da approvvigionare da cava e da impianti di recupero
	[mc]	[mc]	[mc]
Rinfianco di valle diga	14'500.00	1'917.46	12'582.54
Riporti per ripristini stradali	7'665.18	7'665.18	0.00
Rinterrati	297.69	297.69	0.00
Fondazioni stradali	2'266.92	680.62	1'586.30
Finitura in pietrischetto	681.30	0.00	681.30
Totale	25'411.09	10'560.95	14'850.14

Altri approvvigionamenti di materiali da costruzione

Gli interventi di tipo strutturale ed impiantistico in progetto richiedono inoltre l'approvvigionamento di complessivi 3508 mc di calcestruzzo e di 338 t di acciaio per barre di armatura, ancoraggi, profilati per carpenteria metallica e condotte.

Probabili ubicazioni dei siti di approvvigionamento

La cava al momento individuata per l'approvvigionamento degli inerti per la formazione del rinfianco di valle, rispondenti alle caratteristiche litologiche, granulometriche e geotecniche di progetto, più vicina all'area di intervento, è risultata essere quella denominata Benocci & C. S.p.a. di Trequanda (SI).

Il prevedibile più prossimo collocamento dei materiali provenienti dalle demolizioni di manufatti in c.a. o in cls o in muratura che non saranno destinati al riuso è presso l'impianto denominato Bruschi S.r.l. con sede a Camucia di Cortona.

L'impianto di produzione del calcestruzzo più vicino, fatte salve altre valutazioni di competenza dell'appaltatore dal punto di vista logistico ed economico, è quello della Unical di Bettolle, mentre l'acciaio da costruzione potrebbe essere approvvigionato, ad

esempio, da uno dei due centri di trasformazione più prossimi al cantiere: Fipem di Magione o Pre-Metal Bardini Gest di Chiusi (SI).

10 BIBLIOGRAFIA

- Gruppo di lavoro Microzonazione Sismica. (2008). *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Roma: Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile.
- Arredi, F. (1980). *Costruzioni idrauliche*. Torino: UTET.
- Benz, T. (2006). *Small-strain Stiffness of Soils and its Numerical Consequences, Ph.d. thesis*. Stuttgart: Stuttgart Universität.
- Brinkgreve, R., Kappert, P., & Bonnier, P. (2007). Hysteretic damping in a small-strain stiffness model. *NUMOG*, (p. 732-742).
- Brinkgreve, R., Kumarswamy, S., & W.M., S. (2015). *PLAXIS Material Models Manual*. An Delft: PLAXIS bv.
- Brinkgreve, R., Kumarswamy, S., & W.M., S. (2015). *PLAXIS Scientific Manual*. An Delft: PLAXIS bv.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., & Bell, G. (2005). *Geotechnical engineering of dams*. London: Taylor & Francis.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). *Hoek-Brown failure criterion*.
- Iervolino, I., Galasso, C., & E., C. (2009). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8:339-362.
- Jappelli, R., & Silvestri, T. (2005). Rassegna dei materiali sciolti adoperati nelle dighe costruite in Italia nel periodo 1950-1975. In *Questioni di Ingegneria Geotecnica* (p. Tomo II, pp. 429-524). Benevento: Hevelius.
- Kuhlmeyer, R., & Lysmer, J. (1999). Finite element method accuracy for wave propagation problems. *Journal of the soil mechanics and foundation division*, 421-427.
- Kutzner, C. (1997). *Earth and rockfill dams - Principles of design and construction*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Paoliani, P., Antognoni, A., Catalano, A., Chieppa, V., De Sortis, A., Di Pasquale, G., . . . Vocaturo, E. (1997). La sicurezza delle dighe in esercizio. *Ingegneria sismica*, XIV(2), 3-20.
- Santos, J., & Correia, A. (2001). Reference threshold shear strain of soil. Its application to obtain a unique strain-dependent shear modulus curve for soil. *Proceedings 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (p. Vol 1, 267-270). Istanbul.
- Schnabel, P., Lysmer, J., & Seed, H. (1972). *Shake: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites*.

Vucetic, M., & Dorby, R. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic responses. *Journal of geotechnical engineering*, 117.