



REGIONE TOSCANA

Giunta Regionale

DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE
SETTORE GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE

DIGA DI LEVANE

PROGETTO DI SOPRALZO AI FINI DI LAMINAZIONE

PROGETTO DEFINITIVO

DIRIGENTE RESPONSABILE DEL CONTRATTO
Ing. Gennarino Costabile

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Marianna Bigiarini

GdL VIA

Coordinamento VIA

ENKI
INGEGNERIA

Ing. Andrea Mazzetti
Ing. Stefano Perilli

Componente suolo e sottosuolo

SINERGIA

progettazione e consulenza ambientale srls
Geol. Luca Gardone
Geol. Emanuele Montini

Componente paesaggio

FRANCHI+ASSOCIATI

Landscape and urban design

Arch. Gianfranco Franchi
Arch. Chiara Tesi

Componente ambiente

AMBIENTA

Monitoraggi Ambientali

erse
environment

Dott. Filippo Ferrantini

Componente acustica

Studio Poliedro
INGEGNERI ASSOCIATI

Ing. Massimiliano Galletti

Componente Flora, Fauna ed Ecosistemi

Biologo Marco Lucchesi

Studio Idraulico e idrologico

Settore Genio Civile Valdarno
Superiore
Ing. Michele Catella

Archeologia

Dott. Hermann Salvadori

CUP PROGETTO
D97B15000170003

OGGETTO ELABORATO

PUA_I.05 ISTRUTTORIA PROGETTO DIREZIONE
GENERALE DIGHE

| redatto | controllato | approvato | scala | emissione/revisione |
|---------|-------------|-----------|-------|---------------------|
| MA | MA | MA | - | 01 |
| ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |

ELABORATO

PUA_I.05



ENEL-PRO-08/01/2021-0000201

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

**Direzione generale per le dighe
e le infrastrutture idriche ed elettriche**

Divisione 5

Spett.le

Enel Green Power Italia s.r.l.

enelgreenpoweritalia@pec.enel.it

e p.c. spett.li

ENEL Produzione S.p.A.

enelproduzione@pec.enel.it

Ufficio Tecnico per le dighe di Firenze

dighefi@pec.mit.gov.it

OGGETTO: Diga di Levane (n. archivio n° 684).

“Progetto definitivo di sopralzo della diga a scopo di laminazione”

Con nota EGP prot. n. 12227 del 20/07/2020 codesto Concessionario ha trasmesso la revisione del Progetto Definitivo in oggetto che sostituisce ed aggiorna il progetto trasmesso con nota del 03/12/2015 n. 24700 per il quale era stata avanzata una richiesta di approfondimenti di cui alla nota dello scrivente ufficio prot. n. 17788 del 02/08/2017.

Esaminato il progetto trasmesso, tenuto conto della documentazione agli atti e delle attività di sorveglianza ex DPR 1363/1959, acquisiti i pareri specialistici della Divisione 6 – Ufficio Strutture e Geotecnica e della Divisione 7 - Ufficio Idraulica e Geologia applicata, questo Ufficio è del parere che il progetto definitivo presentato abbia in linea generale recepito le indicazioni in precedenza formulate da questa Amministrazione e le osservazioni espresse all'interno del parere del C.S.LL.PP.

Ciò premesso:

- Considerato quanto riportato nell'allegata relazione istruttoria allegata ed i suoi allegati;
- Atteso che il progetto presentato recepisce le prescrizioni a suo tempo impartite, in fase istruttoria, di cui alla nota dello scrivente ufficio prot. n. 17788 del 02/08/2017, e pertanto è rispondente ai requisiti richiesti e alla normativa vigente,
- Ritenuto che alla definizione degli ulteriori aspetti esecutivi, cantieristici e costruttivi, possa darsi corso nel corso della successiva fase progettuale esecutiva;
- Visti il D.P.R. 1363/1959 e l'art.1 del D.L. 507/1994 conv. in L. 584/1994;

APPROVA

ai sensi e per gli effetti dell'art.1, commi 5 e 7 bis, del D.L. 507/1994 conv. in L. 584/1994, per i soli aspetti tecnici, il progetto definitivo di sopralzo della diga a scopo di laminazione subordinatamente all'osservanza delle prescrizioni da ottemperare nella successiva fase di progettazione riportate nell'istruttoria allegata e della quale si riassumono qui di seguito le considerazioni conclusive:

1. RELAZIONE DI OTTEMPERANZA

Si prescrive che il Concessionario includa, all'interno degli elaborati che saranno emessi in fase di progetto esecutivo, uno specifico documento denominato "*Relazione di ottemperanza alle osservazioni ed alle prescrizioni della Direzione Generale Dighe*"; tale documento dovrà fornire al suo interno l'evidenza del riscontro del Concessionario a quanto richiesto dallo scrivente Ufficio per tutti i vari punti presenti all'interno della allegata istruttoria e dei suoi allegati. Tale riscontro dovrà includere al suo interno - oltre alle considerazioni del Concessionario in merito ai vari punti di approfondimento richiesti dallo scrivente Ufficio - anche la specifica indicazione del titolo e della codifica degli elaborati di progetto esecutivo (relazioni, tavole, specifiche, capitoli, etc.) che li implementano, al fine di consentirne un'agevole attività di verifica finale.

2. PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA E DELLE SUE PARTI

Considerata la scelta progettuale del Concessionario di non ripristinare la funzionalità dello scarico di fondo/esaurimento, si prescrive che lo stesso debba provvedere affinché il PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA E DELLE SUE PARTI riporti espressamente operazioni e modalità esecutive da intraprendersi per porre e mantenere all'asciutto porzioni dell'alveo a monte dello sbarramento al fine di consentire la manutenzione del paramento di monte o di parti a monte dello sbarramento in condizioni di sicurezza.

3. STUDIO DELLE ONDE DI PIENA; VERIFICA DELLE POTENZIALI INTERAZIONI A VALLE DELLA PORTATA ESITATA

Si prescrive che il Concessionario esegua l'aggiornamento dello STUDIO DELLE ONDE DI PIENA per ipotetico collasso della diga in accordo con quanto previsto al punto 4.4, "*Dighe in serie*", di cui all'Allegato alla Circolare P.C.M. 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806.

Inoltre il Concessionario dovrà esaminare in maniera approfondita le INTERAZIONI TRA LA NUOVA PORTATA ESITATA A VALLE DELLO SBARRAMENTO CON I TERRITORI DI VALLE INTERESSATI, con particolare riferimento anche alla massima portata di piena transitabile in alveo a valle dello sbarramento e contenuta nella fascia di pertinenza fluviale come delimitata dalla competente Autorità di bacino.

4. PIANO DI MONITORAGGIO IN FASE DI COSTRUZIONE

Il progetto esecutivo dovrà includere un PIANO DI MONITORAGGIO DELLA DIGA NEL CORSO DEI LAVORI DI SOVRALZO. Tale piano di monitoraggio (comprensivo di relazioni ed elaborati grafici) dovrà descrivere tipologia, ubicazione e caratteristiche degli strumenti installati, e dovrà fornire indicazione dei valori di progetto dei parametri oggetto di controllo, delle soglie di attenzione e di allarme, dell'organigramma con indicazione delle varie figure responsabili, delle relative contromisure da adottare e del flusso di comunicazione e decisionale che sarà intrapreso sia in condizioni ordinarie, sia nel caso di superamento delle soglie limite.

Si evidenzia l'importanza di prevedere un piano di monitoraggio per tutte quelle attività e lavorazioni che possono in qualche modo alternare e/o modificare, nel corso dei lavori, l'equilibrio originario dell'infrastruttura e delle condizioni al contorno (e quindi scavi, demolizioni, consolidamenti in jet-grouting, realizzazione di opere provvisoriale), sia in maniera diretta, sia in maniera indiretta.

5. PROCEDURE DI VALUTAZIONE E DI GESTIONE DEI RISCHI DI COSTRUZIONE

Il progetto esecutivo dovrà comprendere la redazione di un PROGETTO DI ANALISI E GESTIONE DEI RISCHI ATTESI IN FASE DI COSTRUZIONE, e quindi comprensivo dei seguenti elaborati:

- registro dei rischi di costruzione (risk register)
- piano di valutazione dei rischi di costruzione (risk assessment plan)
- piano di gestione dei rischi di costruzione (risk management plan)
- piano di gestione delle emergenze durante la costruzione (contingency plan)

Tale documentazione dovrà essere predisposta direttamente da parte del progettista (in caso di sviluppo della progettazione esecutiva finalizzata al successivo appalto di sola costruzione) oppure congiuntamente da progettista e appaltatore (in caso di progetto esecutivo redatto all'interno di un appalto integrato di progettazione e costruzione), ma comunque sotto la supervisione, il controllo ed il coordinamento del Concessionario stesso.

Lo scopo di tale documentazione è:

- Identificare gli elementi di criticità potenziale (registro dei rischi) all'interno dei principali ambiti di rischio di costruzione (e quindi relativi alle opere ed all'esecuzione dei lavori, NON alla sicurezza ed alla salute dei lavoratori), quindi di valutare le diverse criticità di natura idrologica-idraulica, geologica ed idrogeologica, geomeccanica, strutturale, etc..
- Associare ad ogni elemento di criticità potenziale la relativa probabilità di accadimento, definendo le relative conseguenze ed il loro impatto potenziale sia sulle opere esistenti, sia sulle opere di nuova costruzione, sia verso terzi, al fine di poter infine calcolare il livello di rischio ad esse associato.
- Evidenziare l'accettabilità o meno del livello rischio associato e definire le conseguenti misure di mitigazione (da adottarsi in progetto oppure nel corso della costruzione) in termine di interventi preventivi e/o protettivi.
- Calcolare il livello di rischio residuo e definirne la sua accettabilità o meno.
- Identificare le metodologie di controllo e monitoraggio da adottarsi nel corso della costruzione, comprensive dei limiti di attenzione e di allarme e delle relative contromisure.
- Definire il piano di gestione delle eventuali emergenze durante la costruzione, comprensivo dell'albero delle responsabilità e di comunicazione.

Suddetti documenti dovranno essere aggiornati nel corso dei lavori sulla base dei riscontri ottenuti in corso d'opera attraverso – ad esempio – i risultati dei monitoraggi, le verifiche dirette dello stato di conservazione dei manufatti, etc.

Per la redazione di suddetta documentazione il Concessionario potrà fare riferimento a quanto indicato a livello nazionale ed internazionale in merito alle procedure di valutazione del rischio per la gestione delle dighe, durante tutto il ciclo di vita delle stesse.

In aggiunta a quanto sopra, si ricorda al Concessionario come gli organi di comando e di movimentazione delle paratoie dovranno possedere le certificazioni C.E. e dovranno essere conformi alla normativa nazionale e comunitaria di riferimento, compresa la "Direttiva macchine".

Si richiama infine quanto stabilito dall'art.1, comma 6, del citato D.L. relativamente all'esclusiva valenza tecnica, ai fini della pubblica incolumità, dell'approvazione da parte di questa Amministrazione, fatti salvi pertanto tutti gli obblighi, oneri e vincoli gravanti sulle opere da realizzare, con riferimento alle norme di tutela ambientale, all'assetto idrografico, agli interessi paesaggistici, urbanistici, storico-archeologici.

IL DIRIGENTE
(Ing. Francesco Santoro)



FRANCESCO SANTORO
MINISTERO DELLE
INFRASTRUTTURE E
DEI TRASPORTI
07.01.2021 16:39:59
UTC



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

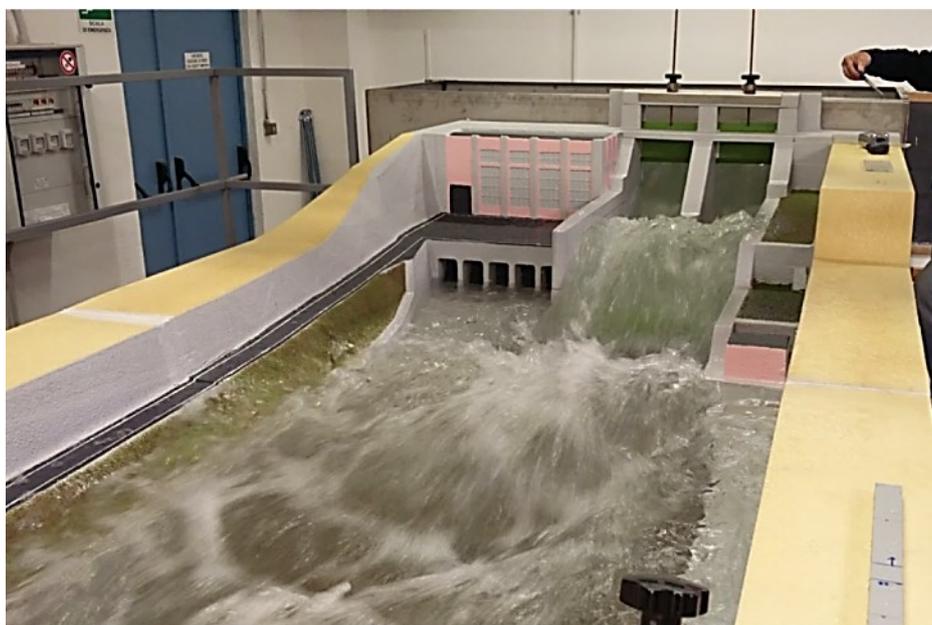
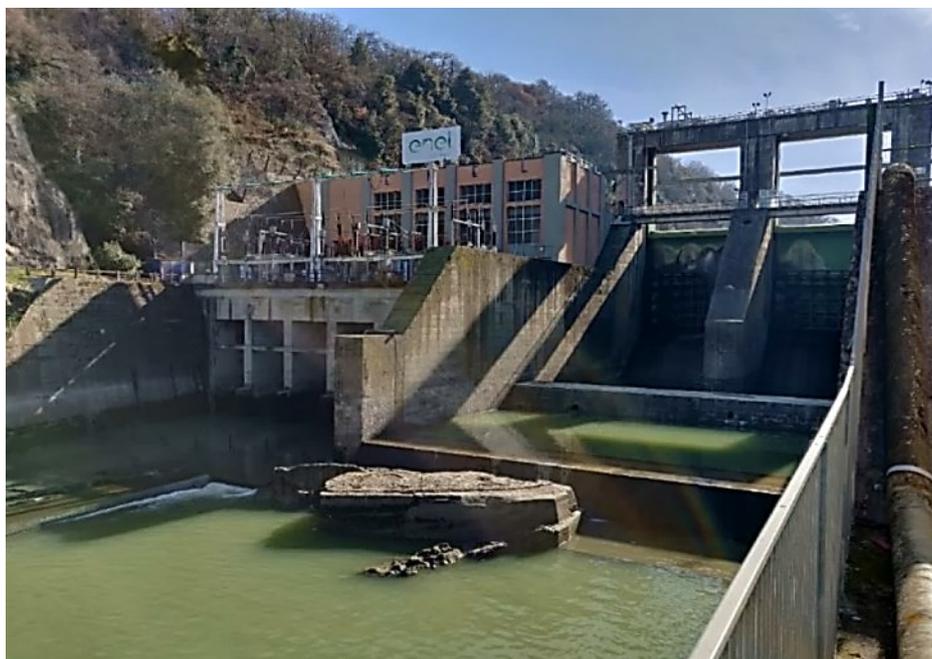
*DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, I SISTEMI INFORMATIVI E STATISTICI
Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche
Ufficio Coordinamento e Controllo Dighe in Esercizio*

DIGA DI LEVANE (n. arch. 684) sul fiume Arno nel comune di Montevarchi (AR)

Concessionario: ENEL S.p.A.

AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO DEFINITIVO “PROGETTO DI SOVRALZO AI FINI DI LAMINAZIONE”

RELAZIONE ISTRUTTORIA – NOVEMBRE 2020



INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 3 |
| 2 | I PARERI FORNITI AL PROGETTO DEFINITIVO DEL 2015 | 3 |
| 3 | IL PROGETTO DEFINITIVO LUGLIO 2020 | 4 |
| 3.1 | <i>Verifica di completezza formale degli elaborati</i> | <i>4</i> |
| 4 | L'OTTEMPERANZA A PRESCRIZIONI, RACCOMANDAZIONI E OSSERVAZIONI FORMULATE AL PROGETTO DEFINITIVO DEL 2015 | 5 |
| 4.1 | <i>Prescrizioni e raccomandazioni di cui alla nota DGD prot. n. 17788/RU del 02/08/2017</i> | <i>5</i> |
| 4.2 | <i>Parere della Direzione Dighe (anno 2016)</i> | <i>12</i> |
| 4.3 | <i>Parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2017)</i> | <i>18</i> |
| 5 | LE CONSIDERAZIONI DELLA DIREZIONE GENERALE | 21 |
| 5.1 | <i>Il parere dell'Ufficio Strutture e Geotecnica</i> | <i>21</i> |
| 5.2 | <i>Il parere dell'Ufficio Idraulica e Geologia Applicata</i> | <i>22</i> |
| 5.2.1 | <i>Aspetti geostrutturali e geomeccanici</i> | <i>22</i> |
| 5.2.2 | <i>Aspetti idrologici e idraulici</i> | <i>22</i> |
| 5.3 | <i>Il parere dell'Ufficio Coordinamento e Controllo</i> | <i>23</i> |
| 6 | CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 25 |
| 7 | APPENDICE 1 – Elenco elaborati di progetto definitivo luglio 2020 | 28 |
| 8 | APPENDICE 2 – Sintesi di raccomandazioni e osservazioni formulate al progetto definitivo del 2015 | 30 |
| 8.1 | <i>Parere della Direzione Generale Dighe (2016)</i> | <i>30</i> |
| 8.2 | <i>Parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2017)</i> | <i>34</i> |

1 PREMESSA

Con nota del 03/12/2015 n. 24700 il Concessionario della Diga di Levane inviava allo scrivente Ufficio il progetto denominato "*Progetto definitivo di sopralzo della diga a scopo di laminazione*" della diga di Levane, datato settembre 2015, a firma del dott. ing. Alessandro Leoncini.

Con note del 21/12/2015, n. 25883 e n. 25884, l'Ufficio di Coordinamento Controllo dighe in Esercizio richiedeva il parere dell'Ufficio Geotecnica e Strutture e dell'Ufficio Idraulica e Geologia Applicata.

In data 13/05/2016 questo ufficio eseguiva un sopralluogo all'impianto. Inoltre, con nota del 18/05/2016, n. 10813, questa Direzione Generale chiedeva alla competente sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ai sensi dell'art. 5 del DPR 1363/59, il parere in merito al progetto e contestualmente – con lettera in data 19/05/2016, n. 10882 – anticipava al Concessionario gli esiti dell'iter istruttorio completato dalla DGD, unitamente alla relazione tecnica di esame del progetto (datata 23/02/2016).

Con lettera prot. n. 5999 del 26/06/2017 il C.S.LL.PP. inviava a questa Amministrazione le osservazioni formulate con il voto n. 51 del 2016. In particolare, le conclusioni del suddetto voto, oltre a "*condividere le prescrizioni e osservazioni della Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche*" evidenziavano come "*l'intervento debba essere inquadrato nell'intero contesto, valutando tutte le condizioni rilevanti ai fini della sicurezza, con un maggior grado di conoscenza di dettaglio, da perfezionare valorizzando i dati e le informazioni disponibili dal lungo periodo di esercizio pregresso con riferimento anche agli organi di scarico, in termini di adeguatezza e funzionalità, nonché al controllo dei fenomeni di interrimento, che, si sottolinea, caratterizzano in maniera rilevante l'invaso*".

Conseguentemente con nota n. 17788 del 02/08/2017 questa Direzione richiedeva la revisione e l'integrazione del progetto definitivo redatto dal Concessionario, inviando una serie di prescrizioni ed osservazioni ed allegando - oltre all'istruttoria della DGD, già anticipata con nota 10882/2016 – anche il parere dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in merito agli elaborati del progetto definitivo del settembre 2015.

Con nota EGP prot. n. 12227 del 20/07/2020 del Concessionario ha trasmesso la revisione del Progetto Definitivo 2015; ad essa segue la presente verifica di ottemperanza e la relativa istruttoria predisposta all'interno della presente nota, anche tenendo conto dei pareri specialistici delle Divisioni specialistiche¹.

2 I PARERI FORNITI AL PROGETTO DEFINITIVO DEL 2015

Al Par. 4.1 si riporta l'elenco di prescrizioni e raccomandazioni inviate al Concessionario con nota DGD prot. n. 17788/RU del 02/08/2017 ed in adempimento alle quali la scrivente Divisione aveva chiesto che il Concessionario procedesse a rivedere, integrare ed adeguare il progetto definitivo - settembre 2015, denominato "*Sopralzo della diga a scopo laminazione*" della diga di Levane. Si rimanda inoltre per completezza di inquadramento, preliminarmente alla verifica di ottemperanza di cui ai paragrafi seguenti, all'Appendice 2 per la sintesi dei pareri forniti al progetto definitivo del 2015, comprensiva delle richieste formulate dallo scrivente Ufficio nella relazione istruttoria redatta in data 23/02/2016² e del parere del C.S.LL.PP. trasmesso alla scrivente Direzione con lettera prot. n. 5999 del 26/06/2017³.

¹ parere della Divisione 6 trasmesso con nota prot. N 27391 del 16/12/2020; pareri della Divisione 7 trasmessi con nota prot. n. 17234 del 25/08/2020 per quanto riguarda gli aspetti geostrutturali e geomeccanici, e con nota prot. n. 21154 del 08/10/2020 per quanto riguarda gli aspetti idrologici e idraulici.

² anticipata dalla DGD ad ENEL con lettera n. 10882 in data 19/05/2016

³ entrambi trasmessi al Concessionario dallo scrivente Ufficio in allegato alla nota prot n. 17788/RU del 02/08/2017

3 IL PROGETTO DEFINITIVO LUGLIO 2020

L'elenco elaborati dell'aggiornamento del progetto definitivo oggetto della presente istruttoria è riportato in Appendice 1; il progetto, costituito da un totale di n. 86 elaborati, e comprensivo di n. 24 relazioni e n. 62 elaborati grafici, è datato 30 giugno 2020 ed è qualificato come "prima emissione".

Nel doc. rif. GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.013.00, "*Relazione tecnica generale*", il progettista (Cap. 3) riassume l'iter realizzativo dell'opera esistente e l'iter progettuale in corso, ed infine (Par. 3.6) riepiloga gli approfondimenti, le ulteriori verifiche e le progettazioni introdotte in conformità con quanto indicato dall'istruttoria del progetto DGD di cui alla nota prot. n. 17788 del 02/08/2017.

Si osservi che, secondo quanto indicato dal Concessionario, "*il progetto è stato redatto in modo completo ex novo rispetto a quello del 2015, pur rimanendo l'impostazione e le scelte progettuali principali; attraverso le diverse relazioni specialistiche ed i relativi approfondimenti, è stato risposto alle richieste formulate nell'istruttoria sopra richiamata. Il progetto è stato affidato alla società Cesi SpA, all'interno della quale l'ing. Alberto Masera è stato individuato come progettista generale. I contributi specialistici sono dell'Università degli Studi di Firenze (Dipartimento Ingegneria Civile e Ambiente), del Centro Geotecnologie dell'Università degli studi di Siena, e dell'ing. Michele Hirschler.*"

3.1 Verifica di completezza formale degli elaborati

A seguito della verifica di completezza formale degli elaborati, lo scrivente Ufficio osserva che:

- Gli elaborati di progetto sono tutti sottoscritti con firma digitale dall'ing. Alberto MASERA (progettista generale per CESI), dall'ing. Massimo SESSEGO (per il Committente, Enel Green Power) e dall'ing. Sara GABBRIELLI (per presa visione come ingegnere responsabile).
- I seguenti elaborati di tipo specialistico sono sottoscritti digitalmente anche dal relativo progettista incaricato, ing. Michele HIRSCHLER (vedasi l'elenco elaborati in Appendice per il dettaglio dei file relativi):
 - Elaborati grafici da D16 a D17, da D36 a D50;
 - Relazioni R01 e da R08 a a R12.
- Le relazioni di carattere geologico R03, R04 e R05 riportano sul testalino nominativo e firma del progettista dell'attività specialista, dott. geol. Giovanni CERONI, tuttavia non è presente la firma digitale del professionista sugli elaborati trasmessi in formato digitale.
- La relazione R20 "*Modello fisico degli scarichi della diga di Levane: relazione tecnica*" non riporta la firma digitale del prof. ing. Enio PARIS, che risulterebbe essere il redattore della relazione stessa nell'ambito della convenzione con l'Università degli Studi di Firenze; la stessa relazione risulta altresì firmata digitalmente dal prof. ing. Claudio LUBELLO, che tuttavia non compare tra i nominativi indicati nella relazione stessa né nel ruolo di redattore, né nel ruolo di collaboratore.
- La relazione R21 "*Contratto di servizio per studio della riduzione del rischio idraulico del sopralzo della diga di Levane a fini di laminazione - integrazione del quadro conoscitivo geologico, geotecnico, geomeccanico e sismico - relazione finale*" :
 - pur essendo da essi sottoscritto digitalmente, non riporta sul testalino i nominativi dell'ing. Alberto MASERA (progettista), dall'ing. Massimo SESSEGO (per Enel Green Power) e dall'ing. Sara GABBRIELLI (ingegnere responsabile);
 - riporta sul testalino le firme del direttore tecnico e del presidente della società CGT Engineering Srl che ha redatto lo studio, senza tuttavia che di essi siano presenti le relative firme digitali.

Inoltre si deve osservare come il progetto non sia corredato da elaborati grafici di tipo geologico e geotecnico, riportanti sezioni trasversali e longitudinali rappresentative ubicate in corrispondenza delle aree di intervento.

4 L'OTTEMPERANZA A PRESCRIZIONI, RACCOMANDAZIONI E OSSERVAZIONI FORMULATE AL PROGETTO DEFINITIVO DEL 2015

4.1 Prescrizioni e raccomandazioni di cui alla nota DGD prot. n. 17788/RU del 02/08/2017

Si riportano nelle pagine seguito la verifica di ottemperanza del progetto definitivo 2020 alle prescrizioni e raccomandazioni di cui alla nota DGD prot. n. 17788/RU del 02/08/2017, alla quale si rimanda per eventuali ulteriori approfondimenti. Il seguente quadro sinottico riassume il quadro di ottemperanza generale.

| TIPO | COD. | SINTESI | GIUDIZIO DI OTTEMPERANZA | AZIONE RICHIESTA |
|--------------|------|---|--------------------------|---|
| PRESCRIZIONE | P1.1 | Modifica equilibrio - stabilità sponde | Positivo | -- |
| | P1.2 | Mitigazione dell'eventuale interferenza con opere esistenti a monte | Parziale | In progetto esecutivo fornire indicazioni di dettaglio in merito alla necessità di integrare o meno il progetto con eventuali ulteriori opere necessarie a mitigare l'eventuale interferenza dei nuovi livelli di vaso oltre la quota di massima regolazione con le opere esistenti lungo le sponde del serbatoio. |
| | P2 | Movimenti terra, verifiche di stabilità e organizzazione cantiere | Parziale | In progetto esecutivo, per l'intervento di "gettineiezione" in sponda sinistra: <ul style="list-style-type: none"> • Prevedere un sistema di monitoraggio da eseguire nel corso dei lavori al fine di verificare la rispondenza tra ipotesi di progetto e comportamento reale dell'opera (incluso l'andamento della piezometrica) e conseguentemente adottare – ove ritenute necessarie – le eventuali contromisure ritenute necessarie nel corso dei lavori (quali - a titolo esemplificativo - l'eventuale necessità di introdurre interventi di drenaggio). • Eseguire verifiche di filtrazione. |
| | P3 | Iniezioni e interazione canne di drenaggio | Positivo | -- |
| | P4 | Demolizioni e interazione con esistente | Parziale | Fornire in progetto esecutivo indicazioni di dettaglio in merito a tecnologia e modalità esecutive previste per la demolizione, oltre che relativamente alla potenziale interazione tra le attività di demolizione e le opere esistenti, anche in termini di valutazione della ammissibilità delle vibrazioni indotte. |
| | P5.1 | Tenuta giunti verticali | Positivo | -- |
| | P5.2 | Spostamento giunto orizzontale | Positivo | -- |
| | P6 | Getti e interazione canne di drenaggio | Negativo | Definire in progetto esecutivo le modalità di getto del calcestruzzo che assicurino la piena efficienza delle canne di drenaggio esistenti nel corpo diga. |
| | P7.1 | Quota massimo vaso e idrogramma di progetto | Positivo | -- |
| | P7.2 | Volume di laminazione e batimetrie | Parziale | Eseguire rilievi batimetrici aggiornati da utilizzarsi per lo sviluppo della successiva fase di |

| TIPO | COD. | SINTESI | GIUDIZIO DI OTTEMPERANZA | AZIONE RICHIESTA |
|------------------------|-------|---|--------------------------|--|
| | | | | progettazione esecutiva. |
| | P8 | Progetto adeguamento scarichi esistenti e portata rivalutata | Positivo | -- |
| | P9 | Dissipazione energia a valle sfioratori e modellazione fisica | Positivo | -- |
| | P10 | Mantenere operativo lo scarico di fondo | Parziale | Chiarire le modalità che il Concessionario intende porre in atto per consentire la manutenzione del paramento di monte o di parti a monte dello sbarramento. |
| | P11.1 | Verifiche strutturali muri d'ala e nuove paratoie | Positivo | -- |
| | P12.2 | Verifiche tensionali sopralzo pile | Parziale | Richiesto parere specialistico Div.6. |
| | P13 | Integrazioni verifiche scorrimento | Positivo | -- |
| | P14 | Verifica sismica scala a chiocciola | Positivo | -- |
| | P15 | Interventi di drenaggio spinte terrapieno di valle sx idraulica | Parziale | Prevedere in progetto esecutivo eventuali interventi di drenaggio per ridurre le spinte del terrapieno di valle in sinistra idraulica. |
| RACCOMANDAZIONE | R1 | Sedimenti- stima spinte e rilievi batimetrici aggiornati | Parziale | Eseguire rilievi batimetrici aggiornati da utilizzarsi per lo sviluppo della successiva fase di progettazione esecutiva. Allegare i rilievi batimetrici al progetto esecutivo. |
| | R2 | Portate scaricate, interazioni con territorio di valle e assenza di rigurgiti | Parziale | Esaminare in maniera approfondita le interazioni tra la nuova portata esitata a valle dello sbarramento con i territori di valle interessati, con particolare riferimento anche alla massima portata di piena transitabile in alveo a valle dello sbarramento e contenuta nella fascia di pertinenza fluviale come delimitata dalla competente Autorità di bacino. |
| | R3 | Strumentazione di controllo e di monitoraggio | Parziale | Fornire negli elaborati di progetto esecutivo indicazioni di dettaglio in merito a tipologia di strumentazione e frequenza delle osservazioni durante costruzione, invasi sperimentali e normale esercizio secondo quanto richiesto dalle NTC emesse con DM 26/06/2014, punto C.1 1. |
| | R4 | Criteri di accettazione calcestruzzi | Positivo | -- |
| | R5 | Stato concessione in atto | Parziale | Fornire ulteriori notizie sullo stato della concessione in atto con particolare riferimento sul fatto che la parziale modifica dell'utilizzo della diga costituisca o meno una variazione essenziale del disciplinare di concessione. |
| | R6 | Adeguamento "Progetto di gestione invaso" | Negativo | Fornire un riscontro in merito a tale richiesta. |

| TIPO | COD. | SINTESI | GIUDIZIO DI OTTEMPERANZA | AZIONE RICHIESTA |
|------|------|--|--------------------------|---|
| | R7 | Attualità Piano Stralcio 1999 fiume Arno e possibili variazioni vulnerabilità territori di monte | Parziale | Fornire un riscontro di maggiore dettaglio in merito alla verifica dell'attualità del piano del 1999 in merito a possibili variazioni della vulnerabilità dei territori di monte interessati. |

Di seguito s'illustra il dettaglio di quanto sopra sinteticamente riportato.

– **PRESCRIZIONI**

- P1. 1. Il progetto modifica l'equilibrio determinatosi in 60 anni di esercizio sia in termini di stabilità delle sponde, che per le possibili modifiche del regime delle falde presenti; specifiche indagini e valutazioni dovranno essere eseguite nel progetto lungo l'intero perimetro del serbatoio.

EGP ha affidato a professionisti gli approfondimenti richiesti che riguardano la stabilità delle sponde. I risultati sono descritti nel Rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.026.00 - CGT Engineering - Integrazione del Quadro conoscitivo geologico, geotecnico, geomeccanico e sismico - Relazione Finale P41019GEORF0100 del 26/05/2020. Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- P1. 2. Gli elaborati esaminati non risultano integrati dal progetto delle possibili ulteriori opere necessarie a mitigare l'eventuale interferenza dei nuovi livelli di invaso oltre la quota di massima regolazione con le opere esistenti lungo le sponde del serbatoio.

In base a quanto desunto dall'analisi di progetto, gli approfondimenti condotti hanno riguardato in particolare gli aspetti geologici, geomorfologici e geotecnici con riferimento alla verifica di stabilità delle sponde; inoltre è stata individuata una condizione di rischio potenziale non derivante dalle problematiche di stabilità delle sponde, ma conseguente all'esondazione del fiume Arno e che riguarda il percorso pedonale e la passerella all'interno dell'area dell'Oasi, la cui quota risulta, dalla cartografia attualmente disponibile, pari a 172,4m s.l.m. .

Tuttavia gli elaborati di progetto non riportano un riscontro di dettaglio a tale prescrizione con riferimento ad eventuali interazioni tra la nuova quota di invaso e la presenza di opere esistenti lungo le sponde del serbatoio.

- P2. La progettazione dei movimenti terra e degli scavi di imposta in corrispondenza della sezione della diga deve essere supportata da verifiche di stabilità e da una puntuale organizzazione del cantiere volta anche ad accertare l'effettiva possibilità di realizzare gli interventi in zone confinate.

Il progetto include un elaborato denominato "Relazione illustrativa e di calcolo delle opere provvisorie da realizzare in spalla sinistra", relativa in particolare ai muri in c.a. da realizzare lungo la pista di cantiere tra le progressive 0+065 e 0+085 ed agli interventi di consolidamento con jet-grouting (altrove denominati "gettiniezione") necessari all'esecuzione degli scavi provvisori finalizzati ad eseguire l'appesantimento della diga nella zona della spalla sinistra e del terrapieno d'ala.

Per quanto riguarda l'intervento di "gettiniezione", si osservi come la relazione non includa la previsione di un sistema di monitoraggio da eseguire nel corso dei lavori al fine di verificare la rispondenza tra ipotesi di progetto e comportamento reale dell'opera (incluso l'andamento della piezometrica) e conseguentemente adottare – ove ritenute necessarie – le eventuali contromisure ritenute necessarie nel corso dei lavori (quali - a titolo esemplificativo - l'eventuale necessità di introdurre interventi di drenaggio).

Non sono inoltre eseguite verifiche di filtrazione, ipotizzando di fatto che il trattamento abbia funzione non solo di miglioramento, ma anche di tenuta idraulica; considerate le condizioni al contorno, non si ritiene che tale scelta sia adeguatamente giustificata.

Le modalità di organizzazione del cantiere sono dettagliate nel rapporto denominato "Relazione sui lavori di cantierizzazione", che contiene una descrizione di dettaglio di programmazione e realizzazione dei lavori.

Pertanto la prescrizione della DGD risulta solo parzialmente ottemperata.

- P3. La progettazione delle iniezioni di impermeabilizzazione e di cucitura deve essere definita almeno mediante l'ubicazione, la profondità e la riduzione di permeabilità attesa; in caso di ostruzione delle esistenti canne di drenaggio dovrà essere previsto il loro ripristino.

Il progetto definitivo aggiornato prevede l'eliminazione di tale tipologia di intervento (iniezioni di impermeabilizzazione e di cucitura) in sinistra attraverso una modifica dell'opera di chiusura idraulica del fianco sinistro. Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- P4. Le modalità di esecuzione della parziale demolizione del paramento di valle e di quelle necessarie alla realizzazione del nuovo cunicolo di ispezione dovranno essere definite in modo da assicurare l'assenza di danneggiamenti alla diga esistente.

Il progetto aggiornato prevede che non venga più realizzato il nuovo cunicolo di ispezione; inoltre le modalità di demolizione del paramento di valle sono dettagliatamente descritte negli elaborati di progetto (vedasi quanto indicato sia nel rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00 sulla cantierizzazione, sia nella relazione generale sugli interventi GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.013.00).

Tuttavia si osservi come dall'esame della documentazione di progetto non siano presenti indicazioni di dettaglio né in merito a tecnologia e modalità esecutive previste per la demolizione, né relativamente alla potenziale interazione tra le attività di demolizione e le opere esistenti, neppure in termini di valutazione della ammissibilità delle vibrazioni indotte; il progetto rimanda altresì in maniera generale ad ulteriori monitoraggi e controlli da eseguirsi nel corso delle lavorazioni stesse.

Pertanto la prescrizione della DGD risulta solo parzialmente ottemperata.

- P5. 1. Il progetto dovrà definire la soluzione tecnica da adottare per assicurare la tenuta dei giunti verticali della nuova porzione di sovralzo della diga.

Il progetto prevede che i giunti verticali esistenti siano prolungati nella nuova struttura; in particolare l'elaborato GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.060.00 contiene il dettaglio grafico con i particolari dei giunti di tenuta. Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- P5. 2. Il giunto orizzontale di tenuta tra la vecchia e la nuova struttura deve essere previsto almeno 30 cm al disopra della quota di massima regolazione.

Il giunto è stato posizionato a quota 167,80 m s.l.m. (vedasi elaborato grafico GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.061.00), pertanto è stato innalzato di 30 cm rispetto a quanto previsto nel PD-201, 5 in accordo con quanto prescritto. Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- P6. Il progetto dovrà definire le modalità di getto del calcestruzzo che assicurino la piena efficienza delle canne di drenaggio esistenti nel corpo diga.

Gli elaborati progettuali non riportano indicazioni di dettaglio in merito a tale prescrizione, che quindi non risulta ottemperata.

- P7. 1. Per la verifica della quota di massimo invaso da porre a base dei nuovi interventi di sovralzo e quindi per le necessarie valutazioni della capacità di laminazione conseguita si ritiene che debba — anche sulla base delle più recenti misure disponibili — essere aggiornato il valore di portata al colmo e la forma dell'idrogramma, considerando i tempi di ritorno previsti dal D.M. 26.06.2014 già citato.

Il Concessionario ha verificato il comportamento dell'invaso nei confronti dell'idrogramma di progetto valutato dall'Ufficio Idraulica della DGD e trasmesso con nota prot. 0025820 del 23/12/2014 ($Q_{colmo}=3283 \text{ m}^3/\text{s}$, volume di circa 177,28 Mm³ sulle 48 ore), mediante laminazione eseguita con applicazione dell'equazione di bilancio del serbatoio di monte della diga di Levane.

Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- P7. 2. L'effettiva determinazione del volume di laminazione conseguente al sovralzo sarà possibile solo in conseguenza dell'esecuzione di batimetrie dell'area di invaso a monte e rilievi delle aree allagate alla nuova quota di massimo invaso.

Secondo quanto indicato dal Concessionario, il progetto avrebbe tenuto conto dei rilievi batimetrici eseguiti per ENEL nel 2009 e del DTM con lato cella 1 m (2010), reperito nel SITA (Sistema Informativo Territoriale e Ambientale) della Regione Toscana, senza tuttavia tenere in conto

l'ulteriore documentazione più recente (rilievi batimetrici anno 2018), non considerata dal progettista compatibile. Pertanto tale prescrizione è solo parzialmente ottemperata, non essendo stati utilizzati rilievi batimetrici aggiornati.

- P8. Relativamente all'adeguamento degli scarichi esistenti la portata esitata sopra le paratoie dovrà essere rivalutata, in quanto il coefficiente di deflusso adottato è incoerente con la geometria dello scarico e fornisce valori di portata almeno del 14% superiori a quelli effettivamente scaricabili; tale valutazione ha significative conseguenze sulla stima del volume di laminazione che si vuole conseguire in progetto e quindi sulla stima delle aree allagabili.

Al fine di ottemperare la prescrizione il Concessionario ha applicato i criteri che vengono indicati in risposta alla prescrizione P7.1 (vedasi sopra).

Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- P9. La dissipazione dell'energia della corrente a valle degli sfioratori dovrà essere eseguita sulla base di verifiche più cautelative, adottando coefficienti adeguati, saranno di conseguenza necessari nuovi possibili interventi di adeguamento. La verifica sia della vasca di dissipazione, che del sistema di scarico, dovrà essere affinata con la modellazione fisica, secondo il D.M. 26.06.2014.

In merito a tale prescrizione, il progettista indica che: "È stato affidato a un istituto universitario (Università degli Studi di Firenze, di seguito UNIFI) la realizzazione e lo sviluppo di un modello fisico degli scarichi e della vasca di dissipazione per verificarne l'adeguatezza in termini rispettivamente di capacità esitativa e di dissipazione, comprensivo dello studio idraulico del deflusso della piena lungo l'Arno per determinare la condizione idrica di valle. I risultati sono descritti nel Rapporto: GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.025.00 Università degli Studi di Firenze DICEA – MODELLO FISICO DEGLI SCARICHI DELLA DIGA DI LEVANE (AR) Paris E., Castelli F., Lotti L., Morozzi S., Relazione tecnica, Gennaio 2020.

Lo stesso soggetto ha eseguito una nuova stima della portata dell'Arno per assegnate probabilità di occorrenza basata su correlazioni statistiche. Lo studio è documentato in Università degli Studi di Firenze DICEA - Stima delle portate in ingresso agli invasi di La Penna e Levane per assegnati tempi di ritorno.

A valle di questo studio è stata aggiornata la Relazione idraulica di progetto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.011.00."

Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- P10. Lo scarico di fondo dovrà essere mantenuto operativo, secondo quanto previsto dal D.M. 26.06.2014 che ne prevede la funzionalità per tutto il ciclo di vita dell'opera di sbarramento.

Il progettista ha comunicato che l'attuale aggiornamento progettuale non modifica quanto previsto nel progetto 2015, pertanto lo stesso conferma la chiusura dello scarico di fondo in quanto, secondo quanto indicato negli elaborati di progetto:

- "Lo scarico di questa diga era uno scarico di esaurimento da subito intasato.
- In questa tipologia di diga -più simile ad una traversa che ad una diga a gravità - l'apertura delle paratoie di scarico permette di raggiungere livelli prossimi al fondo alveo (la soglia è 153 m s.l.m.) in tempi rapidi."

Si ritiene che il riscontro fornito dal Concessionario non sia sufficientemente dettagliato per motivare la scelta di non ripristinare lo scarico di fondo.

- P11. 1. Il progetto definitivo deve essere integrato con le verifiche strutturali dei nuovi muri d'ala di calcestruzzo armato della vasca di dissipazione e di quelle delle nuove paratoie degli organi di scarico; tale verifica, alla luce di un incremento di carico di oltre il 30% della spinta idrostatica, è fondamentale per garantire la sicurezza dell'opera.

Il progetto definitivo redatto nel 2020 include le verifiche progettuali richieste. Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- P12. 2. Le verifiche tensionali relative al sopralzo dei setti costituenti le pile hanno evidenziato sforzi di trazione che superano i valori normativi, di conseguenza dovranno prevedersi interventi di rinforzo

progettati considerando anche le azioni trasferite dagli organi meccanici.

Secondo quanto indicato nell'aggiornamento progettuale del 2020, lo studio di dettaglio condotto dal progettista CESI ha evidenziato che *"le trazioni calcolate non evidenziano una carenza strutturale del manufatto che richieda l'adozione di un accorgimento strutturale."*

Pertanto la prescrizione della DGD risulta solo parzialmente ottemperata da parte del Concessionario; su tale aspetto la Divisione di coordinamento ha richiesto una valutazione in merito alla Divisione 6.

P13. Il progetto definitivo deve essere integrato con le verifiche allo scorrimento relativamente alla combinazione di carico di massimo vaso necessaria per valutare la spinta idrostatica di valle ed il corrispondente diagramma delle sottopressioni.

Il progettista indica che: *"In merito al livello idrostatico a valle diga, per tutte e tre le parti in cui questa è stata suddivisa (Sinistra, Pila e Soglia, Destra), è stata esaminata una condizione aggiuntiva rispetto a quella corrispondente ad un livello idrico pari a 147 m s.l.m., in particolare si è considerata la condizione limite per portata di piena pari a 3283 m³/s e conseguente livello idrostatico dell'acqua a valle diga pari a 155.51 m s.l.m, verificabile nella condizione di massimo vaso."*

Inoltre, *"come da normativa la sottospinta idraulica è stata calcolata considerando su ogni piano di verifica una distribuzione delle sottopressioni bilineare decrescente da monte verso valle, con valore pari alla pressione idrostatica di vaso in corrispondenza del paramento di monte, alla pressione idrostatica massima che si può verificare lungo la linea dei drenaggi, tenuto conto della quota di efflusso di essi e del limite inferiore da normativa, indi al valore della pressione idrostatica presente in corrispondenza del paramento di valle."*

La relazione strutturale (Capitolo 9.3) contiene inoltre le verifiche con livello idrostatico dell'acqua a valle diga pari a 155,51 m s.l.m., secondo le quali *"si può concludere che l'innalzamento del livello dell'Arno a valle da 147 m s.l.m. a 155,51 m s.l.m. comporta dei lievi cambiamenti dello stato tensionale e nelle verifiche di stabilità globale, senza però variarne la risposta complessiva dell'opera"*.

Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

P14. La scala a chiocciola in cemento armato esistente che consente l'accesso all'impalcato posto a quota 181,00 dove sono posizionati gli organi di manovra dovrà essere verificata sismicamente.

L'elaborato GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.021.00 contiene la verifica sismica della scala a chiocciola, pertanto ottempera alle richieste della DGD.

Pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

P15. Il progetto definitivo dovrà prevedere eventuali interventi di drenaggio per ridurre le spinte del terrapieno di valle in sinistra idraulica.

Il progettista ha introdotto una modifica progettuale che prevede l'irrigidimento del terrapieno con la tecnica della gettiniezione, senza che tuttavia siano previsti interventi di drenaggio, neppure eventuali. Si ritiene che, anche nelle mutate ipotesi progettuali di esecuzione degli scavi, la prescrizione della DGD debba comunque essere ottemperata da parte del Concessionario.

– RACCOMANDAZIONI

R1. Per i sedimenti depositatesi nel serbatoio nel corso di diversi anni, dovrà procedersi alla stima delle relative spinte sull'opera di sbarramento, anche in condizioni dinamiche.

La relazione strutturale R13 (codice CESI C0005890) ha recepito tale raccomandazione, utilizzando le batimetrie svolte dalla ditta URS nel 2011 per definire la geometria dei carichi agenti derivanti dai sedimenti ed assumendo i parametri geotecnici da quanto desumibile dalla letteratura per materiali simili.

Pertanto tale raccomandazione è solo parzialmente rispettata, non essendo stati utilizzati rilievi batimetrici aggiornati.

R2. Le portate scaricate dovranno essere verificate con particolare riferimento alle interazioni con il

territorio di valle; inoltre dovrà verificarsi l'assenza di rigurgiti a valle diga tali da determinare una diminuzione della portata scaricata.

Il progettista afferma che "Per quanto riguarda il deflusso delle portate di piena a valle dello sbarramento non sono da prevedere differenze significative rispetto alla situazione attuale. Di fatto, per effetto della laminazione, si avranno in generale valori di portata scaricata inferiori a quelli attuali per eventi di piena equivalenti. Tuttavia, a motivo delle maggiori quote di invaso che si avrebbero impegnando il volume di laminazione al di sopra della 167,50 m s.l.m., gli stessi valori di portata verrebbero ad essere scaricati con aperture minori delle paratoie e maggiori velocità della corrente." Inoltre lo studio su modello fisico di UNIFI ha concluso che "Le altezze idriche della corrente di valle non producono effetti di rigurgito tali da interferire con il deflusso a valle degli scarichi della diga."

Tuttavia non risultano esaminate in maniera approfondita le interazioni tra la nuova portata esitata a valle dello sbarramento con i territori di valle interessati, con particolare riferimento anche alla massima portata di piena transitabile in alveo a valle dello sbarramento e contenuta nella fascia di pertinenza fluviale come delimitata dalla competente Autorità di bacino.

Pertanto tale raccomandazione è solo parzialmente rispettata.

- R3. Il controllo strumentale dell'opera di sbarramento, così come oggi previsto, sarà soggetto, durante il corso dei lavori, a significativi fuori esercizio; non potrà, infatti, essere assicurato né il controllo topografico, né quello dei pendoli, né quello delle filtrazioni, pur restando comunque la struttura residua in esercizio con carichi significativi. Si ritiene, quindi, che il progetto degli interventi di soprizzo debba prevedere un sistema, anche provvisorio, di controllo, in special modo delle deformazioni delle singole porzioni della struttura di sbarramento. In ogni caso occorre indicare la tipologia di strumentazione, la frequenza delle osservazioni durante la costruzione, gli invasi sperimentali e il normale esercizio secondo quanto richiesto dal DM 26/06/2014.

Il progettista indica quanto segue:

"Durante le fasi delle lavorazioni dovranno essere adottate tutte le misure di cautela necessarie per non danneggiare parti della diga e delle strutture esistenti.

Le attività di cantiere non prevedono limitazioni al transito sulla viabilità ordinaria esistente, ad eccezione dei trasporti eccezionali riferibili prevalentemente ai componenti delle paratoie.

Durante l'esecuzione dei lavori, si prevede di mantenere operativo il sistema di monitoraggio della diga esistente.

Mentre si lavora su una porzione della diga, gli strumenti sulle altre porzioni resteranno in esercizio: per esempio mentre si lavora in destra, i pendoli in centro e in sinistra continueranno la loro misurazione; conclusi i lavori in destra sarà predisposto anche il relativo sistema di monitoraggio definitivo e si potrà operare quindi allo stesso modo sulla porzione centrale e poi sinistra della diga.

Si prevede inoltre di installare un sistema topografico di controllo dell'intera opera durante i lavori, che diventerà definitivo alla conclusione degli interventi.

Per il controllo della temperatura del calcestruzzo durante le fasi di getto, saranno utilizzate delle termocoppie a perdere inserite nei getti."

Non risultano altresì fornite negli elaborati di progetto indicazioni di dettaglio in merito a tipologia di strumentazione e frequenza delle osservazioni durante costruzione, invasi sperimentali e normale esercizio secondo quanto richiesto dalle NTC emesse con DM 26/06/2014, punto C.1 1.

Pertanto tale raccomandazione è solo parzialmente rispettata

- R4. Il progetto definitivo dovrà specificare i criteri di accettazione dei calcestruzzi da utilizzare per la costruzione delle diverse parti dell'opera di sbarramento, da utilizzare come base per la valutazione delle prove preliminari di qualificazione di cui al DM 26/06/2014.

Il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00 – "Relazione sui lavori di cantierizzazione" specifica quanto richiesto, pertanto il giudizio di ottemperanza è positivo.

- R5. Con riferimento alle questioni più generali del progetto istruito e che sono state già oggetto dei due incontri avuti con le autorità regionali (... omissis...), si ritiene utile ribadire che gli atti e la

documentazione trasmessa non forniscono notizie sullo stato della concessione in atto, regolata dal decreto n. 620, del 27.06.1967 e dal disciplinare n. 13884, del 01.04.1967; questa direzione generale ritiene che la parziale modifica dell'utilizzo della diga costituisca una variazione essenziale del disciplinare di concessione.

La relazione generale sugli interventi fornisce un inquadramento di massima della Concessione in essere, senza tuttavia entrare nel dettaglio della stessa. Pertanto tale raccomandazione è solo parzialmente rispettata.

- R6. Si raccomanda di valutare l'interessamento degli organi regionali competenti in merito all'adeguamento del "Progetto di gestione dell'invaso", anche allo scopo di indagare la possibilità di rimozione della coltre di sedimenti accumulatasi nell'invaso.

Il progetto non riporta un riscontro a tale raccomandazione.

- R7. Il sopralzo della diga di Levane è inquadrato nel contesto delle previsioni contenute nel piano di bacino stralcio relativo alla riduzione del rischio idraulico, adottato dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino dell'Arno con delibera 131/99, pertanto, si raccomanda una verifica dell'attualità del piano del 1999, in merito a possibili variazioni della vulnerabilità dei territori di monte interessati.

Il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.013.00, "Relazione generale sugli interventi" riporta, nel Cap. 8, la descrizione degli obiettivi del progetto di sopralzo e l'iter progettuale intrapreso, evidenziando come il progetto sviluppato da EGP riprenderebbe sostanzialmente le linee d'intervento del progetto del Piano Stralcio per la riduzione del rischio idraulico, approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 05.11.1999, Approvazione del piano di bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico (GU n. 230 del 03.10.2005).

Tuttavia il progetto non riporta un riscontro alla raccomandazione della DGD di verificare possibili variazioni della vulnerabilità dei territori di monte interessati. Pertanto tale raccomandazione è solo parzialmente rispettata.

4.2 Parere della Direzione Dighe (anno 2016)

Di seguito si illustra il riscontro fornito nel progetto 2020 alle osservazioni formulate dalla Direzione Dighe e di cui in dettaglio nel PAR. 8.1.

A. ASPETTI GENERALI

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|--|
| 1. <i>Modifiche delle condizioni di stabilità delle sponde e possibili modifiche al regime delle falde presenti, oltre che delle zone di possibile allagamento</i> | VEDASI RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P1 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO |
| 2. <i>Programmazione e realizzazione dei lavori e vulnerabilità per i territori di valle</i> | Il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00, "Relazione sui lavori di cantierizzazione" contiene una descrizione di dettaglio di programmazione e realizzazione dei lavori. Esso inoltre identifica per quali lavorazioni sia necessario prevedere lo svuotamento del serbatoio, identificando come periodo consigliato per lo svuotamento – sulla base delle misure di portata del Fiume Arno raccolte alla Stazione di Montevarchi - quello compreso dalla metà di aprile alla fine di ottobre, quando il fiume Arno presenta le minime portate. |
| 3. <i>Valutazioni definitive sulla sicurezza idraulica, strutturale e geotecnica dell'invaso in esercizio circa 10 km a</i> | Il progetto contiene solo parzialmente gli approfondimenti richiesti; vedasi in tal senso anche quanto indicato in RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P1 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO. |

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|--|
| monte. | |
| 4. <i>Assenza di valutazioni sulle motivazioni tecniche dell'intervento così come proposto, che risulterebbe trovare le sue motivazioni tecniche per proteggere i territori di valle da eventi con tempi di ritorno modesti, ma frequenti.</i> | Il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.013.00, "Relazione generale sugli interventi" riporta, nel capitolo 8, la descrizione degli obiettivi del progetto di sopralzo e l'iter progettuale intrapreso, evidenziando come il progetto sviluppato da EGP riprenderebbe sostanzialmente le linee d'intervento del progetto del Piano Stralcio per la riduzione del rischio idraulico, approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 05.11.1999, Approvazione del piano di bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico (GU n. 230 del 03.10.2005). |

B. ASPETTI DI DETTAGLIO

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|---|--|
| 1. <i>Aggiornare - sulla base della campagna di indagini geologiche eseguite - il modello geotecnico longitudinale e trasversale della sezione di imposta</i> | Il progettista indica che: <i>"È stata eseguita la riedizione della relazione geologica geomeccanica e geognostica, e delle sezioni litotecniche di imposta della diga. La riedizione ha tenuto conto dei commenti del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in merito ad una maggiore integrazione dei dati storici e dei risultati delle indagini integrative condotte, vedasi il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.011.00 - "Relazione geologica, sismica e geomeccanica"."</i> |
| 2. <i>Aggiornare - sulla base di una campagna di indagini geologiche da eseguire - il modello geotecnico delle sezioni delle sponde del serbatoio</i> | Il progettista indica che: <i>"Sono stati eseguiti rilievi geologici, geomorfologici e geostrutturali di superficie; l'approfondimento della geologia delle sponde del bacino e lo studio della loro stabilità a fronte di possibili innalzamenti del livello d'invaso sono stati affidati alla società CGT-SpinOff Srl, costituita nell'ambito del Centro di Geotecnologie dell'Università degli Studi di Siena."</i> |
| 3. <i>Modalità operativa di esecuzione dei getti massivi, con specifico riferimento al problema dello smaltimento del calore di idratazione in spazi confinati</i> | Il progettista indica che: <i>"La cantierizzazione ha indicato alcuni vincoli per le caratteristiche dei materiali: in particolare è stato necessario rivedere il mix design del calcestruzzo per le opere massive, diminuendo il diametro dell'inerte massimo e aumentando il contenuto di cemento. Una prima stima delle massime temperature ottenibili su concii di getto tipo ha permesso di ottenere valori nei limiti di accettabilità (vedasi il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00 - "Relazione sui lavori di cantierizzazione")"</i> |
| 4. <i>Revisione generale delle tavole grafiche allegate</i> | Essendo il progetto redatto in modo completo ex novo rispetto a quello del 2015, anche gli elaborati grafici sono stati oggetto di una revisione generale complessiva. |
| 5. <i>Calendarizzazione delle fasi dei lavori definendo sia l'inizio delle singole e specifiche attività, che la fine, in modo da poter valutare le diverse criticità sia di natura idrologica idraulica, che di tipo</i> | Il cronoprogramma dei lavori è riportato nel rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00, "Relazione sui lavori di cantierizzazione". La stessa relazione indica che: <ul style="list-style-type: none"> - <i>"Considerato l'impegno dell'allestimento del cantiere e delle necessarie predisposizioni, si ritiene preferibile concentrare le attività di sostituzione delle paratoie in un unico periodo di</i> |

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|--|
| <p><i>ambientale.</i></p> | <p><i>svuotamento del serbatoio.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Il cronoprogramma prevede 133 gg con serbatoio vuoto nella Fase 2, collocati dalla metà di aprile fino alla metà di ottobre.</i> - <i>Nel suddetto periodo, la laminazione delle eventuali piene, sarà gestita utilizzando l'invaso di "La Penna", ubicato a monte del bacino di Levane.</i> - <i>In caso di episodi meteorici intensi, capaci di generare dei significativi eventi di piena, verrà predisposta una procedura di allertamento per garantire in sicurezza l'evacuazione delle aree di lavoro."</i> <p>Secondo il progettista, tale elaborato tiene conto anche delle criticità di natura ambientale, in quanto esso è stato sviluppato "anche con il supporto di operatori specializzati, tenendo conto dei vincoli determinati dalle limitate aree disponibili, dalla presenza della limitrofa Riserva Naturale della Bandella e valle dell'Inferno, e dalla necessità di concentrare alcune lavorazioni nel periodo estivo, adatto allo svaso del serbatoio a monte."</p> |
| <p>6. <i>Rimozione del terrapieno esistente a valle della parte sinistra della diga – verifiche stabilità e programma cantiere</i></p> | <p>Il progettista indica che: <i>"È stato progettato lo scavo del terrapieno in sinistra idrografica necessario per eseguire l'appesantimento del paramento di valle diga, trattando e irrigidendo il terrapieno con la tecnica della gettiniezione, ottenendo in tal modo il risultato di minimizzare l'estensione dello scavo e la necessità di eseguire articolate opere di stabilizzazione."</i> Pertanto a seguito dell'appesantimento di cui sopra non sarebbero stati previsti in progetto interventi di drenaggio. Il relativo programma di cantiere è riportato nel rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00, "Relazione sui lavori di cantierizzazione".</p> |
| <p>7. <i>Modalità di parziale demolizione del paramento di valle della parte sinistra dello sbarramento ed interazione con esistente</i></p> | <p>VEDASI RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P4 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO</p> |
| <p>8. <i>Realizzazione del cunicolo di ispezione nella parte destra dello sbarramento</i></p> | <p>Il progettista indica che: <i>"Data la presenza dei condotti di adduzione alle turbine, e tenuto conto dell'esito delle verifiche di stabilità condotte, l'attuale revisione progettuale non prevede di realizzare un nuovo cunicolo alla base dei conci in destra."</i></p> |
| <p>9. <i>Giunto orizzontale in prossimità del coronamento per la parte sinistra dello sbarramento – innalzamento quota</i></p> | <p>VEDASI RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P5.2 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO</p> |
| <p>10. <i>Modalità realizzative dei nuovi giunti di tenuta lato acqua e continuità tra l'esistente ed il nuovo</i></p> | <p>VEDASI RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P5.1 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO</p> |
| <p>11. <i>Modalità esecutive conci 4 e 5 ed interventi di scavo e riprofilatura della spalla sinistra</i></p> | <p>L'elaborato GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.082.00 riporta le sezioni della diga con riferimento al sovrizzo in spalla sinistra, ed è comprensivo delle sezioni relative ai conci 4 e 5; non sono tuttavia riportate le modalità esecutive dei conci, anche se da</p> |

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|---|---|
| | quanto desumibile sugli elaborati di progetto, il sovralzo nel concio 5 avviene con riporto di calcestruzzo applicato solo in verticale, sul coronamento. Le fasi esecutive del primo concio in spalla sinistra sono dettagliate nell'elaborato grafico di progetto doc. rif GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.079.00. |
| 12. <i>Pervietà canne drenanti esistenti durante la fase di getto del nuovo calcestruzzo nella parte in sinistra della diga</i> | VEDASI RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P6 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO |
| 13. <i>Iniezioni di impermeabilizzazione e di cucitura del contatto diga roccia di fondazione – integrazioni documentali e garanzia pervietà canne drenanti in fase esecuzione lavori</i> | Il progettista indica che: <i>"L'opera di chiusura idraulica del fianco sinistro supplisce all'intervento di prosecuzione dell'opera muraria e iniezioni di impermeabilizzazione e contatto previste dal progetto ENEL in sinistra e permette di ottenere la chiusura 'idraulica' dello sbarramento senza richiedere scavi ed apprestamenti di sicurezza."</i> Non risultano fornite indicazioni di dettaglio in merito a modalità/controlli che saranno adottati per garantire la pervietà delle canne drenanti in fase esecuzione lavori. |
| 14. <i>Problemi di significativi fuori esercizio per il controllo dell'opera di sbarramento; previsione di sistema, anche provvisorio, di controllo almeno delle deformazioni delle singole porzioni della struttura di sbarramento.</i> <i>In ogni caso, indicare tipologia di strumentazione e frequenza delle osservazioni durante costruzione, invasi sperimentali e normale esercizio secondo quanto richiesto dalle NTC emesse con DM 26/06/2014, punto C.1 1.</i> | VEDASI RISPOSTA ALLA RACCOMANDAZIONE R3 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO |

C. QUESTIONI STRUTTURALI

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|---|--|
| 1. <i>Prove preliminari calcestruzzi</i> | Il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00, "Relazione sui lavori di cantierizzazione" contiene la descrizione delle prove e dei controlli da eseguirsi sui calcestruzzi. |
| 2. <i>Verifiche allo scorrimento e livello idrostatico a valle diga – combinazione di carico di massimo invaso per valutare la spinta idrostatica di valle e corrispondente diagramma di sottopressioni</i> | VEDASI RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P12 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO |
| 3. <i>Verifiche dei nuovi muri d'ala di</i> | Il progettista indica che: |

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|--|
| <i>calcestruzzo armato della vasca di dissipazione.</i> | <i>"Lo studio su modello idraulico dell'Università di Firenze condotto per gli specifici scopi del progetto, ha confermato che non vi è necessità di modifiche alla vasca esistente se non gli innalzamenti dei muri d'ala. I risultati ottenuti dallo studio (profilo della vena fluida) hanno confermato l'altezza prevista nel progetto ENEL 2015 per i muri d'ala e sono stati tenuti in conto nelle verifiche degli stessi con risultato positivo."</i> |
| 4. <i>Prevedere eventuali interventi di drenaggio per ridurre le spinte del terrapieno di valle in sinistra idraulica.</i> | V. RISPOSTA AL PUNTO B.6. |
| 5. <i>Intervento di sopralzo dei setti costituenti le pile e verifiche tensionali con sforzi di trazioni che superano i valori normativi</i> | <p>Il progettista indica che: <i>"Secondo le analisi del PD 2020, i livelli tensionali risultano modesti e ampiamente al di sotto dei limiti imposti dalla normativa di riferimento, NTD2014 e NTC2018, ad eccezione di alcune zone molto limitate delle pile.</i> <i>È stato eseguito uno studio di dettaglio (Documento C0007055 "Diga di Levane Comune di Montevarchi e Terranuova Bracciolini (AR) – Progetto di sopralzo della diga a scopo di laminazione - Progetto definitivo - RELAZIONE DI VERIFICA ELEMENTI IN C.A. E MURI D'ALA" CESI SpA, Maggio 2020) allo scopo di analizzare in modo più approfondito le zone delle pile che hanno evidenziato un superamento della resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo, valutando l'effettiva estensione delle stesse, eventuali limiti della modellazione FEM e confrontando il tutto con l'intervallo di valori compreso tra la resistenza di progetto e quella caratteristica."</i> In accordo con tale studio, il progettista conclude che <i>"le trazioni calcolate non evidenziano una carenza strutturale del manufatto che richieda l'adozione di un accorgimento strutturale."</i></p> |
| 6. <i>Verifiche strutturali delle nuove paratoie degli organi di scarico</i> | <p>Il progetto include i seguenti elaborati, pertanto ottempera alla richiesta DGD:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rapporto doc rif. GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.016.00 - Paratoie scarico di superficie - Relazione di calcolo - rapporto doc. rif. GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.017.00 - Paratoie opera di presa - Relazione di calcolo <p>Su tale documentazione – non presente nella precedente versione progettuale – la Div. 6 ha eseguito la relativa istruttoria al fine del rilascio del parere specialistico, cui si rimanda.</p> |
| 7. <i>Verifica sismica scala a chiocciola</i> | L'elaborato GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.021.00 contiene la verifica sismica della scala a chiocciola, pertanto ottempera alle richieste della DGD. |

D. QUESTIONI IDRAULICHE

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|---|
| 1. <i>Verifiche idrauliche conseguenti alla portata di 3 180 m³/s, stimata nell'ipotesi che la stessa venga</i> | VEDASI RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P9 DI CUI AL PRECEDENTE PARAGRAFO |

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|--------------------------------------|
| <i>esitata dalla diga di Levane con lo sfioratore funzionante a stramazzo sotto battente non rigurgitato da valle.</i> | |
| 2. <i>Verifica della vasca di dissipazione - valutazioni per portate almeno cinquecentennali e maggiori ragguagli sulle caratteristiche della corrente idrica nel tratto di raccordo vasca - alveo.</i> | |
| 3. <i>Le caratteristiche dimensionali delle opere potranno essere meglio definite sulla base dei risultati delle prove di un nuovo modello fisico del sistema invaso-scarichi- vasca di dissipazione- alveo a valle.</i> | |

E. NUOVO SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE DELLE PARATOIE

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|--|
| 1. <i>Verificare i carichi di esercizio sia in condizioni ordinarie, che in condizioni eccezionali</i> | |
| 2. <i>Verificare l'adeguatezza dell'impianto ai nuovi carichi agenti, considerando l'aumento del carico idrostatico alla nuova quota di massimo invaso.</i> | Il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.016.00 – “Paratoie scarico di superficie - Relazione di calcolo” contiene quanto richiesto dalla DGD, pertanto ottempera alla richiesta DGD. |
| 3. <i>Verifiche statiche delle paratoie - in riferimento alle normative vigenti per il calcolo, dovranno elencarsi le tipologie dei carichi agenti sulle stesse, quantificando tali azioni ed eseguendo i calcoli di verifica.</i> | Su tale documentazione – non presente nella precedente versione progettuale – la D iv. 6 ha eseguito la relativa istruttoria al fine del rilascio del parere specialistico, cui si rimanda. |
| 4. <i>Lavorazioni di posa in opera delle paratoie – specificare tutte le lavorazioni da eseguire in cantiere e quelle eseguite presso i fornitori, specialmente per operazioni di saldatura</i> | Il rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.015.00 contiene le specifiche tecniche di fornitura delle opere elettromeccaniche e riporta le indicazioni dei controlli con riferimento a: - Materiali, - Saldature, - Controlli qualitativi, - Commissioning, - Oneri di fornitura e posa in opera. Si deve osservare come i vari documenti di progetto relativi alle opere E&M dettagliano le tipologie delle saldature presenti, tuttavia non sia esplicitato in maniera chiara quali siano eseguite in fase di fabbricazione e quali invece in opera. Si ritiene pertanto che tale aspetto debba essere oggetto di |

| SINTESI OSSERVAZIONE DGD 2016 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|-------------------------------|---|
| | integrazione all'interno dello sviluppo della successiva fase di progettazione esecutiva. |

4.3 Parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2017)

Di seguito s'illustra il riscontro fornito nel progetto 2020 in merito alle osservazioni formulate dal CSLPP e di cui in dettaglio al PAR. 8.2.

A. ASPETTI TECNICO AMMINISTRATIVI

| SINTESI OSSERVAZIONE CSLPP 2017 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|---|---|
| 1. <i>Termine della concessione</i> | Tale aspetto esula dalla presente istruttoria, che ha una valenza di tipo tecnico. |
| 2. <i>Aggiornamento DPC; armonizzazione con progetto redatto dalla Provincia di Arezzo relativo alle arginature dell'invaso</i> | - Riguardo al soprizzo della diga di Levane, il Concessionario indica che <i>"nel protocollo è stata prevista la redazione dei progetti preliminari e definitivi delle opere a cura di Enel Produzione, mentre a cura della Provincia di Arezzo è stata prevista l'esecuzione delle indagini geognostiche e geotecniche, l'effettuazione degli studi di impatto ambientale, la progettazione di arginature e difese idrauliche nella piana di Laterina e di difese spondali lungo l'alveo del fiume tra la diga di La Penna e l'invaso di Levane."</i> ... omissis... <i>"La Provincia non ha mai emesso il benestare di sua competenza ed il progetto non è mai stato presentato per l'approvazione."</i> |
| 3. <i>Normativa tecnica</i> | Secondo quanto desunto dall'esame degli elaborati di progetto, l'aggiornamento progettuale è stato condotto tenendo conto delle normative vigenti; e nello specifico analisi e verifiche strutturali sono state condotte applicando i criteri previsti dalle NTD 2014 per dighe esistenti ed in particolare adottando per la definizione delle azioni sismiche (punto H.3.4. e H.3.4.1) una vita utile $V_N = 50$ anni ed un coefficiente d'uso $C_U = 2$ (opera strategica). La DGD osserva che, in accordo con quanto indicato nell'istruttoria della Div. 7 con riferimento all'esame degli aspetti di sicurezza idraulica, il progetto si inquadra come intervento di incremento di sicurezza idraulica dell'opera stessa; inoltre a seguito dell'esame specialistico condotto, il progetto risulta rispondere alle verifiche di sicurezza idraulica imposte dalla vigente norma di settore. |

B. ASPETTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, GEOMECCANICI ED IDROGEOLOGICI

| SINTESI OSSERVAZIONE CSLPP 2017 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|--|
| 1. <i>Caratterizzazione geomeccanica spalla sinistra</i> | Il progettista indica che: <i>"Per superare l'incertezza di carattere geologico nella zona della spalla sinistra è stato eseguito un nuovo sondaggio, con prelievo campioni, prove di permeabilità in sito e prove di laboratorio in modo da caratterizzare la spalla, sia ai fini di definirne le proprietà ai fini dei lavori di "immorsamento" del sovrizzo, che per la valutazione della permeabilità del tratto che andrà sommerso. La zona sinistra è anche oggetto di lavori di sbancamento alla base per permettere la costruzione della nuova porzione di diga. È stato eseguito un ulteriore sondaggio al fine di selezionare</i> |

| SINTESI OSSERVAZIONE CSLLPP 2017 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|---|--|
| | <i>correttamente gli interventi temporanei di messa in sicurezza della strada di accesso esistente e del cantiere sottostante. I sondaggi della lunghezza di 35 e 30 metri rispettivamente sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto da 2". Sono state eseguite, per i campioni ottenuti, prove sulle caratteristiche fisiche, chimiche e, per i campioni indisturbati di qualità sufficiente, prove meccaniche. I risultati dell'attività di campionamento e test sono descritti nel Rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.009.00 - "Indagini geognostiche".</i> |
| 2. Risultati accertamenti idrogeologici e condizioni stabilità delle sponde | VEDASI QUANTO INDICATO AL PAR. 4.2, IN RIPOSTA AL PUNTO A.1. |
| 3. Armonizzazione con indagini, informazioni e dati precedenti | Il progetto ha proceduto alla riedizione della relazione geologica geomeccanica e geognostica, e delle sezioni litotecniche di imposta della diga. La riedizione ha tenuto conto dei commenti del CSLLPP in merito ad una maggiore integrazione dei dati storici e dei risultati delle indagini integrative condotte, vedasi doc. GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.011.00 - "Relazione geologica, sismica e geomeccanica". |

C. ASPETTI IDROLOGICI ED IDRAULICI

| SINTESI OSSERVAZIONE CSLLPP 2017 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|---|--|
| 1. Portata esitata dallo scarico di superficie | Il progetto comprende le verifiche con condizione limite per portata di piena pari a 3283 m ³ /s e conseguente livello idrostatico dell'acqua a valle diga pari a 155.51 m s.l.m, verificabile nella condizione di massimo invaso. |
| 2. Adeguamento degli scarichi esistenti e processo di laminazione simulato con quelli in progetto | VEDASI QUANTO INDICATO AL PAR. 4.2, IN RIPOSTA AL PUNTO D.1. |
| 3. Verifica della vasca di dissipazione | VEDASI QUANTO INDICATO AL PAR. 4.2, IN RIPOSTA AL PUNTO C.3. ED AL PUNTO D.1 |
| 4. Abbandono dello scarico di fondo | VEDASI QUANTO INDICATO AL PAR. 4.1, IN RIPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P10. |
| 5. Sostituzione paratoie scarico di superficie- gargami e sequenza operazioni | Secondo quanto indicato nel doc. GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00, "Relazione sui lavori di cantierizzazione", par. 2.3.3.7, il progetto prevede il rifacimento dei gargami. La sequenza delle operazioni e dei lavori è riportata con elevato dettaglio nell'elaborato GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00, "Relazione sui lavori di cantierizzazione". |
| 6. Verifica del franco netto secondo normativa | Secondo quanto indicato negli elaborati di progetto, la verifica del franco netto secondo normativa risulta soddisfatta in quanto: <ul style="list-style-type: none"> • Mediante apertura graduale delle paratoie dello scarico di superficie fino al valore massimo di 11,83 m, secondo le modalità specificate in precedenza, il livello massimo raggiunto nell'invaso risulta pari a 171,52 m s.l.m. e quindi inferiore a quello di massimo dell'invaso di progetto, pari a 172,00 m s.l.m.. Il franco netto rispetto al coronamento (174,00 m s.l.m.) risulta essere pari a 2,177 m, a fronte di un franco netto minimo da normativa per le dighe in calcestruzzo di 1 m. |

| SINTESI OSSERVAZIONE CSLLPP 2017 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • <i>La verifica, prevista dal D.M. 2014, di conservazione di un franco minimo nel caso di malfunzionamento delle paratoie è stata svolta valutando la laminazione dell'idrogramma che permetta il mantenimento di un franco netto residuo non inferiore ad 1/3 di quello minimo da normativa di 1 m. L'idrogramma individuato per tentativi riscaldando al 92,4 % quello del FCEM vigente, con riduzione quindi in tale proporzione sia dei valori che del volume globale, presenta una portata al colmo di 3033 m³/s ed un volume sulle 48 ore di circa 163,8 Mm³. Nella simulazione il livello arriva ad un valore massimo di 173,36 m s.l.m., con franco netto residuo di 33.8 cm.</i> |
| 7. <i>Aggiornamento del rilievo batimetrico</i> | È stato eseguito un rilievo batimetrico aggiornato nel 2018, ma - secondo quanto indicato da EGP (VEDASI ANCHE QUANTO RIPORTATO AL PAR. 4.1, IN RIPOSTA ALLA PRESCRIZIONE P7.2) - tale rilievo (per altro non allegato alla documentazione di progetto definitivo) non è stato utilizzato ai fini delle verifiche idrauliche a causa di alcune incongruenze non meglio specificate. |
| 8. <i>Adeguamento del Progetto di Gestione dell'Invaso</i> | Il progetto non riporta un riscontro a tale osservazione. |
| 9. <i>Verifica del Piano di Bacino Stralcio del 1999</i> | VEDASI QUANTO INDICATO AL PAR. 4.2, IN RIPOSTA AL PUNTO A.3. |
| 10. <i>Massima portata transitabile in alveo e fascia di pertinenza fluviale</i> | VEDASI QUANTO INDICATO AL PAR. 4.1, IN RIPOSTA ALLA RACCOMANDAZIONE R2. |
| 11. <i>Studi delle onde di piena</i> | Secondo quanto indicato negli elaborati di progetto, <i>"Gli studi sul deflusso dell'onda di piena a valle dello sbarramento, richiesti dalle Circolari del Ministero dei Lavori Pubblici n. 1126/1986 e n. 352/1987 e già effettuati, restano validi anche per la nuova configurazione di progetto, sia per il caso di piena artificiale per manovra degli organi di scarico, sia per il caso dell'onda di sommersione per ipotetico collasso della diga, in quanto riferiti comunque alla quota massima di regolazione, che resta invariata."</i> |

D. ASPETTI STRUTTURALI

| SINTESI OSSERVAZIONE CSLLPP 2017 | RISCONTRO DA ESAME PROGETTO EGP-2020 |
|---|---|
| 1. <i>Elementi d'incertezza derivanti dal livello di sviluppo progettuale</i> | VEDASI QUANTO INDICATO AL PAR. 4.2, IN RIPOSTA ALLE OSSERVAZIONI DGD. |
| 2. <i>Continuità nelle misure strumentali ed installazione accelerometri</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Per la continuità delle misure strumentali, VEDASI QUANTO INDICATO AL PAR. 4.2, IN RIPOSTA AL PUNTO B.14. - Per quanto riguarda l'opportunità di installazione di accelerometri, non risultano presenti in merito indicazioni negli elaborati di progetto. |

5 LE CONSIDERAZIONI DELLA DIREZIONE GENERALE

5.1 Il parere dell'Ufficio Strutture e Geotecnica

Con nota prot. n 27391 del 16/12/2020, la Divisione 6 – Ufficio Strutture e Geotecnica ha proceduto all'esame della documentazione del progetto definitivo del sopralzo della diga, trasmessa in recepimento alle integrazioni richieste con nota DGD n.17788 del 02/08/2017. La relazione istruttoria, riportata in allegato **[All. 1]** al presente documento ed alla quale si rimanda direttamente per ulteriori approfondimenti, ha provveduto nello specifico⁴ all'esame dei seguenti due aspetti tecnici:

1. Verifica strutturale delle nuove paratoie degli organi di scarico;
2. Interventi localizzati di rinforzo nelle pile dello scarico di superficie.

A tal proposito la Divisione specialistica ha esaminato i seguenti documenti trasmessi dal Concessionario con la suddetta nota n.12227 del 20/7/2020:

- Paratoie scarico di superficie: Relazione di calcolo, datata 29/06/2020;
- Relazione di verifica elementi in c.a. dell'opera di sfioro e dei muri d'ala, datata 07/05/2020.

Rimandando alla disamina effettuata nella relazione istruttoria stessa per ulteriori dettagli, la Divisione 6 evidenzia le necessità che la RELAZIONE DI CALCOLO DELLA PARATOIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE debba essere ripresentata tenendo conto di una serie di osservazioni, di seguito sinteticamente riportate:

1. ANALISI DEI CARICHI: le verifiche sismiche devono essere effettuate senza diminuire l'azione sismica con il coefficiente β_s di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.
2. COMBINAZIONE DEI CARICHI:
 - a. non è stata presa in esame la combinazione sismica che massimizza la componente verticale del sisma;
 - b. è necessario fornire maggiori informazioni in merito al confronto fra la combinazione di carico al massimo invaso e quella sismica che non dovrà essere ridotta dal coefficiente β_s .
3. MODELLO DI CALCOLO: fornire informazioni sul codice di calcolo utilizzato e sulla sua validazione nonché sulle ipotesi alla base della modellazione (elementi, vincoli, etc.), così come previsto dalle NTC/2018.
4. VERIFICHE ALLO SLE: fornire informazioni sugli spostamenti massimi delle paratoie in corrispondenza degli elementi di scorrimento e della loro compatibilità con il funzionamento delle paratoie stesse.
5. VERIFICHE DI resistenza: specificare nelle disequazioni delle verifiche di resistenza degli elementi metallici di sollevamento i valori delle resistenze di progetto dei materiali.
6. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI: manca il giudizio finale del progettista che attesti l'attendibilità dei risultati sulle elaborazioni effettuate.

In merito agli INTERVENTI LOCALIZZATI DI RINFORZO DELLE PILE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE, la Divisione specialistica condivide quanto osservato dal progettista sul fatto che le trazioni calcolate non evidenziano una carenza strutturale del manufatto che richieda l'adozione di provvedimenti strutturali.

⁴ a seguito di interlocuzioni con lo scrivente Ufficio di Coordinamento e Controllo Dighe

5.2 Il parere dell'Ufficio Idraulica e Geologia Applicata

5.2.1 Aspetti geostrutturali e geomeccanici

Con nota prot. n. 17234 del 25/08/2020 la Divisione 7 – Ufficio Idraulica e Geologia Applicata ha trasmesso allo scrivente Ufficio la relazione istruttoria relativa all'esame degli elaborati di aggiornamento del Progetto Definitivo per quanto riguarda gli aspetti geostrutturali e geomeccanici dell'imposta e dei versanti dell'invaso. La relazione istruttoria – alla quale si rimanda direttamente per ulteriori approfondimenti – viene riportata in allegato **[All. 2]** al presente documento.

In merito la Divisione 7 - esaminati gli elaborati contenuti nel progetto definitivo, articolati secondo i vari aspetti progettuali previsti per l'approvazione, con particolare riguardo alle problematiche legate alle mutate caratteristiche d'invaso in ipotesi – ritiene che siano state considerate le varie problematiche di natura geologico-geotecnica inerenti le nuove ipotesi progettuali.

Tuttavia, alla luce di quanto esposto nella relazione istruttoria tale ufficio evidenzia come opportuno quanto segue:

1. INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO DISPONIBILE:
 - a. Nella fase esecutiva le indagini geognostiche sui terreni sciolti di copertura siano integrate in corrispondenza dei corpi di frana in sponda sinistra immediatamente a monte ed a valle dell'imposta, mediante il programma d'indagini suggerito nell'elaborato R05: uno o due sondaggi sul corpo frana interessato dalla viabilità, spinti sino al substrato, indagini geofisiche di tipo MASW o HVSR sempre in sinistra, per colmare la lacuna d'informazioni sulle due zone riconosciute in frana, un sondaggio suborizzontale in spalla destra, in corrispondenza dell'incisione laterale, per chiarire l'eventuale presenza di disturbi tettonici importanti in questa zona, realizzazione nei fori di sondaggio di prove cross hole per la determinazione della Vs 30.
 - b. Nel corso dei sondaggi siano eseguite adeguate prove in sito per la caratterizzazione dei principali parametri geotecnici dei materiali sciolti (SPT/CPT), siano prelevati un congruo numero di campioni indisturbati da sottoporre a nuove prove geotecniche di laboratorio, con l'acquisizione degli usuali parametri fisico – meccanici, ed i fori di sondaggio siano attrezzati opportunamente con inclinometri e piezometri.
2. CONDIZIONI DI STABILITÀ DEI VERSANTI PROSPICIENTI L'INVASO: vengano eseguite nuove analisi parametriche di stabilità sulle frane FR_A_sx_01, FR_A_sx_02 e FR_A_sx_01 (sezz. 1, 2 e 3), con parametri di resistenza maggiormente cautelativi e più rispondenti alla realtà geologica – geotecnica, ovvero che la scelta dei parametri adottati sia adeguatamente motivata tenendo conto delle condizioni di esercizio dell'invaso nella nuova configurazione di progetto.

5.2.2 Aspetti idrologici e idraulici

Con nota prot. n. 21154 del 08/10/2020 la Divisione 7 – Ufficio Idraulica e Geologia Applicata ha trasmesso allo scrivente Ufficio la relazione istruttoria relativa all'esame degli elaborati di aggiornamento del Progetto Definitivo per quanto riguarda gli aspetti idrologici e idraulici. La relazione istruttoria – alla quale si rimanda direttamente per ulteriori approfondimenti – viene riportata in allegato **[All. 3]** al presente documento.

Rimandando alla disamina effettuata nella relazione istruttoria stessa, si evidenzia come la Divisione 7 ritenga che il progetto di incremento di sicurezza idraulica sia stato elaborato secondo i migliori standard ingegneristici a disposizione e risponda alle verifiche di sicurezza idraulica imposte dalla vigente norma di settore. La relazione evidenzia altresì come, sebbene la verifica del mancato funzionamento del 20% delle paratoie sia non soddisfatta, dati i margini cautelativi delle ipotesi alla base del calcolo, si ritiene che essa possa essere ritenuta soddisfatta e congruente con quanto richiesto dal D.M. 2014.

Tuttavia, alla luce di quanto esposto nella relazione istruttoria, tale ufficio ritiene che debbano essere approfonditi nella successiva fase progettuale i seguenti aspetti non marginali del progetto presentato dal Gestore:

1. **DERIVAZIONE:** il Gestore non ha presentato alcune considerazioni in merito alla portata di dimensionamento dell'opera di deviazione (valore e tempo di ritorno). In sede di progettazione esecutiva, dovranno essere esplicitati i livelli a cui è previsto che il serbatoio sia operativo la portata di dimensionamento della deviazione con il relativo tempo di ritorno, adeguatamente motivata, e i franchi disponibili durante la fase di cantiere.
2. **VERIFICHE DI STABILITÀ VERSANTI:** per ciò che concerne i dissesti censiti e le relative verifiche di stabilità, anche se a favore di sicurezza, non appare del tutto condivisibile soprattutto per il dissesto nei pressi di ponte Romito, la scelta di adottare la quota di massimo invaso a tutto l'invaso e di non considerare la durata di innalzamento del livello. Si raccomanda il Gestore di rivedere tali calcoli nella fase successiva di progettazione e di giustificare maggiormente i risultati a cui giunge (per esempio la parziale occlusione della sezione fluviale conseguente la mobilitazione della frana).
3. **PIANO DI LAMINAZIONE:** sebbene sia di competenza regionale, si fa presente che il progetto in esame "Progetto di sovralzo ai fini di laminazione" non ha un elaborato relativo al piano di laminazione.
4. **DETERMINAZIONE DEL REALE COMPORTAMENTO DELLE SOGLIE DEGLI SCARICHI DI SUPERFICIE:** ai sensi delle circolari RID/3199/UIDR del 04/04/2005, emanata in attuazione dell'art. 4, comma 1, del D.L. 79/2004 convertito con L. 139/2004 e R.U. prot. n. 3356 del 13/02/2018 il Gestore dovrà integrare le asseverazioni "con i dati registrati durante l'esercizio dello sbarramento (livelli d'invaso, portate affluenti, derivate e scaricate) nel corso di eventi di piena, anche a termini delle Circolari SDI/7128 del 21/10/2000 e SDI/8111 del 5/12/2000" e, quindi, nel caso in cui il Gestore ottenga i dati suddetti tramite processo di de-laminazione dai valori del livello di invaso, sarà necessario determinare il reale comportamento delle soglie degli scarichi di superficie (cioè il coefficiente di efflusso) al fine di applicare l'equazione della portata effluente per non incorrere in valutazioni erronee della portata di picco annuale che si potrebbe tradurre in serie storiche del tutto inaffidabili.

5.3 Il parere dell'Ufficio Coordinamento e Controllo

A conclusione della verifica di ottemperanza condotta, lo scrivente Ufficio conferma che il progetto definitivo 2020 rappresenta una versione progettuale aggiornata, redatta a partire dal progetto 2015 da un rinnovato gruppo di progettazione, e che essa, oltre a tenere conto delle osservazioni di indirizzo progettuale inviate dalla DGD nel 2017, ha introdotto alcune modifiche ed aggiornamenti rispetto al progetto definitivo del 2015. Tra di esse si possono evidenziare come elementi di maggior rilievo:

1. Gli aggiornamenti conseguenti a realizzazione e sviluppo di un modello fisico degli scarichi e della vasca di dissipazione, allo scopo di verificarne l'adeguatezza in termini rispettivamente di capacità esitativa e di dissipazione, e comprensivo dello studio idraulico del deflusso della piena lungo l'Arno per determinare la condizione idrica di valle. Tale attività è stata affidata e completata dall'Università degli Studi di Firenze; a settembre 2020, la scrivente Amministrazione ha per altro avuto occasione di visionare il modello fisico realizzato presso la sede dell'Università.
2. La revisione della scelta di costruire un cunicolo per ospitare drenaggi in spalla destra, conseguente ad approfondimenti progettuali che hanno tenuto in conto la difficoltà operativa, la presenza di importanti potenziali interferenze per la presenza delle condotte di adduzione alle turbine e l'aggiornamento delle verifiche di sicurezza della diga in destra.
3. La scelta progettuale di non procedere al ripristino dello scarico di fondo/esaurimento.

Al riguardo di tale ultimo aspetto lo scrivente Ufficio ha proceduto ai seguenti approfondimenti:

- ha preso atto del fatto che tale scarico – come peraltro viene riportato anche nel FCEM datato 1999, che lo denomina "scarico di esaurimento" – risulterebbe essere abbandonato da alcuni decenni;
- rileva come la quota di interrimento (valore medio) riportata nella relazione strutturale del progetto di sovralzo, e pari a 153 m s.l.m., corrisponda alla quota della soglia delle due paratoie centrali;

- evidenza come la tubazione dello scarico, ubicata in corrispondenza della soglia della luce destra con una quota d'imbocco pari a 147 m s.l.m., abbia un carico di interrimento pari a circa 6 m.

Pertanto, seppure considerando come nell'ambito del progetto di gestione il Concessionario possa intraprendere operazioni finalizzate ad assicurare la pervietà dell'imbocco dello scarico, si considera poco sostenibile/difficilmente realizzabile il mantenimento nel tempo della pervietà dello scarico stesso, giacché risulterebbe che la quota naturale di accumulo dei sedimenti sia posizionata in corrispondenza della quota della soglia delle due paratoie centrali dello scarico di superficie.

Inoltre, circa l'utilità di ripristinare l'efficienza dello scarico di fondo/esaurimento per operazioni finalizzate a porre e mantenere all'asciutto porzioni di alveo a monte dello sbarramento, si evidenzia come la portata esitabile dallo scarico stesso con un carico idraulico di 6 m (quota soglia scarico di superficie 153 m s.l.m.), stimabile in un contributo di circa 2-3 m³/sec, debba di fatto considerarsi pressoché ininfluenza nella gestione idraulica dello sbarramento per le finalità anzidette.

A latere si concorda con quanto affermato da codesto Concessionario sul fatto che lo sbarramento in questione, per quanto riguarda la gestione idraulica dello stesso e la gestione del rischio idraulico a valle, sia più simile ad una traversa che ad una diga a gravità.

In conclusione, alla luce degli approfondimenti condotti e delle predette argomentazioni di carattere tecnico e funzionale, e sebbene il Concessionario non abbia pienamente giustificato la scelta operata, si ritiene che questo Ufficio possa considerare ragionevole valutare positivamente la richiesta del Concessionario di non ripristinare lo scarico di fondo/esaurimento, fatto salvo comunque quanto prescritto successivamente in questa relazione istruttoria con riferimento alle modalità che il Concessionario intende porre in atto per consentire la manutenzione del paramento di monte o di parti a monte dello sbarramento.

Tutto ciò premesso, preliminarmente si prescrive che codesto Concessionario trasmetta una COPIA DIGITALE DEI SEGUENTI ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO OPPORTUNAMENTE SOTTOSCRITTI CON FIRMA DIGITALE - oltre che dall'ing. Alberto MASERA (progettista generale per CESI), dall'ing. Massimo SESSEGO (per il Committente, Enel Green Power) e dall'ing. Sara GABBRIELLI (per presa visione come ingegnere responsabile) - anche dai relativi redattori (progettisti incaricati):

| TIPO/NUM | COD. CESI | COD. ENEL | TITOLO |
|----------|-----------|-----------------------------------|---|
| R03 | C0007830 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.009.00 | Prove di laboratorio geotecnico e geomeccanico |
| R04 | C0006135 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.010.00 | Indagine geognostica |
| R05 | C0006347 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.011.00 | Relazione geologica |
| R20 | C0010052 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.025.00 | Modello fisico degli scarichi della diga di Levane: relazione tecnica |
| R21 | C0009381 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.026.00 | Contratto di servizio per studio della riduzione del rischio idraulico del sopralzo della diga di Levane a fini di laminazione - integrazione del quadro conoscitivo geologico, geotecnico, geomeccanico e sismico - relazione finale |

Infine nella successiva fase progettuale il Concessionario dovrà adempiere le seguenti prescrizioni:

1. VERIFICA DELL'EVENTUALE INTERFERENZA CON LE OPERE ESISTENTI A MONTE: il progetto esecutivo dovrà confermare, attraverso valutazioni di dettaglio (integrative agli approfondimenti già condotti e che hanno riguardato in particolare gli aspetti geologici, geomorfologici e geotecnici con riferimento alla verifica di stabilità delle sponde), l'assenza di un'eventuale interferenza dei nuovi livelli di invaso oltre la quota di massima regolazione con le opere esistenti lungo le sponde del serbatoio, ed in caso negativo dovrà prevedere l'integrazione delle possibili ulteriori opere necessarie a mitigare tale interferenza.
2. INTERVENTO DI "GETTINIEZIONE" IN SPONDA SINISTRA: si richiede che il progetto esecutivo includa un sistema

di monitoraggio da eseguire nel corso dei lavori al fine di verificare la rispondenza tra ipotesi di progetto e comportamento reale dell'opera (incluso l'andamento della piezometrica) e conseguentemente adottare – ove ritenute necessarie – le eventuali contromisure ritenute necessarie nel corso dei lavori (quali - a titolo esemplificativo - l'eventuale necessità di introdurre interventi di drenaggio); inoltre le verifiche progettuali dovranno includere le verifiche di filtrazione, da adottarsi tenendo conto delle caratteristiche del materiale trattato, che dovranno essere verificate e garantire in fase di esecuzione dei lavori. Infine il progetto esecutivo dovrà includere la previsione di eventuali interventi di drenaggio per ridurre le spinte del terrapieno di valle in sinistra idraulica.

3. LAVORI DI DEMOLIZIONE E POTENZIALE INTERAZIONE CON LE STRUTTURE ESISTENTI DELLO SBARRAMENTO: il progetto esecutivo dovrà fornire indicazioni di dettaglio in merito a tecnologia scelta ed alle modalità esecutive previste, oltre che relativamente alla potenziale interazione tra le attività di demolizione e le opere esistenti, anche in termini di valutazione della ammissibilità e di minimizzazione delle vibrazioni indotte. Anche tale valutazione andrà integrata all'interno di uno specifico piano di controlli e di monitoraggio.
4. MODALITÀ DI GETTO E VALUTAZIONE DELLA POTENZIALE INTERAZIONE CON LE CANNE DI DRENAGGIO: il progetto esecutivo dovrà definire e dettagliare le modalità di getto del calcestruzzo in modo tale da assicurare la piena efficienza delle canne di drenaggio esistenti nel corpo diga, prevedendo i relativi controlli e le eventuali relative contromisure.
5. RILIEVI BATIMETRICI: le assunzioni utilizzate in progetto definitivo per calcoli e verifiche di tipo geotecnico, idraulico e strutturale con riferimento alle batimetrie dell'invaso di monte, dovranno essere validate (ed eventualmente aggiornate) in fase di progetto esecutivo a seguito dell'esecuzione di rilievi batimetrici aggiornati. Inoltre gli elaborati dei rilievi batimetrici dovranno essere trasmessi in allegato alla documentazione di progetto.
6. STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO E DI MONITORAGGIO: gli elaborati di progetto esecutivo dovranno fornire indicazioni di dettaglio in merito a tipologia di strumentazione e frequenza delle osservazioni durante costruzione, invasi sperimentali e normale esercizio secondo quanto richiesto dalle NTC emesse con DM 26/06/2014, punto C.1 1., oltre che con quanto già richiesto ed evidenziato ai punti precedenti.
7. ELABORATI DI CARATTERE GEOLOGICO E GEOTECNICO: il progetto esecutivo dovrà essere integrato attraverso la redazione di elaborati grafici di tipo geologico e geotecnico, in scala opportuna, riportanti sezioni trasversali e longitudinali rappresentative ubicate in corrispondenza delle aree di intervento.
8. LAVORAZIONI DI POSA IN OPERA DELLE PARATOIE: il progetto esecutivo dovrà specificare tutte le lavorazioni da eseguire in cantiere e quelle eseguite presso i fornitori, specialmente per operazioni di saldatura.

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si riportano a seguire le considerazioni conclusive cui il Concessionario dovrà rispondere nello sviluppo del progetto esecutivo, oltre a tenere in conto le richieste e le prescrizioni di cui ai paragrafi precedenti e delle relazioni istruttorie specialistiche (cui si rimanda il Concessionario per ulteriori approfondimenti):

1. RELAZIONE DI OTTEMPERANZA

Si prescrive che il Concessionario includa, all'interno degli elaborati che saranno emessi in fase di progetto esecutivo, uno specifico documento denominato "*Relazione di ottemperanza alle osservazioni ed alle prescrizioni della Direzione Generale Dighe*"; tale documento dovrà fornire al suo interno l'evidenza del riscontro del Concessionario a quanto richiesto dallo scrivente Ufficio per tutti i vari punti presenti all'interno della presente nota e dei suoi allegati. Tale riscontro dovrà includere al suo interno - oltre alle considerazioni del Concessionario in merito ai vari punti di approfondimento richiesti dallo scrivente Ufficio - anche la specifica indicazione del titolo e della codifica degli elaborati di progetto esecutivo (relazioni, tavole, specifiche, capitolati, etc.) che li implementano, al fine di consentirne un'agevole attività di verifica finale.

2. PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA E DELLE SUE PARTI

Considerata la scelta progettuale del Concessionario di non ripristinare la funzionalità dello scarico di fondo/esaurimento, si prescrive che lo stesso debba provvedere affinché il PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA E DELLE SUE PARTI riporti espressamente operazioni e modalità esecutive da intraprendersi per porre e mantenere all'asciutto porzioni dell'alveo a monte dello sbarramento al fine di consentire la manutenzione del paramento di monte o di parti a monte dello sbarramento in condizioni di sicurezza.

3. STUDIO DELLE ONDE DI PIENA; VERIFICA DELLE POTENZIALI INTERAZIONI A VALLE DELLA PORTATA ESITATA

Si prescrive che il Concessionario esegua l'aggiornamento dello studio delle onde di piena per ipotetico collasso della diga in accordo con quanto previsto al punto 4.4, "*Dighe in serie*", di cui all'Allegato alla Circolare P.C.M. 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806.

Inoltre il Concessionario dovrà esaminare in maniera approfondita le interazioni tra la nuova portata esitata a valle dello sbarramento con i territori di valle interessati, con particolare riferimento anche alla massima portata di piena transitabile in alveo a valle dello sbarramento e contenuta nella fascia di pertinenza fluviale come delimitata dalla competente Autorità di bacino.

4. PIANO DI MONITORAGGIO IN FASE DI COSTRUZIONE

Il progetto esecutivo dovrà includere un PIANO DI MONITORAGGIO DELLA DIGA NEL CORSO DEI LAVORI DI SOVRALZO. Tale piano di monitoraggio (comprensivo di relazioni ed elaborati grafici) dovrà descrivere tipologia, ubicazione e caratteristiche degli strumenti installati, e dovrà fornire indicazione dei valori di progetto dei parametri oggetto di controllo, delle soglie di attenzione e di allarme, dell'organigramma con indicazione delle varie figure responsabili, delle relative contromisure da adottare e del flusso di comunicazione e decisionale che sarà intrapreso sia in condizioni ordinarie, sia nel caso di superamento delle soglie limite.

Si evidenzia l'importanza di prevedere un piano di monitoraggio per tutte quelle attività e lavorazioni che possono in qualche modo alternare e/o modificare, nel corso dei lavori, l'equilibrio originario dell'infrastruttura e delle condizioni al contorno (e quindi scavi, demolizioni, consolidamenti in jet-grouting, realizzazione di opere provvisoriale), sia in maniera diretta, sia in maniera indiretta.

5. PROCEDURE DI VALUTAZIONE E DI GESTIONE DEI RISCHI DI COSTRUZIONE

Il progetto esecutivo dovrà comprendere la redazione di un progetto di analisi e gestione dei rischi attesi in fase di costruzione, e quindi comprensivo dei seguenti elaborati:

- registro dei rischi di costruzione (risk register)
- piano di valutazione dei rischi di costruzione (risk assessment plan)
- piano di gestione dei rischi di costruzione (risk management plan)
- piano di gestione delle emergenze durante la costruzione (contingency plan)

Tale documentazione dovrà essere predisposta direttamente da parte del progettista (in caso di sviluppo della progettazione esecutiva finalizzata al successivo appalto di sola costruzione) oppure congiuntamente da progettista e appaltatore (in caso di progetto esecutivo redatto all'interno di un appalto integrato di progettazione e costruzione), ma comunque sotto la supervisione, il controllo ed il coordinamento del Concessionario stesso.

Lo scopo di tale documentazione è:

- Identificare gli elementi di criticità potenziale (registro dei rischi) all'interno dei principali ambiti di rischio di costruzione (e quindi relativi alle opere ed all'esecuzione dei lavori, NON alla sicurezza ed alla salute dei lavoratori), quindi di valutare le diverse criticità di natura idrologica-idraulica, geologica ed idrogeologica, geomeccanica, strutturale ,etc..
- Associare ad ogni elemento di criticità potenziale la relativa probabilità di accadimento, definendo le relative conseguenze ed il loro impatto potenziale sia sulle opere esistenti, sia sulle opere di nuova

costruzione, sia verso terzi, al fine di poter infine calcolare il livello di rischio ad esse associato.

- Evidenziare l'accettabilità o meno del livello rischio associato e definire le conseguenti misure di mitigazione (da adottarsi in progetto oppure nel corso della costruzione) in termine di interventi preventivi e/o protettivi.
- Calcolare il livello di rischio residuo e definirne la sua accettabilità o meno.
- Identificare le metodologie di controllo e monitoraggio da adottarsi nel corso della costruzione, comprensive dei limiti di attenzione e di allarme e delle relative contromisure.
- Definire il piano di gestione delle eventuali emergenze durante la costruzione, comprensivo dell'albero delle responsabilità e di comunicazione.

Suddetti documenti dovranno essere aggiornati nel corso dei lavori sulla base dei riscontri ottenuti in corso d'opera attraverso – ad esempio – i risultati dei monitoraggi, le verifiche dirette dello stato di conservazione dei manufatti, etc.

Per la redazione di suddetta documentazione il Concessionario potrà fare riferimento a quanto indicato a livello nazionale ed internazionale in merito alle procedure di valutazione del rischio per la gestione delle dighe, durante tutto il ciclo di vita delle stesse, da specifici documenti di studio e normative, tra cui si ricorda:

- ISO 31000:2018 Risk management - Guidelines
- IEC 31010:2019 Risk management - Risk assessment techniques
- ISO Guide 73:2009 Risk management - Vocabulary
- ICOLD (2005): "Risk Assessment in Dam Safety Management - A Reconnaissance of Benefits, Methods and Current Applications" - ICOLD Bulletin 130.
- ITCOLD (2004): "Analisi di rischio - Ricerche applicate in corso e possibili applicazioni delle metodologie dell'analisi di rischio alla realtà italiana (dal punto di vista tecnico, socio-economico,...). Obiettivi perseguibili a breve, medio e lungo termine" – ITCOLD report 2004.
- ICOLD (1987): "Dam Safety Guidelines" - ICOLD Bulletin 59.

IL FUNZIONARIO ISTRUTTORE

Ing. Nicola AVAGNINA

IL DIRIGENTE

Ing. Francesco SANTORO



FRANCESCO SANTORO
MINISTERO DELLE
INFRASTRUTTURE E
DEI TRASPORTI
07.01.2021 16:36:51
UTC

ALLEGATI

[All. 1] Divisione 6 – Ufficio Strutture e Geotecnica - Relazione istruttoria relativa all'esame degli elaborati di aggiornamento del Progetto Definitivo.

[All. 2] Divisione 7 – Ufficio Idraulica e Geologia Applicata - Relazioni istruttorie relative all'esame degli elaborati di aggiornamento del Progetto Definitivo – Aspetti geostrutturali e geomeccanici dell'imposta e dei versanti dell'invaso.

[All. 3] Divisione 7 – Ufficio Idraulica e Geologia Applicata - Relazioni istruttorie relative all'esame degli elaborati di aggiornamento del Progetto Definitivo – Aspetti idrologici e idraulici

7 APPENDICE 1 – Elenco elaborati di progetto definitivo luglio 2020

| TIPO DOC. | N. | COD. CESI | COD. ENEL | TITOLO |
|-----------|----|-----------|-----------------------------------|---|
| EE | 01 | C0010027 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.006.00 | Elenco elaborati |
| R | 01 | C0004802 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.007.00 | Nota preliminare sulle opere elettromeccaniche – Stato di fatto |
| R | 02 | C0001381 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.008.00 | Relazione stato di fatto opere civili |
| R | 03 | C0007830 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.009.00 | Prove di laboratorio geotecnico e geomeccanico |
| R | 04 | C0006135 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.010.00 | Indagine geognostica |
| R | 05 | C0006347 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.011.00 | Relazione geologica |
| R | 06 | C0006278 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.012.00 | Relazione idraulica |
| R | 07 | C0009671 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.013.00 | Relazione tecnica generale |
| R | 08 | C0010055 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.014.00 | Relazione tecnica opere elettromeccaniche |
| R | 09 | C0010056 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.015.00 | Specifica tecnica di fornitura opere elettromeccaniche |
| R | 10 | C0010057 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.016.00 | Paratoie scarico di superficie - Relazione di calcolo |
| R | 11 | C0010058 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.017.00 | Paratoie opera di presa - Relazione di calcolo |
| R | 12 | C0010059 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.018.00 | Opere elettromeccaniche - Analisi costi fornitura e posa in opera |
| R | 13 | C0005890 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.019.00 | Relazione strutturale |
| R | 14 | C0007055 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.020.00 | Relazione verifica elementi in c.a. e muri d'ala |
| R | 15 | C0006282 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.021.00 | Verifica sismica della scala a chiocciola |
| R | 16 | C0006345 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.022.00 | Relazione di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica |
| R | 17 | C0010029 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.023.00 | Relazione illustrativa delle opere da realizzare per la chiusura idraulica del sopralzo della spalla sinistra |
| R | 18 | C0009133 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00 | Relazione sui lavori di cantierizzazione |
| R | 19 | C0010064 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.089.00 | Computo metrico estimativo delle opere civili |
| R | 20 | C0010052 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.025.00 | Università - modello idraulico fisico |
| R | 21 | C0009381 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.026.00 | Università - geologia sponde |
| R | 23 | C0010090 | GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.090.00 | Relazione illustrativa e di calcolo delle opere provvisoriale da realizzare in spalla sinistra |
| D | 01 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.027.00 | Corografia 1:25000 |
| D | 02 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.028.00 | Corografia 1:10000 |
| D | 03 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.029.00 | Planimetria area di intervento 1:2000 |
| D | 04 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.030.00 | Planimetria generale - CONSISTENZA |
| D | 05 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.031.00 | Prospetto di monte - CONSISTENZA |
| D | 06 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.032.00 | Prospetto di valle - CONSISTENZA |
| D | 07 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.033.00 | Sezione longitudinale da monte - CONSISTENZA |
| D | 08 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.034.00 | Scarico di superficie - Pianta a quota 169 m - CONSISTENZA |
| D | 09 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.035.00 | Scarico di superficie - Sezioni soglia sfiorante destra e pila centrale - CONSISTENZA |
| D | 10 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.036.00 | Scarico di superficie - Sezione soglia sinistra - CONSISTENZA |
| D | 11 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.037.00 | Parte sinistra - Sezione longitudinale in asse al cunicolo di ispezione - CONSISTENZA |

| TIPO DOC. | N. | Cod. CESI | Cod. ENEL | TITOLO |
|-----------|----|-----------|-----------------------------------|---|
| D | 12 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.038.00 | Parte sinistra - Sezioni trasversali diga a gravità - CONSISTENZA |
| D | 13 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.039.00 | Centrale idroelettrica - Pianta a quota 169 m - CONSISTENZA |
| D | 14 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.040.00 | Centrale idroelettrica - Sezioni A-A' e B-B' - CONSISTENZA |
| D | 15 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.041.00 | Centrale idroelettrica - Accesso alle paratoie di presa - CONSISTENZA |
| D | 16 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.042.00 | Viste e sezioni paratoie di scarico - Stato di fatto (progetto RIVA CALZONI) |
| D | 17 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.043.00 | Viste e sezioni opere di presa - Stato di fatto (progetto RIVA CALZONI) |
| D | 18 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.044.00 | Condotta forzata centralina "Battagli": Profilo longitudinale, planimetria e sezione trasv. tipo. Stato attuale |
| D | 19 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.045.00 | Planimetria generale - PROGETTO |
| D | 20 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.046.00 | Prospetto di monte - PROGETTO |
| D | 21 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.047.00 | Prospetto di valle - PROGETTO |
| D | 22 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.048.00 | Sezione longitudinale da monte - PROGETTO |
| D | 23 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.049.00 | Scarico di superficie - Pianta a quota 170 m - PROGETTO |
| D | 24 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.050.00 | Scarico di superficie - Pianta a quota 175 m - PROGETTO |
| D | 25 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.051.00 | Scarico di superficie - Sezioni soglia sfiorante destra e pila centrale - PROGETTO |
| D | 26 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.052.00 | Scarico di superficie - Sezione soglia sinistra - PROGETTO |
| D | 27 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.053.00 | Parte sinistra - Sezione longitudinale in asse al cunicolo di ispezione - PROGETTO |
| D | 28 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.054.00 | Parte sinistra - Sezioni trasversali diga a gravità - PROGETTO |
| D | 29 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.055.00 | Sovralzo spalla destra |
| D | 30 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.056.00 | Spostamento locali tecnici spalla destra |
| D | 31 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.057.00 | Planimetria illuminazione e polifore - PROGETTO |
| D | 32 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.058.00 | Sistema di monitoraggio - PROGETTO |
| D | 33 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.059.00 | Strada di accesso alla diga - Planimetria, pianta e sezioni - PROGETTO |
| D | 34 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.060.00 | Parte destra - Particolari giunti di tenuta - PROGETTO |
| D | 35 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.061.00 | Parte sinistra - Giunti e particolari - PROGETTO |
| D | 36 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.062.00 | Paratoie di scarico - Viste e sezioni d'assieme |
| D | 37 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.063.00 | Paratoie di scarico - Piante d'assieme |
| D | 38 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.064.00 | Paratoie di scarico - Assieme argani |
| D | 39 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.065.00 | Paratoie di scarico - Paratoia inferiore assemblata |
| D | 40 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.066.00 | Paratoie di scarico - Studio sequenza di installazione |
| D | 41 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.067.00 | Paratoie di scarico - Paratoia superiore |
| D | 42 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.068.00 | Paratoie di scarico - Gargami |

| TIPO DOC. | N. | Cod. CESI | Cod. ENEL | TITOLO |
|-----------|----|-----------|-----------------------------------|---|
| D | 43 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.069.00 | Opera di presa - Viste e sezioni |
| D | 44 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.070.00 | Opera di presa - Paratoia piana su ruote per turbina da 30 mc |
| D | 45 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.071.00 | Opera di presa - Paratoia piana su ruote per turbina da 70 mc |
| D | 46 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.072.00 | Opera di presa - Gargami paratoia piana su ruote per turbina da 30 mc |
| D | 47 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.073.00 | Opera di presa - Gargami paratoia piana su ruote per turbina da 70 mc |
| D | 48 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.074.00 | Opera di presa - Schema oleodinamico |
| D | 49 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.075.00 | Opera di presa - Griglia di presa e lay-out sgrigliatore |
| D | 50 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.076.00 | Condotta forzata e by-pass centralina "Battagli" |
| D | 51 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.077.00 | Nuovo Sgrigliatore - Opere civili |
| D | 52 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.078.00 | Strada di accesso al cantiere |
| D | 53 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.079.00 | Concio spalla sinistra . Fasi esecutive |
| D | 54 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.080.00 | Condotta forzata "Battagli" - opere civili |
| D | 55 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.081.00 | Sovralzo spalla sinistra - foglio 1 |
| D | 56 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.082.00 | Sovralzo spalla sinistra - foglio 2 |
| D | 57 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.083.00 | Spalla sinistra - opere di completamento - foglio 1 |
| D | 58 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.084.00 | Spalla sinistra - opere di completamento - foglio 2 |
| D | 59 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.085.00 | Cantierizzazione - Fasi esecutive - foglio 1 |
| D | 60 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.086.00 | Cantierizzazione - Fasi esecutive - foglio 2 |
| D | 61 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.098.00 | Strade di accesso alle aree di cantiere |
| D | 62 | C0001218 | GRE.OEM.D.90.IT.H.49017.09.099.00 | Planimetria catastale opere in progetto |

8 APPENDICE 2 – Sintesi di raccomandazioni e osservazioni formulate al progetto definitivo del 2015

8.1 Parere della Direzione Generale Dighe (2016)

La relazione istruttoria redatta in data 23/02/2016 dall'Ufficio di Coordinamento, alla quale si rimanda direttamente per ulteriori approfondimenti, riteneva che gli interventi proposti nel Progetto Definitivo 2015 fossero condivisibili, richiedendo tuttavia di adeguare gli elaborati trasmessi al livello di una progettazione definitiva, completando l'attuale fase di progettazione, tenendo conto anche di alcuni aspetti esecutivi dell'intervento, da eseguire su un'opera esistente, realizzata in un fiume da elevata idraulicità, senza potere vuotare il serbatoio e demolendo parzialmente porzioni significative di struttura.

Lo stesso identificava quindi le questioni tecniche da approfondirsi in sede di revisione del progetto, distinguendo tra quelle più generali (conseguenti all'obiettivo di progetto) e quelle relative al dettaglio del progetto presentato.

A. ASPETTI GENERALI

1. *Trattandosi di un intervento di manutenzione straordinaria che trova la sua motivazione nella volontà di destinare un volume di laminazione in occasione di eventi di piena, questo Ufficio ritiene che gli interventi progettati non devono cambiare l'attuale stato dei luoghi che in quasi 60 anni di esercizio è riuscito a trovare (dopo l'esecuzione dell'impianto) una conformazione di equilibrio, anche in occasione*

degli eventi estremi. Il riferimento è alle sponde dell'intero serbatoio, sia in termini di modifiche delle condizioni di stabilità, sia per le possibili modifiche al regime delle falde presenti, oltre che alle zone di possibile allagamento.

2. Durante la fase transitoria dei lavori non dovranno inoltre realizzarsi situazioni di maggiore vulnerabilità per i territori di valle, quindi la fase di programmazione e realizzazione dei lavori deve essere attentamente valutata.
3. Trattandosi di un intervento volto a destinare un volume alla laminazione in occasione di eventi di piena, si ritiene necessario studiare la possibilità di verificare il comportamento delle nuove strutture e degli importanti organi meccanici mediante specifici invasi sperimentali da programmare indipendentemente da eventi di piena, eventualmente utilizzando "sperimentalmente" i volumi disponibili presso la sovrastante diga di La Penna, sempre in gestione allo stesso concessionario. La Direzione generale ha avuto modo in questi ultimi anni di esaminare in più occasioni le questioni idrologiche idrauliche della diga di Levane e della sovrastante diga di La Penna; è stato già riconosciuto che gli scarichi di superficie delle due dighe sono in grado di evacuare valori di portata massima corrispondenti a tempi di ritorno di circa 500 anni senza superare il franco di progetto. Essendo il bacino imbrifero sotteso dalla diga di Levane per il 95% coincidente con quello della diga di La Penna questo ufficio non ritiene cautelativo esaminare il solo progetto di sovralzo della diga di Levane, senza che gli interventi da eseguire si inquadrino nel più generale quadro di riferimento dei due invasi. Quindi il parere definitivo sul progetto di sovralzo dell'opera di valle dovrà contenere le valutazioni definitive sulla sicurezza idraulica, strutturale e geotecnica dell'invaso in esercizio circa 10 km a monte⁵.
4. Sempre con riferimento alle questioni più generali deve inoltre rilevarsi che rispettando la condizione di manovrare le paratoie che presidiano tutti gli scarichi superficiali e profondi in maniera da non scaricare a valle (di entrambi i due serbatoi) rispettando, nella fase crescente della piena portate superiori a quelle in ingresso, l'effetto moderatore dei due invasi risulterebbe modesto, vista anche la sproporzione tra i volumi disponibili per la laminazione e gli idrogrammi di piena calcolati. L'intervento così come proposto sembrerebbe quindi trovare le sue motivazioni tecniche per proteggere i territori di valle da eventi con tempi di ritorno modesti, ma frequenti. Si segnala l'assenza di valutazioni in tal senso negli atti di cui al progetto definitivo.

B. ASPETTI DI DETTAGLIO

1. Aggiornare sulla base della campagna di indagini geologiche eseguite il modello geotecnico longitudinale e trasversale della sezione di imposta, completo delle indicazioni delle singolarità rilevate e delle più significative caratteristiche meccaniche e di permeabilità della roccia di fondazione. Tale modello potrà consentire di definire i criteri di accettabilità del piano di fondazione dei previsti rinforzi di valle, nonché di quantificare i volumi di scavo dell'attuale piano del terreno a valle diga, soprattutto in relazione allo spessore della fondazione delle singole pile, e definire le sollecitazioni nelle fasi costruttive. L'intervento e tutte le lavorazioni saranno, infatti, eseguite in presenza di un carico a monte. Anche le previste iniezioni di schermo potranno trovare, sulla base di tale elaborato, la loro più certa definizione progettuale. Tale approfondimento dovrà riguardare anche la soluzione progettuale di dettaglio dell'ammorsamento e della tenuta in fondazione della nuova struttura sovralzata sulla spalla destra e sinistra.

⁵ Per la diga di La Penna l'elevato valore del franco ha avuto come conseguenza la richiesta di nuove e aggiornate verifiche di stabilità conseguenti all'incremento del carico, ed anche la verifica della sostenibilità del nuovo livello di massimo invaso lungo l'intero perimetro del serbatoio (nota UCCE del 18/5/2012, n.5741), a tali richieste non è stato dato completo riscontro. Sono state eseguite nuove perforazioni di drenaggio nella diga per migliorare la resistenza allo scorrimento e intercettare possibili filtrazioni.

2. *Aggiornare sulla base di una campagna di indagini geologiche da eseguire il modello geotecnico delle sezioni delle sponde del serbatoio al fine di individuare le eventuali singolarità e definire le caratteristiche meccaniche e di permeabilità dei versanti interessati dalla modifica del regime piezometrico. Tale modello dovrà consentire di escludere l'insacco di fenomeni di instabilità conseguenti ai nuovi livelli di invaso, ovvero escludere l'insacco di possibili filtrazioni verso bacini contermini. Le verifiche di stabilità dovranno essere svolte secondo le NTC08, le NTD2014 e le raccomandazioni AGI.*
3. *La progettazione definitiva dovrà esaminare la modalità operativa di esecuzione dei getti massivi, con specifico riferimento al problema dello smaltimento del calore di idratazione in spazi confinati. Le miscele di composizione del calcestruzzo dovranno essere studiate per conseguire i requisiti minimi di resistenza e di peso da fissare in progetto. Idonea strumentazione di controllo dovrà consentire la verifica delle operazioni di getto, prevedendo l'eventuale interruzione dei getti al superamento di definiti valori di soglia, al fine di non danneggiare le strutture esistenti. Idonei e specifici provvedimenti dovranno essere adottati per assicurare il mantenimento dell'efficienza delle canne di drenaggio.*
4. *In generale le tavole grafiche allegate risultano scarsamente dettagliate, localmente imprecise e talvolta contenenti indicazioni errate, contraddittorie e confuse; di conseguenza, è necessaria una loro generale revisione per poter meglio comprendere i diversi aspetti e le differenti questioni del progetto. Si raccomanda la costante elaborazione dei disegni di progetto sulla cartografia di base, indicando i riferimenti quotati dello stato di consistenza delle opere e dei luoghi. L'assenza tra gli elaborati di progetto di una planimetria di rilievo diretto del serbatoio a curve di livello in scala non inferiore a 1:5.000 come espressamente previsto dall'art. 2 del D.P.R. 1363159, e l'esatta determinazione delle aree allagate, a seguito del sopralzo della diga al raggiungimento della nuova quota di massimo invaso condiziona in modo significativo ogni valutazione progettuale.*
5. *Le fasi dei lavori dovranno essere calendarizzate, definendo sia l'inizio delle singole e specifiche attività, che la fine, in modo da poter valutare le diverse criticità sia di natura idrologica idraulica, che di tipo ambientale. La necessità che il progetto definisca tali dettagli è conseguenza del fatto che l'intervento viene eseguito ad invaso pieno, regolato attraverso la sola derivazione nella fase transitoria di parziale e significativa modifica dell'impianto di movimentazione degli importanti organi meccanici e di demolizione di porzioni delle strutture.*
6. *Per la rimozione del terrapieno esistente a valle della parte sinistra della diga sono necessarie le verifiche della stabilità degli scavi e il programma dell'organizzazione del cantiere, con particolare riferimento alle modalità con le quali sarà effettuata la rimozione del materiale, la progettazione delle opere provvisorie necessarie alla realizzazione in sicurezza degli scavi e degli sbancamenti e la localizzazione delle aree per il deposito dei materiali di risulta.*
7. *La parziale demolizione del paramento di valle della parte sinistra dello sbarramento per creare i gradoni sui quali verrà gettato il nuovo calcestruzzo per il sopralzo, dovrà essere effettuata con gli accorgimenti volti ad evitare qualsiasi danneggiamento della parte di diga esistente. Nel progetto non sono esplicitate le modalità con le quali la demolizione verrà effettuata. Nel corso della parziale demolizione del paramento di valle per la creazione dei suddetti gradoni si dovrà prestare attenzione alle zone in cui la demolizione è prossima al cunicolo di fondo per evitare che lo stesso venga danneggiato.*
8. *Il progetto prevede la realizzazione del cunicolo di ispezione nella parte destra dello sbarramento, ma non vengono esplicitate le modalità con le quali lo stesso dovrà essere realizzato.*
9. *Il progetto, per la parte sinistra dello sbarramento, prevede che il giunto orizzontale in prossimità del coronamento, sul quale verrà effettuato il getto del nuovo calcestruzzo, sia alla quota di massima regolazione pari a 167,50 m s.l.m. Al fine di impedire vie preferenziali per eventuali infiltrazioni nel corpo diga attraverso la superficie di contatto fra nuovo e vecchio calcestruzzo, seppure in presenza di un elemento di tenuta, si ritiene necessario alzare la quota del suddetto giunto orizzontale di almeno 20-30 cm, in modo tale da portarla al disopra della quota di massima regolazione;*
10. *Il progetto non esplicita adeguatamente le modalità realizzative dei nuovi giunti di tenuta lato acqua, in special modo quelli relativi alla nuova porzione centrale della diga, e come viene assicurata la*

continuità tra l'esistente ed il nuovo;

11. I conci 4 e 5 risultano interamente realizzati all'interno di uno scavo a sezione quadrata di larghezza pari a 7-8 m e di altezza di circa 12 m, non sembra essere disponibile lo spazio per eseguire la prevista sagomatura, una volta tolto il materiale di riempimento, senza prevedere interventi di scavo e riprofilatura della spalla sinistra;
12. Durante la fase di getto del nuovo calcestruzzo nella parte in sinistra della diga, andranno presi opportuni accorgimenti affinché le canne drenanti esistenti non vengano ostruite;
13. Il progetto prevede la realizzazione di iniezioni di impermeabilizzazione e di cucitura del contatto diga roccia di fondazione. Per entrambe le tipologie di iniezioni il progetto deve essere integrato con elaborati grafici che ne definiscano l'ubicazione, e la profondità e la riduzione di permeabilità che si desidera conseguire con le iniezioni. In caso di ostruzione delle esistenti canne di drenaggio dovrà essere previsto il loro ripristino.
14. Si ritiene, necessario segnalare che il controllo dell'opera di sbarramento, così come oggi previsto, sarà soggetto a significativi fuori esercizio; non potrà, infatti, essere assicurato né il controllo topografico, né quello dei pendoli, né quello delle filtrazioni, pur restando comunque la struttura residua in esercizio con carichi significativi. Si ritiene, quindi, che il progetto degli interventi di consolidamento debba prevedere un sistema, anche provvisorio, di controllo almeno delle deformazioni delle singole porzioni della struttura di sbarramento. In ogni caso occorre indicare la tipologia di strumentazione, la frequenza delle osservazioni durante la costruzione, gli involucri sperimentali e il normale esercizio secondo quanto richiesto dalle NTC emesse con DM 26/06/2014, punto C. 1 1.

C. QUESTIONI STRUTTURALI

1. Per i calcestruzzi è necessario prevedere prove preliminari di qualificazione da svolgere presso istituti specializzati, come previsto dall'art. 2 del Regolamento e dal punto D. 1.1.1 delle NTC 2014. La confezione, il getto ed il controllo dei calcestruzzi dovranno essere conformi a dette norme. In particolare dovrà essere verificato che la resistenza a compressione, a trazione ed il peso proprio del calcestruzzo delle nuove opere, sia in accordo con i valori previsti in fase di progettazione.
2. Con riferimento alle verifiche allo scorrimento relativamente al livello idrostatico dell'acqua a valle diga non è definita la quota corrispondente alla combinazione di carico di massimo vaso necessaria per valutare la spinta idrostatica di valle ed il corrispondente diagramma delle sottopressioni.
3. Non risultano redatte le verifiche dei nuovi muri d'ala di calcestruzzo armato della vasca di dissipazione.
4. Eventuali interventi di drenaggio dovranno essere realizzati per ridurre le spinte del terrapieno di valle in sinistra idraulica.
5. Relativamente al progettato intervento di soprizzo dei setti costituenti le pile, le verifiche tensionali hanno evidenziato sforzi di trazioni che superano i valori normativi, dovranno quindi prevedersi interventi di rinforzo che potranno essere più dettagliatamente progettati considerando anche gli sforzi trasferiti dagli organi meccanici.
6. Nel progetto non sono presenti le verifiche strutturali delle nuove paratoie degli organi di scarico.
7. La scala a chiocciola in cemento armato esistente che consente l'accesso all'impalcato posto a quota 181,00 dovrà essere verificata sismicamente.

D. QUESTIONI IDRAULICHE

1. La portata di 3 180 m³/s, è stimata nell'ipotesi che la stessa venga esitata dalla diga di Levane con lo sfioratore funzionante a stramazzo sotto battente non rigurgitato da valle. Pertanto le verifiche idrauliche dovranno suffragare adeguatamente detta ipotesi, con specifiche ed approfondite verifiche del corso d'acqua per le portate di riferimento, definendo le caratteristiche idrauliche (es. tiranti idrici) della corrente a valle.
2. Sempre in merito alla verifica della vasca di dissipazione, essendo il valore dell'altezza coniugata a valle del risalto stimato per una portata di 2.770 m³/s, inferiore a quello definito da questa Direzione

Generale, si ritiene che le valutazioni debbano essere eseguite per portate almeno cinquecentennali, e che debbano essere forniti maggiori ragguagli sulle caratteristiche della corrente idrica nel tratto di raccordo vasca - alveo.

3. Si ritiene comunque che le definitive caratteristiche dimensionali delle opere, potranno essere meglio definite sulla base dei risultati delle prove di un nuovo modello fisico del sistema invaso-scarichi- vasca di dissipazione- alveo a valle. Le prove devono avere lo scopo di verificare, per il "range" di portate di interesse, le effettive condizioni di scarico attraverso la soglia sotto battente (scarico libero o rigurgitato), il grado di dissipazione energetica e la posizione del risalto all'interno della vasca di dissipazione.

E. VERIFICHE SUL NUOVO SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE DELLE PARATOIE, CHE SOSTITUIRÀ L'ATTUALE

1. Negli elaborati presentati non è stata effettuata la verifica dei carichi di esercizio sia in condizioni ordinarie, che in condizioni eccezionali, pertanto non è possibile stimare l'entità delle pressioni nel circuito oleodinamico per raffrontarle con le specifiche tecniche dell'impianto, dichiarate dal fornitore ed inoltre verificare il corretto dimensionamento dell'impianto oleodinamico.
2. Date le dimensioni considerevoli delle paratoie e la loro velocità di movimentazione, pari a 0,25 m/min, sia in condizioni normali che in condizioni di funzionamento mediante motore elettrico, si ritiene debba essere verificata con i calcoli l'adeguatezza dell'impianto ai nuovi carichi agenti, considerando l'aumento del carico idrostatico alla nuova quota di massimo invaso. Infatti, sebbene sconsigliato, il funzionamento per tracimazione può manifestarsi per cause accidentali anche con quote di invaso superiori a 167,50 m s.l.m., durante l'arco di vita della diga, e lo stesso vale per il funzionamento di tipo misto. Pertanto si ritiene indispensabile che il Concessionario effettui la verifica di impianto alla nuova quota di 172,00 m s.l.m., fornendo anche tutti i dati tecnici dei componenti meccanici e idraulici a supporto dei calcoli effettuati.
3. Per quanto riguarda le verifiche statiche delle paratoie stesse, in riferimento alle normative vigenti per il calcolo, dovranno elencarsi le tipologie dei carichi agenti sulle stesse, quantificando tali azioni ed eseguendo i calcoli di verifica.
4. Per tutte le lavorazioni di posa in opera delle paratoie, dovranno essere specificate tutte le lavorazioni da eseguire in cantiere e quelle eseguite presso i fornitori, specialmente per operazioni di saldatura, in modo da poter verificare la rispondenza alle normative vigenti, sia in merito alle operazioni effettuate, che in merito al personale certificato per eseguire dette operazioni.

8.2 Parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2017)

Il parere del C.S.LL.PP., trasmesso con lettera PROT. N. 5999 del 26/06/2017, oltre a riprendere ed a riferirsi alle osservazioni della scrivente Direzione, riportava nella sua parte conclusiva una serie di considerazioni, a valle delle quali la Sezione indicava che:

"all'unanimità la Sezione è del PARERE che il Progetto definitivo settembre 2015 denominato "Sopralzo della diga a scopo laminazione" della diga di Levane debba essere rivisto, integrato e adeguato con le raccomandazioni, prescrizioni e considerazioni che precedono."

Lo scrivente Ufficio riporta a seguire un quadro sinottico delle osservazioni di maggior rilievo da un punto divista tecnico, e quindi da considerarsi rilevanti ai fini dello sviluppo del progetto della diga.

A. ASPETTI TECNICO AMMINISTRATIVI

| | |
|------------------------------|---|
| 1. Termine della concessione | L'Assemblea, pur rilevando che non è chiamata a pronunciarsi sulla "Concessione", non può non segnalare che, trattandosi di variante essenziale, ai sensi dell'art. 49 TU 1775/1933, si debba valutare la necessità di dare corso a nuova concessione, nuovo piano economico finanziario e ridefinizione dei termini della concessione. |
| 2. Armonizzazione con | Nel progetto in esame non si rinvencono notizie del progetto redatto |

| | |
|--|--|
| <i>progetto redatto dalla Provincia di Arezzo relativo alle arginature dell'invaso</i> | dalla Provincia di Arezzo relativo alle arginature dell'invaso e delle possibili ulteriori opere necessarie a mitigare l'eventuale interferenza dell'allagamento su quanto esistente. E' indubbio che il Disciplinare dovrà regolare anche l'aspetto relativo agli argini di sicurezza de quo. |
| 3. <i>Normativa tecnica</i> | La Sezione osserva come, per effetto dei lavori di sopraelevazione previsti, si debba procedere ad una verifica di tutte le componenti, sbarramento ed opere accessorie, secondo le norme di cui al D.M. 26/6/2014, dando corso agli adeguamenti ritenuti necessari, come se si trattasse di una nuova realizzazione, adottando condizioni di carico e criteri di verifica delle norme tecniche vigenti. |

B. ASPETTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, GEOMECCANICI ED IDROGEOLOGICI

| | |
|--|---|
| 1. <i>Caratterizzazione geomeccanica spalla sinistra</i> | Non è riportato un effettivo approfondimento sulla significatività, anche statistica, delle misure effettuate e dei risultati ottenuti dalle prove di laboratorio su campioni prelevati in relazione agli assetti geostretturali ed all'esiguità degli affioramenti disponibili, specie nella zona della sponda sinistra. Le modellazioni a carattere geologico svolte propongono incertezze nella zona della spalla sinistra ove non sono state di fatto realizzate indagini specifiche. |
| 2. <i>Risultati accertamenti idrogeologici e condizioni stabilità delle sponde</i> | Alcuni dei risultati degli accertamenti idrogeologici non sono adeguatamente spiegati o interpretati così come, in specifiche zone, sussistono incertezze sulle effettive condizioni di stabilità nonché di possibile evoluzione anche in connessione con le previste nuove condizioni di esercizio. In merito si ritiene che, nonostante gli approfondimenti che allo stato attuale costituiscono base conoscitiva di riferimento, sussistano ancora incertezze che dovrebbero essere discusse ed approfondite al fine di definire previsioni progettuali corrette. |
| 3. <i>Armonizzazione con indagini, informazioni e dati precedenti</i> | Le documentazioni della progettazione originaria nonché quelle relative alla stessa esecuzione, che pure costituiscono elementi conoscitivi significativi, non sembrano essere state effettivamente valorizzate anche attraverso rielaborazioni e correlazioni con quanto definito con le più recenti indagini. A riguardo appare pure importante, nel quadro delle conoscenze di riferimento, definire con dettaglio la "storia" dell'esercizio evidenziandone le eventuali problematiche, sia nella zona di imposta che in quella dell'invaso, anche in relazione alle problematiche di interrimento. |

C. ASPETTI IDROLOGICI ED IDRAULICI

| | |
|--|---|
| 1. <i>Portata esitata dallo scarico di superficie</i> | Per la verifica della quota di massimo invaso, il Concessionario utilizza un idrogramma di progetto che prevede un valore di portata al colmo di 3189 m ³ /s, inferiore a quello millenario determinato dalla Direzione Dighe pari a 3283 m ³ /s. Questo porta ad una qualche sottostima della portata di progetto. |
| 2. <i>Adeguamento degli scarichi esistenti e processo di laminazione simulato con quelli in progetto</i> | Le verifiche sono basate su assunzioni non cautelative o non altrimenti dimostrate, che possono influire in modo determinante sullo scopo principale del progetto, ovvero quello di laminazione delle piene. Non risultano nella documentazione agli atti sperimentazioni realizzate su modello fisico. Tutto ciò prelude con tutta probabilità ad una non trascurabile variazione della portata laminata ed alla conseguente necessità di una nuova verifica della vasca di dissipazione |
| 3. <i>Verifica della vasca di dissipazione</i> | La verifica della vasca di dissipazione dovrà essere sviluppata nelle condizioni più cautelative, lasciando alla necessaria modellazione fisica del |

| | |
|---|--|
| | sistema di scarico e dissipazione, previsto dalle Norme Tecniche per le Dighe (NTD) 2014, l'eventuale affinamento delle dimensioni delle opere. |
| 4. <i>Abbandono dello scarico di fondo</i> | La proposta di abbandono definitivo dello scarico di fondo mediante la messa in sicurezza attraverso l'opportuno riempimento di calcestruzzo, non è valutabile favorevolmente, trattandosi di opera la cui presenza, in funzione della pubblica incolumità, non è derogabile. Si ricorda al proposito che l'Art. C1 delle NTD 2014 prevede esplicitamente l'esistenza, oltre che dello scarico di esaurimento, anche di quello di fondo, dovendo la funzionalità di questo ultimo essere garantita durante tutta la vita utile dell'opera. È comunque indispensabile predisporre lo scarico per il Minimo Deflusso Vitale (MDV). |
| 5. <i>Sostituzione paratoie scarico di superficie-gargami e sequenza operazioni</i> | Non è chiaro come possa essere esclusa ogni necessità di lavori sulla struttura, quali ad esempio l'adeguamento delle gargamature. Si ritiene indispensabile procedere ad un'attenta valutazione dei lavori definendo con precisione la sequenza delle operazioni, anche per valutare correttamente il rischio a cui sono esposti il cantiere e i territori di valle in relazione al verificarsi di eventuali piene. |
| 6. <i>Verifica del franco netto</i> | Non risultano esaminate, nella documentazione agli atti, le verifiche del franco netto secondo normativa, conseguenti alla nuova quota di massimo invaso. |
| 7. <i>Aggiornamento del rilievo batimetrico</i> | Vista la tipologia dei lavori proposti è necessario un aggiornamento del rilievo batimetrico al fine di valutare con la necessaria approssimazione l'attuale volume disponibile alla risorsa idrica e quello occupato dai sedimenti. |
| 8. <i>Adeguamento del Progetto di Gestione dell'Invaso</i> | La volontà di lasciare in loco i sedimenti depositatesi nel serbatoio nel corso di diversi anni, rende necessario l'interessamento degli organi Regionali in merito all'adeguamento del "Progetto di gestione dell'invaso", anche al fine di motivare l'assenza di ragionevoli alternative tecniche alla scelta prospettata e di caratterizzare, tra l'altro, con maggior dettaglio i sedimenti accumulatisi nell'invaso per consentire una appropriata stima delle relative spinte sull'opera di sbarramento, anche in condizioni dinamiche. |
| 9. <i>Verifica del Piano di Bacino Stralcio del 1999</i> | Preso atto che dal punto di vista idrologico, il progetto di sopralzo della diga di Levane resta inquadrato nel contesto delle previsioni contenute nel Piano di Bacino Stralcio relativo alla riduzione del rischio idraulico, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino dell'Arno con delibera 131/99, risulta necessaria una verifica dell'attualità del piano del 1999, in merito ad una variazione della vulnerabilità di territori interessati. In particolare i territori di monte, attesa la nuova quota di massimo invaso, saranno interessati da nuove aree di allagamento nonché da un diverso regime piezometrico. |
| 10. <i>Massima portata transitabile in alveo e fascia di pertinenza fluviale</i> | Non risultano esaminate le interazioni tra la nuova portata esitata a valle dello sbarramento con i territori di valle interessati con particolare riferimento anche alla massima portata di piena transitabile in alveo a valle dello sbarramento e contenuta nella fascia di pertinenza fluviale come delimitata dalla competente Autorità di bacino. |
| 11. <i>Studi delle onde di piena</i> | L'aggiornamento dello studio di propagazione delle onde di piena a valle generate da manovre degli organi di scarico (oltre quelle provocate da un ipotetico collasso – dam break) deve essere condotto in esito ed in coerenza con i calcoli di rivalutazione idraulica degli scarichi per tener conto anche della nuova configurazione del corpo diga. |

D. ASPETTI STRUTTURALI

| | |
|---|--|
| 1. <i>Elementi d'incertezza derivanti dal livello di sviluppo progettuale</i> | L'Assemblea concorda con le osservazioni formulate dalla Direzione Dighe, evidenziando altresì elementi di incertezza derivanti dal livello di sviluppo progettuale, che non consente un esame più approfondito delle problematiche connesse all'intervento. |
| 2. <i>Continuità nelle misure strumentali ed installazione accelerometri</i> | Si evidenzia la necessità di assicurare una continuità nelle misure strumentali attraverso le apparecchiature di controllo, valutando infine l'opportunità di prevedere l'installazione di accelerometri, tenuto conto che la diga è ubicata, secondo l'aggiornamento al 2005 della O.P.C.M. 3274/03, in zona sismica con livello di pericolosità 3. Acquisirebbe particolare importanza, pertanto, l'esperienza sul comportamento dell'opera in occasione di eventi sismici reali, in riferimento anche alle recenti sequenze sismiche. |

E. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE:

"Sulla base di quanto sopra esposto, l'Assemblea evidenzia che l'intervento proposto è tale da indurre una sostanziale modifica dello schema dello sbarramento esistente.

Pertanto si ritiene che tale intervento debba essere inquadrato nell'intero contesto, valutando tutte le condizioni rilevanti ai fini della sicurezza, con un maggior grado di conoscenza di dettaglio, da perfezionare valorizzando i dati e le informazioni disponibili dal lungo periodo di esercizio pregresso con riferimento anche agli organi di scarico, in termini di adeguatezza e funzionalità, nonché al controllo dei fenomeni di interrimento, che, si sottolinea, caratterizzano in maniera rilevante l'invaso. I fenomeni di interrimento andranno valutati in termini di stime del potenziale contributo dal bacino e modalità di gestione per una sua progressiva riduzione mediante i Piani di gestione previsti dalla normativa."



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

*Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici
Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche*

DIGA DI LEVANE (n. arch. 684) sul fiume Arno
nel comune di Montevarchi (AR)
Concessionario: ENEL S.p.A.

RELAZIONE ISTRUTTORIA

PROGETTO DEFINITIVO DI SOPRALZO AI FINI DI LAMINAZIONE



1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Con nota n.40644 del 23 ottobre 2015 l'Enel Produzione S.p.A., Concessionario della diga di Levane, ha trasmesso il progetto definitivo di "Sopralzo della diga a scopo di laminazione", datato settembre 2015. Su tale progetto l'Ufficio Strutture e Geotecnica ha espresso le proprie osservazioni con la relazione istruttoria datata 7/3/2016.

Con nota n.12227 del 20/07/2020, il Concessionario della diga in oggetto ha trasmesso la documentazione relativa al progetto definitivo del sopralzo della diga, in recepimento alle integrazioni richieste con nota DGD n.17788 del 02/08/2017. Si tratta di un intervento strategico finalizzato a rendere disponibile un volume di laminazione per moderare gli effetti delle piene nei territori a valle. Secondo quanto comunicato dal Concessionario, "il progetto è stato redatto in modo completo ex novo rispetto a quello del 2015, pur rimanendo l'impostazione e le scelte progettuali principali; attraverso le diverse relazioni specialistiche ed i relativi approfondimenti, è stato risposto alle richieste formulate nell'istruttoria sopra richiamata" Il progetto è composto da un totale di n. 84 elaborati, comprensivi di n.1 elenco elaborati, n.22 relazioni tecniche e di n.62 elaborati grafici, a firma del progettista ing. Alberto Maserà della società CESI.

Con successiva nota n.15838 del 31/07/2020 l'Ufficio di Coordinamento e Controllo Dighe in esercizio ha chiesto all'Ufficio Strutture e Geotecnica il relativo parere di competenza. A seguito di interlocuzioni con l'Ufficio di Coordinamento e Controllo Dighe lo scrivente ufficio ha provveduto all'esame dei seguenti due aspetti tecnici:

- Verifica strutturale delle nuove paratoie degli organi di scarico;
- Interventi localizzati di rinforzo nelle pile dello scarico di superficie.

A tal proposito sono stati esaminati i seguenti documenti trasmessi dal Concessionario Enel S.p.a. con la suddetta nota n.12227 del 20/7/2020:

- Paratoie scarico di superficie: Relazione di calcolo, datata 29/06/2020;
- Relazione di verifica elementi in c.a. dell'opera di sfioro e dei muri d'ala, datata 07/05/2020.

1.2 Descrizione dell'opera

La diga, ubicata sul fiume Arno, nel comune di Montevarchi (AR), è stata realizzata nel biennio 1956-1957 ed è entrata in esercizio normale nel 1958. La struttura di ritenuta è del tipo a gravità ordinaria in calcestruzzo cementizio con andamento planimetrico rettilineo e tracimabile nella parte centrale.

Lo sbarramento è suddiviso nelle seguenti tre parti:

1. la porzione sinistra, dello sviluppo di 60 m, è costituita da un tronco di diga a gravità massiccia, suddiviso in 5 conci da giunti di contrazione I paramenti di monte e di valle presentano rispettivamente inclinazione di 0,05 e 0,75 ;
2. la porzione centrale, dello sviluppo di 35,40 m, è costituita da due luci tracimanti separate da un setto in c.a. e delimitata da due pile laterali che proseguono verso valle nei due muri d'ala che hanno funzione di contenimento delle portate di piena.;
3. la porzione destra, dello sviluppo di 33,20 m, è costituita da un tronco di diga a gravità massiccia a valle del quale si trova la centrale idroelettrica..

Lo scarico di superficie della diga è ricavato nella parte centrale dello sbarramento e consta di due paratoie piane a due elementi sovrapposti di 12,0 x 14,5 m con soglia a quota 153,00 m s.l.m.

I dati significativi della diga e del serbatoio, desunti dal Foglio di Condizioni per l'Esercizio e la Manutenzione, sono i seguenti:

- altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.'82) 32,35 m

| | | |
|--|--------|--------|
| - altezza della diga (ai sensi della L. 584/'94) | 24,00 | m |
| - altezza di massima ritenuta | 21,5 | m |
| - quota coronamento | 169,00 | m s.m. |
| - sviluppo del coronamento | 128,60 | m |
| - quota di massimo invaso | 167,50 | m s.m. |
| - quota massima di regolazione | 167,50 | m s.m. |
| - quota minima di regolazione | 160,00 | m s.m. |

2. ESAME DELLA DOCUMENTAZIONE

Relazione di calcolo: Paratoie dello scarico di superficie, datata 29/06/2020

Nel progetto in esame non è prevista alcuna modifica geometrica o funzionale delle luci dello scarico di superficie e delle paratoie ma è prevista la sola sostituzione integrale delle stesse paratoie e degli organi di comando e movimentazione. La geometria funzionale delle paratoie rimane pressochè invariata ma vengono modificate le strutture, i carichi di esercizio e gli argani.

Le principali modifiche del progetto in esame sono le seguenti:

| | attuale | progetto |
|--------------------------|-------------|-------------|
| quota di max invaso | 167,50 m sm | 172,00 m sm |
| quota di max regolazione | 167,50 m sm | 167,50 m sm |

A presidio delle luci dello scarico di superficie saranno installate due nuove paratoie piane su ruote, in acciaio, aventi una larghezza netta di 12,00 m e un'altezza 14,50 m. Ogni paratoia posta a presidio della rispettiva luce sarà composta da due elementi parzialmente sovrapponibili con movimentazione indipendente. L'elemento superiore avrà il ciglio tracimabile con sezione a profilo idraulico per non creare distacchi di vena e non generare fenomeni di cavitazione e vibrazioni. I due elementi che compongono la singola paratoia avranno una luce netta di 12 m ed una altezza rispettivamente di circa 8,84 m per l'elemento inferiore e circa 6,25 m per l'elemento superiore.

A paratoie chiuse, l'altezza complessiva dei due elementi sovrapposti sarà di 14,50 m, pari alla differenza fra la quota massima di regolazione di 167,50 m slm e la quota della soglia di 153,00 m slm. La sovrapposizione fra i due elementi è di circa 0,70 m. Tale sovrapposizione è necessaria per garantire la dovuta continuità idraulica e strutturale fra i due elementi.

Elemento inferiore

Con lo scopo di contenere il peso della struttura durante le fasi di installazione, l'elemento inferiore è stato suddiviso in tre elementi strutturali che non superano le 35 t corrispondenti alla portata massima della gru prevista per tale operazione. Il collegamento tra gli elementi è realizzato da cerniere. La paratoia è quindi divisa nei seguenti tre elementi:

- elemento inferiore: \cong 24.500 kg,
- elemento intermedio: \cong 26.500 kg,
- elemento superiore: \cong 34.900 kg.

Per ognuno dei tre elementi la struttura è costituita da un mantello a monte di lamiera d'acciaio rinforzato mediante travi orizzontali destinate a sostenere il carico idrostatico in acciaio S355J0. Le travi orizzontali trasmettono la spinta a due testate laterali, in acciaio S450J0, su ciascuna delle quali sono montate 4 ruote in acciaio S450J0, girevoli su assi fissi a sbalzo in acciaio inox AISI 431.

Elemento superiore

L'elemento superiore è di tipo trascinabile con peso pari a $\cong 40.000$ kg. La struttura è costituita da una trave orizzontale a cassone superiore e da un elemento frontale verticale inferiore. L'elemento verticale è costituito da 8 travi verticali poggianti sulla trave orizzontale superiore e sulle 8 ruote. La paratoia è realizzata con mantello a valle con elementi di irrigidimento a monte. La struttura, realizzata in acciaio S355J0, poggia sulle due ruote superiori in acciaio S450J0, girevoli su assi fissi a sbalzo in acciaio inox AISI 431.

Le principali caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati sono le seguenti:

Acciaio da carpenteria S 355 J0

Acciaio laminato per carpenteria (UNI EN 10025) Tipo S 355 (Fe 510) Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40$ mm) $f_{yk} \geq 355$ N/mm²

Tensione caratteristica di rottura a trazione ($t \leq 40$ mm) $f_{tk} \geq 510$ N/mm²

Acciaio da carpenteria S 275 J0

Acciaio laminato per carpenteria (UNI EN 10025) Tipo S 275 (Fe 430) Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40$ mm) $f_{yk} \geq 275$ N/mm²

Tensione caratteristica di rottura a trazione ($t \leq 40$ mm) $f_{tk} \geq 430$ N/mm²

Bulloni ad alta resistenza classe 8.8 in condizioni nominali

(prospetto 3.3 UNIV 1993_1_1_98_1994) Viti classe (UNI EN ISO 898-1:2001) 8.8

Resistenza a rottura per trazione $f_{tb} = 800$ N/mm²

Tensione di snervamento $f_{yb} = 640$ N/mm²

Acciaio AISI 431 (X17CrNi16-2 EN 10088-3:2005) forgiato/bonificato (EN 10250-4: 2001)

Tensione caratteristica di snervamento ($F \leq 375/250$ mm) $f_{yk} \geq 700$ N/mm²

Tensione caratteristica di rottura a trazione ($F \leq 375/250$ mm) $f_{tk} \geq 900-1050$ N/mm²

Le combinazioni prese in esame sono:

- fondamentale: $\gamma g_1 G_1 + \gamma g_2 G_2 + \gamma q_1 Q_1 + \gamma q_j \Sigma (\psi_{0j} Q_{kj})$
- eccezionale: $G_1 + G_2 + A_d + \Sigma_j \psi_{2j} Q_{kj}$
- sismica: $E + G_1 + G_2 + \Sigma_j \psi_{2j} Q_{kj}$

I coefficienti utilizzati sono i seguenti:

- fondamentale: $G_1=1,3$ $G_2=1,5$ $E_x=0$ $E_y=0$ $Q_v=1,5$
- eccezionale $G_1=1$ $G_2=1$ $E_x=0,3$ $E_y=1$ $Q_v=1$
- sismica: $G_1=1$ $G_2=1$ $E_x=0$ $E_y=0$ $Q_v=1$

Le paratoie sono soggette ai seguenti carichi:

- spinta idrostatica
- peso vena sfiorante
- azioni dovute al loro azionamento
- azioni dovute al sisma.

Osservazioni: la sola combinazione sismica presa in esame prevede il coefficiente di concomitanza pari a 1 per il sisma orizzontale e pari 0.3 per quello verticale. Anche in considerazione dell'elevato peso delle paratoie, è necessario considerare anche la combinazione che massimizza la componente verticale del sisma (pari a 0.3 per il sisma orizzontale e pari 1 per quello verticale).

Per la determinazione delle forze sismiche si è utilizzato il metodo pseudo-statico che consiste nell'applicare alla struttura le forze d'inerzia e le pressioni idrodinamiche generate dal sisma sotto forma di carichi statici equivalenti. Le forze d'inerzia vengono calcolate come prodotto di un

coefficiente sismico per il peso della diga, mentre le pressioni idrodinamiche vengono determinate con le formule di Westergaard (relative alla ipotesi di fluido incomprimibile e diga rigida).

I valori di riferimento dell'azione sismica (con periodo di ritorno di 50 anni sono i seguenti) sono: Luogo Levane (Montevarchi - AR) Cat. Suolo E, Categoria topografica T4, VN > 50 anni, Classe d'uso della struttura IV, Categoria: C - importanza "normale" Cu 2 ed ad un periodo di riferimento pari a 100 anni.

I parametri dell'azione sismica sono i seguenti:

| | | |
|-------------------|----------|------------------------------------|
| T_R (SLV) | 949 | anni tempo di ritorno |
| a_g | 0,157 g | accelerazione orizzontale al suolo |
| F_0 | 2,413 | fattore di amplificazione dinamico |
| S | 2,215 | fattore amplificazione del sito |
| $a_{max} = a_g S$ | 0,3478 g | accelerazione massima attesa |

ed assumendo $\beta_s = 0,28$ si ottiene:

$$k_h = \beta_s a_{max}/g = 0,0972 \quad \text{coeff. accelerazione sismica orizzontale.}$$

Osservazioni: l'azione sismica è stata ridotta con il coefficiente di riduzione β_s dell'accelerazione massima attesa al sito che nelle NTC/2018 è previsto per le verifica di stabilità dei pendii e dei fronti di scavo. Tale riduzione non è prevista per le opere di sbarramento.

Il progettista effettua un confronto tra le sollecitazioni dovute alla combinazione di carico fondamentale e quella dovuta al sisma, da cui emerge che quest'ultima è inferiore, specie in considerazione del fatto che il coefficiente parziale dell'azione variabile è pari ad 1,5 (contro 1,0 di quella sismica).

Osservazioni: tale confronto necessita di maggiore chiarezza ed inoltre va ripetuto tenendo conto che l'azione sismica non dovrà essere ridotta dal coefficiente β_s .

Osservazioni: con riferimento alle verifiche effettuate non è indicato il nome del codice di calcolo utilizzato e la sua validazione, nonché le caratteristiche degli elementi e dei vincoli, così come previsto dalle NTC/2018.

Le verifiche presenti nella relazione di calcolo sono le seguenti:

verifiche allo SLE

combinazione di carico $1*G + 1*Q_{H=4.5}$ (massimo invaso)

Le verifiche di deformabilità forniscono i seguenti massimi spostamenti:

- max spostamento in mezzeria 22 mm.

Le verifiche di deformabilità sono state anche fatte per livelli di invaso inferiori fornendo spostamenti minori.

Osservazioni: non sono fornite informazioni in merito agli spostamenti delle paratoie in corrispondenza delle rotaie di scorrimento e della loro compatibilità con il funzionamento delle paratoie stesse.

verifiche allo SLU

combinazione di carico $1.3*G + 1.5*Q_{H=4.5}$ (massimo invaso)

Le verifiche di resistenza e le verifiche di imbozzamento dei pannelli risultano sempre verificate per tutti gli elementi della struttura.

Le verifiche strutturali sono state anche fatte per livelli di vaso inferiori risultando sempre verificate.

verifiche elementi meccanici si sollevamento

Nella relazione di calcolo sono anche presenti le verifiche strutturali dell'aggancio paratoia superiore, dell'aggancio paratoia inferiore, del bozzello dell'organo del primo elemento superiore, delle cerniere del primo e del secondo elemento inferiore, delle ruote e degli assi.

Osservazioni: nelle disequazioni delle verifiche di resistenza non sono specificati i valori delle resistenze di progetto dei materiali.

Inoltre manca il giudizio finale motivato del progettista di accettabilità dei risultati sulle elaborazioni effettuate. Così come previsto dalle NTC/2018 "Tale valutazione consisterà nel confronto con i risultati di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguiti con riferimento a schemi o soluzioni noti e adottati, ad esempio, in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, valuterà la consistenza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni. Nella relazione devono essere elencati e sinteticamente illustrati i controlli svolti, quali verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc".

Relazione di verifica elementi in c.a. dell'opera di sfioro e dei muri d'ala, datata 07/05/2020

Nel progetto definitivo, datato settembre 2015 erano previsti interventi localizzati di rinforzo delle pile dello scarico di superficie in quanto le verifiche tensionali avevano evidenziato sforzi di trazioni che superano i valori normativi.

Nell'elaborato in esame "Relazione di verifica elementi in c.a. dell'opera di sfioro e dei muri d'ala" a seguito di nuove elaborazioni di calcolo e verifiche di resistenza condotte per entrambe le pile, gli estensori del documento evidenziano che:

- "lo stato di trazione è stato riprodotto con uno schema di verifica strutturale della sezione più sollecitata pressoinflessa, considerando i possibili cambi di segno dei momenti;
- lo studio della sezione pressoinflessa conduce a determinare valori massimi di trazione nel calcestruzzo inferiori alla resistenza, anche ulteriormente ridotta per tenere conto della poca armatura presente;
- l'elongazione dell'acciaio è più che modesta;
- la sezione è ampiamente verificata al taglio;
- le configurazioni di vincolo ipotizzate nel modello FEM (condizione 1 e 2) rappresentano due situazioni limite (struttura libera e struttura vincolata lateralmente) e pertanto i relativi risultati riproducono due stati estremi di sforzo. Il reale comportamento della struttura, difficilmente schematizzabile attraverso un unico modello di calcolo, si pone quindi tra le due situazioni limite;

In definitiva l'analisi tensionale con modello agli elementi finiti individua zone estremamente corticali e di limitata estensione, nelle quali i valori massimi di trazione superano le resistenze di progetto del materiale. Pertanto nella relazione si conclude "che le trazioni calcolate non evidenziano una carenza strutturale del manufatto che richieda l'adozione di un accorgimento strutturale".

3. OSSERVAZIONI ISTRUTTORI E CONCLUSIONI

In conclusione, con riferimento all'elaborato "Relazione di calcolo: Paratoie dello scarico di superficie" e da quanto sopra esposto, si formulano le seguenti osservazioni:

- **Analisi dei carichi:** le verifiche sismiche devono essere effettuate senza diminuire l'azione sismica con il coefficiente β_s di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- **Combinazione dei Carichi:** 1) non è stata presa in esame la combinazione sismica che massimizza la componente verticale del sisma; 2) è necessario fornire maggiori informazioni in merito al confronto fra la combinazione di carico al massimo invasivo e quella sismica che non dovrà essere ridotta dal coefficiente β_s ;
- **Modello di calcolo:** fornire informazioni sul codice di calcolo utilizzato e sulla sua validazione nonché sulle ipotesi alla base della modellazione (elementi, vincoli, ecc.), così come previsto dalle NTC/2018;
- **Verifiche allo SLE:** fornire informazioni sugli spostamenti massimi delle paratoie in corrispondenza degli elementi di scorrimento e della loro compatibilità con il funzionamento delle paratoie stesse;
- **Verifiche di resistenza:** specificare nelle disequazioni delle verifiche di resistenza degli elementi metallici di sollevamento i valori delle resistenze di progetto dei materiali;
- **Giudizio motivato di accettabilità dei risultati:** manca il giudizio finale del progettista che attesti l'attendibilità dei risultati sulle elaborazioni effettuate.

In merito agli interventi localizzati di rinforzo delle pile dello scarico di superficie, si condivide quanto osservato dal progettista che le trazioni calcolate non evidenziano una carenza strutturale del manufatto che richieda l'adozione di provvedimenti strutturali.

Pertanto, tutto ciò premesso, a conclusione dell'attività istruttoria, si ritiene che la relazione di calcolo della paratoie dello scarico di superficie debba essere ripresentata tenendo conto delle osservazioni sopra riportate.

Si ricorda infine che gli organi di comando e di movimentazione della paratoia dovranno possedere le certificazioni C.E. e dovranno essere conformi alla normativa nazionale e comunitaria di riferimento, compresa la "Direttiva macchine".

Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche
Divisione 6 – Strutture e Geotecnica

Il Coordinatore dell'Ufficio
Ing. Stefano Mazzolani





Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Direzione generale per le dighe, le infrastrutture
idriche ed elettriche
Div. 7 Idraulica – Geologia Applicata

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione generale per le dighe, le infrastrutture idriche ed elettriche
Divisione 7 – Idraulica - Geologia Applicata
Diga di Levane (AR) N. Arch. 684
Parere specialistico su:

“Progetto definitivo di sopralzo della diga a scopo di laminazione”

1. Premessa.

Su richiesta della Div. 5 di Coord. Contr. Dighe Esercizio si sono esaminati gli elaborati contenuti nel progetto definitivo di cui in oggetto, secondo quanto richiesto con nota R.U. 15161 del 23/07/2020. Il progetto ha per finalità il sopralzo dell’opera fino a quota 172,00 m s.l.m. con lo scopo di laminare le piene del fiume Arno nel tratto compreso fra l’imposta della diga di La Penna, a monte, e la diga di Levane, in corrispondenza dell’imposta di quest’ultima, secondo le modalità previste dal Piano stralcio di riduzione del rischio idrogeologico del Fiume Arno approvato con DPCM del 5/11/1999. Il progetto in parola, redatto da CESI S.p.A. per conto del gestore Enel Green Power, è datato maggio/giugno 2020.

Allo stato attuale il livello di massima regolazione è pari a m 167,50 s.l.m, e la nuova quota di progetto comporterebbe un innalzamento del livello d’invaso pari a 4,50 m, andando a sommergere, nelle condizioni di piena, zone dell’invaso attualmente emerse, seguendo modalità di gestione delle piene peraltro previste anche nel Piano di Gestione dell’invaso stesso.

Il progetto in esame coinvolge vari aspetti di natura geologica, geostrutturale e geotecnica, connessi principalmente alla stabilità delle sponde dell’invaso e dell’imposta, nelle condizioni attuali e future, nonché alla stabilità dell’ammasso roccioso in fondazione nelle nuove condizioni di carico in progetto. Nell’ambito istruttorio si sono esaminati i seguenti allegati inerenti tali aspetti:

- **R07** – Relazione tecnica generale;
- **R03** – Prove di laboratorio geotecnico e geomeccanico;
- **R04** – Relazione geognostica;
- **R05** – Relazione geologica;
- **R16** – Relazione di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica;

- **R21** – Relazione finale geologia delle sponde.

Si ricorda, per chiarezza istruttoria, quanto espresso nelle conclusioni della nota specialistica Div.7/2015:

“...Laddove si è avvertita la scarsità di un modello geologico robusto e affidabile è nella caratterizzazione dei materiali sciolti di copertura delle rocce del substrato, la cui conoscenza appare molto carente e poco precisa.

Lo scrivente ufficio è del parere che:

- *Le indagini geognostiche sui terreni sciolti di copertura siano integrate e/o eseguite ex novo con un congruo numero di sondaggi a rotazione e a carotaggio continuo, spinti sino alle profondità compatibili con le presunte caratteristiche geometriche dei principali dissesti analizzati, condotti secondo le NTC08, le NTD2014 e le raccomandazioni AGI. A corredo dei sondaggi devono essere presentate le stratigrafie e documentazione fotografica delle litologie riscontrate;*
- *Nel corso dei sondaggi siano prelevati un congruo numero di campioni indisturbati da sottoporre a nuove prove geotecniche di laboratorio, con l’acquisizione degli usuali parametri fisico – meccanici previsti dalle citate norme/raccomandazioni;*
- *Nel corso della campagna d’indagine sia acquisito l’insieme dei dati sui livelli idrici delle acque di falda riscontrati nel corso dei sondaggi, sul loro andamento nel tempo, mediante posa in opera di un appropriato numero e tipologia di postazioni piezometriche;*
- *Sia posta in opera, contestualmente alle perforazioni, una rete inclinometrica nelle postazioni di sondaggio, adatta alla stima del comportamento deformativo dei versanti, nelle condizioni attuali e future;*
- *Sulla base delle risultanze della campagna di indagini e delle prove di laboratorio sia compiuta una nuova verifica delle condizioni di stabilità previste dalla normativa, anche utilizzando modelli di calcolo più semplici ed affidabili, quali quelli all’equilibrio limite globale, con un utilizzo di minor numero di parametri geotecnici, e stima delle superfici critiche di scorrimento individuate.*
- *Alla luce dei nuovi risultati delle verifiche di stabilità complessiva potranno essere previsti, descritti e progettati eventuali interventi di stabilizzazione dei dissesti in esame, qualora resi necessari nelle nuove condizioni di esercizio ipotizzate.”*

Il progetto definitivo del 2020, secondo quanto espresso dagli estensori, recepisce le indicazioni formulate da questa Divisione nell’istruttoria 2015, nonché le prescrizioni formalizzate dal CSLLP (comunicazione Prot. 51/2016 del maggio 2017), per quanto riguarda gli aspetti di propria competenza.

2. Inquadramento geologico e geomorfologico dell’invaso e dell’imposta.

L’area d’interesse, dal punto di vista geologico e geomorfologico, è stata descritta piuttosto dettagliatamente nel progetto del 2015, e nell’istruttoria Div. 7/2015, cui si rimanda per i dettagli. Qui di seguito si riportano i punti essenziali del contesto di riferimento:

“ ...La zona interessata dal progetto dal punto di vista morfologico è caratterizzata da rilievi collinari con sommità sub-pianeggianti, a quota media di circa 250 m slm, con locali fenomeni erosivi di tipo calanchivo (c.d. “Balze del Valdarno”), legate al ringiovanimento del paesaggio avvenuto in età plio-pleistocenica. Questo sollevamento ha determinato la reincisione dell’Arno nel suo corso dei sedimenti alluvionali già depositi in precedenza, in un alveo attualmente piuttosto incassato, con scarpate alte 50 – 70 m, nel tratto compreso tra l’imposta della diga di Levane ed il Ponte del Romito (c.d. Valle dell’Inferno), a monte di quest’area incassata è situata la vasta piana di Laterina, cui è attribuito un importante ruolo di laminazione, delimitata ancora più a monte dalla diga di La Penna.

Geologicamente ci si trova nel settore tirrenico dell’Appennino costituito da una successione di formazioni che è complessivamente noto con il nome di Falda Toscana, formata da due serie stratigrafiche distinte:

- Serie Toscana Carbonatica, con formazioni calcaree, deposte in ambiente marino di acque relativamente poco profonde;
- Serie Toscana Turbiditica, formata da unità prevalentemente terrigene deposte negli stessi bacini, o in quelli limitrofi, che si sono approfonditi in periodi successivi; stratigraficamente essa si trova al di sopra della serie precedente, a chiusura del ciclo deposizionale della Falda Toscana.

E’ possibile individuare tre zone nell’area in studio, con caratteristiche geologiche omogenee: una zona d’imposta (A), compresa tra la diga e il viadotto dell’autostrada (c.d. “Valle dell’Inferno”), una zona compresa tra questo attraversamento ed il ponte del Romito (B), e la vasta piana alluvionale di Laterina (C), fino alla stretta di La Penna.(figg.2.1 e 2.2) “

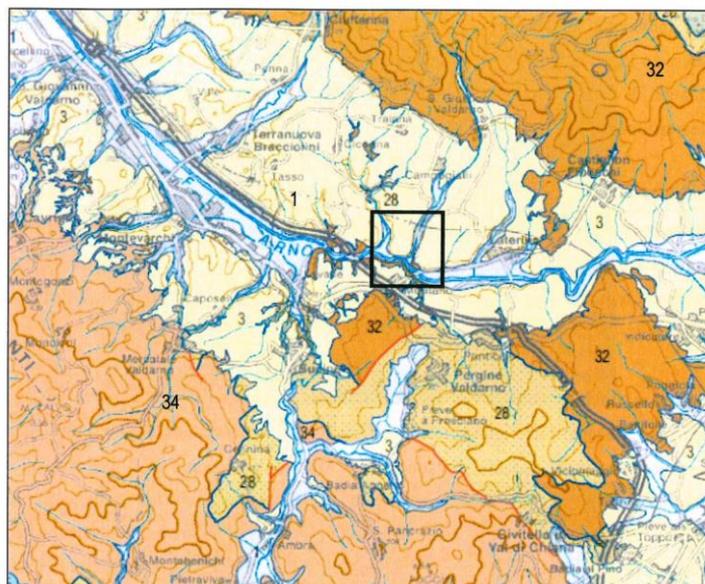


Fig.2.1 Stralcio della Carta Geologica Regionale 1:250.000 della Regione Toscana (non in scala). 1: depositi alluvionali attuali e Formazione di Monte Falterona (Chattiano – Langhiano); 34: Dominio Toscano, Unità della Falda Toscana, Formazione – Miocene inf.)

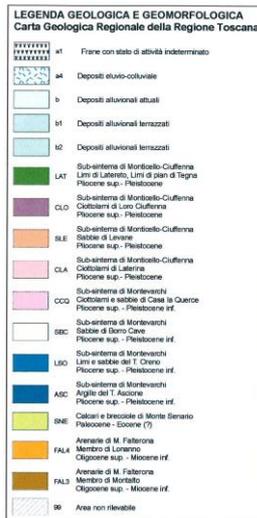
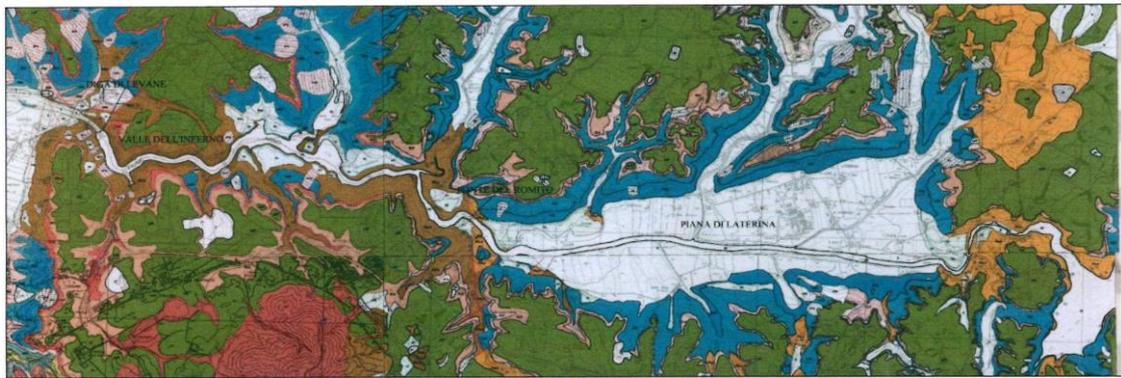


Fig.2.2 Carta geologica dell'invaso di Levene 1:10.000, da CARG Regione Toscana (non in scala).

La successione stratigrafica a livello locale   quindi costituita dal substrato pre - neogenico di arenaceo - siltitico, di origine torbiditica, con un assetto a monoclinale, immergente verso nord est con inclinazioni medie intorno ai 20° - 30°. Su questo basamento torbiditico poggiano, in discordanza angolare, tutti i sedimenti fluvio - lacustri neogenici pi  recenti, che formano estesi affioramenti suborizzontali nella zona dell'invaso, costituendo parte delle zone di dorsale collinare altimetricamente pi  elevate nell'area in studio.

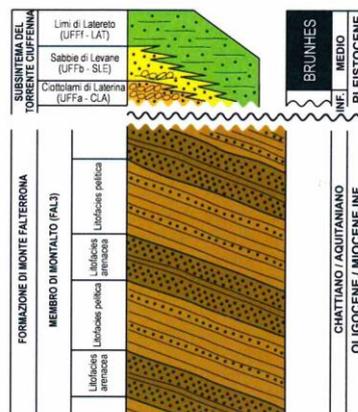


Fig.2.3 Assetto litostratigrafico schematico dell'area dell'invaso. Le arenarie torbiditiche (Arenarie di Monte Falterona, membro di Montalto) sono coperte, secondo una superficie erosiva suborizzontale, dai depositi fluvio - lacustri neogenici, in debole discordanza angolare.

L'assetto a monoclinale delle arenarie e delle coperture (fig. 2.3) fa sì che le sponde dell'invaso presentino morfologie nettamente diverse dalla sponda sinistra alla destra: infatti la giacitura delle arenarie è a franapoggio in sinistra e a reggipoggio in destra, con pendenze delle sponde molto più accentuate in quest'ultima. In sponda sinistra infatti le pendenze medie del versante sono di circa 25° - 30°, all'incirca corrispondenti alle inclinazioni degli strati, mentre in destra si osservano, per un tratto piuttosto ampio, pendenze dell'ordine dei 65° - 80°. Questa marcata dissimmetria delle sponde è accompagnata anche da una presenza molto più diffusa dei terreni di copertura in sponda sinistra, con affioramenti anche cospicui delle coltri di alterazione delle arenarie stesse, mentre in destra si hanno pareti rocciose anche subverticali, dalla sede d'imposta fino al Ponte del Romito.

Procedendo a monte verso la diga di La Penna diventano preponderanti gli affioramenti dei termini fluvio – lacustri neogenici, che ricoprono il fondovalle della piana alluvionale di Laterina, e costituiscono parte essenziale dei rilievi collinari associati.”

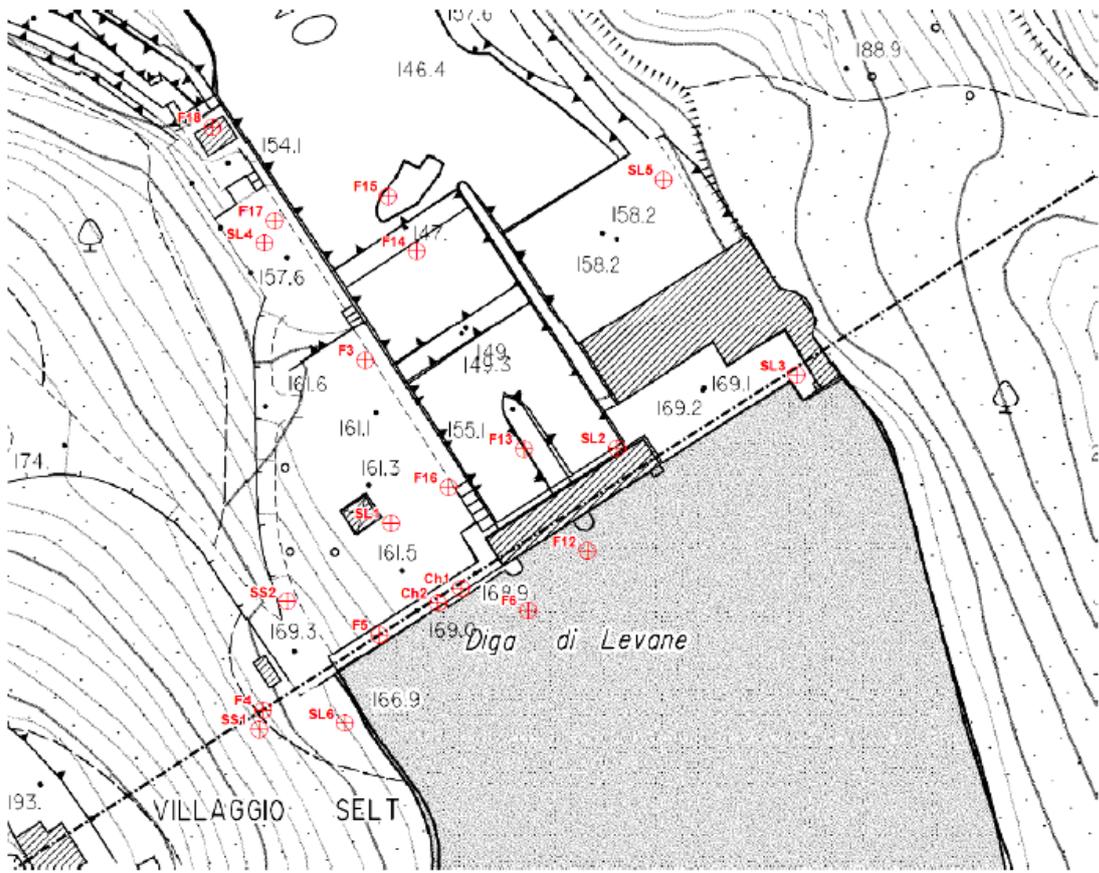
3. Caratterizzazione della sezione d'imposta.

Nell'ambito del progetto sono state eseguite nuove indagini per la caratterizzazione dei terreni d'imposta, riassunte nell'elaborato R5 – Relazione Geologica, consistenti in tre nuovi sondaggi, SS1 e SS2 a carotaggio continuo, più un altro, SS1 bis, a distruzione di nucleo, ubicati in spalla sinistra dell'imposta. Il totale complessivo dei sondaggi, eseguiti in varie epoche a partire dalla fase di prima realizzazione (1954), è riassunto nella seguente tabella:

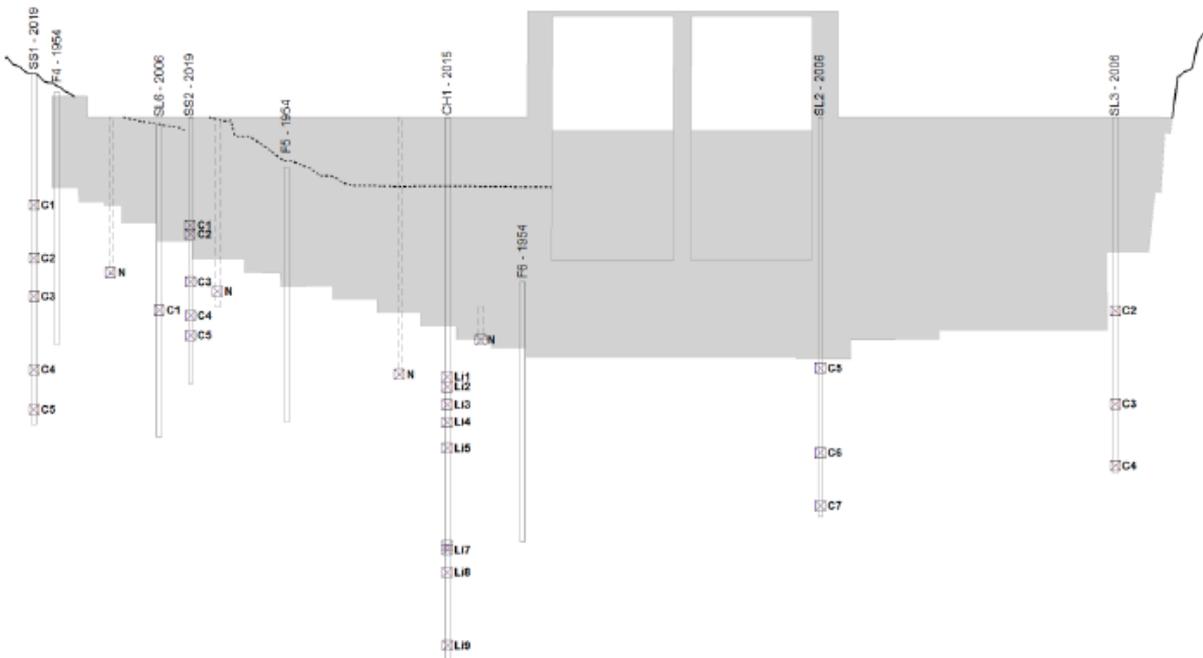
| Sondaggio | Anno | Tipologia perforazione | Quota testa foro | Profondità (m da P.C.) |
|-----------|------|------------------------|------------------|------------------------|
| F0 | 1954 | Carotaggio cont. | 176,17 | 25,10 |
| F1 | 1954 | Carotaggio cont. | 171,80 | 41,50 |
| F2 | 1954 | Carotaggio cont. | 163,43 | 28,30 |
| F3 | 1954 | Carotaggio cont. | 150,50 | 17,80 |
| F4 | 1954 | Carotaggio cont. | 171,80 | 28,40 |
| F5 | 1954 | Carotaggio cont. | 163,43 | 28,70 |
| F6 | 1954 | Carotaggio cont. | 150,50 | 29,30 |
| F7 | 1954 | Carotaggio cont. | 145,50 | 36,30 |
| F8 | 1954 | Carotaggio cont. | 146,00 | 34,00 |
| F9 | 1954 | Carotaggio cont. | 207,28 | 64,00 |
| F11 | 1954 | Carotaggio cont. | 149,46 | 19,50 |
| F12 | 1954 | Carotaggio cont. | 146,00 | -- |
| F13 | 1954 | Carotaggio cont. | 146,00 | -- |
| F14 | 1954 | Carotaggio cont. | 146,00 | -- |
| F15 | 1954 | Carotaggio cont. | 146,00 | -- |
| F16 | 1954 | Carotaggio cont. | 150,50 | 12,50 |
| F17 | 1954 | Carotaggio cont. | 153,00 | 15,00 |
| F18 | 1954 | Carotaggio cont. | 150,50 | 8,80 |
| SL1 | 2006 | Carotaggio cont. | 161,30 | 35,00 |
| SL2 | 2006 | Carotaggio cont. | 169,00 | 45,00 |
| SL3 | 2006 | Carotaggio cont. | 169,00 | 40,00 |
| SL4 | 2006 | Carotaggio cont. | 157,60 | 25,00 |
| SL5 | 2006 | Carotaggio cont. | 158,20 | 25,00 |
| SL6 | 2006 | Carotaggio cont. | 168,00 | 35,00 |
| Ch1 | 2015 | Carotaggio cont. | 169,00 | 62,00 |
| Ch2 | 2015 | Distruzione | 169,00 | 62,00 |
| SS1 | 2019 | Carotaggio cont. | 174,00 | 40,00 |
| SS2 | 2019 | Carotaggio cont. | 169,00 | 30,00 |

Tab. 3.1. Riepilogo dei sondaggi eseguiti nelle varie campagne geognostiche.

L'ubicazione dei nuovi sondaggi è riportata nella fig. 3.1 a, mentre la sezione coordinata della zona d'imposta è quella di fig. 3.21 b, il sondaggio SS1 bis, della profondità di 6.5 m, è ubicato accanto al SS1:



a)



b)

Fig.3.1 Ubicazione dei sondaggi in zona d'imposta, con i nuovi sondaggi eseguiti nel 2019.

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati, su cui sono state eseguite prove di laboratorio (tab. 3.2), ed in ogni sondaggio è stato inserito un tubo piezometrico aperto del diametro di due pollici per la misurazione della quota piezometrica dell'acqua. Si sono eseguite sei prove di permeabilità *Lugeon* nell'ammasso roccioso ed una prova *Lefranc* nei depositi superficiali nel foro denominato SS1bis, perforato nei pressi del sondaggio SS1 a tale scopo. Si sono eseguite anche quattro prove SPT per la determinazione della resistenza alla penetrazione dei depositi sciolti (vedi tab. 3.3). In entrambi i fori si sono condotti due log con sonda ottica (OPTV) per verificare le condizioni geomeccaniche - strutturali dell'ammasso roccioso.

| SOND. | PROF. (m) | PERFORAZIONE | SPT | CAMPIONI | LEFRANC | LUGEON | OPTV | PIEZOMETRO |
|---------|-----------|--------------|-----|------------------------|---------|--------|-------------------------|-------------------|
| SS1 | 40 | Carotaggio | 2 | 5 roccia 2 deposito | | 4 | Da 12 a 35 m da p.c. | Tubo aperto 2" |
| SS1 bis | 6,5 | Distruzione | | | 1 | | | |
| SS2 | 30 | Carotaggio | 2 | 5 roccia 2 deposito | | 2 | Da 15 a 30 m da p.c. | Tubo aperto 2" |

Tab. 3.2. Riepilogo dei sondaggi eseguiti nella campagna 2019.

| SONDAGGIO | PROFONDITA' (m da p.c.) | N. SPT |
|-----------|-------------------------|----------|
| SS1 | 3.3 | 8-6-13 |
| SS1 | 5.5 | 28-38-R |
| SS2 | 3 | 4-8-4 |
| SS2 | 5 | 13-20-19 |

Tab. 3.3. Riepilogo delle prove SPT condotte nei sondaggi della campagna 2019.

In spalla sinistra, dall'insieme degli elementi raccolti (documentazione storica, caratteristiche litostratigrafiche, assetto morfologico locale attuale, probabile rimodellamento antropico), si ipotizza l'esistenza di una coltre di materiale detritico caotico la cui presenza sia da mettere in relazione all'assetto strutturale locale caratterizzato da andamento a franapoggio degli strati con presenza di livelli pelitici e la cui morfologia sia imputabile al rimodellamento locale (soprattutto antropico). Il versante sinistro, nella sua parte a valle dell'imposta, risulta caratterizzato da morfologie più marcatamente gravitative: a monte della strada di accesso al villaggio SELT è ben visibile una scarpata di forma arcuata, concava e particolarmente acclive; a valle invece è riconoscibile una forma convessa a bassa acclività priva di affioramenti del substrato (fig.3.3/a). Nella fig. 3.3/b) è visibile la sezione trasversale alla diga, lungo la sponda sinistra, con i depositi di riporto e di frana presenti a valle, presenti nello stralcio planimetrico di fig. 3.2:

In sintesi viene confermato l'assetto litostratigrafico già descritto nel progetto del 2015: un ammasso impostato nelle Arenarie Monte Falterona, a giacitura monoclinale immergente verso NE, con pendenze intorno ai 25°, che vede gli strati a franapoggio in sponda sinistra e a reggipoggio in destra, che determinano pendenze dolci in sinistra invaso e subverticali sulla sponda opposta (destra invaso). I sondaggi del 2019 hanno altresì permesso di caratterizzare in maniera più dettagliata i depositi sciolti sovrastanti il flysch AMF, e di definire i parametri geotecnici necessari alla progettazione delle opere provvisorie e definitive connesse alla nuova configurazione della diga.

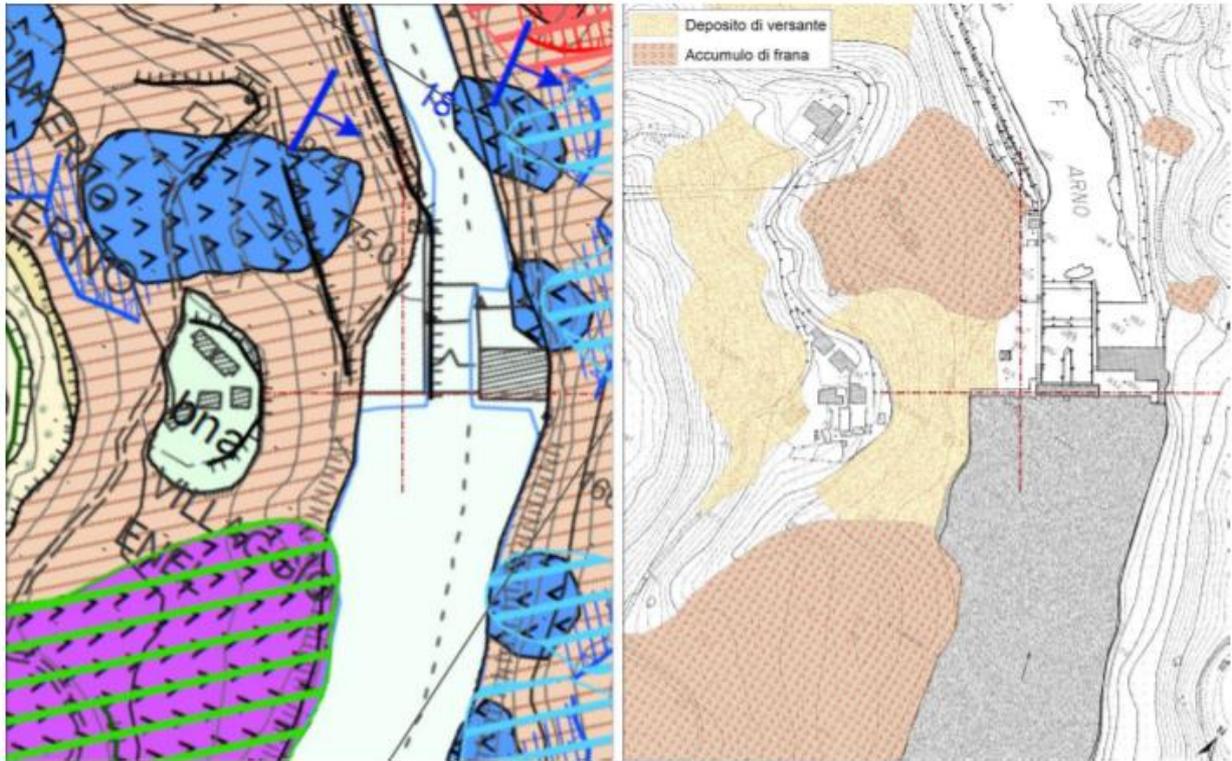
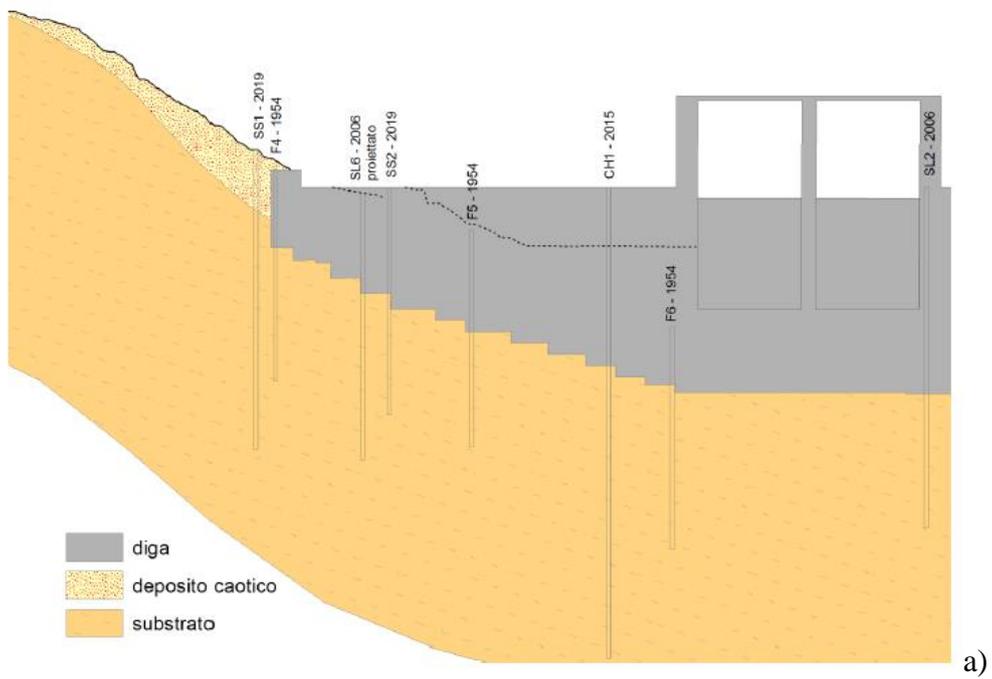


Fig.3.2 Planimetria della zona d'imposta con i principali corpi di frana cartografati, a sinistra negli elaborati ENEL del 2015, a destra nei rilievi originali del 2019.



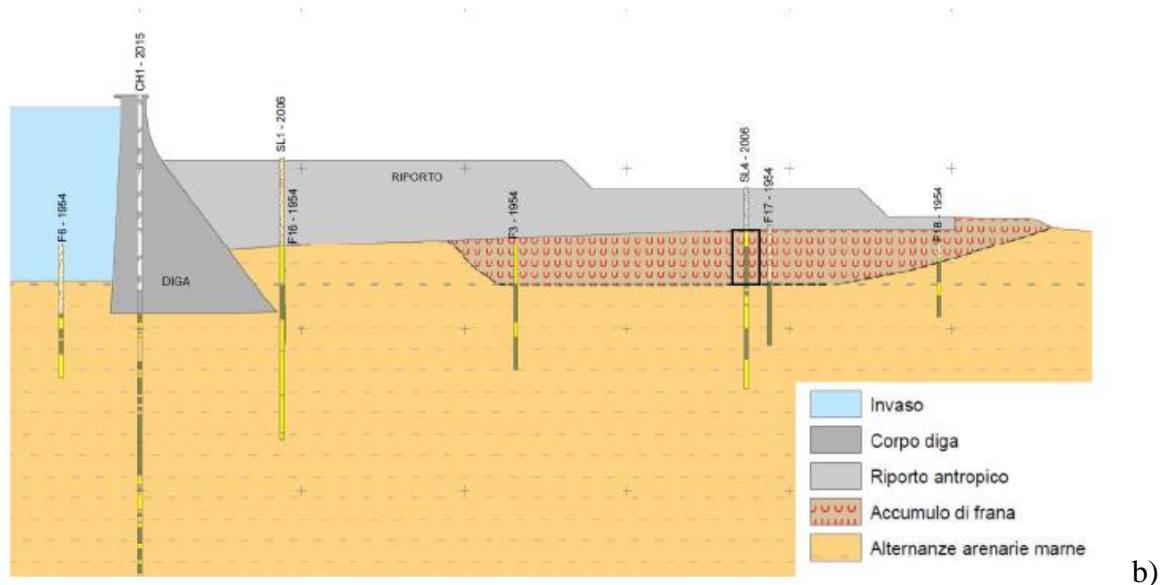


Fig.3.3 Sezione geolitologica interpretativa dell'imposta longitudinale a) e trasversale b), con il corpo detritico in sponda sinistra, al di sopra dell'ammasso arenaceo – pelitico a franapoggio della formazione AMF.

La zona in frana in sinistra era già stata segnalata nel progetto originario (Dal Piaz, 1955/56), e presenta spessori variabili tra 5.80 e 8.50 m. Le due frane, a valle e a monte imposta, sono considerate nel complesso quiescenti, nei vari documenti ufficiali. A valle imposta il substrato è stato incontrato nei sondaggi a 11 m dal p.c., e gli autori della relazioni escludono interferenze con il corpo diga.

La sponda destra, subverticale, presenta incisioni trasversali, di cui una in particolare subito a valle dell'imposta (fig. 6.1 pag. 32 elab. R05), che sembrerebbe marcare una lineazione di faglia subverticale nelle AMF, pur essendo la zona molto vegetata e non ben rilevabile.

Il fondo alveo a valle, da rilievi batimetrici recenti, mostra affioramenti litoidi del substrato a quote di circa 141 m s.l.m., e, considerando che nel 1956 (rilievi storici del progetto originario) era quotato a m 145 s.l.m., deve essere stato soggetto a considerevole erosione.

IDROGEOLOGIA: nei sondaggi 2019 sono state condotte prove Lugeon (ammasso flyschoid) e Lefranc (coltre detritica), che hanno fornito, nel primo caso, valori mediamente alti nei tratti superiori, e decrescenti verso il basso (< 20 m di profondità), da 10^{-6} a 10^{-8} m/s, presumibilmente per chiusura delle fratture. Il valore medio misurato per l'ammasso è stato $K = 8.6 \cdot 10^{-6}$ m/s. Nella coltre il valore medio di K è invece risultato pari a $6.8 \cdot 10^{-7}$ m/s, più basso della porzione superficiale delle arenarie.

Le prove di laboratorio e in sito eseguite nei nuovi sondaggi 2019 hanno completato il quadro conoscitivo dal punto di vista geognostico e geotecnico già abbastanza completo nel 2015, la sintesi delle prove eseguite sui materiali costituenti l'ammasso roccioso arenaceo/pelitico è riportata nella tab. 8.5 a pag. 50 della relaz. geologica (R05), mentre a pag. 73 (tab. 9.6 e fig. 9.8) dello stesso elaborato è riportata una sintesi dello stato di fratturazione, espresso in termini qualitativi. Nelle pagg. 62 – 66 sono riportati i *logs* dei sondaggi, con l'andamento di RQD e GSI (*Geological Strength Index*, Marinos & Hoek, 2000), quest'ultimo utilizzato estesamente per la parametrizzazione dell'ammasso roccioso in termini di resistenza.

Sintetizzando la situazione è la seguente:

- In sinistra invaso e nell'imposta la fratturazione dell'ammasso roccioso è maggiore che in destra;
- I livelli marnosi e siltitici sono più fratturati di quelli arenacei;
- Nel sondaggio SS2 (sinistra imposta) è stato rinvenuto un livello brecciato a circa 30 m che non è stato rinvenuto negli altri fori di sondaggio, la cui presenza è stata confermata parzialmente dai dati delle prove geofisiche (*down hole* in foro).

L'elaborazione dei dati acquisiti con la sonda ottica OPTV nei sondaggi 2019 ha permesso di rielaborare l'assetto geostrutturale delle principali famiglie di giunti rilevate nell'ammasso arenaceo/pelitico, che è riportato nelle pagg. 82 ÷ 88 dell'elab. R05. L'insieme dei sets è riportato nella seguente tabella 3.4:

| Famiglie | SS1 | SS2 | CH1 | SL2 | SL3 |
|----------|--------|--------|--------|------------|--------------|
| S0 | 49/24 | 43/30 | 62/32 | 5/24 (*) | 12/28 (***) |
| | | | | 87/28 (**) | 78/24 (****) |
| K1 | | 287/47 | | 301/65 | |
| K2 | 229/56 | 220/67 | 222/64 | 201/55 | |
| K3 | 253/60 | 257/55 | 262/46 | 249/67 | 252/66 |
| K4 | | 287/82 | 303/73 | | |
| K5 | 105/68 | 129/73 | 126/70 | | 121/80 |
| K6 | | | 332/72 | | 0/66 |
| K7 | | | 166/66 | | |
| K? | 350/45 | | | | |
| K? | | | | | 162/24 |

Tab. 3.4. Famiglie di discontinuità ricavate da OPTV e BHTV (* profondità<41m; ** profondità>41m; *** profondità<22m; **** profondità>22m).

L'orientazione dei principali sets (K1, K2, K3 e Ks) è sovrapponibile ai dati del progetto 2015, mentre sono state rilevate nuove famiglie (K4, etc) in aggiunta alle precedenti, sia pur meno rappresentate dal punto di vista del peso statistico complessivo.

Un'ulteriore caratterizzazione dell'ammasso è stata fornita dalle prove geofisiche eseguite in foro (pagg. 90 ÷ 98, elab. R05), in cui si sono analizzate nel dettaglio le V_p misurate nei *down holes* in foro, da cui sono state elaborate correlazioni in termini di qualità dell'ammasso, espresso come valore Q di Barton. In sintesi l'ammasso è stato classificato come da discreto a mediamente scadente in sinistra, con due livelli in particolare di qualità decisamente scadente, a - 34 e a - 54 m dal p.c. A titolo di esempio si riporta la classificazione dell'ammasso espressa secondo vari indici (Q, RQD e GSI) nel sondaggio CH1, in prossimità della mezzeria:

| RQD (%) | Qualità ammasso (Deere (1964)) | Q | Qualità ammasso (Barton et al., 1974) |
|----------|--------------------------------|------------|---------------------------------------|
| > 75 | Molto buona | > 0.40 | eccezionalmente scadente |
| 25 - 50 | Scadente | 0.01 - 0.1 | estremamente scadente |
| 50 - 75 | Mediocre | 0.1 - 1 | molto scadente |
| 75 - 90 | Buona | 1 - 4 | scadente |
| 90 - 100 | Molto buona | 4 - 10 | discreta |
| | | 10 - 40 | buona |
| | | 40 - 100 | molto buona |
| | | 100 - 400 | estremamente buona |
| | | 400 - 1000 | eccezionalmente buona |

| RQD | JCond89 | GSI | profondità da p.c. (m) | indice Q | dettaglio classe di qualità Q |
|-----|---------|-----|------------------------|----------|-------------------------------|
| 40 | 21.0 | 52 | 26 | 2.2 | 1 - 4 |
| 39 | 21.0 | 51 | 27 | 2.9 | |
| 30 | 20.5 | 46 | 28 | 2.2 | |
| 30 | 22.0 | 48 | 29 | 3.0 | |
| 40 | 19.7 | 50 | 30 | 2.2 | |
| 50 | 22.0 | 58 | 31 | 2.8 | |
| 50 | 21.0 | 57 | 32 | 3.6 | |
| 60 | 20.8 | 61 | 33 | 0.9 | |
| 66 | 20.2 | 63 | 34 | 0.9 | |
| 80 | 22.0 | 73 | 35 | 1.3 | |
| 80 | 21.7 | 73 | 36 | 2.3 | 1 - 4 |
| 84 | 22.0 | 75 | 37 | 4.0 | 4 - 6 |
| 90 | 21.5 | 77 | 38 | 5.3 | |
| 90 | 23.0 | 80 | 39 | 5.2 | |
| 82 | 22.0 | 74 | 40 | 8.1 | > 6 |
| 70 | 21.4 | 67 | 41 | 5.6 | 4 - 6 |
| 70 | 21.4 | 67 | 42 | 4.1 | |
| 76 | 22.0 | 71 | 43 | 9.0 | > 6 |
| 90 | 20.0 | 75 | 44 | 7.3 | |
| 90 | 22.0 | 78 | 45 | 8.7 | |
| 88 | 22.0 | 77 | 46 | 7.4 | |
| 80 | 22.3 | 74 | 47 | 5.2 | |
| 80 | 22.0 | 73 | 48 | 2.9 | 1 - 4 |
| 81 | 20.0 | 71 | 49 | 3.8 | |
| 90 | 22.0 | 78 | 50 | 5.3 | 4 - 6 |
| 90 | 20.0 | 75 | 51 | 2.4 | 1 - 4 |
| 90 | 19.0 | 74 | 52 | 9.1 | > 6 |
| 70 | 23.0 | 70 | 53 | 8.3 | > 6 |
| 70 | 20.8 | 66 | 54 | 2.4 | 1 - 4 |
| 70 | 22.0 | 68 | 55 | 0.9 | > 6 |
| 60 | 19.5 | 59 | 56 | 2.4 | 1 - 4 |
| 60 | 22.0 | 63 | 57 | 7.5 | > 6 |
| 60 | 20.0 | 60 | 58 | 5.5 | 4 - 6 |
| 61 | 19.0 | 59 | 59 | 2.4 | > 6 |
| 70 | 22.0 | 68 | 60 | 1.5 | 1 - 4 |
| 70 | 16.0 | 59 | 61 | 2.4 | |
| 70 | | 67 | 62 | 2.4 | |

Fig. 3.4 Sondaggio CH1: confronto fra le variazioni di qualità d'ammasso classificate secondo i diversi indici (RQD, GSI e Q).

Nell'ambito della caratterizzazione dell'ammasso si è utilizzato principalmente il criterio di *Hoek & Marinos* (2000) per la stima del parametro **GSI**, relativamente ai sondaggi: SS1, SS2, CH1, SL2 e SL3, in asse diga, basandosi sulla formula:

$$GSI = 1.5 J_{cond89} + RQD/2$$

Dove **Jcond89** rappresenta il contributo al conteggio del Rating secondo la classificazione usuale di *Bieniawski* (1989), considerando la sola somma delle condizioni geometriche dei giunti (apertura + riempimento + rugosità + persistenza + alterazione).

Dall'elaborazione metro per metro dei valori relativi ai sondaggi, sia per le frazioni arenacee, sia per quelle pelitiche, sia per le loro alternanze, si ottiene un **valore medio di GSI pari a 62**.

Dalle **prove di laboratorio** sono stati integrati i valori ricavati nella campagna del 2015 con nuovi campioni, prelevati nei sondaggi, secondo la tab. 3.5:

| sondaggio | campioni | |
|-----------|----------|-----------------|
| | arenaceo | marnoso-siltoso |
| CH1 | Li4 | Li2 |
| | Li6 | |
| | Li9 | |
| SL2 | C5 | C6 |
| | C7 | |
| SL3 | C2 | C3 |
| SL6 | / | C1 |
| SS1 | C1 | C2 |
| | C4 | C3 |
| | | C5 |
| SS2 | C1 | C4 |
| | C3 | C5 |

Tab. 3.5 Sondaggi e campioni utilizzati per ricavare i valori di σ_c , Et50 e peso di volume P_v caratteristici degli intervalli arenacei e marnoso-siltosi.

I parametri su cui si è concentrata l'attenzione sono stati la resistenza a compressione semplice σ_c , il valore del modulo elastico tangente al 50% della σ_c (Et₅₀) ed il peso di volume P_v . La sintesi dei valori misurati è la seguente:

| parametri | litotipi | |
|------------------------|----------|-----------------|
| | arenaceo | marnoso-siltoso |
| σ_c (Mpa) | 36.30 | 33.90 |
| Et ₅₀ (Mpa) | 8555 | 7872 |
| Peso Vol. reale (Mpa) | 26.40 | 26.76 |

Tab. 3.6 Valori di σ_c , Et50 e peso di volume caratteristici degli intervalli arenacei e marnoso-siltosi.

La relazione geologica allegata al progetto integra quanto già nel 2015 descritto riguardo l'ammasso roccioso arenaceo – pelitico – marnoso delle Arenarie del Monte Falterona (AMF). Il quadro conoscitivo, dal punto di vista geologico e geotecnico, già a suo tempo sufficientemente delineato, sulla base dei nuovi sondaggi eseguiti risulta esauriente ai fini progettuali. Le caratteristiche litostratigrafiche sono ben definite al di sotto della diga, ed il volume significativo dell'ammasso roccioso, ai fini progettuali, è investigato in maniera soddisfacente.

L'insieme delle prove geotecniche e geofisiche eseguite sui terreni dell'imposta descrive le principali caratteristiche fisiche e meccaniche dell'ammasso roccioso, nonché i parametri in sito necessari per caratterizzarlo dal punto di vista idrogeologico e geofisico (coefficiente di permeabilità, velocità V_p e V_s etc.). Nella caratterizzazione dei parametri sono stati utilizzati anche i dati delle precedenti campagne d'indagine: 2006 (SL1, SL2, SL6) e 2015 (CH1, CH2).

Laddove il quadro conoscitivo risulta meno approfondito è sui materiali della sponda sinistra identificati come frane quiescenti: i due corpi cartografati in fig. 3.2 sono stati investigati, dopo il progetto originario del 1954 (sondaggi F16 ÷ F18), con il solo SL4 nel 2006, pertanto mancano informazioni più dettagliate ed aggiornate sulle geometrie e sulle caratteristiche geotecniche di questi dissesti.

Nella “Relazione di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica” (elab. R16) viene modellata la risposta dell’ammasso roccioso alle nuove sollecitazioni imposte dalle opere di sovralzato. Per effettuare le verifiche di sicurezza sulla diga si sono utilizzati i parametri “c” e “φ” per descrivere la resistenza al taglio dell’ammasso roccioso in fondazione è stata utilizzata la metodologia proposta da *Hoek, Carranza – Torres & Corkum* (2002), che fa riferimento ai parametri ricavati dal criterio di rottura generale proposto da *Hoek & Brown* (1980, 1997). Questo, a differenza del criterio di *Mohr – Coulomb* applicabile per i terreni sciolti, fissa i loro valori in funzione del campo tensionale di applicazione, secondo questa formula generale:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} * \left(m_m * \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s_m \right)^{\alpha_m}$$

Nella quale:

σ_1 = tensione principale maggiore

σ_3 = tensione principale minore

σ_{ci} = resistenza a compressione semplice della roccia integra

m_m = costante empirica adimensionale per l’ammasso roccioso

s_m = costante empirica adimensionale per l’ammasso roccioso

α_m = costante empirica adimensionale per l’ammasso roccioso

Le costanti empiriche m_m , s_m ed α_m sono funzione del GSI (*Geological Strength Index*), e del fattore di disturbo D dello scavo dell’ammasso roccioso, secondo le seguenti relazioni:

$$m_m = m_i * e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D} \right)}$$

$$s_m = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right)}$$

$$\alpha_m = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} * \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

Dove m_i = costante empirica adimensionale per la roccia integra.

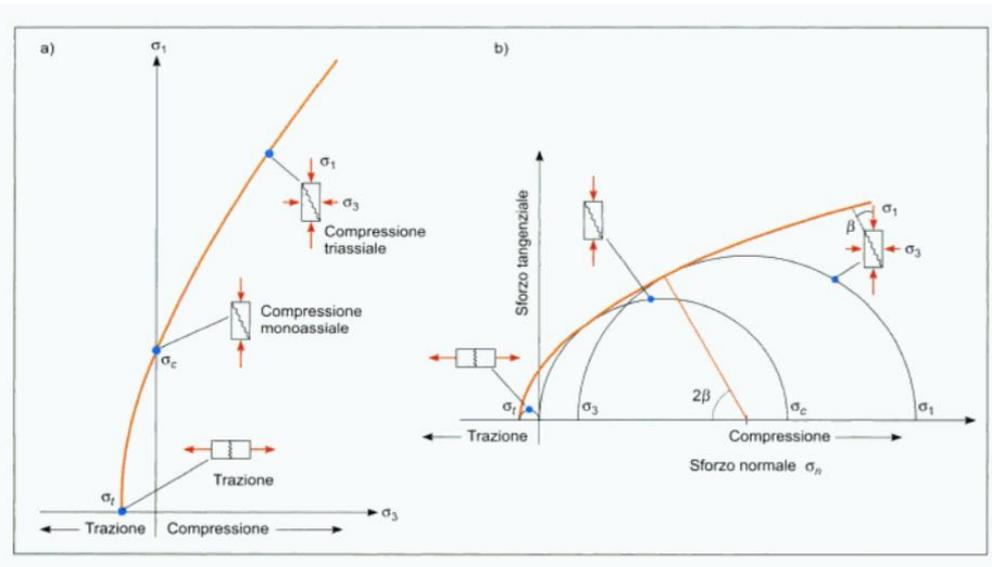


Fig. 3.5 Involupi di rottura del criterio di **Hoek & Brown**, in funzione degli sforzi principali σ_1' e σ_3' (a), e degli sforzi normali e tangenziali σ e τ (b). Sono rappresentate le diverse condizioni di sforzo per la matrice rocciosa (da progetto 2015).

Gli autori della relazione per elaborare i dati delle prove di laboratorio hanno utilizzato nella relazione 2019 un foglio di calcolo *excel*, in cui si può osservare la sintesi dei parametri suddetti:

| DATI DI INPUT | |
|----------------------|---|
| mi = | 7 |
| GSI = RMR -5 = | 60 |
| D Tabella 2= | 0 per avere valori residui inserire D=1 |
| UCS (MPa)= | 35 |
| unit weight (KN/m3)= | 25 |
| K0= | 1 |
| Cover (m)= | 27 |

| CALCOLI INTERMEDI | | |
|------------------------|-------------|---|
| s= | 0,011743628 | |
| a= | 0,502840501 | |
| mb= | 1,677557255 | |
| σ_{cm} (Mpa)= | 3,745298766 | resistenza a compressione monoassiale ammasso |
| σ_t (Mpa)= | -0,24501518 | resistenza a trazione ammasso |
| σ_{cg} (Mpa)= | 2,394549198 | resistenza globale ammasso |
| σ_{3max} (Kpa)= | 675 | |
| s3n = | 0,019285714 | |
| Em (Mpa)= | 10520,44287 | se UCS<100 Mpa |
| Em (MPa)= | 17782,7941 | se UCS >100 Mpa |

| MOHR COULOMB FAILURE ENVELOPE | |
|-------------------------------|-----|
| friction angle ϕ' (°)= | 50 |
| c' (kPa) = | 642 |

Fig. 3.6 Foglio di calcolo con implementazione delle correlazioni descritte nel testo. Il valore di res. a compressione monoassiale $\sigma_{cm} = 3,74$ MPa appare incongruente con quanto sin qui assunto (33,8 MPa).

Nello stesso elaborato (R16) vengono nuovamente ripresi i dati della relazione geologica (R05), in forma sintetica, per quanto riguarda la caratterizzazione dell'ammasso roccioso in termini di GSI, c' , ϕ' , E, nei sondaggi SS1, SS2, CH1, SL2 e SL3, per quanto riguarda la spalla sinistra, la parte centrale e la spalla destra, rispettivamente (pagg. 22 – 23). Di seguito vengono quindi riassunti

gli stessi parametri per zone omogenee, anziché riportarli in funzione della profondità dei singoli sondaggi:

| Area di riferimento | Parametri di resistenza di picco | | Parametri di resistenza di residui | | E (MPa) | E0 (MPa) | K m/s | Qult (MPa) |
|---------------------|----------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------|----------|--------|------------|
| | c_p' (KPa) | ϕ_p' (°) | c_r' (KPa) | ϕ_r' (°) | | | | |
| a. Spalla sinistra | 190 | 52 | 70 | 35 | 6.200 | 15.560 | 5x10-6 | 7 |
| b. Parte centrale | 470 | 46 | 250 | 32 | 8.900 | 22.250 | 10-6 | |
| c. Spalla destra | 1.083 | 52 | 547 | 45 | 18.708 | 46.700 | 10-6 | |

Tab. 3.7 Sintesi dei parametri geotecnici assunti nelle verifiche di stabilità del corpo diga (Relazione di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica, R16).

I parametri di cui sopra sono riferiti all'ammasso roccioso presente in fondazione alla diga e sono stati impiegati per le verifiche di stabilità della diga stessa. Si sono indicati sia i parametri di resistenza di picco (c_p' , ϕ_p') che i parametri residui (c_r' , ϕ_r').

L'ammasso roccioso viene quindi caratterizzato in termini dinamici, per ottenerne la risposta alle piccole deformazioni. Sono state in questo senso utilizzate le velocità sismiche V_p , da cui sono stati ricavati, tramite correlazioni (pag. 25), il coefficiente di Poisson dinamico ν_d , il modulo di taglio a piccole deformazioni G_o , ed il modulo di Young din. E_d , che risultano, rispettivamente:

$$\begin{aligned} \nu_d &= 0.42 \\ G_o &= 5.480 \text{ MPa} \\ E_d &= 15.560 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Considerando che in spalla sinistra il modulo di Young statico risulta di 6.200 MPa, ed assumendo un rapporto $E_{stat.}/E_{din.} = 0.4$, si è estrapolato:

- Spalla sinistra: $E = 6.200 \text{ MPa}$, $E0 = 15.560 \text{ MPa}$;
- Parte centrale: $E = 8.900 \text{ MPa}$, $E0 = 22.250 \text{ MPa}$;
- Spalla destra: $E = 18.708 \text{ MPa}$, $E0 = 46.700 \text{ MPa}$.

E' stata quindi valutata la capacità portante dell'ammasso, sulla base di correlazioni di letteratura, dai valori di RQD e resistenza a compressione σ_c , ottenendo un valore comune pari a:

$q_{ult} = 7 \text{ MPa}$, che viene quindi preso a riferimento nelle verifiche.

Per quanto riguarda i materiali sciolti costituenti la coltre detritica in spalla sinistra si sono utilizzati i dati provenienti dalle prove in sito dei sondaggi 2019 SS1 e SS2 (n. 4 prove SPT), e sono state fatte le usuali correlazioni da letteratura, in termini di densità relativa (D_r %), c' e ϕ' (pagg. 27 ÷ 29). Sulla base dei dati è stato attribuito un valore cautelativo $\phi' = 40^\circ$ ai terreni di copertura. I valori di coefficiente di permeabilità sono stati ricavati, come precedentemente descritto, dalle prove *Lefranc* eseguite nel corso dei sondaggi, e risultano pari a $k = 6.8 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. La sintesi dei dati sulla coltre è riportata in tab. 3.8:

| Descrizione granulometrica | Parametri di resistenza | | K m/s | E (MPa) |
|-----------------------------|-------------------------|-------------|--------|---------|
| | c' (KPa) | ϕ' (°) | | |
| Ghiaia e Sabbia poco limosa | 0 | 40 | 7x10-7 | 20 |

Tab. 3.8 Sintesi dei parametri geotecnici assunti per la coltre detritica in spalla sinistra.

La relazione di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica allegata al progetto risulta complessivamente meno chiara nella parametrizzazione dei materiali dell'ammasso roccioso rispetto a quanto esposto nel progetto 2015: a fronte di un approccio sostanzialmente analogo in termini geomeccanici (criterio di resistenza di Hoek & Brown, Hoek & Marinos), dipendente dallo stato tensionale di riferimento, è descritto meno linearmente il processo analitico che conduce alla sintesi finale dei dati. Alcuni valori geotecnici attribuiti all'ammasso roccioso, inoltre, appaiono affetti da errori, presumibilmente materiali (vedi foglio di calcolo Excel, valore cerchiato in rosso della resistenza a compressione semplice, pari a 3,74 MPa, laddove si è sempre assunto un valore medio di 33,8 Mpa).

I valori di resistenza relativi ai materiali della coltre detritica sono desunti da un numero esiguo di prove (soli 4 SPT nei sondaggi), pertanto andrebbero integrati da ulteriori dati, con nuove indagini ad hoc.

4. Sismicità del sito

Il database DISS 3.1.2, reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, non individua sorgenti sismogenetiche nelle immediate vicinanze del sito di progetto. Ampliando l'area di osservazione si individuano le seguenti sorgenti sismogenetiche, di tipo composito (figura 4.1):

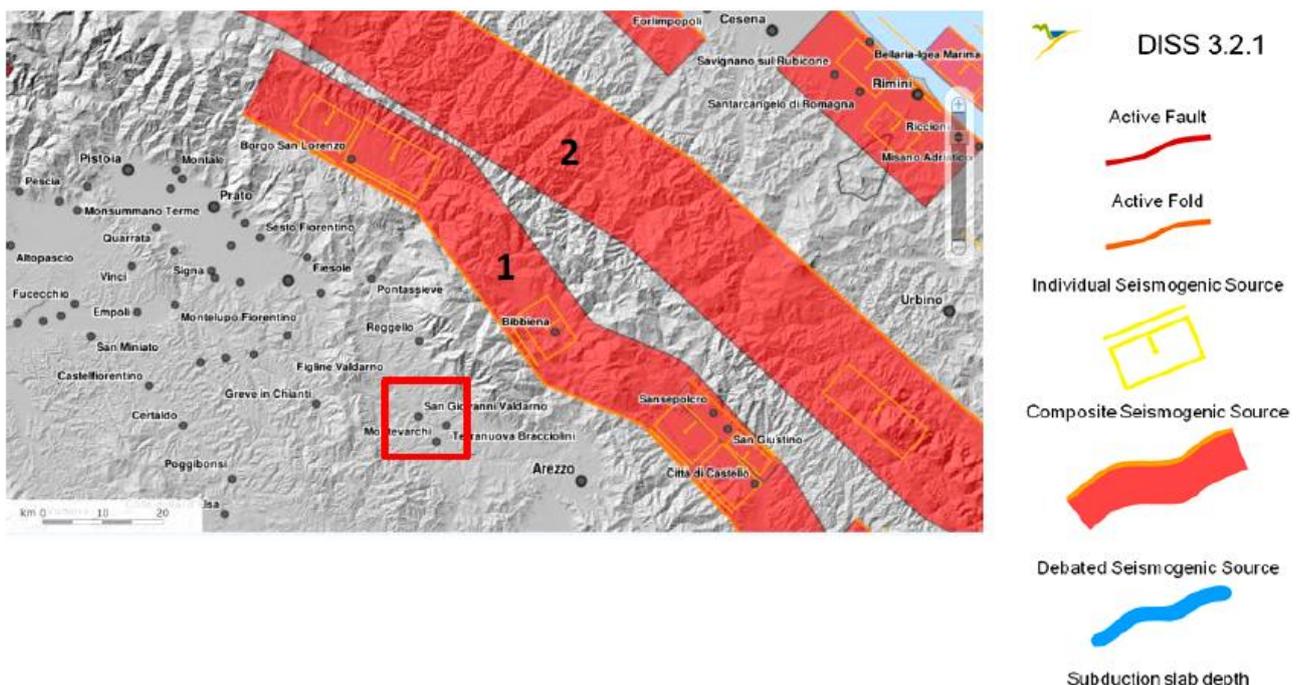


Fig. 4.1 Sorgenti sismogenetiche (composite), dal DISS 3.1.2 dell'INGV.

- ITCS037 – Mugello – Città di Castello – Leonessa (1)
- ITCS027 – Bore – Montefeltro – Fabriano – Laga (2)

La consultazione del Catalogo delle Faglie Capaci – Database ITHACA ha infine consentito di escludere la presenza di elementi attivi noti in grado di dar luogo ad effetti di superficie in corrispondenza dell'area di progetto, come mostrato nella figura 4.2:

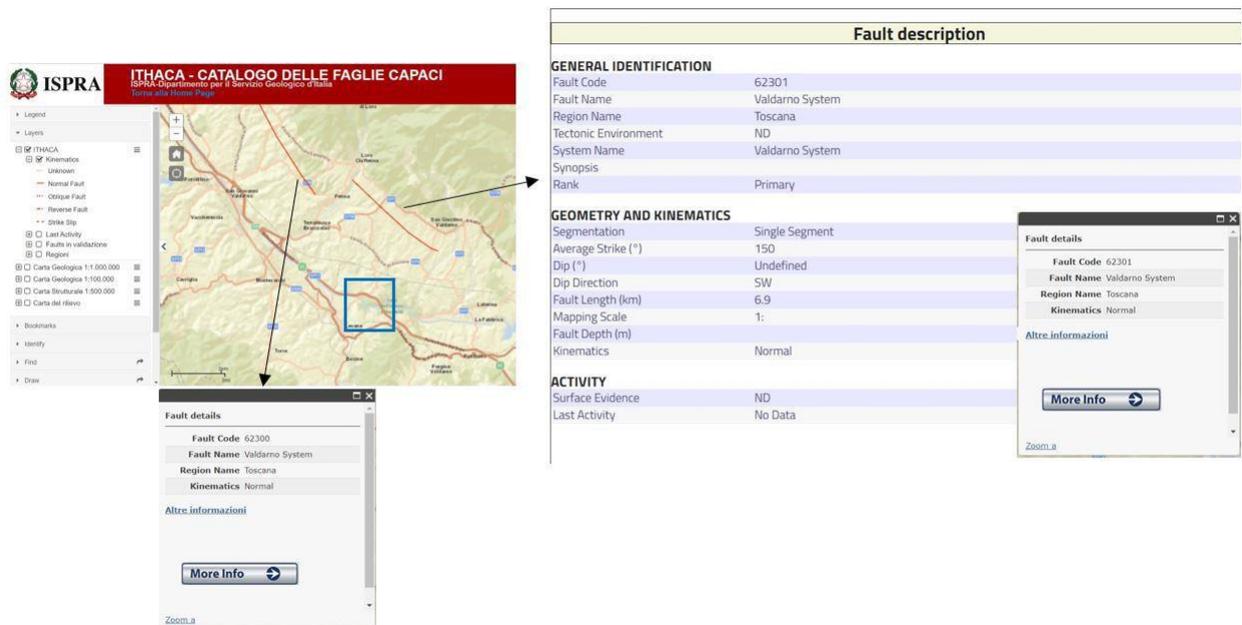
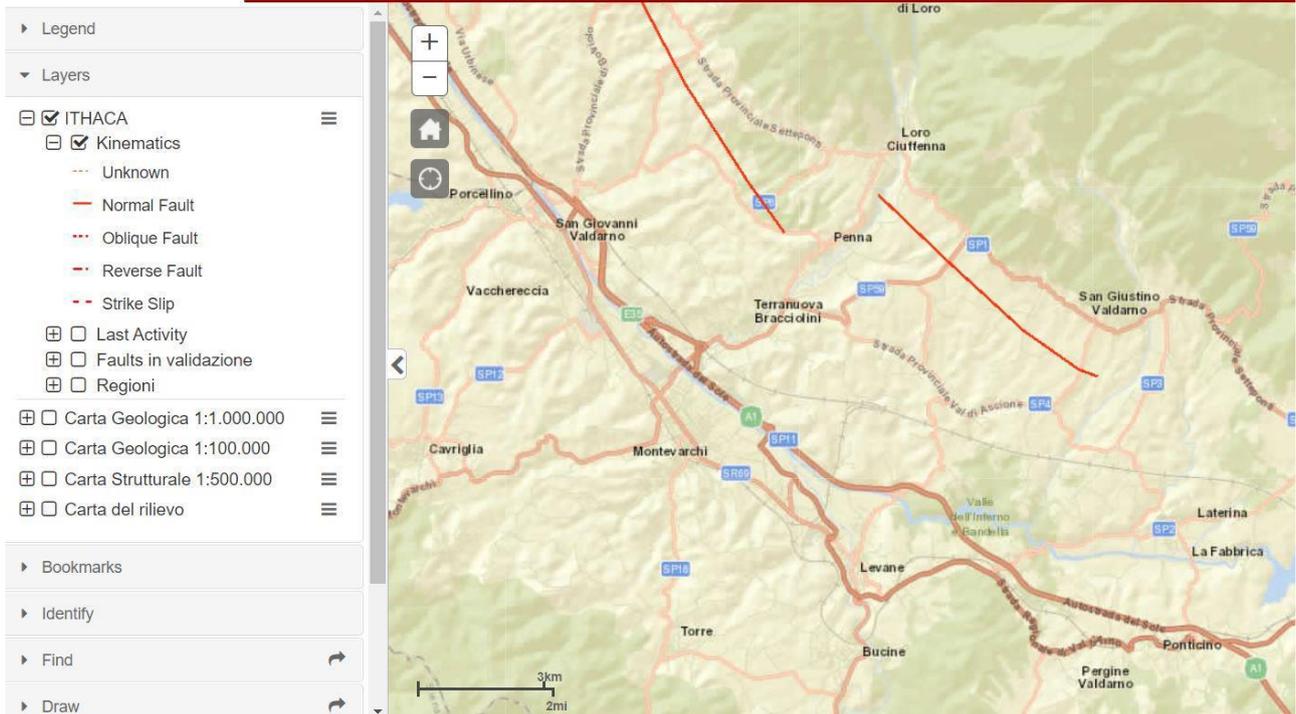


Fig. 4.2 Faglie capaci FAC (da database ITHACA, Ispra).

L'analisi della sismicità storica, ricavata dal Database Macrosismico Italiano del 2015 (DBMI15), ricostruisce la sismicità storica del territorio comunale di Montevarchi (AR), in un raggio di 10 km, ed evidenzia risentimenti con intensità macrosimica I_0 massima pari a 7 (fig. 4.3):

Località vicine (entro 10km)

| Località | EQs | Distanza (km) |
|--------------------------|-----|---------------|
| Terranuova Bracciolini | 12 | 3 |
| Caposelvi | 1 | 4 |
| San Giovanni Valdarno | 30 | 5 |
| Galatrona | 1 | 6 |
| Cavriglia | 4 | 6 |
| Bucine | 19 | 6 |
| Montegonzi | 1 | 6 |
| Santa Barbara | 1 | 8 |
| Sereto | 1 | 8 |
| Loro Ciuffenna | 11 | 9 |
| San Pancrazio | 1 | 9 |
| Castelnuovo dei Sabbioni | 1 | 9 |

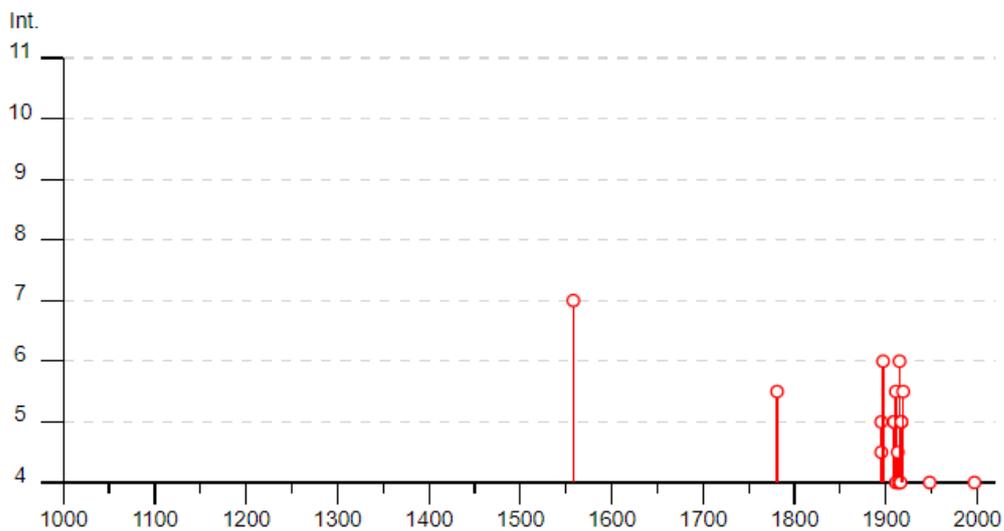


Fig. 4.3 Sismicità storica del territorio comunale di Montevarchi: dati parametrici macrosismici e strumentali, relativi ai terremoti con intensità I_0 massima ≥ 5 o magnitudo $M_w \geq 4.0$ nella finestra temporale 1000- 2014 (da CPTI 2015, INGV).

Dal punto di vista della sismicità di base, espressa come scuotimento sismico atteso al suolo ai sensi delle NTC18, l'accelerazione sismica attesa a_g su suolo rigido per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni è quella della fig. 4.4, e vale:

$$a_g (475 \text{ a}) = 0.139 \text{ g}$$

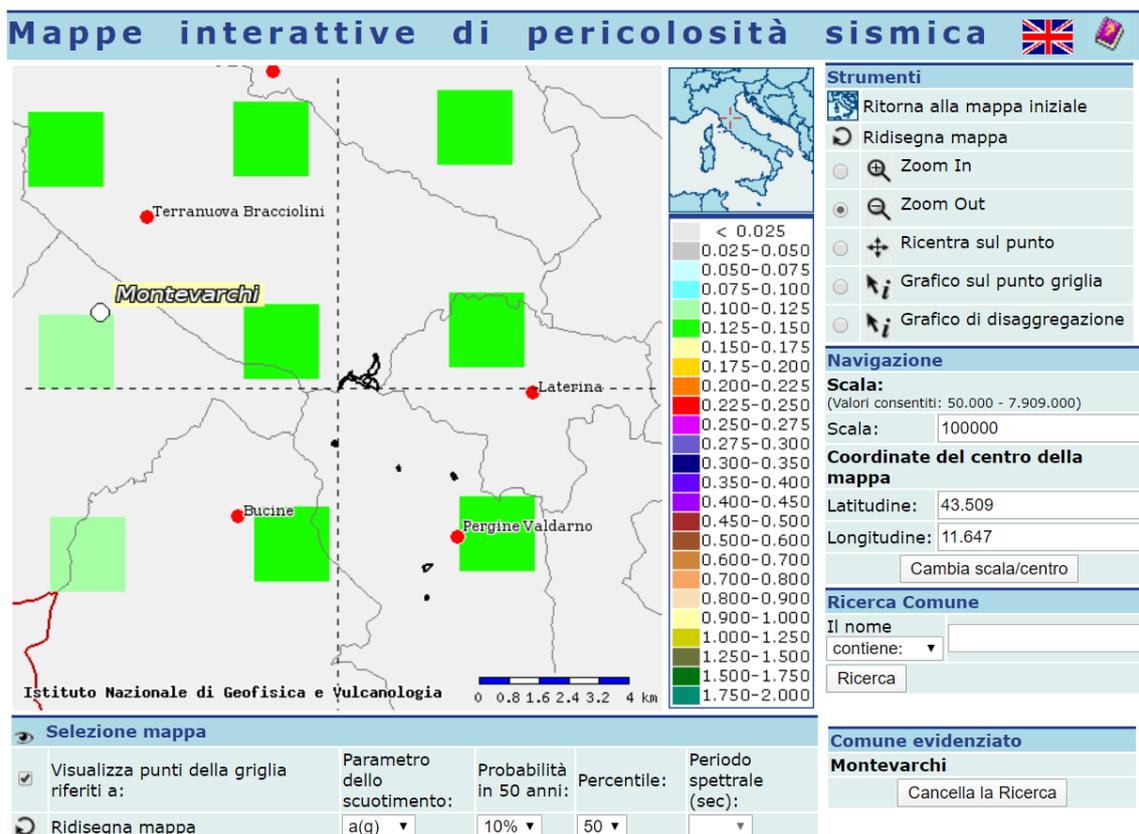


Fig. 4.4 Ubicazione del Sito nella carta di pericolosità sismica nazionale in termini di accelerazione di picco, attesa con probabilità di superamento al 10% in 50 anni (mod. da database macrosismico IT. 2015 - INGV).

Per quanto riguarda la risposta sismica locale RSL dei terreni dell'imposta si sono utilizzati, per tenere conto dei fattori di amplificazione stratigrafica di norma, i dati acquisiti nei sondaggi CH1 e CH2 (*cross holes*), nella definizione della V_{s30} . I valori di V_s misurati nell'ammasso roccioso in mezzeria (sondaggio CH2, prof. > 24 m) sono compresi tra 850 e 1.910 m/s, definendo un sottosuolo di tipo **A** secondo le NTC18.

In spalla sinistra, dove i sondaggi SS1 e SS2 non sono stati attrezzati per misure geofisiche, mancano dati relativi alle V_s , e, in considerazione della natura sciolta dei terreni di copertura, si è ipotizzata cautelativamente una categoria di tipo **B** di NTC, con $360 > V_{s30} > 800$ m/s. Alla fine del capitolo viene suggerito, ancor più cautelativamente, di adottare la categoria **E** (terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità substrato non superiore a 30m), in attesa di prove specifiche più dettagliate per la definizione dei citati parametri (MASW e HVSr).

Date le pendenze mediamente acclivi della spalla si è utilizzato un coefficiente topografico **T2**, per pendenze > 15°.

Il sito, dal punto di vista della sismicità, non presenta particolari criticità. Le principali strutture sismogenetiche segnalate dal DISS dell'INGV sono situate a distanze sufficientemente significative, e non sono altresì segnalate Faglie Attive e Capaci dal database ITHACA nei dintorni della diga.

In base alla zonazione dell'MPS04 le accelerazioni attese al sito, per un $T_r = 475$ anni ed un'eccedenza pari al 10 % in 50 anni, sono pari a $a_g = 0.139 (< 0.15)$, non rendendo di fatto necessario lo studio sismotettonico, ai sensi delle NTC.

5. Fenomeni di dissesto nelle sponde e loro caratterizzazione geotecnica.

Le litologie in affioramento lungo le sponde dell'invaso di Levane sono costituite principalmente dai termini arenaceo pelitici delle arenarie del Monte Falterona AMF, e dalle loro coltri di alterazione di vario spessore in sovrapposizione. La giacitura delle arenarie comporta che le coperture siano, come già esposto, estese soprattutto in sinistra, e perlopiù ridotte e/o assenti in destra. Questa differenza si ripercuote anche sulle tipologie di dissesto presenti in modo abbastanza diffuso sulle sponde, in entrambi i versanti del bacino: in sponda sinistra infatti sono predominanti i processi a tipologia traslativa o roto-traslativa a carico dei materiali sciolti delle coltri di copertura, mentre in destra sono presenti quasi esclusivamente fenomeni di instabilità negli ammassi rocciosi arenacei in affioramento, secondo tipologie di scorrimento di cunei rocciosi, scivolamenti planari, o crolli-ribaltamenti di blocchi.

La cartografia di area vasta della zona interessata, nella zona compresa tra l'imposta ed il viadotto dell'autostrada, è riportata in fig. 5.1, tratta dal progetto 2015. La zona riporta i principali dissesti, compresi quelli a monte dell'imposta, in sinistra, il cui dettaglio è visibile in fig. 3.2, e quelli ancora più a monte, di cui si affronteranno i dettagli più oltre (FR_A_sx_01 e FR_A_sx_02).

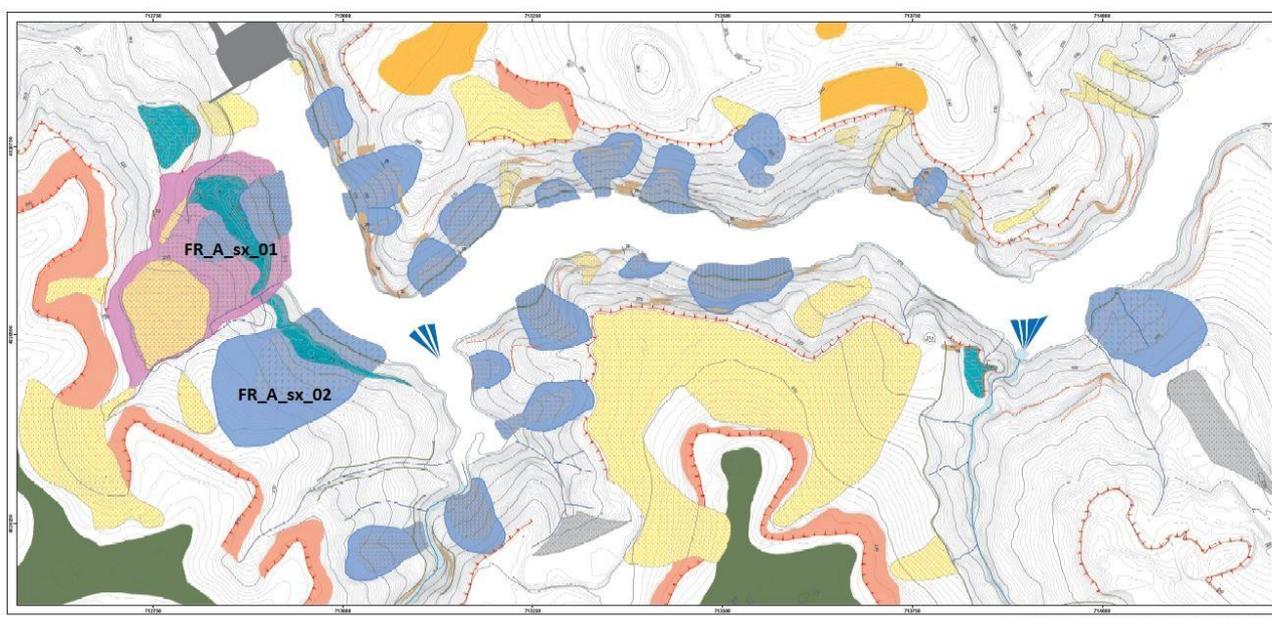


Fig. 5.1 Carta dei dissesti nella zona “A”, compresa tra l'imposta ed il viadotto dell'autostrada (progetto 2015).

Le considerazioni relative alla stabilità delle sponde dell'invaso sono contenute nell'elaborato di progetto R21 “Relazione finale sulla geologia delle sponde”. Sulla base delle osservazioni formulate da questa Div. nel 2015, riportate integralmente nell'elaborato a pagg. 6 ÷ 8, i relatori hanno eseguito nuovi sondaggi nei principali dissesti segnalati come critici nell'ambito dell'area d'intervento: uno in sponda sinistra, immediatamente a monte dell'imposta (**FR_A_sx_01**), uno sempre in sponda sinistra, subito a monte del precedente (**FR_A_sx_02**), ed un altro in destra, a monte del viadotto dell'autostrada (**FR_B_dx_01**), circa a metà invaso, con volumi stimati rispettivamente di 280.000 m³, 35.000 m³ e 220.000 m³.

Le cartografie dei singoli dissesti sono riportate di seguito in fig. 5.2:

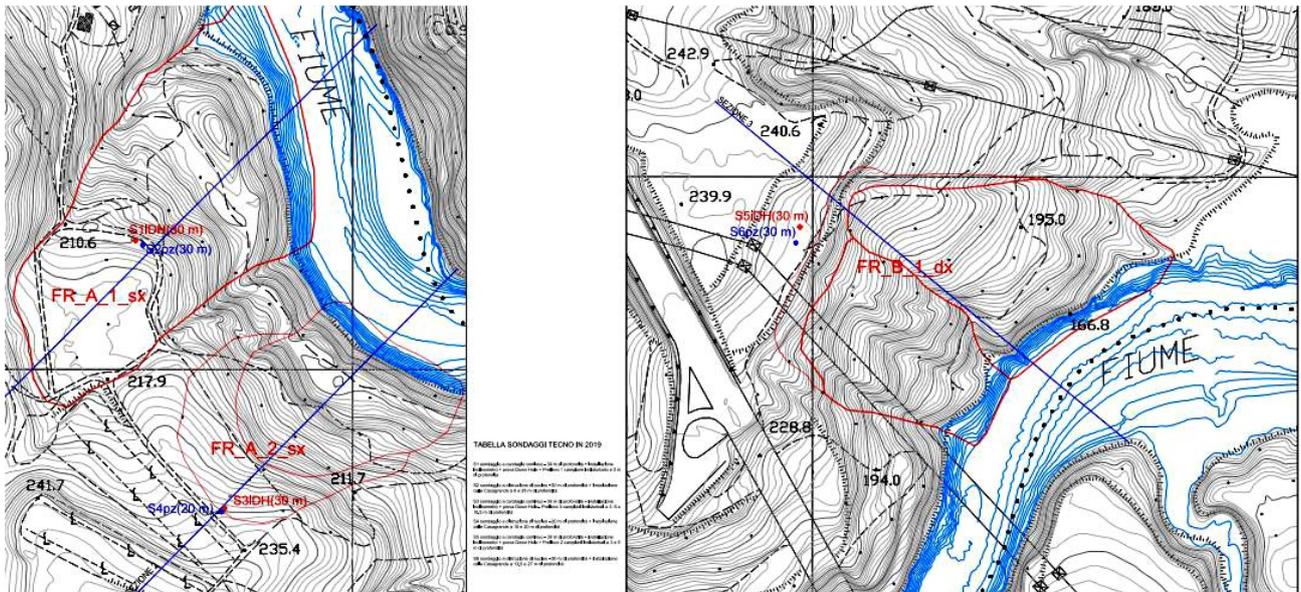


Fig. 5.2 Ubicazione dei sondaggi eseguiti nel 2019 nei tre corpi di frana individuati lungo l’invaso, già descritti nel progetto 2015.

Nell’ambito della campagna 2019 sono stati eseguiti 6 nuovi sondaggi, di cui 3 a rotazione e carotaggio continuo (S1, S3 ed S5), condizionati con inclinometri, e 3 a distruzione di nucleo (S2, S4 ed S6), attrezzati con piezometri, disposti nei tre corpi di frana come riportato sempre in fig. 5.2:

- FR_A_sx_01 – sondaggi S1 e S2 (inclinometro + piezometro)
- FR_A_sx_02 – sondaggi S3 e S4 “ “
- FR_B_dx_01 – sondaggi S5 e S6 “ “
-

I vari sondaggi, al di sotto della coltre di alterazione sciolta presente in tutte le postazioni investigate, hanno incontrato il substrato arenaceo – marnoso a profondità pari a 9.00 m dal p.c. (S1, FR_A_sx_01), 19.00 m (S3, FR_A_sx_02) e 20.00 m (S5, FR_B_dx_01). Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio, secondo il programma di tab. 5.1:

| TABELLA RIASSUNTIVA | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------------|--------|--------|------|---------|-------------------|------|------|------|-------------------|-------------------|---|--|-----|------|
| SONDAGGIO | CAMPIONE | PROFONDITA' | GHIAIA | SABBIA | LIMO | ARGILLA | Contenuto d'acqua | LL | LP | IP | Peso di volume | G _s | φ (*) | c (*) | EDO | NOTE |
| N. | N. | (m) | % | % | % | % | % | % | % | % | kN/m ³ | g/cm ³ | ° | kPa | | |
| 1 | I1 | 3,00 – 3,50 | 0,9 | 35,7 | 42,4 | 21,0 | 14,9 | 28,4 | 20,2 | 8,2 | 19,5 | 2,68 | 31 ^{CD} 15 ^{RESB} | 9 ^{CD} 0 ^{RESB} | - | - |
| 3 | I1 | 3,00 – 3,50 | 19,2 | 55,2 | 16,6 | 9,0 | 10,8 | N.L. | N.P. | - | 16,9 | 2,66 | 32 ^{CD} 17 ^{RESB} | 3 ^{CD} 0 ^{RESB} | - | - |
| 3 | I2 | 6,00 – 6,50 | 2,8 | 4,2 | 57,1 | 35,9 | 21,5 | 44,0 | 25,7 | 18,3 | 20,1 | 2,75 | 13 ^{RESB} | 0 ^{RESB} | - | TTC |
| 3 | I3 | 10,50 – 11,00 | 0,1 | 24,8 | 47,8 | 27,3 | 18,9 | 32,6 | 22,3 | 10,3 | 20,1 | 2,71 | 28 ^{TXCIU} 14 ^{RESB} | 20 ^{TXCIU} 0 ^{RESB} | - | - |
| 5 | I1 | 3,00 – 3,50 | 42,3 | 40,2 | 12,8 | 4,7 | 12,5 | N.L. | N.P. | - | 21,8 | 2,64 | 32 ^{CD} 17 ^{RESB} | 2 ^{CD} 0 ^{RESB} | - | - |
| 5 | I2 | 5,00 – 5,50 | 0,2 | 29,0 | 51,9 | 18,9 | 20,0 | 29,8 | 23,1 | 6,7 | 20,4 | 2,70 | 30 ^{CD} 16 ^{RESB} | 14 ^{CD} 0 ^{RESB} | - | TTC |

CD = Prova di taglio diretto consolidata drenata

RESB = Prova di taglio residuo con apparecchio di Bromhead

TXCIU = Prova triassiale consolidata non drenata

TTC = Prova di taglio torsionale ciclico

Tab. 5.1 Sintesi dei parametri geotecnici ricavati nella campagna d'indagini 2019 sulle sponde di Levane, sui campioni indisturbati prelevati nei sondaggi S1, S3 e S5.

I 3 sondaggi a carotaggio continuo S1, S3 e S5, sono stati anche utilizzati per eseguire sismica in foro, di tipo *Down hole*, al fine di definire la V_{s30} necessarie per la definizione delle categorie di sottosuolo secondo NTC18.

Secondo quanto misurato nei *down holes* sono stati individuati 3 sismostrati:

- **Sismostrato 1** (0,00 ÷ 10,00 m da p.c.): $V_p < 1.200$ m/s, $V_s < 400$ m/s;
- **Sismostrato 2** (10,00 ÷ 19,00 m da p.c.): $V_p = 1.200 ÷ 2.500$ m/s, $V_s = 400 ÷ 1.000$ m/s;
- **Sismostrato 3** (19,00 ÷ 30,00 m da p.c.): $V_p = > 2.500$ m/s, $V_s > 1.000$ m/s.

Sulla base di quanto misurato per le V_s si sono trovate delle V_{s30} di circa 460 – 475 m/s, pertanto le coperture appartengono alla categoria **B** delle NTC.

Nei tre sondaggi attrezzati con inclinometri (uno per ogni dissesto monitorato), la misura di zero è stata effettuata nel febbraio 2019, e da questa sono state eseguite altre quattro misure, sino al 11/12/2019. Da dette misure non sono stati evidenziate deformazioni apprezzabili (pagg. 36 ÷ 59 della relaz. finale). I livelli piezometrici misurati nei fori attrezzati hanno mostrato falde con superficie piezometrica situata generalmente al contatto tra la coltre ed il substrato arenaceo (vedi sezioni di verifica più oltre).

Dal punto di visto **morfologico** i dissesti in oggetto sono considerati dagli autori come “naturalmente stabilizzati”, secondo quanto definito dalle classificazioni usuali (raccomandazioni WO/WLI, *Working Party on World Landslide Inventory* – WP/WLI, 1990, 1993a, 1994, *Cruden & Varnes* – 1996), cioè “*frane che si sono sviluppate in condizioni geomorfologiche e/o climatiche considerevolmente diverse dalle attuali*”, sulla scorta di osservazioni pluriennali e dall'incrocio, effettuato in maniera approfondita in questa fase di studio, tra le informazioni morfologiche e quelle

derivanti dalle caratteristiche litostratigrafiche e geometriche acquisite con la recente campagna di indagini (2019).

Partendo da tale assunto si sono definite tre sezioni tipo di analisi, una per ogni dissesto, su cui sono state condotte verifiche di stabilità numeriche con gli usuali codici di calcolo e modelli geotecnici.

Sez. 1 (FR A sx 01): Il versante in sinistra idraulica, immediatamente a monte della diga, si caratterizza per la presenza di un substrato arenaceo-pelitico con notevoli spessori di copertura detritica, appartenente all'Unità del Falterona, Formazione delle Arenarie del M. Falterona AMF (cfr. Arenarie del Pratomagno), Membro di Montalto (Oligocene sup. – Miocene inf.).

L'evoluzione morfodinamica del versante ha portato allo sviluppo di una potente coltre detritica derivante dalla degradazione delle rocce del substrato, e dal trasporto legato alla gravità e al ruscellamento che ha concentrato il detrito nelle zone morfologicamente depresse del versante stesso. Questo materiale, assieme alla porzione di substrato più alterata dal punto di vista geotecnico, in conseguenza dell'aumento dell'energia del rilievo indotta dall'incisione di alveo operata dal fiume, è stato interessato da un movimento generalizzato di tipo scorrimento roto-traslativo che ha sfruttato le superfici di strato per scivolare verso l'alveo fino a raggiungere un nuovo stato di equilibrio. Si tratta, pertanto, di un deposito di frana senza evidenze di movimenti in atto o recenti, le cui cause originali non sembra possano ulteriormente agire. Eventuali movimenti epidermici legati alle dinamiche dell'attività erosiva non modificano in modo sostanziale questo assetto (fig. 5.3).

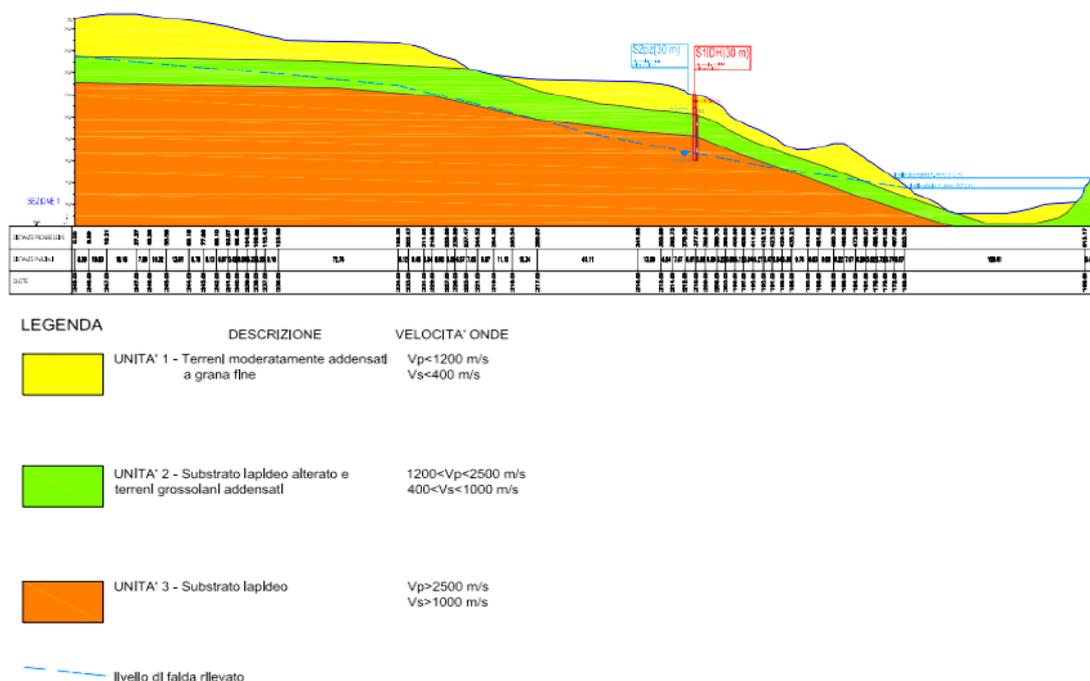


Fig. 5.3 Modello geologico di riferimento della FR_A_sx_01, sezione 1.

Quanto sopra consente di definire il grado di rimodellamento della FR_A_sx_01 come tipico di una **frana stabilizzata naturalmente**. Il volume stimato complessivo è di 280.000 m³.

Sez. 2 (FR A sx 02): Il corpo di frana si trova poco a monte di quello della sezione 1, lungo lo stesso versante, pertanto le condizioni geologiche sono simili, con lo stesso tipo di substrato roccioso arenaceo e arenaceo-pelitico, con assetto ed inclinazione circa uguali alla sezione

precedente. L'evoluzione morfodinamica del versante è anche in questo caso caratterizzata dallo sviluppo di una coltre detritica derivante dalla degradazione delle rocce di substrato e dal trasporto per effetto combinato della gravità e del ruscellamento. Anche in questo caso il cinematiso atteso per una mobilizzazione compressiva è quello di uno scorrimento roto – traslativo.

Rispetto al caso precedente la porzione più epidermica del geomateriale della coltre, confinata nei primi metri, potrebbe subire una rilevante azione di scalzamento al piede per la posizione rispetto all'ansa fluviale. Tuttavia, bisogna pur tenere conto che il volume di materiale eventualmente coinvolto sarebbe modestissimo, trattandosi di una porzione superficiale appartenente ad un corpo di frana che nel suo complesso presenta un volume di 35.000 m³. La tipologia dell'eventuale movimento sarebbe ascrivibile al fenomeno gravitativo del soil creep.

Anche in questo caso il dissesto viene considerato come **stabilizzato naturalmente**, con la presenza di una partizione superficiale metrica che potrebbe subire disequilibri per scalzamento al piede, eliminabili con una difesa di sponda (fig. 5.4)

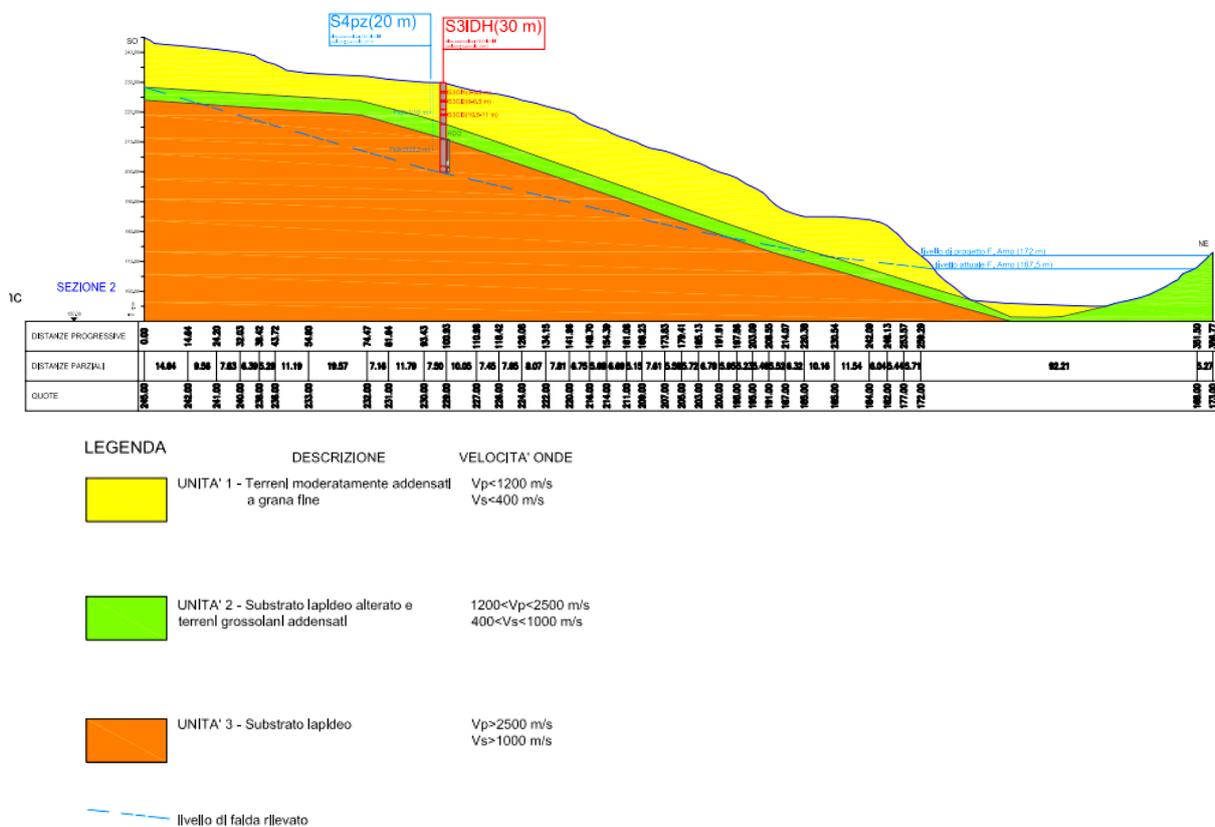


Fig. 5.4 Modello geologico di riferimento della FR_A_sx_02, sezione 2.

Sez. 3 (FR B dx 01): Il corpo di frana è ubicato subito a monte del Viadotto Romita, in riva destra, lungo un versante caratterizzato da una maggiore inclinazione rispetto ai casi trattati in precedenza (media 22° con locali scarpate a 33°), per il diverso assetto della stratificazione che è a traversopoggio. Il fenomeno gravitativo è stato prodotto dall'erosione fluviale di sponda che ha interessato il piede del versante. Il meccanismo tipologico è quello dello **scorrimento rotazionale**. Le foto aeree degli ultimi 60 anni hanno consentito di appurare l'assenza di evoluzioni morfologiche.

Sia le osservazioni storiche del concessionario, sia i dati del monitoraggio (sia pur con una serie storica di letture molto limitata), permettono anche in questo caso di considerare il dissesto come **stabilizzato naturalmente**. Nel PAI redatto dall'ADB del F. Arno il fenomeno era considerato **quiescente**, e gli autori propongono di modificare questo status in stabilizzato naturalmente. La sezione tipo è riportata in fig. 5.5.

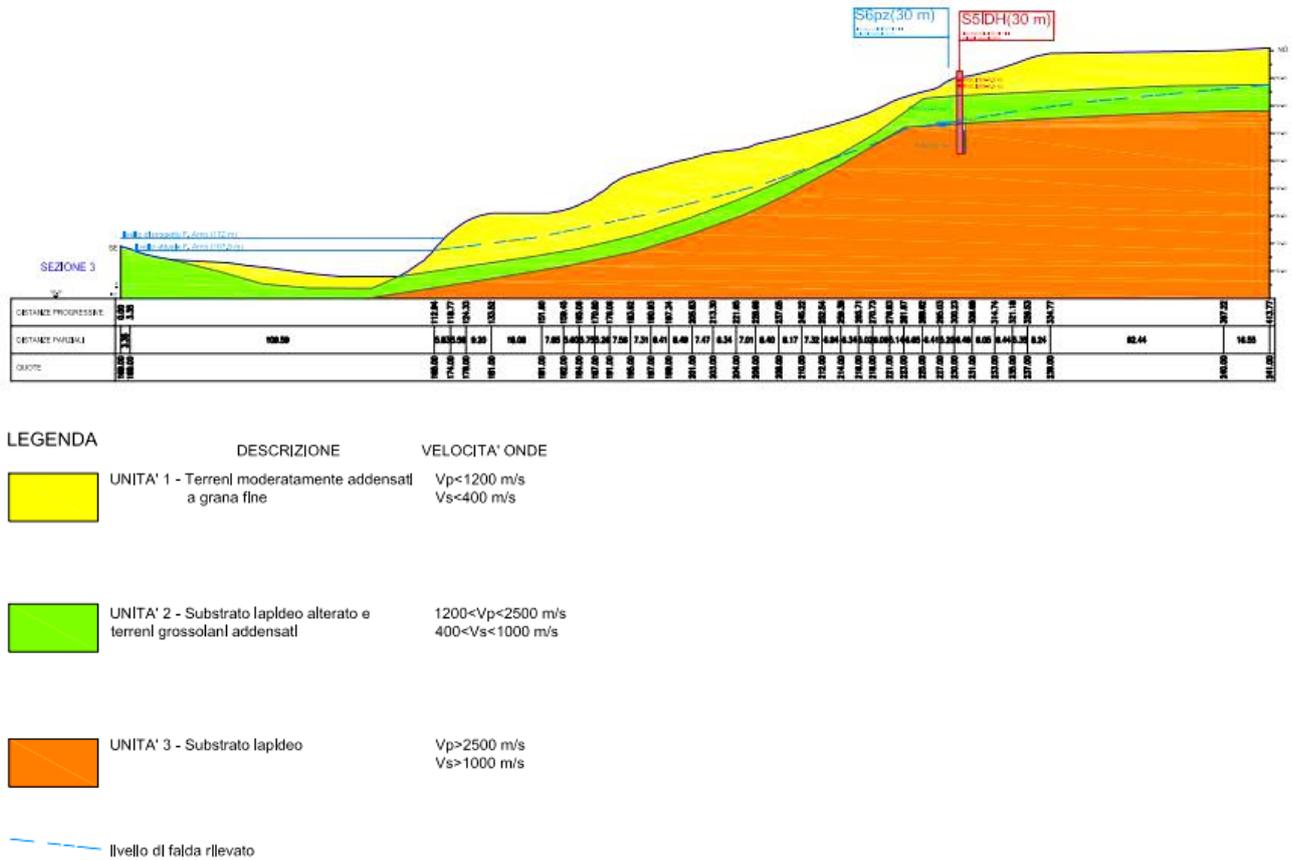


Fig. 5.5 Modello geologico di riferimento della FR_B_dx_01, sezione 3.

La parametrizzazione delle unità incontrate in tutte le sezioni sottoposte a verifica di stabilità, è stata effettuata sulla base delle prove di laboratorio condotte sui materiali (vedi precedente tab. 5.1), secondo il seguente schema:

Unità 1: I valori appresso riportati sono espressi direttamente in termini caratteristici (sensu NTC18).

- *Limo con sabbia e argilla o argilloso con passate di livelli cementati e geomateriali addensati alla base* (sensu A.G.I.); spessore medio 13.0 m

$\gamma_k = 19.8 \text{ kN/m}^3$ peso di volume

$\gamma_k \text{ sat} = 21.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume saturo

$D_R = 52\%$ Densità relativa

$c^*k = 14.5 \text{ kPa}$ coesione efficace

$\phi^*k = 30,7^\circ$ angolo d'attrito efficace

$\nu = 0.33$ Coefficiente di Poisson

$G = 65 \text{ MPa}$ Modulo di rigidità

$E' = 10,55 \text{ MPa}$ Modulo di Young

$K = 10^{-3} \text{ m/s} - 10^{-4} \text{ m/s}$ (con % limosa più rilevante) Coefficiente di permeabilità

Unità 2 Si tratta di una fascia di alterazione del substrato alla quale si assegnano, a favore di sicurezza, i parametri dell'Unità 1, con la sola variante del peso di volume per il maggiore addensamento:

$$\gamma_k = 21,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_k \text{ sat} = 22,0 \text{ kN/m}^3 \text{ peso di volume saturo}$$

Nella *Sezione 3* all'interno dell'Unità 2 è compreso anche uno spessore di ciottolami addensati in matrice limoso-sabbiosa debolmente cementati, riconducibili alla Formazione di Laterina, parametrizzati come la fascia di alterazione. La potenza di questo livello è compresa tra 3 e 6 m.

Unità 3 La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso deriva da una campagna di rilevamento attraverso l'esecuzione di n. 8 stazioni di osservazione e misura su entrambi i fianchi dell'asta fluviale a monte della diga, ed analoghe osservazioni lungo tutte le sponde. Per il dettaglio si rimanda al "Quadro conoscitivo geologico, geotecnico, geomeccanico e sismico" edito per ENEL Produzione S.p.A. da CGT – SpinOff dell'Università di Siena, nel febbraio 2015.

- *Arenarie del Monte Falterona - Spessore rilevato 16,0 m* In condizioni sature le arenarie assumono i seguenti valori:

$$\gamma_k \text{ sat } 24,0 \text{ kN/m}^3 \text{ peso di volume saturo}$$

$$\varphi'k = 24^\circ \text{ angolo d'attrito } *$$

$$c'k = 190 \text{ kPa coesione } *$$

$$E = 5 \text{ GPa Modulo di deformazione}$$

$$G = 686 \text{ MPa Modulo di rigidità}$$

$$\nu = 0,3 \text{ Coefficiente di Poisson}$$

$K =$ permeabilità compresa tra $1,1 \times 10^{-5} \text{ m/}$ e $1,5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ (risulta condizionata dalla frequenza, apertura, giacitura e continuità dei sistemi di fratture).

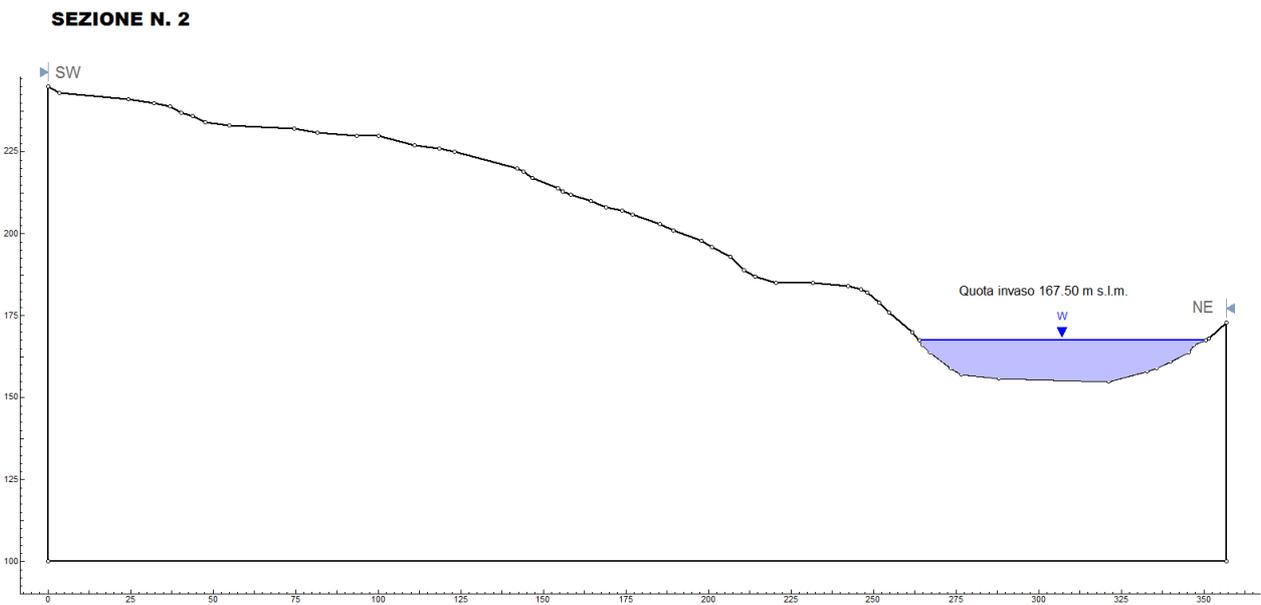
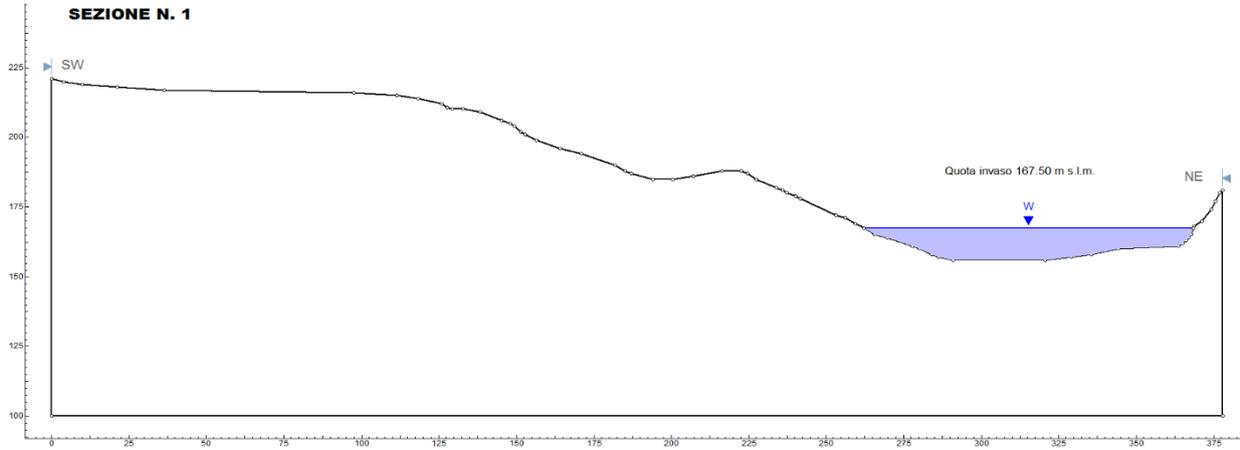
*si assume un criterio di resistenza anisotropo considerando lungo l'immersione della stratificazione un valore di resistenza ridotto caratterizzato da un angolo d'attrito $\varphi'k = 24^\circ$ e da una coesione $c'k = 60 \text{ kPa}$.

Per quanto riguarda la sismicità delle sponde si sono assunti gli stessi parametri di pericolosità di base della diga, pertanto valgono analoghe considerazioni rispetto a quest'ultima. Secondo l'ordinanza PCM 3274/03 la diga e le sponde sono in zona 3, quindi le accelerazioni assunte sono pari $a_g/g = 0,15$, valore introdotto di seguito nelle verifiche di stabilità in caso di sisma.

La risposta sismica locale RSL dei terreni considerati riguarda i depositi appartenenti al c.d. *Subsintema Monticello Valdarno*, ossia le Ghiaie di Laterina, le Sabbie di Levane ed i limi di Latereto, che nel loro insieme rappresentano un ciclo regressivo completo al di sopra delle Arenarie di Falterona AMF. Utilizzando i valori di V_{S30} dei *Down Holes* eseguiti in S1, S3 e S5 si è attribuita a tali materiali la categoria **B** delle NTC18. Sui versanti si è applicata la correzione topografica T2 (versanti con pendenze $> 15^\circ$). Gli spettri elastici risultanti sono riportati a pagg. 91 – 92 dell'elaborato R21 (componenti orizzontale e verticale).

Per quanto riguarda il potenziale di liquefazione gli autori hanno stimato che è molto improbabile che possano avvenire episodi in tal senso nei terreni di copertura, e che solo con falda a piano campagna, per terreni non coesivi saturi posti nell'ambito dei primi metri di profondità, può verificarsi il fenomeno della liquefazione (*Seed & Idriss*).

Verifiche di stabilità: le sezioni caratteristiche sottoposte a verifica sono quelle già rappresentate in figg. 5.3, 5.4 e 5.5, che di seguito vengono rappresentate con la sola topografia ed il livello d'invaso (fig. 5.6):



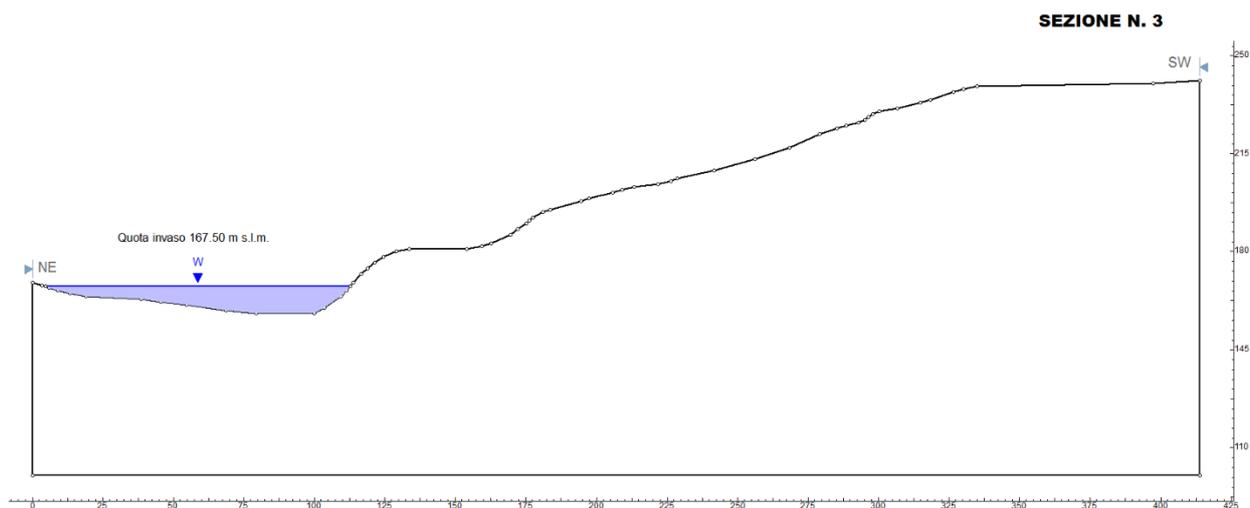


Fig. 5.6 Sezioni di verifica sottoposte a analisi di stabilità.

Assumendo i parametri geotecnici di cui sopra per le varie unità geotecniche sono state eseguite le seguenti verifiche di stabilità:

- A) quota di invaso a livello attuale di 167.50 m s.l.m.;
- B) quota di invaso a livello di progetto di 172.0 m s.l.m.;
- C) condizioni di rapido svasso del battente di progetto a quello attuale (da q. 172.0 a q. 167.50)

Per la verifica sono state eseguite analisi sia in condizioni statiche che sismiche (cfr. Tab. C6 NTD14), con il software SLIDE 6.033 (Rocscience, CAN), utilizzando il metodo *Morgenstern & Price*. Le condizioni sismiche sono state considerate con l'approccio pseudostatico, assumendo le σ_v' in regime sismico sia in negativo che in positivo rispetto al campo tensionale statico. I valori di resistenza assunti sono quelli di picco, desunti dalle prove di laboratorio. L'insieme delle verifiche è riportato nell'elaborato R21, pagg. 101 ÷ 174).

SEZIONE 1 – QUADRO RIASSUNTIVO:

| SEZIONE 1 | FS statico | FS sismico |
|--|------------|---------------|
| Invaso esercizio quota = 167.50 m s.l.m. | 1.540 | 1.306 |
| Massimo invaso quota = 172.00 m s.l.m. | 1.566 | Non applicato |
| Rapido svasso da quota = 172.00 m s.l.m. a 167.50 m s.l.m. | 1.381 | Non applicato |

SEZIONE 2 – QUADRO RIASSUNTIVO:

| SEZIONE 2 | FS statico | FS sismico |
|---|------------|---------------|
| Invaso esercizio quota = 167.50 m s.l.m. | 1.126 | 1.012 |
| Massimo invaso quota = 172.00 m s.l.m. | 1.122 | Non applicato |
| Rapido svaso da quota = 172.00 m s.l.m. a 167.50 m s.l.m. | 0.967 | Non applicato |

SEZIONE 3 – QUADRO RIASSUNTIVO:

| SEZIONE 3 | FS statico | FS sismico |
|---|------------|---------------|
| Invaso esercizio quota = 167.50 m s.l.m. | 1.483 | 1.310 |
| Massimo invaso quota = 172.00 m s.l.m. | 1.462 | Non applicato |
| Rapido svaso da quota = 172.00 m s.l.m. a 167.50 m s.l.m. | 1.265 | Non applicato |

Fig. 5.7 Sezioni di verifica sottoposte a analisi di stabilità, quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.

Tali valori di coefficienti di sicurezza si riferiscono chiaramente a superfici critiche di scivolamento potenziale, e non corrispondono a reali superfici di scorrimento identificate dalle indagini in sito, tuttavia va osservato che in almeno due casi si raggiungono condizioni di equilibrio limite prossimo all'unità (sez. 2, condizioni sismiche e di svaso rapido), che identificano una potenziale riattivazione del corpo di frana, sia pure di settori parziali di essa. In questo caso gli autori stimano che si raggiungerebbe, per mobilitazione del corpo di frana in alveo, un'ostruzione parziale di esso pari a circa il 28% della sezione utile, ma non si creerebbe una situazione di criticità, in quanto le zone subirebbero un innalzamento del livello idrico di circa 2.5 m, andando a raggiungere q. 170 s.l.m., in zone limitate e comunque già sommerse dal nuovo livello previsto d'invaso (172.50 s.l.m.).

Le nuove indagini svolte sulle zone già identificate come frane quiescenti o stabilizzate nel 2015 definiscono sicuramente un quadro più esauriente della situazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni interessati dai dissesti. La caratterizzazione appare appropriata per tipologia ed entità, ed i singoli dissesti sono descritti e caratterizzati in maniera sufficiente ai fini progettuali.

Non appare pienamente condivisibile la scelta dei parametri di resistenza introdotti nelle verifiche di stabilità numeriche: si sono infatti utilizzati i valori di picco delle prove di laboratorio, in termini di c' e ϕ' , nelle analisi di calcolo, laddove l'adozione di valori scalati, se non addirittura residui, sarebbe stata probabilmente più appropriata. Mentre i valori residui vengono usualmente adottati in frane palesemente all'equilibrio limite, nel caso in questione, pur essendo i dissesti considerati stabilizzati naturalmente, non è noto se la resistenza al taglio operativa su un'ipotetica superficie di scorrimento sarebbe quella massima esprimibile dai litotipi interessati. Presumibilmente in frane che in passato siano state comunque attive, la resistenza operativa sarebbe compresa in un range intermedio tra i valori di picco ed residuo, e tali valori andrebbero più cautelativamente introdotti nelle verifiche di calcolo.

Si osserva come già alcune situazioni siano potenzialmente critiche (F_s prossimo all'unità), e potenzialmente l'adozione di parametri più cautelativi di certo aumenterebbe il numero di scenari da sottoporre ad attenzione.

6. Considerazioni sul progetto e criticità connesse.

Il sovrizzo dell'opera ed il suo aumento di spessore, sia in senso verticale che orizzontale, oltre all'introduzione di carichi aggiuntivi in fase definitiva, rende necessari, soprattutto durante le fasi realizzative, estesi sbancamenti e scavi, che, nelle zone in sinistra, laddove sono presenti coperture detritiche e corpi di frana cartografati, richiedono particolare attenzione per la stabilità complessiva.

Nel progetto sono previste, in corrispondenza della spalla sinistra, opere di sostegno sia provvisoriale sia definitiva nelle coperture sciolte, e i progettisti giudicano come critica la tenuta idraulica della spalla e la stabilità dello scavo, prevedendo una paratia di micropali a sostegno del fronte di scavo, disposti in doppia serie a quinconce. Particolare attenzione andrà anche fatta alle fasi di drenaggio durante gli scavi, considerando i coefficienti di permeabilità dei terreni sciolti.

In spalla destra l'assetto a reggipoggio e le pendenze subverticali renderanno possibile l'ammorsamento dell'opera direttamente nell'ammasso roccioso arenaceo – marnoso. La presenza dei principali sets di giunti rispetto al fronte tuttavia favorisce, in questa zona, l'individuazione di blocchi e cunei con distacchi, come testimoniato dagli interventi già in opera in questa zona (vedi fig. 6.1).



Fig. 6.1 Spalla destra: Il cuneo di roccia mancante ben evidenzia le famiglie di discontinuità principali.

Nelle fasi di cantiere, vista la potenziale instabilità con fenomeni di distacco e crollo di cunei, i relatori dell'elaborato R05 (Rel. Geologica), consigliano l'adozione di opportune misure di sostegno, quali ad esempio la posa di tiranti, chiodi, bulloni, legature e/o rivestimento con calcestruzzo proiettato "spritz beton" e/o altri metodi.

Per quanto riguarda la viabilità, soprattutto in sponda sinistra, in corrispondenza della frana quiescente segnalata a monte dell'imposta, sempre gli stessi relatori suggeriscono di effettuare ulteriori sondaggi spinti sino al substrato, insieme ad ulteriori stendimenti sismici.

In conclusione, sempre nello stesso elaborato, gli autori suggeriscono di eseguire alcune indagini integrative preliminarmente alla fase realizzativa:

- Uno o due sondaggi sul corpo frana interessato dalla viabilità, spinti sino al substrato,
- Indagini geofisiche di tipo MASW o HVSR sempre in sinistra, per colmare la lacuna d'informazioni sulle due zone riconosciute in frana,
- Un sondaggio suborizzontale in spalla destra, in corrispondenza dell'incisione laterale, per chiarire l'eventuale presenza di disturbi tettonici importanti in questa zona.
- Realizzazione nei fori di sondaggio di prove *cross hole* per la determinazione della V_{s30} .

Le criticità segnalate nell'elaborato R05 sono condivisibili da parte di questa Div., così come il piano d'indagini integrative proposto, che andrebbe a colmare alcune lacune tuttora esistenti nel quadro conoscitivo geognostico.

7. Osservazioni istruttorie Div. 7 e conclusioni.

Nell'ambito della presente istruttoria si sono esaminati gli elaborati contenuti nel progetto definitivo, articolati secondo i vari aspetti progettuali previsti per l'approvazione, con particolare riguardo alle problematiche legate alle mutate caratteristiche d'invaso in ipotesi. Dall'esame degli elaborati progettuali è emerso che sono state considerate le varie problematiche di natura geologico geotecnica inerenti le nuove ipotesi progettuali.

La relazione geologica allegata al progetto 2019 integra quanto già nel 2015 descritto riguardo l'ammasso roccioso arenaceo – pelitico – marnoso delle Arenarie del Monte Falterona (AMF). Il quadro conoscitivo, dal punto di vista geologico e geotecnico, già a suo tempo sufficientemente delineato, sulla base dei nuovi sondaggi eseguiti risulta esauriente ai fini progettuali. Le caratteristiche litostratigrafiche sono ben definite al di sotto della diga, ed il volume significativo dell'ammasso roccioso, ai fini progettuali, è investigato in maniera soddisfacente.

L'insieme delle prove geotecniche e geofisiche eseguite sui terreni dell'imposta descrive le principali caratteristiche fisiche e meccaniche dell'ammasso roccioso, nonché i parametri in sito necessari per caratterizzarlo dal punto di vista idrogeologico e geofisico (coefficiente di permeabilità, velocità V_p e V_s etc.). Nella caratterizzazione dei parametri sono stati utilizzati anche i dati delle precedenti campagne d'indagine: 2006 e 2015.

Laddove il quadro conoscitivo risulta meno approfondito è sui materiali della sponda sinistra identificati come frane quiescenti, immediatamente a valle e a monte dell'imposta: i due corpi cartografati in fig. 3.2 sono stati investigati, dopo il progetto originario del 1954 (sondaggi F16 ÷ F18), con il solo SL4 nel 2006, pertanto mancano informazioni più dettagliate ed aggiornate sulle geometrie e sulle caratteristiche geotecniche di questi dissesti.

La relazione di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica allegata al progetto risulta complessivamente meno chiara nella parametrizzazione dei materiali dell'ammasso roccioso rispetto a quanto esposto nel progetto 2015: a fronte di un approccio sostanzialmente analogo in termini geomeccanici (criterio di resistenza di Hoek & Brown, Hoek & Marinos), dipendente dallo stato tensionale di riferimento, è descritto meno linearmente il processo analitico che conduce alla sintesi finale dei dati. Alcuni valori geotecnici attribuiti all'ammasso roccioso, inoltre, appaiono affetti da errori, presumibilmente materiali (vedi foglio di calcolo Excel, valore cerchiato in rosso della resistenza a compressione semplice, pari a 3,74 MPa, laddove si è sempre assunto un valore medio di 33,8 Mpa).

I valori di resistenza relativi ai materiali della coltre detritica sono desunti da un numero esiguo di prove (soli 4 SPT nei sondaggi), pertanto andrebbero integrati da ulteriori dati, con nuove indagini ad hoc.

Il sito, dal punto di vista della sismicità, non presenta particolari criticità. Le principali strutture sismogenetiche segnalate dal DISS dell'INGV sono situate a distanze sufficientemente significative, e non sono altresì segnalate Faglie Attive e Capaci dal database ITHACA nei dintorni della diga.

In base alla zonazione dell'MPS04 le accelerazioni attese al sito, per un $T_r = 475$ anni ed un'eccedenza pari al 10 % in 50 anni, sono pari a $a_g = 0.139 (< 0.15)$, non rendendo di fatto necessario lo studio sismotettonico, ai sensi delle NTC.

Per quanto riguarda la stabilità delle sponde dell'invaso, aspetto nel precedente progetto non approfondito sufficientemente, è opinione di questa Div. che le nuove indagini svolte sulle zone già identificate come frane quiescenti o stabilizzate nel 2015 definiscano sicuramente un quadro più esauriente della situazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni interessati dai dissesti. La caratterizzazione appare appropriata per tipologia ed entità, ed i singoli dissesti sono descritti e caratterizzati in maniera sufficiente ai fini progettuali.

Non appare tuttavia pienamente condivisibile la scelta dei parametri di resistenza introdotti nelle verifiche di stabilità numeriche: si sono infatti utilizzati i valori di picco delle prove di laboratorio, in termini di c' e ϕ' , nelle analisi di calcolo, laddove l'adozione di valori scalati, se non addirittura residui, sarebbe stata probabilmente più appropriata. Mentre i valori residui vengono usualmente adottati in frane palesemente all'equilibrio limite, nel caso in questione, pur essendo i dissesti considerati stabilizzati naturalmente, non è noto se la resistenza al taglio operativa su un'ipotetica superficie di scorrimento sarebbe quella massima esprimibile dai litotipi interessati. Presumibilmente in frane che in passato siano state comunque attive, la resistenza operativa sarebbe compresa in un range intermedio tra i valori di picco ed residuo, e tali valori andrebbero più cautelativamente introdotti nelle verifiche di calcolo.

Si osserva come già alcune situazioni considerate nelle analisi di stabilità siano potenzialmente critiche (F_s prossimo all'unità), e potenzialmente l'adozione di parametri più cautelativi aumenterebbe di certo il numero di scenari da sottoporre ad attenzione.

Per quanto riguarda le criticità in zona imposta connesse con la realizzazione del sovrizzo, riguardanti gli aspetti idraulici e di stabilità della spalla sinistra, esse sono condivisibili da parte di questa Div., così come il piano d'indagini integrative proposto, da realizzare nel progetto esecutivo, che andrebbe a colmare alcune lacune tuttora esistenti nel quadro conoscitivo geognostico.

Alla luce di quanto sopra esposto lo scrivente ufficio è del parere che:

- Nella fase esecutiva le indagini geognostiche sui terreni sciolti di copertura siano integrate in corrispondenza dei corpi di frana in sponda sinistra immediatamente a monte ed a valle dell'imposta, mediante il programma d'indagini suggerito nell'elaborato R05: uno o due sondaggi sul corpo frana interessato dalla viabilità, spinti sino al substrato, indagini geofisiche di tipo MASW o HVSR sempre in sinistra, per colmare la lacuna d'informazioni sulle due zone riconosciute in frana, un sondaggio suborizzontale in spalla destra, in corrispondenza dell'incisione laterale, per chiarire l'eventuale presenza di disturbi tettonici importanti in questa zona, realizzazione nei fori di sondaggio di prove *cross hole* per la determinazione della V_{S30} .
- Nel corso dei sondaggi siano eseguite adeguate prove in sito per la caratterizzazione dei principali parametri geotecnici dei materiali sciolti (SPT/CPT), siano prelevati un congruo numero di campioni indisturbati da sottoporre a nuove prove geotecniche di laboratorio, con l'acquisizione degli usuali parametri fisico – meccanici, ed i fori di sondaggio siano attrezzati opportunamente con inclinometri e piezometri;
- Vengano eseguite nuove analisi parametriche di stabilità sulle frane FR_A_sx_01, FR_A_sx_02 e FR_A_sx_01 (sezz. 1, 2 e 3), con parametri di resistenza maggiormente cautelativi e più rispondenti alla realtà geologica – geotecnica, ovvero che la scelta dei parametri adottati sia adeguatamente motivata tenendo conto delle condizioni di esercizio dell' invaso nella nuova configurazione di progetto.

Il funzionario
(Dott. Geol. Andrea Lang)



Visto

Il Dirigente della Div. 7

Ing. Francesco SANTORO





Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici
Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche
UFFICIO IDRAULICA – Div.7

Diga di LEVANE
nel Comune di Montevarchi (AR)
(n° arch. SND 684)

Progetto definitivo "Progetto di sovrалzo ai fini di laminazione"

Giugno 2020

RELAZIONE ISTRUTTORIA

1 - PREMESSA

Con lettera prot. n. 15161/RU del 23.07.2020 la Divisione 5 ha richiesto a questo ufficio il parere specialistico, per gli aspetti di competenza, del progetto definitivo dei lavori di sopralzo della diga in oggetto.

La presente istruttoria riguarda l'esame degli aspetti di sicurezza idraulica del suddetto progetto trasmessi dal concessionario della diga, EGP, con propria nota prot. nota n. 12227 del 20.07.2020, a firma del progettista ing. Alberto Masera della società CESI.

Questo ufficio, al fine di fornire il proprio parere, ha esaminato i documenti progettuali nella parte riguardante le proprie competenze specialistiche. Le relazioni e i disegni verificati sono i seguenti, in riferimento all'elenco allegati fornito dal gestore:

- R 06 GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.012.00 Relazione idraulica
- R 07 GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.013.00 Relazione tecnica generale
- R 18 GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00 Relazione sui lavori di cantierizzazione
- R 20 GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.025.00 Università - modello idraulico fisico
- i relativi disegni richiamati dalle relazioni

Inoltre, sebbene non facenti parte del progetto, sono stati analizzati i seguenti documenti presentati come riferimenti:

- Università degli Studi di Firenze, "Valutazione degli effetti del sopralzo della diga di Levane sulla piana di Laterina – Relazione tecnica", luglio 2018.
- Università degli Studi di Firenze, "Stima delle portate in ingresso agli invasi di La Penna e Levane per assegnati tempi di ritorno", gennaio 2020.



In ultimo, il giorno 04.09.2020 si è svolta all'Università di Firenze una visita specialistica di questa Divisione specialistica al laboratorio di idraulica, ospitante I modello in scala, al fine di ottenere tutti gli elementi validi per una corretta valutazione del progetto in esame.

2 – CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELL'INTERVENTO

È opportuno premettere che il progetto oggetto di istruttoria si inquadra come intervento di incremento di sicurezza idraulica dell'opera stessa. Infatti, con lettera prot. n. 25820 23.12.2014 è stato evidenziato che lo sbarramento non è in grado di evacuare in sicurezza, secondo il D.M. del 2014, le portate estreme (500 e 1000 anni di tempo di ritorno) rivalutate per la propria sezione, così come riportato nell'istruttoria della Div. 5 (rif. prot. n.17788 del 02.08.2017) e proposto di seguito.

"Deve inoltre rivelarsi che nell'ambito dell'attività di riqualificazione della sicurezza delle dighe esistenti la Direzione generale per le dighe e gli impianti idrici ed elettrici con lettera del 23/12/2014, n.25820, ha chiesto al concessionario dell'opera di realizzare degli interventi di miglioramento della sicurezza idraulica della diga e ciò in quanto l'opera risulta dimensionata per una portata al colmo con tempo di ritorno di circa 500 anni. Quindi l'intervento in progetto non consegue solo l'obiettivo di avere una capacità di laminazione disponibile per i territori di valle, ma anche migliora la sicurezza dell'impianto nel suo complesso."

Inoltre, nella stessa istruttoria, questa Direzione generale ha richiesto opportune verifiche, suffragate da prove su modello fisico, del funzionamento dello sbarramento con tali eventi estremi *"Pertanto le verifiche idrauliche dovranno suffragare adeguatamente detta ipotesi, con specifiche ed approfondite verifiche del corso d'acqua per le portate di riferimento, definendo le caratteristiche idrauliche (es. tiranti idrici) della corrente a valle. Sempre in merito alla verifica della vasca di dissipazione, essendo il valore dell'altezza coniugata a valle del risalto stimato per una portata di 2.770 m³/s, inferiore a quello definito da questa Direzione Generale, si ritiene che le valutazioni debbano essere eseguite per portate almeno cinquecentennali, e che debbano essere forniti maggiori ragguagli sulle caratteristiche della corrente idrica nel tratto di raccordo vasca - alveo. Si ritiene comunque che le definitive caratteristiche dimensionali delle opere, potranno essere meglio definite sulla base dei risultati delle prove di un nuovo modello fisico del sistema invaso-scarichi- vasca di dissipazione- alveo a valle. Le prove devono avere lo scopo di verificare, per il "range" di portate di interesse, le effettive condizioni di scarico attraverso la soglia sotto battente (scarico libero o rigurgitato), il grado di dissipazione energetica e la posizione del risalto all'interno della vasca di dissipazione"*.

Quindi, i lavori oggetto di progettazione sono conseguenza dell'ormai assodata condizione di mancata sicurezza idraulica prevista dall'attuale normativa tecnica in vigore D.M. del 26 giugno 2014.

In merito ai succitati aspetti idraulici, l'istruttoria verterà principalmente sulla verifica degli adempimenti prescritti al Gestore, con specifico riferimento all'analisi:

- dei risultati conseguenti alla modellazione fisica degli scarichi e,



-
- delle verifiche imposte dal vigente D.M. 2014.

In estrema sintesi, i lavori in progetto riguarderanno l'area degli scarichi posti sul coronamento della diga, con:

- il sopralzo della quota di coronamento,
- la sostituzione delle paratoie dello scarico di superficie,
- il sopralzo della quota sommitale dei muri di contenimento del flusso dello scivolo e della vasca di dissipazione di valle.

3 – SINTESI DEL PROGETTO DEFINITIVO PRESENTATO DAL GESTORE

Il progetto di incremento della sicurezza idraulica è conseguente alla rivalutazione idrologica del bacino sotteso alla diga effettuata da Gestore e convalidata da questo ufficio nel 2014. La risultante onda di piena millenaria di progetto è stata stimata in una portata al colmo di 3283 m³/s per un volume di circa 177 Mm³. Poiché il suddetti valori era sensibilmente superiore alla capacità di scarico dell'invaso indicata nel FCEM, il Gestore ha formulato negli anni varie ipotesi di intervento, maturate in ultimo nel presente progetto definitivo.

Tale progetto introduce le seguenti modifiche dello sbarramento:

- sopralzo della quota del coronamento da 172 m s.l.m. a 174 m s.l.m.,
- conseguente modifica degli organi di intercettazione dello scarico di superficie,
- sopralzo dei muri d'ala dello scivolo e della vasca di dissipazione a valle della soglia di sfioro dello scarico di superficie.

Essenzialmente, il progetto consente di smaltire la piena millenaria con il solo ausilio degli scarichi di superficie, la cui soglia rimane alla quota attuale, attraverso un sopralzo di tutto lo sbarramento di 2 m. Il franco idraulico assicurato al passaggio della piena è pari a 2.177 m, maggiore del minimo regolamentare imposto dalla vigente norma tecnica.

Gli elementi suesposti, le elaborazioni e le procedure seguite sono illustrate nei seguenti paragrafi.



Fig. 01 – Vista di monte e di valle degli interventi di progetto

3.1 – IDROLOGIA

La propedeutica relazione idrologica, motore della messa in sicurezza idraulica, è stata istruita da questo ufficio nel 2014 (nota succitata), validando un colmo millenario di circa 3283 m³/s.

Il Gestore ha comunque presentato negli anni, con varie documenti, dei calcoli di affinamento di tale valore. L'ultima relazione, citata altresì nel progetto presentato, è stata redatta dal Prof. Fabio Castelli dell'Università di Firenze "Stima delle portate in ingresso agli invasi di La Penna e Levane per assegnati tempi di ritorno" a gennaio 2020. In tale documento la portata di piena al colmo millenaria è stata stimata in circa 3025 m³/s. La riduzione del valore di colmo è essenzialmente dovuta all'aggiornamento della metodologia utilizzata. Infatti, nel documento si fa riferimento ad una metodologia di tipo diretto, con l'utilizzo di dati sia della sezione oggetto di studio (diga di Levane) che di quella immediatamente a monte (diga di La Penna). Nella metodologia utilizzata si tiene in conto il contributo dell'interbacino tra le due sezioni, ma non dell'effetto di laminazione della diga posta a monte. Sebbene tale documento aggiorni la stima della portata millenaria, conservativamente, su richiesta di questa Direzione generale, la portata millenaria rivalutata posta a base del progetto è stata assunta pari a 3283 m³/s con un volume di circa 177.28 Mm³ sulle 48 ore.



OSSERVAZIONE 1: Si evidenzia, sebbene non sia parte del progetto presentato, che la procedura con cui è stata stimata l'aggiornamento della portata avente tempo di ritorno 1000 anni presenta alcune incongruenze. La più significativa è quella per cui il Gestore ha stimato un coefficiente di ragguglio fra le portate massime di piena della sezione di Levane e di La Penna "confrontando, per una serie di eventi di piena dal 1993 a oggi, le portate di picco stimate in ingresso a Levane e misurate in uscita a La Penna. In tale modo il coefficiente di ragguglio tiene conto solo degli effetti di incremento di bacino e di eventuale laminazione nell'asta fluviale fra le due dighe, trascurando quello di laminazione nella diga di monte". Tale coefficiente, al contrario di ciò che viene espresso nel documento dell'Università di Firenze, tiene in conto la laminazione effettuata dal lago di La Penna poiché vengono computati i valori relativi alle portate in uscita dallo sbarramento di La Penna e non quelle in ingresso.

L'idrogramma posto a base dei calcoli di progetto è riportato nella seguente figura.

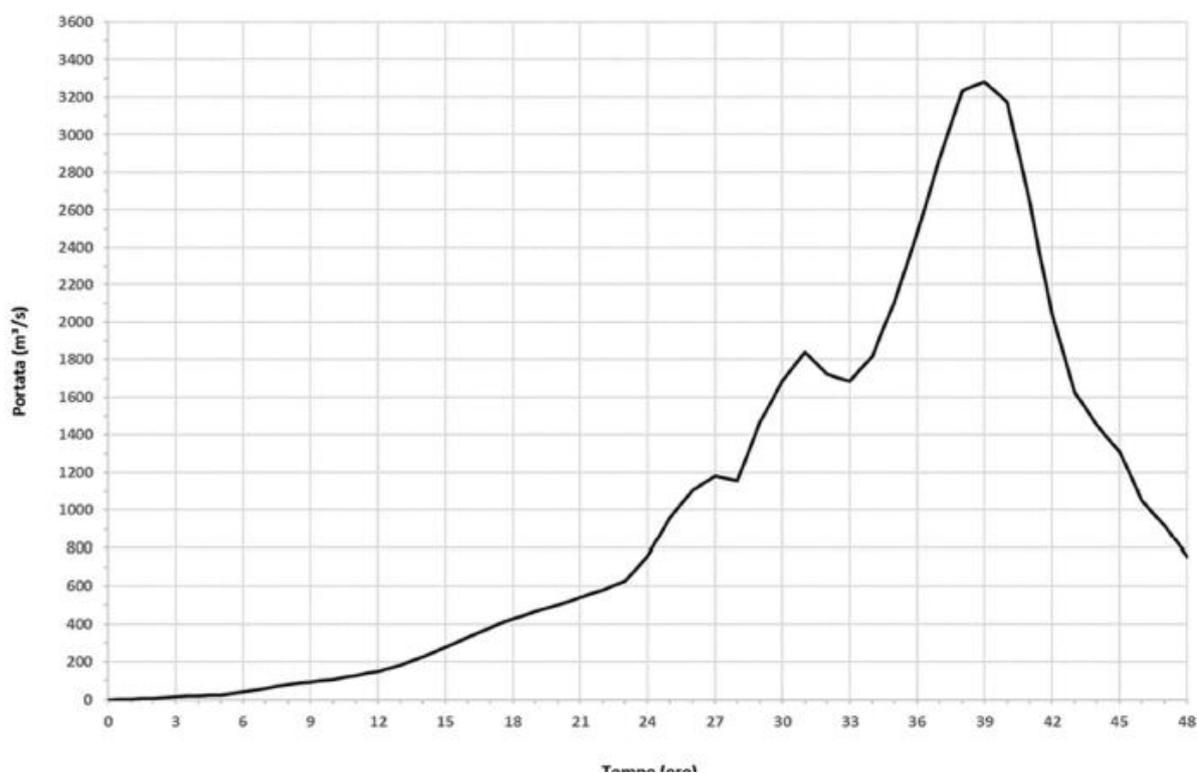


Fig. 02 – Idrogrammi di piena millenaria

3.2 – IDRAULICA DELLE PIENE - SCARICO DI SUPERFICIE E VASCA DI DISSIPAZIONE

La scelta progettuale è quella di far smaltire la piena di progetto millenaria utilizzando solamente gli scarichi di superficie. Per far ciò, il gestore ha avuto la necessità di sopralzare la quota di coronamento in virtù del fatto che si raggiunge una quota di massimo invaso di 172 m s.l.m.

Le caratteristiche dell'invaso e dello sbarramento attuali e di progetto sono sintetizzate nella seguente tabella.



Tab. 01 – Caratteristiche attuali e di progetto dell'opera

| a) Invaso | attuale | progetto |
|--|----------------|-----------------|
| bacino imbrifero sotteso Km ² | 2407 | 2407 |
| volume totale originario di invaso Mm ³ | 4,90 | 14,40 |
| volume utile originario di invaso Mm ³ | 3,45 | 3,45 |
| volume di laminazione Mm ³ | 0 | 9,50 |
| quota di max invaso m s.l.m. | 167,50 | 172,00 |
| quota di max regolazione m s.l.m. | 167,50 | 167,50 |
| b) Sbarramento | | |
| quota di coronamento m s.l.m. | 169,00 | 174,00 |
| altezza dello sbarramento m | 27,00 | 32,00 |
| Inclinazione del paramento di monte | 0,05 | 0,05 |
| Inclinazione del paramento di valle | 0,75 | 0,75 |

Essenzialmente, dal punto di vista idraulico, il progetto prevede la sostituzione delle paratoie dello scarico di superficie e dei relativi sistemi di comando e movimentazione, per renderli adeguati alle nuove potenziali condizioni di funzionamento, ma la geometria dell'opera di scarico resta inalterata, così come le parti murarie esistenti (soglie, gargami).

La configurazione di scarichi prevede:

- due luci di scarico delimitate da tre pile, una centrale e due laterali, per uno sviluppo di 35.40 m. Le luci hanno la soglia di sfioro a quota 153.00 m s.l.m. e sono intercettate da due paratoie piane larghe 12.00 m e alte 14.50 m, costituite da due elementi sovrapponibili,
- uno scivolo rettilineo con inclinazione di 0.68 contenuto da due muri d'ala perimetrali,
- un'unica vasca di dissipazione al piede diga, con fondo a quota 145 m s.l.m., delimitata da una prima traversa rettilinea (soglia 1), con altezza di 4 m. e da una seconda traversa (soglia 2), con altezza di 2 m, per una lunghezza complessiva di 48 m. Circa 35 m a valle di questa prima vasca è presente un'ulteriore terza soglia, più bassa, posta in corrispondenza, in sinistra, della centralina Battagli e, in destra, del termine dello scarico della centrale di Levane.

Nelle condizioni di nuovo massimo invaso a 172.00 m s.l.m., se si dovesse raggiungere la massima apertura delle paratoie, per sollevamento di entrambi gli elementi, la portata scaricata, per una portata in ingresso pari a quella di progetto, da entrambe le luci risulta complessivamente pari a circa 3235 m³/s.

L'intera configurazione degli scarichi e dell'opera di dissipazione, anche in virtù di una richiesta formale di questa Direzione generale, formulata nella relazione istruttoria del progetto presentato nel 2015, sono stati oggetto di un modello fisico idraulico in scala all'Università di Firenze (rif. R 20 GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.025.00 Università - modello idraulico fisico).



MODELLO FISICO IDRAULICO IN SCALA

Il modello fisico idraulico è stato sviluppato presso il laboratorio di idraulica dell'Università di Firenze. Di seguito sono riassunti le principali caratteristiche del modello stesso, in riferimento a quanto riportato nella relativa relazione allegata al progetto.

Obiettivo

Gli obiettivi del modello sono stati essenzialmente quelli di determinare:

1. determinare i coefficienti di efflusso dalle paratoie ovvero la capacità esitativa degli scarichi in modo da determinare l'apertura necessaria per il transito delle portate di riferimento, fermo restando il massimo livello d'invaso di progetto (172 m s.l.m.);
2. verificare l'adeguatezza della vasca di dissipazione (tipologia, lunghezza, altezza muri d'ala) al contenimento della corrente turbolenta;
3. individuare l'altezza idrica a valle (necessaria per aggiornare le verifiche di stabilità del corpo diga e valutare eventuali effetti di rigurgito).

Portate simulate

Secondo quanto prescritto dalla vigente normativa, la portata di riferimento in caso di adeguamento idraulico di una diga in muratura è quella avente tempo di ritorno millenario. Stante ciò, sono state simulate varie portate, da 300 a 3283 m³/s (corrispondente a un tempo di ritorno di 1000 anni), al fine di ottenere le curve di deflusso degli scarichi e l'efficacia dell'opera di dissipazione.

Configurazioni

Le configurazioni testate su modello sono riportate nelle seguenti tabelle riepilogative. Tali configurazioni hanno permesso di indagare tutte le ipotesi progettuali formulate nel progetto definitivo, riguardanti le opere di sfioro e dissipazione e di riprodurre gli effetti del modello elaborato all'epoca della progettazione originaria (rif. modello 1955).

Tab. 02 – prove effettuate nello stato attuale (A) e di progetto (P)

| DIGA DI LEVANE - STATO ATTUALE - DATI NOMINALI | | | | | | |
|--|--------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Codice Prova | Numero ripetizioni | Quota invaso [m slm] | Portata [m ³ /s] | Apertura paratoie [m] | Condizione di valle [m slm] | Vasca di dissipazione |
| A0 ^{a,c} | 1 | 167.5 | 300 | 3 | 147.1 | nessuna modifica |
| A1 ^a | 3 | 167.3 | 1400 | 5.7 | 151 | nessuna modifica |
| A2 ^a | 3 | 167.5 | 1500 | 6.0 | 151.3 | nessuna modifica |
| A3 | 2 | 167.5 | d.d. ^b | 11.83 | 153.9 | nessuna modifica |



| DIGA DI LEVANE - STATO PROGETTO - DATI NOMINALI | | | | | | |
|---|--------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Codice Prova | Numero ripetizioni | Quota invaso [m slm] | Portata [m ³ /s] | Apertura paratoie [m] | Condizione di valle [m slm] | Vasca di dissipazione |
| P0 | 2 | d.d. ^b | 2964 | 11.83 | 154.6 | nessuna modifica |
| P1 | 2 | 172 | 2964 | d.d. ^b | 154.6 | nessuna modifica |
| P6 | 5 | d.d. ^b | 3283 | 11.83 | 155.5 | nessuna modifica |

Note:^a: A0,A1,A2: prove per la verifica del modello fisico^b: d.d., da determinare in corso di prova^c: funzionamento scarico a stramazzo per abbassamento dell'elemento superiore delle paratoieDimensioni del modello

La natura dei fenomeni da esaminare su modello comporta la riproduzione secondo la similitudine di Froude.

Tab. 1 – Fattori di scala del modello

| PARAMETRI FISICI | RAPPORTO DI SCALA | FATTORE DI SCALA |
|--|---|------------------|
| Lunghezza (m) Pressione (m colonna d'acqua) | $\frac{L_p}{L_m} = \frac{P_p}{P_m} = \lambda$ | 60 |
| Velocità (m/s) Tempo (s) | $\frac{V_p}{V_m} = \frac{t_p}{t_m} = \lambda^{1/2}$ | 7.7460 |
| Portata (m ³ /s) | $\frac{Q_p}{Q_m} = \lambda^{5/2}$ | 27885.5 |

*OSSERVAZIONE 2: Si evidenzia che nella relazione del Gestore, preparata dall'Università di Firenze (rif. - R20 GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.025.00 Università - modello idraulico fisico), viene riportato un valore differente del fattore di scala della portata ($3.59 * 10^{-5}$ Vs. $2.79 * 10^4$). Il valore riportato nella relazione summenzionata è il valore reciproco del fattore di scala.*

Costruzione e materiali

La descrizione dei materiali è data nella relazione del modello da cui si è estratto quello che segue.

Il nuovo modello fisico è stato realizzato mediante «scultura» di blocchi di materiale ESP-HD (polistirene espanso ad alta densità), utilizzando un braccio robotico a 7 assi di rotazione; successivamente i blocchi sono stati incollati insieme e rivestiti da resina poliuretana impermeabile e resistente agli urti. Le dimensioni totali sono 4225x1953x805 mm (Fig. 2).



Fig. 03 – Vista da valle del modello fisico in scala

Condizioni al contorno

L'ambito spaziale da riprodurre nel modello fisico si estende dalla sezione filo monte della diga fino all'alveo naturale del fiume Arno per una distanza complessiva di 120 metri. In questo modo viene riprodotta l'intera struttura della diga e della vasca di dissipazione, insieme a un tratto di circa 50 metri dell'alveo a valle. Il modello fisico comprende anche le opere poste in destra (Centrale Levane) e in sinistra (Centralina Battagli) del corpo diga in corrispondenza degli scarichi.

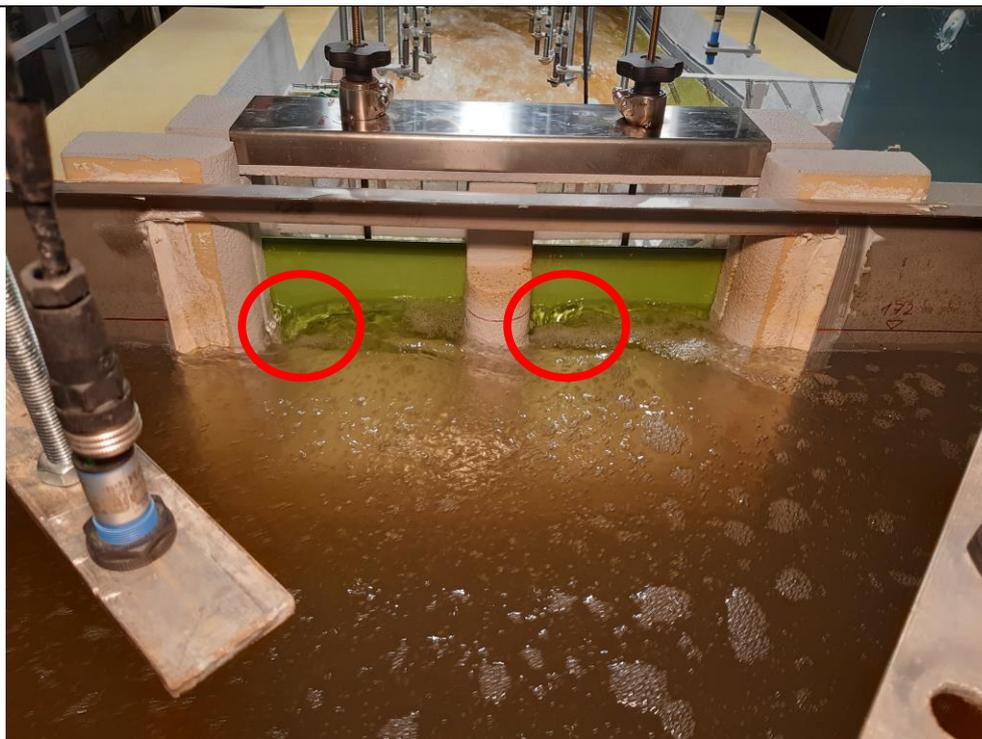
Il lago di monte è riprodotto tramite una vasca di capacità totale pari a 3.2 m³ e viene alimentato tramite tre tubazioni, come mostrato in figura.



Fig. 04 – Disposizione delle tubazioni di alimentazione

Per dissipare la turbolenza dei tre getti in ingresso al serbatoio di monte sono state utilizzate varie griglie ed elementi che agevolassero lo smorzamento della turbolenza.

OSSERVAZIONE 3: Durante la visita al modello idraulico, svoltasi il giorno 04.09.2020, è emerso dall'esame visivo, un leggero disturbo delle condizioni del flusso in approccio alle soglie dello scarico di superficie, nella parte che riproduce il serbatoio di monte, che si traduce nella formazioni di alcuni piccoli vortici, come riportato in rosso nella figura seguente.



Tale condizione, sebbene non riproduce la realtà del prototipo, non inficia i risultati del modello stesso, in quanto appare essere solo un disturbo locale. Per ovviare a questo effetto di bordo, si sarebbe dovuto costruire un serbatoio di monte con dimensioni assai più grandi, incompatibili con lo spazio disponibile in laboratorio.

Inoltre, dalla foto, emerge una certa asimmetria del flusso in approccio alle soglie, dovuta alla conformazione del serbatoio (più largo in destra idraulica che in sinistra), che però riproduce l'asimmetria di posizione dello sfioratore rispetto all'asse del fiume nel prototipo.

I vortici osservati, quindi, sono presumibilmente ascrivibili alle risultanze dei duplici effetti dovuti all'asimmetria naturale del prototipo e alle ridotte dimensioni del modello.

Nella sezione di chiusura a valle è stata imposta la condizione idraulica derivante dal Fiume Arno. Tale condizione è stata determinata ricavando la scala di deflusso mediante la simulazione numerica in moto permanente del tronco di valle del Fiume Arno di estensione pari a circa 3.5 km.

La simulazione numerica è stata condotta dall'Università di Firenze utilizzando il modello HEC-RAS unidimensionale, opportunamente calibrato sulla base della documentazione disponibile. La geometria dell'alveo del Fiume Arno è dedotta dalle sezioni fluviali disponibili presso la stessa Autorità di Bacino, rilievo 2002, integrate nel tratto immediatamente a valle della diga con le sezioni trasversali desumibili dal rilievo tridimensionale ad alta risoluzione eseguito dall'Enel nel maggio 2019. La condizione è fisicamente realizzata nel modello mediante l'installazione di una paratoia a ventola la cui rotazione permette di variare il livello idrico a monte.

Risultati



In totale sono state effettuate n. 4 prove sulla configurazione attuale e n. 3 prove nello stato di progetto. Le prove nello stato attuale hanno avuto il principale obiettivo di verificare le condizioni del modello. Infatti, la prova A1 è stata utilizzata per verificare il livello di invaso, il risalto idraulico, tramite i dati registrati durante la piena del 30 ottobre 1992, mentre le prove A0 e A2 sono state utilizzate per confrontare il modello attuale con quello del 1955.

In definitiva, le prove di verifica hanno confermato la validità del nuovo modello nel riprodurre correttamente i fenomeni osservati sia alla scala del prototipo (scala 1:1), sia alla scala del modello 1955 (1:100).

In particolare, risultano ben riprodotti sia i fenomeni di efflusso dalle luci di scarico sia i fenomeni fortemente dissipativi che si sviluppano a valle degli sfioratori di superficie in conseguenza del risalto idraulico.

Inoltre, la prova A0 ha fornito indicazioni sul corretto funzionamento delle opere di scarico anche per le basse portate e con la modalità a stramazzo e la stessa prova ha confermato l'efficacia della soglia 2 nel contenere stabilmente il risalto idraulico all'interno della vasca di dissipazione, evitando fenomeni erosivi verso valle connessi alle modalità di funzionamento più frequenti per l'impianto di Levane. Invece, le prove A1 e A2 hanno mostrato il corretto funzionamento del modello sia in relazione alle opere di scarico sia con riferimento alla vasca di dissipazione. Infine, la prova A3 è stata finalizzata alla verifica della portata esitabile dagli scarichi di superficie con la massima apertura delle paratoie, pari a 11.83 m, e il massimo livello d'invaso, pari a 167.5 m s.l.m. Il risultato evidenzia una portata di 2583 m³/s.

In definitiva, i risultati delle prove nello stato attuale hanno confermato il corretto funzionamento degli scarichi, la massima portata scaricabile e l'adeguatezza della vasca di dissipazione al contenimento del risalto principale.

Per quanto concerne le prove sulla configurazione di progetto, esse sono state effettuate al fine di verificare l'adeguatezza delle opere di dissipazione di valle al passaggio della portata di 2964 m³/s nello stato di progetto (prove P0 e P1) e di determinare il livello nell'invaso nella condizione di massima apertura delle paratoie (11.83 m) e portata di 3283 m³/s (prova P6).

Dalle prove P0 e P1 emerge che:

- le luci di scarico sono adeguate e in grado di esitare la portata di 2964 m³/s con quota di invaso a 172 m s.l.m. e apertura delle paratoie di 10.60 m, inferiore quindi alla massima apertura di 11.83 m;
- se le paratoie vengono sollevate con la loro apertura massima (11.83 m), il livello che si instaura nel lago al passaggio della portata avente tempo di ritorno 500 anni è di 169.9 m s.l.m.;
- una ulteriore verifica delle condizioni di scarico con la portata di 2964 m³/s nelle ipotesi di apertura delle paratoie pari a 13.50 m produce un massimo livello di invaso pari a 168.7 m s.l.m. con funzionamento degli scarichi a stramazzo.
- In tutti i casi, le condizioni dissipative a valle sono analoghe a quelle riscontrate nella prova sullo stato attuale (prova A3): si osserva il risalto principale contenuto in ampiezza e in estensione all'interno della vasca di dissipazione nella geometria di progetto; un secondo risalto, del tutto



analogo a quello riscontrato nella prova sullo stato attuale, si verifica tra la soglia 2 e la soglia 3 (Centralina Battagli).

- Le altezze idriche della corrente di valle non producono effetti di rigurgito tali da interferire con il deflusso a valle degli scarichi della diga.

Invece, la prova P6, finalizzata a verificare la quota nell'invaso al passaggio della portata di $3283 \text{ m}^3/\text{s}$ ha fornito il profilo liquido riportato nella figura sottostante dal quale si può dedurre:

1. Il livello che si instaura nell'invaso è circa 172.2 m s.l.m. , superiore quindi alla quota massima di progetto di 172 m s.l.m. ;
2. i muri d'ala contengono, senza franco, il risalto principale (rif. sezione U08-09, vedi figure seguenti);
3. la presenza di un secondo risalto idraulico che appare non estendersi oltre la Centralina Battagli.

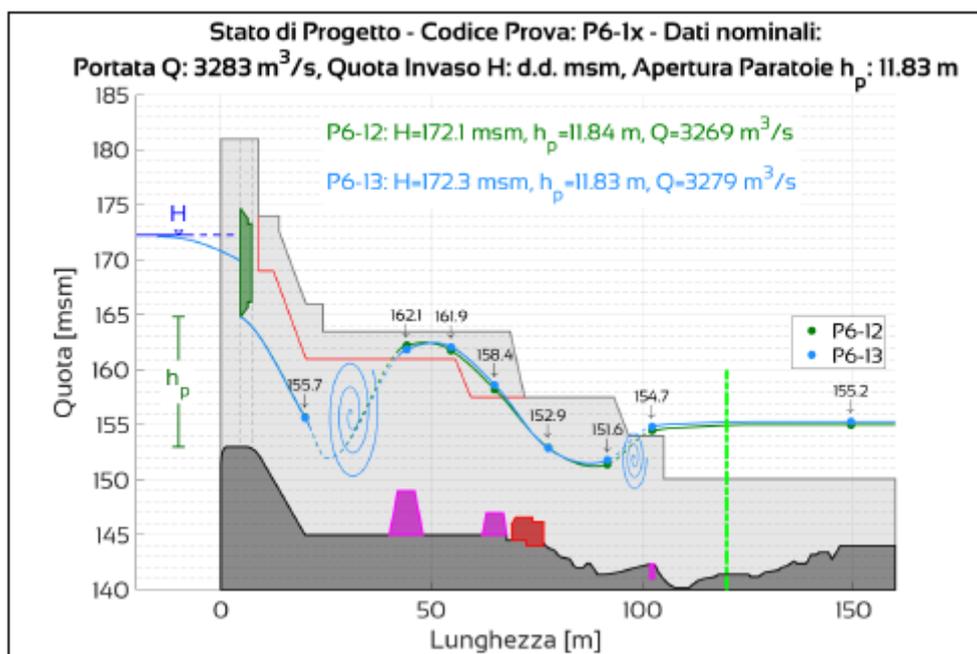


Fig. 05 – profilo idrico per la prova P6, $Q = 3283 \text{ m}^3/\text{s}$

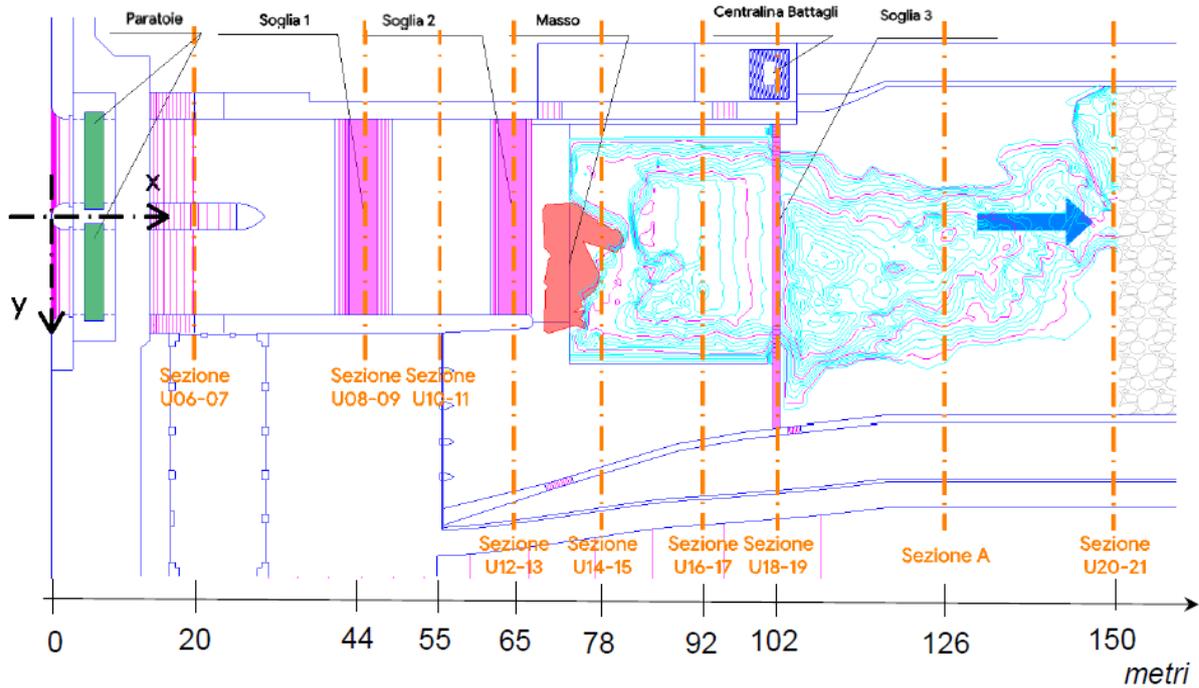


Fig. 06 – ubicazione delle sezioni di misura

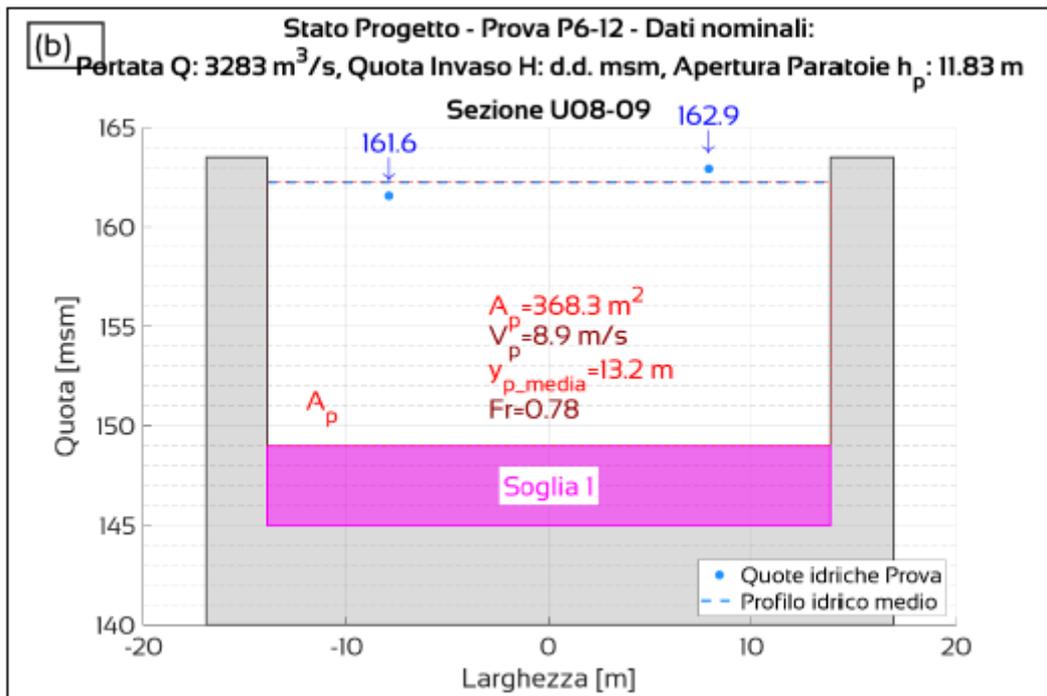


Fig. 06 – sezione idrica U08-09 riferita alla prova P6

Inoltre, emerge che per avere una quota all'interno dell'invaso non superiore a quella di progetto, le paratoie devono essere alzate almeno fino a un'altezza di 12.00 m , ovvero 0.17 m più dell'attuale altezza massima; in questo caso, la quota dell'invaso si attesta a 171.9 m s.l.m. I livelli idrici del profilo liquido nelle diverse sezioni di valle rimangono sostanzialmente invariati rispetto a quelli ottenuti con apertura

delle paratoie a 11.83 m, come rimangono invariate rispetto alla prova P1 le caratteristiche dei fenomeni dissipativi connessi al risalto principale e al secondo risalto.

La massima portata esitata dagli scarichi in condizione di progetto (quindi livello invaso a 172 m s.l.m. e altezza massima delle paratoie pari a 11.83 m) risulta circa 3235 m³/s.

VERIFICA IDRAULICA DEL FRANCO DI SICUREZZA

Il gestore ha provveduto a effettuare la verifica del franco idraulico da normativa vigente utilizzando:

- l'idrogramma della piena millenaria, riportato in figura 02
- la nuova curva quote-volumi di invaso ricalcolata nel progetto da dati batimetrici recenti (2009) e DTM aggiornato;
- la curva di efflusso dello scarico di superficie, verificata tramite modello idraulico.

Data la buona corrispondenza verificata tramite il modello, come coefficienti di efflusso dalle luci nelle simulazioni sono stati considerati quelli definiti in fase di progetto originario. In particolare, il valore del coefficiente di efflusso sotto battente utilizzato (quello più significativo per lo smaltimento delle portate elevate), pari a 0.7, dagli esiti delle prove su modello risulta leggermente inferiore a quelli sperimentali (modello 2020) e teorici e quindi conservativo per la valutazione della laminazione.

Anche nel caso di funzionamento a stramazzo con paratoie chiuse a pacchetto appoggiate alla soglia di sfioro (caso che si propone però solo in caso di scarico di portate fino a circa 300 m³/s), lo studio su modello fisico dell'Università di Firenze ha indirettamente confermato il valore del progetto originario, valutato da modellazione fisica nel 1955.

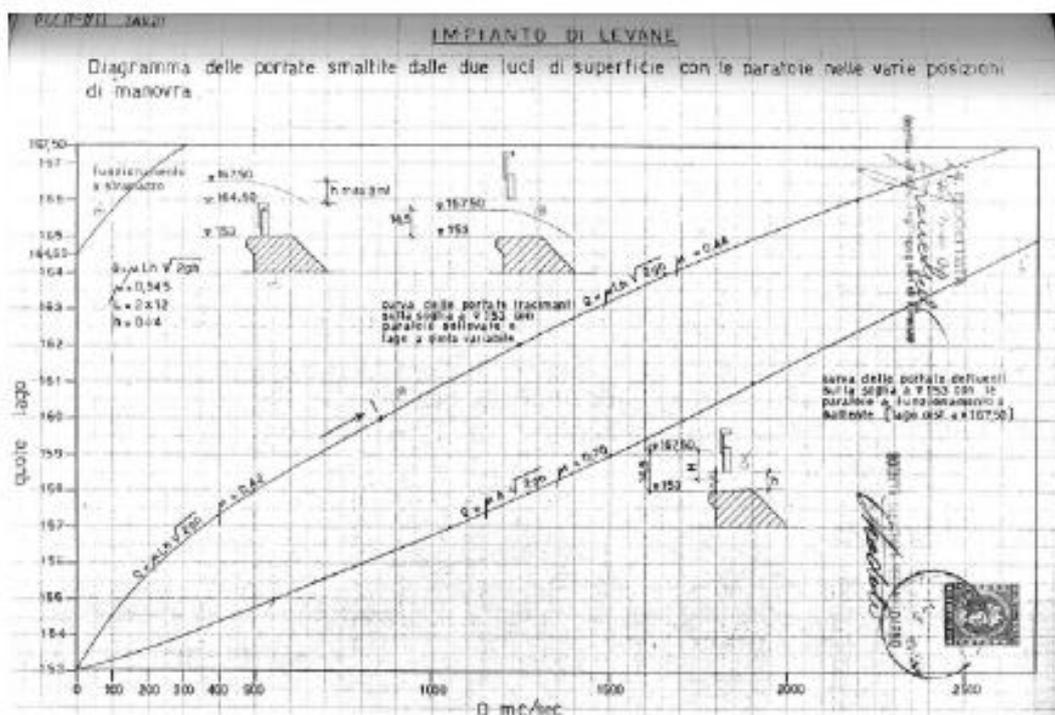


Fig. 07 – Coefficienti di efflusso per gli scarichi della diga di Levane

Mentre la curva quote-volumi di invaso è data nel seguente grafico, dove è confrontata con quella attuale.

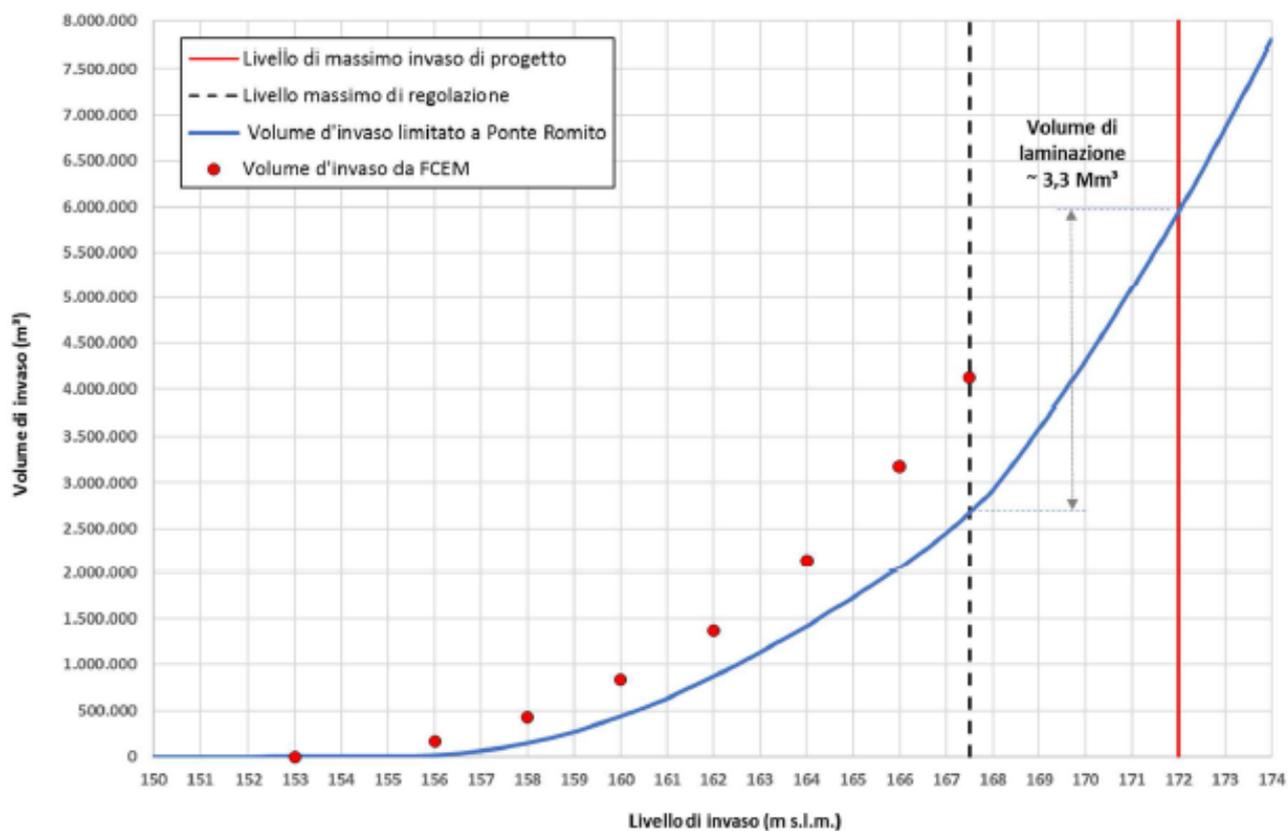


Fig. 08 – Curva quote-volumi di invaso

Il franco minimo richiesto dalla normativa è 1.303 m, derivante dal calcolo di quello minimo legato alla tipologia di sbarramento e aumentato dai contributi dell'onda da vento e da run-up. La seguente figura esplicita il calcolo di laminazione effettuato nel progetto.

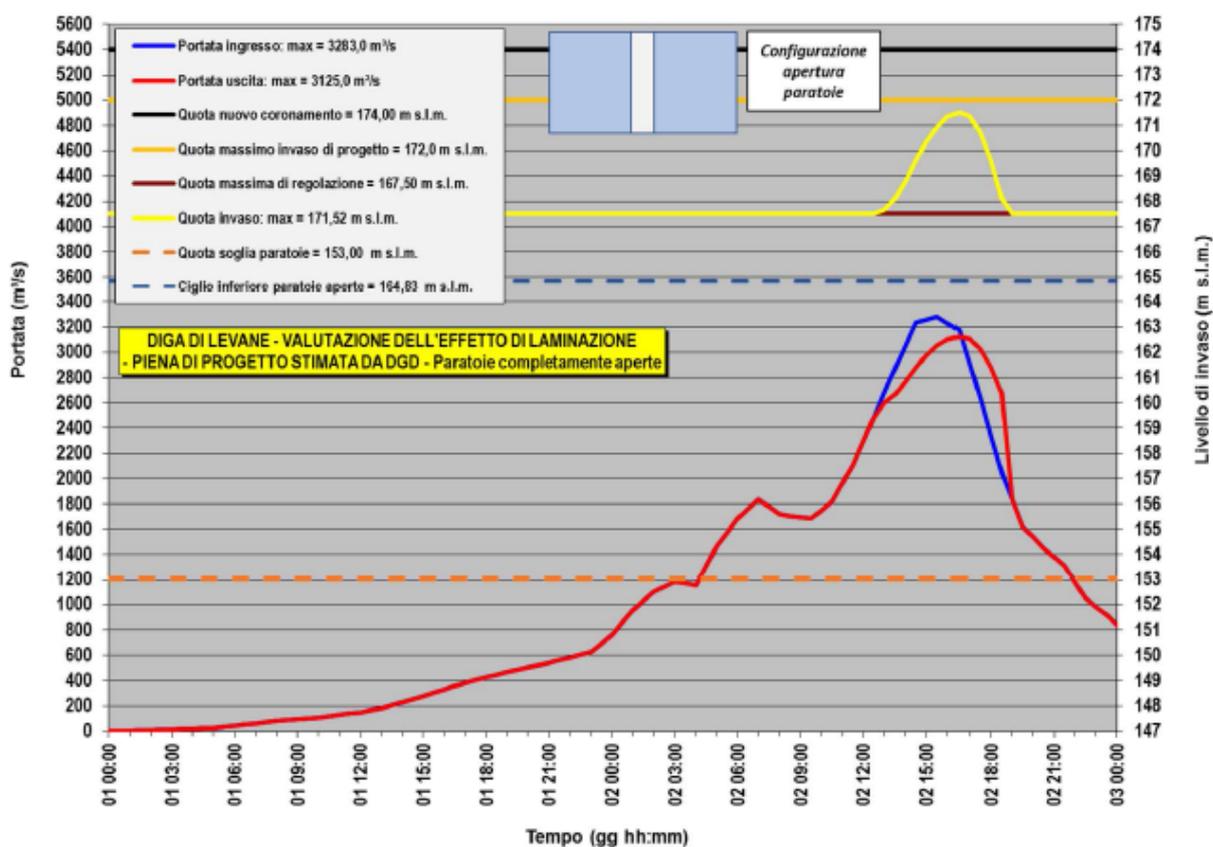


Fig. 09 – Laminazione dell'idrogramma di progetto

Si può osservare che mediante apertura graduale delle paratoie dello scarico di superficie fino al valore massimo di 11.83 m, seguendo l'onda crescente di piena, il livello massimo raggiunto nell'invaso risulta pari a 171.52 m s.l.m. e quindi inferiore a quello di massimo dell'invaso di progetto, pari a 172.00 m s.l.m..

Il franco netto rispetto al coronamento (174.00 m s.l.m.) risulta essere pari a 2.177 m e, quindi, la verifica del franco secondo il D.M. 2014 risulta soddisfatta.

Il Gestore ha effettuato altresì la verifica del malfunzionamento delle paratoie con l'ipotesi di chiusura parziale delle paratoie (20%) considerando sollevamento non completo degli elementi chiusi a pacchetto, che corrisponde al mancato funzionamento previsto dal D.M. 2014.

Tale simulazione, come mostrato nella seguente figura, porta ad un livello di invaso di oltre 175 m s.l.m. e, quindi, alla tracimazione.

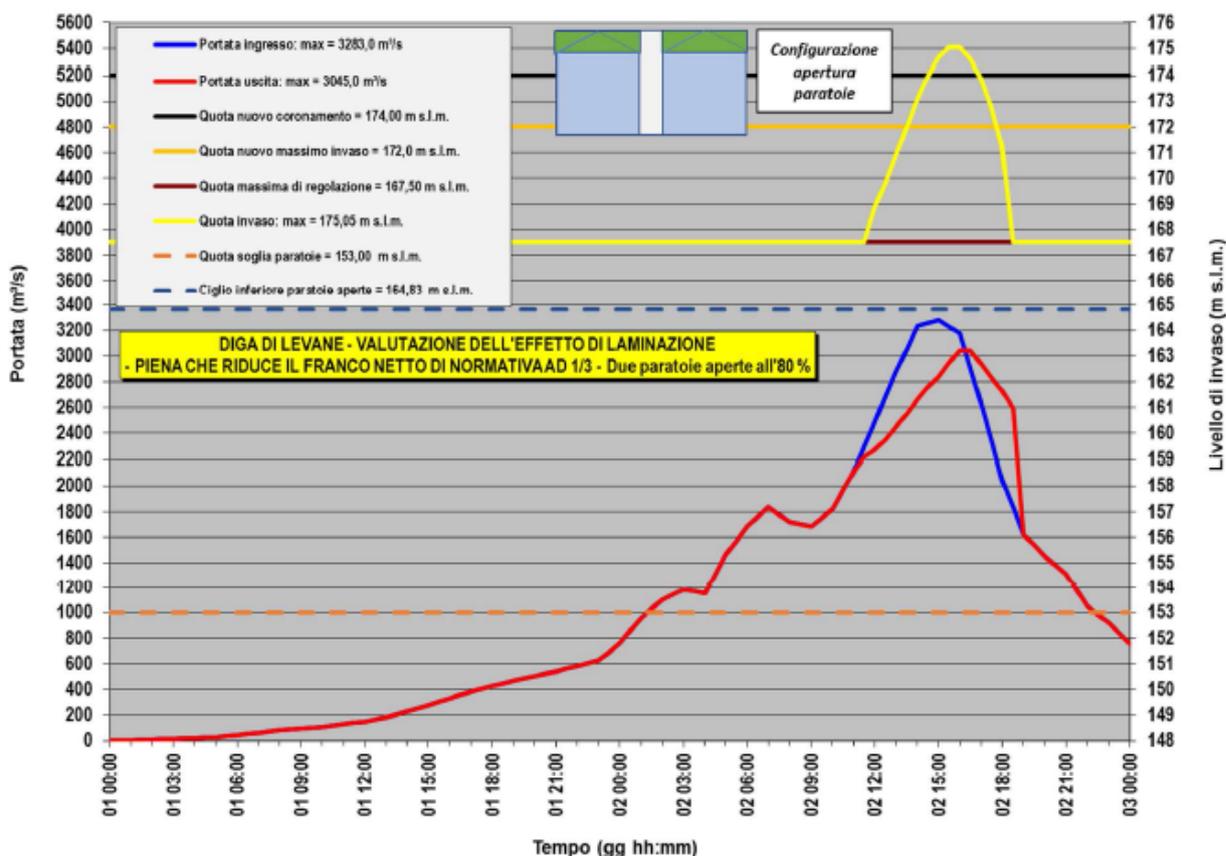


Fig. 10 – Laminazione dell'idrogramma di progetto nel caso di mancato funzionamento del 20% delle paratoie

Alla luce di ciò, il Gestore ha elaborato la stessa verifica determinando per tentativi successivi la laminazione dell'idrogramma che permetta il mantenimento di un franco netto residuo non inferiore ad 1/3 di quello da normativa di 1 m. Da tale simulazione emerge che l'idrogramma che soddisfa la verifica del mancato funzionamento del 20% delle paratoie è quello ottenuto scalando l'idrogramma della millenaria al 92.4%, con portata al colmo pari a 3033 m³/s e volume sulle 48 ore di circa 164 Mm³.

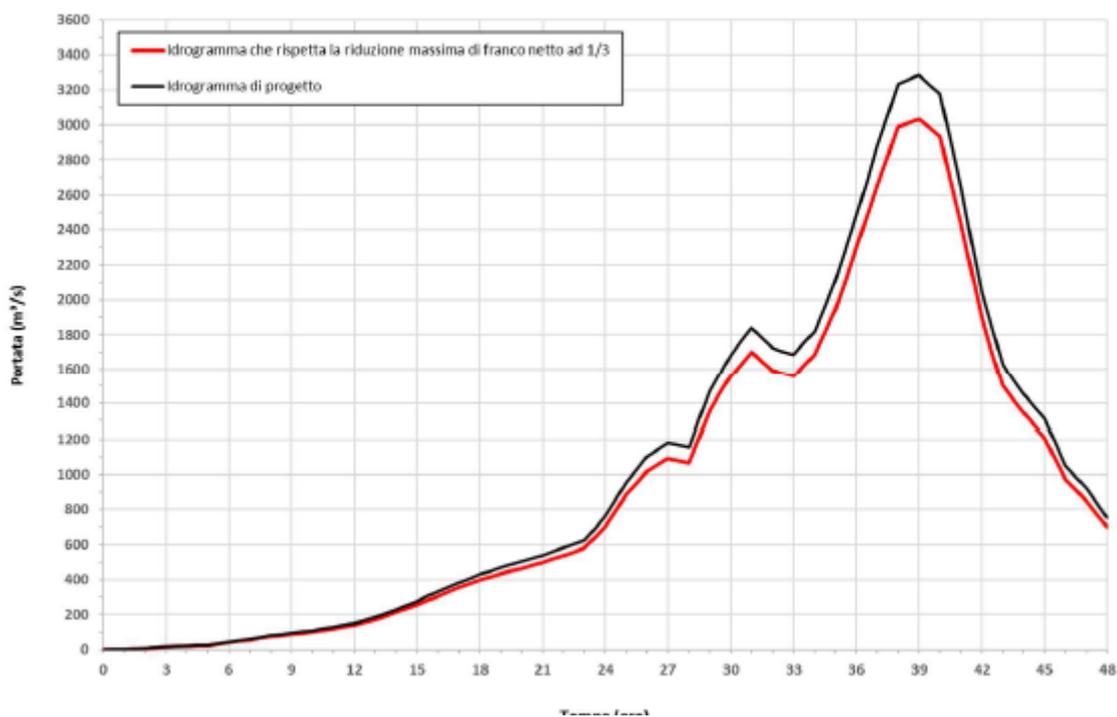


Fig. 11 – Laminazione dell'idrogramma millenario scalato

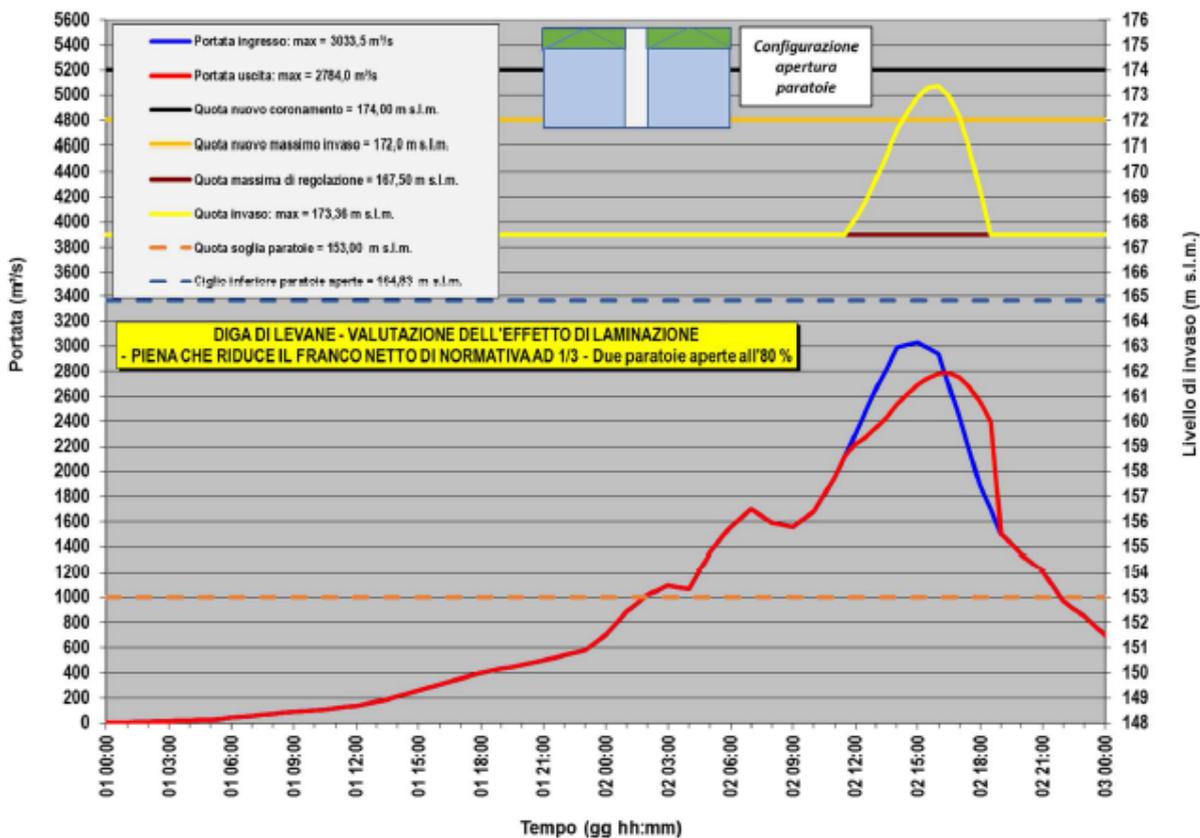


Fig. 12 – Laminazione dell'idrogramma scalato con mancato funzionamento del 20% delle paratoie



OSSERVAZIONE 4: Si osserva che formalmente non è stata presentata la verifica del tempo di ritorno della portata che annulla il franco.

OSSERVAZIONE 5: Sebbene la verifica del mancato funzionamento del 20% delle paratoie sia non soddisfatta formalmente, dal momento che le ipotesi alla base del calcolo, soprattutto quelle riguardanti i coefficienti di efflusso dello scarico di superficie, sono cautelative e la portata che verifica la condizione in esame è di poco inferiore a quella assegnata (e inoltre è simile alla portata millenaria stimata con l'aggiornamento dell'Università di Firenze), si ritiene che essa possa essere ritenuta soddisfatta e congruente con quanto richiesto dal D.M. 2014.

4 – ELABORAZIONI DELL'UFFICIO DI IDRAULICA

Data l'importanza del progetto di incremento della sicurezza idraulica della diga di Levane questo Ufficio, al fine di fornire il proprio parere specialistico sull'idoneità e funzionalità idraulica della soluzione tecnica proposta dal Gestore, ha provveduto attraverso autonome valutazioni a sviluppare alcuni calcoli di confronto.

Nei seguenti paragrafi vengono illustrati i calcoli e le valutazioni svolte, con specifico riferimento ai punti trattati nel capitolo precedente.

4.1 – IDROLOGIA

La portata millenaria rivalutata e posta a base del progetto è pari a 3283 m³/s. Tale portata deriva dai calcoli effettuati da questo Ufficio specialistico e riportati nell'istruttoria dedicata del 2014 (prot. n. 25820 23.12.2014). Il valore in oggetto è stato altresì affinato dai calcoli effettuati dall'Università di Firenze e riportato nel documento "Stima delle portate in ingresso agli invasi di La Penna e Levane per assegnati tempi di ritorno" (gennaio 2020), non facente parte del progetto in esame, ma solo richiamato quale riferimento.

4.2 – IDRAULICA DELLE PIENE - SCARICO DI SUPERFICIE E VASCA DI DISSIPAZIONE

La scelta progettuale è quella di far smaltire la piena di progetto millenaria utilizzando solamente gli scarichi di superficie. Gli scarichi progettati sono a tutti gli effetti gli scarichi attualmente presenti in diga e di fatto è stata variata solo la quota del coronamento (innalzato fino a 174 m s.l.m.), al fine di garantire il franco richiesto da normativa.

In questo modo lo sfioratore di superficie garantisce che venga smaltito il colmo di piena millenario con un livello di invaso prossimo alla quota di 172 m s.l.m. La seconda sostanziale modifica riguarda la modifica degli organi di scarico che, sebbene non siano variati per dimensioni e modalità operative, vengono sostituiti per far fronte ai maggiori carichi idrici esistenti. Nei prossimi sotto-paragrafi verranno esposti i calcoli svolti autonomamente da questo ufficio per verificare il progetto e il modello degli sfioratori di superficie di Levane.



COEFFICIENTE DI EFFLUSSO

I coefficienti di efflusso presentati nei documenti del progetto sono da ritenersi validi in quanto verificati su modello fisico. Inoltre, richiamando l'osservazione 5, tali coefficienti, con specifico riguardo a quello delle condizioni di scarico sotto battente, sono altresì da considerarsi cautelativi poiché dall'esame dei risultati su modello si evince che il valore del coefficiente per tale condizione è inferiore a 0.7 e, quindi, è presumibile che assuma tale valore inferiore anche sul prototipo.

Stante ciò, i risultati riguardanti la laminazione della piena millenaria riportati nel progetto proposto appaiono più che attendibili.

VASCHE DI DISSIPAZIONE

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

Dalle prove su modello emerge che per tutte le portate simulate (0 – 3300 m³/s circa) si sviluppa un duplice risalto dissipativo e che il fenomeno in esame è sempre contenuto (sebbene con l'azzeramento del franco nel caso della portata millenaria) all'interno della vasca.

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

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

Seguendo la teoria summenzionata, sono stati eseguiti i calcoli immettendo come dati di input le risultanze del modello fisico.

Dai risultati emerge che il risalto (unico, secondo quanto riprodotto dalla teoria) si innesca con una quota di fondo della vasca pari a 144 m s.l.m. (che è un metro più bassa di quella esistente) e che lo stesso risalto ha lunghezza pari a 85 m.

Confrontando questi risultati con quelli derivanti da modello, sebbene sussistano delle differenze, principalmente imputabili al fatto che la geometria del prototipo (e del modello fisico) è leggermente differente da quella prevista dalla teoria USBR, si può affermare che ci sia una buona corrispondenza e che la dissipazione sul prototipo sarà la medesima di quella derivante dalle simulazioni sul modello.

4.3 – VERIFICA IDRAULICA DEL FRANCO DI SICUREZZA

Per quanto riguarda il calcolo del franco idraulico di sicurezza si assume corretto quello svolto dal gestore e presentato nel progetto. Il massimo invaso raggiunto in caso di passaggio di piena millenaria, smaltita con il solo ausilio degli scarichi di superficie, è pari a 171.52 m s.l.m., approssimabile a 172 m s.l.m.



Per ciò che concerne le verifiche corollari, stante la mancanza della verifica del tempo di ritorno della piena che annulla il franco, si richiama l'OSSERVAZIONE 5 e si reputa che la verifica con il malfunzionamento delle paratoie possa ritenersi soddisfatta.

5 – CONCLUSIONI

In virtù delle considerazioni precedenti, stante le elaborazioni effettuate dal Concessionario, questo Ufficio ha espresso osservazioni in merito ad alcuni aspetti progettuali riguardanti dettagliatamente alcune parti dell'intervento in oggetto, tra cui:

- lo scarico di superficie;
- la vasca di dissipazione a valle diga;

I coefficienti di deflusso proposti dal Gestore sono da ritenersi più che adeguati e, nella maggior parte dei casi, le scelte adottate dal Gestore sono di carattere cautelativo nel caso delle valutazioni delle scale di deflusso inerenti lo scarico di superficie, il deflusso a valle della soglia dello scarico di superficie e la dissipazione vera e propria a piede diga.

Rimandando alla ampia disamina effettuata nei punti precedenti, si ritiene che il progetto di incremento di sicurezza idraulica sia stato elaborato secondo i migliori standard ingegneristici a disposizione e risponda alle verifiche di sicurezza idraulica imposte dalla vigente norma di settore.

Si evidenzia che sebbene la verifica del mancato funzionamento del 20% delle paratoie sia non soddisfatta, dati i margini cautelativi delle ipotesi alla base del calcolo, si ritiene che essa possa essere ritenuta soddisfatta e congruente con quanto richiesto dal D.M. 2014.

Stante ciò, questo Ufficio ritiene che debbano essere approfonditi nella successiva fase progettuale i seguenti aspetti non marginali del progetto presentato dal Gestore:

- **DEVIAZIONE:** il Gestore non ha presentato alcune considerazioni in merito alla portata di dimensionamento dell'opera di deviazione (valore e tempo di ritorno). In sede di progettazione esecutiva, dovranno essere esplicitati i livelli a cui è previsto che il serbatoio sia operativo la portata di dimensionamento della deviazione con il relativo tempo di ritorno, adeguatamente motivata, e i franchi disponibili durante la fase di cantiere.
- **VERIFICHE DI STABILTA' VERSANTI:** per ciò che concerne i dissesti censiti e le relative verifiche di stabilità, anche se a favore di sicurezza, non appare del tutto condivisibile soprattutto per il dissesto nei pressi di ponte Romito, la scelta di adottare la quota di massimo invaso a tutto l'invaso e di non considerare la durata di innalzamento del livello. Si raccomanda il Gestore di rivedere tali calcoli nella fase successiva di progettazione e di giustificare maggiormente i risultati



a cui giunge (per esempio la parziale occlusione della sezione fluviale conseguente la mobilitazione della frana)

- PIANO DI LAMINAZIONE: sebbene sia di competenza regionale, si fa presente che il progetto in esame "Progetto di sovrizzo ai fini di laminazione" non ha un elaborato relativo al piano di laminazione.

Fermo restando quanto sopra espresso, si ricorda che ai sensi delle circolari RID\3199\UIDR del 04/04/2005, emanata in attuazione dell'art. 4, comma 1, del D.L. 79/2004 convertito con L. 139/2004 e R.U. prot. n. 3356 del 13/02/2018 il Gestore dovrà integrare le asseverazioni "con i dati registrati durante l'esercizio dello sbarramento (livelli d'invaso, portate affluenti, derivate e scaricate) nel corso di eventi di piena, anche a termini delle Circolari SDI/7128 del 21/10/2000 e SDI/8111 del 5/12/2000" e, quindi, nel caso in cui il Gestore ottenga i dati suddetti tramite processo di de-laminazione dai valori del livello di invaso, sarà necessario determinare il reale comportamento delle soglie degli scarichi di superficie (cioè il coefficiente di efflusso) al fine di applicare l'equazione della portata effluente per non incorrere in valutazioni erronee della portata di picco annuale che si potrebbe tradurre in serie storiche del tutto inaffidabili.

Roma, 07.10.2020

IL FUNZIONARIO

(Ing. Francesca Pianigiani)

VISTO: IL DIRIGENTE

(Ing. Francesco Santoro)