 <p>Renewable Energies Italy Operation & Maintenance Hydro Italy Maintenance and Technical Services Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil</p>	Impianto/ Plants:	CODICE / CODE
	Impianto di Gallicano: Diga di Gangheri	GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ Title:	Data/Date 02/07/2019
	Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Pagina/Sheet 1 di/of 28



Area Centro Nord
Unità Territoriale di Lucca

IMPIANTO IDROELETTRICO DI GALLICANO DIGA DI GANGHERI

PROGETTO DEFINITIVO DI INCREMENTO DELLA SICUREZZA IDRAULICA DELLA DIGA DI GANGHERI

(ai sensi del punto H.2.2 DM 26-6-2014)

1 - Relazione generale

Progettazione generale

Ing.Sara Gabbrielli

Collaborazione


Ing.Antonio Parisi-Ing.Alberto Bonafè

Per il Concessionario

Ing. Massimo Sessego


Nome file:R1 Relazione generale

00	02/07/2019	PRIMA EMISSIONE	S. Gabbrielli A. Parisi A. Bonafè		A. Frezza	A. Frezza															
REV. REV.	DATA DATE	DESCRIZIONE DESCRIPTION	PREPARATO PREPARED	COLLABORAZIONE CONTRIBUTION	CONTROLLATO CHECKED	VALIDATO VALIDATED															
PROGETTO / IMPIANTO PROJECT / PLANT		CODICE - CODE																			
DIGA DI GANGHERI- Incremento della sicurezza idraulica: Relazione Generale		GRUPPO GROUP	FUNZIONE FUNCTION	TIPO TYPE	EMITT. ISSUER	PAESE COUNTRY	TEC. TEC.	IMPIANTO PLANT	SISTEMA SYSTEM	PROGRESSIVO PROGRESSIVE	REV. REV.										
		GRE	OEM	R	9	0	I	T	H	4	9	0	0	8	1	0	0	3	5	0	0
CLASSIFICAZIONE <input checked="" type="checkbox"/> PUBBLICO <input type="checkbox"/> AZIENDALE <input type="checkbox"/> RISERVATO <input type="checkbox"/> RISTRETTO CLASSIFICATION PUBLIC COMPANY CONFIDENTIAL RESTRICTED								UTILIZZO: UTILIZATION Progetto SCOPE:													
Questo documento contiene informazioni di proprietà di Enel e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Enel. <i>This document is property of Enel. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel.</i>																					

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 2 di/ of 28

Sommario

1. Premessa.....	3
2. Analisi idrologica: portate di riferimento.....	4
3. Caratteristiche principali della diga esistente.....	5
4. Il monitoraggio e comportamento della diga.....	7
5. Descrizione dell'intervento di miglioramento	8
6. Aspetti idraulici rilevanti.....	10
7. Altri interventi previsti. Riempimento fori	11
8. Indagini conoscitive sui materiali della diga. Rilievo topografico dell'alveo	12
9. Verifiche statiche e sismiche della diga.....	14
Risultati.....	16
10. Aspetti costruttivi rilevanti e calcoli strutturali.....	18
11. Interferenze per autorizzazione idraulica	19
12. Aspetti geologici rilevanti	20
Stabilità ed impermeabilità dei versanti.....	20
Roccia delle spalle e d'imposta della diga	22
Approfondimenti sugli ammassi rocciosi immediatamente a valle della diga	26
13. Modalità operative, cronoprogramma e sistema di monitoraggio in progetto e durante i lavori	27

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Gallicano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 3 di/ of 28

1. Premessa

La diga di Gangheri è una diga ad arco tracimabile finita di costruire nel 1921 e sbarra il torrente Turrite di Gallicano, in comune di Vergemoli (Lu).

Nel corso del suo esercizio il livello d'invaso ha superato quello massimo previsto nel progetto originario in occasione di due eventi eccezionali, quello del 19/6/1996 e del 20/10/2013.


A seguito del parere della Divisione 7 sulla rivalutazione idrologica della diga di Gangheri (nota 17636 del 28/11/2013), a conclusione dell'istruttoria sulla sicurezza idrologico - idraulica dell'invaso di Gangheri da parte della Divisione 5 della Direzione generale Dighe (prot. n.17915 del 02/12/2013), l'UTD Firenze ha richiesto al Concessionario un intervento di incremento della sicurezza idraulica della diga, con nota prot.n. 19648 del 30/12/2013, in modo da esitare in sicurezza il colmo di piena stimato per l'evento millenario.

Enel ha valutato le possibili soluzioni di intervento e proposto, in un primo momento, una soluzione che prevedeva l'innalzamento della quota di massimo invaso insieme a quella di coronamento, nota ENEL prot.n. 17456 del 28/04/2014, e successivamente un intervento che prevedeva un minor incremento della quota di massimo invaso a scapito di una riduzione della quota massima di regolazione, nota Enel prot.n.49881 del 29/12/2015.

Tale intervento prevede infatti di abbassare le soglie di sfioro in modo che il colmo di piena stimato per un evento con tempo di ritorno di 200 anni, pari a 210 m³/s, sia esitato a valle con un livello d'invaso pressoché pari al massimo attuale e che il colmo di piena stimato per un evento con tempo di ritorno di 1000 anni, pari a 320 m³/s, sia esitato nel rispetto del franco previsto dalla normativa vigente, con un livello di massimo invaso superiore all'attuale di meno di un metro.

La proposta progettuale preliminare è stata valutata positivamente dal Direzione Generale per le Dighe con nota 6552 del 23/3/2016.

La presente relazione, insieme alle altre specialistiche, agli Elaborati grafici e agli altri allegati tecnici riportati nell'Elenco dei Documenti, costituisce il Progetto Definitivo dell'intervento di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri ai sensi del DM 26-6-2014, punto H.2.2.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Gallicano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 4 di/of 28

2. Analisi idrologica: portate di riferimento

Il bacino imbrifero afferente lo sbarramento di Gangheri è ubicato nell'alta vallata del fiume Serchio e il torrente Turrite di Gallicano che lo alimenta rappresenta un affluente in destra orografica del corso d'acqua principale.

L'attività relativa alla valutazione della sicurezza idrologico-idraulica della diga di Gangheri ha avuto inizio nel 2005 a seguito della lettera Prot. 792/UCCE dell'Ufficio Coordinamento Controllo Dighe in Esercizio (U.C.C.E.) del 07.02.2005 che richiedeva uno studio idrologico-idraulico per *“la valutazione idrologica della portata di piena e la conseguente verifica della capacità degli scarichi esistenti”*.

La richiesta, effettuata nell'ambito del procedimento per l'approvazione del F.C.E.M., evidenziava tra l'altro *“un evento eccezionale verificatosi nel 1996 che ha determinato il superamento del massimo invaso di circa 80 cm (portata massima scaricata 115 m³/s)”*.

A seguito di tale richiesta sono state redatte da Enel alcune relazioni idrologiche¹ per la definizione dei valori di portata al colmo per assegnati tempi di ritorno.

Nelle diverse relazioni Enel ha utilizzato congiuntamente tutta l'informazione idrologica disponibile nell'area, sia idrometrica che pluviometrica, facendo specifico ricorso nello sviluppo dell'analisi statistica diretta ad un approccio di tipo regionale.

La Div.7-Ufficio Idraulica invece, nel formulare risposte a quanto inviato da Enel, stimava tali valori di portata al colmo significativamente più cautelative, facendo ricorso unicamente ad un'analisi statistica diretta utilizzando i risultati di uno studio regionale.


Nell'istruttoria prot n° 13277 del 23/12/2009, basandosi su una rielaborazione statistica del solo campione di portate al colmo massime annue osservate alla diga, la Div.7-Ufficio Idraulica perveniva ad una stima delle portate Q_{200} , Q_{500} e Q_{1000} di 210, 263 e 317 m³/s,

A seguito dell'evento di piena del 20 ottobre 2013, la Divisione 7 della Direzione generale Dighe (nella nota prot. n.17636 del 28/11/2013) ribadisce i contenuti della relazione sopracitata e che la portata al colmo millenaria attesa alla diga di Gangheri debba essere assunta non inferiore a 320 m³/s, condizione che si è rispettata nello sviluppo delle successive elaborazioni progettuali.

In tabella si riepilogano le portate di riferimento per il presente progetto.

Tr (anni)	200	500	1000
Q (portata al picco mc/s)	210	265	320

¹ “Diga di Gangheri- Relazione idrologica”, 12/01/2005, “Diga di Gangheri, Verifica idraulica della capacità di scarico dello sfioratore”, 5/9/2006, “Diga di Gangheri, integrazioni alla verifica idraulica” -2/2/2007, “Diga di Gangheri, Aggiornamento dell'analisi idrologica finalizzata alla stima della massima portata di piena attesa allo sbarramento” 18/01/2011

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 5 di/ of 28

3. Caratteristiche principali della diga esistente

La diga di Gangheri è una struttura ad arco, trascinabile su gran parte dello sviluppo. Finita di costruire nel 1921 e collaudata nel 1928, fu realizzata in due fasi, la prima per la porzione più bassa dalla base fino a 15 m dal coronamento, e la seconda per la porzione sommitale. La tenuta del paramento di monte è espletata da uno spessore in gunite armata, realizzato nel 2005 in sostituzione dell'originario intonaco, mentre il paramento di valle è rivestito in bolognini.

Di seguito si riportano i dati principali.

Tipologia diga

(punto B.2. D.M. 26/6/14)

a.2.1 – Diga di calcestruzzo ad arco


(punto A.1 D.M. 24/3/82)

A.b.1- Diga muraria ad arco

Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24/3/82)	42 m
Altezza della diga (ai sensi del D.L. 584/94)	40 m
Altezza della diga (ai sensi del D.M. 26/6/14)	38,3 m

Altezza di massima ritenuta	36 m
Quota di coronamento	301.00 m s.l.m.
Sviluppo del coronamento (tra i giunti perimetrali)	58.50 m
Spessore della sezione maestra in sommità	3.20 m
Spessore della sezione maestra alla base	13.50 m
Quota di massimo invaso	299.00 m s.l.m.
Quota massima di regolazione	298.00 m s.l.m.
Quota minima di regolazione	272.00 m s.l.m.

La diga dispone di uno scarico di superficie, costituito da 7 luci sfioranti a soglia libera con ciglio di sfioro a quota 298.00 m s.l.m. Ciascuna luce ha una larghezza di 5 m, ad eccezione di quella in destra al locale di manovra dello scarico di fondo che, per l'ingombro della struttura di protezione del pendolo, è caratterizzata da una larghezza utile di 4.60 m. Le luci sono intervallate da pile di spessore di 60 cm. Le portate sfiorate defluiscono sul paramento di valle dissipando la loro energia in parte frangendosi contro la roccia dei versanti adiacenti le spalle della diga e in parte nel primo tratto di alveo che segue il piede diga, sia per il suo essere costituito in roccia non regolarizzata (quindi con elevata scabrezza), sia per la presenza del cuscino di acqua che si forma quando le portate acquistano consistenza, anche per effetto di una controbriglia muraria posta a valle.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 6 di/ of 28

Lo scarico di fondo è costituito da un cunicolo di sezione circolare rivestito in bolognini, di diametro 1.80 m e lunghezza 15 m, ricavato nella parte centrale del corpo diga. Il cunicolo, dotato nel 2005 di una tubazione aerofora in acciaio di diametro 300 mm, è intercettato all'imbocco da una paratoia piana a strisciamento di dimensioni 1.40 x 1.10 m² con soglia a quota 263.00 m s.l.m. La paratoia viene azionata dall'apposito locale di manovra posto sul coronamento. Le portate scaricate dall'organo di fondo vengono anch'esse convogliate al piede di valle della diga.

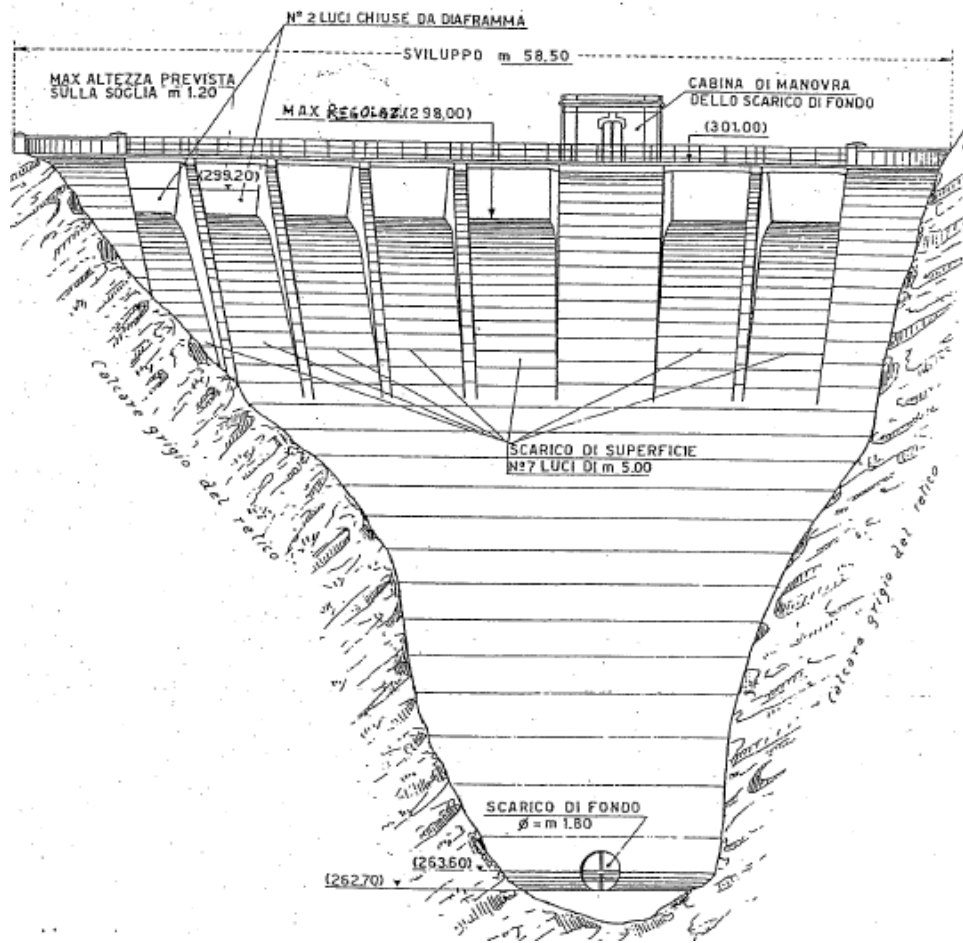



Figura 1 Stato attuale prospetto di valle

 Green Power Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 7 di/ of 28

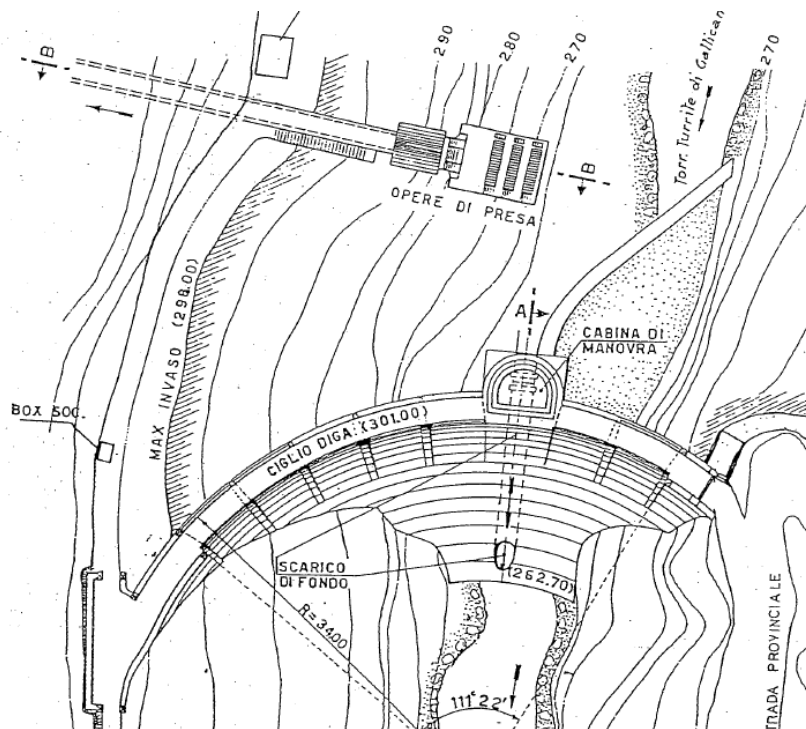


Figura 2 Stato attuale planimetria

4. Il monitoraggio e comportamento della diga


Il comportamento della struttura, negli spostamenti planimetrici, è monitorato dal 1990 tramite un pendolo rovescio, con postazione sul coronamento in corrispondenza della luce a destra dello scarico di fondo, in prossimità della sezione maestra.

Nella finestra temporale di 29 anni dal 1990 al 2019 l'andamento temporale delle misure risulta regolare sia per gli spostamenti in direzione destra-sinistra che per quelli in direzione monte-valle per i quali si nota soltanto una modestissima deriva verso monte di circa 0,1 mm/anno.

Le evidenze circa il buon comportamento dell'opera si confermano anche a seguito dei due noti eventi idrologici eccezionali risalenti a giugno 1996 e a ottobre 2013 durante i quali è stato superato il livello di massimo invaso di circa 78 e 84 cm, rispettivamente. Al transito delle piene, non sono emersi problemi di deflusso dalla diga e lo sbarramento non ha subito alcun danno.

Il monitoraggio della diga include anche la misura delle perdite, dalla diga stessa e dalla roccia delle spalle. Anche il controllo delle perdite non ha evidenziato nel tempo valori anomali risultando sempre estremamente contenuti, con i totali della diga al di sotto del l/s.

I grafici dettagliati dei movimenti e delle perdite sono riportati nella apposita Relazione n.5 "Monitoraggio, indagini conoscitive e prove" allegata al presente progetto [R05].

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 8 di/ of 28


5. Descrizione dell'intervento di miglioramento

L'intervento in progetto si configura come intervento di miglioramento ai sensi del punto H.2.2. del D.M 26-6-2014, atto ad incrementare la sicurezza idraulica. Da un punto di vista idraulico il progetto prevede interventi tali che

- ✓ il colmo di piena stimato per un evento con tempo di ritorno di 1000 anni, pari a 320 m³/s, sarà esitato nel rispetto del franco previsto dalla normativa vigente utilizzando tutti gli scarichi disponibili;
- ✓ il colmo di piena stimato per un evento con tempo di ritorno di 200 anni, pari a 210 m³/s, sarà esitato con un livello d'invaso pressoché pari al massimo attuale ovvero 299 m s.l.m. utilizzando tutti gli scarichi disponibili;
- ✓ al livello del nuovo massimo invaso di progetto lo scarico di superficie sarà in grado di esitare da solo una portata con tempo di ritorno superiore a 500 anni.

Gli interventi progettati per migliorare la sicurezza idraulica della diga sono:

1. Aumento della lunghezza sfiorante delle luci dello scarico superficiale. Si prevede di realizzare 4 luci di scarico sul sedime delle attuali 7 riducendo da 4 a 2 il numero delle pile, secondo lo schema di Fig.3. Lo spessore delle pile fra le luci passerà dagli attuali 60 cm a 80 cm. La luce 1 in sinistra (idraulica) sarà pertanto di $5+0.6+5=10.60$ m misurata sul ciglio. La luce 2 avrà larghezza di 4.6 m (invariata). La luce 3 avrà larghezza di $5.00-0.10+0.60+5.00-0.10=10.40$ m. Infine la luce 4 avrà larghezza di $5.00-0.10+0.60+5.00=10.50$ m. La lunghezza complessiva della soglia sfiorante passerà dagli attuali $6 \times 5 + 4.6 = 34.60$ m a $10.60+4.60+10.40+10.50=36.1$ m. Il numero inferiore delle pile consentirà inoltre di ridurre le perdite idrauliche, migliorando le condizioni di deflusso. La maggior larghezza delle tre luci maggiori, che passano da 5 m a oltre 10 m, consente di ridurre la vulnerabilità all'ostruzione da parte del materiale solido galleggiante trasportato dalle piene. Pericolo di ostruzione permane solo per la luce di 4.60 m.
2. Abbassamento di 70 cm della quota delle soglie di sfioro che passerà dall'attuale 298.00 m s.l.m. a 297.30 m s.l.m. In tale modo verrà abbassata di pari entità la quota massima di regolazione.
3. Aumento della quota di massimo invaso, che passerà dall'attuale 299.00 m s.l.m. a 299.70 m s.l.m. con un franco lordo di 1.30 m rispetto alla quota di coronamento, pari a 301.00 m s.l.m., che rimarrà inalterata. Il franco netto sarà di 1 m.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 9 di/ of 28

4. Demolizione e ricostruzione della passerella posta sul coronamento per adeguarla alle nuove pile di sostegno mantenendo inalterata la quota di estradosso che costituisce la quota di coronamento della diga, pari a 301.00 m s.l.m.,.

Lo scarico di fondo resta inalterato rispetto all'attuale consistenza.

Nelle Figg.3 e 4 sono riportati prospetti di monte e valle secondo progetto (Tavole 9 e 10)

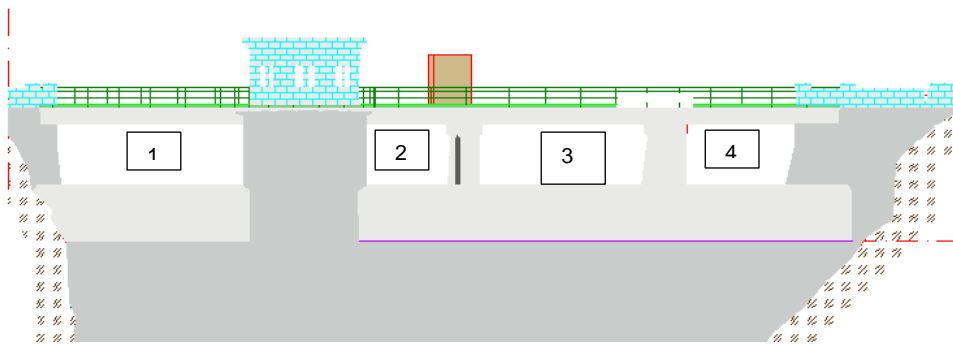


Figura 3 Stato di progetto Prospetto di monte

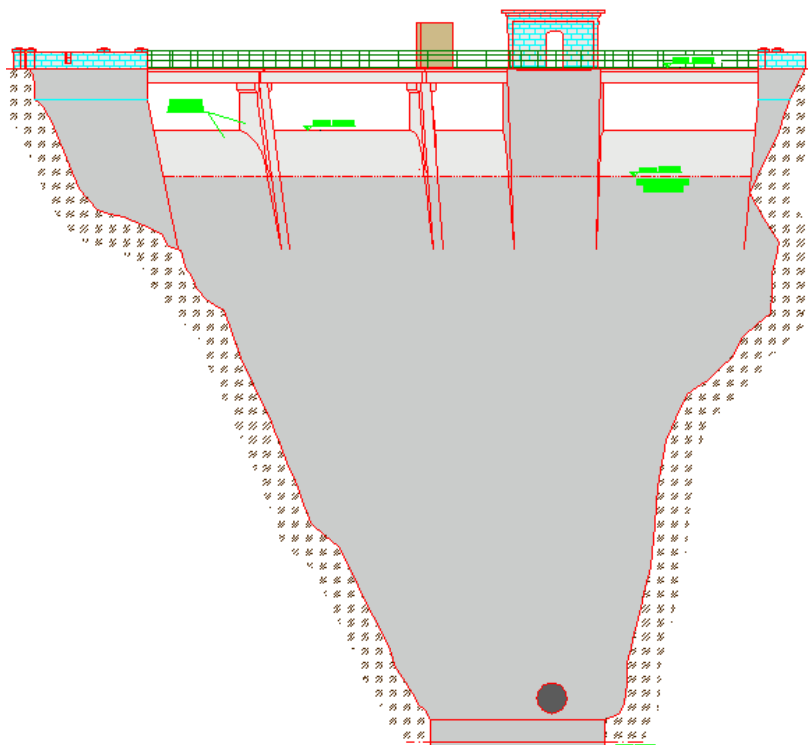



Figura 4 Stato di progetto prospetto di valle

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 10 di/ of 28

Le scelte progettuali permettono di ridurre possibili interazioni dell'invaso con aree spondali di monte occupate da infrastrutture e da residenze e, per piene eccezionali fino a tempi di ritorno di 200 anni, periodo di riferimento per qualsiasi progettazione/attività di difesa dal rischio idraulico sulle sponde di un vaso o di un corso d'acqua, coinvolge le stesse aree associate all'attuale massimo vaso.

Nei paragrafi successivi verranno sintetizzati i risultati relativi alle verifiche sulla stabilità dell'opera (paragrafo 9) e delle sponde (paragrafo 12) in relazione all'incremento del carico.

Nuove opere

Il progetto prevede la modifica della porzione più alta della diga che verrà demolita per circa 3,5 m in verticale e successivamente ricostruita in modo da ricostruire il ciglio sfiorante a una quota inferiore di 70 cm rispetto all'attuale.

Il profilo del ciglio sfiorante è stato determinato in modo da ottimizzarne sia l'efficienza idraulica che il raccordo con il paramento di valle esistente.

I dettagli dell'intervento sono contenuti nella Relazione 2 "Relazione idraulica" allegata al Progetto [R02].

Il nuovo arco sommitale, in calcestruzzo, sarà solidarizzato con la parte di diga sottostante rendendo adeguatamente scabra la superficie in modo da favorire la presa del nuovo calcestruzzo sul vecchio e attraverso l'inserimento di ferri di cucitura, ulteriore garanzia alla solidarizzazione. Cordoli in materiale idroespansivo saranno inseriti al fine di eliminare le filtrazioni al contatto fra il calcestruzzo vecchio e nuovo. Dal nuovo ciglio verranno realizzate anche le nuove pile in calcestruzzo armato di appoggio della nuova passerella.


Le due nuove pile, entrambe a destra della cabina dello scarico di fondo, saranno realizzate con assi coincidenti con quelli delle attuali seconda e quarta pila, da destra.

Per la costruzione della nuova passerella, che avrà quota di estradosso pari all'attuale, è previsto di realizzare travi rettilinee in calcestruzzo armato prefabbricate con la soletta armata, gettata in opera, che seguirà la forma arcuata della diga.

Passerella e pile sono state definite a livello esecutivo: la relazione di calcolo [R09] e le tavole corrispondenti [Tav 15-21] rappresentano il progetto esecutivo redatto dal professionista incaricato da Enel Green Power, Ing. Matteo Bruni, regolarmente iscritto all'ordine.

6. Aspetti idraulici rilevanti

Di seguito si sintetizzano alcuni degli aspetti di maggiore rilevanza contenuti della Relazione Idraulica [R02], rimandando a questa per ogni aspetto di dettaglio.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 11 di/ of 28

Il nuovo profilo di sfioro sarà di tipo Scimemi, come l'attuale, in modo da ottimizzare il coefficiente di efflusso, al passaggio di portate estreme, ma in modo anche da evitare problemi di eccessive depressioni e quindi danni legati alla cavitazione.

Le nuove pile di appoggio della passerella saranno realizzate con il lato di monte sagomato ad arco di cerchio, per l'intera altezza, in modo da ridurre gli effetti di contrazione della vena.

Definita la geometria del nuovo sfioratore e quindi i livelli corrispondenti al passaggio di portate con tempi di ritorno diversi, è stato determinato il franco netto, ai sensi delle NTD del 26/6/14. Questo è risultato di circa 1m per una portata millenaria pari a 320 m³/s.

Come richiesto dalla circolare RID prot. 3 199IUIDR del 12/04/2005, restando anche in progetto una luce con larghezza inferiore a 5 m, è stato valutato lo scenario di ostruzione di quest'ultima al 50%.

Data la presenza di una controbriglia posta a qualche decina di metri dal piede di valle, risalente alla costruzione della diga, sono state fatte delle considerazioni in merito al deflusso a valle delle portate sfiorate per valutare la dissipazione dell'energia della corrente a valle diga, come richiesto anche nella nota DGD n.6552 del 23/3/2016.

Data la conformazione geometrica dell'alveo immediatamente a valle della diga, con sezione che si restringe, parte della portata sfiorata dalle luci esterne tende ad impattare ai due lati con la roccia delle sponde prima di raggiungere il piede della diga, dissipando parte del contenuto energetico. La parte centrale della vena sfiorante segue il profilo in calcestruzzo della diga.

La presenza della controbriglia favorisce la formazione al piede di un cuscino d'acqua, che contribuisce a smorzare l'energia delle portate sfiorate dalle luci centrali.


La presenza della controbriglia, pertanto, contribuisce a ridurre i possibili problemi erosivi sulla roccia di cui si parlerà diffusamente nell'apposita Relazione Geomeccanica 8 allegata [R08].

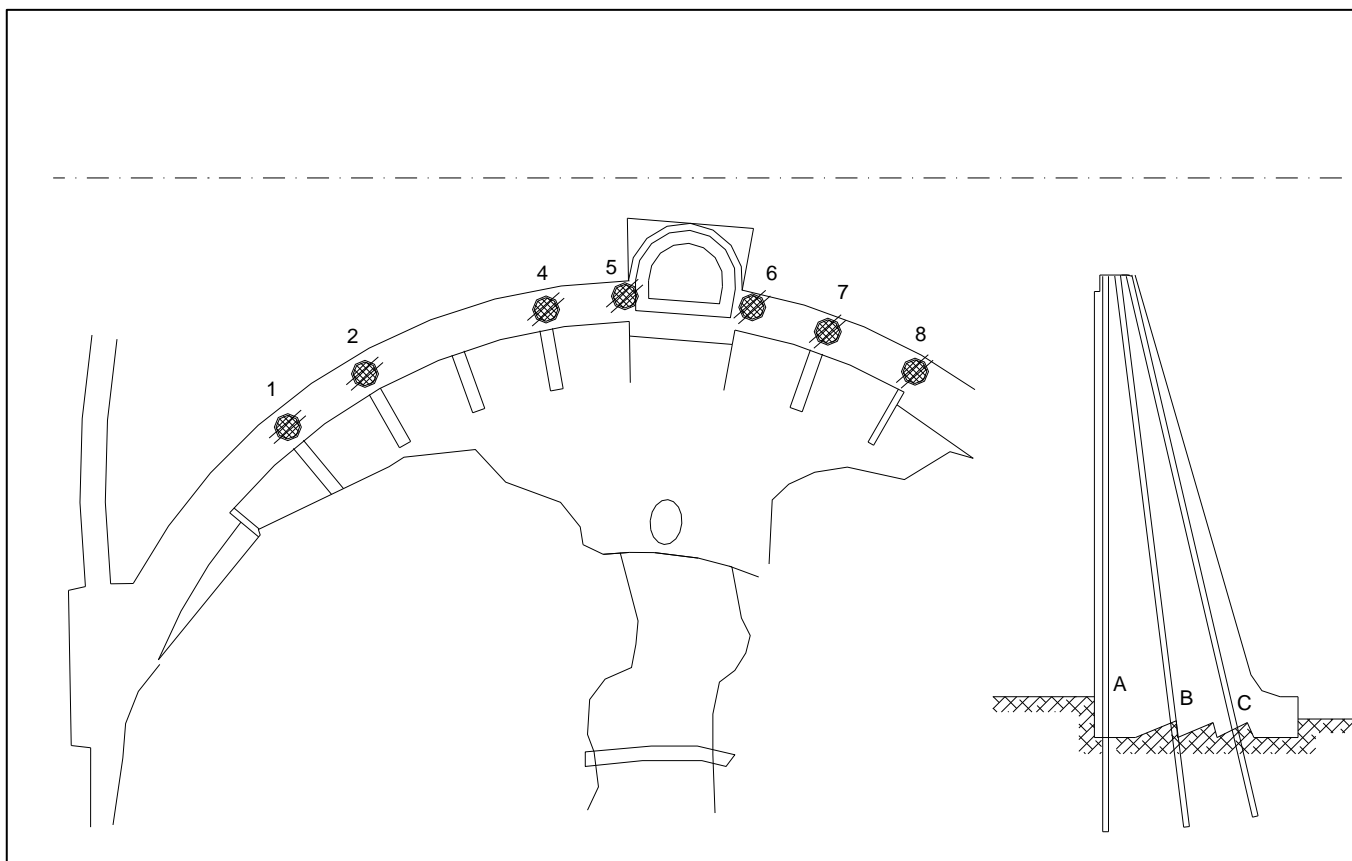
Nessun intervento è previsto per la briglia attuale.

7. Altri interventi previsti. Riempimento fori

Nel corpo della diga di Gangheri sono presenti 24 fori verticali disposti su 8 sezioni (una per ogni pila di sostegno della passerella e su entrambi i lati della cabina dello scarico di fondo), che attraversano l'intero corpo murario fino alla roccia di fondazione. Per ogni sezione trasversale sono presenti 3 fori, il primo, lato monte, verticale e gli altri due, verso valle, inclinati di 7°30' e 15°, come riportato nello schema seguente.

I fori hanno diametro di circa 6 cm.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 12 di/ of 28



I fori, risalenti alle campagne di indagini degli anni 70 (vedi [R05]), furono successivamente attrezzati con un tubo fessurato ed utilizzati per misure del livello d'acqua.


Recentemente (febbraio 2019) sono stati rimossi i tubi da alcuni fori, ove possibile, per procedere a nuove indagini geofisiche di supporto alla caratterizzazione dei materiali costituenti la diga ai fini delle verifiche dell'intera opera.

Nell'ambito dei lavori in progetto si prevede di intasare tutti i fori con boiaccia di cemento per evitare permanenza di acqua all'interno dei fori che non hanno possibilità di scarico.

I dettagli dell'intervento saranno descritti nel Progetto Esecutivo.

8. Indagini conoscitive sui materiali della diga. Rilievo topografico dell'alveo

Le caratteristiche meccaniche del materiale costituente la diga e della roccia della sezione d'imposta sono state ricavate, ai fini delle verifiche dell'intera opera e delle valutazioni geomeccaniche della roccia, facendo un'analisi critica dei risultati di diverse campagne di indagini che hanno interessato l'opera a partire dal 1971 fino al 2019.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Gallicano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 13 di/ of 28

In particolare le ultime campagne di indagini (2015 e 2019) hanno permesso di definire i materiali costituenti il corpo murario e la roccia di fondazione ed effettuare le verifiche statiche e sismiche della diga nella condizione di progetto ai sensi della normativa tecnica sulle dighe del 2014 (NTD2014).

Preliminarmente alle attività di progettazione è stato anche eseguito un rilievo topografico di dettaglio della diga, in modo da avere una rappresentazione precisa della geometria delle opere, per le quali erano a disposizione solo le tavole di progetto.

Il rilievo ha anche interessato le aree immediatamente a monte e a valle della diga, sponde e spalle.


L'attività di campagna è stata svolta nell'autunno del 2016, tramite tecnologia laser scanner 3D e tecnologia topografica tradizionale (stazione totale).

Importante segnalare che le quote di riferimento della diga, in utilizzo fino ad ora e riportate nei documenti ufficiali, differiscono da quelle IGM95, ovvero da quelle della cartografia regionale e di riferimento per il territorio, di un offset di 1,8 m.

Il presente progetto fa riferimento alle quote di impianto (vedi Tavole) fatto salvo il modello a EF utilizzato per le verifiche della diga in condizioni di progetto [R06] per il quale è stato fatto riferimento al sistema IGM. Per una migliore lettura dei documenti di progetto di seguito si riporta una tabella di confronto per le quote significative d'impianto nei due sistemi di riferimento, quello di impianto e quello IGM.

	<u>Quota impianto</u> m slm	<u>Quota IGM</u> m slm
Massimo invaso attuale	299	297,2
Massimo invaso progetto	299,7	297,9
Massimo massima regolazione attuale	298	296,2
Massimo massima regolazione progetto	297,3	295,5
Passerella di coronamento attuale e progetto	301	299,2

Il dettaglio delle indagini è riportato nella apposita Relazione 5 "Monitoraggio, indagini conoscitive e prove" allegata al progetto [R05].

 Green Power Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 14 di/of 28

9. Verifiche statiche e sismiche della diga

Fanno parte del presente progetto le verifiche aggiornate dell'intera opera, nella configurazione di soglie abbassate, ai sensi delle NTD 2014 [R06], richieste da DGD nella stessa nota 6552 del 23/3/2016.

La verifica è stata svolta utilizzando un modello a elementi finiti tridimensionale (FEM) della diga, di un adeguato volume dell'ammasso roccioso, e dell'invaso.

La configurazione geometrica attuale della diga e della fondazione è derivata dal rilievo laser scanner del 2016, integrato con tutti i dati disponibili (come l'indicazione dei contatti diga-roccia derivanti dai sondaggi). Il modello della diga esistente è stato successivamente modificato simulando l'intervento in progetto, che interessa la parte sommitale dell'opera, al di sopra della quota prevista di taglio 294.5 m slm (quote IGM utilizzate in [R06] 292.5 m slm).

Il modello comprende le nuove pile ma non la passerella. Il dimensionamento di questa è contenuto nella relazione [R09] che ne rappresenta la progettazione esecutiva. In [R09] è comunque riportato il dimensionamento delle pile, come opere in cemento armato, le cui sollecitazioni derivano dalle analisi svolte tramite il modello FEM.

L'identificazione delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali costituenti la diga esistente è derivata dall'esame di tutte le evidenze sperimentali disponibili (dal 1971 al 2019), di tipo prevalentemente geofisico. Al nuovo cls previsto per la costruzione della nuova soglia sforante sono stati assegnati i parametri che NTC prevede per la classe di resistenza C32/40 [R04].

Per quanto riguarda la roccia di fondazione si è fatto riferimento alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso basata sul criterio di rottura di Hoek e Brown [R09]; allo scopo sono stati utilizzati i risultati delle indagini e dei rilievi geostrutturali e geomeccanici della campagna d'indagine del 2015.


I valori di modulo elastico del calcestruzzo esistente e della roccia sono stati oggetto di taratura mediante confronto tra il comportamento deformativo statico calcolato con il modello FEM della diga esistente e le misure acquisite dalla strumentazione in diga.

Il miglior accordo tra la risposta numerica e il modello statistico si ottiene con la coppia di moduli elastici pari a 20 GPa per la roccia e a 27 GPa per il materiale del corpo diga esistente.

Le stime dinamiche dei moduli elastici invece sono state ricavate come valore medio delle stime ottenute dalle prove Cross Hole del 2019 (27 GPa per il cls esistente, 37 GPa per la roccia). Per il nuovo cls di soglia e pile il valore dinamico 37.4 GPa del modulo elastico è stato ricavato adottando un rapporto 1.2 rispetto al valore statico.

I carichi termici sono stati calcolati con un'analisi di diffusione adottando le forzanti termiche predisposte in fase di validazione del modello.

In tabella sono riportati i valori delle caratteristiche meccaniche dei materiali usati per le verifiche.

 Green Power Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants:	CODICE / CODE
	Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/Title:	Data/Date 02/07/2019
	Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Pagina/Sheet 15 di/of 28

		Cls diga esistente	Cls nuova soglia e pile	Roccia
Modulo elastico statico E_s [GPa]		25.0	31.20	20.0
Coefficiente di Poisson statico ν_s		0.24	0.20	0.21
Modulo elastico dinamico E_d [MPa]		28.0	38.0	37.0
Coefficiente di Poisson dinamico ν_d		0.34	0.30	0.34
Massa volumica ρ [kg/m ³]	Carichi statici	2250.0	2400.0	/
	Carichi dinamici	2250.0	2400.0	2542.0
Resistenza media a compressione f_{cm} [MPa]	Carichi statici	16.00	40.0	3.47 – 6.28
	Carichi dinamici	20.80	52.0	/
Resistenza caratteristica a compressione f_{ck} [MPa]	Carichi statici	11.20	32.0	/
	Carichi dinamici	14.60	41.6	/
Resistenza media a trazione f_{ctm} [MPa]	Carichi statici	2.05	3.80	0.215
	Carichi dinamici	3.00	5.51	/
Resistenza caratteristica a trazione f_{ctk} [MPa]	Carichi statici	2.43	2.66	/
	Carichi dinamici	2.10	3.86	/
Coeff. dilatazione termica lineare α [°C ⁻¹]		10 ⁻⁵		0.0
Conducibilità λ [J/m h °K]		10500		10500
Calore specifico ζ [J/kg °K]		900		900
Diffusività α [m ² /h]		0.005		0.0044

Tabella 13 - Valori finali calibrati dei parametri fisico-meccanici dei materiali


L'analisi modale del modello a EF della diga in progetto così definito ha evidenziato un comportamento complessivamente rigido della diga.

I modi in direzione spalla-spalla interessano frequenze molto elevate (superiori a 30 Hz) e quindi non sono d'interesse.

Dato che la pericolosità sismica di base di NTC indica, per $T_r=475$ anni, sito roccioso ed orizzontale, un valore $a_g=0.311$ g superiore al valore 0.15g è stato eseguito uno studio sismotettonico/sismologico specifico, dal quale derivare le azioni sismiche attese alla base della diga [R10].

La rivalutazione della pericolosità sismica è stata condotta con lo stesso approccio (probabilistico) usato dal Gruppo di Lavoro MPS04, ma a partire da una zonazione sismica alternativa, da leggi di attenuazione più aggiornate e dal nuovo catalogo parametrico dei terremoti CPTI15.

Lo studio ha fornito i valori di PGA e gli spettri di risposta a probabilità uniforme (UHRS) per il sito roccioso su cui fonda la diga (Suolo tipo A di NTC) e per i tempi di ritorno $T_r=101$ anni (SLD), $T_r=475$ anni e $T_r=1950$ anni (SLC). La PGA orizzontale per $T_r=101$ anni, pari a 0.14g, è superiore al valore 0.10 g della pericolosità sismica NTC. La maggiore severità della pericolosità sismica interessa l'intero campo delle frequenze

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 16 di/ of 28

significative dello spettro; pertanto le analisi dinamiche del modello della diga hanno adottato le azioni sismiche dello studio OGS con riferimento al sito Rock [R10].

I carichi sismici sono stati applicati attraverso analisi dinamiche lineari al passo ad integrazione diretta. L'esecuzione delle analisi ha incluso l'interazione terreno-struttura (Soil Structure Interaction) nella formulazione proposta da E.L. Wilson.

È stata inoltre simulata la capacità dell'ammasso roccioso di dissipare energia sismica attraverso meccanismi di smorzamento di radiazione tipici di un semispazio elastico.

Le verifiche svolte riguardano lo SLD, lo SLC sismico e sono state eseguite considerando sia la condizione a serbatoio pieno (invaso alla quota di massima regolazione), sia la condizione a serbatoio vuoto, entrambe nelle due condizioni termiche estiva ed invernale.

Come SLU statico (combinazione eccezionale) si è fatto riferimento al livello d'invaso pari al nuovo massimo invaso 299.7 m slm (quote IGM 297.9) che si determina al passaggio della portata di riferimento 320 m³/s e al livello d'invaso pari 299.9 m slm che si determina al passaggio di una portata superiore 360 m³/s come richiesto da DGD nella nota n.6552 del 23/3/2016.

Le verifiche sono di tipo tensionale, i limiti di resistenza da considerare sono nei diversi SL sintetizzati in tabella

	Limite trazioni	Limite compressioni	
Sato Limite	MPA		
SLD	2,1	3,65	cls esistente
	3,86	10,4	cls nuovo
SLC	2,1	14,6	cls esistente
	3,86	41,6	cls nuovo


Di seguito si sintetizzano i risultati delle verifiche.

Risultati

Lo SLD di Danno nelle quattro combinazioni di carico previste dalla Normativa (invaso pieno e vuoto, in estate e in inverno) non determina apprezzabili incrementi delle tensioni dell'opera rispetto allo SLE in condizioni statiche.

Gli spostamenti di origine sismica risultano molto contenuti e prevalenti in direzione monte valle, con valori massimi che non raggiungono il millimetro al coronamento (il valore massimo istantaneo, pari a 0.7 mm, si verifica a serbatoio pieno sulla testa delle pile).

I valori massimi di trazione si verificano sempre a valle in condizioni di serbatoio pieno ed interessano le imposte laterali della zona di coronamento, dove non superano 1 MPa; tuttavia, complessivamente, è la

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 17 di/ of 28

condizione a serbatoio vuoto che determina lo stato di trazione relativamente più gravoso, seppure di entità molto contenuta.

Per il sisma di stato limite di danno la verifica sismica della diga risulta positiva e il comportamento dell'opera si mantiene in campo elastico e lineare.

L'applicazione del sisma di Stato Limite di Collasso determina un incremento apprezzabile degli spostamenti e degli stati tensionali calcolati per il sisma SLD ma non modifica le caratteristiche delle oscillazioni della diga né la direzione dei flussi tensionali nei diversi elementi strutturali.

I massimi spostamenti e accelerazioni M-V si verificano sempre a quota coronamento e raggiungono rispettivamente 2.4 mm e 1.93g, in condizioni di serbatoio vuoto

Nella direzione spalla-spalla il valore massimo di accelerazione è pari a 0.8g, a quota coronamento, ed è accompagnato da uno spostamento massimo pari a 0.7 mm.

Quindi i fattori di amplificazione delle massime accelerazioni monte-valle rispetto alla base risultano contenuti ed in linea con i valori calcolati per il sisma SLD, confermando la natura prevalentemente rigida dell'oscillazioni della diga; il fattore più elevato (2.9) riferisce al caso di serbatoio vuoto.

Nella direzione spalla-spalla i fattori di amplificazione si attestano al valore unitario; in questa direzione la diga oscilla rigidamente con la fondazione.

A serbatoio pieno le massime trazioni istantanee sulla volta, di tipo corticale, si posizionano a valle nella zona di maggiore altezza e non superano 1.2 MPa con direzione d'arco.

Le massime compressioni istantanee non superano 3 MPa e si posizionano lungo la soglia sfiorante nella zona di maggiore altezza, con direzione d'arco.


A serbatoio vuoto le massime trazioni istantanee sulla volta, di tipo corticale, interessano le fasce d'imposta laterale e, localmente, non superano 2.4 MPa con direzione d'arco.

Le massime compressioni istantanee non superano 2.4 MPa e si posizionano sempre lungo la soglia sfiorante in prossimità del torrino, con direzione d'arco. Valori localmente più elevati ma inferiori a 3 MPa interessano il perimetro d'imposta a monte.

Gli stati tensionali che sollecitano le nuove pile sono trascurabili sia in compressione che in trazione per tutte le combinazioni analizzate.

Per tutte le combinazioni analizzate il nucleo murario interno risulta in stato di sola compressione o soggetto a trazioni trascurabili.

L'interfaccia tra il cls della nuova soglia e il cls esistente è sempre compressa e, quindi, non ci sono condizioni favorevoli per un distacco. Infatti le trazioni massime istantanee giacciono nel piano d'interfaccia e sono sempre dirette lungo l'arco oltre ad essere ben contenute entro la resistenza caratteristica a trazione di entrambi i cls. Pertanto non si ci sono possibilità di un innesco di fratture che possano identificare potenziali mensole indipendenti.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 18 di/ of 28

In condizioni sismiche la diga non mostra criticità né per il sisma di Stato Limite di Danno, né per il sisma di Stato Limite di Collasso; la notevole rigidità dell'opera, testimoniata dalle frequenze di risonanza, dai profili delle oscillazioni dinamiche e dai modesti valori dei massimi spostamenti, la preserva dallo sviluppo di deformazioni significative e, quindi, da stati tensionali importanti.

Le verifiche svolte nella combinazione di carico eccezionale (SLU), che contempla l'invaso alle massime quote previste (massimo invaso di progetto 299.7 m s.l.m. (quote d' impianto) e 299.9 m s.l.m. livello che si instaura al passaggio di una piena di 360 mc/s, superiore alla portata millenaria) in concomitanza con i carichi di esercizio (carichi termici) risultano positive.

La differenza tra i due livelli d'invaso, estremamente limitata, non determina apprezzabili variazioni della risposta strutturale.

Il paramento di monte della diga rimane in stato di sola compressione; le trazioni, di carattere puntuale e corticale, si concentrano lungo il perimetro d' imposta e non superano 1.2 MPa in condizioni invernali.

A valle le trazioni massime si posizionano nella zona di maggiore altezza nella metà inferiore della volta e non superano 1.4 MPa.

Le compressioni massime non superano 1.8 MPa e interessano la soglia sfiorante nella zona prossima al torrino.

10. Aspetti costruttivi rilevanti e calcoli strutturali

Le opere nuove previste sono costituite da:


- 1) la nuova porzione di ciglio sfiorante;
- 2) le pile che verranno elevate su di essa;
- 3) la passerella di coronamento.

La passerella e le pile sono previste in cemento armato, mentre il ciglio sfiorante in calcestruzzo semplice. Visti gli spazi a disposizione e la presenza della cabina di manovra dello scarico di fondo a quota coronamento, la passerella manterrà l'uso per il solo transito pedonale.

Del presente progetto definitivo fanno parte anche gli elaborati grafici e di calcolo, sviluppati a livello esecutivo, delle travi della passerella e delle pile. I calcoli sono svolti ai sensi delle NTC 2018 [R09].

La passerella avrà sezione a doppio T in c.a.. Le due travi verticali avranno andamento rettilineo, mentre la soletta superiore avrà andamento curvilineo. Staticamente le travi rettilinee saranno semplicemente appoggiate sulle pile.

Le nuove pile in c.a. saranno solidarizzate ed incastrate al ciglio sfiorante esistente tramite appositi spezzoni in acciaio di ripresa ed avranno larghezza di 80 cm, maggiore rispetto a quella attuale di 60 cm.

 Green Power Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 19 di/ of 28

Allo stesso modo sono previsti ferri di cucitura, di pari diametro, al contatto tra nuovo ciglio sfiorante e corpo diga (sia verticali lungo l'intero sviluppo dell'arco che in direzione orizzontale longitudinalmente alla diga in corrispondenza delle due porzioni delle spalle).

I ferri di cucitura avranno la mera funzione di ulteriore garanzia della solidarizzazione tra le due parti (corpo diga e nuovo sfioratore) alla quale contribuiranno anche la particolare cura nel realizzare la superficie di contatto per aumentarne la scabrezza e l'utilizzo di calcestruzzo anti ritiro.

Le nuove opere, pile e passerella, sono state dimensionate assumendo come input sismico gli spettri di risposta (come involuppo degli accelerogrammi) calcolati sulla testa della pila (in corrispondenza della sezione più alta) attraverso il modello a EF utilizzato per le verifiche sismiche dell'intera opera [R09 e R06]. Trattandosi di opere accessorie senza funzione di ritenuta (il cui collasso non potrebbe provocare rilascio incontrollato di acqua) lo SLU corrisponderebbe allo SLV (T_r azione sismica 945 anni).

Dal momento che l'analisi sismica per la diga è stata condotta per lo SLC (T_r 1947 anni), in modo cautelativo, trattandosi di opere nuove, sono stati presi a riferimento tali spettri.

Il dimensionamento delle pile in calcestruzzo armato è stato svolto, a maggior cautela, riferendosi allo spettro applicato sulla passerella, ovvero sulla testa della pila stessa.

Lo stato limite di esercizio coincide con lo SLD, usato anche per le verifiche sismiche della diga.

I dettagli sui materiali che saranno impiegati sono riportati nella Relazione 4 "Materiali impiegati" allegata al progetto.


11. Interferenze per autorizzazione idraulica

Il rilievo eseguito sulle sponde del bacino e in particolare nell'area dell'abitato di Trombacco, all'incile del bacino, è servito per valutare l'interazione dell'invaso con le aree a monte, anche con la nuova valutazione del massimo vaso.

Nelle condizioni attuali non si ravvisano criticità per quanto riguarda l'interferenza del livello d'invaso massimo con le aree abitate e infrastrutture, strade e ponti, essendo tutte a quote superiori del massimo vaso attuale alla diga.

Nelle condizioni di progetto, a parità di evento di piena, i livelli d'invaso raggiunti sono sempre inferiori rispetto a quelli che si avrebbero nella configurazione attuale, essendo la nuova soglia più bassa e più larga di quella esistente.

Volendo quantificare l'effetto dell'intervento, migliorativo anche per le aree a monte, sono stati valutati i livelli che si raggiungerebbero in caso di eventi estremi come quelli del 2013 e del 1996.

 Green Power Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Gallicano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 20 di/ of 28

Nel 1996, con una portata al colmo stimata in 140 mc/s, il massimo livello misurato alla diga di Gangheri fu di 299,78 m s.l.m. . Considerando la nuova configurazione degli scarichi, la stessa portata sarebbe esitata con un livello inferiore di più di un metro, pari a 298,6 m s.l.m. .

Allo stesso modo l'evento di piena dell'ottobre del 2013 produrrebbe un massimo livello d'invaso di 298,8 m s.l.m. contro quello allora raggiunto di 299,84 m s.l.m..

Stante le considerazioni fatte, si ritiene che non ci siano motivi ostativi all'ottenimento delle autorizzazioni da parte dell'Autorità Idraulica competente sul territorio, che con nota n.6552 del 23/3/2016 DGD richiede in anticipo alla presentazione del progetto definitivo.

Si intende quindi avviare l'iter di autorizzazione locale successivamente all'invio e autorizzazione del presente progetto definitivo.

12. Aspetti geologici rilevanti

Stabilità ed impermeabilità dei versanti


Al fine di valutare le condizioni di stabilità ed impermeabilità dei versanti, a monte ed a valle dell'opera di sbarramento, e per l'individuazione di eventuali opere od interventi necessari, è stato eseguito un rilievo geomorfologico delle sponde dell'invaso di Gangheri, riportato nella relazione "Relazione Geologica, Geomorfologia Della Sponde", [R7].

Lungo lo sviluppo di circa 1600 m dell'invaso le rocce del substrato coerente sono tutte costituite da litologie carbonatiche appartenenti alla serie basale della Falda Toscana. Nel primo tratto di circa 1000 m su entrambe le sponde affiorano i Calcari cavernosi (CCA). Negli ultimi 600 m di sviluppo e fino ad oltre la diga l'alveo è scavato profondamente entro la formazione del Calcare Massiccio (MAS), sul quale è fondata la diga.

Queste rocce carbonatiche, presenti in abbondanza anche nel bacino imbrifero, sono caratterizzate da una bassa permeabilità primaria, che aumenta in base al locale grado di fratturazione tettonica. Inoltre nelle potenti serie carbonatiche presenti il regime idraulico è complicato da un diffuso sistema carsico che si è sviluppato lungo i piani di frattura di maggiore persistenza. La valle della Turrite di Gallicano è così caratterizzata da un bacino idrogeologico più ampio di quello idrografico a causa della presenza di sorgenti carsiche.

Dalle indagini effettuate lungo le sponde del bacino però non sono emerse particolari zone di fratturazione e/o inghiottitoi carsici.

Durante il rilievo sono state individuate le forme di versante presenti, riportate nella tavola geomorfologica allegata a [R7], e suddivise tra forme gravitative, di accumulo e di erosione.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 21 di/ of 28

Processi gravitativi

I processi gravitativi presenti nella fascia di territorio prospiciente l'area di invaso sono in prevalenza concentrati nella porzione di serbatoio con alveo scavato nei litotipi del Calcare cavernoso, la cui struttura è meno compatta rispetto al Calcare massiccio.

In particolare sono state individuate tre falde di detrito interferenti con l'invaso, localizzate all'incile dell'invaso, lontano dalla diga, una in sinistra e le restanti in destra.

Nel tratto di sponda sinistra con il toponimo Perchia di sotto, è presente una coltre detritica di versante, entro la quale si è sviluppata una frana di scivolamento rotazionale, oggi stabilizzata, riconoscibile dalla sua nicchia di distacco di altezza pari a circa cinque metri.

Sulla opposta riva destra si riconosce una analoga falda detritica sulla quale si sovrappone l'accumulo di una frana di crollo.

Oggi il piede di entrambe le falde detritiche risulta stabilizzato dalle opere di sostegno presenti a supporto della strada e sostegno della sponda. Queste opere isolano il detrito al piede del versante dal contatto con l'invaso. Considerando inoltre che il materiale di accumulo è grossolano e altamente drenante, non sono prevedibili sviluppi di dissesto.

Sempre in sponda destra, in corrispondenza di un'ansa dell'alveo, oltre l'abitato di Perchia di sopra, è presente un'altra falda detritica, colonizzata da vegetazione arborea. Analogamente ai precedenti depositi di falda è costituita da materiale grossolano e drenante proveniente dalla degradazione meteorica delle compagini rocciose sovrastanti. In modo analogo ai precedenti il processo di alimentazione è molto ridotto, il piede del corpo detritico appare in equilibrio stabile con le alluvioni al piede.


Processi di erosione

Il solco vallivo principale costituisce un profondo canyon scavato entro le rocce carbonatiche del substrato, con sponde sub verticali, che dalla porzione terminale del serbatoio prosegue fino oltre lo sbarramento. Qui le sponde sono alte più di 200 m e si raccordano verso l'alto a versanti rocciosi ancora molto acclivi.

I solchi di ruscellamento concentrato dei versanti laterali appaiono rettilinei e in generale molto brevi, ad eccezione del profondo solco di drenaggio che affluisce in sinistra nella Turrite subito a Nord di Perchia di sopra, che ha una lunghezza molto maggiore. In occasione degli eventi meteorologici straordinari presso il suo sbocco nella Turrite si è sviluppata una ampia conoide di sovralluvionamento, successivamente incisa nella sua porzione centrale originando una forma di scarpata fluviale, dello stesso tipo delle pareti del canyon principale scavato negli ammassi rocciosi.

Processi di accumulo

Si distinguono quattro corpi di conoide, due molto piccole a Sud, una in corrispondenza dell'affluenza presso l'abitato di Trombacco e quella a Nord di Perchia, prima citata. Due conoidi di dimensioni maggiori sono a

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Gallicano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 22 di/ of 28

Nord. Tra queste forme di deposito quella più a Nord e quella più a Sud si presentano stabilizzate in seguito alle attività di insediamento antropico, con costruzione di muri di contenimento e sostegno, terrazzamenti e regolarizzazione del solco di drenaggio principale.

I terreni costitutivi delle altre conoidi non stabilizzate sono comunque drenanti e appaiono in equilibrio.

Dal rilievo geomorfologico è quindi emerso che i pochi tratti di sponda che si trovano a contatto con rocce incoerenti di origine alluvionale o gravitativa sono adeguatamente protetti con opere di sostegno mentre i restanti depositi a diretto contatto con le acque dell'invaso sono tutti costituiti da materiale molto drenante e appaiono in buon equilibrio.

Nel documento del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Verifiche di sicurezza sismica degli scarichi e delle opere accessorie e complementari: riferimenti per l'istruttoria" 2015, in merito alle verifiche sulle sponde dell'invaso, è chiesto che siano individuate zone di accertata instabilità e, nel caso presenti, siano svolte verifiche di tipo geotecnico per la definizione della vulnerabilità sismica di solo quelle zone.

Date le conclusioni dello studio geologico facente parte del progetto, [R7], e l'assenza di aree critiche per la sicurezza dell'invaso, si può affermare che il suddetto studio risponde alla richiesta di eseguire la verifica di sicurezza sismica delle sponde, classificate come opere accessorie alla diga.


Nelle condizioni geomorfologiche così definite l'incremento sub metrico del livello di massimo invaso non appare capace di apportare sostanziali modifiche agli equilibri esistenti nella stabilità dei versanti e delle sponde. D'altra parte secondo la configurazione di progetto, a parità di evento meteorologico, i livelli nell'invaso saranno minori rispetto all'attuale così come il livello d'invaso in assenza di eventi meteorologici in corso. Il massimo invaso previsto dal progetto è valutato come quello necessario per garantire, con adeguati margini di sicurezza, il passaggio della piena con tempo di ritorno di 1000 anni. Gli eventi di piena con tempi di ritorno fino a 200 anni produrranno invece livelli d'invaso al massimo uguali a quello attuale.

Roccia delle spalle e d'imposta della diga

Ai fini della valutazione della sicurezza statica e sismica della diga nella condizioni di progetto è stato redatto un apposito studio geomeccanico [R08] per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso di fondazione.

L'analisi ha fatto riferimento sia a rilevazioni su stazioni strutturali che a indagini e prove geognostiche eseguite tra il 1971 e il 2019 sulla sezione della diga. Alle stazioni strutturali si è aggiunto un rilievo di dettaglio tramite tecnologia laser scanner finalizzato all'analisi cinematica dei volumi di roccia immediatamente a valle diga e direttamente interessati dalle portate di sfioro.

Questo approfondimento risponde a quanto richiesto da DGD nella nota 6552 del 23/3/2016: "in considerazione della ridotta dimensione trasversale dell'alveo a valle della diga, [in fase di progettazione

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Gallicano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 23 di/ of 28

definitiva] dovranno essere attentamente valutati gli effetti della possibile interazione fra la vena sfiorante ed i versanti immediatamente a valle dello sbarramento, individuando ogni eventuale opera di protezione che si rendesse necessaria nei confronti della azione erosiva della vena sfiorante”.

La sezione d’imposta è ubicata in una forra delimitata da pareti da verticali a subverticali profonda una quarantina di metri ed interamente scavata nel Calcere massiccio. È presente una struttura plicativa di tipo anticlinale con direzione NW-SE, il cui asse coincide col tratto terminale del Canale del Fogliaio e con il piccolo rilievo in spalla destra della diga, stretto all’interno di un’ansa del Turrite di Gallicano.

In corrispondenza di questa struttura anticlinale la roccia è generalmente molto fratturata.


Dall’analisi della totalità dei piani misurati in tutte le rilevazioni risulta la prevalenza di piani con direzione principale NW-SE ed in minor misura con direzione NE-SW, ossia prevalgono le direttrici appenninica ed anti-appenninica, con una drastica prevalenza della prima sulla seconda quanto a frequenza.

Sono così state individuate 9 famiglie di discontinuità.


Due famiglie K1 e K4 sono piani tra loro antitetici con direzione appenninica (NW-SW) e paralleli grossomodo all’asse della piega dell’anticlinale del Canale di Fogliaio, assimilabile a giunti longitudinali. Una famiglia K6 ha direzione anti-appenninica (NE-SW), assimilabile a giunti perpendicolari all’asse di piega. Due famiglie K2 e K3 rappresentano giunti trasversali. La famiglia K5 ha come caratteristica saliente di riunire piani a bassa inclinazione. Ulteriori tre famiglie di discontinuità sono state rilevate grazie al rilievo laser scanner, due corrispondono a raggruppamenti minori di piani random mentre una terza (set 4) rappresenta piani coniugati verticali con direzione N-S, non riconosciuti nei rilievi geostrutturali manuali in affioramento, né nei rilievi in foro (campagna di indagini del 2015).

La conoscenza delle discontinuità ha permesso di definire le condizioni geomeccaniche dell’ammasso roccioso che, con riferimento a diverse classificazioni riportate in letteratura, variano da medie a buone.

	Spalla Sinistra	Centro (fondo sezione d’imposta)	Spalla Destra
Tratto roccia (m da p.c.) Foro (indagini 2015)	10,3 a 20 Ch3	39 a 78 Ch1	8,1 a 18 Ch4

 Green Power Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ Plants: Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/Title: Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/Date 02/07/2019
		Pagina/Sheet 24 di/of 28

	Spalla Sinistra	Centro (fondo sezione d'imposta)	Spalla Destra
<u>Velocità onde P</u> (misure soniche ISMES del 1971) Asse sinistra-destra min÷MAX [Media] Asse monte-valle min÷MAX [Media]	4500÷5250 m/s [4600÷5125 m/s] 4400÷5700 m/s [5157 m/s]	2900÷4650 m/s [3636÷4171 m/s] 4150÷5400 m/s [4900 m/s]	3950÷5550 m/s [4000÷5162 m/s] 4650÷5900 m/s [5247 m/s]
<u>Q-System (Barton)</u> Asse sinistra-destra min÷MAX [Media - Classific.] Asse monte-valle min÷MAX [Media - Classific.]	10÷56 [30 - Buono] 8÷158 [57 Molto buono]	0,3÷14 [4 - Scadente/Discreto] 4÷79 [32 Buono]	3÷112 [33 - Buono] 14÷251 [75 Molto buono]
<u>RQD (carotaggi 2015)</u> min÷MAX [Media - Classific.]	30÷90 [71 - Discreto]	25÷100 [76 - Buono]	20÷90 [51 - Discreto]
<u>Resistenza compressione uniassiale</u>	37,9 MPa R3 - medio-forte (25÷50 MPa)	24,7 - 25,9 - 36,6 MPa R3 - medio-forte (25÷50 MPa)	31,2 - 47,7 MPa R3 - medio-forte (25÷50 MPa)
<u>GSI</u> Media [min÷MAX]	52 [49÷56]	60 [56÷65]	62 [57÷68]
<u>RMR₁₉₈₉</u> (da GSI) Media [min÷MAX] Classificazione	57 [54÷61] III Mediocre	65 [61÷70] II Buono	67 [62÷73] II Buono
Stazione strutturale su affioramento	n. 2		n. 3
<u>RMR₁₉₈₉</u>	64 (II Buono)		66 (II Buono)
<u>GSI</u> (da RMR)	59		61

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 25 di/ of 28

In particolare, i valori di GSI ottenuti ricadono nella metà inferiore del campo relativo a tipiche rocce calcaree (Marinos & Hoek, 2000a), in una posizione caratteristica di rocce da fratturate (tre famiglie di giunti) a molto fratturate (4 o più famiglie di giunti) e con buone condizioni delle superfici dei giunti.

L'elaborazione dei dati geofisici del 1971 (prove soniche in foro) suggerisce che la qualità dell'ammasso roccioso non è costante su tutta la sezione d'imposta risultando generalmente buona nelle spalle e di qualità inferiore nel settore centrale (in fondo alla forra), nei primi metri sotto la diga oggetto di indagine.

Inoltre la stessa elaborazione ha messo in evidenza che le misure di V_p fatte lungo le sezioni trasversali (monte-valle) sono più alte e più omogenee tra loro rispetto a quelle misurate lungo gli allineamenti longitudinali (sezioni destra-sinistra). Questa anisotropia potrebbe essere spiegata con la presenza di piani strutturali subverticali perpendicolari alla diga e diretti NW-SE. La loro presenza rallenterebbe la propagazione delle onde elastiche da una spalla all'altra. In ogni caso dal punto di vista geostrutturale la roccia presenta un rapporto di spaziatura $SR > 60$, per cui può essere considerata isotropa ai fini dell'applicazione del criterio di Hoek e Brown per la caratterizzazione della resistenza dell'ammasso roccioso.


Il criterio di Hoek e Brown è stato applicato facendo riferimento a

- resistenza a compressione uniassiale dei provini di roccia misurata in laboratorio;
- indice GSI determinato sia dai risultati del rilievo strutturale in foro con video sonda, sia del rilievo geomeccanico sulle carote applicando opportune correlazioni;
- m_i : stimato mediante l'uso parziale dei risultati delle prove triassiali 2015 insieme ai valori suggeriti dalle tabelle RocData
- fattore di disturbo D assunto nullo;
- pressione di confinamento assunta sempre pari a 0.5-0.8 MPa.
- modulo elastico della roccia intatta E_i : sono stati presi in considerazione i valori di modulo elastico tangente al 50% di σ valutato dalle prove di resistenza a compressione uniassiale

I risultati sono sintetizzati nella tabella.

ammasso roccioso	C MPa	ϕ	σ_{trm} resistenza a trazione MPa	σ_{crm} resistenza compressione uniassiale MPa	σ'_{cm} resistenza globale MPa	E_m MPa
Sez. Imposta	0,59	50	-0,2	3,5	6,3	20687,2

Le caratteristiche meccaniche complessive dell'ammasso roccioso risultano buone.

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / <i>CODE</i> GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 26 di/ of 28

Approfondimenti sugli ammassi rocciosi immediatamente a valle della diga


A fronte della buona qualità dell'ammasso roccioso e dell'assenza di segni evidenti di dissesti o effetti dell'azione erosiva sulle sponde a valle diga durante i quasi 100 anni di esercizio dell'opera, sono stati svolti approfondimenti sui sistemi di discontinuità diversamente orientati rilevati (sia grazie al rilievo laser scanner che attraverso apposite calate) per valutare i possibili cinematismi derivanti dalla interazione fra la vena sfiorante e le spalle.

I cinematismi più probabili sono scivolamenti planari combinati a ribaltamenti di flessura legati all'involuppo delle discontinuità che immergono a SW (Set 2, 3, 5 e 6) e WSW (Set 4) oppure a NE ad alto angolo (Set 2).

In spalla destra, è stata messa in evidenza solo una porzione rocciosa aggettante nelle immediate vicinanze del paramento, al di sotto degli ultimi due sfioratori in destra idrografica. Le verifiche su questa porzione di ammasso sono state eseguite principalmente, per la sua natura aggettante e per la frattura continua e beante che lo delimita a monte (appartenente al Set 2). Il volume complessivo è stato stimato tra 10 e 12 m³, mentre dall'analisi delle spaziature delle superfici di discontinuità che lo attraversano, emerge che il VRU ha un valore medio stimato in 0.01 m³, variando tra un minimo di 0.001 m³ e 0.65 m³.

Sulla spalla sinistra affiorano principalmente due porzioni rocciose subverticali (1-a e 1-b) a tratti aggettanti e separate da una rottura di pendenza ricoperta di materiale cementizio, mal riconoscibile perchè pervaso da muschi e licheni. Nel settore basso (1-b), come per la spalla destra, fra i piani più persistenti e caratterizzati da consistenti aperture troviamo giunti del Set 2, ma, per quanto visibile non si sono individuate porzioni di parete isolate completamente da giunti aperti. Nel settore alto (1-a), tutti i piani sembrano serrati e mostrano solo l'affiorare delle loro superfici. La zona di ciglio di questa scarpata strapiombante, maggiormente disarticolata, a causa degli apparati radicali della vegetazione, potrebbe generare piccoli e limitati distacchi di roccia a seguito di una continua interazione con una vena d'acqua sfiorante. Comunque, per entrambi i settori (1-a e 1-b), dall'analisi delle spaziature delle superfici di discontinuità che li attraversano, almeno nei settori non occultati dalla vegetazione, emerge che il VRU ha un valore medio stimato tra 0.2 m³ e 0.4 m³, con valori massimi comunque inferiori a 0.6 m³.

Pertanto, in ragione della posizione dei volumi di roccia dove si potrebbe produrre un cinematismo e dei valori di VRU stimati per essi, sia in destra che in sinistra, per quanto desumibile dai rilievi eseguiti, non si ravvedono criticità dal punto di vista geomeccanico rispetto alla sicurezza delle opere in termini di stabilità della diga e funzionalità degli scarichi.

 Green Power Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 27 di/ of 28

Grazie alle calate eseguite sulle spalle a valle diga è stato possibile riconoscere che le stesse presentano tracce di un rivestimento cementizio, eseguito in passato in epoca non ricostruita, steso con la sola funzione di rivestimento superficiale della roccia e sigillatura delle fessure, trattandosi di superfici rocciose carbonatiche modificabili dall'esposizione agli agenti atmosferici.

Il rivestimento però si mostra in alcuni tratti deteriorato, ove non completamente coperto da muschi, e instabile.

Attestata l'assenza di rischi derivanti dall'interazione della vena sfiorante e le spalle immediatamente a valle si ritiene comunque opportuno, in fase di esecuzione dell'intervento in progetto, prevedere la realizzazione di un nuovo rivestimento superficiale cementizio della roccia delle spalle, con la mera funzione di sigillatura delle fessure.

Preliminarmente a questo intervento sarà eseguita una pulizia della superficie rocciosa dalla vegetazione in modo da poter effettivamente constatare l'estensione della copertura cementizia di sigillatura dell'ammasso roccioso sottostante e il suo stato di conservazione.

La pulizia permetterà anche di confermare le osservazioni fatte finora sulle discontinuità e stato delle fessure.

La definizione di dettaglio del nuovo rivestimento superficiale sarà fornita con il progetto esecutivo trattandosi di un intervento non sostanziale ma con la sola finalità di preservare le condizioni attualmente rilevate sulle spalle.

13. Modalità operative, cronoprogramma e sistema di monitoraggio in progetto e durante i lavori


Le attività sono previste in due anni consecutivi. Per il primo anno si prevede di operare sulle luci a sinistra dello scarico di fondo, nel secondo invece di procedere sulla parte in destra.

I tempi di esecuzione sono stati stimati in 7 mesi sia per il primo anno che per il secondo ricorrendo, per quest'ultimo anno, anche a lavorazioni con doppio turno di lavoro.

Di questi mesi il primo è dedicato alla installazione di cantiere e, dal secondo, sono previste attività sulla diga.

Al fine di collocare la finestra temporale di sei mesi necessaria per eseguire le attività sulla diga nel periodo con minor apporti idrici, ovvero minor probabilità di eventi di piena, si sono analizzati i dati di pioggia disponibili nelle stazioni pluviometriche della rete di Arpa Toscana. La finestra temporale di 6 mesi da sfruttare per le attività di lavorazione sulla diga è quella che va da Aprile a Settembre.

Il sistema di strumentazione nella configurazione di progetto prevede di mantenere la postazione del pendolo rovescio posta sulla luce a destra dello scarico di fondo. Il filo del pendolo, come attualmente, sarà

 Dams & Civil Infrastructure Safety Firenze TS Civil	Impianto/ <i>Plants</i> : Impianto di Galliciano: Diga di Gangheri	CODICE / CODE GRE.OEM.R.90.IT.H.49008.10.035.00
	Titolo/ <i>Title</i> : Progetto definitivo di incremento della sicurezza idraulica della diga di Gangheri	Data/ <i>Date</i> 02/07/2019
		Pagina/ <i>Sheet</i> 28 di/ of 28

protetto dall'acqua scaricata dallo sfioratore inserendolo in una estensione laterale in cls della pila di destra della luce.

Non sono previste modifiche neanche al sistema di misura delle perdite, diga e spalle, né al monitoraggio dei dati idrometeorologici (temperatura aria e acqua, piogge e livello d'invaso).

Durante l'esecuzione dei lavori di adeguamento della diga, le misure del pendolo saranno temporaneamente sospese, mentre tutte le altre saranno svolte regolarmente.

Nel breve periodo di fuori servizio del pendolo, circa 6 mesi nel secondo anno di attività, saranno eseguite misure distanziometriche per il monitoraggio degli spostamenti planimetrici della diga.

Il dettaglio del cronoprogramma, delle modalità operative e del sistema di monitoraggio è riportato nella Relazione "Modalità operative-cronoprogramma" allegato al progetto [R03].