



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Seconda Sezione

Adunanza del 17 marzo 2021
N. del Protocollo 85/2019

OGGETTO: Diga Drove di Cepparello nel Comune di Poggibonsi (SI). N° Arch. SND: 766 – Progetto definitivo degli “*Interventi di miglioramento della diga di Drove di Cepparello*”, Maggio 2019 e rev. Ottobre 2020. Parere ai sensi dell’art. 5 del Reg. D.P.R. 1363/1959.

LA SEZIONE

VISTA la nota prot. n. 27442 del 13/11/2019 con cui la Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche ha trasmesso il Progetto definitivo “Maggio 2019” unitamente alla propria Relazione istruttoria, per esame e parere di competenza del CSLP ai sensi dell’art. 5 del Regolamento approvato con Decreto del Presidente della Repubblica 1° novembre 1959, n. 1363;

VISTA la nota prot. n. 10405 del 28/11/2019 di nomina della Commissione relatrice;

VISTE le note prot. n. 11221 del 23/12/2019 e n. 187 del 9/1/2020 con le quali la Sezione, sulla base di specifiche osservazioni, ha richiesto al Proponente chiarimenti e integrazioni, comunicando la conseguente sospensione dell’attività istruttoria;

VISTA la nota prot. n. 13031 del 25/6/2020 con la quale la DGdighe ha chiesto alla Sezione di mantenere sospeso il procedimento per il parere, in attesa di approfondimenti sul progetto da parte del Proponente;

VISTA la nota acquisita al R.U. CSLP al n. 9511 del 4/12/2020, con la quale la DGDighe:

- ha inoltrato il progetto definitivo revisionato “Ottobre 2020” presentato dal Proponente, contenente modifiche volte sia al superamento delle osservazioni della Sezione di cui alle note citate in precedenza, sia al contenimento dei costi degli interventi;
- ha chiesto il riavvio del procedimento ex art. 5 Reg. D.P.R. 1363/1959;

ESAMINATI gli atti;

UDITA la Commissione relatrice (GRECO, BRATH, CAVALERI, DI NARDO, GUARDABASSI, LORELLI, MONTRASIO, ROTONDO, SCAVONE, TOTANI).

PREMESSO

Per un inquadramento generale del progetto, si riportano di seguito ampi stralci dei seguenti documenti:

- Istruttoria della DGDighe allegata alla nota di trasmissione del progetto originario "Maggio 2019",
- Richiesta di chiarimenti ed integrazioni da parte della Seconda Sezione;
- Rapporto istruttorio aggiuntivo della DGDighe sul progetto "Rev. Ottobre 2020"

ISTRUTTORIA D.G. DIGHE SUL PROGETTO ORIGINARIO "MAGGIO 2019"

PREMESSA

La diga Drove di Cepparello (n. arch. 766), ubicata nel Comune di Poggibonsi (Prov. SI), sbarra il corso del Borro di Cepparello e quello del Borro di Granaio che confluisce nel Cepparello poco a monte dello sbarramento (bacino dell'Elsa); è classificata come diga in terra omogenea di altezza pari a 25,17 m ai sensi della L. 584/94.

Le opere in progetto riguardano:

- interventi di miglioramento idraulico, attraverso il rifacimento degli scarichi di superficie, della vasca di dissipazione e la realizzazione di un nuovo scarico di fondo al di fuori del corpo diga;
- interventi di miglioramento sismico, eseguendo la riprofilatura, mediante ricarica, dei paramenti di monte e di valle, col fine di ridurre la pendenza degli stessi e appesantire il corpo diga al piede.

DESCRIZIONE DELL'OPERA ATTUALE

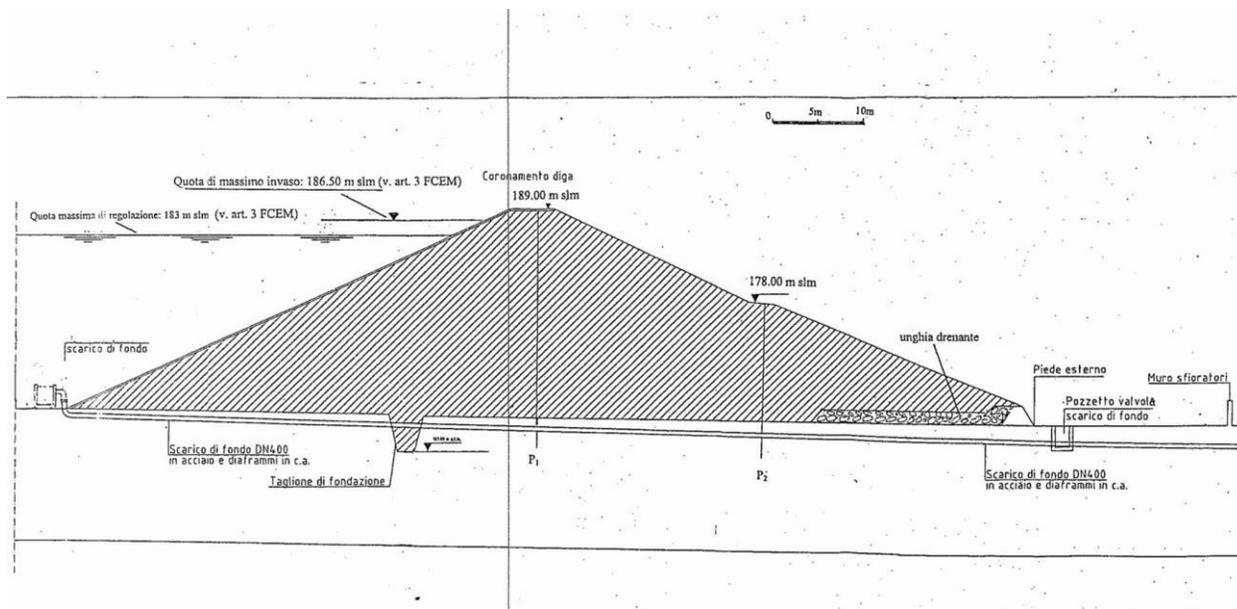
- altezza della diga (ai sensi della L. 584/1994)	25,17	m
- altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.1982)	28,00	m
- altezza di massima ritenuta	21,50	m
- quota coronamento	189,00	m s.m.
- larghezza coronamento	5,00	m
- pendenza paramento di monte	1:2,4	
- pendenza paramento di valle tra coronam. e berma	1:2,1	
- pendenza paramento di valle al di sotto della berma franco D.M. del 24.03.1982	1:2,4	
- sviluppo del coronamento	1,50	m
- volume della diga	68,00	m
- grado di sismicità assunto nel progetto	37.000	m ³
- classifica ai sensi del D.M. 24.03.82	S = 0	Zona III attuale
- classifica ai sensi del D.MIT		diga di terra omogenea b.1. diga di terra omogenea

08.07.14

- quota di massimo invaso	187,50	m s.m.
- quota massima raggiungibile in caso di eventi di piena ai fini dell'applicazione del DPC	186,00	m s.m.
- quota massima di regolazione	186,00	m s.m.
- quota massima di regolazione limitata ¹	177,00	m s.m.
- quota minima di regolazione	172,00	m s.m.
- volume tot. d'invaso (D.M. 24.3.'82 - q. 187,5 m s.m.)	0,65x10 ⁶	m ³
- volume di invaso (L.584/1994 - q. 186,0 m s.m.)	0,52x10 ⁶	m ³
- volume utile di regolazione	0,52x10 ⁶	m ³
- superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	11,40	km ²
- portata di massima piena T _R =1000 anni ²	190	m ³ /s
- portata di progetto originario (T _R <30 anni)	51	m ³ /s
- utilizzazione		idropotabile
- Concessionario e Gestore		Acque S.p.A.

¹ Limitazione di invaso impartita da ultimo con nota prot. n. UTDFI/919 del 27.06.2013

² Portata rivalutata dal Gestore e convalidata dalla Divisione specialistica Idraulica di DGDighe con nota prot. n. 2127 del 12.02.2013



La diga Drove di Cepparello (n. arch. 766), ubicata nel Comune di Poggibonsi (Siena), sbarrata il corso del Borro di Cepparello e quello del Borro di Granaio che confluisce nel Cepparello poco a monte dello sbarramento (bacino dell'Elsa); è classificata come diga in terra omogenea di altezza pari a 25,17 m ai sensi della L. 584/94.

Il paramento di monte, con pendenza di 1/2,4 è rivestito da pietrame sistemato a mano dal piede fino alla quota massima di regolazione e da pietrame sfuso trattenuto da una rete metallica dalla quota massima di regolazione fino al coronamento. Il paramento di valle è interrotto, circa a quota 178 m s.m., da una berma di larghezza di 3 metri, mentre il piede di valle è rinforzato da un muro in pietrame con funzione di dreno; le pendenze del paramento sono di 1 su 2,1 superiormente alla berma e 1/2,2 inferiormente alla stessa.

Il coronamento, di larghezza di 5 metri, è rivestito di lastroni di calcestruzzo.

Il rilevato è costituito nella parte alta, per circa 15 metri a partire dal coronamento, prevalentemente da argille con limo, ghiaiose e sabbiose, e nella parte bassa, fino al contatto con la fondazione, prevalentemente da ghiaie eterometriche in abbondante matrice limoso-argillosa (dati tratti dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici effettuati nel 2005-2006 sul corpo diga). Per la tenuta in fondazione è stato realizzato un tagliante di ammorsamento tramite una trincea di 2 metri di larghezza per 3 metri di profondità, posta ad una distanza dal piede di valle di circa due terzi della larghezza della fondazione. I terreni di fondazione sono costituiti da banchi di arenarie torbiditiche quarzose-calcaree talora contenenti lenti di minute puddinghe, argilloscisti e argilloscisti siltosi, con giacitura nei pressi del corpo diga prevalentemente a franapoggio più inclinato del pendio, ed in alcune zone verticale, con elevato grado di fessurazione.

La diga è dotata di due scarichi di superficie a soglia fissa, costituiti da due canali di scarico a sezione rettangolare tracciati direttamente attraverso le spalle della diga, entrambi con incile a quota 186,00 m s.m., rivestiti in calcestruzzo lungo l'intero sviluppo, recapitanti nel Borro Cepparello attraverso una vasca di dissipazione finale. Il tronco sub-orizzontale di attraversamento della spalla è caratterizzato, in entrambi i casi, da una sezione di larghezza variabile, decrescente da monte a valle, raccordata alla larghezza costante dello scivolo di fuga. Lo scarico di fondo è costituito da una tubazione in acciaio DN 400 mm, sottopassante

lo sbarramento entro un cordolo in calcestruzzo ammortato in fondazione, presidiata a monte da una valvola a farfalla e a valle da una saracinesca. Sono inoltre presenti due sifoni di alleggerimento costituiti da due tubazioni in PEBD/DE 355 mm disposte a cavaliere dell'incile del canale di scarico in sinistra e lungo il successivo scivolo, entrambe con quota di innesco naturale pari a 180,5 m s.m. e quota di innesco con autospurgo pari a 178,5 m s.m., mentre il disinnesco naturale avviene a quota 177,80 m s.m.

ITER TECNICO-AMMINISTRATIVO (progetti e lavori)

Il progetto originario della diga, a firma dell'ing. Cornieri, risale al 1957 e fu assentito dalla IV Sezione del Consiglio LL.PP. con nota prot. n. 977 del 26/06/1959. I lavori di costruzione, la cui data di inizio non è stata rinvenuta, sono stati terminati nel 1962.

L'invaso raggiunse in via sperimentale la massima quota già nel dicembre 1962 e sin dall'inizio fu notata una perdita dal drenaggio al piede diga di circa 2 l/sec che raggiunse i 20 l/sec al raggiungimento della massima regolazione. Con nota del 09.11.1963, il Servizio Dighe prescrisse gli interventi per l'eliminazione della perdita, pur ritenendola "non pericolosa per la stabilità dello sbarramento". Inoltre, in seguito ad una piena conseguente ad intense precipitazioni del novembre 1966, si verificarono danni ai due canali fuggatori (in particolare per quello in sinistra le conseguenze furono piuttosto importanti poiché si verificò una vera e propria azione di scalzamento della parte terminale). In seguito fu predisposto un progetto di riparazione e di adeguamento con soprizzo di 50 cm della pareti laterali del canale. I lavori, realizzati nel 1967, hanno riguardato anche la parziale impermeabilizzazione della roccia di fondazione attraverso iniezioni cementizie (posizione allo stato non desumibile dagli atti), per ridurre le filtrazioni già evidenziate. Nonostante tali lavori, le perdite non furono totalmente eliminate e, da successive indagini conoscitive, si appurò che la tubazione dello scarico di fondo, incassata in fondazione, si presentava in più punti lesionata. A causa di ciò nel 1968 fu provveduto a dotare la condotta, originariamente manovrata solo da valle con una saracinesca piana a manovra manuale, di una valvola a farfalla sulla sezione di monte, in modo da poter lasciare aperta la paratoia di valle e non mettere in pressione la tubazione. Non si hanno successive specifiche notizie sull'esercizio sperimentale della diga e sul procedimento di collaudo tecnico-funzionale³ fino agli anni '80.

Anche successivamente (nel 1985) sono stati effettuati lavori di manutenzione straordinaria dello sfioratore e del canale fuggatore destro dello sbarramento in quanto interessato da degrado. I lavori sono consistiti, sinteticamente, nel totale rifacimento del canale in destra con mantenimento della stessa quota di sfioro e nella realizzazione di un'unica vasca di calma per entrambi i canali. Negli anni '90, furono prescritti al Gestore "specifici accertamenti nei confronti della stabilità allo scorrimento" in considerazione che Poggibonsi ha classificazione sismica di seconda categoria e che "il progetto dello sbarramento ... non tiene conto delle azioni sismiche", e la rivalutazione della portata di progetto e del franco sulla base di un'analisi idrologica aggiornata, con la ricostruzione del profilo della corrente attraverso i due sfioratori di superficie. In seguito a tali richieste il Gestore ha presentato in data 31.12.2002 un insieme di "Studi relativi alla diga di Drove di Cepparello".

³ Il procedimento di collaudo tecnico-funzionale, avviato negli anni '70 e non conclusosi in relazione a continue esigenze di opere manutentive e integrative nonostante gli invasi sperimentali fossero stati avviati dal 1964, è stato formalmente riavviato solo nel 2006.

Per quanto riguarda le verifiche di stabilità il Gestore ha redatto una elaborazione preliminare sulla base dei parametri geotecnici del progetto originario in attesa di indagini di caratterizzazione del materiale del corpo diga, mentre, per quanto riguarda gli scarichi di superficie è emersa immediatamente una loro insufficiente capacità. In conseguenza di ciò l'Ufficio Periferico di Firenze del Servizio Nazionale Dighe, su conforme avviso della Direzione, ha imposto una limitazione di invaso ed ha richiesto la redazione di un progetto per l'adeguamento degli scarichi. A seguito di tale prescrizione è stato redatto il "Progetto definitivo per l'adeguamento degli scaricatori della diga di Drove Cepparello nel Comune di Poggibonsi (SI) — Marzo 2006" a firma dell'ing. Settesoldi, consistente sinteticamente nell'abbassamento delle due soglie di sfioro dalla quota 186,00 m s.m. 184,60 m s.m., nella posa in opera di due paratoie a ventola movimentate da una struttura tubolare flessibile (per evitare di perdere volume utile di regolazione) e in interventi di ripristino della tenuta della condotta dello scarico di fondo.

Lo scarico di fondo era stato invece oggetto, già nel 2003, di un intervento di ripristino di alcune lesioni, basato su iniezioni di resine di impermeabilizzazione dall'interno attraverso le lesioni stesse fino a saturazione. Nel corso degli stessi lavori sono stati messi in opera anche due sifoni a cavaliere in corrispondenza dello scarico di superficie in sinistra dello sbarramento, a supporto dello stesso scarico di fondo per il rispetto della limitazione di invaso.

Il Gestore ha quindi presentato il "Progetto definitivo adeguamento scaricatori della diga – Aggiornamento Novembre 2007" mentre, nel 2009 ha comunicato di essere impossibilitato, per via del rilevante investimento necessario, a realizzare i lavori di adeguamento degli scarichi manifestando la volontà di procedere al declassamento o dismissione della diga. In considerazione di quanto appreso l'Ufficio Tecnico per le Dighe di Firenze, con nota prot. n. UTDFI/876 del 09.07.2009, promuoveva la rivalutazione della limitazione di invaso (183,00 m s.m. in condizioni di normale esercizio e 186,50 m s.m. in caso di eventi eccezionali).

Il Gestore, in relazione alle rilevate esigenze idropotabili e comunque ai costi di soluzioni alternative al recupero, ha successivamente abbandonato l'ipotesi di procedere al declassamento o dismissione della diga, presentando un progetto preliminare di una prima serie di interventi riguardanti in primis il ripristino dello scarico di fondo. Detto progetto prevedeva i seguenti lavori: realizzazione di un nuovo manufatto di presa/scarico, re-intubamento della condotta dello scarico di fondo con inserimento all'interno della tubazione esistente di una tubazione in PEAD e spostamento all'estremo di valle della valvola di controllo dello scarico di fondo.

L'Ufficio Tecnico per le dighe di Firenze esprimeva il proprio parere favorevole, con osservazioni.

A seguire, l'UTD di Firenze acquisiva e trasmetteva alla DG il "Progetto definitivo degli interventi di ripristino dello scarico di fondo della diga – Luglio 2011" per l'approvazione in linea tecnica della Direzione Generale, la quale, con nota della Divisione 4 di coordinamento del 29.10.2012, prot. 12410, richiedeva integrazioni al progetto.

Con riferimento agli aspetti idraulici, con nota prot. n. 2127 del 12.02.2013 della Divisione 7 – Uldr, veniva espresso il parere in merito alla rivalutazione della sicurezza idrologica ed idraulica della diga nel frattempo acquisita. Il parere confermava in 190 m³/s la portata al colmo della piena millenaria e confermava che in caso di evento estremo la diga sarebbe tracimata (o a rischio tracimazione) anche con invaso pressoché vuoto ad inizio evento. Veniva evidenziato che, per garantire il franco lordo originariamente previsto (pari a 1,50 m) con riferimento ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 200 anni (motivato dal

presumibile tempo di esposizione in attesa di interventi), il livello di invaso doveva essere limitato a circa 177 m s.m. Il parere raccomandava, quindi, una limitazione ad una quota variabile tra i 176 e i 178 m s.m. ribadendo la necessità degli interventi di adeguamento degli scarichi.

Conseguentemente a quanto riportato nel parere specialistico espresso dalla Divisione 7 – Idraulica, l'Ufficio Tecnico per le Dighe di Firenze con nota prot. n. UTDFI/918 del 27.06.2013, impartiva una ulteriore limitazione al livello di invaso, in condizione di normale esercizio alla quota 177,00 m s.m., con possibilità di raggiungimento della quota di 186,00 m s.m. solo temporaneamente ed in caso di eventi di piena eccezionali, ai fini dell'attivazione della fase di "pericolo" ai sensi del Documento di protezione civile della diga.

Nel contempo, con nota prot. n. 397 del 26.06.2013, la Divisione di coordinamento notificava al Gestore l'atto di ricognizione prot. DG/89/2013 del 21.03.2013, emanato dalla D.G. Dighe in applicazione dell'art. 43 c.7, del D.L. 201/2011 convertito in L. 214/2011, il quale includeva la diga di Drove di Cepparello tra quelle necessitanti urgenti interventi di adeguamento o miglioramento della sicurezza. I termini di attuazione erano stati fissati in 36 mesi, decorsi tuttavia infruttuosamente. Analogo atto di ricognizione era emesso per ricomprendere la diga tra quelle a rischio di ostruzione dello scarico di fondo ai sensi dell'art. 43 c.8 della citata norma (nota prot. n. 18417 del 09.12.2013).

Al contempo, il Gestore con nota prot. n. 33227 del 01.07.2013 ripresentava il solo progetto esecutivo di sistemazione dello scarico di fondo, cui la Divisione 4 – CPL richiedeva nuovamente modifiche e integrazioni con nota prot. n. 7173 del 04.04.2014, permanendo elementi di incompletezza degli elaborati e dell soluzioni proposte.

Ai citati progetti presentati e istruiti non sono seguiti gli interventi previsti; il Gestore ha tuttavia presentato un programma di indagini per la caratterizzazione dei materiali della diga, rispetto al quale la Divisione 4 ha espresso parere favorevole, con osservazioni, con nota prot. n. 208 del 08.01.2016. Le indagini risultavano propedeutiche per la verifica delle attuali condizioni di stabilità dello sbarramento, ai fini della definizione dell'assetto definitivo dell'opera e sono state effettivamente eseguite.

Successivamente, i necessari interventi di miglioramento statico e idraulico della diga sono stati inseriti nei "Fondi Sviluppo e coesione 2014-2020 - Piano Operativo Nazionale Infrastrutture – Asse tematico D: Messa in sicurezza del patrimonio infrastrutturale esistente - Dighe", ai sensi della Delibera CIPE n.54/2016 (cofinanziamento, per quota parte minoritaria attualmente pari a € 2.000.000 in aggiunta al finanziamento pari a € 6.450.000 a valere sul Piano d'Ambito e relativo Piano Economico Finanziario in capo all'Autorità Idrica Toscana).

Il Gestore ha quindi presentato, con nota prot. n. 28481/17 del 18.04.2017, un nuovo complessivo progetto di fattibilità tecnica-economica denominato "Interventi di miglioramento della diga Drove di Cepparello", finalizzato al miglioramento della sicurezza idraulica, statica e sismica dello sbarramento, in merito al quale l'Ufficio Tecnico per le Dighe di Firenze, in esito all'esame istruttorio, ha espresso parere favorevole con osservazioni e prescrizioni con nota prot. n. 23805 del 24.10.2017 e annessa relazione. Nello specifico si prevedeva il rifacimento degli scarichi superficie, il rinfianco dello sbarramento e interventi di riparazione sull'opera di presa e sullo scarico di fondo (il progetto in argomento superava e sostituiva i progetti precedentemente istruiti "Progetto definitivo degli scaricatori di superficie e delle connesse verifiche di

stabilità – Novembre 2007” e “Progetto esecutivo di ripristino dello scarico di fondo della diga di Cepparello – Maggio 2013”).

Ai fini della redazione del progetto definitivo, in considerazione del completo rifacimento degli scarichi di superficie, dei canali fuggatori e della vasca di dissipazione, il Gestore ha commissionato all’Università di Padova un modello fisico idraulico – come anche raccomandato dall’Ufficio Tecnico nel predetto parere - sulla base delle cui risultanze i progettisti hanno calibrato la redazione del progetto definitivo.

In esito al parere espresso dall’Ufficio Tecnico nonché alle risultanze del modello fisico, il Gestore ha presentato in data 12.06.2019, con nota prot. n. 25508 del 06.06.2019, il progetto definitivo “Interventi di miglioramento della diga Drove di Cepparello”, oggetto della presente istruttoria, firmato dagli ingg. Mario Chiarugi, Matteo Betti, David Settesoldi e dal dott. Geol. Nicola Cempini

DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Il progetto definitivo “Interventi di miglioramento della diga Drove di Cepparello” ha la finalità di migliorare sia la sicurezza idraulica che la sicurezza statica e sismica della diga, il cui attuale assetto non è rispondente alle vigenti norme tecniche, attraverso una serie di interventi che garantiscano:

- la possibilità di (i) esitare in sicurezza, con i soli scarichi di superficie, la portata di piena con tempo di ritorno pari a 1000 anni e (ii) consentire lo svuotamento della diga in maniera sicura ed efficiente ed in tempi paragonabili a quelli previsti per le nuove realizzazioni;*
- la stabilità dell’opera in assenza e presenza di sisma in modo da soddisfare le analisi e le verifiche previste dalla normativa per le dighe esistenti.*

Relativamente al miglioramento della sicurezza statica e sismica il progetto prevede un appesantimento dei paramenti di monte e valle mediante rinfianchi di terreno di caratteristiche simili a quelle dell’attuale corpo diga, che ne riduca anche la pendenza.

Il paramento di monte, attualmente con pendenza di 1:2,4, assumerà pendenza di 1:4 al di sotto di una banca intermedia posta a quota 184,20 m s.m. e di 1:3 al di sopra di tale banca intermedia e sarà rivestito con una scogliera in massi naturali di 100 cm di spessore posata su uno strato di pietrisco di 30 cm, steso su geotessile.

Il paramento di valle, attualmente con pendenza di 1:2,4 al di sotto della berma e di 1:2,1 al di sopra della berma, assumerà pendenza di 1:4 al di sotto di una banca intermedia posta a quota 179,00 m s.m. e di 1:3 al di sopra di tale banca intermedia, sarà seminato a spaglio e protetto da una biostuoia. Sulla sommità della banca di valle è previsto uno strato di pietrisco di 30 cm. Il coronamento della diga, nella configurazione di progetto, è posto a quota 190 m s.m. ed ha larghezza pari a 5 m.

Il materiale di rinfianco sarà reperito all’interno del lago in una zona posta nei pressi dell’[incile] del lago stesso ed avrà caratteristiche definite da specifiche indagini geognostiche condotte nel 2019 nell’area del prelievo.

Relativamente al miglioramento della sicurezza idraulica il progetto prevede il rifacimento degli scarichi di superficie, inclusa la vasca di dissipazione, e dello scarico di fondo fuori corpo diga, nonché alcuni interventi da essi derivanti.

La nuova configurazione di scarichi, uno in destra e uno in sinistra, prevede:

- una soglia a becco d'anatra a quota 185.7 m s.l.m. (Creager-Scimemi) e lunghezza di 38 m a sinistra e 28.7 m a destra;
- un canale fagatore, di lunghezza e pendenza variabile in destra e sinistra, che corre tra la diga e la spalla/sponda;
- un'unica vasca di dissipazione al piede diga, con fondo a quota 158.70 m s.l.m., lunga 25 m e larga 9 m, che raccoglie i flussi provenienti dai due scarichi e dissipa l'energia degli stessi prima della restituzione in alveo.

I nuovi sfioratori sono del tipo "a becco d'anatra" con sfioro sagomato secondo il profilo di, ridefinendo la quota di massima regolazione dell'invaso a 185,70 m s.m..

A valle dello sfioro è previsto un salto di 2 m che porta il fondo del canale a 183,70 m s.m..

I canali a valle sono completamente ricostruiti a seguito della demolizione dei canali esistenti. Il profilo dei nuovi canali risulta più regolare ed ottimizzato sulla base dei risultati ottenuti con il modello fisico dell'opera, con quote inferiori a quelle attuali in un primo tratto e quote superiori rispetto al substrato roccioso nel tratto terminale.

Dal punto di vista strutturale, nel tratto di monte il canale avrà platea di spessore 100 cm e pareti di spessore 60 cm. Lato diga, il sostegno sarà realizzato con paratie di pali Ø800 posti lungo due file con approfondimento nel terreno di 10,0 m e cordolo in testa in c.a. I pali saranno parte con passo 70 cm armati uno si e uno no e parte con passo 140 cm tutti armati. Lato versante il sostegno sarà realizzato con paratie di pali secanti Ø800 con passo 70 cm, armati uno si e due no, di profondità 10 m, tirantati con barre tipo Diwidag da 32 mm in foro Ø125 e cordolo in c.a. in testa. Nella porzione centrale il canale presenta pareti e platea di 60 cm di spessore e, come sostegno, paratie di micropali Ø220 con passo 60 cm e approfondimento minimo di 3,0 m, con tiranti tipo Diwidag da 32 mm in foro Ø125, in numero di ordini variabile da uno a tre e con cordolo in c.a. in testa. Laddove, nel tratto a valle, il canale si trova al di sopra del substrato roccioso, è prevista una struttura su micropali Ø220 con ancoraggio minimo in roccia di 5,0 m; in tale zona il canale avrà pareti e platea di spessore rispettivamente 50 e 60 cm.

Il rifacimento dello sfioratore sinistro prevede anche lo spostamento della strada di accesso al coronamento, il rifacimento delle n. 2 passerelle che lo attraversano e lo spostamento delle condotte attualmente posate sotto la viabilità esistente. La nuova viabilità di accesso al coronamento sarà spostata verso il versante sinistro mediante realizzazione di un muro di sostegno lungo 90 m e alto al massimo 4,0 m, sostenuto da una paratia di micropali Ø220 con passo 60 cm e infissione minima di 3,0 m, con tiranti tipo Diwidag da 32 mm in foro Ø125. La sezione trasversale tipo della strada prevede larghezza di 3,0 m, banchine di 0,50 m, pendenza trasversale lato monte del 2% per lo smaltimento delle acque meteoriche e pavimentazione costituita da fondazione, massicciata e binder. Le nuove passerelle di attraversamento dello sfioratore sinistro (STR.14), di larghezza 2,0 m, saranno realizzate in struttura metallica con due travi IPE450 e soletta in grigliato metallico. Il progetto prevede anche la realizzazione di una terza passerella di analoghe caratteristiche per l'attraversamento dello sfioratore destro e l'accesso alla sponda destra. Le condotte interferenti con il nuovo sfioratore saranno spostate al di sotto della nuova viabilità e realizzate in acciaio inox Ø300.

Il progetto della vasca di dissipazione è stato ottimizzato sulla base dei risultati ottenuti con il modello fisico dell'opera. La nuova vasca risulta più lunga e più profonda di quella esistente, ha larghezza variabile da

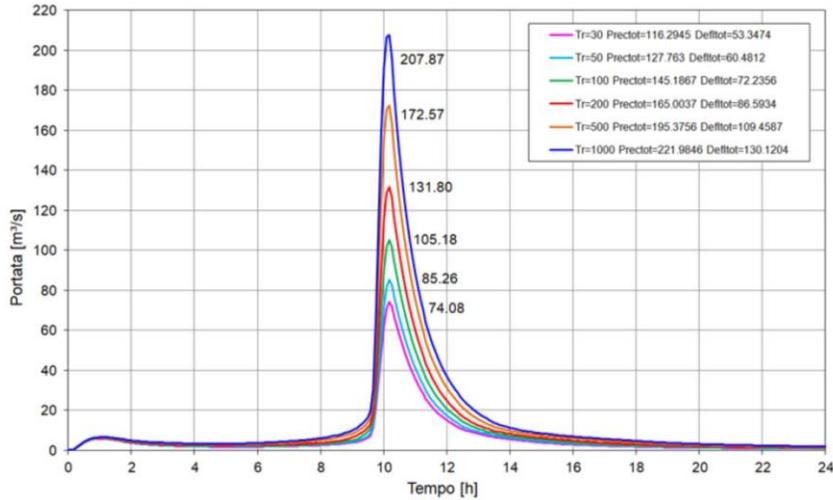
18,60 m a 8,90 m, altezza massima di 13 m. Le pareti e la platea avranno spessore variabile da 100 cm nella parte di monte a 50 cm nel tratto a valle. Le pareti, in generale all'interno degli attuali muri della vasca, sono sostenute da paratie di micropali Ø220 con passo 60 cm con tiranti tipo Diwidag da 32 mm in foro Ø125 posti a interasse 1,20 m e 2,40 m, in numero di ordini variabile da uno a tre e con cordolo in c.a. in testa.

Il nuovo scarico di fondo sarà alloggiato in una condotta-galleria di diametro interno di 2,0 m in calcestruzzo, fuori corpo diga, che corre sul lato del versante sinistro e realizzato mediante la tecnica del microtunneling. All'interno della condotta saranno alloggiate la tubazione dello scarico di fondo in acciaio inox DN1200 e la condotta di derivazione in acciaio inox DN300. L'imbocco nel lago avrà sezione 5,0 m x 3,0 m e si raccorderà alla condotta di scarico. In corrispondenza dell'imbocco è prevista anche una torre di presa in acciaio inox DN800 con n. 4 punti di presa a diverse quote. L'opera di sbocco è costituita da una camera 10,0 x 8,0 m dove lo scarico di fondo è intercettato da due paratoie piane a strisciamento in serie. La paratoia di monte sarebbe tenuta sempre aperta e le manovre sarebbero effettuate sulla paratoia di valle. E' prevista la presenza di un by-pass della paratoia di valle per il rilascio del DMV. Nella camera risulta alloggiato anche un impianto di sollevamento della derivazione necessario in corrispondenza di alcuni livelli idrici nel lago per raggiungere la testa dell'impianto di potabilizzazione. A valle della camera la tubazione dello scarico sbocca a valle della vasca di dissipazione dei canali fuggatori in una seconda vasca, che termina con un tratto rivestito in pietra.

Il pozzo di controllo delle perdite si trova a valle diga in corrispondenza dell'originale scarico di fondo al di sotto del corpo diga, ha dimensioni in pianta 4,0 x 4,0 m e altezza 9,0 m, è realizzato in cemento armato gettato in opera di spessore 50 cm ed è fondato su micropali Ø220. L'accesso al pozzetto è garantito da una scala metallica di sicurezza addossata alle pareti. Lo scarico dei drenaggi è previsto all'interno della vasca di dissipazione. Qualora il livello nella vasca superi la quota di fondo del pozzetto, è prevista una pompa di sentina per mantenerlo vuoto.

A lavori ultimati le principali caratteristiche dello sbarramento si modificano come segue:

DATO	STATO ATTUALE	STATO MODIFICATO
Quota coronamento	189,00 m s.l.m.	189,30 (190,00)* m s.m.
Quota di massimo invaso	187,50 m s.l.m.	186,65 (187,35)* m s.m. (TR 1000)
Quota max di regolazione (soglia di sfioro)	186,00 m s.l.m.	185,00 (185,70)* m s.m.
Quota di minima regolazione	172,00 m s.l.m.	172,00 (172,70)* m s.m.
Pendenza paramento di monte	1:2,4	1:3/1:4
Pendenza paramento di valle	1:2,4/1:2,1	1:3/1:4
Quota minima al piede di monte	166,03** m s.l.m.	168,00 (168,70)* m s.m.
Quota minima al piede di valle	163,86** m s.l.m.	158,00 (158,70)* m s.m.***
Altezza diga	25,17	31,3 m
Volume di invaso	0,52 Mm ³	0,52 Mm ³
Portata di progetto	51 m ³ /s (TR < 30)	210 m ³ /s (TR 1000)
*Le quote fra parentesi sono quelle riportate nel progetto e riferite al rilievo eseguito nel 2018, ovvero traslate verso l'alto di 70 cm rispetto a quanto riportato sul vigente FCEM.		
**Quote ricavate dai dati del rilievo 2018		
***desunta dall'elaborato EG.03 – Il Gestore ha considerato il paramento di valle esteso ai manufatti di scarico: quota finale dello scivolo dei canali fuggatori nella vasca di dissipazione		



Poiché il valore della portata al colmo millenaria è decisamente superiore alla attuale capacità di scarico (circa $50 \text{ m}^3/\text{s}$) della diga (la capacità di laminazione dell'invaso è limitata), il Gestore ha formulato negli anni varie ipotesi di intervento, definite in ultimo nel presente progetto definitivo.

Tale progetto introduce varie modifiche al progetto preliminare, presentato a marzo 2017, tra cui:

- la diversa configurazione dei canali fuggatori che sono stati regolarizzati;
- la diversa configurazione della vasca di dissipazione che è stata approfondita e allungata;
- la realizzazione di un nuovo scarico di fondo.

Essenzialmente, il progetto consente di smaltire la piena millenaria con il solo ausilio degli scarichi di superficie, la cui soglia è stata abbassata di un metro e allungata attraverso l'utilizzo della tipologia a becco di anatra che consente, in ridotti spazi planimetrici, di ottenere uno sviluppo aumentato della lunghezza sfiorante. Il franco idraulico assicurato al passaggio della piena maggiore del minimo regolamentare imposto dalla vigente norma tecnica.

L'intera configurazione degli scarichi e dell'opera di dissipazione è stata oggetto di un modello fisico idraulico in scala all'Università di Padova (rif. ET.03 Relazione modello fisico – Responsabile Prof. P. Salandin). Gli obiettivi del modello sono stati essenzialmente quelli di verificare:

1. la capacità di scarico del nuovo sistema sfiorante di progetto;
2. le massime altezze d'acqua che vengono a realizzarsi nei canali di fuga e nella vasca di dissipazione;
3. l'efficacia dissipativa della vasca stessa.

Le scale di deflusso dei due sfioratori di superficie, utilizzate nel calcolo della verifica del franco idraulico di sicurezza, sono state determinate mediante i dati ricavati dalle prove sperimentali sul modello fisico. Esso ha rilevato la portata totale in uscita, mentre non è stato possibile misurare le singole portate evacuate nei due canali fuggatori; per far ciò, al fine di conoscere la portata proveniente dalle due soglie, è stato utilizzato un modello idraulico numerico in moto permanente in corrente mista tramite il software HEC-RAS.

Secondo quanto prescritto dalla vigente normativa, la portata di riferimento in caso di miglioramento idraulico di una diga in materiali sciolti è quella avente tempo di ritorno millenario. Stante ciò, sono state simulate varie portate, da 0 a $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (corrispondente a un tempo di ritorno fino a 5000 anni), al fine di

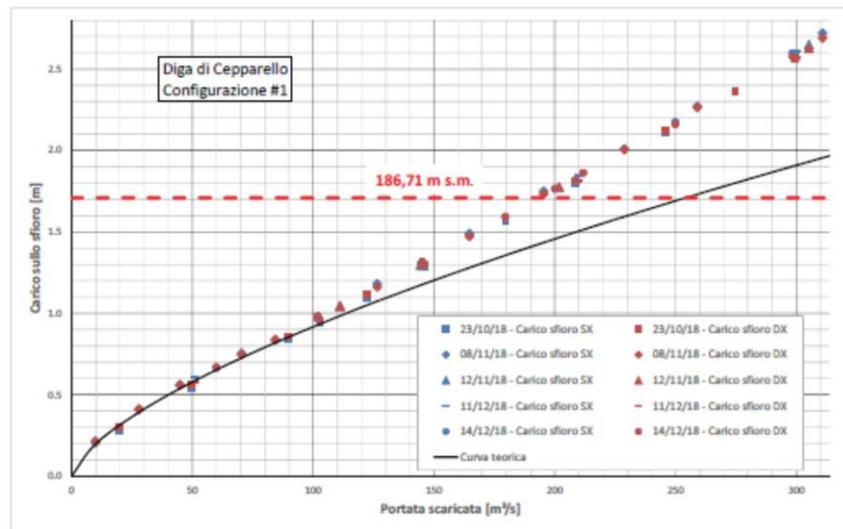
ottenere le curve di deflusso degli scarichi. Le configurazioni testate su modello sono tre e differiscono per la tipologia degli scarichi di superficie (becco d'anatra vs sfioratori con sezione a muro verticale e testa sagomata con andamento planimetrico curvilineo) e per la vasca di dissipazione (vasca suddivisa in due parti dal muro longitudinale con immutate lunghezza e profondità vs vasca unica con il fondo approfondito di 4,5 m e più lunga di 39 m rispetto a quella precedentemente limitata dal muro in elevazione, prolungata di circa 20 m rispetto la fine della platea a blocchi precedente prevista). Tali configurazioni hanno permesso di indagare comparativamente tutte le ipotesi progettuali formulate nel progetto preliminare, riguardanti le opere di sfioro e dissipazione. La configurazione definitiva prevede gli sfioratori a becco d'anatra e la vasca di dissipazione allungata e approfondita.

La natura dei fenomeni da esaminare su modello comporta la riproduzione secondo la similitudine di Froude, secondo la seguente tabella:

PARAMETRI FISICI	RAPPORTO DI SCALA	FATTORE DI SCALA
Lunghezza (m)	$\frac{L_p}{L_m} = \frac{P_p}{P_m} = \lambda$	40
Pressione (m colonna d'acqua)		
Velocità (m/s)	$\frac{V_p}{V_m} = \frac{t_p}{t_m} = \lambda^{1/2}$	6.325
Tempo (s)		
Portata (m ³ /s)	$\frac{Q_p}{Q_m} = \lambda^{5/2}$	10119.3

La configurazione di progetto è stata sviluppata proprio grazie all'ausilio dei risultati derivanti dalle prove su modello, è un misto tra la configurazione 1 di cui riprende la geometria delle soglie sfioranti a becco d'anatra e dei canali fagatori e la configurazione 2-3 di cui riprende il layout della vasca di dissipazione. Di seguito sono elencate le principali risultanze del modello.

Nella figura seguente è riportato il risultato, espresso nelle grandezze del prototipo, della scala di deflusso degli scarichi di superficie.



Di seguito, il commento sul funzionamento idraulico dello scarico di superficie e le motivazioni dello scostamento tra curva teorica e risultati del modello.

In entrambe le Figure 6 e 7 è riportato a titolo di confronto la 'curva teorica', ovvero l'andamento di uno sfioratore rettilineo, non influenzato dal livello liquido di valle, avente lunghezza L pari allo sviluppo totale della cresta ($38,0+28,7=66,7$ m) e coefficiente di deflusso $Cq=0,385$, la cui portata è calcolata con l'equazione

$$Q=L \times Cq \times h \times (2g \times h)^{1/2}$$

dove h è il carico sullo sfioratore.

La scelta di assumere $Cq=0,385$, pur essendo lo sfioratore sagomato secondo il profilo Creager-Scimemi, a cui è normalmente attribuito il valore $Cq=0,48$, è motivata dall'essere il carico di progetto sullo sfioratore comparabile con il petto dello stramazzo, mentre per i carichi inferiori la vena sfiorante si 'appoggia' sul profilo, risultando le curvature della stessa vena ben inferiori a quelle che si realizzano in uno sfioro libero.

Pertanto è facile dedurre che gli scostamenti fra la 'curva teorica' e i valori sperimentali evidenti a partire dai valori circa pari a $100 \text{ m}^3/\text{s}$ sono dovuti ad altri fattori, non sempre concomitanti, quali:

- la limitata larghezza interna dei due becchi d'anatra a monte che porta le vene sfioranti opposte a collidere per i maggiori carichi, così come la stretta voluta planimetrica in testa allo sfioratore porta inevitabilmente le vene a convergere con la conseguente riduzione delle curvature dei filetti fluidi e la diminuzione locale del coefficiente di deflusso ⁽³⁾;
- l'effetto dei muri laterali che riducono localmente i livelli esterni allo sfioratore rispetto quelli della quota del lago indisturbato per essere le velocità non nulle;
- la crescita del tirante idrico all'interno del canale collettore che per i maggiori valori di portata può, a partire da monte, rigurgitare la vena stramazante alterando la condizione di deflusso libero ⁽⁴⁾.

Di seguito, il commento sul funzionamento idraulico dei canali fuggatori

Dall'osservazione visiva delle prove su modello e dall'analisi della documentazione video (Foto 9 e 10), è possibile riconoscere importanti sopralzi della vena liquida (fino a 3 m circa su reale per le portate sperimentate corrispondenti ad eventi con portata su prototipo di $202 \text{ m}^3/\text{s}$) che si localizzano immediatamente a valle dell'asse della diga, restando peraltro quasi scoperto il fondo degli stessi canali in talune porzioni degli scivoli. Dall'esame delle riprese video realizzate per la medesima portata e allegate alla presente relazione, è possibile apprezzare la riduzione dei sopralzi muovendosi da monte verso valle.

La vista da monte della parte sommitale dei canali di fuga e dei due profili sfioranti, conferma le condizioni di rigurgito parziale in cui vengono a trovarsi questi ultimi per portate nell'intorno dei $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Foto 11 e Foto 12).

Risulta tra l'altro evidente la rapida decrescita dei tiranti che da tale posizione sommitale si realizzano localmente contro le pareti esterne immediatamente a valle degli sfiori.

L'andamento della corrente nei due canali di fuga ha il tipico aspetto della condizione supercritica, con la formazione di fronti d'onda stazionari che s'incrociano e si riflettono sulle pareti (Foto 13 e Foto 14). Per una portata prossima a quella dell'evento millenario, i sopralzi localizzati possono raggiungere e talvolta superare, come risulta evidente fra le sezioni dx_4 e dx_5 di Foto 13, i 2 m di altezza, rimanendo comunque più contenuti rispetto quelli che è possibile osservare immediatamente a valle dei becchi d'anatra.

Il funzionamento della vasca di dissipazione nella configurazione 1 non è risultato ottimale, poiché non si è sviluppata interamente il risalto idraulico, la dissipazione non avviene nelle modalità predisposte e, quindi, la corrente all'uscita dalla vasca ha ancora un contenuto energetico rilevante e, inoltre, i livelli idrici non sono contenuti dai muri perimetrali. Per far fronte a ciò è stata allungata e approfondita la vasca di dissipazione, eliminando gli elementi risultati superflui. In questo modo il risalto risulta adeguatamente contenuto nello sviluppo totale della vasca.

Per i risultati completi e le foto si rimanda alla relazione su modello idraulico allegata al progetto; il modello fisico è stato correttamente utilizzato per la progettazione definitiva delle opere di scarico di superficie.

Dato che il modello fisico sopra-descritto ha rilevato la portata totale in uscita, ma non ha potuto rilevare le singole portate evacuate dai due canali fuggatori, al fine di conoscere la ripartizione della portata totale tra i due sistemi sfioranti che non sono simmetrici, è stato implementato, come riferito in precedenza, un modello matematico monodimensionale tramite il software HEC-RAS v 5.0.6.

Anche nel modello numerico la condizione al contorno di monte è assegnata in termini di idrogrammi, mentre la condizione al contorno di valle è assegnata tramite l'altezza critica. Per i livelli corrispondenti alla piena millenaria si ha in sinistra un franco idraulico minimo dei muri laterali di 2.19 m e in destra di 1.97 m. Tali risultati si discostano da quelli osservati nella sperimentazione fisica poiché, a detta del progettista, nel modello monodimensionale non viene tenuto in conto l'effetto del soprizzo in curva e dei fronti d'onda stazionari.

Il Progettista ha provveduto a effettuare la verifica del franco idraulico da normativa vigente utilizzando la nuova curva quote-volumi di invaso ricalcolata nel progetto e la nuova curva di efflusso dei due scarichi di superficie dedotta dalle prove su modello fisico.

Il franco minimo calcolato è pari a 2.54 m, derivante dal calcolo di quello minimo legato all'altezza dello sbarramento e aumentato dei cedimenti dovuti al sisma e dai contributi dell'onda da vento e da run-up.

La seguente tabella esplicita il calcolo effettuato nel progetto.

Quota coronamento [m s.l.m.]	190.0
Quota minima a valle [m s.l.m.]	158.7
Altezza diga [m]	31.3
Franco netto [m]	1.93
Abbassamento da sisma [m]	0.30
Franco onda [m]	0.27
Franco run up [m]	0.033
Franco minimo totale [m]	2.54

La quota minima a valle, per il calcolo dell'altezza della diga, è stata cautelativamente fissata a 158,7 ms.m. corrispondente alla quota finale dello scivolo dei canali fuggatori nella vasca di dissipazione. Dai calcoli effettuati dal gestore, comprendenti la laminazione dell'invaso (per Tr 1000 anni, a fronte di una portata di piena in afflusso di 208 m³/s la portata laminata in uscita è pari a 187 m³/s), si evince che con la portata millenaria verifica il franco netto con un avanzo di circa 10 cm, come riportato nel grafico che segue.

È stata calcolata la scala di deflusso e, poi, il tempo di svuotamento del serbatoio, secondo quanto prescritto dalla normativa tecnica per le dighe di nuova costruzione. Rispetto alla situazione attuale si passa da 0,8 m³/s a circa 13 m³/s (tempo di vuotatura completa: ca. 10 ore)

ASPETTI GEOTECNICI E STRUTTURALI

Gli interventi di miglioramento sismico della diga di Drove di Cepparello sono stati progettati sulla base dei risultati di diverse e ampie campagne d'indagini sia geologiche che geofisiche, eseguite sia sul corpo diga che nelle aree ad essa adiacenti. In dettaglio, i modelli geotecnici di sottosuolo, assunti nelle diverse fasi progettuali degli interventi in progetto, sono stati definiti sulla base dei risultati delle seguenti campagne geognostiche:

- I) campagna geognostica luglio 2005:
 - N.2 sondaggi a carotaggio continuo sul corpo diga, sondaggio S1 posto sul coronamento della diga (quota 189 m s.l.m.) fino alla profondità di - 30 m dal p.c. e sondaggio S2 posto sulla banca del paramento di valle (quota 178 m s.l.m.) fino alla profondità di - 17 m dal p.c.;
 - N.7 S.P.T. eseguite rispettivamente n.4 sul sondaggio S1 e n.3 sul sondaggio S2;
 - N.1 prelievo di un campione indisturbato prelevato dal sondaggio S1, su cui sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio;
- II) campagna geognostica ottobre 2006:
 - N.2 sondaggi a carotaggio continuo (S1-S2) entrambi posti sul coronamento della diga (quota 189 m s.l.m.) fino alla profondità di - 27 m dal p.c.;
 - N.7 S.P.T. eseguite sul sondaggio S1;
 - N.7 prelievi di campioni di cui n.2 indisturbati e n.5 semidisturbati dal sondaggio S1 su cui sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio;
 - N.2 prelievi di campioni di cui uno indisturbato e uno semi-disturbato dal sondaggio S2, su cui sono state eseguite prove di laboratorio;
 - N.1 prova sismica con tecnica Down-Hole (DH) con onde P e SH all'interno del sondaggio S1;
 - N.5 profili di sismica a rifrazione;
 - Rilievo geostrutturale di dettaglio.
 - Rilievo geomorfologico di dettaglio (sponda sinistra)
- III) campagna geognostica luglio 2016:
 - N.5 sondaggi a carotaggio continuo (S3-16, S4-16, S5-16, S6-16, S7-16);
 - N.34 prelievi di campioni di cui n.32 indisturbati e n.2 semi-disturbati prelevati n.10 dal sondaggio S3-16, n.9 dal sondaggio S4-16, n.7 dal sondaggio S5-16, n.3 dal sondaggio S6-16 e n.5 dal sondaggio S7-16 da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio;
 - N.13 S.P.T. eseguite rispettivamente n.5 nel sondaggio S3, n.4 nel sondaggio S4 e n.4 nel sondaggio S5;
 - Prospezione geoelettrica costituita da 14 linee (array elettrodi) e n.3 profili elettrici.
- IV) campagna geognostica maggio 2018:
 - N.20 prelievi di campioni (da S1 a S20, fondo invasivo) da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio;
 - Rilievo geomorfologico di dettaglio (sponda destra).
- V) campagna geognostica ottobre 2018 – febbraio 2019:
 - N.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1 e S2);
 - N.7 saggi (Sa01 Febbraio 2019, Sa02 Febbraio 2019 e Sa03 Febbraio 2019, Sa03 Febbraio 2019, Sa04 Febbraio 2019, Sa05 Febbraio 2019, Sa06 Febbraio 2019, Sa07 Febbraio 2019) con prelievo di n.7 campioni da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio e n.3 campioni (Sa04 Febbraio 2019, Sa06 Febbraio 2019 e Sa07 Febbraio 2019), da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio;
 - N.1 prova sismica con tecnica Down-Hole (DH) con onde P e SH all'interno del sondaggio S1;

- N.1 indagine sismica attiva onde Rayleigh;
- N.4 indagini sismiche a stazione singola di tipo HVSR.

Per quanto riguarda il modello e i parametri geotecnici, a livello generale, è stato assunto dai progettisti un modello di sottosuolo caratterizzato da un primo strato di copertura costituito da materiale detritico in matrice limoso argilloso dello spessore massimo di circa 3 m dal p.c. (ubicato sulle sponde dell'invaso antropico e immediatamente sotto il corpo diga), seguito da un substrato litoide caratterizzato da alternanza di orizzonti siltitici, arenacei e calcarei.

Il substrato roccioso presenta nei suoi primi 15/20 m un'alterazione, con fratturazioni che si presentano da sub-verticali a verticali, che decresce progressivamente. Al di sopra del suddetto modello poggia il corpo di diga antropico.

Nello specifico, il corpo diga è stato suddiviso in due distinte unità geotecniche:

- "Orizzonte 1a": caratterizzato da terreni prevalentemente coesivi (limo argilloso) con abbondante matrice granulare (sabbia e ghiaia). Tale orizzonte è riscontrabile nella parte sommitale del corpo diga con estensione fino alla base dello stesso nella sua porzione di monte.
- "Orizzonte 1b": orizzonte caratterizzato da terreni prevalentemente granulari (ciottoli, ghiaia con sabbia) con abbondante matrice coesiva (limo argilloso). Tale orizzonte è riscontrabile nella parte basale del corpo diga con una prevalenza nella porzione centrale e di valle della stessa.

Al di sotto del corpo diga, le indagini a corredo del progetto, mostrano la presenza di un primo orizzonte naturale di materiale limoso-argilloso con abbondanti clasti siltitici, argillitici, arenacei e calcareo-marnosi fino alla profondità di circa -1,5 m / - 4 m dal p.c. derivante prevalentemente dal processo di alterazione e disgregazione del substrato litoide. Per la caratterizzazione geotecnica sono stati eseguiti lungo la sponda est dell'invaso antropico, a febbraio 2019, n.7 saggi geognostici, da cui sono stati prelevati n.7 campioni da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio e n.3 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Le prove geotecniche di laboratorio, sui n.7 campioni prelevati dai saggi geognostici a febbraio 2019, sono ancora in fase di elaborazione e, pertanto, non si dispone in questa sede dei loro risultati.

Sotto lo strato di copertura è presente lo strato litoide facente parte della formazione della Pietraforte (PTF) caratterizzato da un'alternanza di orizzonti siltitici, arenacei e calcarei. La caratterizzazione geomeccanica di tale strato è stata ottenuta sulla base del rilievo geomeccanico eseguito sulla sponda destra del corpo di diga e sulla base di prove di laboratorio (poi correlate alla scala dell'ammasso). Alla scala dell'ammasso, sono stati definiti i parametri caratteristici sulla base di indice RMR = 61 con un RQD del 73% (ammasso roccioso classificabile come discreto); giunti asciutti aventi superfici scabre e parametri geomeccanici lungo le singole discontinuità; parametri: angolo di attrito = 36° e coesione = 2,3 MPa;

Inoltre, è stato accertato che il substrato litoide alterato tende progressivamente a ridurre il suo grado di alterazione con la profondità. Dalle indagini geofisiche eseguite sulla sponda sinistra è emerso un possibile passaggio ad un substrato meno alterato ad una profondità minima di circa -20 m / -25 m dal p.c.

La ricostruzione litostratigrafica del corpo diga, della fondazione e dei sedimenti all'interno dell'invaso definita sulla base dei risultati dei sondaggi geognostici eseguiti tra il 2005 e il 2016 e sulla base delle prospezioni geoelettriche eseguite nel 2006 evidenzia una prevalenza della terra più sabbiosa nella porzione inferiore e di valle del corpo diga, con alcune disuniformità relative, che tuttavia non modificano la concezione di diga sostanzialmente omogenea.

In sintesi, dal punto di vista geotecnico lo sbarramento della diga nello stato di progetto è stato suddiviso nelle seguenti sub-unità:

- sub-unità 1a - corpo diga (lato monte e sommità): costituita da limi argillosi e argille limose, debolmente sabbiose o sabbiose, con diffusi clasti di ghiaia fine;
- sub-unità 1b - corpo diga (lato valle): costituita da ghiaia in matrice limoso-argillosa con sabbia;
- sub-unità 2 - ammasso di fondazione: basamento del corpo diga caratterizzato dalla presenza di siltiti scure alternate a Pietraforte
- sub-unità 3 – terreno di rinfiacco.

Nel progetto è stato assunto che i parametri caratteristici (V_k) siano prossimi ai parametri nominali medi ($V_m \approx V_k$) per ciascuna sub-unità geotecnica individuata.

Nella tabella seguente sono riassunti i parametri geotecnici caratteristici delle unità geotecniche definite:

Parametri geotecnici	Unità di misura	Sub-unità 1a Corpo diga	Sub-unità 1b Corpo diga	Sub-unità 2 Fondazione	Sub-unità 3 Rinfiacco
Peso di volume	kg/m ³	2025	2063	2400	2000
Peso di volume saturo	kg/m ³	2069	2115	2450	2100
ϕ'	°	26.4	29.9	35.9	28.0
c'	kPa	12.4	3.4	2320	10.0
c_u	kPa	67.3	70.2	50'000	65
k	m/s	1.10E-05	1.46E-04	1.00E-07	1.10E-05
n (porosità)		0.37	0.35	0.30	0.35

Per il materiale da utilizzare per i rinfiacchi dei paramenti sono stati assunti i valori della formazione 1a del rilevato attuale.

Con il progetto in esame sono state presentate anche le verifiche geotecniche di stabilità della diga nella configurazione che assume al termine dei lavori previsti.

In dettaglio, le verifiche di stabilità sono state eseguite con il metodo di Bishop, sia in campo statico che in campo dinamico, per tre differenti sezioni rappresentative il profilo di progetto dello sbarramento.

Per ogni sezione considerata, sono state condotte n. 29 verifiche, di cui n. 13 per il paramento di valle e n. 16 per il paramento di monte. Tutte le verifiche sono state condotte con il solo Approccio 1, con riferimento alla combinazione 2 dei coefficienti di sicurezza parziali previsti dalle NTC2018 (A2+M2+R2).

Per le combinazioni di carico in presenza di sisma il procedimento di verifica è stato articolato in due fasi: la prima fase è consistita nell'individuare le superfici di potenziale scorrimento più prossime all'instabilità ($FS \leq 1$) (metodo di Bishop semplificato); nella seconda fase, invece, sono stati calcolati gli spostamenti della massa di terreno instabile individuata nella prima fase mediante analisi semplificata con il metodo di Newmark,. Tra le 29 combinazioni di carico assunte per ciascuna delle 3 sezioni di progetto considerate, le combinazioni nn. 25, 26, 27, 28 e 29 si riferiscono alla verifica di stabilità del paramento di monte nei confronti del rapido svasso, sia in campo statico che in campo dinamico.

Le verifiche sismiche sono state condotte in parte assumendo valori di resistenza dei terreni espressi in tensioni totali e in parte in termini di tensioni efficaci tenendo conto dell'incremento delle pressioni neutre durante l'evento sismico come richiesto al punto E.6 delle NTD2014.

Entrando nel merito delle verifiche eseguite in campo dinamico, l'azione di sismica di progetto è stata definita, a partire della sismicità di base, considerando la diga strategica ($VR = VN \times Cu = 100$ anni). Nello specifico l'analisi di RSL ha permesso, per ogni stato limite considerato (SLO, SLD; SLV; SLC), la ricostruzione di n. 7 accelerogrammi rappresentativi della sismicità del sito. I risultati delle verifiche di stabilità sono riportati in forma tabellare e grafica nell'elaborato ET11 "Relazione sulle verifiche di stabilità e filtrazione", in appendice A "tabulati verifiche di stabilità". Dall'analisi dei risultati ottenuti, per ciascuna sezione considerata, le verifiche eseguite agli SLO e SLD sono sempre soddisfatte (coeff. di sicurezza $FS > 1$) e non si attendono spostamenti significativi ($max \approx 2$ cm). Invece, le verifiche condotte allo SLV e SLC, mostrano $FS < 1$ con spostamenti massimi dell'ordine di 15 cm per il paramento di monte e di 23 cm per il paramento di valle; quest'ultimo spostamento si registra per la sezione di progetto A_CO_05 (sezione all'incirca in posizione centrale al rilevato) con invaso alla massima regolazione e sisma allo SLC. Di conseguenza, il cedimento massimo (w_{MAX}) ai fini della verifica del franco idraulico di cui alle NTD2014 è stato assunto, cautelativamente, pari a 30 cm.

Il giudizio di accettabilità reso dal progettista, anche se sintetico, è riportato a pag. 11 della Relazione Generale, dove si legge : "Le verifiche sismiche condotte in condizioni drenate e quelle condotte in condizioni non drenate hanno evidenziato che i movimenti che si potrebbero sviluppare in caso di sisma nel corpo diga risultano compatibili con la tenuta idraulica della struttura e non pregiudicano in modo irreparabile le strutture murarie della diga e le opere accessorie. Si ritiene pertanto di poter esprimere un giudizio di accettabilità positivo."

Le verifiche strutturali sono relative alle opere in c.a. relative agli interventi di miglioramento idraulico.

L'adeguamento alla portata millenaria impone la realizzazione di n. 2 manufatti di scarico di superficie di notevoli dimensioni che insistono direttamente lungo le sezioni d'imposta, dx e sx, del corpo diga, per poi confluire al piede della stessa nella nuova vasca di dissipazione. Ciò comporta il confinamento della diga di materiali sciolti (a lati e al piede) con opere di sostegno anch'esse di dimensioni importanti sia lato diga che versante.

Gli interventi strutturali in progetto complessivamente prevedono:

- *La realizzazione dei nuovi sfioratori a bacco d'anatra: demolizione delle soglie di sfioro esistenti e ricostruzione delle nuove soglie a becco d'anatra.*
- *La modifica delle dimensioni dei canali sfioratori: demolizione e ricostruzione dei canali sfioratori con sezione ampliata sia in altezza sia in larghezza rispetto allo stato attuale. Per la realizzazione dei canali è stato ipotizzato l'utilizzo di diverse tecnologie costruttive tra cui opere di sostegno con pali di grande diametro tirantate, paratie con pali di grande diametro su due file per sistema "a cavalletto", paratie di micropali con 1, 2 o 3 ordini di tiranti, manufatti in cemento armato con fondazioni su micropali.*
- *La modifica delle dimensioni della vasca di dissipazione: demolizione e ricostruzione della vasca di dissipazione esistente. La nuova vasca è articolata in tre parti (Vasca lato diga, con pareti di altezza massima di circa 13m, planimetricamente ubicata in sovrapposizione alla vasca esistente - Parte centrale vasca collegata al pozzetto dello scarico di fondo con pareti di altezza massima di circa 11m, planimetricamente ubicata subito a valle della vasca esistente - Vasca di raccordo terminale dopo lo stramazzo). Per la costruzione si prevede la realizzazione di paratie di micropali tirantate.*
- *La realizzazione di uno scarico di fondo mediante microtunneling: all'interno del pozzo di partenza sarà montato il gruppo di spinta costituito da quattro pistoni telescopici fissati posteriormente ad una piastra*

metallica ed anteriormente all'anello di spinta. Sulla platea di fondo sarà fissato un telaio metallico con la funzione di slitta per i conci di tubazione. Per il funzionamento del gruppo di spinta è necessario realizzare un muro di controspinta capace di contrastare le azioni in gioco; è prevista la realizzazione di un telaio in acciaio con funzionamento a mensola tozza composta da profilati in acciaio HEM320 con calastrelli HEB 200 e controventi con L100x10. La parte della mensola che lavora a trazione sarà fondata su micropali armati, mentre la parte della mensola che lavora a compressione sarà fondata su platea da impostare sopra lo strato roccioso.

- La realizzazione delle opere di presa dello scarico: Il manufatto sarà costituito da un canale con sezione a C di altezza variabile da 200 a 300 centimetri e larghezza interna pari a 500 centimetri. Le pareti avranno spessore pari a 40 centimetri. La platea, di spessore di 50 e 100 centimetri sarà impostata su fondazioni di tipo profondo costituite da micropali e armatura. La parte terminale del canale avrà sezione chiusa per il raccordo con lo scarico di fondo. In tale porzione le pareti avranno sezione variabile.

- La realizzazione del pozzetto valvole e pompe dello scarico di fondo: Per la realizzazione dello scavo si prevede la realizzazione di paratie di micropali tirantate con 2 ordini di tiranti, l'opera sarà dotata di cordolo di testa in c.a. di dimensioni pari a 60x60 centimetri da realizzare preliminarmente allo scavo su cui saranno applicati tiranti passivi, i cordoli degli ordini inferiori avranno dimensioni pari a 45x69 centimetri. Il pozzetto sarà collegato ad una parte della vasca di dissipazione. Nel suo complesso il manufatto avrà dimensioni in pianta inscrivibili in un rettangolo di dimensioni pari a 21x15.55m circa.

- La fondazione della vasca e del pozzetto avranno rispettivamente uno spessore pari a 100 e 60 centimetri. Le pareti entro terra e fuori terra avranno rispettivamente uno spessore pari a 60 e 25 centimetri. La soletta di copertura del pozzetto avrà spessore pari a 30 centimetri mentre la soletta di copertura del vano scala avrà spessore pari a 20 centimetri.

- La realizzazione di un pozzetto per il convogliamento di drenaggi e perdite: è previsto un pozzetto per il controllo dei drenaggi a valle della diga. Il manufatto avrà forma quadrata di dimensioni pari a 500x500 centimetri e altezza pari a 906 centimetri e sarà composto da una platea in cemento armato e da pareti in cemento armato da 50 centimetri. Le fondazioni saranno di tipo profondo costituite da micropali e armatura.

- Lo spostamento della strada di servizio: La modifica del canale sfioratore sinistro comporta la necessità di uno spostamento planimetrico della strada di servizio presente all'interno dell'area in oggetto. Tale spostamento comporta la realizzazione di opere di sostegno costituite da paratie di micropali tirantate.

- La realizzazione di tre passerelle in acciaio: La struttura sarà costituita da due travi principali IPE 450, da rompitratta HEA 180, da diagonali in pianta L80x80x8 e da piano di calpestio con Orsogrill.

Il complesso degli interventi di tipo strutturale è illustrato negli elaborati tecnici ET.09.01 (Relazione sulle strutture: normativa di riferimento, descrizione, analisi della risposta sismica, materiali previsti, relazione di calcolo, fascicolo dei calcoli strutturali, piano di manutenzione) e ET.09.02/10 (tabulati di calcolo), nonché negli elaborati grafici strutturali STR.01/14.

Le opere strutturali sono state dimensionate con calcoli di stabilità e strutturali (elab. ET.09.01/10), ad eccezione degli sfioratori a becco d'anatra.

OSSERVAZIONI ISTRUTTORIE

Nel seguito si espongono le osservazioni istruttorie riguardo al progetto definitivo "Interventi di miglioramento della diga di Drove di Cepparello", datato maggio 2019.

Aspetti generali

Il Gestore ha comunicato che il progetto in argomento è stato parallelamente assoggettato a procedura di VIA presso il MATTM (in corso).

Il progetto risulta in generale completo dal punto di vista degli elaborati previsti per il livello di progettazione definitivo (ad eccezione di alcuni elaborati che potranno essere oggetto di integrazione successiva), è coerente con lo stato dei luoghi e risponde a gran parte delle osservazioni formulate con riferimento al progetto di fattibilità tecnica ed economica, rispetto al quale presenta alcune sostanziali differenze, motivate dagli esiti della sperimentazione su modello fisico e da scelte migliorative riguardanti l'ubicazione dello scarico di fondo.

Si ritiene pertanto che il progetto sia composto da elaborati tali da consentirgli di raggiungere sostanzialmente il livello definitivo previsto dalla vigente regolamentazione.

Ai fini della miglior definizione del progetto esecutivo si formulano le seguenti osservazioni:

- *Normativa di riferimento. Il progetto, avviato nel 2016 e presentato per la fase di fattibilità tecnico-economica nel 2017, si basa sulle NTD2014 coordinate con le NTC2008 e relativa Circolare. La fase di progettazione esecutiva dovrà essere redatta tenendo conto di quanto prescritto anche dalle NTC2018 e relativa Circolare.*
- *Elaborati. Pur essendo indicati nell'elenco elaborati, non risultano presenti: ET.07 – Relazione rilievi plano-altimetrici e ES.02 - Aggiornamento prime indicazioni e misure per la stesura dei piani di sicurezza. Detti elaborati dovranno esser pertanto integrati per completezza documentale.*
- *Quote di riferimento. Il progetto definitivo si basa su un nuovo rilievo eseguito nel 2018. Sulla base di tale rilievo, le quote caratteristiche della diga, rispetto a quelle indicate dal vigente FCEM, risultano essere traslate verso l'alto di +0,70 m. Il progetto esecutivo dovrà pertanto comprendere una relazione sul raccordo altimetrico tra elaborati redatti in epoche differenti e con il FCEM della diga.*
- *Altezza diga. Il progetto prevede un minimo sopralzo della diga di 0,30 m e lo spostamento dei piedi di monte e valle in conseguenza dei rinfilanchi da realizzare su entrambi i paramenti. La determinazione dell'altezza nominale della diga, ai fini di varie conseguenze regolamentari, allo stato cautelativamente assunta con riferimento alla quota di fondo dei canali fagatori nel punto di immissione nella vasca di dissipazione, deve essere oggetto di espressa e motivata determinazione. Anche a tale fine le sezioni di progetto della diga devono essere integrate anche con una rappresentazione, in scala adeguata, della "sezione tipo" dello sbarramento post-operam, in corrispondenza della mezzera dello sbarramento (sezione di massima altezza) e a circa 1/3 dello stesso.*
- *Scarico di fondo. Devono essere definite le modalità di dismissione dello scarico di fondo esistente. Risulta inoltre necessario che le opere previste per la realizzazione del nuovo scarico di fondo siano dettagliate sia in termini di elaborati grafici che di calcoli.*
- *Verifiche strutturali. Per gli sfioratori a becco d'anatra risultano assenti i relativi calcoli strutturali che pertanto dovranno essere oggetto di integrazione nell'ambito delle relazioni di calcolo. Il progetto non comprende inoltre la verifica sismica di alcune opere accessorie minori esistenti (locale gruppo elettrogeno e locale foresteria), che è opportuno includere nel progetto esecutivo, anche se la diga ricade in zona sismica 3.*
- *Monitoraggio dell'opera. La documentazione relativa al monitoraggio dell'opera durante e dopo i*

lavori risulta frammentata. La relazione sul monitoraggio riguarda l'opera allo stato attuale, è presente un accenno al monitoraggio durante i lavori nella relazione generale, mentre risulta presente un elaborato grafico relativo al monitoraggio dopo i lavori, dove, tra l'altro non risulta indicata l'asta idrometrica. In sede di progettazione esecutiva il piano di monitoraggio ante-intra-post operam dovrà essere illustrato in maniera completa ed organica anche ai fini della redazione del Foglio di condizioni per la costruzione e il successivo aggiornamento del FCEM.

- Studi onde di piena. L'aggiornamento degli studi di propagazione delle onde di piena artificiali ai sensi della Circ. PCM 22806/1995 dovrà far parte del Progetto esecutivo. In particolare dovrà essere aggiornato lo studio conseguente a manovre volontarie di apertura degli scarichi, in ragione della realizzazione del nuovo scarico di fondo che prevede una portata massima esitata di circa 13 m³/s (lo scarico di fondo esistente ha una portata massima inferiore a 1 m³/s). Lo studio per ipotetico collasso dello sbarramento dovrà essere aggiornato in relazione alle modifiche dello scarico di superficie che comportano una maggiore portata scaricata nella condizione iniziale di riferimento (livello idrico a quota coronamento).

- Movimenti terra, cave e discariche. In sede di progettazione esecutiva deve essere data applicazione alla normativa in materia di terre e rocce da scavo e alle norme di cui al D.Lgs. 152/2006 includendo i correlati elaborati di progetto.

- Progetto di gestione dell'invaso (gestione dei fenomeni di interrimento). Il progetto di gestione, contenuto tra gli elaborati progettuali, non risulta essere stato presentato alla Regione Toscana per la necessaria approvazione relativa, almeno, alle operazioni inerenti agli interventi qui all'esame. Il progetto esecutivo dovrà essere preferibilmente accompagnato dal progetto di gestione approvato.

E' inoltre necessario che il progetto esecutivo comprenda un piano di gestione delle piene nel corso dei lavori e un coerente cronoprogramma dei lavori stessi.

Aspetti idrologici e idraulici

Con riferimento agli aspetti idrologici e idraulici si formulano le osservazioni di seguito esposte.

Il progetto di adeguamento della sicurezza idraulica è conseguente alla rivalutazione idrologica del bacino sotteso alla diga effettuata dal Gestore e convalidata dalla Divisione specialistica nel 2013 (colmo millenario di circa 190 m³/s - nota prot. n. 2127 del 12.02.2013). La risultante onda di piena millenaria, aggiornata sia nel progetto preliminare che nel progetto oggetto di questa istruttoria, è stata stimata, in ulteriore incremento, in una portata al colmo di 208 m³/s (superficie del bacino sotteso pari a 11,4 km²).

Dette stime della portata e dell'idrogramma di progetto sono da considerarsi assentite da DGDighe, competente per le dighe esistenti ai sensi dell'art.4 del D.L. 39/2004 conv. L. 139/2004.

Il progetto definitivo introduce varie modifiche al progetto preliminare, presentato a marzo 2017, tra cui:

- la diversa configurazione dei canali fugatori che sono stati regolarizzati;*
- la diversa configurazione della vasca di dissipazione che è stata approfondita e allungata;*
- la realizzazione di un nuovo scarico di fondo.*

Essenzialmente, il progetto consente di smaltire la piena millenaria con il solo ausilio degli scarichi di superficie, la cui soglia è stata abbassata di un metro e allungata attraverso l'utilizzo della tipologia a becco di anatra che permette, in ridotti spazi planimetrici, di ottenere uno sviluppo aumentato della lunghezza sfiorante⁶. La soluzione è conforme a quanto previsto per le nuove dighe dalle NTD 2014 e consente di

risolvere una situazione di grave insufficienza della sicurezza idraulica della diga nella configurazione attuale, che per tale motivo è stata soggetta ad una drastica limitazione della quota sperimentale autorizzata.

Il franco idraulico assicurato dalle opere in progetto al passaggio della piena è pari a 2.65 m, il franco netto risultante della diga è maggiore del minimo richiesto dalla vigente norma tecnica (vedi nota n. 5) ⁷.

Detto valore di franco, pienamente accettabile e adeguato sia alla nuova portata di progetto sia ai requisiti fissati dalle NTD, è da considerarsi anche determinato con criteri cautelativi, anche in virtù di una sovrastima dell'altezza della diga, essendo stato assunto quale piede di valle la quota finale dello scivolo dei canali fuggatori nella vasca di dissipazione.

L'intera configurazione degli scarichi e dell'opera di dissipazione sono stati oggetto di un modello fisico idraulico in scala all'Università di Padova, risolvendo pertanto fin dalla fase definitiva elementi di possibile adattamento e miglioramento progettuale.

Le scale di deflusso dei due sfioratori di superficie, utilizzate nel calcolo della verifica del franco idraulico di sicurezza, sono state determinate mediante i dati ricavati dalle prove sperimentali sul modello fisico; esso ha rilevato la portata totale in uscita, mentre non sono state misurate le singole portate evacuate nei due canali fuggatori. Per far ciò, al fine di conoscere la portata proveniente dalle due soglie, è stato costruito un modello idraulico numerico 1D in moto permanente in corrente mista tramite il software HEC-RAS. Tale modellazione numerica presenta alcune limitazioni⁸ ai fini dell'utilizzo nel caso specifico e si ritiene pertanto che in fase di progettazione esecutiva i calcoli finalizzati alla ripartizione delle portate di deflusso tra i due becchi d'anatra siano effettuati sulla base di modelli numerici o criteri più adeguati al caso in questione in coerenza comunque con i risultati complessivi del modello fisico.

⁶ Si rileva che tra la configurazione di progetto (riportata in tutte le relazioni e disegni sopracitati) e quella di modello (rif. ET.03 Relazione modello fisico) esistono alcune discrepanze formali in merito alle quote assunte alla base del modello e dei calcoli. Infatti, nel progetto, la quota di sfioro (e tutte le altre conseguenti) è pari a 185.7 m s.l.m., mentre nel modello si fa riferimento alla quota di 185 m s.l.m. con quota del ciglio sfiorante dei nuovi sfioratori di superficie. Il Progettista ha chiarito che la discrepanza è solo formale e derivante dal rilievo eseguito nel 2018, per cui, in sintesi, si fa riferimento alla quota di 185.7 m s.l.m. come quota di sfioro libero e conseguente quota di massima regolazione, derivante dall'ultimo rilievi topografico effettuato nel 2018 (rif. ET.01 Relazione generale – paragrafo 2.1.6).

⁷ Nel testo della relazione idrologica è riportato il valore di 0.40 m come abbassamento "cautelativo" dovuto al cedimento da sisma, ma nella tabella è poi riportato (e utilizzato nel calcolo) il valore di 0.30 m. Nella relazione geotecnica il cedimento viene computato in 0.23 m. Si deduce pertanto che il valore di 0.30 m è comunque cautelativo e accettabile.

⁸ A parte l'esatta ubicazione della sezione posta a base del confronto tra il modello fisico e quello numerico, con riferimento alla pubblicazione USBR del 2016 (inerente la versione del software utilizzata v. 5.0 "Hydraulic Reference Manual") si rileva che il software ha alcune limitazioni di utilizzo riguardanti la pendenza del fondo dell'alveo/canale. Infatti, il programma è in grado di fornire risultati attendibili per alvei/canali a debole pendenza, inferiore al 10%; in tutti gli altri casi, i risultati contengono errori computazionali (tanto maggiori, quanto è più grande il valore della pendenza dell'alveo). Inoltre ulteriore fonte di incertezza si ha relativamente ai valori di scabrezza assunti.

Data l'importanza del progetto di incremento della sicurezza idraulica della diga di Drove di Cepparello, la Div. specialistica 7 (Idraulica) di DGDighe, ha provveduto attraverso autonome valutazioni a sviluppare alcuni calcoli di confronto, per verificare ulteriormente alcune parti dell'intervento in oggetto, tra cui le soglie degli scarichi di superficie e la vasca di dissipazione.

Relativamente alle soglie di superficie, si osserva che gli scarichi progettati, riprendono l'ingombro planimetrico di quelli esistenti, sebbene varino di dimensioni e geometria. La maggiore modifica presentata nel progetto riguarda la soglia che è stata progettata sia in destra che in sinistra idraulica per essere del tipo

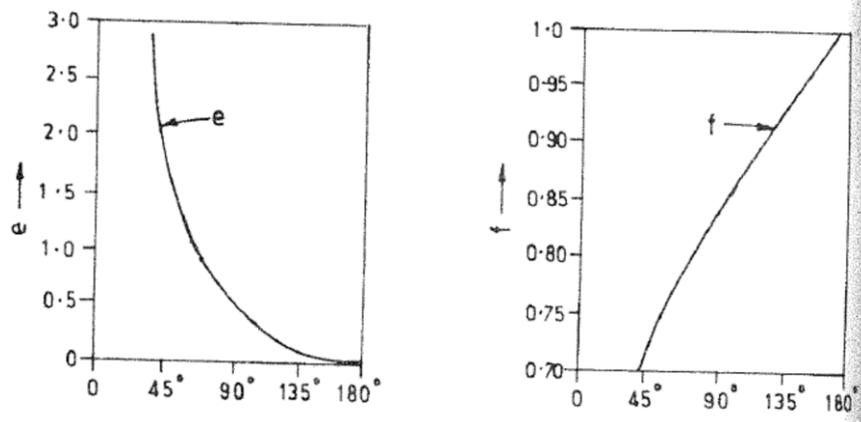
“a becco d’anatra”. Il tipo di soglia presentata in progetto è particolarmente efficace nel caso in cui debba essere incrementata la capacità di smaltimento di uno sfioratore esistente che ha stretti vincoli riguardo allo sviluppo spaziale dell’opera stessa, sebbene tale incremento si realizzi con modestissimi tiranti. Infatti, al crescere del carico sulla soglia, lo sfioratore a becco d’anatra riduce notevolmente la propria performance. Il coefficiente di efflusso di una soglia del tipo “a becco d’anatra” dipende dagli stessi parametri delle soglie rettilinee, ma deve essere ridotto attraverso un opportuno coefficiente. Esistono vari riferimenti di letteratura per il calcolo del coefficiente di riduzione; nell’istruttoria specialistica della Div.7, a titolo di inquadramento concettuale e confronto con i risultati del modello fisico, è stata utilizzata la teoria proposta da Khatsuria in “Hydraulics of spillway and energy dissipators” (2005) per cui la portata effluente da una soglia “a becco d’anatra” vale:

$$Q = C_r * C_d * L * H^{1.5}$$

dove:

- H_a è il carico di progetto sulla soglia, pari a 1.65 m;
- L è lo sviluppo della soglia (28.70 m in destra e 38.00 m in sinistra);
- C_d è il coefficiente di efflusso legato alla geometria della soglia che nel caso in esame è posto pari a 1.17, ovvero quello di una soglia larga per la particolare geometria della soglia stessa (rapporto tra altezza dello sfioratore e carico sopra di esso);
- C_r è il coefficiente di riduzione, funzione di f ed e (parametri che variano con l’angolo del becco d’anatra) e dello sviluppo della soglia.

I parametri f ed e sono dati dai seguenti grafici.



Svolgendo i calcoli, risulta che il coefficiente di riduzione da applicare al caso in esame è 0.72 in destra e in sinistra. Applicando l’equazione riportata precedentemente si ottiene che lo sfioratore in destra, per il carico di progetto, riesce a smaltire una portata di 75 m³/s, mentre quello in sinistra, nelle stesse condizioni, una portata di 108 m³/s. Dai calcoli proposti, la portata totale effluente dalla diga di Drove di Cepparello con il carico di progetto è pari a 183 m³/s. Confrontando i risultati con il progetto proposto emerge che:

- per il modello fisico idraulico esiste una buona corrispondenza tra i valori di portata totale smaltibile con il carico di progetto;
- per il modello numerico proposto va evidenziato che, sebbene si giunga a risultati più che confrontabili, il coefficiente di efflusso totale (comprendente anche la riduzione dovuta alla particolare forma geometrica)

è assunto essere lo stesso per entrambi i becchi, diversamente dalla teoria sopra proposta (nel calcolo attraverso il modello monodimensionale le soglie dello scarico in questione sono state simulate con un artificio attraverso due soglie rettilinee).

In ogni caso, data la sperimentazione su modello fisico, i risultati riportati nel progetto proposto appaiono più che attendibili.

Per quanto riguarda il sistema di dissipazione a valle degli scivoli, a titolo di verifica di quanto proposto in progetto, sono stati effettuati dei calcoli preliminari basati essenzialmente sulla teoria riportata in “Hydraulic design of stilling basin and energy dissipators” (1978, USBR).

Il dimensionamento di una vasca USBR “Basin Type I o II”, che sono quelle con una maggiore similitudine con il caso in esame per i valori delle velocità e del numero di Froude in gioco, prevede che per la portata di progetto vengano fissato:

- L = lunghezza della vasca, tale da contenere il risalto
- W = larghezza della vasca, tale da assicurare D_2 (altezza coniugata)
- Z_b = quota del fondo della vasca, tale da assicurare D_2 (altezza coniugata)

Seguendo la teoria summenzionata, sono stati eseguiti gli stessi calcoli nel caso in cui il cuscinio d'acqua coincida con la quota della soglia della vasca posta a valle (163.10 m slm) e nel caso in cui si verificano le condizioni sulla soglia indicate dal Progettista (quota dell'acqua a 168.53 m slm). Il calcolo è stato svolto sia nel caso di vasca di tipo I che in quello di tipo II (per la portata scaricata millenaria).

Dai risultati è emerso che il risalto si innesca se sulla soglia sussistono condizioni di carico circa pari a quelle ipotizzate dal Progettista; in altre parole, affinché si formi un risalto avente le caratteristiche previste, è necessario un cuscinio d'acqua maggiore o uguale a 8 m; tale altezza corrisponde al passaggio per l'altezza critica sopra la soglia di valle della vasca ed verificata tramite la modellazione fisica. Il risalto che si forma in questo caso varia da 60 a 30 m nel caso si opti per una vasca di tipo I o di tipo II. È necessario comunque notare che entrambi i modelli di vasca teorici non rispecchiano pienamente la situazione reale, soprattutto nel caso della vasca di tipo II. Infatti, nella vasca in progetto non sono previsti elementi dissipatori (come impone il progetto di una vasca di tipo II), né essa ha una lunghezza tale da contenere il risalto che si forma per una vasca di tipo I ($L_{reale\ vasca} \sim 50\ m$ Vs. $L_{risalto\ tipo\ I} \sim 60\ m$).

Premesso ciò, si noti che le prove su modello fisico assicurano che il risalto venga contenuto all'interno della vasca. L'incongruenza con i risultati della teoria applicata precedentemente è giustificabile in quanto, come già riportato, sebbene la vasca in oggetto non rispecchia pienamente gli standard geometrici di quelle utilizzate nei calcoli di confronto, esistono alcuni elementi in gioco che garantiscono che la dissipazione dell'energia avvenga sostanzialmente nella stessa modalità prevista per le vasche standard I e II. Per esempio, lo scontro tra i due flussi provenienti dai canali di scarico in destra e sinistra dissipa una grande quantità di energia e assicura che il successivo risalto sia contenuto entro la lunghezza della vasca, assumendo di fatto la stessa funzione degli elementi dissipativi previsti nella vasca di tipo II.

In ogni caso il modello fisico ha sperimentato il funzionamento della vasca per portate di Tr pari a 50, 200 e 1000 anni. I risultati sono sempre soddisfacenti; in particolare il Tr della portata di progetto (fino a 1000 anni) appare nel caso specifico giustificato dalla vicinanza della vasca con il piede della diga di materiali sciolti.

Per quanto riguarda lo scarico di fondo, si nota che sebbene venga riportato il grafico dell'interpolazione della scala di deflusso dello scarico di fondo, non è riportata la legge di efflusso, né la tabella con i valori corrispondenti, i cui calcoli pertanto dovranno essere precisati e dettagliati in sede di progetto esecutivo, unitamente ai coefficienti delle perdite assunti a base del calcolo.

Per quanto riguarda l'opera di dissipazione a valle degli scarichi di superficie, la scelta effettuata dal Progettista appare essere cautelativa (sia con riferimento alla lunghezza del risalto che al tempo di ritorno della portata di progetto della vasca), seppur il fenomeno dissipativo nel suo insieme appaia, dai risultati del modello, essere molto turbolento a causa dei flussi di acqua provenienti dai due canali di restituzione in destra e sinistra che si incrociano, formando un sopralzo della quota idrica significativo, ma contenuto nelle strutture anche per eventi estremi.

In merito all'obiettivo di incremento di sicurezza idraulica, ovvero alla valutazione della capacità di smaltimento attribuita agli scarichi nella nuova configurazione di progetto e del franco idraulico, si ritiene che il progetto sia stato redatto in modo più che adeguato e che la nuova configurazione proposta risulti cautelativa in quanto il franco reale che si instaura al passaggio della piena millenaria è superiore a quello minimo imposto dalla normativa.

Anche la scelta di spostare lo scarico di fondo all'esterno della diga e dei relativi terreni di fondazione risulta coerente con la vigente impostazione normativa (NTD2014), tenuto anche conto dei difetti di tenuta in passato evidenziati dallo scarico stesso. Restano alcuni approfondimenti necessari per dettagliare le opere previste per detto scarico di fondo ivi compresi i relativi calcoli idraulici.

Rispetto all'attuale configurazione (tubazione in acciaio DN 400 mm, sottopassante lo sbarramento entro un cordolo in calcestruzzo ammortato in fondazione, presidiata a monte da una valvola a farfalla e a valle da una saracinesca) si ottiene un rilevante miglioramento, sia in termini di portata scaricabile, sia in termini di sicurezza intrinseca, sia in termini di posizione e manutenibilità) con un adeguamento sostanziale alla vigente normativa.

Nella relazione idraulica il Gestore presenta altresì calcoli minori, che costituiscono una solida base di partenza da sviluppare nella successiva fase di progettazione esecutiva, quali il dimensionamento della dissipazione dello scarico di fondo, il dimensionamento del sistema di pompaggio e la verifica idraulica dell'attraversamento provvisorio.

Aspetti strutturali e geotecnici

Per quanto concerne la caratterizzazione geotecnica delle varie unità litologiche riscontrate nel sito d'interesse (struttura di ritenuta e sua fondazione, sponde del serbatoio e sedimenti depositati sul fondo dell'invaso), questa risulta essere ben argomentata e corroborata da numerose prove geotecniche/geofisiche eseguite sia in situ che in laboratorio.

Il modello geotecnico della diga e dei terreni di fondazione nello stato di progetto è stato suddiviso nelle seguenti sub-unità:

- *sub-unità 1a - corpo diga: costituita da limi argillosi e argille limose, debolmente sabbiose o sabbiose, con diffusi clasti di ghiaia fine;*
- *sub-unità 1b - corpo diga: costituita da ghiaia in matrice limoso-argillosa con sabbia;*
- *sub-unità 2 - ammasso di fondazione: siltiti scure alternate*
- *sub-unità 3 - terreno di rinfianco.*

Nel progetto è stato assunto che i parametri caratteristici (V_k) siano prossimi ai parametri nominali medi ($V_m \approx V_k$) per ciascuna sub-unità geotecnica individuata.

Relativamente al modello geotecnico si ritiene che la Relazione geotecnica del Progetto esecutivo debba includere una migliore schematizzazione delle terre e dei terreni della sezione tipo, semplificando con approccio ingegneristico il contatto tra le terre delle unità 1, sub a e b.

Le caratteristiche fisico-meccaniche del materiale da utilizzare per il rinfianco dei paramenti, per il quale sono stati assunti i valori della formazione 1a del rilevato attuale, sono state indagate nel febbraio del 2019 attraverso il prelievo di n. 7 campioni sottoposti a prove geotecniche di laboratorio (prove Proctor standard, prove di taglio, limiti di Atterberg ecc). Al riguardo, è necessario perfezionare in sede di progetto esecutivo la caratterizzazione geotecnica dei nuovi rinfianchi – negli elaborati riferita alle indagini indirette mediante l'esecuzione di prove sismiche a rifrazione (n. 5 stendimenti per un tot. di 230 m in sponda sx) – integrando gli elaborati stessi con i risultati delle suddette prove di laboratorio effettuate successivamente alla redazione del progetto.

Inoltre, sempre per il materiale di rinfianco, è necessario verificare le caratteristiche fisico-meccaniche anche in situ attraverso l'esecuzione di un rilevato sperimentale prima dell'inizio dei lavori. A tal fine dovrà predisporre un adeguato piano d'indagini esecutivo con lo scopo di misurare la densità del materiale posto in opera all'optimum proctor di progetto nonché la permeabilità dello stesso e definire le modalità di compattazione e ammorsamento con il rilevato esistente e con le opere in c.a..

Le verifiche di stabilità, in condizioni statiche e sismiche, sono state eseguite con il metodo di Bishop, sia in campo statico che in campo sismico, per tre differenti sezioni rappresentative il profilo di progetto dello sbarramento. Per le combinazioni di carico in presenza di sisma il procedimento di verifica è stato effettuato con il metodo di Newmark. Le verifiche sismiche sono state condotte assumendo valori di resistenza dei terreni espressi in tensioni totali e in tensioni efficaci, tenendo conto dell'incremento delle pressioni neutre durante l'evento sismico come richiesto al punto E.6 delle NTD2014.

Con riferimento alle verifiche eseguite in campo dinamico, l'azione sismica di progetto è stata definita, a partire dalla sismicità di base, correttamente considerando la diga strategica ($VR = VN \times Cu = 100$ anni).

Dall'analisi dei risultati ottenuti, per ciascuna sezione considerata, le verifiche eseguite agli SLO e SLD sono sempre soddisfatte (coeff. di sicurezza $FS > 1$) e non si attendono spostamenti significativi ($max \approx 2$ cm). Al contrario le verifiche condotte allo SLV e SLC mostrano $FS < 1$, con spostamenti massimi dell'ordine di 15 cm per il paramento di monte e di 23 cm per il paramento di valle; quest'ultimo spostamento si registra per la sezione di progetto A_CO_05 (sezione all'incirca in posizione centrale al rilevato) con invaso alla massima regolazione e sisma allo SLC. Di conseguenza, il cedimento massimo (w_{MAX}) ai fini della verifica del franco idraulico di cui alle NTD2014 è stato assunto, cautelativamente, pari a 30 cm.

Riguardo i suddetti risultati il progettista ha espresso un giudizio di accettabilità positivo.

La Divisione specialistica, constatando il rispetto delle indicazioni e prescrizioni dettate dalla normativa vigente, ha ritenuto parimenti detti risultati accettabili. Si ritiene in proposito che il calcolo dei cedimenti debba essere integrato con approfondimenti relativi alle condizioni statiche (cedimenti indotti dai nuovi rinfianchi).

Complessivamente le verifiche presentate contengono l'esame della risposta della diga anche in condizioni sismiche, della verifica degli organi di scarico e della verifica della stabilità delle sponde; a riguardo si

evidenza che sono state condotte verifiche di stabilità lungo i versanti prospicienti l'invaso su 7 sezioni,; i risultati mostrano fattori di sicurezza minimi sempre superiori al valore minimo imposto dalla norma ($FS=1.1$).

Relativamente agli interventi in progetto, si osserva inoltre quanto segue:

- *riprofilatura dei paramenti di monte e di valle: Gli interventi di rinfianco dei paramenti della diga, saranno realizzati previo scotico e riprofilatura di ammorsamento dei paramenti esistenti. Tenuto conto della durata prevista in progetto (circa 6 mesi), è necessario cadenzare le attività di riprofilatura e scotico al fine di non esporre a lungo alle azioni degli agenti atmosferici le superfici dei paramenti esistenti trattate. Inoltre, è necessario prevedere lo scotico tra uno strato e l'altro delle nuove stese di materiale.*

Le modalità di costipamento, sia in termini di altezze degli strati che in termini di energia di costipamento (tipo e peso del rullo, n. di passate), dovranno essere definite attraverso l'esecuzione di un rilevato sperimentale. L'efficacia del costipamento dovrà essere indagata con prove di densità e permeabilità eseguite direttamente in situ sui rilevati sperimentali allo scopo realizzati.

Dovranno essere curati, sia in termini di progettazione e dettagli esecutivi sia in termini realizzativi, i contatti tra terreno e strutture in calcestruzzo (muri dello scarico di superficie lato diga).

Specifiche e più estese protezioni del paramento di monte della diga dovranno essere inserite nelle zone più prossime alle strutture a becco d'anatra, in relazione ai moti della corrente idrica in entrata allo sfioratore ivi attesi.

- *opere strutturali (rifacimento degli scarichi di superficie - soglie sfioranti a "becco d'anatra" e canali fuggatori con le relative opere provvisionali, realizzazione della nuova vasca di dissipazione e del nuovo scarico di fondo al di fuori del corpo diga): non sono state formulate osservazioni da parte della Div. 6 specialistica sugli elaborati e sui calcoli di stabilità e strutturali, che dovranno essere oggetto in fase esecutiva dei procedimenti conseguenti alle disposizioni organizzative riferite all'art.1, co.7bis del D.L. 507/19954 conv. L.584/1994. L'interazione tra opere provvisionali e scavi con il corpo diga esistente dovrà essere oggetto di specifiche valutazioni in merito agli accorgimenti e monitoraggi necessari nell'ambito della Relazione geotecnica del Progetto esecutivo.*

Delle osservazioni sopra esposte potrà tenersi conto nella definizione del Foglio di condizioni per la costruzione ai sensi dell'art.6 del D.P.R. 1363/1959, oltre che nell'ambito della definizione del Progetto esecutivo.

CONCLUSIONI

Alla luce delle considerazioni precedenti si ritiene che con il Progetto definitivo "Interventi di miglioramento della diga di Drove di Cepparello" datato maggio 2019 sia stata data sostanziale e corretta ottemperanza alle prescrizioni di questa Amministrazione emesse nell'ambito dell'attività di vigilanza e alle osservazioni formulate nel parere sul progetto di fattibilità tecnica-economica espresso dall'Ufficio Tecnico per le Dighe di Firenze.

La soluzione tecnica proposta apporta il necessario contributo favorevole alla stabilità globale dell'opera e alle condizioni di sicurezza idraulica, conducendo ad un significativo incremento della sicurezza della diga in conformità alla normativa tecnica intervenuta (D.M. 26/6/2014).

Il rifacimento degli scarichi della diga, sia di superficie che di fondo, conduce infatti al necessario incremento della sicurezza idraulica dell'opera (portata degli scarichi di superficie, franco, posizione e portata dello scarico di fondo), in coerenza con la rivalutazione idrologico-idraulica assentita.

A fronte di tale beneficio, che consente il recupero all'esercizio idropotabile della diga, gli interventi previsti comportano un notevole impegno dimensionale e strutturale delle opere e, nella configurazione di progetto, lo sbarramento di materiali sciolti (in terra omogenea) viene di fatto confinato da manufatti in calcestruzzo armato, accentuando ma non modificando l'attuale configurazione.

Per completezza si osserva che gli interventi così come definiti nel progetto definitivo comportano anche un significativo incremento dei costi rispetto a quanto stimato nel progetto di fattibilità tecnica-economica (quadro economico del progetto di fattibilità tecnica-economica: importo per lavori pari a € 6.737.445; quadro economico del progetto definitivo: importo per lavori pari a € 11.904.689; l'incremento è in relazione - in particolare - allo spostamento dello scarico di fondo e alle variate dimensioni della vasca di dissipazione a seguito del modello idraulico).

Essendo gli interventi finanziati in prevalenza mediante il Piano d'Ambito e relativo Piano Economico Finanziario assentito dall'Autorità Idrica Toscana e in termini minoritari da questa Amministrazione mediante i fondi FSC 2014-2020, con nota prot. n. 22497 del 18.09.2019 la DGDighe ha chiesto alla citata Autorità Idrica di voler confermare l'interesse all'opera e all'esecuzione degli interventi anche per come rimodulati in termini di costi, tenuto conto del volume di invaso conseguibile con l'esercizio ai fini idropotabili (520.000 m³) e, in caso affermativo, la disponibilità dell'Autorità medesima e del Gestore all'individuazione di ulteriori risorse per il cofinanziamento maggioritario degli interventi stessi, a copertura del costo dell'opera per come sarà definito a seguito dei procedimenti in corso. L'Autorità Idrica Toscana, con nota prot. n. 11175/2019, ha confermato l'esigenza di recupero della diga ai fini idropotabili anche in quanto "la dismissione implicherebbe costi molto elevati a fronte di nessun beneficio" e ha ritenuto di "programmare il maggior finanziamento nel Programma degli Interventi di Acque S.p.A (Piano d'Ambito), così da coprire i maggiori importi attraverso la tariffa del SII (pari ad oggi 12,8 milioni complessivi a Tariffa)".

In conclusione, si ritiene il Progetto definitivo meritevole di approvazione in linea tecnica con le osservazioni in precedenza formulate, che possono trovare recepimento mediante integrazione al progetto e comunque in sede di progettazione esecutiva. Si ritiene pertanto che il Progetto definitivo possa essere sottoposto al parere del Consiglio Superiore dei LL.PP. ai sensi dell'art.5 del D.P.R. 1363/1959.

RICHIESTA DI CHIARIMENTI ED INTEGRAZIONI DA PARTE DELLA SECONDA SEZIONE DEL CSLP

Chiarimenti necessari

Aspetti geotecnici: in aderenza con quanto espresso dalle NTC2018 e al punto C.6.2.2.5 della relativa Circolare esplicativa, la relazione geotecnica deve illustrare in modo chiaro:

- tutte le opere geotecniche in progetto;
- il modello geotecnico (o i modelli geotecnici) impiegato per il progetto/verifica di ciascuna delle opere geotecniche in progetto, con riferimento altrettanto chiaro alla stratigrafia adottata per le opere o per ciascuna opera (ove non fosse unica) derivata sulla base delle campagne di prove condotte in sito e di laboratorio, nonché la giustificazione delle scelte effettuate per giungere alla definizione dei parametri caratteristici;
- la sintesi delle analisi finalizzate alle verifiche SLE/SLU (in condizioni statiche e sismiche) per ciascuna opera;
- le verifiche di stabilità dei pendii; al riguardo si evidenzia che la specifica relazione allegata al progetto, oltre a non riportare alcun commento, consiste – sostanzialmente - in elaborazioni numeriche di significato talvolta difficilmente interpretabile.

Aspetti idraulici:

- con riguardo al sistema di scarico di superficie, si chiede di verificare, in base alle reali caratteristiche morfologiche, altimetriche e di scabrezza di un tratto sufficientemente esteso (almeno 1.000 m) del corso d'acqua a valle della restituzione, la effettiva sussistenza della condizione idraulica di valle di "corrente critica" (con velocità di 6-8 m/s) assunta sia nelle verifiche numeriche sia nel modello fisico;
- occorre prevedere accorgimenti costruttivi che garantiscano lo svuotamento "a gravità" della vasca di dissipazione;
- per un'agevole comprensione del progetto, è opportuno orientare nel medesimo verso le piante e i profili longitudinali sovrapposti di una medesima porzione di opera.

Aspetti strutturali.

1) Relazione strutture ET09.1

- E' necessario chiarire il motivo del doppio riferimento alle NTC del DM 2008 e a quelle del DM 2018.
- Gli spettri di accelerazione orizzontale indicati nelle figure 5.1, 5.2 e 5.3 appaiono identici. E' necessario verificare se ciò non abbia determinato errori nelle calcolazioni.
- I diagrammi della figura 6.4 sono incomprensibili e privi di leggenda.
- Non è chiaro a che cosa corrispondano le 33 fasi di carico indicate nelle figure 6.22 e 6.24.
- Le figure da 6.37 a 6.40 sono poco leggibili e in qualche caso prive di leggenda.
- Dalla figura 6.79 sembrerebbe che i collegamenti dei profili siano in parte saldati. E' necessario illustrare le caratteristiche dei collegamenti saldati (tipologia di saldature, classe, etc.).
- Le informazioni riportate nella figura 6.82 non sono comprensibili.
- In generale, sarebbe opportuno che, in relazione alle dimensioni adottate per gli elementi strutturali ed al quantitativo di armatura, i confronti tra domanda e capacità riportati nei tabulati di disagiata lettura siano espressi in forma sintetica nella relazione.

2) Elaborati grafici

- I disegni fanno riferimento al DM 2008 anziché al DM 2018.
- Mancano informazioni sui collegamenti tipo tra le parti strutturali, gli ancoraggi delle armature etc. Tali informazioni sono necessarie per la verifica della eseguibilità dell'opera anche in relazione alla stima dei costi in coerenza con l'opera progettata.

RAPPORTO ISTRUTTORIO AGGIUNTIVO DELLA D.G. DIGHE SUL PROGETTO “OTTOBRE 2020”

Nel corso degli approfondimenti richiesti dal CSLLPP è stato riscontrato un incremento dei costi dell'intervento non più sostenibile con i finanziamenti assentiti, per cui su proposta dell'Autorità Idrica Toscana, pienamente condivisa da questa Direzione generale, è stato richiesto al Gestore di valutare approfondimenti di natura tecnica ed economica e una revisione del progetto finalizzati a una riduzione degli importi del quadro economico. Pertanto, con nota prot. n. 13031 del 25.06.2020, è stato richiesto alla Sezione competente e alla Commissione relatrice del Consiglio di mantenere sospeso il procedimento per il parere in attesa di detti approfondimenti.

La revisione “ottobre 2020” del progetto definitivo è stata redatta dal proponente concessionario di derivazione e gestore della diga Acque S.p.A. sia per rispondere a quanto osservato dal CSLLPP, sia per contenere i costi dell'intervento, su esplicita richiesta dell'Autorità Idrica Toscana - quale ente finanziatore in parte maggioritaria - in accordo con la Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche - finanziatore in parte minoritaria nell'ambito del Piano operativo infrastrutture.

In sintesi le modifiche fundamentalmente apportate al Progetto sono le seguenti:

- *vasca di dissipazione: realizzata ex novo previa demolizione di quella esistente come nella precedente versione progettuale, è stata riprogettata per garantire il funzionamento ottimale con portate aventi tempi di ritorno inferiori rispetto alla portata millenaria, pur garantendo il contenimento di quest'ultima all'interno del manufatto stesso anche se con franchi idraulici inferiori. Questa scelta tecnica ha consentito di ridurre l'approfondimento della vasca rispetto all'antecedente soluzione di progetto, riducendo di conseguenza i costi di scavi, opere di sostegno e strutturali della vasca stessa. La nuova versione prevede sempre la successione di due vasche consecutive (la prima è quella ove recapitano i canali fugatori destro e sinistro, mentre la seconda è quella, a valle della prima, ove recapita anche lo scarico di fondo) e di una platea di raccordo a seguire, tutte con quota fondo pari a 160,80 m s.m. La presente soluzione consente anche di ottemperare ad una delle osservazioni formulate in sede istruttoria dal CSLLPP, ovvero consentire lo svuotamento del manufatto a gravità.*
- *strada di accesso al coronamento: realizzata ex novo previa demolizione di quella esistente e spostamento del tracciato più a monte sul versante, come nella precedente versione progettuale, è stata riprogettata però come viabilità di tipo pedonale o con mezzi leggeri, in luogo della precedente ipotesi di tipo carrabile.*

Rimandando alla precedente relazione istruttoria datata 5.11.2019, si riportano a seguire le ulteriori osservazioni istruttorie della DGDighe.

Aspetti Geotecnici:

Con riferimento alle opere geotecniche di progetto, si ritiene che la Relazione Geotecnica Strutture, così come rielaborata dal Progettista per fornire i chiarimenti richiesti dal Consiglio Superiore, risulti articolato in modo più chiaro al fine di comprendere quali e come siano le opere geotecniche previste. Per meglio esplicitare i criteri di progettazione e verifica adottati, il Progettista ha prima condotto una disamina, articolata per tipologia di opera, sulle differenti verifiche eseguite, e quindi predisposto schede riassuntive per ciascuna tipologia di opera in cui sono riportate le relative informazioni salienti.

Per quanto concerne le indagini geognostiche e geotecniche eseguite nel corso del tempo, con la Relazione geologica, geologico-tecnica sulle indagini e sismica integrativa il Progettista ha illustrato in maniera più dettagliata quanto eseguito al fine di pervenire al modello geotecnico e alla caratterizzazione dei materiali dei rilevati e dei terreni di fondazione.

Il modello geotecnico risulta costituito, dall'alto verso il basso, dal rilevato corpo-diga, di fatto zonato più che omogeneo, e costituito da materiale prevalentemente coesivo, nella parte sommitale dello sbarramento con estensione fino alla base dello stesso nella sua porzione di monte, e da materiale prevalentemente incoerente nella porzione centrale e di valle e nella parte basale del corpo diga. Il terreno di fondazione è costituito da un'unica unità litotecnica (formazione della Pietraforte) costituita da alternanze di arenarie quarzoso-calcaree e di argilloscisti grigio-scuri. L'ammasso roccioso è stato caratterizzato utilizzando i metodi di Bieniawski (1976) e di Barton (1979); pur essendo interessato da numerose superfici di discontinuità (in prevalenza giunti di strato), nel suo insieme è stato considerato come un mezzo isotropo (mezzo continuo equivalente) e quindi, ai fini della valutazione delle sue caratteristiche, valutato nella sua globalità, senza distinzione tra matrice rocciosa e discontinuità.

Nella Relazione Geotecnica Strutture il Progettista ha condotto una ulteriore disamina delle indagini eseguite nel corso degli anni (dal 2005 al 2018) e quindi riportato un quadro di sintesi dei parametri geotecnici assunti in riferimento al modello geotecnico di progetto per la verifica delle opere geotecniche da realizzarsi. A seguire ha illustrato come sono state definite le azioni sismiche (per il sito in esame non è necessario effettuare uno studio sismotettonico da cui far derivare l'azione sismica di progetto, essendo l'accelerazione orizzontale massima ag per $T_r = 475$ anni inferiore a $0.15 g$), come è stata condotta l'analisi di risposta sismica locale e come sono stati definiti gli spettri di risposta in accelerazione e gli accelerogrammi.

Per quanto riguarda le verifiche agli SL condotte per ciascuna opera, il Progettista ha preventivamente illustrato le verifiche da eseguirsi secondo quanto richiesto dalla normativa vigente e quindi redatto delle schede di sintesi, per tipologia di opera, ove ha riportato i parametri geotecnici adottati nei calcoli e le verifiche condotte.

Dalle tabelle di sintesi delle verifiche è possibile desumere il confronto in termini di disequaglianza tra il Fattore di sicurezza di progetto e il Fattore di sicurezza minimo richiesto dalla Norma.

Rimandando alle osservazioni già formulate ivi compresa l'esigenza che il progetto esecutivo migliori l'inquadramento geotecnico a partire dall'esame dei risultati delle prove fino ai modelli, si ritiene che con la documentazione così articolata abbia risposto, per il livello definitivo, alle richieste di maggiore chiarezza illustrativa formulate dal CSLLPP.

Con la Relazione Verifiche di stabilità lungo i versanti prospicienti l'invaso antropico e il corpo diga, così come rieditato per rispondere alle richieste di maggiore chiarezza illustrativa e interpretativa manifestate dal CSLLPP, il Progettista ha dapprima illustrato il modello geotecnico dei versanti, definito sulla base degli esiti delle indagini, da cui ha desunto i parametri geotecnici - riassunti in tabella nello stesso elaborato - da adottare nelle verifiche, quindi ha riportato gli esiti delle verifiche stesse.

Il modello geotecnico definito a seguito dell'elaborazione delle indagini (Relazione Geotecnica Strutture) risulta il seguente:

- *Terreno 1: terreno detritico localmente interessato da fenomeni di instabilità della coltre superficiale avente uno spessore massimo di 1,5 m*
- *Terreno 2: substrato alterato caratterizzato da litotipi facenti capo alla formazione della Pietraforte; Spessore minimo di 20 m*
- *Terreno 3: substrato caratterizzato da litotipi facenti capo alla formazione della pietraforte*

Sono state effettuate verifiche di stabilità (stato attuale e stato di progetto) in corrispondenza di 7 sezioni geologiche-geotecniche rilevate sui versanti; la sezione 4 interseca anche un corpo di frana quiescente posto sulla sponda destra dell'invaso.

Le sezioni su cui sono state effettuate le verifiche di stabilità presentano fattori di sicurezza minimi sempre superiori al valore minimo previsto dalla normativa vigente ($FS = 1,1$) tranne in un caso (Sez. 5 – stato attuale con FS minimo pari a 1,09). Tale sezione corrisponde alla sezione posta lungo la coltre instabile cartografata e rilevata sulla sponda sinistra. In questo caso, come anche per la sezione n.4, è stato scelto di realizzare opere di ingegneria ambientale (palificate e/o vimate in legname) e sistemi di regimazione delle acque superficiali.

Si rileva come l'approccio alle verifiche di stabilità delle sponde permanga ingegneristicamente carente, non essendo esplicitate le assunzioni sulla superficie piezometrica e sugli effetti dei proposti interventi di ingegneria ambientale; tuttavia, essendo la questione della eventuale stabilizzazione di alcuni coltri localmente allentate o instabili aspetto secondario del progetto, si ritiene che detto aspetto possa essere affrontato anche distintamente in sede di progettazione esecutiva.

Infine, per quanto riguarda lo studio della filtrazione attraverso il corpo diga, con riguardo anche ai punti di contatto con strutture rigide, il Progettista nella Relazione sulle verifiche di stabilità e filtrazione ha condotto le verifiche attraverso il rilevato ed anche in prossimità della paratia di pali realizzati in destra ed in sinistra idraulica costituenti le sponde dei canali fagatori. La relazione è stata successivamente integrata con la Nota esplicativa verifiche filtrazione, finalizzata a chiarire alcuni aspetti sulle verifiche eseguite e ad evidenziare risultati e considerazioni del Progettista. Sul paramento di monte è stato considerato un livello di invaso pari alla quota massima di regolazione, mentre sul paramento di valle è stato assunto un carico nullo in corrispondenza sia del pozzetto di misura delle perdite sia del bordo di valle al di sotto della platea della vasca di dissipazione. Il terreno di rinfianco sul paramento di valle è previsto che sia posto in opera al di sopra di un dreno esteso su tutta l'area compresa tra il ciglio di valle e il muro di monte della vasca di dissipazione, raccordandosi a quello esistente. In corrispondenza della palificata e del muro - all'interfaccia struttura/terreno - è stata cautelativamente ipotizzata (pure con riferimento a irrealistiche condizioni piane) una permeabilità di un ordine di grandezza maggiore per simulare una via preferenziale per la filtrazione.

Le analisi di filtrazione sono state condotte con un codice di calcolo che simula la filtrazione bidimensionale in un mezzo poroso in condizioni di moto vario (utilizzato in realtà per esaminare condizioni stazionarie a regime) ed è stata eseguita per la sezione posta in asse al corpo diga.

A supporto dei risultati ottenuti è stato anche ipotizzato l'andamento della linea di filtrazione in regime di moto permanente con il metodo di Casagrande.

Il Progettista conclude attestando che le verifiche dimostrino come la linea di filtrazione a regime, anche con l'inserimento di ipotesi limite sulla permeabilità per simulare eventuali discontinuità al contatto con strutture rigide, non interessi il piede esterno del paramento di valle della diga grazie alla presenza del dreno.

Considerando la configurazione planimetrica di progetto, si ritiene che il Progettista abbia condotto alcuni approfondimenti, risultando di maggior interesse e valenza la successiva definizione esecutiva delle modalità di realizzazione e trattamento del contatto rilevato diga – strutture in c.a.

Aspetti idraulici

Per ottemperare alle richieste del CSLLPP il Progettista ha eseguito un rilievo topografico del corso d'acqua a valle della restituzione in alveo, al fine di poterne inserire le caratteristiche nella modellazione idraulica di tipo numerico.

La modellazione numerica, analogamente a quanto già fatto nel progetto definitivo vers. 2019, è stata effettuata mediante un modello di moto permanente a corrente mista con il software HEC-RAS v.5.0.6. Nel modello idraulico numerico, così come richiesto dal Consiglio Superiore, è stato inserito anche un tratto del corso d'acqua a valle della restituzione sufficientemente esteso, che consente di valutare le condizioni idrodinamiche che si instaurano nell'alveo in prossimità della restituzione.

La verifica idraulica estesa all'alveo a valle ha dato come risultato l'assenza di fenomeni di rigurgito verso la vasca di dissipazione. Per quanto concerne la vasca stessa, la soluzione proposta dal Progettista, variata rispetto alla precedente versione progettuale (2019) per motivazioni fundamentalmente volte al contenimento dei costi di realizzazione dell'intervento, prevede anch'essa due vasche di dissipazione e una platea di raccordo ma con quota di fondazione innalzata per la prima vasca rispetto alla precedente edizione del progetto; la prima è quella ove recapitano i canali fugadori destro e sinistro, mentre la seconda è quella, a valle della prima, ove recapita lo scarico di fondo. La prima vasca di dissipazione ha larghezza variabile da 18.60 m a monte a 8.90 m a valle con una soglia in uscita alta 4.40 m. La quota di fondo della vasca risulta pari a 160.80 m s.l.m. (circa 4.00 m inferiore rispetto alla quota di fondo della vasca esistente) mentre la quota della soglia in uscita è di 165.20 m s.l.m.. La quota dei muri laterali a tenuta idraulica varia da 172.70 m s.l.m. a monte a 170.70 m s.l.m. a valle; essi sono rialzati rispetto al terreno circostante e hanno quindi funzione anche di parapetto. La seconda vasca (a valle della prima), ove recapita lo scarico di fondo, ha la quota di fondo sempre pari a 160.80 m s.l.m. e presenta a valle una soglia alta 1.00 m.

La presente soluzione consente, in ragione del fatto che la prima vasca risulta meno approfondita rispetto alla precedente versione, di ridurre i costi di realizzazione dell'intervento, pur diminuendo i franchi all'interno della stessa per la portata millenaria. A differenza di quanto previsto nella progettazione definitiva vers. 2019, tale configurazione consente inoltre, in linea a quanto osservato in sede istruttoria dal CSLLPP, lo svuotamento "a gravità" del manufatto, ancorché detta facoltà non possa ritenersi né come obbligo prescrittivo né come assoluta necessità tecnica, potendo essere altrimenti risolta per esigenze gestionali (es. installazione di impianto fisso di pompaggio). L'attuale configurazione (articolata in due vasche di cui la prima meno approfondita rispetto a quella presentata nel progetto definitivo vers. 2019, ottimizzata con il modello idraulico realizzato presso l'Università di Padova) è stata modellata in questa fase soltanto per via numerica, tramite il software monodimensionale Hec-Ras. Ciò premesso, pur restando la migliore soluzione dal punto di vista strettamente idraulico quella del progetto 2019, in un'ottica di contenimento dei costi dell'intervento, si ritiene ammissibile che l'opera di dissipazione sia progettata per dissipare l'energia del flusso fino a tempi di ritorno inferiori a quello millenario, dovendo però lo stesso flusso restare confinato in caso di evento estremo. In ogni caso è necessaria un'integrazione della modellazione fisica, da effettuarsi almeno durante la fase esecutiva del progetto, per confermare la piena funzionalità della vasca attestata dai Progettisti allo stato con analisi numeriche necessitanti conferma.

Con riferimento alla scelta delle tipologia “a becco d’anatra” per gli scarichi di superficie, si rappresenta che le possibilità di prevedere differenti configurazioni per lo scarico di superficie (sfioratori laterali/frontali con migliore regolarità ed efficienza idraulica) sono state vagliate nel corso della progettazione preliminare e di incontri tecnici con la Direzione generale durante la stesura delle precedenti versioni di progetto definitivo (2018-2019) e poi verificate con le prove su modello fisico realizzate dall’Università di Padova a cui la stessa Direzione ha assistito. Si è addivenuti alla decisione di proseguire con la soluzione a becco d’anatra in quanto tale tipologia consente di garantire, grazie alla sua configurazione geometrica, un notevole sviluppo della lunghezza della soglia sfiorante rimanendo entro gli ingombri di strutture di contenimento limitate. Tale configurazione permette infatti di operare all’interno degli spazi esistenti senza dover ampliare gli scavi (come sarebbe stato necessario per sfioratori laterali o frontali) ad ulteriori porzioni di versanti, contenendo i costi di realizzazione e riducendo gli impatti ambientali.

Per quanto riguarda infine la possibilità di prevedere accorgimenti costruttivi finalizzati ad “accompagnare” la corrente idrica ed attenuare i disturbi sulla regolarità del deflusso dovuti alla asimmetria dei due canali di scarico, il Progettista aveva già ipotizzato, nel corso della progettazione definitiva versione 2019, di modificare l’ingresso dei due canali fugadori nella vasca di dissipazione con il prolungamento delle pareti interne dei fugadori fino a raccordarsi più a valle all’interno della vasca realizzando un profilo in grado di accompagnare la corrente. Tale configurazione è stata anche verificata con successo con ulteriori prove su modello fisico, tuttavia si è ritenuto di non dare seguito a tale modifica progettuale che avrebbe comportato un ulteriore aumento dei costi. In quest’ultima versione progettuale, trattandosi di una revisione volta al contenimento dei costi, non è stata perseguita in questa fase l’ipotesi di adottare ulteriori accorgimenti costruttivi per accompagnare la corrente nel manufatto. Ulteriori approfondimenti potranno essere effettuati in sede di progettazione esecutiva.

Aspetti strutturali:

Le risposte del Progettista alle osservazioni della Commissione relatrice del CSLPP si trova alle pp. 23-24 dell’elaborato ET.01 Relazione Generale.

Gli interventi strutturali previsti dal Progettista sono:

- *la realizzazione di n. 2 nuovi sfioratori a becco d’anatra a sostituzione degli esistenti;*
- *la realizzazione di nuovi canali fugadori e della vasca di dissipazione a sostituzione degli esistenti;*
- *la realizzazione di uno scarico di fondo mediante microtunneling;*
- *la realizzazione delle opere di presa e dello scarico di fondo;*
- *la realizzazione del pozzetto valvole e pompe dello scarico di fondo;*
- *la realizzazione di un pozzetto per il convogliamento di drenaggi e perdite;*
- *la realizzazione di passerelle in acciaio.*

Per gli scarichi di superficie e i canali fugadori si prevede demolizione e ricostruzione secondo nuova tipologia per i primi (becchi d’anatra con profilo Creager-Scimemi) e sezione ampliata sia in altezza sia in larghezza per i secondi. Per la realizzazione dei canali il Progettista ha previsto l’utilizzo di diverse tecnologie costruttive al variare delle sezioni, quali opere di sostegno con pali di grande diametro tirantate, paratie con pali di grande diametro su due file per sistema “a cavalletto”, paratie di micropali con 1, 2 o 3 ordini di tiranti, manufatti in cemento armato con fondazioni su micropali.

Anche per la vasca di dissipazione è prevista demolizione e ricostruzione; la nuova configurazione è stata concepita articolata in tre parti:

- prima parte “lato diga” in cui si immettono i canali fuggatori, con pareti di altezza massima di circa 11.9 m, planimetricamente ubicata in sovrapposizione alla vasca esistente;
- parte centrale (a valle della soglia della prima vasca) in cui riversa lo scarico di fondo, con pareti di altezza massima di circa 9.9 m, planimetricamente ubicata subito a valle della vasca esistente;
- parte terminale di raccordo con l'alveo di valle.

La nuova vasca è impostata ad una quota inferiore rispetto a quella esistente; per la sua realizzazione è stata prevista la realizzazione di paratie di micropali tirantate.

La realizzazione dello scarico di fondo è stata concepita mediante l'utilizzo della tecnologia del microtunneling. All'interno del pozzo di partenza verrà montato il gruppo di spinta costituito da quattro pistoni telescopici fissati posteriormente ad una piastra metallica ed anteriormente all'anello di spinta. Sulla platea di fondo sarà fissato un telaio metallico con la funzione di slitta per i conci di tubazione. Per il funzionamento del gruppo di spinta risulta necessario realizzare un muro di controspinta capace di contrastare le azioni in gioco, mediante un telaio in acciaio con funzionamento a mensola tozza composta da profilati in acciaio HEM con calastrelli HEB e controventi. La parte della mensola che lavora a trazione verrà fondata su micropali armati con barre tipo “GEWI PLUS”. La parte della mensola che lavora a compressione sarà fondata su platea impostata sopra lo strato roccioso.

Per quanto concerne l'imbocco all'opera di presa e allo scarico di fondo, il manufatto è costituito da un canale con sezione a C di altezza variabile da 200 a 300 cm e larghezza interna pari a 500 cm. Le pareti presentano uno spessore pari a 40 cm. La platea di spessore variabile è impostata su fondazioni di tipo profondo costituite da micropali e armatura. La parte terminale del canale presenta invece una sezione chiusa per il raccordo con lo scarico di fondo. In tale tratto sono previste pareti di sezione variabile.

Per realizzare il pozzetto di manovra dello scarico di fondo è previsto uno scavo da eseguirsi mediante l'utilizzo di paratie di micropali tirantate. L'opera sarà dotata di cordolo di testa in c.a. da realizzare preliminarmente allo scavo, su cui saranno applicati tiranti passivi. I cordoli degli ordini inferiori avranno dimensioni inferiori. E' previsto che il pozzetto sia collegato ad una parte della vasca di dissipazione.

Nel suo complesso il manufatto avrà dimensioni in pianta inscrivibili in un rettangolo di dimensioni pari a 21x15.55 m circa. La fondazione della vasca e del pozzetto avranno rispettivamente uno spessore pari a 100 e 60 cm. Le pareti entro terra e fuori terra avranno rispettivamente uno spessore pari a 60 e 25 cm. La soletta di copertura del pozzetto avrà spessore pari a 30 cm mentre la soletta di copertura del vano scala avrà spessore pari a 20 cm.

Il pozzetto per la raccolta e misurazione dei drenaggi e delle perdite è costituito da un manufatto di forma quadrata (dimensioni in pianta 500x500 cm, altezza 900 cm circa) che prevede una platea e pareti in c.a.. Le fondazioni saranno di tipo profondo costituite da micropali e armatura. A livello sommitale del pozzetto non è prevista alcuna copertura, l'accesso avviene mediante una scala metallica con profilati UPN240 e gradini prefabbricati con grigliato in acciaio zincato.

Infine per le passerelle in acciaio la struttura è costituita da due travi principali IPE 450, da rompi-tratta HEA 180, da diagonali in pianta L80x80x8 e da piano di calpestio con Orsogrill.

Con riferimento alle osservazioni formulate dal CSLLPP, si riscontra come sia stato stralciato qualsiasi riferimento alle NTC2008 (con cui era stata redatta al tempo la progettazione preliminare) e tutte le verifiche sono state condotte ai sensi delle NTC2018. Per quanto concerne invece i rilievi sulle figure presentate in relazione, si rappresenta che il documento è stato rielaborato. Al fine di agevolare un più rapido riscontro per ogni opera è stata riportata in Relazione una scheda sintetica di riepilogo delle verifiche strutturali.

Gli elaborati grafici risultano maggiormente dettagliati rispetto alla precedente versione progettuale e in linea con le indicazioni fornite dal CSLLPP per il livello definitivo dell'attuale progettazione.

Aspetti economici

Riguardo il costo di attuazione degli interventi, preliminarmente si riepilogano i costi esposti nel corso dell'iter progettuale:

- progetto di fattibilità tecnica-economica (progetto che ha conseguito parere tecnico favorevole) con quadro economico circa 10M€;*
- progetto definitivo 2019 (progetto inviato per parere ai sensi dell'art.5 del DPTR 1363/1959 al CSLLPP): importo lavori compresi oneri della sicurezza 12,5M€, quadro economico complessivo 14,8M€;*
- revisione intermedia sommaria progetto definitivo 2019 (progetto rielaborato dal proponente a seguito anche delle osservazioni interlocutorie CSLLPP e conseguenti all'avvio del procedimento VIA, ma non presentato): quadro economico complessivo 18,0M€;*
- progetto definitivo rev. 2020 (oggetto del presente esame, presentato in osservanza alle richieste istruttorie del CSLLPP e nel rispetto delle osservazioni formulate dagli enti finanziatori per ridurre i costi): importo lavori compresi oneri della sicurezza 12M€, quadro economico complessivo 14,3M€.*

Il primo incremento di costi, nel passaggio dal progetto di fattibilità tecnica-economica al progetto definitivo, è dovuto sostanzialmente alla previsione di realizzare un nuovo scarico di fondo al di fuori del rilevato mediante la tecnica del microtunneling (lo scarico di fondo attuale attraversa sulla superficie di fondazione il corpo diga ed ha gli organi di intercettazione a valle; trattasi quindi di una soluzione non ammessa dalle NTD2014 se si trattasse di una nuova costruzione, per cui appare motivata, nell'ottica di una ristrutturazione integrale dello sbarramento, la scelta di realizzare un nuovo scarico al di fuori del rilevato).

Nell'osservare che la soluzione ora prospettata porta una contenuta riduzione (0,5M€) in termini di importo lavori compresi oneri della sicurezza rispetto al progetto definitivo già in istruttoria, si conferma in ogni caso l'opportunità di approfondire – anche in sede di progettazione esecutiva - gli effettivi dimensionamenti delle opere provvisoriale (in conformità a quanto previsto dalle NTC18 e dalle NTD14) trattandosi di opere, pur non soggette ad approvazione tecnica ai sensi del DPR 1363/1959, rilevanti nell'ambito complessivo degli interventi.

CONSIDERATO

Il presente parere è reso ai sensi dell'art. 5 del Regolamento approvato con D.P.R. 1363/1959 e, quindi, con riguardo ai soli profili tecnici del progetto.

La Sezione ritiene che nelle relazioni istruttorie della Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche sopra riportate siano state trattate accuratamente tutte le tematiche del progetto, con valutazioni che si ritengono sostanzialmente condivisibili.

Pertanto, la Sezione concorda con le prescrizioni, le raccomandazioni e le osservazioni riportate nei suddetti documenti istruttori, le quali devono essere considerate integralmente richiamate nel presente parere per quanto non in contrasto con le valutazioni che seguono.

SCOPO E DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI

Gli interventi previsti hanno lo scopo di garantire la sicurezza statica, sismica e idraulica e attraverso la realizzazione di opere e lavori tali da conformare l'assetto dell'impianto di ritenuta di Drove di Cepparello alle prescrizioni delle norme tecniche vigenti (NTD2014 e NTC2018).

Detti interventi consistono sostanzialmente in:

- riprofilatura, mediante ricarica, dei paramenti di monte e di valle del corpo diga, al fine di ridurre la pendenza e garantire i requisiti di stabilità, in assenza e presenza di sisma, prescritti dalle norme tecniche per le dighe esistenti;
- rifacimento degli scarichi di superficie, dagli sfioratori alle opere di restituzione a valle, per incrementare la capacità di smaltimento delle portate di piena dagli attuali 51 m³/s (TR < 30 anni) fino a circa 210 m³/s (TR = 1000 anni), nel rispetto del franco regolamentare, e garantire un adeguato grado di dissipazione dell'energia della corrente idrica scaricata;
- adeguamento dimensionale e spostamento al di fuori del corpo diga dello scarico di fondo, attualmente consistente in una condotta di modeste dimensioni collocata nel terreno di fondazione del rilevato diga.

Come ampiamente illustrato in precedenza, anche a seguito della richiesta di chiarimenti e integrazioni da parte della Sezione (note citate prot. n. 11221 del 23/12/2019 e n. 187 del 9/1/2020) sul progetto "Maggio 2019", il Concessionario ha ridefinito, con sostanziale parità di obiettivi, la soluzione progettuale originaria presentando il nuovo elaborato "Ottobre 2020", sostitutivo del precedente, che prevede, in definitiva:

Corpo diga

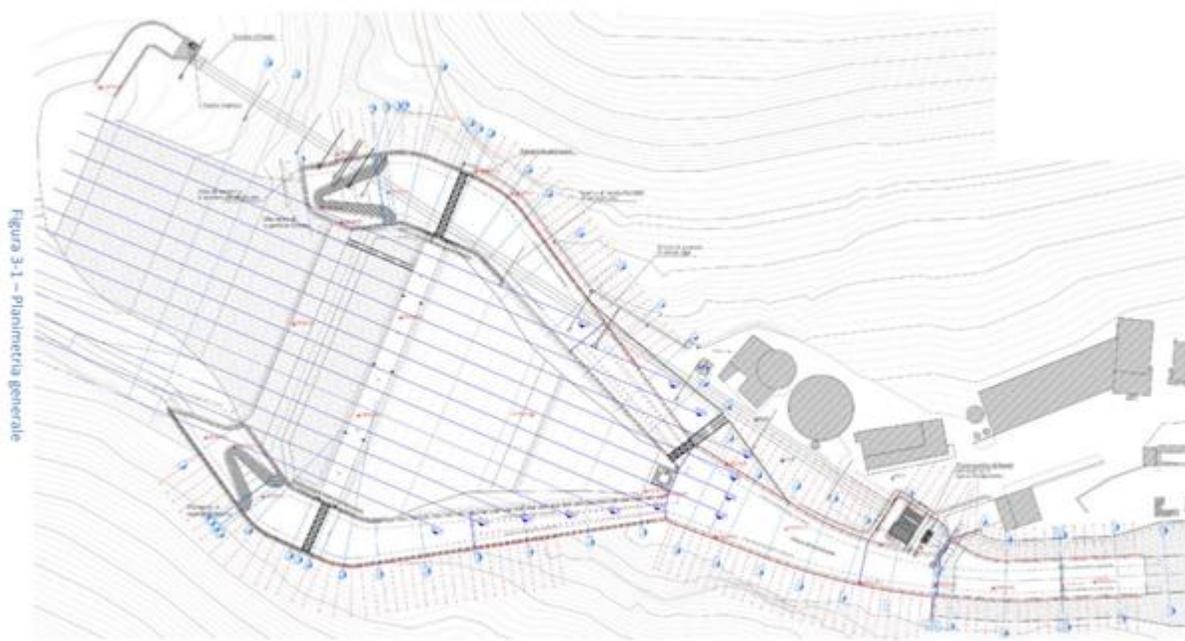
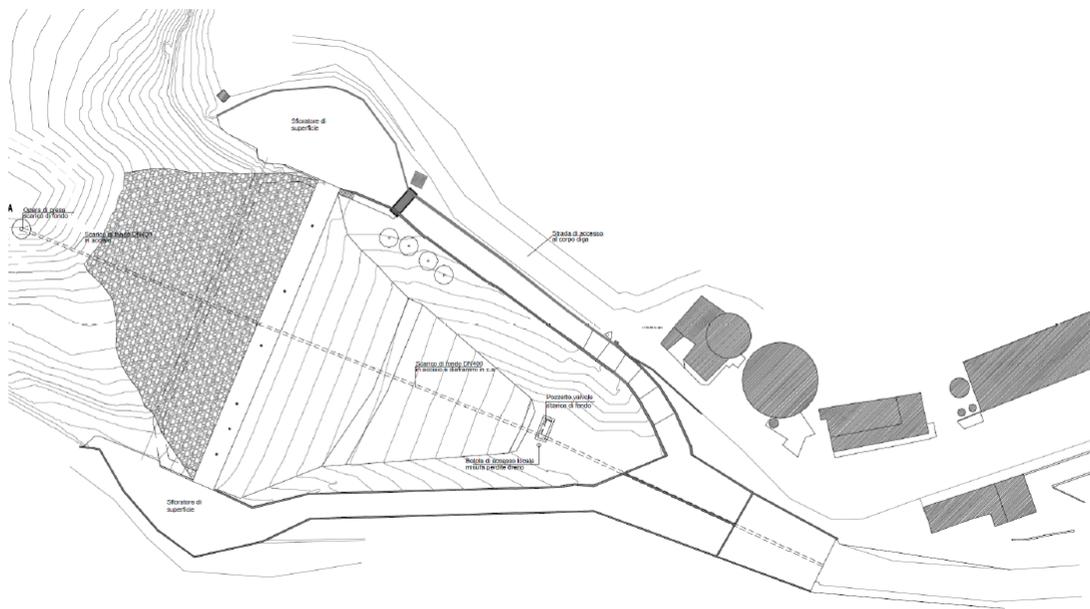
- innalzamento del coronamento da 189 m s.m. a 190 m s.m.
- riduzione delle pendenze medie dei paramenti di monte e di valle, da circa 1:2,4 a circa 1:4, mediante realizzazione di rinfianchi di terreno di caratteristiche simili a quelle dell'attuale corpo diga;
- protezione del paramento di monte con una scogliera in massi naturali.

Opere di scarico

- trasformazione degli attuali due sfioratori a soglia rettilinea a quota 186 m s.m. in due sfioratori con pianta "a becco d'anatra" con soglia a quota 185,70 m s.m.;
- rifacimento e adeguamento dimensionale dei due canali fuggatori;
- rifacimento delle opere di dissipazione attraverso la realizzazione di due vasche consecutive e di una platea di raccordo a seguire, tutte con quota fondo pari a 160,80 m s.m.
- realizzazione di una galleria sul versante sinistro di diametro interno di 2,0 m in calcestruzzo, realizzato mediante la tecnica del microtunneling. All'interno sarà alloggiata la tubazione dello scarico di fondo in acciaio inox DN 1200 (attualmente DN 400), intercettata da due paratoie piane a strisciamento in serie, con by-pass della paratoia di valle per il rilascio del deflusso minimo vitale.
- realizzazione di una nuova opera di presa e derivazione costituita da una torre in acciaio inox DN800 con n. 4 punti di presa a diverse quote, e da una condotta in acciaio inox DN300 alloggiata nella galleria dello scarico di fondo.

Sono infine previsti interventi “minori” quali lo spostamento della strada di accesso al coronamento, il pozzetto di controllo delle perdite del corpo diga ecc.

Nelle figure seguenti, lo stato attuale della diga e quello di progetto “Rev. Ottobre 2020”.



ASPETTI IDROLOGICI E IDRAULICI

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici e idraulici, il progetto ha solo scopo di rispondere alle esigenze di adeguamento della sicurezza idraulica conseguenti alla rivalutazione idrologica delle portate del bacino sotteso dalla diga, effettuata dal Gestore e convalidata dalla DGDighe nel 2013. Tale revisione aveva portato a rideterminare la stima della portata millenaria in 190 mc/s; la portata di riferimento del progetto originario, per la quale sono attualmente dimensionati gli scarichi, è invece pari ad appena 51 mc/s. Con il progetto si intende quindi procedere agli interventi di miglioramento idraulico prescritti dalle NTD 2014, art. H.2.2, che, per le dighe di materiali sciolti quale risulta essere quella in questione, prevedono l'adeguamento degli scarichi alla portata millenaria.

In sede di progettazione preliminare e poi definitiva si è proceduto ad una revisione della predetta stima del colmo di piena millenario, pervenendo ad un nuovo valore pari a circa 210 mc/s. L'analisi idrologica è stata condotta con metodi indiretti a partire dalle curve di possibilità pluviometrica, aggiornate al 2012; si è proceduto ad una taratura del modello idrologico impiegato, utilizzando le informazioni di eventi disponibili in diga, anche se di modesta entità.

Dal punto di vista idraulico, lo smaltimento della portata millenaria avviene con il ricorso ai soli scarichi di superficie, che vengono adeguati ai nuovi valori di portata abbassando la soglia di sfioro di un metro fino a quota 185.7 m s.l.m. e prevedendo, sia in destra che in sinistra idraulica, del corpo diga il ricorso a sfioratori con tipologia a becco d'anatra, di lunghezza pari rispettivamente a 38 m e a 28.7 m. Questa scelta progettuale consente di aumentare la lunghezza della soglia di sfioro senza variare significativamente gli ingombri attuali; l'adeguamento degli scarichi avviene quindi rimanendo all'interno degli spazi esistenti, senza dovere ricorrere a importanti scavi dei versanti, come sarebbe stato necessario con tipologie di sfioratori più tradizionali, conseguendo il vantaggio di un notevole contenimento dei costi. Nell'iter di progettazione è stata comunque considerata anche la possibilità di utilizzare, in alternativa a quelli a becco d'anatra, scaricatori di superficie a soglia sfiorante con andamento curvilineo, posti in posizione arretrata rispetto all'attuale, sia in destra che in sinistra idraulica, in modo da aumentare convenientemente la lunghezza delle soglie di sfioro; questa soluzione è stata poi abbandonata a causa dei costi sensibilmente più elevati.

Le portate scaricate dai becchi d'anatra vengono convogliate in due canali fugatori, posti l'uno in sinistra e l'altro in destra idraulica, che si sviluppano tra il corpo diga e le sponde, raggiungendo una vasca di dissipazione posta al piede della diga, che raccoglie i contributi dei due scarichi e dissipa l'energia della corrente prima della restituzione in alveo. L'insieme delle opere descritte è stata oggetto di un modello fisico realizzato in similitudine di Froude in scala geometrica 1:40, presso l'Università di Padova; l'analisi dei risultati delle prove eseguite sul modello ha consentito di ottimizzare la configurazione geometrica delle opere in progetto.

In sede di prima presentazione del progetto al Consiglio Superiore dei LL.PP. sono state formulate al Gestore osservazioni e richieste di chiarimenti con note prot.11221 del 23/12/2019 e n.187 09/01/2020. Per rispondere alle osservazioni sono stati effettuati approfondimenti progettuali che hanno portato alla visione rivista del progetto definitivo datata 30 ottobre 2020, qui in esame. Tale revisione opera alcune scelte progettuali anche nell'ottica del contenimento dei costi dell'intervento. In sintesi, per gli aspetti idrologico-idraulici, le principali richieste di approfondimenti formulate dal CSLLPP con le note citate riguardavano:

- a) l'estensione del modello idraulico impiegato verso valle, in modo da verificare la legittimità della sussistenza della condizione di corrente critica assunta sia dal modello matematico che da quello fisico a

valle della vasca di dissipazione, così da escludere la possibilità che possano aversi effetti di rigurgito che interessino la vasca di dissipazione;

- b) “prevedere accorgimenti costruttivi che garantiscano lo svuotamento a gravità della vasca di dissipazione”;
- c) “esplicitare i motivi che hanno indotto a preferire, tra quelle indagate, la soluzione con sfioratori “a becco d’anatra anziché con sfioratori laterali/frontali; ciò in considerazione della migliore regolarità ed efficienza idraulica che quest’ultima soluzione -in linea teorica- assicurerebbe”;
- d) “prevedere accorgimenti costruttivi per accompagnare la corrente idrica e attenuare i disturbi sulla regolarità del deflusso dovuti all’asimmetria dei due canali di scarico”.

Riguardo ai punti precedenti si può osservare infatti quanto segue.

- a) Il modello idraulico è stato esteso verso valle, grazie alle informazioni ottenute da un apposito rilievo topografico del corso d’acqua a valle della restituzione in alveo, al fine di poterne inserire le caratteristiche nella modellazione idraulica di tipo numerico. La verifica idraulica estesa all’alveo a valle ha portato ad escludere fenomeni di rigurgito che possano interessare la vasca di dissipazione.
- b) Per quanto concerne la vasca di dissipazione, la nuova soluzione proposta prevede, come la precedente del 2019, due vasche in serie: nella prima, a monte, confluiscono i canali fugadori destro e sinistro, nella seconda, a valle, recapita lo scarico di fondo. Rispetto alla precedente versione, per motivi di contenimento dei costi di realizzazione, la platea della prima vasca risulta rialzata e pertanto è adesso possibile lo svuotamento a gravità del manufatto. Alla luce dei risultati della modellazione numerica monodimensionale effettuata, questa soluzione consente ancora di contenere all’interno della vasca la portata millenaria, anche se con franchi più contenuti rispetto alla versione precedente. Essendo l’attuale configurazione delle vasche stata verificata solo tramite modellazione numerica, sembra opportuno raccomandare una verifica tramite modellazione fisica in occasione della progettazione esecutiva.
- c) Riguardo alla scelta della configurazione a becco d’anatra, si ritiene che gli elaborati presentati chiariscano come la stessa sia stata effettuata per motivi di contenimento dei costi. Altre soluzioni, esaminate nelle precedenti fasi progettuali, avrebbero necessitato di importanti ampliamenti degli scavi sui versanti con conseguente, sensibile aggravamento dei costi di realizzazione. In ogni caso il dimensionamento delle soglie di sfioro sembra sufficientemente supportato dai risultati della modellazione fisica eseguita.
- d) Per quanto riguarda gli accorgimenti costruttivi finalizzati a attenuare i disturbi alla regolarità del deflusso, la modellazione fisica eseguita mostra come un prolungamento delle pareti interne dei fugadori, fino a raccordarsi fra loro più a valle all’interno della vasca, consentirebbe un migliore accompagnamento della corrente, riducendo gli effetti perturbativi; questa ipotesi progettuale non è stata però implementata nella revisione del progetto definitivo in esame, a motivo del contenimento dei costi di realizzazione. Si suggerisce di valutarne la fattibilità nel quadro della progettazione esecutiva.

ASPETTI GEOTECNICI

A seguito della richiesta di chiarimenti/integrazione della documentazione di progetto istruita dalla presente commissione (rif. note prot. n. 11221 del 23/12/2019 e n. 187 del 9/1/2020), il progettista, dal punto di vista geotecnico, ha parzialmente ottemperato alle richieste, redigendo: una relazione geotecnica (che contiene sintesi delle indagini, modello geotecnico, analisi di pericolosità sismica, azioni inerziali dell’acqua da

assumere nelle analisi sismiche verifiche del corpo diga e degli stati limite ultimi idraulici), una relazione sulle strutture (che contiene la descrizione degli interventi previsti e le relazioni di calcolo) e una relazione geotecnica sulle strutture (che contiene un riepilogo dei modelli geotecnici, la descrizione dei metodi impiegati per le verifiche, e le schede riassuntive sulle singole opere) oltre alla relazione delle verifiche di stabilità che si sommano agli elaborati di calcolo specifici. Continuano a permanere una certa mancanza di 'lettura' univoca delle opere in progetto, delle scelte effettuate per la loro progettazione nonché un commento ai risultati che permetterebbero una chiara analisi del progetto di miglioramento della diga di Cepparello.

In relazione agli interventi in progetto evidenziati in planimetria e consistenti nel ricarico dei paramenti di monte e di valle, nella modifica delle dimensioni dei canali sfioratori e della vasca di dissipazione, nella realizzazione di uno scarico di fondo, nella realizzazione di opere di presa dello scarico e nella realizzazione di pozzetti e passerelle, dal punto di vista geotecnico, le opere in progetto sono, oltre ai ringrossi stessi, opere di sostegno realizzate con pali di grande diametro tirantate, paratie con pali di grande diametro su due file per sistema "a cavalletto", paratie di micropali con 1, 2 o 3 ordini di tiranti, fondazioni su micropali di manufatti in cemento armato.

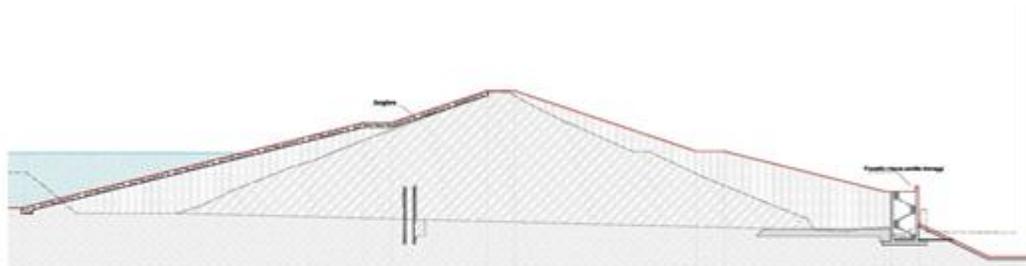


Figura 3-5 - Sezione trasversale della Diga Dione di Cepparello nello stato di progetto.

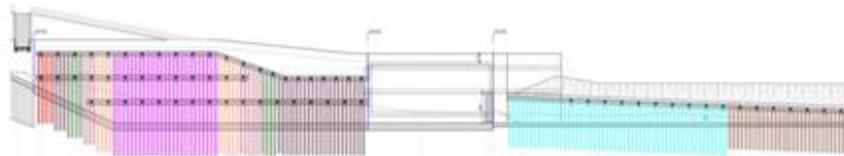


Figura 3-6 - Prospetto paratia di sinistra per realizzazione vasca di dissipazione

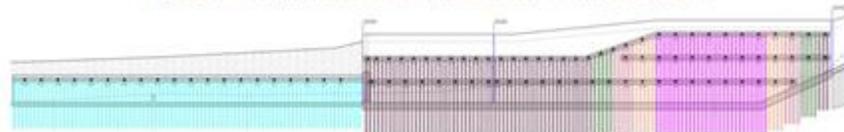
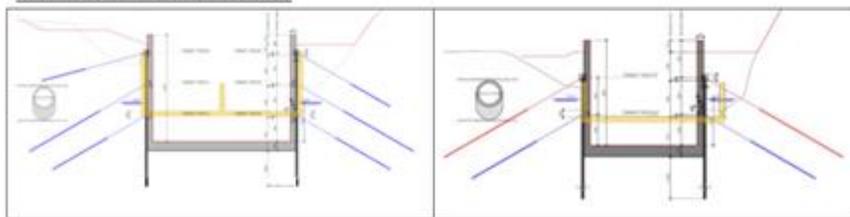


Figura 3-7 - Prospetto paratia di destra per realizzazione vasca di dissipazione

VASCA DI DISSIPAZIONE LATO DIGA



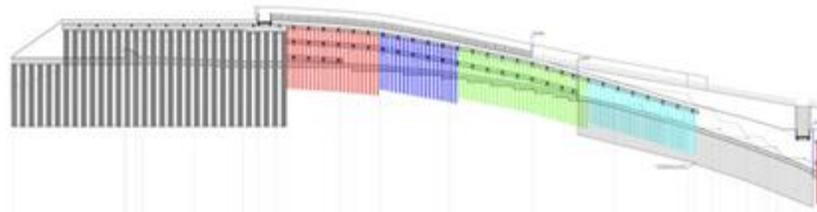


Figura 3-2 – Prospetto argine sinistro canale sfioratore sinistro

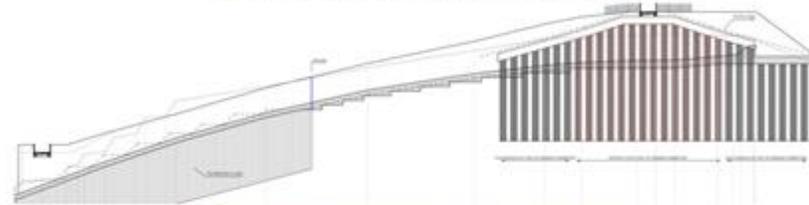


Figura 3-3 – Prospetto argine destro canale sfioratore sinistro

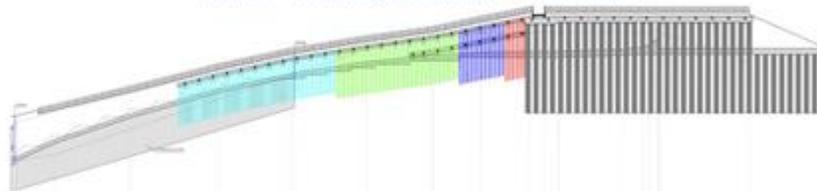
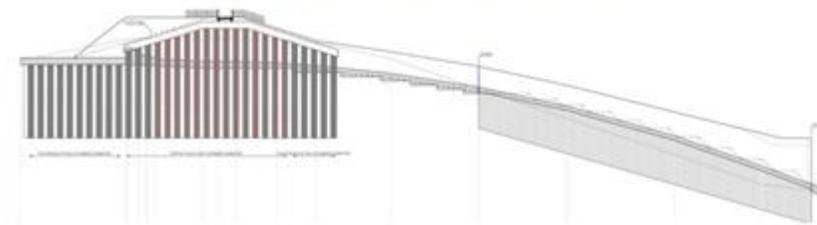


Figura 3-4 – Prospetto argine destro canale sfioratore destro



Per definire i modelli geotecnici da adottare nella progettazione sono state condotte diverse campagne di indagini, nei periodi 2005, 2006, 2016 (evidenziate sia dalla relazione geologica che dalla relazione geotecnica), 2018 e 2019 (citata dalla relazione geologica ma non dalla relazione geotecnica) nell'ambito delle quali sono stati eseguiti complessivamente 11 sondaggi a carotaggio continuo estesi a quote variabili dai 15 ai 30 m e condotte 27 prove SPT, due prove down-hole, quattro indagini sismiche HVSR, una indagine sismica attiva onde Rayleigh, cinque prove sismiche a rifrazione, una prospezione geoelettrica. Dai sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati (complessivamente 36) e disturbati (complessivamente 10) oltre che 23 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Le prove di caratterizzazione meccanica di laboratorio condotte sono state; prove edometriche, prove di taglio diretto, prove di espansione laterale libera, prove triassiali standard consolidate non drenate e prove triassiali standard non consolidate non drenate

Sono stati infine condotti rilievi geostrutturali di dettaglio e geomorfologici di dettaglio in sponda sinistra.

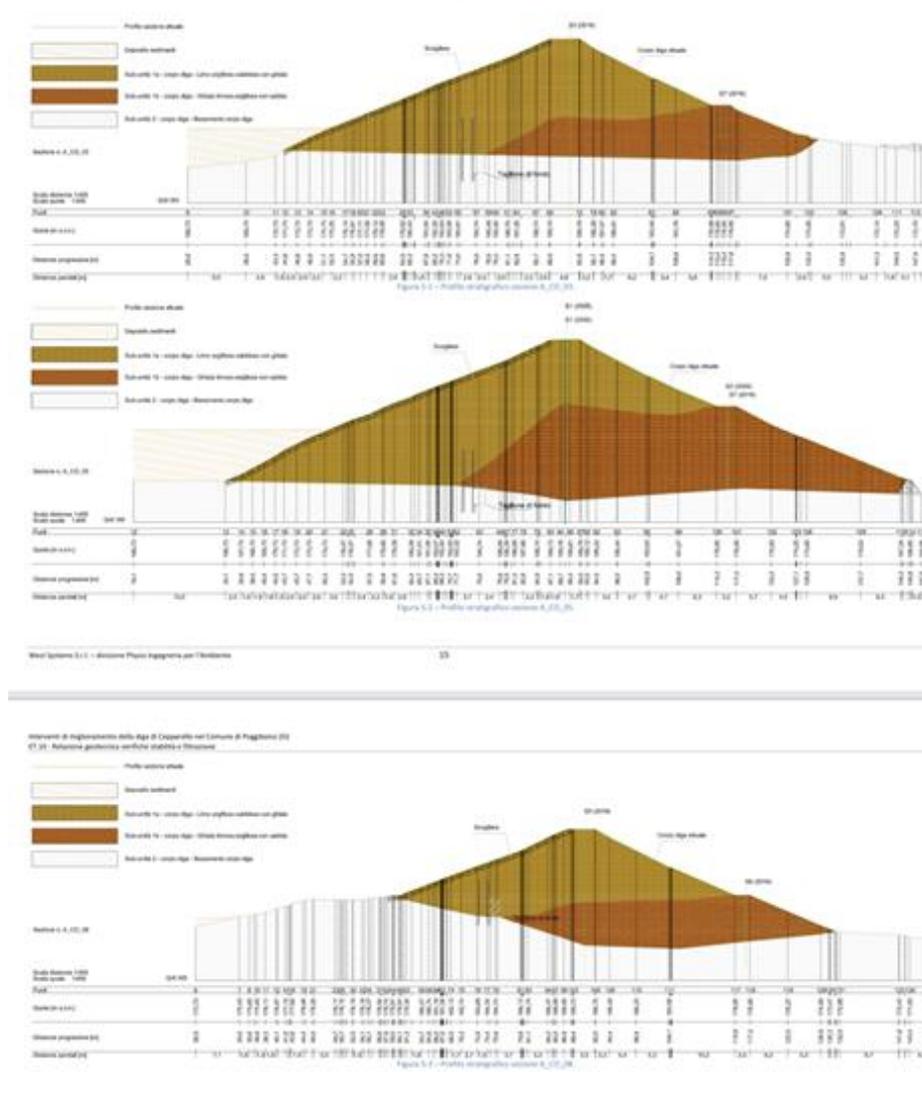
Dal punto di vista sismico i terreni indagati presentano elevate V_s che solo nei primi due metri di profondità arrivano a 460 m/s. Da 2 a 20m di profondità la velocità delle onde di taglio varia dai 770 ai 1100 m/s mentre al di sotto dei 20m (fino a 32m) varia da 1100 a 1700m/s.

Vale la pena di osservare che, nonostante le elevate velocità di propagazione delle onde sismiche che rivelano la presenza di terreni (a parte i primi due metri, appartenenti alla categoria B) di categoria A, il progettista ha ritenuto di effettuare le verifiche sismiche impiegando l'analisi di risposta sismica locale, in luogo degli spettri di risposta elastica, non dichiarando le ragioni della scelta che sarebbe opportuno vengano chiarite.

Le unità geotecniche identificate sono 4, denominate :

- sub-unità 1a: corpo diga, costituita da limi argillosi e argille limose, debolmente sabbiose o sabbiose, con diffusi clasti di ghiaia fine;
- sub-unità 1b: corpo diga, costituita da ghiaia etero metrica in matrice limoso-argillosa con sabbia;
- sub-unità 2: basamento del corpo diga caratterizzato dalla presenza di siltiti scure alternate a Pietraforte.-
unità 1° Corpo diga, sub-unità 1b Corpo diga, sub-unità 2 Fondazione,
- sub-unità 3 Rinfiaccio.

I modelli stratigrafici identificati sulla base delle indagini sono 3 e sono riportati a seguire:



La caratterizzazione meccanica idraulica delle unità geotecniche è stata effettuata mediante le prove in sito e (per i terreni a grana fine) di laboratorio sopraccitate; la sintesi dei parametri geotecnici caratteristici ricavati e impiegati per le verifiche in campo statico e in campo sismico è riportata in tabella:

Tabella 6-1.

Parametri geotecnici	Unità di misura	Sub-unità 1a Corpo diga	Sub-unità 1b Corpo diga	Sub-unità 2 Fondazione	Sub-unità 3 Rinfiango
Peso di volume	kg/m ³	2025	2063	2400	2000
Peso di volume saturo	kg/m ³	2069	2115	2450	2100
ϕ'	°	26.4	29.9	35.9	28.0
c'	kPa	12.4	3.4	2320	10.0
c_u	kPa	67.3	70.2	50'000	65
k	m/s	1.10E-05	1.46E-04	1.00E-07	1.10E-05
n (porosità)		0.37	0.35	0.30	0.35

Tabella 6-1 – Parametri geotecnici caratteristici.

Le verifiche sono state condotte in aderenza alle NTD 2014 e alle NTC 2018 e sono contenute, come anticipato, in relazioni distinte. Esse sono state svolte sia in campo statico che sismico e hanno riguardato la stabilità del corpo diga e dei pendii prospicienti (queste ultime specificamente richieste da istanza della DGDighe) nonché le opere geotecniche in progetto, anche dal punto di vista idraulico; in quest'ultimo caso sono state anche valutate le eventuali interferenze delle opere in progetto sul regime idrico (es interferenza dei pali sulla linea di filtrazione satura che continua, grazie all'inserimento di dreni, a non raggiungere il paramento di valle).

Per quanto riguarda le verifiche di stabilità del corpo diga, esse rivelano come gli interventi, oggetto della progettazione, conducano a un sostanziale miglioramento delle criticità che hanno indotto gli interventi di miglioramento, permettendo di soddisfare le verifiche previste da normativa ivi comprese le verifiche idrauliche. Si sottolinea che, per quanto riguarda le verifiche sismiche le condizioni SLC e SLV esse risultano soddisfatte dalla stima dei cedimenti che appaiono accettabili per tutte le verifiche (contenuti al massimo entro i 20cm).

In merito alle verifiche delle opere geotecniche in progetto si evidenzia che per i diaframmi costituiti da pali $\phi 800$ passo 70, il progettista adotta profondità di infissione di 10m in un substrato dalle caratteristiche meccaniche tipiche di una roccia fratturata ($c'=2320\text{kPa}$, $\phi'=35.9^\circ$), a fronte di uno sbalzo di circa 7m; la scelta appare essere ridondante anche e soprattutto alla luce della giustificazione (presente nella relazione di calcolo ma non commentata nella relazione generale sulle opere, nonostante l'importanza e le conseguenze progettuali della scelta) con l'assunzione (che il progettista definisce 'cautelativa') di ridurre a zero la coesione efficace c' di 2320kPa. E' opportuno pertanto che, per tutte le opere, ove sono state effettuate tali scelte definite 'cautelative' dal progettista vengano riviste le analisi, utilizzando parametri di progetto più aderenti alle reali caratteristiche dei terreni.

ASPETTI STRUTTURALI

Per quanto riguarda gli aspetti strutturali, la Sezione ritiene che la "Rev. Ottobre 2020" del Progetto definitivo in esame, assunte per buone le ipotesi di base sulla caratterizzazione dell'esistente, sia stato sviluppato nel

rispetto delle osservazioni di cui alla nota CSLP prot. n. 187 del 9/1/2020 e che, pertanto, possa esprimersi parere favorevole.

SICUREZZA ANTINCENDIO

Per gli aspetti della sicurezza antincendio, si ritiene di evidenziare che ove fossero presenti e/o previsti nell'ambito del complesso, attività e/o infrastrutture riconducibili a quelle di cui all'Allegato I del D.P.R. 151/2011, dovranno essere osservati, per le stesse, i disposti delle specifiche norme di prevenzione incendi e le procedure fissate con D.M. 7/8/2012 del Ministero dell'Interno, con particolare riguardo alle centrali di generazione e/o di trasformazione elettrica, di produzione di energia termica, sala di comando e controllo, per vie di esodo e fuga e impianti di protezione attiva e passiva.

Tutto ciò premesso e considerato, la Sezione, ai sensi dell'art. 5 del D.P.R. 1363/1959, all'unanimità, esprime

PARERE

che l'iter autorizzativo e progettuale possa proseguire alle fasi successive, nel rispetto delle raccomandazioni, osservazioni e prescrizioni di cui ai "considerato" che precedono.

LA COMMISSIONE RELATRICE

GRECO, BRATH, CAVALERI, DI NARDO, GUARDABASSI, LORELLI, MONTRASIO, ROTONDO, SCAVONE, TOTANI

Firmato virtualmente tramite e-mail di assenso

Il Segretario:

Ing. Luisa OTTOLENGHI

Visto:

Il Presidente:

Ing. Massimo SESSA

LA PRESENTE COPIA COMPOSTA DI N. 46 PAGINE È CONFORME ALL'ORIGINALE ESISTENTE PRESSO LA SEGRETERIA DELLA SECONDA SEZIONE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI.

Il Segretario