



COMUNE DI CORTONA

(Provincia di Arezzo)



NUOVE ACQUE S.p.A.

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

INTERVENTI PER L'INCREMENTO DELLA SICUREZZA DELLA DIGA DI CERVENTOSA CIG: 9579036692



Elaborato	PROGETTO DEFINITIVO		Scala
	R-01INT	RELAZIONE INTEGRATIVA	

Revisione	Nome file:	Data:	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
3 ^a						
2 ^a						
1 ^a						
emissione	R-01INT.docx	Agosto 2023	Richiesta Integrazioni - nota istruttoria U.T.D. (FI) prot. Registro Ufficiale U.0010032.08-05-2023	Ing. Andrea Chiarini	Ing. Alessandro Berni	Ing. Remo Chiarini

Progettisti			Visto del committente	
<p>Gruppo di lavoro:</p> <p>Ing. Remo Chiarini (Responsabile integrazione prestazioni specialistiche)</p> <p>Ing. Andrea Chiarini (Geotecnica e Strutture)</p> <p>Ing. Alessandro Berni (Idrologia, Idraulica, elaborati economici e piano particellare)</p> <p>Ing. Cosimo Convertino (Sicurezza)</p>			 II R.U.P.	
<p>Consulenza tecnico scientifica per l'allestimento di modelli di calcolo strutturale:</p> <p>Prof. Ing. Andrea Benedetti</p>			<p>Ing. Remo Chiarini</p>	<p>Ing. Andrea Chiarini</p>
<p>Topografia ed elaborazioni Gis e Cad: Ing. Elisa Luciolì; Geom. Meri Migliacci, Geom. Mario Sensi, Geom. Ugo Manganaro, Geom. Daniele Tellini</p>				

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

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

SOMMARIO

1	Introduzione	3
2	RICHIESTE DI INTEGRAZIONE E CHIARIMENTI	4
2.1	Aspetti di carattere formale e di completezza	4
2.2	Aspetti di carattere tecnico	4
3	RISPOSTE ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONE E CHIARIMENTI.....	7
3.1	Aspetti di carattere formale e di completezza.....	7
3.1.1	Osservazione n.1:	7
3.1.2	Osservazione n.2:	7
3.1.3	Osservazione n.3:	7
3.1.4	Osservazione n.4:	8
3.1.5	Osservazione n.5:	9
3.2	Aspetti di carattere tecnico.....	10
3.2.1	Osservazione n.1:	10
3.2.2	Osservazione n.2:	19
3.2.3	Osservazione n.3:	20
3.2.4	Osservazione n.4:	20
3.2.5	Osservazione n.5:	21
3.2.6	Osservazione n.6:	23

1 INTRODUZIONE

La presente relazione integrativa intende fornire riscontro alle richieste di integrazione e chiarimenti formulate con nota PEC prot. 10032 del 08/05/2023 dal *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dipartimento per le opere pubbliche, le politiche abitative e urbane, le infrastrutture idriche e le risorse umane e strumentali, Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche* a seguito di esame istruttorio del progetto definitivo degli *“Interventi per l’incremento della sicurezza della diga di Cerventosa, ai sensi della Delibera CIPE n. 54/2016 ora fondo PNRR misura M2C4-I.4.1 codice intervento PNRR-M2C4-I4.1-A3-12”* ai fini dell’approvazione ai sensi dell’art.1 co.5 del D.L. 507/1994 conv. L.584/1994.

2 RICHIESTE DI INTEGRAZIONE E CHIARIMENTI

Di seguito si riportano integralmente le osservazioni formulate dal Ministero.

2.1 Aspetti di carattere formale e di completezza

1. *“Gli elaborati non sono sottoscritti dal Proponente, Progettista, tecnici specialistici per le rispettive competenze ed inoltre l'intervento non è esplicitamente classificato ai sensi del cap. H delle NTD2014. Il Proponente deve, quindi, ripresentare i documenti firmati ed esplicitare che il progetto è inquadrato come un intervento di adeguamento e non un miglioramento.*
2. *Il progetto presentato è un progetto definitivo. Ai sensi dell'art.24 del DPR 207/2010 manca l'elaborato disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici. E' opportuno che il Proponente chiarisca, per eventuali riflessi tecnici, se è prevista la presentazione di una ulteriore fase di progettazione esecutiva oppure se intende, dimostrando che questo sia compatibile con la legislazione vigente, affidare progettazione esecutiva e realizzazione delle opere.*
3. *Per quanto riguarda le opere complementari e accessorie la documentazione deve essere integrata ai sensi del capitolo 10 delle NTC2018. In particolare, la documentazione progettuale deve essere completata con valutazioni geotecniche, e in particolare sulle fondazioni, per il ponte di attraversamento dello scarico di superficie, con gli elaborati di calcolo e di dettaglio della nuova casa di guardia, con gli elaborati di calcolo strutturale e geotecnico della nuova vasca di dissipazione. E' opportuno che il Gestore chiarisca se intende integrare questi elaborati in un livello di progettazione successivo allegando in questa fase quanto necessario per conseguire per tali aspetti il livello definitivo del progetto.*
4. *Non risultano inclusi gli allegati contenenti i risultati di tutte le indagini in sito ed in laboratorio effettuate nelle diverse campagne sperimentali susseguitesi nel tempo ed utilizzate per caratterizzare geometricamente e meccanicamente i materiali che costituiscono lo sbarramento, i versanti ed i terreni di fondazione.*
5. *Non risultano presenti gli allegati contenenti i tabulati di calcolo ed i risultati delle analisi eseguite con il codice di calcolo Plaxis.*

2.2 Aspetti di carattere tecnico

1. *Mancano esplicite valutazioni e verifiche geotecniche e strutturali sulle fasi transitorie delle lavorazioni anche alla luce dell'assestamento storico della diga (presenza di vuoti*

- e soluzioni di continuità rispetto ai contorni rigidi del corpo diga, movimenti non stabilizzati nel tempo del rivestimento del paramento di valle). In particolare, le fasi in cui verranno demolite e rimosse le lastre in calcestruzzo del rivestimento esistente del paramento di monte e soprattutto quelle di rimozione del rivestimento del paramento di valle sono da valutare e verificare con attenzione (a lago vuoto o nel caso di eventi di piena durante le lavorazioni).
2. È opportuno che il Gestore presenti sezioni geotecniche rappresentative dei terreni di fondazione, delle sponde e delle spalle, coerenti con il modello geotecnico, che dovranno essere sovrapposte allo stato di progetto, ed elaborati grafici delle fasi costruttive della nuova struttura-dispositivo di tenuta.
 3. In merito al nuovo paramento di monte non sono presenti le verifiche dell'ancoraggio alla muratura del manto. È opportuno arricchire i particolari costruttivi e chiarire le modalità con le quali il nuovo sistema di drenaggio del manto di tenuta (canne di drenaggio annegate nel getto ed interrotte alla quota di massimo invaso prevista) risponda alla funzione di raccolta e controllo delle eventuali filtrazioni (sui giunti e dal manto stesso). Non sono presenti verifiche geotecniche dei pali di fondazione della struttura di tenuta. Non è chiaro come viene garantito l'ammorsamento e il raccordo in spalla della nuova struttura di tenuta.
 4. È necessario che il progettista valuti l'ammissibilità degli effetti che gli spostamenti del coronamento, statici e sismici nonché nelle situazioni transitorie di demolizione, potrebbero provocare sulla torre di presa, in quanto quest'ultima è collegata in sommità allo sbarramento in modo tale da non permettere del tutto spostamenti verticali e orizzontali. Si evidenzia che tale valutazione era presente nello studio di rivalutazione sismica del 2016 mentre è assente nel progetto definitivo in oggetto.
 5. Il Progettista deve effettuare valutazioni circa la tenuta delle spalle (aggiramento); in merito si fa presente che la redazione delle sezioni geotecniche di progetto, precedentemente richieste, è funzionale anche a questo tipo di valutazione. Inoltre, il progettista deve effettuare le verifiche degli scavi provvisori e definitivi che interessano i versanti delle sponde e delle spalle. Ad esempio, in spalla sinistra viene presumibilmente demolito il muro di contenimento esistente in favore di uno scavo sostenuto da tiranti passivi; mancano, però, elaborati di verifica di stabilità/tenuta dello scavo (supportati da adeguate sezioni geotecniche), oltre che elaborati che dettagliano le modalità di scavo e chiariscono se la demolizione del muro di contenimento/tenuta presente è totale o parziale.

6. *Non è presente il piano di monitoraggio della diga. La tavola T-MON non riporta le caratteristiche della strumentazione installata (quote, terreni interessati, tipologia ecc.). Sarebbe opportuno anche rendere coerente la strumentazione installata con la necessità di monitorare durante le fasi esecutive alcune grandezze significative quali ad esempio i cedimenti del rilevato.”*

3 RISPOSTE ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONE E CHIARIMENTI

3.1 Aspetti di carattere formale e di completezza

3.1.1 OSSERVAZIONE N.1:

“Gli elaborati non sono sottoscritti dal Proponente, Progettista, tecnici specialistici per le rispettive competenze ed inoltre l'intervento non è esplicitamente classificato ai sensi del cap. H delle NTD2014. Il Proponente deve, quindi, ripresentare i documenti firmati ed esplicitare che il progetto è inquadrato come un intervento di adeguamento e non un miglioramento.”

RISPOSTA:

Il Proponente ripresenterà i documenti firmati ed esplicherà che il progetto è inquadrato come un intervento di adeguamento e non un miglioramento.

3.1.2 OSSERVAZIONE N.2:

“Il progetto presentato è un progetto definitivo. Ai sensi dell'art.24 del DPR 207/2010 manca l'elaborato disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici. E' opportuno che il Proponente chiarisca, per eventuali riflessi tecnici, se è prevista la presentazione di una ulteriore fase di progettazione esecutiva oppure se intende, dimostrando che questo sia compatibile con la legislazione vigente, affidare progettazione esecutiva e realizzazione delle opere.”

RISPOSTA:

La stazione appaltante intende procedere secondo la formula dell'appalto Integrato.

A tal fine sono stati commissionati e redatti sia il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) che il Capitolato Speciale d'Appalto: entrambi gli elaborati sono già disponibili presso il gestore Nuove Acque S.p.a.

3.1.3 OSSERVAZIONE N.3:

“Per quanto riguarda le opere complementari e accessorie la documentazione deve essere integrata ai sensi del capitolo 10 delle NTC2018. In particolare, la documentazione progettuale deve essere completata con valutazioni geotecniche, e in particolare sulle fondazioni, per il ponte di attraversamento dello scarico di superficie, con gli elaborati di calcolo e di dettaglio della nuova casa di guardia, con gli elaborati di calcolo strutturale e geotecnico della nuova vasca di dissipazione. E' opportuno che il Gestore chiarisca se

intende integrare questi elaborati in un livello di progettazione successivo allegando in questa fase quanto necessario per conseguire per tali aspetti il livello definitivo del progetto.”

RISPOSTA:

Le fondazioni su pali del nuovo ponte di attraversamento dello scarico di superficie sono descritte all'interno della relazione denominata R-05.3 *“Relazione strutturale e fascicolo di calcolo: ponte su canale fagatore”*. In particolare, le verifiche geotecniche e strutturali delle spalle del ponte e dei pali di fondazione sono riportate al capitolo 6 della stessa.

Le verifiche strutturali e geotecniche della nuova vasca di dissipazione sono invece riportate all'interno di una nuova apposita relazione di calcolo, la R-05.4 *“Relazione strutturale e fascicolo di calcolo: vasca di dissipazione”*. All'interno della stessa sono riportate le ipotesi progettuali che hanno condotto al dimensionamento strutturale del manufatto, ivi compresa la determinazione della spinta idrodinamica di progetto e le azioni sismiche, il modello di calcolo agli elementi finiti e le conseguenti verifiche strutturali e geotecniche. A tale proposito si segnala che la tavola progettuale T-PV02 *“Manufatto di dissipazione dello scarico di fondo. Pianta, sezioni e particolari costruttivi.”* riportante la sezione strutturale della vasca con indicazione delle armature dei setti in c.a. è stata aggiornata alla revisione 1, al fine correggere un refuso sull'armatura della platea. In direzione ortogonale all'asse diga era stata segnalata incorrettamente l'armatura $\phi 10/30$ in luogo della corretta $\phi 16/25$.

Gli esecutivi strutturali della nuova casa di guardia, trattandosi dell'assemblaggio di due box prefabbricati, così come illustrato nella tavola T-PC03 *“Box prefabbricati per locali guardiania e quadri di comando e controllo delle apparecchiature idrauliche e dei servizi accessori - Pianta prospetti e sezioni”* saranno resi disponibili in sede di consegna degli elaborati del progetto esecutivo da parte dell'aggiudicatario dell'appalto integrato, al quale compete la scelta del fornitore presso cui acquistare i manufatti e che rilascerà l'idonea documentazione, la garanzia di prestazione e le opportune marcature CE.

3.1.4 OSSERVAZIONE N.4:

“Non risultano inclusi gli allegati contenenti i risultati di tutte le indagini in sito ed in laboratorio effettuate nelle diverse campagne sperimentali susseguitesi nel tempo ed utilizzate per caratterizzare geometricamente e meccanicamente i materiali che costituiscono lo sbarramento, i versanti ed i terreni di fondazione.”

RISPOSTA:

Tra gli elaborati costituenti il progetto definitivo è stato inserito il nuovo documento “R-01INT-A Allegato A: raccolta indagini in sito e in laboratorio (2002-2022)”, contenente quanto richiesto.

3.1.5 OSSERVAZIONE N.5:

“Non risultano presenti gli allegati contenenti i tabulati di calcolo ed i risultati delle analisi eseguite con il codice di calcolo Plaxis.”

RISPOSTA:

La nuova revisione della relazione R-05.1 “*Relazione strutturale e fascicolo di calcolo: Diga*” è stata divisa in tre distinti documenti: l’elaborato R-05.1 stesso, contenente solamente il testo della relazione strutturale sul corpo diga, l’elaborato R-05.1-A, contenente gli allegati già consegnati e non modificati numerati da A ad E e l’elaborato R-05.1-B, contenente il nuovo allegato F “*Dati di input ed output grafici delle modellazioni FEM del corpo diga mediante PLAXIS 2D*”.

L’allegato F riporta i dati input salienti del modello FEM Plaxis, le caratteristiche dei materiali adottati nei vari modelli statici e sismici (in particolare per i modelli statici per le tre sequenze di costruzione ipotizzate e denominate all’interno della relazione R-05.1 come Hp0, Hp1 e Hp2 oltre ai due modelli sismici SLC ed SLD ognuno per sette coppie di accelerogrammi).

3.2 Aspetti di carattere tecnico

3.2.1 OSSERVAZIONE N.1:

“Mancano esplicite valutazioni e verifiche geotecniche e strutturali sulle fasi transitorie delle lavorazioni anche alla luce dell’asestamento storico della diga (presenza di vuoti e soluzioni di continuità rispetto ai contorni rigidi del corpo diga, movimenti non stabilizzati nel tempo del rivestimento del paramento di valle). In particolare, le fasi in cui verranno demolite e rimosse le lastre in calcestruzzo del rivestimento esistente del paramento di monte e soprattutto quelle di rimozione del rivestimento del paramento di valle sono da valutare e verificare con attenzione (a lago vuoto o nel caso di eventi di piena durante le lavorazioni).”

RISPOSTA:

3.2.1.1 Conformazione e assetto del manto attuale di tenuta nel paramento di monte in lastre in CAV.

L'attuale manto di tenuta idraulica del paramento di monte è costituito da lastre prefabbricate in c.a. rettangolari, di 3.0 m di larghezza e 2.1 m di altezza, disposte su una griglia regolare uniforme di giunti verticali e orizzontali sigillati con malte speciali (Figura 3-1).



Figura 3-1: manto di tenuta di monte in lastre prefabbricate in c.a., durante l'intervento di manutenzione straordinaria dell'ottobre 2000.

Lo spessore di tali lastre, per quanto desumibile dai carotaggi effettuati nel rivestimento e nella sottostante struttura di sostegno del paramento di monte (Figura 3-3), ma anche dalla misura diretta effettuabile al margine superiore (ispezionabile – Figura 3-2) della fila di lastre poste in sommità, è pari a cm 20.

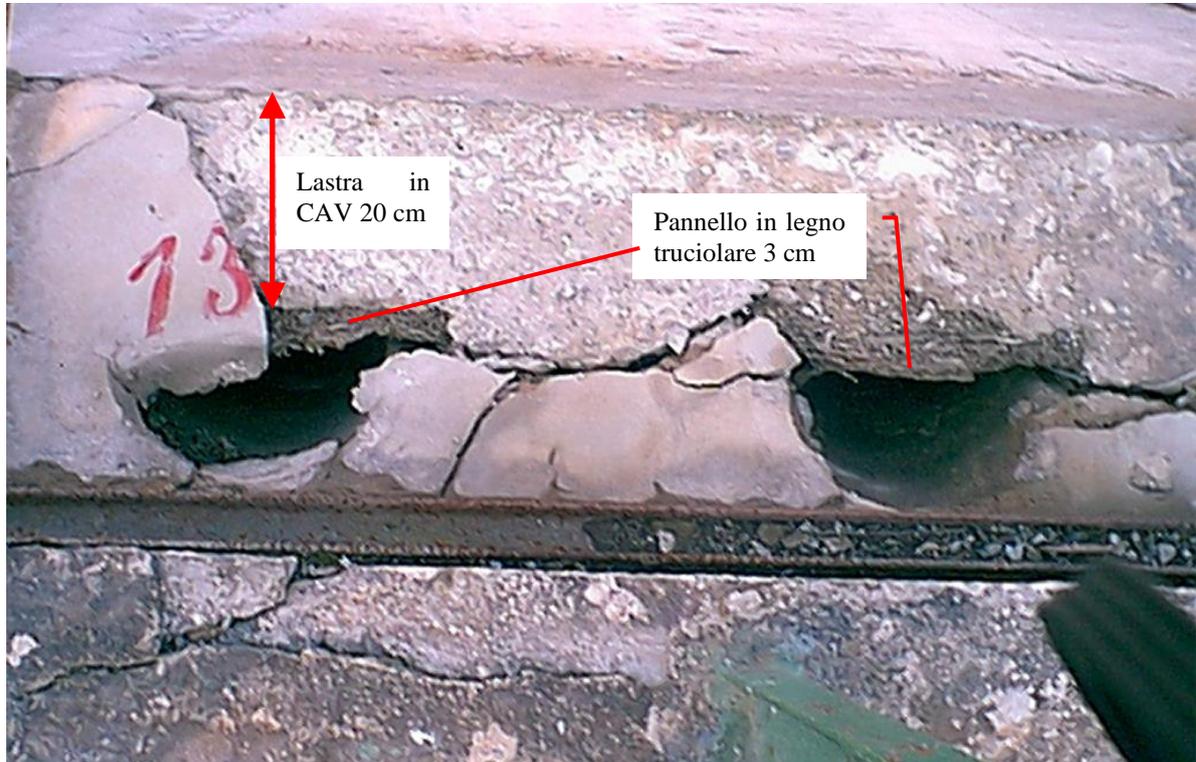


Figura 3-2: bordo superiore della fila sommitale delle lastre in CAV con misura dello spessore delle lastre in CAV e posizione dei pannelli in legno truciolare.



Figura 3-3: carotaggi esplorativi - Sondeos, 2015)



Figura 3-4: saggio esplorativo effettuato su una lastra del manto di tenuta. Si distingue uno spessore di rinforzo più recente (strato scuro di malta speciale rinforzato con rete metallica diffusa di piccolo diametro e il sottostante spessore della lastra originaria con interposta armatura in rete elettrosaldata $\Phi 6$, maglia 20x20 cm. Nella parte destra si nota la cavità di una canna drenante.

Le lastre prefabbricate, che presentano in un piano mediano al loro interno una rete elettrosaldata in fili lisci $\Phi 6$ mm a maglia 20x20 cm (vedi Figura 3-4), furono in origine collocate in opera a partire dalla fila di base del paramento su letti di malta stesi tra due colonne drenanti contigue costituite da tubi semicircolari in cls DE 200 mm, murati ad

interasse di 50 cm sul dorso della struttura di contenimento retrostante (vedi Figura 2-5), mentre, in corrispondenza della apertura di ciascuna colonna drenante, fu posta in opera una striscia di pannello in legno truciolare che quasi ovunque è nel tempo andato degradandosi e disgregandosi quasi completamente.

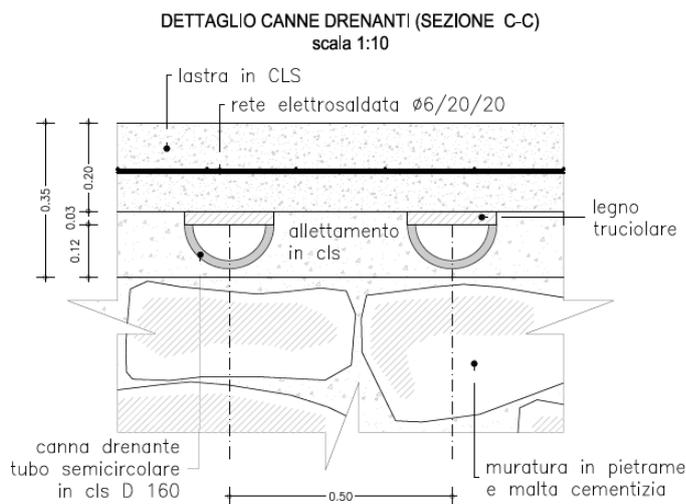


Figura 3-5: dettaglio disposizione canne drenanti attuali sul paramento di monte con soprastante manto di tenuta in lastre prefabbricate in CAV.

3.2.1.2 Disconnessione in atto tra lastre dello schermo di tenuta e manufatto murario di contenimento del paramento di monte

Oggi, come si può desumere dalle carote estratte (vedi Figura 3-6 – Sondeos, 2015 e Censini, 2019), ma anche dall'ispezione visiva del margine superiore della fila di lastre posta a lato del coronamento al disotto del carter di lamiera, esiste un piano preferenziale di fessurazione già aperto tra la porzione prefabbricata delle lastre ed i letti di malta o calcestruzzo che le collegano allo strato murario sottostante in cui sono collocati i semitubi in calcestruzzo fungenti da canne drenanti.



Figura 3-6: carotaggi del manto di tenuta e del retrostante paramento murario. All'interno del contorno rosso si evidenzia la linea di frattura presente nelle connessioni tra le lastre e la sottostante muratura.

Tale lesione passante (vedi Figura 3-7) ha di fatto disconnesso strutturalmente gli elementi prefabbricati del manto di tenuta dalla sottostante muratura di sostegno del paramento di monte. Connessione, per altro, già debole in origine per effetto del “giunto freddo” tra materiali di natura diversa (intradosso delle lastre in CAV e strisce di malta di cemento o calcestruzzo tra una canna e l'altra).



Figura 3-7: lesioni passanti che di fatto nel tempo hanno determinato il distacco strutturale tra le lastre del manto di tenuta e il sottostante sistema di canne drenanti murate sul paramento esterno del muro di contenimento di monte della diga in rockfill.

La formazione progressiva di tale piano di frattura trova probabile origine nelle coazioni indotte dai cicli termici cui nel tempo le lastre sono andate soggette con variazione “a farfalla” della temperatura nel loro spessore, tale da determinare l’insorgere di azioni taglienti e di trazione nei loro bordi o nelle zone vincolate.

Un tale stato di cose fa sì che il contributo alla stabilità globale del paramento di monte fornito dai frammentati elementi lastra del manto di tenuta sia ormai esiguo, essendo limitato (e comunque solo in condizioni statiche) all’effetto stabilizzante della sola componente del loro peso normale al paramento ($\approx 45\%$ del totale, avendo tale piano un’inclinazione di 2 a 1). Ma è altresì evidente come tale contributo sia pressoché trascurabile rispetto a quello del muro retrostante che presenta invece uno spessore medio circa 15÷20 volte superiore.

3.2.1.3 *Monitoraggio in corso d’opera degli eventuali effetti dello smontaggio e rimozione dell’attuale schermo di tenuta di monte*

In definitiva si può pertanto ragionevolmente ritenere che lo smontaggio/asportazione delle lastre del manto di tenuta, a partire dalla fila superiore, previa rimozione delle sigillature laterali sui giunti, non possa produrre alcuna significativa turbativa all’equilibrio generale del paramento di monte.

In ogni caso gli effetti sul paramento di monte di tale fase di lavorazione saranno monitorati in modalità *real time* grazie all’installazione di un sensore clinometrico biassiale all’interno del locale di manovra posto in sommità della torre di presa, la quale, essendo vincolata alla sommità del corpo diga e alle strutture fondali del paramento di monte, sarà soggetta a cinematismi congruenti con eventuali movimenti dello schermo e della struttura muraria di contenimento di monte.

Ulteriore presidio sull’insorgenza di anomali movimenti del corpo diga e dei paramenti sarà assicurato dalla periodica osservazione in corso d’opera della strumentazione di monitoraggio topografico fisso intorno alla diga, eventualmente potenziata durante i lavori.

3.2.1.4 Conformazione e assetto del rivestimento in muratura di pietrame del paramento di valle.

Giova qui richiamare quanto già in proposito esposto nella Relazione Generale (elaborato R-01). Il paramento di valle (vedi Figura 3-8 e Figura 3-9) è rivestito interamente con pietrame stilato e malta, formando un rivestimento murario di spessore pari a circa 70 cm. Esso è articolato in cinque falde aventi scarpa (H:V) pari a 1:1, intervallate da altrettante berme orizzontali altimetricamente equidistanziate, aventi larghezza pari a 2 m circa.

Come ampiamente dimostrato nelle analisi e simulazioni esposte nella relazione strutturale riferita al corpo diga (elaborato R-05.1), il rivestimento del paramento di valle non assolve alcun ruolo strutturale e non partecipa direttamente alla stabilità dell'opera di sbarramento. Esso invece limita l'esposizione del *rockfill* sottostante all'azione dilavante dell'acqua piovana, contrastando i naturali effetti di alterazione o degrado.

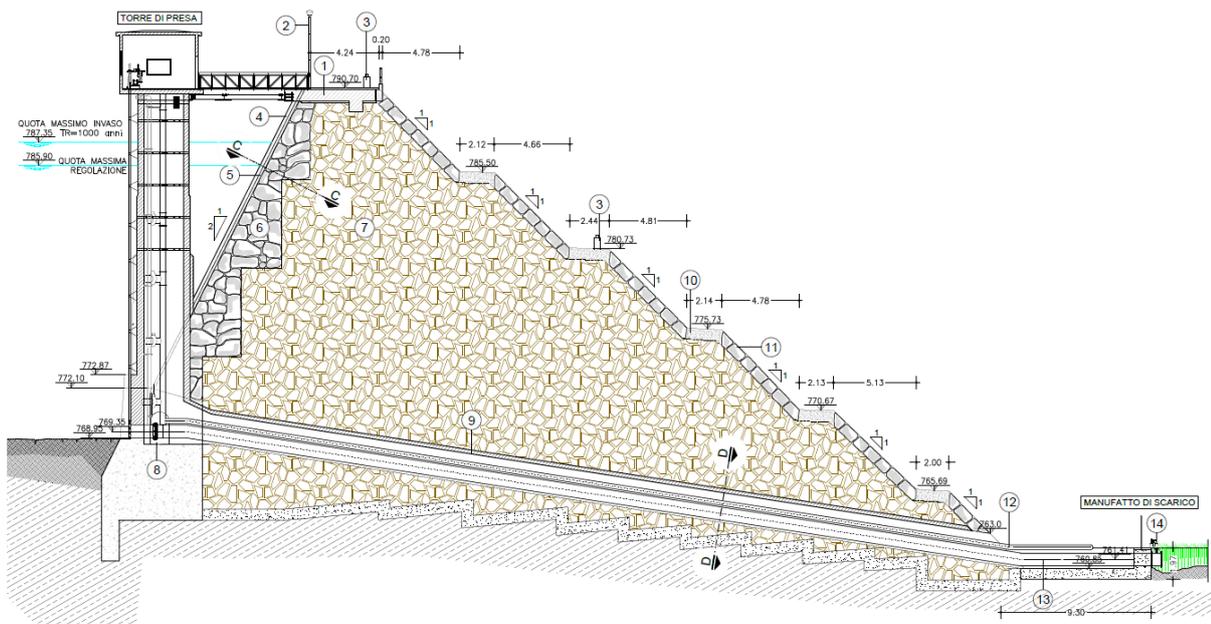


Figura 3-8: Sezione trasversale della diga in asse al cunicolo dello scarico di fondo e della condotta di derivazione.



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

Allo stato attuale il rivestimento del paramento di valle mostra un quadro fessurativo caratterizzato da lesioni passanti attraverso lo spessore del pietrame stilato (70 cm). Le fessure di maggior ampiezza (Figura 3-10) sono attualmente monitorate attraverso l'impiego di 8 estensimetri e periodicamente mappate.

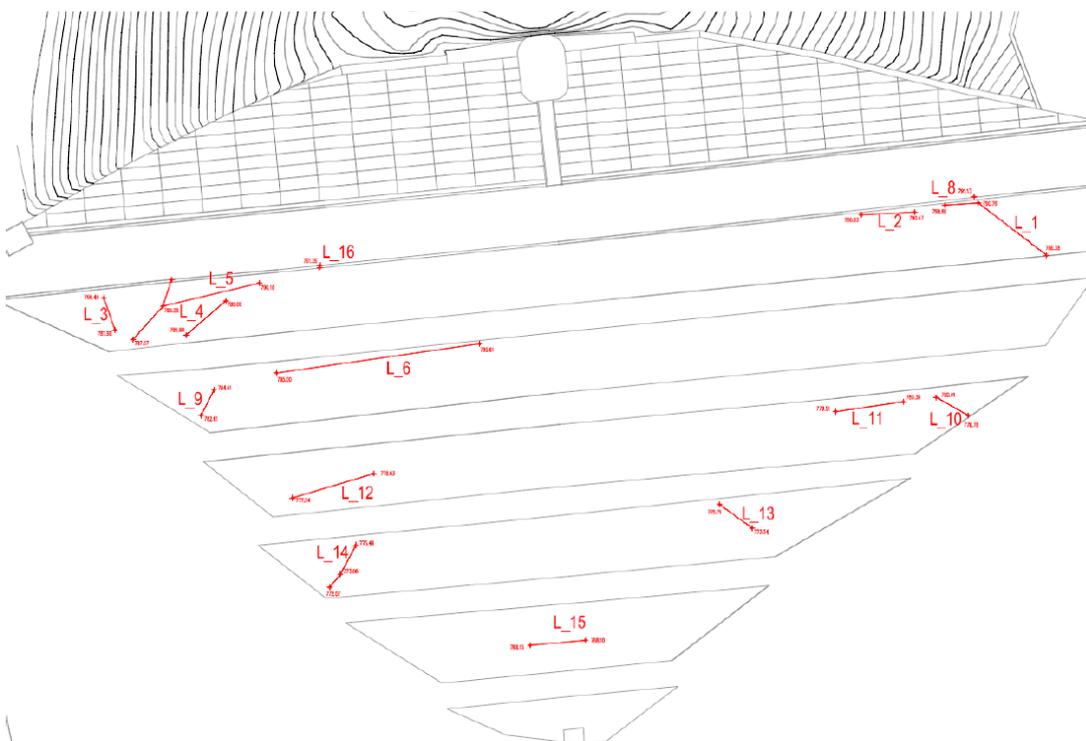


Figura 3-10: linee di fratturazione principali presenti sul rivestimento murario del paramento di valle (rilievo 2012)

Oltre alla presenza delle fessure è stato rinvenuto in destra idraulica un locale limitato rigonfiamento del paramento.

3.2.1.5 Probabile causa dell'insorgenza delle fratture sul rivestimento murario del paramento di valle

Verosimilmente il quadro fessurativo che si è manifestato progressivamente nel tempo lascia ritenere che esso trovi la sua più probabile spiegazione nella circostanza che il complesso della muratura di rivestimento del paramento di valle, costituito da pannelli murari sostanzialmente rigidi, tipicamente non è stato in grado di subire deformazioni elastiche tali da adeguarsi agli assestamenti che nel tempo invece hanno interessato l'ammasso in *rockfill* sottostante.

È infatti noto che anche solo per effetto del regime tensionale derivante dal peso proprio dei blocchi lapidei soprastanti (nella fattispecie di natura arenacea e talora marnosa) si producano nel tempo deformazioni irreversibili dovute alla plasticizzazione e rottura delle asperità dei blocchi nei quali si possono determinare concentrazioni della tensione dovuta alla varia combinazione delle azioni litostatiche e di quelle dipendenti dalla spinta idrostatica dell'acqua invasata. Il complesso di tali fenomeni deformativi nelle dighe in *rockfill* è descritto in letteratura (cfr. es. "Geotechnical Engineering of Dams, 2nd Ed. – Robin Fell et Al., 2015 §15.6.2,) e può dar luogo a cedimenti assoluti al coronamento dell'ordine di qualche percento sull'altezza dell'opera di sbarramento.

La diga di Cerventosa è stata nel tempo sicuramente interessata da tale tipo di fenomeni che sono stati osservati anche in occasione dell'esecuzione di saggi esplorativi effettuati sulle berme nel corso della campagna di indagini geognostiche (*Sondeos*, 2006) e sul coronamento in occasione della realizzazione della trincea esplorativa effettuata nel corso delle indagini propedeutiche di caratterizzazione dei materiali per la valutazione della sicurezza della diga (*Valutazione della sicurezza, statica, sismica e idraulica della Diga di Cerventosa* – Chiarini Associati, 2015).



Figura 3-11: frattura presente nella zona destra del rivestimento murario di valle, appena al di sotto della prima berma dall'alto. La lesione ha andamento subparallelo ai filarotti dei conci in pietrame, con rigetto di alcuni centimetri del bordo superiore rispetto a quello inferiore della frattura.

3.2.1.6 Metodologia e articolazione delle fasi di lavorazione per la rimozione del rivestimento murario attuale e la costruzione del ringrosso di valle.

Il progetto prevede che sia demolito e rimosso il rivestimento murario attualmente presente sul paramento di valle. A tale scopo sarà adottata la seguente metodologia di lavorazione che non determina condizioni di rischio di collasso parziale né del rivestimento medesimo, né del sottostante ammasso in blocchi di pietrame.

Si procederà in ogni caso dal basso, iniziando a demolire e rimuovere, per strisce orizzontali di modesta altezza, la zona di passaggio tra il bordo di valle della berma più depressa e il ciglio superiore dell'ultima falda del rivestimento ivi concorrente. La demolizione avverrà mediante l'impiego di escavatori muniti di martelli pneumatici e il materiale rimosso sarà immediatamente avviato all'impianto di frantumazione allestito nell'area operativa di valle.

Questa modalità di lavoro non compromette la stabilità del rivestimento della berma in massetto di calcestruzzo che potrà adagiarsi progressivamente nel sottostante riempimento in blocchi lapidei, adattandosi alla conformazione della superficie di questi

con locali fratture che interesseranno comunque frammenti murari a giacitura prettamente orizzontale. Né d'altro canto potrà generare collassi della falda muraria in quanto essa verrà progressivamente alleggerita venendo via via diminuita in altezza, procedendo con avanzamento laterale della demolizione.

Appena la falda inferiore del rivestimento murario sarà stata rimossa, previa preparazione del piano di posa e maturazione del prolungamento del cunicolo in c.a. dello scarico di fondo, avrà inizio la costruzione del nuovo rilevato per il rinfiacco del paramento di valle, sia mediante il riuso dei materiali provenienti dalla frantumazione del rivestimento murario demolito, che con l'apporto di nuovo idoneo materiale granulare da cava di natura calcarea.

Una volta che il piano del nuovo rilevato avrà raggiunto la quota della prima berma inferiore si procederà alla demolizione della falda superiore passando poi alla demolizione e rimozione del rivestimento della berma stessa e infine al successivo ulteriore rialzamento del rilevato di rinfiacco. Il tutto secondo le medesime modalità descritte nei due paragrafi precedenti.

Questo processo sarà poi progressivamente iterato fino a raggiungere il piano di posa del nuovo strato di fondazione stradale del coronamento della diga.

3.2.2 OSSERVAZIONE N.2:

“È opportuno che il Gestore presenti sezioni geotecniche rappresentative dei terreni di fondazione, delle sponde e delle spalle, coerenti con il modello geotecnico, che dovranno essere sovrapposte allo stato di progetto, ed elaborati grafici delle fasi costruttive della nuova struttura-dispositivo di tenuta.”

RISPOSTA:

Tra gli elaborati costituenti il progetto definitivo è stata inserita la nuova tavola T-PG01 “Sezioni geotecniche. Planimetria e sezioni” riportante le ricostruzioni stratigrafiche desunte dalle prospezioni geofisiche a rifrazione in onde S e P oltre che ai sondaggi esplorativi realizzati durante le varie campagne geognostiche.

Il procedimento di realizzazione del nuovo dispositivo di tenuta è illustrato al punto nella risposta alla precedente osservazione tecnica n.1.

3.2.3 OSSERVAZIONE N.3:

“In merito al nuovo paramento di monte non sono presenti le verifiche dell’ancoraggio alla muratura del manto. È opportuno arricchire i particolari costruttivi e chiarire le modalità con le quali il nuovo sistema di drenaggio del manto di tenuta (canne di drenaggio annegate nel getto ed interrotte alla quota di massimo invaso prevista) risponda alla funzione di raccolta e controllo delle eventuali filtrazioni (sui giunti e dal manto stesso). Non sono presenti verifiche geotecniche dei pali di fondazione della struttura di tenuta. Non è chiaro come viene garantito l’ammorsamento e il raccordo in spalla della nuova struttura di tenuta.”

RISPOSTA:

All'interno della reazione R05.1 *“Relazione strutturale e fascicolo di calcolo: diga”*, al paragrafo §8.2 è presente la verifica dei pali di fondazione del manto di monte. Per quanto attiene invece l’ancoraggio del nuovo schermo in c.a. sull’esistente porzione strutturale muraria mediante gli appositi inghisaggi, è stato aggiunto nella nuova revisione della relazione R05.1 l’apposito paragrafo §8.3 *“Verifica degli elementi di ancoraggio del nuovo manto di tenuta in c.a. al paramento in muratura esistente”*.

Gli elementi di ancoraggio sono quindi stati verificati a taglio mediante l’impiego delle sollecitazioni desunte dal modello FEM 3D sviluppato in Straus 7. L’intersezione tra la peculiare geometria a “V” della valle e la forma del corpo diga genera infatti una concentrazione di tensioni a taglio orizzontali collocate in corrispondenza della porzione superiore del nuovo schermo di monte, imponendo il raffittimento degli ancoraggi in ragione di 2/m², in luogo degli inizialmente previsti 1/m².

La modifica è stata quindi recepita nelle tavole progettuali da T-PM02.1 a T-PM02.7.

3.2.4 OSSERVAZIONE N.4:

“È necessario che il progettista valuti l’ammissibilità degli effetti che gli spostamenti del coronamento, statici e sismici nonché nelle situazioni transitorie di demolizione, potrebbero provocare sulla torre di presa, in quanto quest’ultima è collegata in sommità allo sbarramento in modo tale da non permettere del tutto spostamenti verticali e orizzontali. Si evidenzia che tale valutazione era presente nello studio di rivalutazione sismica del 2016 mentre è assente nel progetto definitivo in oggetto.”

RISPOSTA:

A tale proposito è stata redatta la nuova revisione 1 dell'elaborato R-05.2 “*Relazione strutturale e fascicolo di calcolo: torre di presa*” nella quale è stato aggiunto il paragrafo 7 “*Effetti sulla torre di presa indotti dagli spostamenti della sommità del corpo diga*” contenente le valutazioni circa gli spostamenti attesi sia per azioni statiche che sismiche e le loro conseguenze sulle strutture in c.a. della torre.

3.2.5 OSSERVAZIONE N.5:

“Il Progettista deve effettuare valutazioni circa la tenuta delle spalle (aggiramento); in merito si fa presente che la redazione delle sezioni geotecniche di progetto, precedentemente richieste, è funzionale anche a questo tipo di valutazione. Inoltre, il progettista deve effettuare le verifiche degli scavi provvisori e definitivi che interessano i versanti delle sponde e delle spalle. Ad esempio, in spalla sinistra viene presumibilmente demolito il muro di contenimento esistente in favore di uno scavo sostenuto da tiranti passivi; mancano, però, elaborati di verifica di stabilità/tenuta dello scavo (supportati da adeguate sezioni geotecniche), oltre che elaborati che dettagliano le modalità di scavo e chiariscono se la demolizione del muro di contenimento/tenuta presente è totale o parziale.”

RISPOSTA:**3.2.5.1 Nuove sezioni geologico-tecniche in corrispondenza delle spalle della diga**

In adempimento alla richiesta sopra trascritta è stato redatto uno specifico elaborato grafico (PG-01) in cui sono state rappresentate varie sezioni geologico-tecniche indicanti gli spessori della coltre detritica e dello strato superficiale di alterazione del bedrock nell'area di sedime dello sbarramento attuale e di quelle che saranno occupate dal rinfianco di valle e dal nuovo schermo di tenuta in c.a. a monte.

Dette sezioni sono state desunte di concerto con il consulente geologo Dott. G. Censini tenendo conto dei risultati ottenuti mediante l'esecuzione della campagna d'indagine in sito basata su stendimenti sismici a rifrazione a monte e a valle della diga, aventi andamento parallelo o sub parallelo a quello del coronamento.

In tali sezioni, allo scopo di verificare l'effettiva idoneità degli scavi al raggiungimento dei livelli di adeguata competenza del *bedrock* per la posa dei materiali cementizi del

nuovo schermo di tenuta a monte, o degli inerti del rinfiacco di valle, si è mostrata la sovrapposizione della proiezione dei fronti di scavo previsti.

Per il locale posizionamento degli spessori della coltre detritica e dello strato di alterazione delle formazioni rocciose in posto si è tenuto in debito conto che la morfologia attuale della valle in prossimità delle spalle della diga è il risultato anche degli scavi effettuati per la sua originaria costruzione, in ragione dei quali la maggior parte della coltre detritica fu già rimossa, così come dello strato di alterazione che adesso risultano sicuramente avere un minor spessore di quello rinvenibile più a monte e più a valle della zona di sbarramento. L'effetto di tali scavi si evidenzia per altro anche dall'andamento delle attuali isoipse in prossimità delle spalle, dove le curve di livello tendono generalmente a convergere verso la linea d'asse del coronamento.

Dall'esame delle sovrapposizioni sopra descritte si evince una generale idoneità della conformazione dei fronti di scavo in ordine al raggiungimento degli strati rocciosi di maggior compattezza, fermo restando la necessità di essere ricorsi a pendenze massime dei medesimi differenziate tra i due versanti, presentando, come noto, quello di destra immersione a *reggipoggio* e quello di sinistra a *franapoggio*.

3.2.5.2 *Demolizione parziale e adeguamento dell'opera di sostegno a ridosso della spalla sinistra sul lato di monte*

A chiarimento e ad integrazione di questo intervento è stato progettato uno specifico aggiornamento dell'opera di sostegno indicata in dettaglio nell'elaborato grafico TP-M03.

In sostanza è stato rappresentato planimetricamente ed in sezione, nonché nella successione delle sue fasi realizzative, l'intervento consistente nella demolizione parziale dell'attuale inidoneo (o comunque degradato) rivestimento corticale in c.a. della zona sommitale della sponda sinistra a ridosso della spalla della diga e nella sua sostituzione con una berlinese in micropali con una fila di tiranti passivi da 15 m di lunghezza in sommità per il sostegno dello scavo in sicurezza dello sbancamento necessario al raggiungimento della prima piazzola di esecuzione del nuovo placcaggio, con rivestimento in calcestruzzo proiettato, ancorato alla roccia in posto con tiranti passivi da 10 m di lunghezza. Procedendo in modo analogo fino alla zona di scavo più depressa.

Tale tipologia d'intervento, oltre a consentire la protezione e stabilità dei fronti di scavo, grazie al definitivo intervento di placcaggio costituirà anche un valido presidio contro l'innescò di eventuali fenomeni di sifonamento laterale (aggiramento), stante la possibilità di tamponare con il getto di calcestruzzo le principali vie di permeazione della roccia in posto, che sarà comunque spogliata della parte più fratturata dello strato di alterazione e

che verrà in tutti i casi soggetta ai necessari disgiunti per l'operatività in sicurezza delle maestranze addette alla posa delle reti elettrosaldate previste nei placcaggi.

3.2.5.3 *Ulteriori presidi per la prevenzione di rilascio di frammenti lapidei dai fronti di scavo*

Nelle aree interessate da scavi di sbancamento a monte e a valle della diga attuale, interessanti la coltre detritica e la fase di alterazione degli strati rocciosi, i fronti dei stessi saranno comunque gradonati e su ogni falda tra due berme o piazzole successive, che avrà al massimo sviluppo inferiore ai 6 m, verrà realizzata una protezione corticale in idonea rete metallica zincata a maglie esagonali 8x10 cm, vincolata con appositi cavi d'acciaio ai bordi superiori ed inferiore, a loro volta ancorati alla roccia o al terreno mediante apposite barre di ancoraggio passive in acciaio tipo B450C, aventi lunghezza pari ad almeno 3 m e diametro 24 mm.

3.2.6 OSSERVAZIONE N.6:

“Non è presente il piano di monitoraggio della diga. La tavola T-MON non riporta le caratteristiche della strumentazione installata (quote, terreni interessati, tipologia ecc..). Sarebbe opportuno anche rendere coerente la strumentazione installata con la necessità di monitorare durante le fasi esecutive alcune grandezze significative quali ad esempio i cedimenti del rilevato.”

RISPOSTA:

L'elaborato grafico “T-MON - Ripristino del sistema di monitoraggio topografico, inclinometrico e piezometrico. Planimetria” è stato oggetto di revisione. In particolare sono ora riportate in forma tabellare riassuntiva le quote di installazione e le coordinate di installazione nel sistema Gauss-Boaga di tutti i nuovi strumenti di misura che integrano la rete di monitoraggio già presente in diga.

Come già descritto all'interno della presente relazione, agli strumenti previsti inizialmente è stata prevista l'installazione di 7 nuovi clinometri strutturali biassiali a sensore MEMS da installarsi nella torre di presa e sulla nuova struttura di tenuta in c.a. di monte. I clinometri sono dotati di centralina di monitoraggio ed interfaccia di trasmissione del dato in tempo reale. I clinometri garantiranno la possibilità di misurare le variazioni di inclinazione di ciascun punto di misura permettendo di integrare l'informazione di spostamento già acquisita per mezzo della rete di monitoraggio topografico. Il sensore installato nella torre, disponibile anche in fase di cantierizzazione, permetterà di valutare eventuali derive del manufatto non previste nelle fasi di

asportazione del manto di impermeabilizzazione di monte o nelle fasi di stesura del nuovo rockfill di valle.

I clinometri installati lungo due verticali sul nuovo manto di monte (di cui 4 a tenuta stagna per prolungati periodi di immersione in condizione di diga piena) permetteranno invece di tracciare nel tempo le deformazioni del nuovo paramento, evidenziando eventuali fenomeni viscosi o permettendo, in virtù della alta frequenza di lettura, la creazione di soglie di allarme pre-impostate.

I cedimenti del rilevato, prevedibilmente di piccola entità vista la rigidità del piano fondale e dei materiali di riporto adottati, saranno invece monitorati attraverso la rete topografica prevista.