



IMPIANTO	CODICE CKS
Impianto idroelettrico di Levane	GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.013.00
Diga di Levane: Progetto di Sovralzo ai fini di laminazione	

## DIGA DI LEVANE

O&M Hydro Italy  
Northern Central Area - Territorial Unit Lucca - UE Levane  
Comune di Montevarchi - Provincia di Arezzo

# PROGETTO DI SOVRALZO AI FINI DI LAMINAZIONE - PROGETTO DEFINITIVO

## RELAZIONE GENERALE SUGLI INTERVENTI

00	30/06/2020	Prima emissione	R. Pellegrini A. Cadore A. Masera	A. Nardi	A. Masera
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONI	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO
ELABORATO CESI N. <b>C0009671</b>		NOME FILE R07 Relazione tecnica generale.docx	SCALA -	FOGLIO -	
NUMERO E DATA ORDINE		Ordine n. 3500053942 del 28/09/2019			
IL PROGETTISTA			 <i>Alberto Masera</i> ING. ALBERTO MASERA		
 KEMA Labs CESI S.p.A. Via Rubattino 54 I-20134 Milano - Italy Tel: +39 02 21251 Fax: +39 02 21255440 e-mail: info@cesi.it www.cesi.it  Engineering & Environment - ISMES Division Structural & Civil Engineering					
IL COMMITTENTE		ENEL GREEN POWER ITALIA S.r.l.			
		Power Generation Italy O&M Hydro Italy Northern Central Area		DATA	ING. M. SESSEGO
PER PRESA VISIONE ING. RESPONSABILE			No. HYD		
DATA	ING. S. GABBRIELLI				

## RAPPORTO

USO RISERVATO

APPROVATO

C0009671

**Cliente** ENEL Green Power S.p.A.

**Oggetto** DIGA DI LEVANE – Comuni di Montevarchi e Terranuova Bracciolini (AR)  
Progetto di soprizzo ai fini di laminazione - Progetto Definitivo  
**Relazione tecnica generale**

**Ordine** Attivazione a Contratto Aperto n. 3500053942 da Contratto Aperto di Servizi  
8400140386 del 7/05/19

**Note** Rev. 00 – WBS A1300002142 – Lettera trasmissione C0009658

Timbro professionale: Ing. Alberto Masera, dipendente CESI, incarico interno  
B9024256 del 05/12/2019

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

**N. pagine** 58 **N. pagine fuori testo** //

**Data** 30/06/2020

**Elaborato** STC - Cadore Alessandro, INE - Masera Alberto, STC - Pellegrini Rita  
C0009671 114933 AUT C0009671 114993 AUT C0009671 115018 AUT

**Verificato** INE - Nardi Andrea  
C0009671 3011309 VER

**Approvato** INE - Masera Alberto (Project Manager)  
C0009671 114993 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54  
I-20134 Milano - Italy  
Tel: +39 02 21251  
Fax: +39 02 21255440  
e-mail: info@cesi.it  
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato  
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150  
P.I. IT00793580150  
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2020 by CESI. All rights reserved

Pag. 1/58

## *Indice*

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
1.1	Riferimenti normativi .....	4
1.2	Riferimenti bibliografici .....	5
1.3	Elaborati progettuali CESI.....	6
1.4	Elaborati progettuali Università degli Studi di Firenze (UNIFI) e Centro Geotecnologie dell'Università di Siena (CGT).....	6
1.5	Elaborati progettuali opera elettromeccaniche: Ing. Michele Hirschler .....	7
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>OBIETTIVI DEL PROGETTO DI SOPRALZO</b> .....	<b>8</b>
3.1	L'alluvione del 1966.....	8
3.2	Il Piano Stralcio per la riduzione del rischio idraulico .....	8
3.3	Sopralzo della diga previsto dal Piano Stralcio.....	9
3.4	Protocollo d'intesa tra Provincia di Arezzo ed Enel Produzione SpA.....	10
3.5	Accordo di Programma della Regione Toscana.....	10
3.6	Progetto 2015 di ENEL: Istruttoria .....	12
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA DIGA ESISTENTE</b> .....	<b>16</b>
4.1	Corpo della diga.....	16
4.2	Organi di scarico .....	19
4.3	Opera di presa .....	20
4.4	Rete di drenaggio della diga .....	21
4.5	Centralina idroelettrica Battagli .....	21
<b>5</b>	<b>PROGETTO E REALIZZAZIONE DELLA DIGA ESISTENTE</b> .....	<b>22</b>
5.1	Concessione.....	22
5.2	Progetto.....	22
5.3	Realizzazione e collaudo.....	24
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLE OPERE IN PROGETTO</b> .....	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>ASPETTI GEOLOGICI, GEOTECNICI E GEOMECCANICI</b> .....	<b>33</b>
7.1	Caratterizzazione geotecnica e geomeccanica.....	37
7.2	Intervento di chiusura idraulica della diga in spalla sinistra. ....	38
7.3	Sponde dell'invaso .....	38
<b>8</b>	<b>ASPETTI IDROLOGICI</b> .....	<b>40</b>
8.1	Idrogramma di progetto.....	40
<b>9</b>	<b>ASPETTI IDRAULICI</b> .....	<b>41</b>
9.1	Verifiche idrauliche dello scarico di superficie .....	41
9.2	Vasca di dissipazione .....	42
9.3	Muri d'ala .....	43
<b>10</b>	<b>ASPETTI STRUTTURALI</b> .....	<b>43</b>

<b>11</b>	<b>REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI .....</b>	<b>45</b>
11.1	Svolgimento dei lavori .....	45
11.2	Programma cronologico .....	50
11.3	Opere provvisorie per il cantiere .....	53
<b>12</b>	<b>MATERIALI IMPIEGATI .....</b>	<b>53</b>
12.1	CALCESTRUZZI .....	53
12.2	Acciaio per calcestruzzo armato.....	55
12.3	Acciaio da carpenteria .....	56
10.2.7	Malte e miscele cementizie speciali .....	56
<b>13</b>	<b>QUADRO ECONOMICO .....</b>	<b>57</b>
<b>14</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>58</b>

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
00	30/06/2020	C0009671	Prima emissione

## 1 PREMESSA

Il sopralzo della diga di Levane è inserito nel Piano di Bacino del Fiume Arno tra gli interventi di mitigazione del rischio idraulico della città di Firenze. Dal sopralzo è atteso un volume utile di 9,5Mmc per la laminazione della piena di progetto.

Nell'ottobre del 2015 ENEL ha predisposto il progetto definitivo dell'intervento di sopralzo e lo ha inviato all'autorità di controllo Direzione Generale Dighe del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (DGD).

Nell'agosto del 2017, acquisito anche il parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, DGD ha richiesto integrazioni al progetto necessarie per l'approvazione.

CESI è stata incaricata dal Concessionario Enel Green Power di completare, integrare e revisionare il progetto ENEL 2015 di sopralzo della diga, adempiendo alle prescrizioni DGD inerenti alla diga e le sue spalle.

L'azione progettuale di CESI terrà conto dei risultati ottenuti dalla sperimentazione su modello fisico degli effetti delle piene di riferimento attraverso lo sfioratore condotta dall'Università di Firenze per le specifiche necessità di progetto.

La presente relazione è la relazione tecnica generale degli interventi in progetto. La relazione si presenta dal punto di vista editoriale come un aggiornamento ed integrazione della relazione generale che accompagnava il progetto ENEL del 2015, mantenendone l'impianto e integralmente alcune parti dedicati all'excurus autorizzativo e storico.

### 1.1 Riferimenti normativi

#### Opere civili

- [1] Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, Decreto Ministeriale 6 giugno 2014: Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)
- [2] Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio 2018, Norme Tecniche per le Costruzioni

#### Opere elettromeccaniche

- [3] CNR UNI 10011/88 Costruzioni di acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione
- [4] UNI CNR 10021-85: Strutture di acciaio per apparecchi di sollevamento: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione,
- [5] FEM 1.001 - 3<sup>a</sup> ediz. 1987: Regole di calcolo per gli apparecchi di sollevamento
- [6] FEM 9.511 - 1986: Regole di calcolo per gli apparecchi di sollevamento

- [7] D.M.LL.PP. 09/01/1996 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- [8] D.M. 16/01/1996 "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- [9] D.M. 16/01/1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- [10] C.M.LL.PP. n° 156 AA.GG./STC del 04/07/1996 "Istruzioni relative ai carichi, sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni"
- [11] UNI EN 1991:2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture
- [12] UNI EN 1993:2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio
- [13] D.M. 17/01/2018 Nuove norme tecniche per le costruzioni
- [14] Circolare n. 7 del 21/01/2019 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- [15] DECRETO 26 giugno 2014: Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)
- [16] DIN 19704 - 74 Strutture idrauliche in acciaio
- [17] DIN 19704-1 Strutture idrauliche in acciaio - Progettazione
- [18] DIN 19704-2 Strutture idrauliche in acciaio - Particolati costruttivi
- [19] ISO 8501 - Protezione dalla corrosione delle strutture in acciaio mediante pittura
- [20] ISO 12944 - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems
- [21] Direttiva 89/392 per la sicurezza delle macchine
- [22] Norme CEI applicabili
- [23] Manuali e documentazioni tecniche dei singoli costruttori

## Sicurezza

- [24] D.LGS 9 aprile 2008 n.81 "Testo unico sulla sicurezza".

## 1.2 Riferimenti bibliografici

- [25] ENEL PRODUZIONE SPA UNITÀ DI BUSINESS EMILIA TOSCANA IMPIANTO IDROELETTRICO DI LEVANE DIGA DI LEVANE COMUNI DI MONTEVARCHI E TERRANUOVA BRACCIOLINI (AR)  
Sopralzo della Diga a scopo di laminazione Progetto Definitivo Relazione Tecnica Generale.  
Settembre 2015.
- [26] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche – Ufficio Idraulica – DIV. 7, “Diga di Levane (n. arch. SND 684) sul fiume Arno – Verifica della sicurezza idrologica dell’invaso - Relazione Istruttoria”, Roma, 19/12/2014.
- [27] ENEL, “Diga di Levane (AR) – Analisi idrologica finalizzata alla valutazione della portata al colmo di assegnato rischio”, 28/02/2006.
- [28] Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali - Servizio Nazionale Dighe, Ufficio periferico di Firenze – “Diga di Levane in comune di Montevarchi (AR) - Foglio di Condizioni per l’Esercizio e la Manutenzione”, settembre 1999.

[29]URS Italia, “Rilievi batimetrici - Fiume Arno - Monte Diga di Levane (AR)”, versione n° 0 – 43986258 / MLG, aprile 2009.

[30]Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche – Coordinamento Controllo Dighe in Esercizio – DIV. 5, “Diga di Levane (n. arch. SND 684) – Progetto sopralzo diga – Studi idrologici 1 integrazione”, Prot. 0023155 del 09/10/2018.

[31]Università degli Studi di Firenze, “Valutazione degli effetti del sopralzo della diga di Levane sulla piana di Laterina – Relazione tecnica”, luglio 2018

### 1.3 Elaborati progettuali CESI

[32]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.007.00 Relazione stato di fatto opere civili e tavole.

[33] GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.008.00 Relazione stato di fatto opere elettromeccaniche e tavole.

[34]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.009.00 Indagini geognostiche

[35]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.010.00 Prove di laboratorio

[36] GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.011.00 Relazione geologica, sismica e geomeccanica

[37]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.012.00 Relazione idraulica

[38]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.019.00 Relazione di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica

[39]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.090.00 Relazione illustrativa e di calcolo delle opere provvisorie da realizzare in spalla sinistra

[40]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.023.00 Relazione illustrativa e di calcolo delle opere da realizzare per la chiusura idraulica del sopralzo in spalla sinistra

[41]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.019.00 Diga di Levane: Relazione strutturale

[42]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.020.00 Relazione verifica elementi in c.a. e muri d'ala

[43]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.021.00 Verifica sismica della scala a chiocciola

[44]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00 Relazione sui lavori di cantierizzazione

[45]GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.089.00 Computo metrico

[46]Tavole del progetto

### 1.4 Elaborati progettuali Università degli Studi di Firenze (UNIFI) e Centro Geotecnologie dell'Università di Siena (CGT)

[47]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.

[48] GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.026.00 CGT Engineering Contratto di servizio per lo 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 P41019GEORF0100 26/05/2020

[49] Università degli Studi di Firenze DICEA Stima delle portate in ingresso agli invasi di La Penna e Levane per assegnati tempi di ritorno. F. Castelli, 21/01/2020.

### 1.5 Elaborati progettuali opera elettromeccaniche: Ing. Michele Hirschler

- |  |  |
|--|--|
| [50] GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.014.00 | Relazione tecnica opere elettromeccaniche              |
| [51] GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.015.00 | Specifica tecnica di fornitura opere elettromeccaniche |
| [52] GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.016.00 | Paratoie scarico di superficie – Relazione di calcolo  |
| [53] GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.017.00 | Paratoie opera di presa – Relazione di calcolo         |



## 2 INTRODUZIONE

Enel Produzione SpA ha in concessione la diga di Levane, che sbarrata il corso dell'Arno presso l'omonima località, nel territorio dei Comuni di Montevarchi e di Terranuova Bracciolini in Provincia di Arezzo, creando un invaso con un volume totale iniziale di 4,9 Mm<sup>3</sup>.

La concessione ad uso idroelettrico è regolata dal Decreto n. 620 del 27.06.1967 e dal Disciplinare n. 13884 del 01.04.1967. All'uso idroelettrico sono associate servitù irrigue e idropotabili.

La diga è stata costruita nel biennio 1956-1957 ed è entrata in normale esercizio nel 1958.

Una decina di chilometri a monte della diga di Levane, il corso dell'Arno è sbarrato dalla diga di La Penna che crea un invaso con un volume totale iniziale di 16 Mm<sup>3</sup> e alimenta l'omonimo impianto idroelettrico.

Il sopralzo della diga, di cui al presente progetto definitivo, ha lo scopo di rendere disponibile un nuovo volume di laminazione che contribuisca a ridurre l'effetto di piene eccezionali sui territori posti a valle, sulla base di determinazioni assunte dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno e sancite nel 1999 da un Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Come tale, il progetto non trae origine da esigenze relative all'impianto idroelettrico e non ne modifica le modalità di utilizzo.

Fanno parte integrante del progetto le Relazioni, gli Elaborati grafici e gli altri allegati tecnici riportati nell'Elenco dei Documenti costituenti il progetto.

## 3 OBIETTIVI DEL PROGETTO DI SOPRALZO

### 3.1 L'alluvione del 1966

A seguito della piena eccezionale del 04.11.1966, fu istituita una Commissione Interministeriale, nota come "Commissione De Marchi", al fine di studiare soluzioni per la difesa del territorio dalle piene. Nell'ambito della Commissione, il gruppo di lavoro dedicato all'Arno e al Serchio propose una serie di interventi noti come "Piano Supino" (1974).

Il piano comprendeva uno studio di fattibilità per l'adozione di azioni nel bacino dell'Arno atte a contrastare gli effetti di eventi di piena della gravità di quello del 1966, tramite la costruzione di 23 invasi lungo l'asta del fiume e lungo i suoi affluenti, dei quali 17 da costruire a monte di Firenze per una capacità totale di 240 Mm<sup>3</sup>, ed altri provvedimenti, quali canali diversivi a monte e casse di espansione.

Successivamente, in un'ottica di uso plurimo della risorsa idrica, fu assegnato allo Studio Lotti di Roma (1975), da parte del Ministero del Bilancio e della Programmazione Economica e della Regione Toscana, uno studio per la riqualificazione del bacino dell'Arno. In questo studio fu prevista la costruzione di 11 invasi ad uso plurimo, per una capacità totale dell'ordine di 400 Mm<sup>3</sup>, dei quali oltre 100 dedicati alla laminazione delle piene. Per le città di Firenze e Pisa i provvedimenti proposti avrebbero assicurato una protezione totale da piene dell'entità di quella del 1966.

Altri studi e progetti proposero la costruzione di altri invasi, integrati se necessario da casse di espansione e canali diversivi.

Alcuni degli studi dell'epoca prevedevano di demolire le due dighe esistenti di La Penna e Levane, sia per l'insufficiente capacità di invaso, sia per le caratteristiche non idonee degli organi di scarico, e di realizzare due nuovi invasi sull'Arno, a Laterina e a Buriano, con un volume complessivo d'invaso di oltre 110 Mm<sup>3</sup>.

### 3.2 Il Piano Stralcio per la riduzione del rischio idraulico

Nel 1989 l'Arno è stato classificato tra gli 11 bacini di interesse nazionale ed è stata istituita l'Autorità di Bacino dell'Arno come organo di pianificazione. Nell'ambito del Piano per l'Assetto Idrogeologico,

l'Autorità di Bacino ha sviluppato un progetto di Piano stralcio finalizzato a contenere il rischio idraulico entro limiti sostenibili sulla base di analisi realistiche della situazione ambientale, come pure degli aspetti sociali, economici e produttivi.

Il progetto di Piano è stato adottato il 17.07.1996.

La strategia del piano del 1996 era basata sui seguenti tipi di interventi strutturali, come pure su adeguati interventi di manutenzione idraulica e sulla ripresa della gestione idraulica e forestale.

a) accrescimento della capacità di laminazione degli alvei

b) realizzazione di ulteriori capacità di accumulo:

- scolmatore da Empoli a Fucecchio
- scolmatore da Pontedera a Bientina
- invasi di laminazione sugli affluenti per 24 Mm<sup>3</sup>
- innalzamento delle dighe Enel di La Penna e Levane, adeguando gli scarichi di fondo e la capacità di fluitazione dei sedimenti, per realizzare un volume di laminazione complessivo di 43 Mm<sup>3</sup>

c) incremento dell'officiosità dell'alveo

Nella fase di sviluppo del Piano Stralcio, la previsione di sopraelevare la diga di La Penna è stata abbandonata. In suo luogo è stato previsto il potenziamento degli scarichi di fondo della diga, al fine di consentire un rapido abbassamento del livello d'invaso in occasione di una piena eccezionale, rendendo disponibile alla laminazione una parte del volume d'invaso, con sufficiente anticipo rispetto al passaggio del colmo di piena. L'intervento previsto consiste nella realizzazione di una nuova galleria di scarico fuori corpo diga, scavata nella roccia di sponda sinistra per circa 650 m di lunghezza e 8 m di diametro. All'intervento sarebbero associate operazioni di rimozione dei sedimenti, al fine di aumentare il volume di laminazione disponibile a parità di livello.

Nel piano è stata inoltre prevista la messa in sicurezza dell'abitato di Ponte a Buriano, a monte dell'invaso di La Penna, e della parte dell'abitato di Laterina collocato nella piana adiacente al fiume, già interessati da esondazioni in occasione dell'evento del 1966.

Il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino dell'Arno nella seduta del 05.07.1999 (delibera n. 131) ha adottato il Piano di Bacino Stralcio relativo alla riduzione del rischio idraulico ai sensi della legge 183/1989 e della legge 493/1993.

Il Piano è stato infine 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).

### 3.3 Sopralzo della diga previsto dal Piano Stralcio

Come meglio esposto nei paragrafi successivi, il volume di laminazione nominale della diga di Levane è nullo, in quanto la quota massima di regolazione e la quota di massimo invaso coincidono, mentre è di dubbia praticabilità il recupero di volumi attualmente occupati da sedimenti, da destinare ad una laminazione di tipo dinamico. Uno dei principali interventi previsti dal Piano Stralcio consiste pertanto nel sopralzo della diga di Levane, in modo da recuperare un volume di laminazione nominale pari a 9,5 milioni di metri cubi. Il sopralzo della diga è considerato inoltre un intervento basato su contenuti tecnici ben conosciuti, che richiede tecnologie consolidate e con un impatto sostenibile sul territorio a fronte dei benefici attesi.

Confermando l'importanza della realizzazione delle casse di espansione, l'intervento sull'invaso di Levane è considerato tale da consentire un'operatività relativamente rapida, con investimenti che, per metro cubo di acqua invasata, sono del tutto confrontabili con quelli relativi alle casse di espansione.

Il Piano Stralcio traccia già le linee essenziali delle opere per il sopralzo della diga di Levane, prevedendo una nuova quota di massimo invaso di 172,00 m slm, mentre la quota massima di regolazione rimarrà

invariata al valore attuale di 167,50 m slm. Il progetto di piano non prevede infatti alcuna modifica all'esercizio ordinario dell'invaso e quindi alcun riflesso sulla produzione dell'impianto idroelettrico. Per l'adeguamento della diga il progetto di piano prevede, in linea generale:

- per la spalla sinistra e per le pile del corpo centrale, il riporto sul paramento di valle dei necessari spessori di calcestruzzo, adeguatamente solidarizzati alla struttura esistente in modo da garantirne la monoliticità;
- per la spalla destra, essendo la centrale idroelettrica addossata al corpo diga e quindi non essendo possibile il riporto di spessori di calcestruzzo sul paramento di valle, la realizzazione di adeguati volumi di calcestruzzo sul largo piano di coronamento;
- la realizzazione o l'integrazione, per entrambe le spalle, di una rete di drenaggio delle sottopressioni, estesa al corpo diga ed alla roccia fondazione.

Sia il progetto presentato da Enel Produzione SpA alla Provincia di Arezzo nel 2005, di cui al paragrafo successivo, sia il presente progetto riprendono sostanzialmente le linee d'intervento del progetto di piano.

### 3.4 Protocollo d'intesa tra Provincia di Arezzo ed Enel Produzione SpA

Avendo la Regione Toscana individuato la Provincia di Arezzo come Ente attuatore degli studi preliminari per la realizzazione degli interventi previsti dal Piano Stralcio sulle dighe di Levane e La Penna, è stato istituito un Tavolo Tecnico fra l'Autorità di Bacino del Fiume Arno, la Provincia di Arezzo ed Enel Produzione SpA, al fine di valutare la compatibilità degli scenari previsti nel Piano con l'attuale utilizzo dei due invasi. Dalle attività del Tavolo Tecnico è emersa l'opportunità di sottoscrivere un protocollo d'intesa tra Provincia di Arezzo ed Enel Produzione, nel quale formalizzare le competenze e le responsabilità delle due Parti in ordine alla progettazione preliminare e definitiva degli interventi previsti. Il protocollo d'intesa è stato sottoscritto il 28.07.2004.

Riguardo al soprizzo della diga di Levane, 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.

Il 03.10.2005 Enel Produzione SpA ha trasmesso alla Provincia di Arezzo il progetto preliminare ed il progetto definitivo delle opere inerenti il soprizzo della diga di Levane, quest'ultimo finalizzato alla richiesta di approvazione al Registro Italiano Dighe, una volta emesso apposito benestare da parte della Provincia.

La collaborazione tra le due parti è proseguita negli anni immediatamente successivi, ma la Provincia non ha mai emesso il benestare di sua competenza ed il progetto non è mai stato presentato per l'approvazione.

### 3.5 Accordo di Programma della Regione Toscana

Il 02.10.2012 il Comitato di Controllo e Coordinamento dell'attuazione dell'Accordo di programma, sottoscritto il 18.02.2005 tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, la Regione Toscana e l'Autorità di Bacino del Fiume Arno per la riduzione del rischio di inondazione del fondovalle dell'Arno, ha provveduto a rimodulare il programma di interventi prioritari a ciò finalizzati, inserendo l'intervento di rialzamento della diga di Levane tra quelli prioritari di prima fase.

Il 02.05.2013 è stato quindi sottoscritto un nuovo protocollo d'intesa tra Regione Toscana, Autorità di Bacino del Fiume Arno, Provincia di Arezzo, Comune di Laterina ed Enel SpA, in base al quale le parti si impegnano alla stipula di un nuovo Accordo di programma, ai sensi della LR 40/2009, per l'individuazione degli enti attuatori per la progettazione definitiva del sopralzo della diga di Levane e degli adeguamenti arginali ad esso connessi, per l'individuazione dei contributi delle parti firmatarie e per l'individuazione di eventuali opere di compensazione.

Il 04.06.2013 la Regione Toscana ha convocato la Conferenza dei servizi finalizzata alla definizione dei contenuti dell'Accordo di programma.

Al termine dell'attività di confronto, valutazione e approfondimento sviluppata nell'ambito della Conferenza, la Giunta Regionale Toscana ha approvato, con Deliberazione 20.10.2014 n. 895, l'Accordo di Programma per la redazione della progettazione definitiva dell'intervento di adeguamento della Diga di Levane e delle opere ad esso connesse finalizzate alla riduzione del rischio idraulico nel territorio dei Comuni di Laterina e Pergine Valdarno.

I principali contenuti dell'Accordo di Programma sono qui richiamati.

Per la progettazione degli interventi sul corpo diga di Levane e delle arginature è individuato quale soggetto competente la Regione Toscana, che si avvale dei seguenti soggetti:

- Enel Produzione SpA per la progettazione dell'adeguamento della diga di Levane
- La Provincia di Arezzo per la progettazione delle arginature a protezione delle aree urbanizzate presenti nella piana di Laterina e delle possibili ulteriori opere necessarie a mitigare l'eventuale interferenza dell'allagamento su quanto esistente
- La Provincia di Arezzo per lo studio d'impatto ambientale necessario ad attivare la procedura VIA di rilievo nazionale

Sono inoltre previsti i seguenti supporti e collaborazioni:

- I Comuni di Laterina e Pergine Valdarno collaboreranno con la Provincia di Arezzo per la definizione e per la progettazione delle opere connesse alla messa in sicurezza della piana di Laterina in relazione all'adeguamento della diga, compreso il rifacimento del Ponte Catolfi, la verifica della quota di massimo invaso accettabile e la predisposizione di attrezzature che agevolino la sostenibilità sociale delle opere
- L'Autorità di Bacino del Fiume Arno supporterà sul piano tecnico Enel e la Provincia di Arezzo nelle valutazioni di carattere idraulico connesse alla progettazione dell'intervento di adeguamento della diga, anche al fine di valutare l'efficacia dell'opera in combinato con altri interventi a valle della stessa e verificare il rispetto delle finalità e degli obiettivi del Piano di bacino
- La Regione Toscana, oltre ad essere soggetto competente alla progettazione, sovrintenderà e garantirà sulla coerenza e sulla omogeneità dei progetti dei vari interventi.

Dopo la sottoscrizione dell'Accordo da parte dei legali rappresentanti della Regione Toscana, dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, della Provincia di Arezzo, del Comune di Laterina, del Comune di Pergine Valdarno e di Enel Produzione SpA, sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana, Parte Seconda, n. 3 del 21.01.2015 è stato pubblicato il Decreto del Presidente della Giunta Regionale 12.01.2015 n. 3, di approvazione dell'Accordo di Programma per la redazione della progettazione definitiva

dell'intervento di adeguamento della Diga di Levane e delle opere ad esso connesse finalizzate alla riduzione del rischio idraulico nel territorio dei Comuni di Laterina e Pergine Valdarno.

Nel Collegio di Vigilanza del 26.02.2015 sull'attuazione dell'Accordo, è stato dato atto che il ruolo di soggetto attuatore dello Studio d'Impatto Ambientale sia assunto dalla Regione Toscana.

### 3.6 Progetto 2015 di ENEL: Istruttoria

Il progetto definitivo di adeguamento idraulico della diga redatto da Enel è stato inviato in data 23.10.2015; con nota n. 17788 del 02/08/2017 la Direzione Generale delle Dighe (DGD) ha inviato a Enel e Regione Toscana l'istruttoria completa del progetto, con allegato anche il parere del Consiglio Superiore dei lavori Pubblici.

La lettera di trasmissione riepiloga gli approfondimenti, ulteriori verifiche e progettazioni richieste che si possono di seguito così sintetizzare

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. 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;
2. 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;
3. 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;
4. 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.
5. il progetto dovrà definire la soluzione tecnica da adottare per assicurare la tenuta dei giunti verticali della nuova porzione di sovrizzo della diga, inoltre 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;
6. il progetto dovrà definire le modalità di getto del calcestruzzo che assicurino la piena efficienza delle canne di drenaggio esistenti nel corpo diga;
7. per la verifica della quota di massimo invaso da porre a base dei nuovi interventi di soprizzo 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. L'effettiva determinazione del volume di laminazione conseguente al soprizzo 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;
8. 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;

9. 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;
10. 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;
11. 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. 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;
12. 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;
13. la scala a chiocciola in cemento armato esistente che consente l'accesso all'impalcato posto a quota 181 m s.l.m. dove sono posizionati gli organi di manovra dovrà essere verificata sismicamente.
14. il progetto definitivo dovrà prevedere eventuali interventi di drenaggio per ridurre le spinte del terrapieno di valle in sinistra idraulica.

E inoltre

C. 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 sopralzo 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;

D. 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.

Per il punto 1 EGP ha affidato a professionisti esterni all'Azienda CGT gli approfondimenti richiesti che le competono e che riguardano la stabilità delle sponde. I risultati sono descritti nel Rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.026.00 CGT Engineering Contratto di servizio per lo 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 P41019GEORF0100 26/05/2020 [48].

Per il punto 7 DGD con nota 0023155 del 09/10/2018 ribadisce che i valori di massima portata al colmo per Tr 1000 e 500 anni sono pari a 3283 mc/s e 2964 mc/s.

Per il punto 9 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. [47].

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. F. Castelli, 21/01/2020.[49]

A valle di questo studio è stata aggiornata la Relazione idraulica di progetto, elaborato n. GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.011.00 – Progettazione definitiva dell'intervento di soprizzo ai fini della laminazione. Relazione Idraulica [37].

Tenuto conto di ciò il presente progetto viene redatto in modo completo ex novo rispetto a quello del 2015, pur rimanendo l'impostazione e le scelte progettuali principali, per rispondere alle richieste formulate nell'istruttoria conclusiva di DGD attraverso le diverse relazioni specialistiche ed elaborati nonché gli approfondimenti che si sono resi necessari.

Per superare l'incertezza di carattere geologico nella zona della spalla sinistra ( che risulta dall'analisi della documentazione esistente e segnalata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici a pag 17 del documento di analisi), 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 sovralzo, 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 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 [34].

È seguita 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. Rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.011.00 Relazione geologica, sismica e geomeccanica[36].

Sulla scorta dell'aggiornamento geologico e geomeccanico sono stati riformulati i parametri caratteristici del comportamento dei terreni di imposta della diga. L'attività di caratterizzazione fisico-meccanica è illustrata nel rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.019.00 Relazione di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica[38].

Venendo agli sviluppi progettuali, il Progettista, verificata la coerenza della soluzione progettuale individuata per gli scopi di gestione degli eventi di piena, ed effettuate le verifiche integrative richieste da DGD, ha inquadrato gli sviluppi e le integrazioni del progetto raccogliendo l'esigenza di contemperare le scelte alle esigenze realizzative dell'opera.

È stato perciò sviluppato in modo esteso lo studio della cantierizzazione (Rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.088.00 Relazione sui lavori di cantierizzazione[44]) 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 svasso del serbatoio a monte.

L'integrazione del quadro conoscitivo dei materiali di fondazione della diga con le conoscenze geologiche e geotecniche dei terreni in spalla sinistra, ha permesso di definire il tipo di interventi necessari per la cantierizzazione e per la protezione del fianco sinistro dello sbarramento dalle infiltrazioni provenienti dal livello dell'acqua nella situazione di massimo invaso.

L'opera di chiusura idraulica del fianco sinistro ([40]) 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. È stata rivista anche la scelta di costruire un cunicolo per ospitare drenaggi in spalla destra. Considerata la difficoltà operativa e la presenza di importanti potenziali interferenze per la presenza delle condotte di adduzione alle turbine, è stata perfezionata la verifica di sicurezza della diga in destra con una stima dei carichi stabilizzanti più articolata di quella, particolarmente conservativa, che presiedeva il progetto 2015, ottenendo un risultato rassicurante per tutte le configurazioni di carico esaminate, compresa quella che prevede il massimo livello d'acqua a valle derivante dall'esito della piena di progetto (GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.019.00 Diga di Levane: Relazione strutturale [41]) ottenuto dallo studio di UNIFI [47]. Alla luce di questi risultati, che sono ritenuti ancora prudenziali, il progettista ha ritenuto che il cunicolo previsto non fosse giustificato.

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 [42].

L'energia cinetica residua della lama d'acqua esitata, già in gran parte dissipata all'interno della vasca di dissipazione, potrà essere gestita dal letto del fiume in cui è presente materiale litico stabile, rendendo non necessaria una nuova vasca di dissipazione.

Lo sviluppo progettuale delle opere elettromeccaniche, centrato in primo luogo sulla sostituzione delle paratoie di sfioro e di presa, ha confermato l'impianto del progetto 2015, che è stato sviluppato ed adattato dopo una attenta lettura del progetto delle opere esistenti, arricchendolo di verifiche strutturali ed impiantistiche nonché dello studio di smontaggio e montaggio dei pezzi struttura dell'opera di sfioro e della diga (Rapporto GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.014.00 Relazione tecnica opere elettromeccaniche[50]). In tale ambito di lavorazione è stato previsto l'inghisaggio dello scarico di fondo/esaurimento.

Pur tenendo conto che lo scarico di fondo deve 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; 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. Infatti, considerando il volume di invaso di circa 3 Mm<sup>3</sup> da FCEM, e ipotizzando la apertura completa delle paratoie di scarico,

si otterrebbe lo svuotamento completo del serbatoio in meno di un'ora; mentre ipotizzando gradualità nell'apertura con limitazioni cautelative nel valore della portata scaricata per non creare piene a valle, il tempo di svuotamento risulta abbondantemente sotto la giornata. Si ricorda che il limite da normativa è di 3 gg per arrivare al 75% di vuotamento.

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 conci di getto tipo ha permesso di ottenere valori nei limiti di accettabilità. [44]

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 [39].

#### 4 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA DIGA ESISTENTE

Sono qui riepilogati i dati caratteristici dell'opera di sbarramento nella condizione attuale ed in quella di progetto (**Tabella 1**), esposti più ampiamente nel seguito.

<i>a) Invaso</i>	<i>attuale</i>	<i>progetto</i>
bacino imbrifero sotteso Km <sup>2</sup>	2407	2407
volume totale originario di invaso Mm <sup>3</sup>	4,90	14,40
volume utile originario di invaso Mm <sup>3</sup>	3,45	3,45
volume di laminazione Mm <sup>3</sup>	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
<i>b) Sbarramento</i>		
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

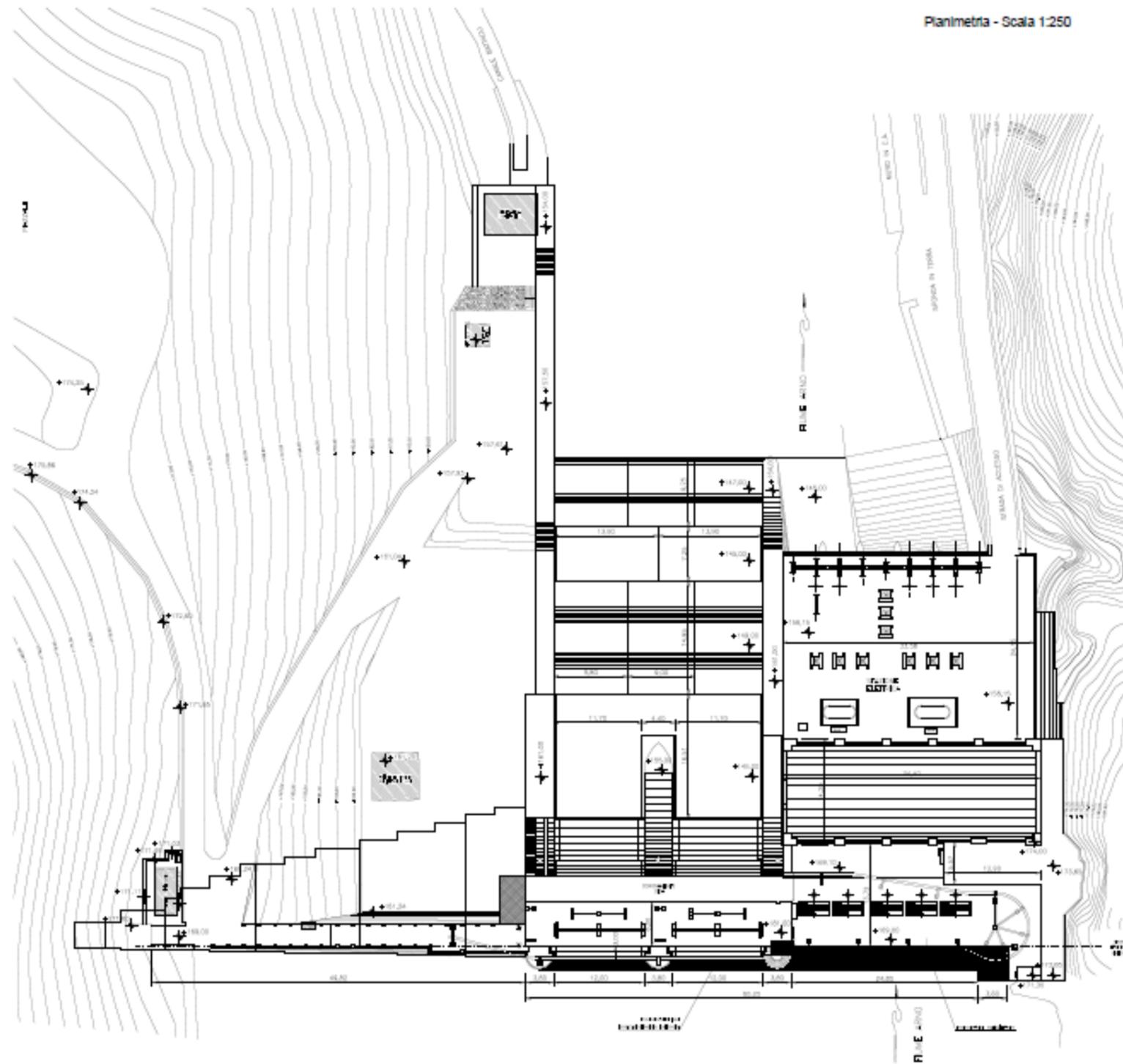
Tabella 1 Caratteristiche dell'opera di sbarramento nella condizione attuale e di progetto

##### 4.1 Corpo della diga

La diga di Levane è situata in prossimità della frazione di Levane del Comune di Montevarchi (AR) e sbarrata il Fiume Arno, realizzando un serbatoio con capacità totale originaria di invaso di 4,90 Mm<sup>3</sup> e capacità utile originaria di regolazione di 3,5 Mm<sup>3</sup>.

La diga è stata costruita tra il 1956 e il 1957 ed è del tipo a gravità massiccia, in calcestruzzo, con andamento planimetrico rettilineo e trascinabile nella parte centrale.

Per le caratteristiche geometriche lo sbarramento si può considerare suddiviso in tre porzioni distinte



Planimetria della diga esistente



La porzione sinistra, dello sviluppo di 60 m, è costituita da un tronco a gravità massiccia, realizzato in 5 conci di lunghezza variabile separati da giunti di contrazione verticali, muniti di trave coprigiunto e di lamierino di tenuta di rame.

L'altezza del piano di coronamento, posto a 169,00 m s.l.m., sul punto più depresso delle fondazioni è di 26 m. La forma è triangolare con vertice alla quota di massima ritenuta di 167,50 m s.l.m. I paramenti di monte e valle presentano inclinazione rispettivamente pari a 0,05 e 0,75. Il coronamento ha una larghezza di 3 m ed è raccordato al paramento di valle con un raggio di 12 m. A valle, questa porzione della diga è rinfiata da un terrapieno con sommità a quota 161,00 m s.l.m., che degrada seguendo l'andamento del muro d'ala sinistro delle luci sfioranti, fino alla piccola centrale idroelettrica Battagli, destinata allo sfruttamento di rilasci irrigui e idropotabili, di cui si dirà in seguito.

La porzione centrale è costituita da 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. A prosecuzione delle due pile laterali sono stati realizzati muri d'ala opportunamente sagomati per il contenimento delle portate di piena; quello di sinistra è prolungato verso valle per proteggere i terreni di sponda da erosioni o scalzamenti.

La lama d'acqua tracimante è accompagnata per mezzo di uno scivolo rettilineo con inclinazione di 0,68 in un'ampia vasca di smorzamento con piano orizzontale posto 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 48m

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

In questa porzione centrale della diga, l'altezza del piano di coronamento, posto sempre a 169,00 m s.l.m., sul punto più depresso delle fondazioni è di 27 m. Al di sopra del coronamento è stata inoltre realizzata una sovrastruttura per il sollevamento delle paratoie di scarico, con piano di manovra a quota 181,00 m s.l.m.

La porzione destra è costituita da un tratto a gravità, con uno sviluppo di 33,20 m, a tergo del quale si trova il fabbricato della centrale idroelettrica. Nel tronco a gravità sono ricavati l'opera di presa, dotata di 5 luci intercettate da paratoie, i condotti e le camere spirale che alimentano le due turbine Kaplan installate in centrale.

La quota della soglia di presa è pari a 153,00 m s.l.m. Al di sotto della soglia di presa il paramento di monte è verticale mentre la parte superiore, interessata dalle griglie di presa e dallo sgrigliatore, ha inclinazione di 0,12. A valle, il fabbricato della centrale è direttamente collegato a questa parte della diga, senza soluzione di continuità. Idealmente si può considerare un paramento di valle della parte massiccia con inclinazione media di 0,70.

## 4.2 Organi di scarico

La diga è dotata del solo scarico di superficie, ricavato nella parte centrale dello sbarramento e costituito da due luci di 12,00 m di larghezza, con soglia a quota 153,00 m s.l.m., munite di paratoie piane a due elementi sovrapposti di altezza complessiva 14,50 m e larghezza 12,00 m. Vengono azionate mediante trasmissione a catena da argani oleodinamici posti sulla passerella sovrastante le luci, a quota 181,00 m s.l.m. Le due paratoie consentono lo scarico per tracimazione (per abbassamento dell'elemento superiore) oppure a battente o a stramazzo libero sulla soglia (per sollevamento dell'elemento inferiore). Un funzionamento misto (per abbassamento dell'elemento superiore e sollevamento di quello inferiore)

non ha interesse pratico, se non in una fase transitoria della movimentazione, ed è escluso per l'evacuazione di portate di piena rilevanti.

Uno scarico di esaurimento, che attraversa il corpo della soglia tracimante destra, è da tempo fuori uso per interrimento, constatato già durante la costruzione della diga.

Al verificarsi di eventi di piena, la regolazione usuale delle paratoie consiste nell'abbassare i due elementi superiori fino ad un massimo di 3 m, raggiungendo un valore di scarico di circa 300 m<sup>3</sup>/s. Se la portata in arrivo supera tale valore, per mantenere il livello entro i 167,50 m slm si sollevano i due elementi inferiori fino a un massimo possibile di circa 1,70 m, ottenendo una ulteriore portata di scarico di 460 m<sup>3</sup>/s, avendo in contemporanea una lama d'acqua inferiore e una superiore. Questa è comunque da considerare una condizione solo transitoria per cui, se la portata in arrivo tende ancora ad aumentare, si procede sollevando in contemporanea gli elementi superiori e inferiori sovrapposti, fino a scaricare solo dalla parte inferiore, prima a battente e quindi, per portate e aperture crescenti, a stramazzo.

Con livello pari all'attuale massimo invaso di 167,50 m slm e le paratoie sollevate alla massima apertura, la portata scaricata complessivamente per stramazzo libero dalle due luci risulta circa 2570 m<sup>3</sup>/s.



### 4.3 Opera di presa

L'opera di presa della centrale idroelettrica di Levane è ricavata nella porzione destra della diga ed è costituita da cinque luci di 3,30x8,00 m, che alimentano le due turbine Kaplan installate nella centrale. Le luci sono protette da griglie e intercettabili con paratoie piane azionate da servomotori oleodinamici. Esiste inoltre un'opera di presa secondaria, ricavata nel tronco sinistro della diga, che alimenta la piccola centrale idroelettrica Battagli, realizzata per lo sfruttamento della portata rilasciata a fini irrigui e idropotabili ed utilizzata altresì per il rilascio del deflusso minimo vitale. La presa è costituita da una luce quadrata di 2,20 m di lato, che si raccorda alla condotta forzata di diametro 1,10 m.

#### 4.4 Rete di drenaggio della diga

Il sistema di drenaggio originario, presente nella diga nella porzione in sinistra ed in quella centrale, è costituito da tubazioni in calcestruzzo poroso verticali, realizzate durante la costruzione e disposte in prossimità del paramento di monte, che fanno capo ad un cunicolo di ispezione e raccolta accessibile dal piano di coronamento della diga.

In tale sistema originario, nella parte sinistra della diga le canne hanno sezione  $\varnothing$  20 cm e passo 2,00 m, per tutta l'altezza della diga fino al contatto con la roccia di fondazione, mentre nella parte centrale sono presenti solo drenaggi di fondazione,  $\varnothing$  10 cm disposti a passo di 2 m.

Nel periodo da settembre 2009 a marzo 2010 la diga è stata oggetto di lavori di miglioramento del sistema drenante sopra descritto, nelle porzioni sinistra e centrale.

In particolare, nei conci della parte in sinistra, numerati da 2 a 4 da destra a sinistra, sono state perforate, a partire dal coronamento, n. 16 nuove canne drenanti che attraversano il corpo diga per l'intera altezza e si addentrano nella roccia di fondazione. Il diametro delle canne è 20 cm e il passo 2 m.

Nel concio 1 e sotto la parte centrale (pile e soglie di scarico) sono invece stati eseguiti nuovi fori drenanti solo nel calcestruzzo di fondazione e nella sottostante roccia, direttamente dal cunicolo, sempre con  $\varnothing$  20 cm e passo 2 m.

Nel concio 1 la porzione di diga con quote al di sopra del cunicolo d'ispezione risulta drenata dalle originarie canne realizzate con la costruzione della diga.

Questo sistema di drenaggio completa quello originario costituito da canne drenanti che attraversano il corpo diga e la fondazione fino ad addentrarsi nella roccia.

L'intero sistema descritto restituisce le acque drenate in apposita canaletta sul lato di monte del cunicolo di fondo. Si tratta di un cunicolo d'ispezione delle dimensioni di 1,10x1,90 m, che parte in spalla sinistra dalla quota coronamento, attraversa scendendo verso il basso la porzione sinistra e orizzontalmente il tratto centrale della diga e termina in corrispondenza del giunto tra la pila destra del tratto centrale e la porzione destra occupata dall'opera di presa, dai condotti e dalla centrale.

Al termine del cunicolo è presente lo scarico dei drenaggi, costituito da una tubazione  $\varnothing$  600 mm che sbocca nel pozzo di aggettamento della centrale.

La porzione destra della diga attualmente non ha drenaggi né cunicolo di ispezione.

#### 4.5 Centralina idroelettrica Battagli

Per permettere la salvaguardia di diritti precostituiti, rappresentati dalla derivazione ad uso promiscuo esercitata a mezzo del canale denominato "Battagli", che aveva origine da una piccola traversa posta a monte della diga di Levane, e delle esigenze irrigue di valle e potabili del Comune di Firenze, contemporaneamente alla costruzione dell'impianto di Levane fu realizzata una piccola centrale idroelettrica allo scopo di sfruttare la portata rilasciata sul salto offerto dalla presenza della diga.

L'opera di presa della centralina è ricavata nel corpo della diga, nel primo concio in sinistra delle luci di scarico, con asse a 154,10 m s.l.m. e sezione libera quadrata di lato 2,20 m, raccordata in breve spazio prima a sezione quadrata di lato 1,10 m, in corrispondenza di una paratoia piana che costituisce l'organo di intercettazione della derivazione, e quindi alla sezione circolare del diametro 1,10 m della condotta metallica adduttrice, che alimenta la centralina. La portata massima derivabile è di 3 m<sup>3</sup>/s.

La condotta, subito a monte della centralina, ha una biforcazione verso una condotta di sorpasso o diversivo, che ha lo scopo di far defluire a valle della centralina stessa la portata derivata attraverso l'opera di presa anche quando non si attui l'esercizio idroelettrico. Questa condotta di by pass ha diametro 1 m, è intercettabile mediante saracinesca e negli ultimi metri corre all'aperto lungo il fianco sinistro della centralina.

La centralina è ubicata in sponda sinistra circa 100 m a valle dello sbarramento.

A valle dello scarico della centralina sono presenti le seguenti opere, poste lungo la sponda sinistra dell'Arno:

- a) un canale di raccordo di circa 145 m, che va dalla restituzione della centralina e del diversivo all'inizio del canale derivatore "Battagli"
- b) uno sfioratore ricavato su detto canale, attraverso il quale sono fatte defluire in Arno le acque costituenti la portata modulata di restituzione nel periodo dal 1° giugno al 15 settembre di ogni anno.

## 5 PROGETTO E REALIZZAZIONE DELLA DIGA ESISTENTE

### 5.1 Concessione

A fronte della domanda di concessione del 15.09.1955, presentata dalla Società Elettrica SELT-Valdarno al Genio Civile di Arezzo e corredata dal progetto esecutivo datato 15.05.1955 a firma del Dott. Ing. Franco Guli, in data 21.01.1956 fu emesso il Decreto n. 381 del Ministro per i Lavori Pubblici di autorizzazione provvisoria all'inizio dei lavori.

La concessione di derivazione d'acqua è stata poi regolata dal Decreto del Ministro per i Lavori Pubblici n. 620 del 27.06.1967 ed è subordinata all'osservanza delle condizioni contenute nel Disciplinare di concessione n. 13884 del 01.04.1967.

Per le note vicende connesse alla trasformazione dell'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica in società per azioni e a seguito dell'entrata in vigore della D. Lgs. 16.03.1999 n. 79, la concessione è stata attribuita a Enel Produzione SpA.

### 5.2 Progetto

Il progetto esecutivo della diga e dell'impianto fu redatto in data 15.05.1955 e presentato al Genio Civile di Arezzo in data 15.09.1955 a corredo della domanda di concessione di derivazione d'acqua.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con voto n. 2682 del 15.12.1955, espresse il parere che il progetto fosse meritevole di approvazione in linea tecnica e che si potesse accordare l'autorizzazione provvisoria all'inizio dei lavori.

Il 02.05.1956 il Servizio Dighe approvò il Foglio di Condizioni per la Costruzione della diga. Lo stesso Foglio fu registrato ad Arezzo il 06.06.1956 al n. 7095.

All'epoca della redazione del progetto dell'impianto, le caratteristiche della sezione d'imposta della diga furono studiate dal Prof. Giorgio Dal Piaz, che produsse una relazione geologica in data 22.12.1954, nelle cui conclusioni si affermava che la sezione individuata si sarebbe prestata favorevolmente per la costruzione della progettata diga.

Per determinare le caratteristiche delle formazioni rocciose della zona di imbasamento della diga fu eseguita un'adeguata campagna di indagini geognostiche, integrata da 18 sondaggi per una lunghezza di perforazione superiore a 400 m ed una profondità massima di 64 m.

Dal punto di vista strutturale, furono eseguite le consuete verifiche di stabilità del tronco di diga a gravità massiccio e della zona centrale dello sbarramento prendendo in esame la pila centrale e la soglia tracimante. Furono assunti i seguenti fattori di sollecitazione:

- peso specifico dell'acqua 1,00 t/m<sup>3</sup>
- peso specifico del calcestruzzo 2,40 t/m<sup>3</sup>
- coefficiente di sottopressione m 0,55

Per il tronco di diga a gravità massiccio la sollecitazione massima a compressione raggiungeva i 6,10 Kg/cm<sup>2</sup> al lembo di valle del piano di fondazione nell'ipotesi di serbatoio pieno, mentre il coefficiente di sicurezza allo scorrimento risultò 0,61. La pila centrale fu verificata nelle seguenti condizioni:

- a) serbatoio vuoto a paratoie alzate
- b) serbatoio pieno a paratoie abbassate non sospese sulle pile

c) serbatoio pieno con una paratoia aperta e una chiusa

Il valore massimo della sollecitazione di compressione, pari a  $10 \text{ Kg/cm}^2$ , risultò nella sezione di base della pila nell'ipotesi di serbatoio vuoto mentre il coefficiente di sicurezza allo scorrimento raggiunse il valore di 0,468 nelle condizioni di serbatoio pieno e paratoie abbassate.

La verifica della parte destra dello sbarramento, costituita da una vera e propria diga a gravità con inclinazione media dei paramenti 0,12 a monte, 0,725 a valle e spessore di coronamento di 8,55 m, venne eseguita, supponendola costituita da tre parti distinte:

- la parte superiore compresa tra le quote 169 e 161,70 come un normale tronco di diga a gravità;
- la parte intermedia tra le quote 161,70 m slm e 148,70 m slm considerata come formata longitudinalmente da una serie di pile di dimensioni variabili sulle quali si scaricano le sollecitazioni trasmesse dalla parte superiore e trasversalmente da una serie di telai che interessano l'intero spessore della diga, di cui le pile costituiscono i montanti; quest'ultimi provvedono a ridistribuire uniformemente nella parte inferiore della struttura le sollecitazioni provenienti dalla parte superiore ed assorbire attraverso opportuno armamento le sollecitazioni provenienti dall'acqua in pressione che attraversa i condotti per alimentare le turbine;
- la parte inferiore compresa tra le quote 148,70 m slm e 144,00 m slm, anch'essa considerata come una normale diga a gravità.

La sollecitazione massima sul piano di fondazione a quota 144,00 m slm, calcolata supposto il serbatoio pieno e la paratoia di presa chiusa, risultò quella in corrispondenza della pila centrale con un valore di  $6 \text{ Kg/cm}^2$ . Non si rivelarono sforzi di trazione.

Nei riguardi delle pile intermedie, la sollecitazione massima a compressione si verificava a serbatoio pieno al piede di valle della pila centrale col valore di  $19,30 \text{ Kg/cm}^2$ .

Per i telai di cui si è fatto cenno, che sono destinati ad assorbire, oltre alle azioni della parte superiore a gravità, le reazioni uniformemente ripartite trasmesse dalla parte inferiore anch'essa a gravità (comprese le sollecitazioni) e la pressione idrostatica, si provvede con apposito calcolo, limitato ai due tipi di telai di monte e di valle più sollecitati, per il dimensionamento e per le relative armature.

Gli studi idrologici condotti in sede di progetto portarono a stimare una portata di massima piena catastrofica di  $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le dimensioni assegnate alle luci ed i coefficienti di efflusso determinati su modello fisico in funzione dei profili delle pile e delle soglie, portarono a definire il massimo valore della portata scaricata complessivamente dalle due luci, con invaso alla 167,50 m slm e paratoie tutte aperte con funzionamento a stramazzo libero sulla soglia, in poco meno di  $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La concezione delle luci di scarico nella parte centrale dello sbarramento fu orientata non solo da considerazioni idrauliche in relazione alle portate di piena, ma anche dall'intento di favorire l'asportazione delle sedimentazioni, almeno nella porzione dell'invaso più prossima alla diga. Per questo motivo la quota della soglia degli scarichi di superficie fu tenuta decisamente bassa, realizzando luci dell'altezza di 14,50 m rispetto all'altezza di ritenuta di 21,50 m. Parallelamente non fu previsto alcuno scarico di fondo.

Furono quindi previste due grandi luci di scarico con soglia alla quota 153,00 m slm, intercettate da una coppia di paratoie metalliche tipo Man a due elementi sovrapposti e struttura intelaiata, scorrenti su carrelliere oscillanti con ruote girevoli su cuscinetti a sfere, dimensionate per luci della larghezza netta di 12 m e dell'altezza di 14,50 m.

Gli elementi delle due paratoie sono azionati mediante catene tipo Galle da argani oleodinamici posti sulla sommità dello sbarramento, sul ponte a quota 181,00 m slm, e comandabili direttamente dalla sala

quadri della centrale elettrica o localmente. Le modalità di funzionamento delle paratoie sono già state esposte nel Par. 3.2, mentre per maggiori dettagli si rimanda alla specifica Relazione impiantistica [R7]. Il coefficiente di efflusso delle luci per le varie configurazioni dello scarico (stramazzo sopra le paratoie, battente, stramazzo libero sulla soglia) fu determinato con prove su modello costruito presso il Laboratorio di Idraulica della Società Elettrica Selt Valdarno.

### 5.3 Realizzazione e collaudo

Dopo l'emissione del Decreto di autorizzazione provvisoria all'inizio dei lavori in data 21.01.1956, i lavori furono iniziati nel febbraio 1956, mentre il Foglio di Condizioni per la Costruzione della diga fu approvato il 02.05.1956 e registrato il 06.06.1956.

La direzione dei lavori fu espletata dallo stesso progettista Dott. Ing. Franco Gulì.

La realizzazione delle opere civili fu affidata all'Impresa Farsura di Milano, mentre le iniezioni cementizie di impermeabilizzazione della roccia di fondazione furono affidate all'Impresa ILS di Cantù (CO). Le paratoie furono fornite dalla Società Alessandro Calzoni SpA di Bologna.

Per evitare la costruzione di un'avandiga e di una galleria di deviazione, lo sbarramento fu costruito in due fasi successive. In ciascuna fase fu isolata la metà dell'alveo dell'Arno mediante una tura in palancole Larssen dello sviluppo di 140 m e dell'altezza di 6 m fuori alveo. La tura era sostenuta da tralicci metallici e bloccata al piede da un cordolo di calcestruzzo, data la natura della roccia dell'alveo che impediva l'infissione delle palancole sul fondo.

Il volume complessivo degli scavi per l'intero sbarramento raggiunse i 56000 m<sup>3</sup> circa.

Gli inerti usati per la confezione del calcestruzzo per getti armati provenivano dalla stessa cava di calcare di Montegrossi, utilizzata per l'impianto superiore di La Penna. Per il calcestruzzo semplice furono utilizzati materiali provenienti da cava alluvionale ubicata a valle della confluenza del torrente Ambra nel fiume Arno, circa 12 Km a valle dello sbarramento. I materiali venivano preventivamente vagliati in tre granulometrie. L'integrazione degli elementi mancanti veniva effettuata in cantiere mediante apposito impianto di macinazione e granulazione. A causa delle mediocri caratteristiche degli inerti alluvionali, fu impiegato cemento AR680 della Cementeria Marchino di Settimello.

Il calcestruzzo utilizzato per i getti massicci e non armati è stato dosato con 180 o 300 Kg di cemento per m<sup>3</sup> d'impasto, a seconda della distribuzione in opera. Il calcestruzzo semplice utilizzato per i getti del paramento di monte della diga era dosato con 300 Kg di cemento per m<sup>3</sup> d'impasto. Il calcestruzzo riservato ai getti armati di travi, solette, pilastri e camere spirali era dosato con 300 Kg di cemento per m<sup>3</sup> e confezionato con inerti provenienti dalla cava di calcare.

La resistenza media a compressione per il calcestruzzo dosato con 300 Kg/m<sup>3</sup>, con stagionatura di 28 giorni, risultò pari a 308 Kg/cm<sup>2</sup> nelle numerose prove effettuate in corso d'opera presso il laboratorio annesso al cantiere di La Penna e raggiunse i 325 Kg/cm<sup>2</sup> nelle prove ufficiali eseguite presso il Laboratorio di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Pisa.

Il volume complessivo dei getti di calcestruzzo per l'intero sbarramento ammontò a 55000 m<sup>3</sup> circa.

Le iniezioni di impermeabilizzazione interessarono tutte le opere dello sbarramento. Furono eseguiti n. 946 fori, per uno sviluppo complessivo di 9820 m, oltre 3268 m di riperforazione.

Furono iniettati 15155 q di cemento e 8234 di sabbia di fiume con una pressione di iniezione compresa fra 2 e 20 atm.

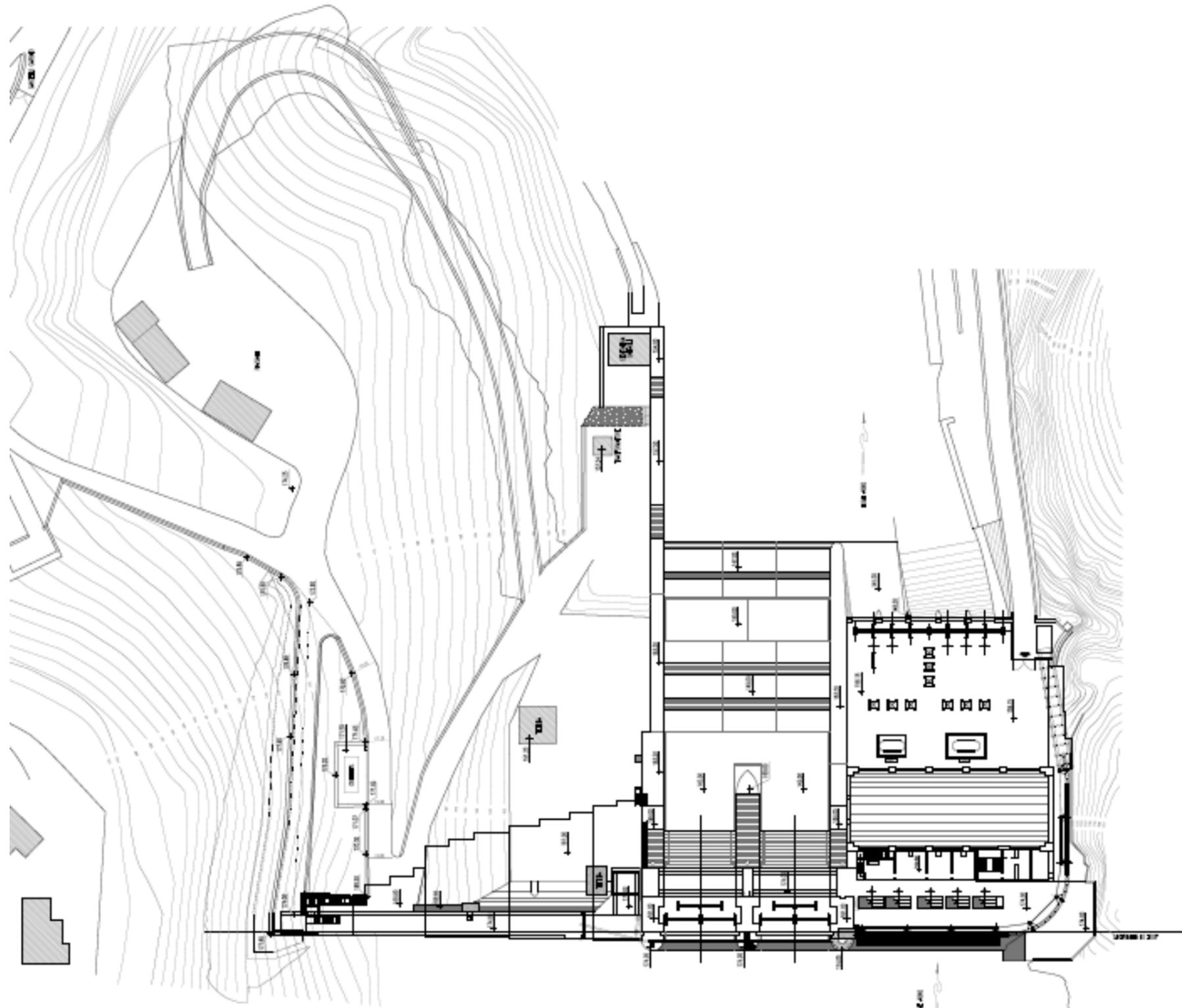
I lavori furono ultimati nel 1957 e gli invasi sperimentali ebbero inizio nel febbraio 1958.

L'impianto entrò in normale esercizio il 01.10.1958 ed il 02.10.1958 ebbe luogo la visita di collaudo ed il certificato di collaudo, ai sensi del RD 01.10.1931 n. 1370, fu emesso il 31.10.1958 dal Dott. Ing. Aquino Romano, Provveditore alle Opere Pubbliche, e fu approvato con provvedimento n. 65 del 24.01.1959.

## 6 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLE OPERE IN PROGETTO

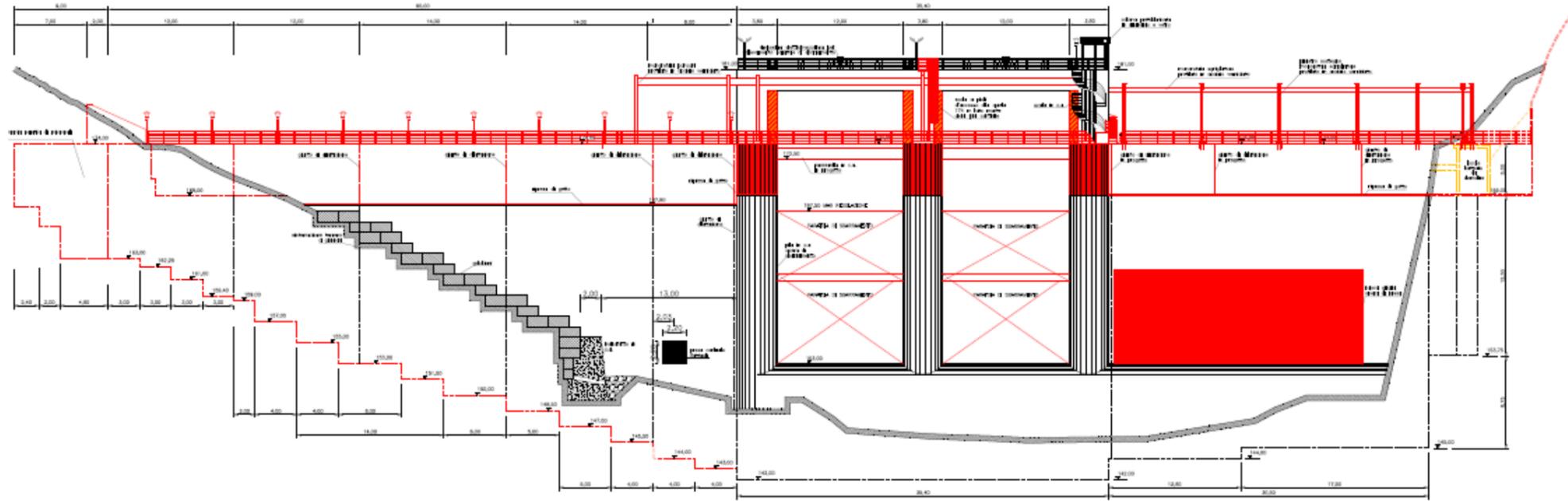
Il progetto prevede di portare la quota del coronamento a 174,00 m s.l.m. Il franco rispetto al massimo invaso sarà quindi pari a 2 m, mentre attualmente, con il coronamento a quota 169,00, è pari a 1,50 m. I volumi di calcestruzzo riportati sono stati determinati, oltre che in funzione della nuova geometria, anche per far fronte ai maggiori carichi idraulici e sismici.

Gli interventi sulle diverse parti costituenti la diga sono descritti di seguito.

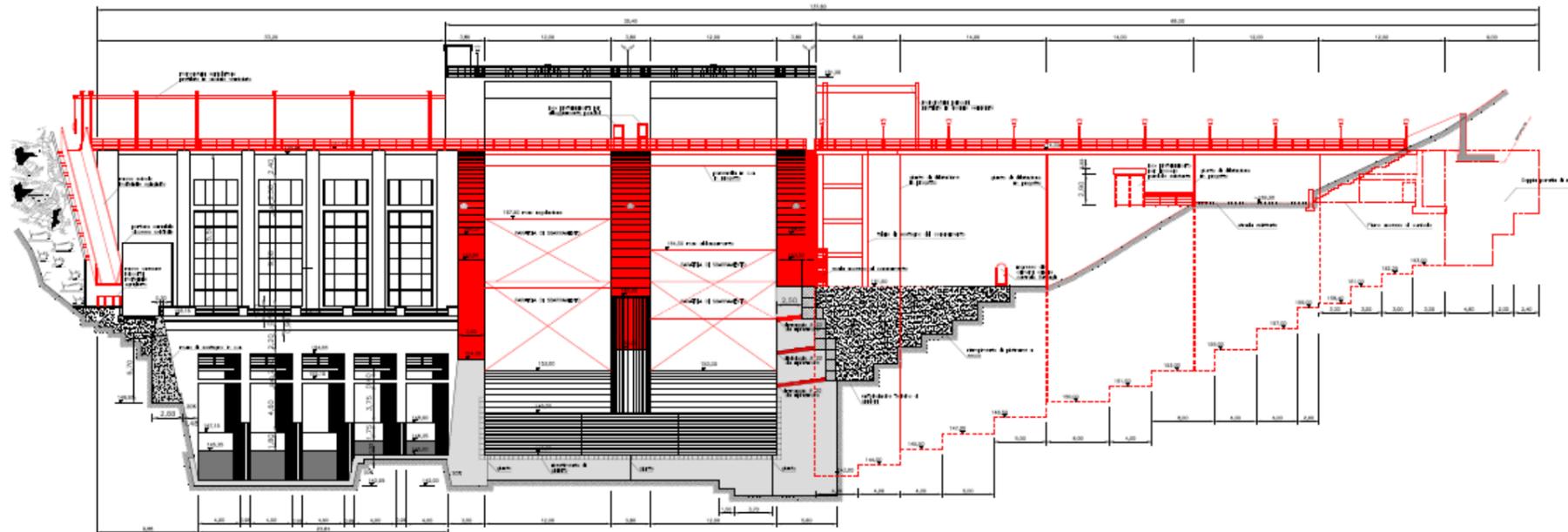


Planimetria in progetto

Prospetto di monte  
Scala 1:200



Prospetto di valle  
Scala 1:200



Prospetti di monte e di valle della - progetto

Porzione sinistra (diga a gravità massiccia)

Viene riproposta la geometria della diga esistente: sezione triangolare con paramenti di inclinazione 0,05 a monte e 0,75 a valle. Il vertice del triangolo fondamentale viene alzato alla quota di massimo invasivo 172,00 m s.l.m. La sezione triangolare sarà sovrastata da un coronamento dotato superiormente di una strada carrabile e raccordato col paramento di valle con un tratto ad arco di circonferenza.

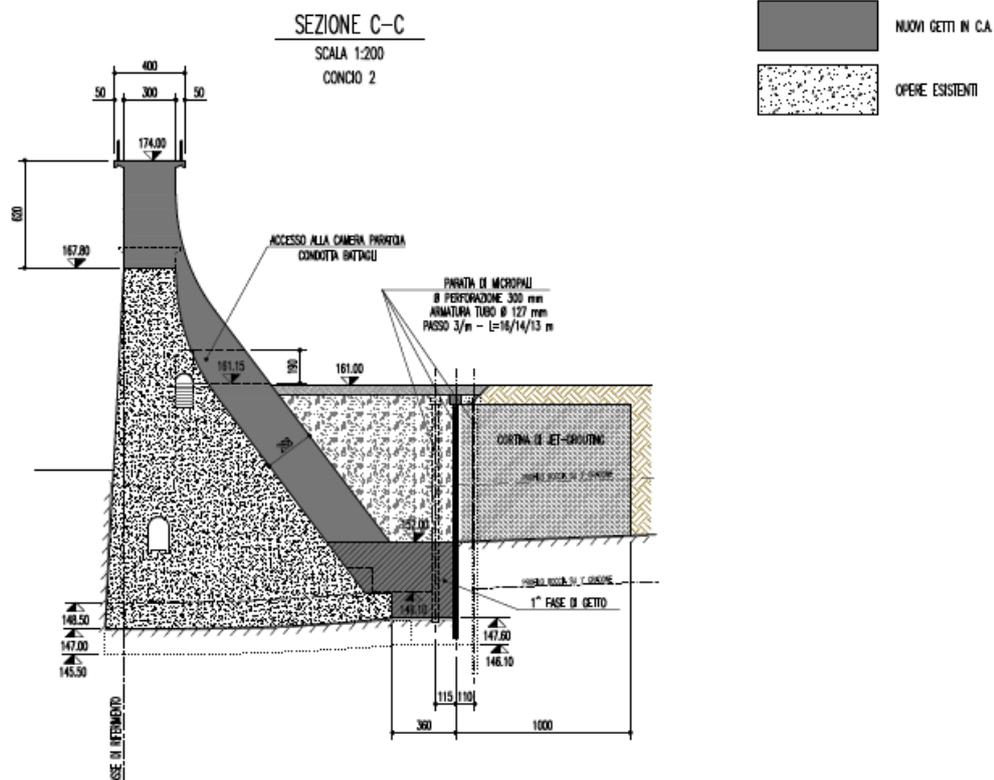
In corrispondenza al paramento di monte verrà realizzato un elemento orizzontale di tenuta idraulica per impedire le permeazioni attraverso la superficie di contatto fra nuovo e vecchio calcestruzzo.

Attualmente la porzione sinistra è divisa in 5 conci. Questa suddivisione verrà mantenuta anche per il sopralz e pertanto i giunti verticali verranno prolungati nella nuova struttura.

La nuova geometria della diga comporta un innalzamento del paramento di valle in direzione verticale di 4,50 m, pari all'innalzamento del vertice del triangolo fondamentale. Lo spessore del riporto di calcestruzzo sarà invece pari a 3,60 m in direzione orizzontale. La superficie del paramento di valle sarà opportunamente preparata per eseguire il getto del riporto. Si prevede a questo scopo di solidarizzare il nuovo getto alla struttura esistente con barre di solidarizzazione tra i due getti, in acciaio ad aderenza migliorata ed uno strato di resina epossidica sulle superfici a contatto.

Per consentire la realizzazione dei suddetti interventi, sarà necessario rimuovere parzialmente il terrapieno esistente a valle della diga, compreso fra la sponda sinistra e il muro d'ala del canale di scarico. Questo comporta operazioni di scavo e sbancamento verso valle a partire dalla proiezione del piede diga, nonché la rimozione e successiva sostituzione della condotta forzata della centralina Battagli, posizionata all'interno del terrapieno.

E' previsto inoltre di revisionare la paratoia di presa, sostituendone la griglia, posta sul paramento di monte di questa porzione della diga.



**Concio 2 – Intervento di massiccamento in progetto**

### Parte centrale (scarico di superficie)

È prevista la sostituzione delle paratoie e dei relativi sistemi di comando e movimentazione, che devono essere adeguate alle nuove possibili condizioni di carico.

I setti costituenti la pila centrale e le due laterali delle luci di scarico verranno sopralzati di 5 m, dalla quota del piano di coronamento attuale 169,00 m s.l.m. a quella del piano di coronamento in progetto (174,00 m s.l.m.), ad eccezione delle parti che sostengono il ponte di manovra delle paratoie a quota 181,00 m s.l.m., che sarà mantenuto inalterato. Questo innalzamento interesserà tutta la porzione di valle della pila ed i muri d'ala fino al ripiano a quota 161,00 m s.l.m.

È prevista la preparazione mediante idroscarifica dell'attuale superficie sulla quale procedere ai nuovi getti per migliorare l'aderenza tra le due parti e l'inserimento di barre di armatura tra il calcestruzzo esistente e quello di riporto e per garantirne la monoliticità.

I giunti strutturali tra questa parte di sbarramento e le due parti adiacenti verranno invece realizzati in prosecuzione di quelli esistenti.

Per il collegamento delle due porzioni destra e sinistra della diga sarà costruita una nuova passerella in c.a. alla quota 174,00 m s.l.m. del nuovo piano di coronamento.

### Porzione destra (diga a gravità a ridosso della centrale idroelettrica)

In questo tratto di sbarramento sono ricavate le opere di derivazione della centrale idroelettrica, le cui strutture sono addossate alla diga e non presentano, con questa, soluzione di continuità. Non essendo possibile, per questo motivo, il riporto di spessori di calcestruzzo sul paramento di valle, i volumi di calcestruzzo aggiuntivi, necessari a far fronte alle maggiori spinte idrauliche, saranno disposti sopra al piano di coronamento.

Separando la parte di pertinenza della diga da quella relativa al fabbricato della centrale, si individua per questo tratto una larghezza del coronamento pari a 8,85 m. Su tutta questa larghezza verrà realizzato il sopralzo mediante il riporto di uno spessore di calcestruzzo di 5 m. In termini di quote assolute i valori sono pari a quelli già visti per il tratto a gravità: quota del coronamento attuale 169,00 m s.l.m. e quota di progetto 174,00 m s.l.m.

Questa parte della diga non presenta attualmente giunti strutturali verticali, ad eccezione di quello posto all'estremità sinistra, verso la porzione centrale dello sbarramento. Questo giunto è analogo a quelli già visti per la porzione in sinistra e verrà ripreso e proseguito con le stesse caratteristiche per il tratto sopraelevato.

La parte superficiale dell'attuale piano di coronamento, interessata dai nuovi getti, verrà ravvivata mediante idroscarifica, in modo da ottenere una superficie di posa scabra e con calcestruzzo non degradato. Anche in questo caso si prevede di garantire la monoliticità mediante l'inserimento di barre di armatura tra il calcestruzzo esistente e quello di riporto.

Per impedire le permeazioni attraverso la superficie di ripresa, in corrispondenza al paramento di monte, verrà realizzato un elemento orizzontale di tenuta idraulica così come per la porzione sinistra.

Nel volume del sopralzo dovranno essere ricavati i vani per la movimentazione delle paratoie di presa, in continuità e con le stesse dimensioni in pianta dei vani esistenti. Dovranno inoltre essere prolungati i pozzi delle prese d'aria a valle delle paratoie.

Gli organi di manovra delle paratoie rimarranno nella posizione attuale, restando inalterato l'attuale schema di impianto e funzionamento delle stesse paratoie.

I diaframmi delle paratoie e i servomotori verranno sostituiti per far fronte ai maggiori carichi, così come gli organi di comando e controllo.

Lo sgrigliatore esistente verrà spostato alla nuova quota di coronamento e modificato per tener conto delle maggiori lunghezze di corsa. L'impianto a monorotaia per la movimentazione del materiale

sgrigliato verrà riproposto alla nuova quota di coronamento, ma con percorso variato rispetto all'attuale: la restituzione infatti avverrà a valle della centrale idroelettrica, in un'area nei pressi del cancello di accesso dalla strada in destra idraulica, in modo da ottimizzare la movimentazione dei mezzi per il trasporto a scarica.

L'accesso carrabile al nuovo piano di coronamento avverrà alla quota 174,00 m s.l.m. a partire dalla spalla sinistra e attraverso la nuova passerella posta sopra le luci sfioranti. L'accesso pedonale potrà avvenire anche dalla centrale, attraverso una porzione lato valle dell'attuale coronamento non interessata dalla sopraelevazione e poi da questa tramite una nuova scala posta secondo l'asse longitudinale della diga.

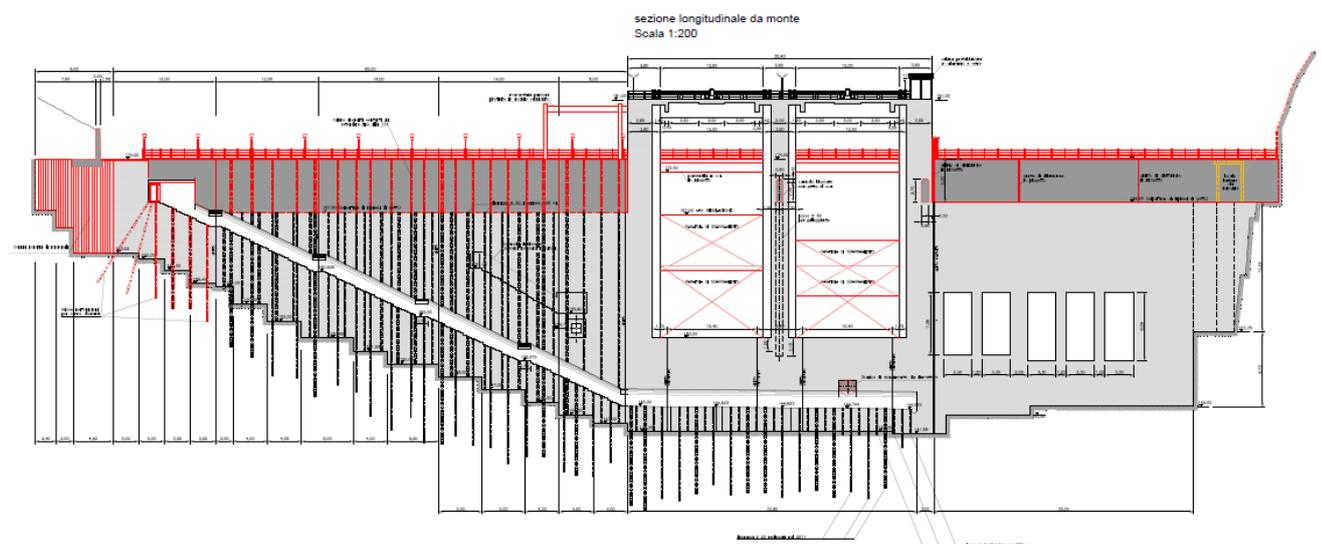
Dal piano a quota 174,00 m s.l.m. si raggiungerà l'attuale scala a chiocciola sulla pila destra che conduce al ponte di manovra degli scarichi a quota 181,00 m s.l.m. tramite un breve raccordo in carpenteria metallica.

### Rete di drenaggio della diga

A seguito dei lavori eseguiti tra il 2008 e il 2009 il sistema di drenaggio delle porzioni sinistra e centrale della diga risulta adeguato e non necessita di modifiche.

Durante la realizzazione dei nuovi getti sul coronamento della parte in sinistra è prevista la prosecuzione, nel tratto sopraelevato, delle canne drenanti esistenti nel corpo diga.

La parte in destra a ridosso della centrale elettrica non ha attualmente drenaggi né cunicolo di ispezione. Data la presenza dei condotti di adduzione alle turbine, e tenuto conto dell'esito delle verifiche di stabilità condotte, non è previsto di realizzare un nuovo cunicolo alla base dei conci in destra.



**Sezione longitudinale - Progetto**

### Organi di scarico

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).

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 [[37] complessivamente pari a circa 3235 m<sup>3</sup>/s.

### Panconatura dello scarico di superficie

La diga di Levane è fornita di un sistema di panconatura delle luci di scarico che permette l'esercizio dell'impianto durante le operazioni di manutenzione, con livelli dell'invaso compresi fra le quote 160,00 e 162,60 m s.l.m.

I panconi, in acciaio, hanno altezza variabile e possono essere sovrapposti fino ad una altezza massima di 9,60 m sopra la soglia di scarico alla 153,00 m s.l.m.

I panconi vengono movimentati per mezzo di una trave monorotaia, con zona di carico sul coronamento della spalla sinistra. A causa del sopralzo del coronamento la via di corsa e i piedritti di sostegno esistenti dovranno essere smontati e rimontati alla nuova quota di coronamento.

Oltre a tale spostamento non sono necessarie altre modifiche. Le strutture di sostegno saranno oggetto di manutenzione. L'impianto di movimentazione, sarà invece modificato, poiché dovrà operare da una quota superiore all'attuale.

I panconi saranno utilizzati per lo smontaggio delle paratoie esistenti e il montaggio delle nuove che avverrà una luce alla volta e a invaso vuoto come descritto al paragrafo 11.

### Deflusso di piena a valle dello sbarramento

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.

Si sono svolte verifiche circa l'adeguatezza della vasca di dissipazione posta a valle delle luci di scarico e circa l'altezza d'acqua prevedibile. Data la complessità del fenomeno idraulico e l'inevitabile approssimazione di una verifica semplificata, è stato realizzato un modello fisico per la verifica della vasca che ha confermato l'efficienza della stessa.

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.

### Paratoie di presa

L'opera di presa è costituita da 5 luci di 3,30 x 8,00 m, protette con griglie e intercettate da paratoie piane a comando oleodinamico. Le due paratoie del gruppo di sinistra hanno la soglia a quota 149,44 m s.l.m. e altezza di 6,18 m, mentre le 3 paratoie del gruppo di destra hanno la soglia a quota 148,55 m s.l.m. e altezza di 7,07 m, a causa delle diverse conformazioni dei condotti di alimentazione delle macchine.

I diaframmi sono scorrevoli su ruote e hanno tenuto verso valle sui 4 lati. Sono inseriti in una cassa stagna con chiusura superiore alla quota 163,00 m s.l.m., cioè alla base del vano in cui sono alloggiati i servomotori.

I servomotori sono cilindri oleodinamici da 500 mm di diametro. Per una lunghezza di 6,00 m sono contenuti nel vano di alloggiamento nel corpo diga, mentre per altri 3,75 m sono sporgenti rispetto al piano di coronamento attuale. Nel progetto di sopralzo è stato previsto di mantenere la stessa posizione dei cilindri, che saranno pertanto interamente contenuti nel corpo diga, senza parti sporgenti al di sopra del coronamento.

A causa dell'incremento di carichi idraulici sulle paratoie dovuto all'innalzamento del livello di massimo invaso, è prevista la sostituzione dei diaframmi delle paratoie e dei servomotori di manovra.

Le parti murate esistenti (soglie, gargami, cassa stagna) verranno mantenute inalterate, mentre i cunicoli di passaggio delle tubazioni e i vani di contenimento dei servomotori dovranno essere adattati ai nuovi volumi di calcestruzzo della diga.

Il comando delle paratoie avverrà sempre dalla sala quadri. La logica di manovra dovrà essere adattata, anche se non si prevedono modifiche sostanziali in relazione al soprizzo della diga. Questo infatti incide in pratica solo sulla gestione delle piene, quando di regola i gruppi di produzione vengono arrestati e le paratoie di presa chiuse.

Tenendo conto della migliorata accessibilità del coronamento della diga, che potrà permettere in futuro di intervenire anche con una autogrù, si ritiene di riproporre l'attuale sistema di movimentazione delle paratoie in caso di manutenzione, che viene effettuata con l'impiego di un paranco mobile, installato a quota 174,00 m s.l.m.

### Sgrigliatore

L'opera di presa è fornita di uno sgrigliatore a pettine che per mezzo di una monorotaia porta il materiale sgrigliato in corrispondenza della passerella sullo scarico di superficie, dove viene caricato.

Il soprizzo della diga rende necessaria la revisione del sistema di sgrigliatura attualmente installato. Si prevede quindi di installare un nuovo sgrigliatore e di modificare sia il percorso, sia il luogo di deposito provvisorio del materiale sgrigliato, prima del suo smaltimento definitivo in discarica.

La struttura dello sgrigliatore sarà adeguata sia alla maggior altezza operativa sia al maggior carico di lavoro.

La movimentazione del materiale sarà eseguita, come attualmente, con una via di corsa su cui scorrerà il pettine dello sgrigliatore. La direzione della via di corsa avrà un andamento parallelo al versante della sponda destra. Sarà sostenuta da montanti d'acciaio, gravanti sulla muratura di rivestimento del versante stesso e sarà estesa oltre il fabbricato della centrale idroelettrica.

Da qui il materiale sgrigliato sarà scaricato in uno scivolo in lamiera, che lo convoglierà in un cassone di raccolta. Un opportuno sistema di drenaggio consentirà l'evacuazione dell'acqua percolante dal materiale sgrigliato.

Arretrando la recinzione della centrale, il cassone risulterà completamente esterno all'impianto e perciò più facilmente raggiungibile dagli autocarri destinati allo smaltimento del materiale raccolto.

### Centralina Battagli e cabina elettrica 15 KV

A causa dell'incremento delle azioni idrostatiche sulla paratoia di presa della centralina Battagli in condizioni di piena eccezionale, è prevista la sostituzione del diaframma metallico della paratoia.

Inoltre, poiché il terrapieno a ridosso della diga in sponda sinistra verrà in buona parte rimosso per consentire i getti di inspessimento della porzione a gravità massiccia, si pone la necessità di rimuovere la condotta forzata della centralina, ubicata all'interno del terrapieno, e di sostituirla con una nuova di pari geometria in termini di diametro, lunghezza e posizione.

La cabina elettrica 15 KV è un fabbricato di modeste dimensioni, posto sul terrapieno a valle della porzione sinistra della diga, di servizio alla centralina Battagli e di alimentazione dei servizi ausiliari di centrale.

La cabina dovrà essere spostata, ubicandola comunque in prossimità della strada di accesso. L'intervento si limita alla realizzazione di una nuova platea per la posa delle apparecchiature, completa di tettoia di copertura, oltre allo spostamento del percorso cavi.

### Strada di accesso alla diga in sinistra

Per consentire l'accesso al nuovo coronamento dalla sponda sinistra si rende necessaria la costruzione di un tratto di strada di raccordo con la strada di accesso attuale, della lunghezza di circa 50 m. Il tratto di raccordo si sviluppa praticamente orizzontale, a partire da quota 173,90 m slm per arrivare al coronamento a quota 174,00 m slm. La carreggiata avrà una larghezza di almeno 4 m.

A ridosso della diga si rende necessaria anche la realizzazione di opere di sostegno della sede stradale. Le scarpate interessate da scavi e riporti verranno stabilizzate con opere di sostegno.

Considerato il contesto ambientale si prevede di evitare il ricorso alla pavimentazione in asfalto preferendo una pavimentazione in misto granulare stabilizzato con cemento.

In fase di cantiere è previsto l'adattamento della viabilità pubblica minore impegnata dai trasporti. Gli interventi necessari sono allargamenti localizzati per la manovra in sicurezza dei trasporti di maggiori dimensioni (elementi delle paratoie, gru etc.) che potranno essere realizzati anche con opere di ingegneria naturalistica e regimazioni idrauliche. E' prevista anche la costruzione di una nuova pista di accesso al terrapieno posto a valle della porzione sinistra della diga, che si sviluppa sulla sponda sinistra.

### Gruppo elettrogeno

Il gruppo elettrogeno di riserva per l'alimentazione della diga e dei servizi ausiliari di centrale è posizionato a ridosso del paramento di valle della porzione sinistra della diga.

La zona è interessata dai lavori di soprizzo e pertanto si rende necessario lo spostamento.

Per garantire la continuità del servizio il gruppo elettrogeno dovrà essere spostato prima dell'inizio dei lavori sulla diga.

Per questo verrà realizzata una nuova piattaforma, poco a monte di quella attuale, e verranno modificati i percorsi cavi.

## **7 ASPETTI GEOLOGICI, GEOTECNICI E GEOMECCANICI**

L'area nella quale è situato il bacino di Levane, che si estende dalla diga fino al ponte del Romito, si trova nel settore tirrenico dell'Appenninico Settentrionale, costituito, dal punto di vista geologico, da una successione di formazioni in continuità stratigrafica fra di loro, nota come Falda Toscana. In particolare, la zona di imposta della diga e le sponde del bacino sono costituite dalla formazione geologica delle Arenarie del Monte Falterona (AMF), alternanza di strati di arenarie a grana medio fine, di spessore che talvolta è dell'ordine metrico, e di strati centimetrici di siltiti e marne. Nell'ambito della progettazione definitiva dell'intervento di soprizzo della Diga di Levane (AR) è stato aggiornato il modello geotecnico longitudinale e trasversale della sezione d'imposta dell'opera. Il presente rapporto tiene conto della storia delle indagini eseguite in sito a partire dalla progettazione degli anni '50 fino alle più recenti eseguite nel mese di dicembre 2019.

Le indagini di supporto hanno riguardato la sezione di imposta della diga e le sponde del bacino ed hanno compreso:

- rilievi geologici, geomorfologici e geostrutturali di superficie
- indagini geognostiche e geofisiche eseguite nella roccia di fondazione della diga
- carotaggi e perforazioni eseguiti per la realizzazione di canne drenanti in fondazione

Gli aspetti geologici, geotecnici e geomeccanici della sezione di imposta della diga sono sviluppati interamente all'interno della Relazione di progetto a ciò dedicata [36] mentre 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 [48].

Nel dettaglio, sono state svolte ora attività di raccolta ed analisi di dati bibliografici, tecnici e specialistici; i dati sono stati confrontati con quanto riconosciuto sul terreno nell'ambito di un rilievo geologico di superficie di dettaglio, effettuato nel mese di dicembre 2019.



**Posizione sondaggi e punto di prelievo dei campioni lapidei in corrispondenza della sezione lungo lo sbarramento [36].**

Nel dettaglio della caratterizzazione dell'ammasso roccioso di fondazione della diga, i presupposti di partenza sono basati sia sull'ampia disponibilità di dati quantitativi che negli ultimi 15 anni sono stati raccolti attraverso le indagini geognostiche, sia sulla considerazione che i dati raccolti in superficie possono non essere necessariamente rappresentativi delle caratteristiche in profondità.

Allo scopo di uniformare le stratigrafie, è stato svolto un lavoro di allineamento con le foto delle carote e dei log della sonda televisiva, in cui quest'ultima è stata utilizzata come riferimento per la profondità. Con lo stesso procedimento sono state esaminate le discontinuità e lo stato di fratturazione indicato nelle analisi della sonda televisiva e riconoscibili nelle carote.

L'analisi di dettaglio delle stratigrafie ha indicato come non perseguibile la strada delle correlazioni laterali delle singole bancate, a causa delle variazioni di spessore alla mesoscala. Di conseguenza la trattazione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso è avvenuta considerandolo come alternanza arenarie/peliti nel suo complesso.

Si è provveduto ad approfondire l'analisi dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso nel sottosuolo, ad integrazione delle indagini di superficie svolte negli studi precedenti. Allo scopo sono stati utilizzati i dati disponibili comprendenti stratigrafie, immagini delle carote (l'analisi visiva diretta delle carote stesse è stata possibile per i sondaggi SS1, SS2 e parzialmente per il CH1), sonda televisiva.

A partire dai dati ricavati dalla sonda televisiva (eseguita nei sondaggi SS1, SS2, CH1, SL2, SL3) è stato analizzato statisticamente l'assetto strutturale: le famiglie K1 e K2, ben visibili in affioramento, sono difficilmente individuabili in foro in quanto ad alto angolo; sono invece riconoscibili altre famiglie di discontinuità, ad angoli minori di inclinazione ed orientazione varia. L'analisi comparata tra i dati dei diversi sondaggi sembra suggerire un assetto strutturale parzialmente differente tra il lato sinistro della valle e quello destro; inoltre nei sondaggi in destra (SL2 e SL3) si è notata una diversa giacitura della stratificazione a seconda della profondità, una simile a quella di superficie e una diversa, non riscontrabile nei sondaggi in sponda sinistra.

Per quanto riguarda l'RQD sono stati trattati i dati complessivi dal recupero delle carote e dall'elaborazione delle riprese OPTV e BHTV; nel complesso si osserva una discreta concordanza tra i due diversi set di dati, almeno negli andamenti relativi. Dall'analisi comparata è possibile osservare che l'RQD (entrambi i set) in sponda sinistra indicano una qualità peggiore rispetto alla sponda destra ed in generale la qualità non migliora sensibilmente in profondità tranne che nel sondaggio CH1.

Per gli ammassi attraversati dai sondaggi, è stato stimato l'indice GSI, utilizzando la formula proposta da Hoek et alii (2013) che lega questo indice al valore di RQD ed alle condizioni delle discontinuità (JCond89) così come intese nella classificazione RMR di Bieniawski (1989): dall'analisi emerge principalmente che i sondaggi SS1, SS2 e SL2 presentano i più bassi valori di RQD e GSI. In particolare, in SS2 si segnalano a 9, 15 e 17 metri al di sotto della nuova quota di fondazione, e una decina di metri sotto la fondazione della diga) tre intervalli con valori di GSI e RQD rispettivamente inferiori a 40 e 10. Il primo intervallo è dato da alternanze fra arenarie e marne-siltose, con prevalenza di questi ultimi litotipi. I due intervalli più profondi sono invece costituiti da litotipi marnoso-siltosi. Intervalli metrici caratterizzati da valori di GSI minori di 40 ed associati bassi RQD si rilevano a varie profondità anche in SS1 e SL2. In SS1, SS2 e SL2, se si considera il variare del GSI con la litologia, si nota che i valori medi più bassi si registrano nei tratti di sondaggio costituiti da marne-siltose o dall'alternanza di questi litotipi con le arenarie. Infine, i sondaggi CH1 e SL3 hanno valori medi di GSI e RQD nettamente più elevati rispetto a SS1, SS2 e SL2.

A partire dalle prove geofisiche in foro (cross hole CH1-CH2) è stato calcolato il valore dell'indice Q di Barton: si osservano due livelli con qualità "molto scadente", alle profondità 33-34m e 55m dalla quota coronamento attuale; il confronto con le immagini della BHTV contribuisce ad ipotizzare che almeno nel primo caso (profondità 33-34m) la qualità sia da mettere in relazione con una fascia ad elevata fratturazione, per il secondo caso (55m) vi è maggiore incertezza.

Relativamente alle prove di laboratorio eseguite sui campioni di roccia, sono evidenziate le elaborazioni statistiche utili a stimare le proprietà e le caratteristiche di resistenza delle rocce poste al di sotto del piano di fondazione della diga secondo la metodologia proposta da Hoek, Carranza-Torres & Corkum (2002). Nel presente lavoro si è concentrata l'attenzione sui parametri di resistenza alla compressione di picco ( $\sigma_c$ ), peso di volume e modulo elastico tangente al 50 % della  $\sigma_c$  ( $Et_{50}$ ). Le analisi statiche di questi dati sono state eseguite considerando vari insiemi di campioni e a seconda della litologia di appartenenza: arenarie e marne-siltose. L'unico campione di argillite noto è stato prelevato in SS2, ma su di esso non è stato possibile eseguire nessuna prova di laboratorio, a causa delle sue condizioni, connesse all'intrinseca scarsa qualità del materiale. In estrema sintesi, i valori di  $\sigma_c$  e  $Et_{50}$  dei litotipi arenacei sono solo lievemente maggiori rispetto a quelli dei litotipi marnoso-siltosi.

Per meglio caratterizzare la permeabilità dell'ammasso roccioso sono stati utilizzati i dati bibliografici delle indagini geognostiche precedenti e i dati derivati dalle prove condotte nei nuovi fori SS1 e SS2; la porzione più superficiale dell'ammasso roccioso in sponda sinistra presenta valori di permeabilità alti, probabilmente correlati alla presenza di numerose fratture aperte, e/o con riempimento non cementato, e/o comunicanti.

Nella porzione più profonda dell'ammasso, oltre i 20 m da p.c., le permeabilità ottenute nelle nuove indagini sono tipiche di un ammasso scarsamente permeabile. Per quanto riguarda i sondaggi in sponda sinistra, SS1 e SS2, la diminuzione della permeabilità con la profondità non sembra correlata al grado di fratturazione, che si mantiene elevato anche in profondità. Ciò potrebbe essere correlato alla presenza di fratture chiuse, e/o con riempimenti cementati, e/o non comunicanti.

Analogamente per i sondaggi in destra idrografica, SL2 e SL3, la permeabilità ha valori da moderati a bassi non correlabili direttamente al grado di fratturazione dove è riconosciuto come inferiore rispetto alla sponda sinistra.

Nel foro del sondaggio SS1, in sinistra idrografica, dove sono presenti circa 8 metri di deposito superficiale, si è effettuata una prova di permeabilità Lefranc, che ha evidenziato un valore tipico di una permeabilità da bassa a molto bassa.

In ragione dell'Aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Toscana 2014, il comune di Montevarchi risiede in Zona Sismica 3.

Per la definizione della categoria di sottosuolo si sono utilizzati i dati ricavati dal carotaggio sismico Cross-Hole per una profondità di 62 m, effettuato nel 2015 nei fori di sondaggio Ch1 e Ch2, sul corpo diga. Per quanto riguarda il corpo diga in alveo e la spalla destra, entrambi sono impostati direttamente in roccia. In base ai valori ricavati dal carotaggio Cross-Hole sopracitato si può attribuire a questi terreni di fondazione la categoria A tra quelle previste al punto 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018, costituita da ammassi rocciosi affioranti caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s.

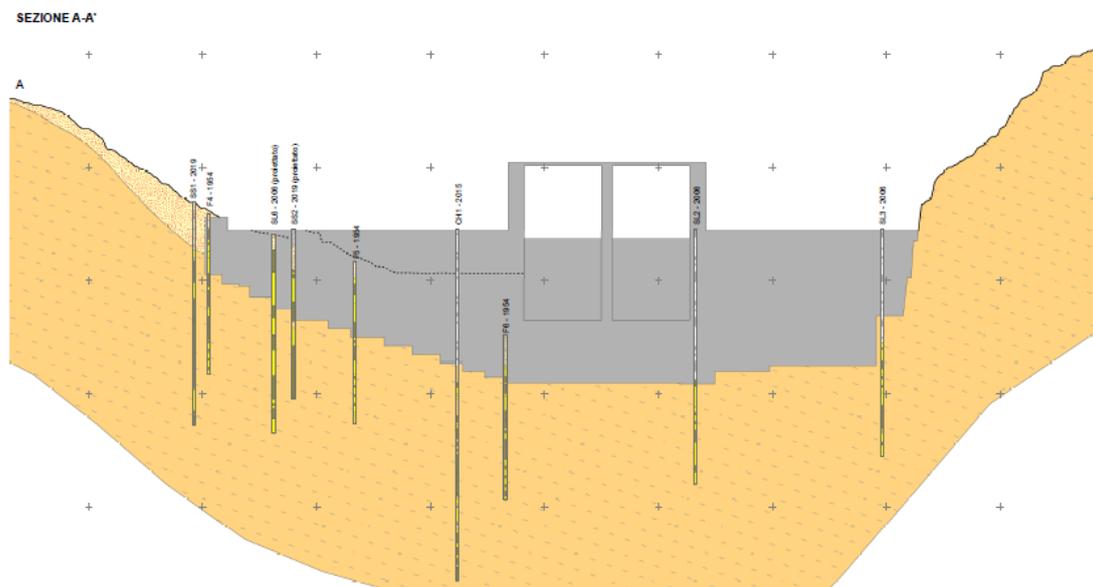
La topografia del sito per quanto riguarda il corpo diga in alveo non presenta complessità particolari per cui ai fini della definizione delle caratteristiche della superficie topografica si ritiene adeguata la categoria T1 in accordo alla [2].

La topografia del sito per quanto riguarda la spalla destra invece ricade in categoria T2, ovvero pendii con inclinazione media > 15°.

Per quanto riguarda la spalla sinistra, durante le indagini geognostiche del 2019 nel sondaggio SS1 si sono evidenziati circa 8 m di deposito al di sopra del substrato roccioso, deposito evidenziato anche nel sondaggio SS2. Non essendo a disposizione misurazioni dirette della velocità delle onde di taglio per questi depositi si può ipotizzare, in base ai dati geognostici disponibili, che tali terreni di fondazione appartengano alla categoria B (depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s) od 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) tra quelle previste al punto 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018. Nelle verifiche pertinenti le opere di sostegno è stata utilizzata la categoria E, più cautelativa, in previsione di verifiche di dettaglio tramite prospezioni sismiche di tipo MASW e HVSR.

È stato indagato nel dettaglio l'assetto morfologico del versante in corrispondenza della spalla sinistra caratterizzato da uno strato di copertura e dalla roccia sottostante direttamente correlabile all'assetto strutturale locale, caratterizzato da andamento a franapoggio degli strati con presenza di livelli pelitici e la cui morfologia è imputabile al rimodellamento locale (soprattutto antropico).

Nella parte a valle dell'imposta, il versante risulta invece caratterizzato da morfologie riconducibili più nettamente ad un'evoluzione gravitativa, in quanto si riconosce sia morfologicamente, sia dal materiale di sottosuolo, un accumulo di frana. Sulla base degli elementi raccolti non vi sono evidenze di una dinamica in atto in entrambi i fenomeni descritti. Il fenomeno non interessa la sezione di imposta della diga.



Sezione geologica in sezione allo sbarramento[36]

## 7.1 Caratterizzazione geotecnica e geomeccanica

Il rapporto [38] ha trattato la definizione dei parametri geotecnici e geomeccanici dei terreni e delle rocce di fondazione in corrispondenza della diga di Levane(AR).

Detti parametri sono stati utilizzati per eseguire le verifiche di stabilità della diga a seguito del soprizzo e per definire gli eventuali interventi di appesantimento della stessa finalizzati al garantire i necessari fattori di sicurezza da Normativa [41].

In progetto saranno previste anche opere di cantierizzazione, di cui si parlerà al Cap 11, da eseguirsi in spalla sinistra. La parametrizzazione geotecnica e geomeccanica ottenuta è stata utilizzata per il dimensionamento geotecnico delle opere che sono definite e trattate in un rapporto dedicato [39].

L'area di studio è stata suddivisa in tre settori: spalla sinistra, parte centrale e spalla destra.

Con riferimento a queste tre aree le varie verticali di indagine sono state tra loro raffrontate e poi analizzate per definire i parametri geomeccanici delle rocce.

Le indagini geognostiche e geofisiche, i rilevamenti geostrutturali, le prove di laboratorio sui campioni di roccia prelevati nei sondaggi sono stati utilizzati per la determinazione dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso su cui è impostata la diga, utilizzati poi nelle verifiche di sicurezza. L'approccio adottato è stato quello noto come criterio di rottura di Hoek e Brown che consente, a partire da valori di resistenza risultanti da prove monoassiali o triassiali e da indici di caratterizzazione dell'ammasso roccioso, la determinazione dei parametri "c" e " $\phi$ " riferiti all'ammasso, riportandosi così al classico criterio di Mohr Coulomb tipico delle terre. Il criterio di Hoek e Brown ipotizza infatti che il comportamento dell'ammasso roccioso possa assimilarsi a quello di un mezzo continuo equivalente.

Le caratteristiche fisico-meccaniche ottenute sono sintetizzate nella seguente tabella distinguendo tra terreni e rocce per i tre settori individuati.

Area di riferimento	Parametri di resistenza di picco		Parametri di resistenza di residui		E (MPa)	E0 (MPa)	K m/s	Qult (MPa)
	c <sub>p</sub> ' (KPa)	φ <sub>p</sub> ' (°)	c <sub>r</sub> ' (KPa)	φ <sub>r</sub> ' (°)				
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	

Le caratteristiche delle coltri detritiche presenti in sponda sinistra sono di seguito presentate.

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

## 7.2 Intervento di chiusura idraulica della diga in spalla sinistra.

L'immorsamento del corpo diga in spalla sinistra è stato valutato sulla scorta delle informazioni di migliore dettaglio sulla natura dei terreni presenti.

Eseguire il prolungamento del corpo diga con le caratteristiche della diga esistente, ovvero con conci in calcestruzzo impermeabilizzata con iniezioni è apparso poco attraente per le complessità esecutive, tenendo conto che 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).

Questo materiale richiede impegnative opere provvisorie e scavi importanti per poter agire in sicurezza; considerando che la funzione richiesta all'opera è la chiusura delle vie di filtrazione in spalla sinistra nella condizione di massimo invaso, piuttosto che di tenuta statica.

È stata progettata perciò un'opera chiamata di 'chiusura idraulica' realizzata con una doppia cortina di micropali di medio diametro, immorsati nel materiale litoide della spalla, e sistemati a quinconce. Il contatto fra l'opera e la diga esistente è ottenuto con una doppia calza iniettata di malta.

La scelta della doppia paratia ha l'obiettivo di chiudere eventuali spazi che possano crearsi tra pali adiacenti a seguito di deviazioni dalla verticale dei pali stessi in fase di installazione. La seconda fila della paratia chiude proprio gli eventuali percorsi lasciati liberi tra i pali della prima paratia.

La chiusura idraulica tra paratia e diga potrà essere garantita mediante la messa in opera di una doppia calza in geotessuto iniettata con miscela cementizia

L'opera, interrata, è soggetta a modeste variazioni di carico imputabili alla differenza di quota dell'acqua a monte e a valle della paratia. La descrizione di questo intervento ed il suo dimensionamento sono oggetto del Rapporto [40].

## 7.3 Sponde dell'invaso

Un primo studio specialistico è stato affidato dalla società CGT-SpinOff Srl dell'Università degli Studi di Siena [25] ed è stato finalizzato alla redazione del quadro conoscitivo geologico, geotecnico e geomeccanico dell'invaso di Levane, sia come necessario corredo dei documenti di progetto e premessa per più puntuali verifiche di stabilità delle sponde, sia come elemento informativo di supporto per la redazione dello Studio d'impatto ambientale. Per questo motivo lo studio è stato trasmesso alla Regione Toscana nel marzo 2015.

L'attività di analisi è stata condotta attraverso il reperimento del materiale esistente per l'area in esame e l'acquisizione di nuovi dati nel corso di una serie di sopralluoghi in sito. In particolare, sono stati approfonditi i seguenti argomenti:

- geologia e geomorfologia delle sponde del lago e delle aree limitrofe
- caratterizzazione geotecnica dei depositi di copertura
- studio geomeccanico finalizzato all'analisi dei sistemi di discontinuità ed alla caratterizzazione degli ammassi rocciosi
- caratterizzazione sismica del terreno tramite misure HVSR

Unitamente allo studio degli aspetti geomorfologici e geomeccanici è stata condotta una prima analisi speditiva delle condizioni generali di stabilità, che ha consentito di rilevare che a scala globale i versanti più acclivi posti a monte della diga mantengono condizioni di sicurezza sia allo stato attuale che in quello di progetto. A scala locale, lungo l'attuale sviluppo dell'invaso si rilevano condizioni puntuali di precario equilibrio, comunque di entità tale da non produrre effetti significativi sull'invaso sia nelle attuali condizioni che in quelle di progetto.

La piana di Laterina non presenta elementi di pericolosità geomorfologica legati a processi di versante che siano in relazione con le variazioni del livello dell'Arno. L'estensione della piana alluvionale lateralmente alla zona di alveo è tale da assicurare la non interferenza dei processi di versante, in particolare le frane, con la dinamica del fiume.

Il secondo studio affidato alla stessa CGT-SpinOff Srl [25], sempre del 2015 e facente parte integrante del progetto inviato a DGD e da esso istruito, ha approfondito gli aspetti relativi alle verifiche di stabilità di alcune sezioni rappresentative delle condizioni delle sponde a monte della diga, lungo le quali sono state eseguiti:

- misure geostrutturali finalizzate alla determinazione della permeabilità dell'ammasso
- prelievo di campioni dalle coltri detritiche o di frana mediante campionatore meccanico
- analisi di laboratorio
- tomografie elettriche in corrispondenza delle sezioni individuate
- parametrizzazione geotecnica delle coltri, geomeccanica degli ammassi, modellazione geologica e modellazione geotecnica delle aree sottoposte a verifica
- verifica di tre sezioni opportunamente scelte sulla base delle risultanze del "Quadro conoscitivo geologico, geotecnico, geomeccanico" del febbraio 2015 (Caratteri geomorfologici, stratigrafici e strutturali) e di ulteriori rilievi in campagna; le verifiche sono state effettuate con modello matematico agli elementi finiti in presenza di sisma con livello d'invaso a quota 167,50 m slm e in condizioni di rapido svaso da quota 172,00 a quota 167,50 m slm in assenza di sisma.

Le verifiche di stabilità hanno avuto una positiva conclusione, evidenziando che le condizioni di sicurezza dei versanti sono assicurate nelle configurazioni attuali e di progetto.

L'integrazione degli studi eseguita nel 2019-2020 si è focalizzata con integrazione di studi e indagini sulle verifiche di stabilità delle tre sezioni notevoli che descrivono tre corpi franosi [48] come richiesto nelle istruttorie della DGD e CSLLPP.

Gli approfondimenti hanno riguardato preliminarmente gli aspetti geologici e quelli geomorfologici, con una intensa e dettagliata attività di campagna, superando, con attrezzature da rocciatore e la creazione di corridoi nella fitta vegetazione a dimora, limitazioni di carattere 'ambientale' e logistico che avevano

impedito negli studi precedenti di effettuare osservazioni e rilievi di dettaglio diretti di varie porzioni di versanti.

Inoltre, sono state effettuate nelle aree di interesse nuove indagini mediante terebrazioni, con ricostruzione stratigrafica, campionamento con analisi di laboratorio, prove di tipo S.P.T. in avanzamento al foro, prove sismiche down hole e materializzato un sistema di monitoraggio che ha utilizzato canne inclinometriche e celle piezometriche per un congruo periodo di tempo.

Le verifiche di stabilità condotte hanno avuto ancora positiva conclusione.

Le uniche condizioni di rischio che si possono evidenziare, non legate al rilascio di geomateriali dal versante per frana, ma all'esondazione dell'Arno riguardano 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. Ai fini di protezione civile si suggerisce di installare opportuni cartellonistica ed un sistema di allertamento.

## 8 ASPETTI IDROLOGICI

### 8.1 Idrogramma di progetto

L'idrogramma preso a riferimento per le analisi idrauliche di progetto è quello rivalutato dall'Ufficio idraulica – Div. 7 della Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche e contenuto nella relazione istruttoria [26] relativa al rapporto Enel ([27]) trasmessa al concessionario dalla Div. 5 – Coordinamento controllo dighe in esercizio, con lettera Prot. 0025820 del 23/12/2014.

Tale idrogramma è stato calcolato alla sezione della diga di Levane mediante modellazione afflussi-deflussi, applicando il metodo dell'indice F ed il metodo delle isocorve, rispettivamente come modello di rifiuto del terreno e modello di propagazione, utilizzando le curve di possibilità pluviometrica ed i parametri già valutati nell'analisi idrologica effettuata per la diga di La Penna, ubicata circa 10 km a monte della diga di Levane. Esso presenta una portata al colmo di 3283 m<sup>3</sup>/s ed un volume di circa 177.28 Mm<sup>3</sup> sulle 48 ore.

Come riportato nella relazione idraulica di progetto, si rileva che l'idrogramma, stimato a partire dai parametri dedotti per le valutazioni relative alla diga di La Penna, appare piuttosto conservativo; il motivo principale è quello che non c'è evidenza nelle valutazioni di D.G.D. che si sia tenuto conto del fatto che, visti i valori di portata "importanti" (tempo di ritorno elevato) che vengono considerati per le verifiche, la piana di Laterina, zona di esondazione ben nota lungo l'Arno, non abbia un effetto decisivo nell'abbattimento dei valori al colmo in ingresso all'invaso di Levane, con ciò che questo comporta per la sicurezza di valle: diga di Levane ed alveo a valle in generale. Nel rapporto "Valutazione degli effetti del sopralzo della diga di Levane sulla piana di Laterina", redatto dall'Università di Firenze nel 2018 [31], è stato infatti analizzato per altro scopo, mediante modellazione idraulica bidimensionale, il transito della piena di progetto nel tratto di fiume Arno tra le dighe di La Penna e Levane, stimando che, nel tratto tra quest'ultima e ponte Romito, a causa delle esondazioni, si arrivi ad invadere un volume di circa 17.1 Mm<sup>3</sup>.

L'adeguamento degli argini previsto a Laterina non cambierebbe sostanzialmente la situazione in quanto, in generale, ma sicuramente anche in questo caso, il dimensionamento di tali opere, a livello normativo, ma anche di analisi costi/benefici, non viene effettuato su valori di portata elevati come quelli della verifica degli scarichi di una diga (tempo di ritorno delle portate in generale di 200 anni a fronte di valori da 500 a 3000 anni). L'effetto laminativo della piana di Laterina sulla piena di progetto potrebbe quindi risultare importante e risolutivo, anche a opere di protezione fluviale eseguite.

## 9 ASPETTI IDRAULICI

### 9.1 Verifiche idrauliche dello scarico di superficie

Si è proceduto a verificare il comportamento dell'invaso nei confronti dell'idrogramma di progetto ( $Q_{colmo} = 3283 \text{ m}^3/\text{s}$ ), valutato dall'Ufficio Idraulica della DGD, mediante laminazione eseguita con applicazione dell'equazione di bilancio del serbatoio.

La curva di invaso è stata definita mediante elaborazioni GIS a partire di dati disponibili:

- Batimetria dell'invaso commissionata da Enel alla società URS (2009) (sotto quota 167.00 m s.l.m.) [29];
- DTM con lato cella 1 m (2010), reperito nel SITA (Sistema Informativo Territoriale e Ambientale) della Regione Toscana - Direzione Urbanistica e Politiche Abitative ("Fonte dei dati: Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare – "Rilievi Lidar") (sopra quota 167.00 m s.l.m.).

Tali fonti sono state preferite, dopo attenta analisi, ad altre più recenti <sup>(1)</sup>, in quanto tra loro compatibili e prive di incongruenze altimetriche significative nella zona di interesse.

Nella valutazione della curva di invaso si è tenuto inoltre conto di quanto si rileva in [30] come prescrizione della DGD: *"... lo studio trasmesso individua nella sezione di Ponte Romito la disconnessione idraulica tra il profilo di rigurgito conseguente alla diga di Levane e quello del fiume Arno; la sezione di controllo mantiene la sua significatività anche fino a valori di portata estremi ( $T=1000$  anni). Gli effetti del progettato incremento della quota di massimo invaso per la diga di Levane sono da considerarsi, ai fine dell'aggiornamento del progetto in oggetto, fino alla predetta sezione di disconnessione ..."*, limitando perciò il calcolo dei volumi di invaso a tale sezione.

Si è ipotizzata un'apertura "controllata" delle paratoie dello scarico in fase di crescita dell'idrogramma, considerando una quota iniziale dell'invaso pari a quella massima di regolazione (167.50 m s.l.m.). Con tale modalità si è simulato idealmente il comportamento imposto ai gestori degli invasi, al fine di non incrementare artificialmente la piena a valle dell'invaso in fase ascendente della stessa, di aprire le paratoie solo al raggiungimento della quota massima di regolazione e solo per quanto sufficiente a mantenere pressoché costante tale quota di invaso nel serbatoio. A favore di sicurezza è stata inoltre trascurata la capacità evacuativa relativa alla portata turbinabile dalla centrale, pari a circa  $118 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Come coefficienti di efflusso dalle luci nelle simulazioni sono stati considerati quelli definiti in fase di progetto originario della diga (valutati da modellazione fisica nel 1955), che sono stati sostanzialmente indirettamente confermati dalle prove su modello fisico eseguite da dell'Università degli Studi di Firenze [47]. 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 e teorici e quindi conservativo per la valutazione della laminazione.

Si evidenzia che 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

<sup>(1)</sup>

**Batimetria:** Oikos Engineering s.r.l., "Relazione sui rilievi effettuati con metodologia multibeam e laser scanner integrato della diga di Levane", febbraio 2018.

**Rilievo fotogrammetrico topografico:** Drone Arezzo s.r.l., "Relazione rilievo fotogrammetrico topografico dell'invaso di Levane e la Penna", gennaio 2018.

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 [1].

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 [1].

L'idrogramma individuato per tentativi riscaldando al 92.4 % quello in [28], con riduzione quindi in tale proporzione sia dei valori che del volume globale, presenta una portata al colmo di 3033 m<sup>3</sup>/s ed un volume sulle 48 ore di circa 163.8 Mm<sup>3</sup>. Nella simulazione il livello arriva ad un valore massimo di 173.36 m s.l.m., con franco netto residuo di 33.8 cm.

Il valore di portata al colmo valutato che permette il rispetto del franco residuo in caso di malfunzionamento degli scarichi risulta in linea con la stima della portata al colmo millenaria in ingresso al serbatoio di Levane di 3025 m<sup>3</sup>/s contenuta nell'aggiornamento dell'analisi idrologica degli invasi di Levane e La Penna effettuata dall'Università degli Studi di Firenze ([49]; peraltro quest'ultima stima è già di per sé conservativa non essendo depurata dall'importante effetto laminativo indotto dalla Piana di Laterina in concomitanza agli eventi estremi.

Si può pertanto ritenere che la verifica richiesta dalla norma possa essere considerata soddisfatta.

## 9.2 Vasca di dissipazione

Lo studio su modello fisico di UNIFI ha concluso che:

*“Le prove allo stato di progetto sono servite per determinare e analizzare i fenomeni di dissipazione a valle della diga al passaggio della portata di 2964 m<sup>3</sup>/s (stabilita da DGD come  $Tr\ 500\ anni^2$ ), confrontandoli con quelli nello stato attuale (massima portata transitabile con il massimo livello nell'invaso 167.5 msm). Per verificare le opere di dissipazione a valle sono state condotte le seguenti prove:*

*a) Transito della portata di 2964 m<sup>3</sup>/s tenendo il livello di invaso alla quota massima di progetto di 172 msm, con apertura delle paratoie da determinare. Tale apertura è risultata pari a 10.60 m, inferiore di 1.23 m rispetto alla massima apertura possibile (11.83 m).*

*b) Transito della portata di 2964 m<sup>3</sup>/s con apertura delle paratoie massima (11.83 m) e livello d'invaso da determinare. Il livello è risultato pari a 169.9 msm (quindi inferiore di 2.1 m rispetto alla quota massima progettuale). Anche in tal caso si ha il funzionamento degli scarichi a battente.*

*c) Una ulteriore verifica delle condizioni di scarico con la portata di 2964 m<sup>3</sup>/s nelle ipotesi di apertura delle paratoie pari a 13.50 m produce un massimo livello di invaso pari a 168.7 msm 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: 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.*

*Ulteriori prove nello stato di progetto hanno riguardato la verifica della capacità di scarico della diga con il valore indicato dalla DGD quale portata di piena di riferimento pari a 3283 m<sup>3</sup>/s. I risultati delle prove hanno evidenziato:*

*a) La quota nell'invaso che si instaura con il transito della portata di 3283 m<sup>3</sup>/s e apertura massima delle paratoie (11.83 m) è di 172.2 msm, quindi 0.2 m più alta della quota massima di progetto.*

<sup>2</sup> Come richiesto nell'istruttoria della Divisione 7 Ufficio Idraulica al progetto del 2015

b) La portata massima esitabile con apertura delle paratoie massima (11.83 m) e livello d'invaso di progetto (172 msm) risulta essere di 3235 m<sup>3</sup>/s.

c) Per il transito della portata di riferimento (3283 m<sup>3</sup>/s) con il livello nell'invaso a quota 172 msm, le paratoie devono avere un'apertura pari a 12.0 m.

Anche con la portata di riferimento, la vasca di dissipazione esistente è adeguata a contenere il risalto principale, mentre il secondo risalto risulta ancora essere esteso fino alla Centralina Battaqli."

La relazione geologica indica che l'alveo nelle sezioni a valle della soglia 2 evidenzia la presenza di substrato roccioso sub-affiorante in alveo, parzialmente sepolto sul lato sinistro dal piede dei depositi di versante.

È presente una zona di erosione nella sola zona centrale dell'alveo, distante dagli elementi strutturali sensibili allo scalzamento come le soglie 2 e 3 e i muri d'ala.

Il progetto non ha modificato pertanto l'assetto attuale della vasca, fatto salvo l'innalzamento dei muri d'ala.

### 9.3 Muri d'ala

Lo studio su modello fisico di UNIFI ha confermato l'adeguatezza dei muri d'ala in progetto per il contenimento dei risalti idraulici a valle dell'opera per la piena di progetto.

La relazione geologica indica che l'alveo nelle sezioni a valle della soglia 2 evidenzia la presenza di substrato roccioso sub-affiorante in alveo, parzialmente sepolto sul lato sinistro dal piede dei depositi di versante. È presente una zona di erosione nella sola zona centrale dell'alveo, distante dai muri d'ala.

Le verifiche strutturali dei muri d'ala, rialzati rispetto all'attuale di 2,5m, di resistenza e stabilità, sono soddisfatte.

## 10 ASPETTI STRUTTURALI

I criteri di verifica adottati soddisfano i requisiti delle Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta, di cui al Decreto Ministeriale 26/06/2014 [1], e le Norme tecniche per le costruzioni NTC 2018 [2].

I calcoli sono stati sviluppati facendo riferimento a schemi geometrici piani e nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane, ovvero tramite modello bidimensionale.

Essendo presenti nella diga anche parti caratterizzate da una geometria differente da quella pseudo triangolare classica, come la porzione destra della diga in corrispondenza della centrale e il doppio portale sede degli scarichi, per le quali la rappresentazione piana non consente di indagare aspetti specifici, è stato utilizzato anche un modello tridimensionale agli elementi finiti (FEM).

In entrambi i modelli, tenendo conto della diversa geometria delle parti e della presenza dei giunti tra queste, sono state considerate separatamente tre diverse porzioni di diga: la porzione sinistra, prendendo a riferimento il concio di maggiore altezza, la parte centrale degli scarichi e la parte destra sede della centrale idroelettrica, fino al distributore delle turbine.

Nel modello bidimensionale per la parte centrale degli scarichi i calcoli sono stati svolti sulla pila centrale e su uno dei conci di soglia, considerandoli indipendenti nonostante la presenza di giunti cementati e di forma a greca tale da impedire il mutuo scorrimento.

Nel modello tridimensionale invece è stato considerato l'intero doppio portale: tre pile, di cui quelle laterali estese fino al primo giunto strutturale presente nei muri d'ala, la trave della passerella esistente a quota 181 m s.l.m. e la trave del nuovo coronamento di progetto a 174 m s.l.m. La soglia è stata inserita solo come condizione di vincolo, nelle combinazioni di carico che lo richiedono.

Nel modello FEM è compreso anche un volume dell'ammasso della roccia di fondazione, sia in profondità che orizzontalmente oltre le sagome delle opere, idoneo ad analizzare la porzione maggiormente interessata dagli sforzi trasmessi dalle opere in elevazione e per garantire corrette condizioni al contorno all'intero modello.

Le verifiche svolte sono di tipo tensionale, di stabilità allo scorrimento e di capacità portante, a seconda dei diversi stati limite e della significatività della combinazione di carico.

Per gli stati limite di esercizio SLE le verifiche svolte sono solo di tipo tensionale.

Per gli stati limite ultimi SLU le verifiche svolte sono di stabilità allo scorrimento e di capacità portante, in considerazione di fenomeni di collasso globali (nello stato limite di collasso SLC), sono invece di tipo tensionale in relazione a rotture localizzate con rilascio incontrollato di acqua o rischio di perdita di vite umane (nello stato limite di salvaguardia della vita SLV).

Con il modello bidimensionale sono stati eseguiti tutti e tre i tipi di verifica, mentre quello tridimensionale è stato utilizzato per le verifiche di tipo tensionale.

Fanno eccezione le verifiche della parte in destra, nella porzione al di sotto dei condotti di adduzione, svolte esclusivamente tramite il modello tridimensionale. Per questa porzione infatti la schematizzazione piana non è adeguata a rappresentare la geometria articolata qui presente.

Rispetto a quanto previsto dal progetto ENEL "Diga di Levane - Sopralzo della Diga a scopo di laminazione, Progetto Definitivo – Relazione strutturale", del settembre 2015, si è studiata anche una soluzione senza il cunicolo d'ispezione avente funzione drenante nella parte destra della diga, che, risultando verificata, si è preferita alla precedente in progetto. Questa verifica si è giovata di una più articolata valutazione dei carichi stabilizzanti dell'opera rispetto alla scelta, penalizzante, operata nelle verifiche di supporto al progetto 2015. La decisione di approfondire questa verifica nasce dal convincimento della particolare complessità esecutiva del cunicolo in questa porzione dello sbarramento, messa anche in evidenza dalle Osservazioni della DGD, nonchè dalla presenza dei condotti di presa a quote profonde.

L'azione sismica è stata schematizzata in modo pseudo statico, considerando, per l'azione orizzontale, il valore massimo dello spettro di risposta associato al tempo di ritorno di riferimento (plateau) e, per l'azione verticale, il valore di massima accelerazione attesa al suolo (PGA) per il tempo di ritorno di riferimento. Tali valori di accelerazione sono stati applicati uniformemente sull'altezza della struttura.

Nel modello bidimensionale l'azione orizzontale è stata applicata in direzione monte valle mentre in quello tridimensionale è stata inserita anche l'azione sismica in direzione destra-sinistra per le verifiche che riguardano la sola struttura centrale del doppio portale, unica parte della diga per la quale è significativo l'effetto di tale azione.

Diversamente dalle altre parti, per questa struttura l'azione sismica orizzontale è stata valutata mediante un'analisi dinamica a spettro di risposta preceduta da un'analisi modale.

Le azioni di tipo termico non sono state considerate in quanto il loro effetto, in termini di stato tensionale e deformativo, è stato ritenuto di entità molto modesta in relazione al tipo di opera, di tipo a gravità massiccia, alla sua geometria, sviluppo rettilineo e presenza di giunti, e alle modalità di esecuzione dei nuovi getti, comunque di volume ridotto rispetto a quello complessivo dell'opera esistente, con calcestruzzo a basso calore di idratazione e in assenza di ostacoli alla dissipazione del calore di idratazione.

Per la struttura centrale del doppio portale le azioni legate alla variazione della temperatura esterna sono invece state considerate applicandole alle travi, quella della passerella a 181 m s.l.m. e quella nuova di coronamento, in considerazione della tipologia di tale struttura.

Ulteriori valutazioni sono state svolte in relazione alla monoliticità dell'opera, che sarà costituita dalla porzione in calcestruzzo attualmente presente e dalla porzione di nuova realizzazione.

Sono state eseguite verifiche di equilibrio della parte aggiunta rispetto all'esistente e sono stati definiti accorgimenti costruttivi atti a garantire la monoliticità tra nuovo e vecchio calcestruzzo.

I calcoli sono stati preceduti da un approfondimento sulle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera esistente, che ha permesso di individuarne le resistenze caratteristiche, sia per il calcestruzzo che per la roccia di fondazione.

Tutte le verifiche eseguite, di resistenza, di stabilità allo scorrimento e di capacità portante risultano soddisfatte in ogni combinazione di carico considerata.

I due modelli utilizzati risultano coerenti tra di loro; i risultati, in termini di tensioni, sono equiparabili a parità di condizione di carico.

Le verifiche di stabilità, allo scorrimento e di capacità portante, risultano soddisfatte con abbondanti coefficienti di sicurezza.

I livelli tensionali risultano modesti e ampiamente al di sotto dei limiti imposti dalla normativa di riferimento, NTD [1] e NTC[2], ad eccezione di alcune zone delle pile, corticali e di estensione molto limitata, che risultano soggette a trazioni lievemente superiori a quelle ammesse, ma sempre inferiori alle caratteristiche.

Dai calcoli svolti tramite modello tridimensionale del doppio portale, nella condizione sismica con azione orizzontale sia in direzione monte-valle che in destra-sinistra, risultano presenti sulle pile, alla nuova quota di coronamento e a quella della soglia di scarico, aree estremamente corticali e di estensione limitata, con tensioni di trazione lievemente superiori ai limiti di riferimento-

Sono stati svolti approfondimenti su tale stato di sollecitazione che hanno portato a concludere come interventi anche localizzati non appaiano strutturalmente giustificati [42].

Sono state svolte prime verifiche statiche e dinamiche su alcune opere accessorie della diga quali:

- Nuova passerella alla quota 174 m s.l.m. (Rapporto [42])
- Trave di colmo esistente alla quota 181 m s.l.m. (Rapporto[42])
- Scala a chiocciola esistente nella attuale e nuova configurazione ([43]).

## 11 REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

I lavori e gli apprestamenti di cantierizzazione sono stati descritti in un apposito rapporto [44]. Nel seguito sono tratteggiati i principali elementi.

### 11.1 Svolgimento dei lavori

Si riportano di seguito ed indicativamente, in ordine cronologico e suddivise per fasi, le principali attività da svolgere per la realizzazione dei lavori in progetto.

#### Attività preliminari

- Acquisizione della disponibilità dell'area di manovra in corrispondenza della diramazione dalla Strada provinciale Lungo Arno per Via Villaggio Enel.
- Acquisizione aree di stoccaggio temporaneo materiali di risulta dagli scavi.
- Adeguamento viabilità di accesso in sponda sinistra.
- Eventuali adeguamenti viabilità in sponda destra.
- Rimozione allacciamenti elettrici interferenti con i lavori sulla diga a gravità e realizzazione allacciamenti provvisori alla diga, alle centrali, e alla rete MT.

### Preparazione aree di cantiere

- Allestimento area di cantiere.
- Nuova pista di accesso al terrapieno a q. 161m s.l.m.
- Spostamento gruppo elettrogeno.

### Attività da eseguire sulla porzione destra della diga in corrispondenza della Centrale

- Smontaggi e demolizioni murature:
  - smontaggio e allontanamento dal cantiere delle apparecchiature elettriche e della struttura in carpenteria metallica dello sgrigliatore.
  - smontaggio e allontanamento dal cantiere dei parapetti e delle altre carpenterie metalliche interferenti con le opere
  - spostamento delle batterie dal locale esistente in prossimità della spalla destra della diga.
  - demolizione e rimozione delle macerie del locale in muratura dove sono alloggiato le batterie
- Chiusura idraulica della diga in sponda destra:
  - rimozione delle reti e delle funi di contenimento del pendio;
  - scavo in roccia per prolungamento del coronamento;
  - sistemazione del fronte di scavo con reti e funi.
- Sostituzione griglia dell'opera di presa della centrale con preventiva messa in sicurezza mediante un sistema di panconatura ad aghi:
  - preparazione della soglia a monte della griglia fissata alla diga con personale sommozzatore;
  - installazione delle travi di appoggio con asportazione (sollevamento e/o taglio con cannello) preventiva delle parti della griglia esistente che intralciano l'operazione;
  - installazione degli aghi e del telo di tenuta;
  - sfilamento della griglia esistente (composta di pannelli smontabili) eventualmente sezionamento con il cannello;
  - esecuzione degli interventi ai gargami delle 5 paratoie (costituiti da 4 pezzi da sfilare);
  - posizionamento a pezzi del nuovo gargame di soglia della nuova griglia (si tratta di un gargame di appoggio, non di tenuta);
  - completamento dello smontaggio delle griglie (parte rimanente);
  - esecuzione delle opere civili compresa la soglia superiore delle nuove griglie;
  - installazione delle nuove griglie e degli scivoli dello sgrigliatore;

- asportazione degli aghi e delle travi porta aghi;
  - installazione del nuovo sgrigliatore e taratura sicurezza salita, discesa, ecc.
- Sostituzione paratoie dell'opera di presa della Centrale:
  - smontaggio apparecchiature elettro-meccaniche, circuiti oleodinamici e centraline paratoie opera di presa;
  - smontaggio paratoie opera di presa esistenti per singola luce e relativi impianti di comando e controllo;
  - montaggio nuove paratoie e relativi impianti di comando e controllo;
  - installazione apparecchi di misura e controllo diga e paratoie di scarico.
- Sopralzo del coronamento:
  - demolizione superficiale del calcestruzzo del coronamento; esecuzione giunto orizzontale e adeguamento del giunto esistente in adiacenza all'opera di scarico;
  - esecuzione ancoraggi di ripresa nei setti dei vani delle paratoie per il sopralzo di 5m e della parete del giunto da rendere solidale con la struttura dello scarico della diga;
  - getto in calcestruzzo del sopralzo a conci alternati; completamento del coronamento con i parapetti.
- Installazione nuovo sgrigliatore e relativo impianto dei materiali sgrigliati.
- Nuovo fabbricato con locale batterie e adeguamenti locali Centrale:
  - realizzazione soletta in c.a. per il nuovo fabbricato;
  - costruzione nuovo fabbricato;
  - adeguamento degli accessi alla centrale.
- Impianti e finiture:
  - finitura pavimentazione diga;
  - impianti di illuminazione e di potenza;
  - completamenti e finiture.

#### **Attività da eseguire sulla porzione della diga in corrispondenza dell'opera di scarico**

- Sostituzione paratoie opera di scarico:
  - messa in opera dei panconi alternati sulle due luci di scarico;
  - parziale demolizione della zona a monte delle pile per inserimento delle paratoie;
  - rimozione delle paratoie dello scarico di superficie;
  - rifacimento dei gargami;
  - sostituzione delle paratoie sullo scarico di superficie per singola luce;
  - ripristino della demolizione della zona a monte delle pile dopo l'inserimento delle paratoie;
  - opere elettromeccaniche e civili per adeguamento apparecchiature sul castello di manovra;
  - rimozione panconi e spostamento in area non interferente con le lavorazioni.
- Sopralzo del coronamento:
  - demolizioni superficiali muri d'ala e pila centrale;
  - demolizione passerella del coronamento, rimozione cavidotti e tubi olio;
  - esecuzione ancoraggi per i nuovi getti, casseri, armature;

- getto in calcestruzzo del soprizzo del muro d'ala in sinistra e della pila centrale sul lato monte e valle.
- Nuova passerella prefabbricata:
  - realizzazione nuova passerella prefabbricata in c.a.;
  - parapetti e finiture.
- Impianti e finiture:
  - installazione apparecchiature per monitoraggio livelli d'invaso;
  - impianti, completamenti e finiture.
- Intervento di chiusura dello scarico di esaurimento a monte:
  - nel cunicolo posa di un sarcofago metallico attorno alla saracinesca e iniezioni di resine. Da valle, pulizia e riempimento di cemento dallo scarico di valle fino alla saracinesca;
  - in alternativa, installazione di una perforatrice sulla soglia dello scarico di superficie a valle dei panconi. Esecuzione di 3 perforazioni verticali parallele e longitudinali (destra - sinistra) fino ad intercettare il tubo di scarico a monte del cunicolo. Se necessario una ulteriore perforazione a valle delle 3 precedenti in asse del tubo di scarico. Riempimento con calcestruzzo quindi taglio del tubo dello scarico nel cunicolo e inghisaggio del tratto di monte.

#### **Attività da eseguire sulla porzione sinistra della diga**

- Rimozioni per preparazione dell'area:
  - rimozione della struttura di movimentazione dei panconi dello scarico;
  - rimozione della cabina MT esistente sul piazzale a q. 161,00 m s.l.m.
- Sostituzione paratoia di presa della Centralina Battagli:
  - rimozione e sostituzione della griglia e del cono di imbocco sul paramento di monte della diga
  - rimozione e sostituzione della paratoia di presa a valle;
- Consolidamenti e scavi sulla sponda sinistra:
  - realizzazione paratia provvisoria di micropali dalla q. 161,00 m s.l.m. a protezione dello scavo;
  - realizzazione doppia paratia micropali di chiusura contro roccia della spalla sinistra;
  - esecuzione di jet grouting a valle della paratia di micropali;
  - scavo tra la paratia di micropali e il paramento della diga;
  - trasporto del materiale di risulta nell'area di stoccaggio temporaneo e dell'eccedenza a scarica.
- Sostituzione della condotta adduttrice della Centralina Battagli:
  - Posa del tratto A della condotta adduttrice: dalla Centralina Battagli alla cortina di jet grouting.
  - Posa del tratto B: attraversamento della cortina di jet grouting.
  - Posa del tratto C: dal paramento della diga alla paratia provvisoria di micropali.
  - Realizzazione della camera per il giunto di smontaggio e del relativo accesso.
  - Opere di adeguamento del sistema di adduzione della Centralina Battagli.
- Soprizzo e appesantimento della porzione di diga in sponda sinistra:
  - demolizione del coronamento fino alla q. 167,80m s.l.m.;

- pulizia e preparazione della superficie del paramento di valle;
- getto dello zoccolo di fondazione;
- getto del calcestruzzo con inizio dal concio 1 e di seguito alternativamente gli altri (dal fiume verso la sponda sinistra);
- rinterro dello scavo;
- adeguamento dei giunti sul coronamento (posa lamierino, applicazione guaina fra conci, ecc.).
- Completamento soprizzo del coronamento e opera accessorie:
  - costruzione della strada di accesso al coronamento a q. 174m s.l.m.;
  - opere di adeguamento dell'accesso al cunicolo;
  - collegamento d'angolo del coronamento in sinistra con la nuova passerella nella parte centrale della diga;
  - Posa parapetti, collegamento diga all'impianto elettrico;
  - realizzazione del box e della passerella di accesso al locale pendolo;
  - completamenti e finiture.
- Ripristino delle strutture demolite:
  - realizzazione nuova cabina MT;
  - installazione della nuova struttura di collocazione dei panconi dello scarico.

#### **Impianti e opere accessorie**

- Realizzazione impianto di illuminazione e monitoraggio della diga.
  - Realizzazione nuovo impianto di potenza e illuminazione della diga;
  - Integrazione e adeguamento sistema di monitoraggio.

#### **Restituzione delle aree**

- Ripristini e smobilizzo del cantiere

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 [32].

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.

È previsto l'utilizzo dell'invaso di "La Penna" per laminare le eventuali piene in arrivo da monte, durante le fasi di cantiere. La sostituzione delle paratoie sarà eseguita dopo lo svuotamento del bacino; le altre

lavorazioni, in particolare quelle sulla porzione sinistra della diga, saranno eseguite con un livello d'invaso ridotto (indicativamente 3m sotto la quota di massima regolazione), mediante l'utilizzo della Centrale o con l'azionamento delle paratoie di scarico.

## 11.2 Programma cronologico

Si stima che la realizzazione degli interventi possa essere effettuata in circa 19 mesi solari.

Con riferimento alla suddivisione nelle fasi esecutive descritte nel capitolo precedente, i tempi di realizzazione di ciascuna fase sono i seguenti:

- **Attività preliminari** durata complessiva **15 giorni lavorativi**
- **Fase 1:** sono previste lavorazioni in sponda sinistra per la preparazione delle aree di cantiere. In destra. Sono previsti i lavori di chiusura idraulica della diga sulla sponda destra durata complessiva **40 giorni lavorativi**
- **Fase 2** sono previste lavorazioni sulla porzione destra della diga in corrispondenza della Centrale per la sostituzione delle griglie, delle paratoie di presa e per il soprizzo del coronamento. Sulla porzione della diga in corrispondenza dell'opera di scarico è prevista la sostituzione delle paratoie di scarico durata complessiva **130 giorni lavorativi**
- **Fase 3** sono previste lavorazioni sulla porzione della diga in corrispondenza dell'opera di scarico per il soprizzo del coronamento durata complessiva **90 giorni lavorativi**
- **Fase 4** sono previste lavorazioni sulla porzione sinistra della diga per le opere di soprizzo, appesantimento e chiusura idraulica della diga in sponda sinistra. durata complessiva **157 giorni lavorativi**
- **Impianti e opere accessorie** durata complessiva **30 giorni lavorativi**

Il cronoprogramma è elaborato in giorni solari considerando sabato e domenica non lavorativi.

La programmazione è basata su tempi lavorativi di 8 ore giornaliere rispettando le festività ed il giorno di sabato.

Le lavorazioni vincolate temporalmente, sono quelle relative alla sostituzione delle griglie, delle paratoie di presa, delle paratoie di scarico e della paratoia della Centralina Battagli, che devono essere svolte con il serbatoio vuoto (Fase 2).

Per lo svolgimento delle lavorazioni suddette, è necessario quindi prevedere lo svuotamento del serbatoio e, dalle misure di portata del Fiume Arno raccolte alla Stazione di Monteverchi<sup>3</sup> (rif. <http://www.sir.toscana.it/consistenza-rete>), lo svuotamento è consigliato nel periodo compreso dopo la metà di aprile alla fine di ottobre, quando il fiume Arno presenta le minime portate<sup>4</sup>. In questo periodo, si osserva infatti una portata stabilmente prossima ai minimi anche se sono stati rilevati un paio di episodi di portata maggiore.

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 svuotamento del serbatoio.

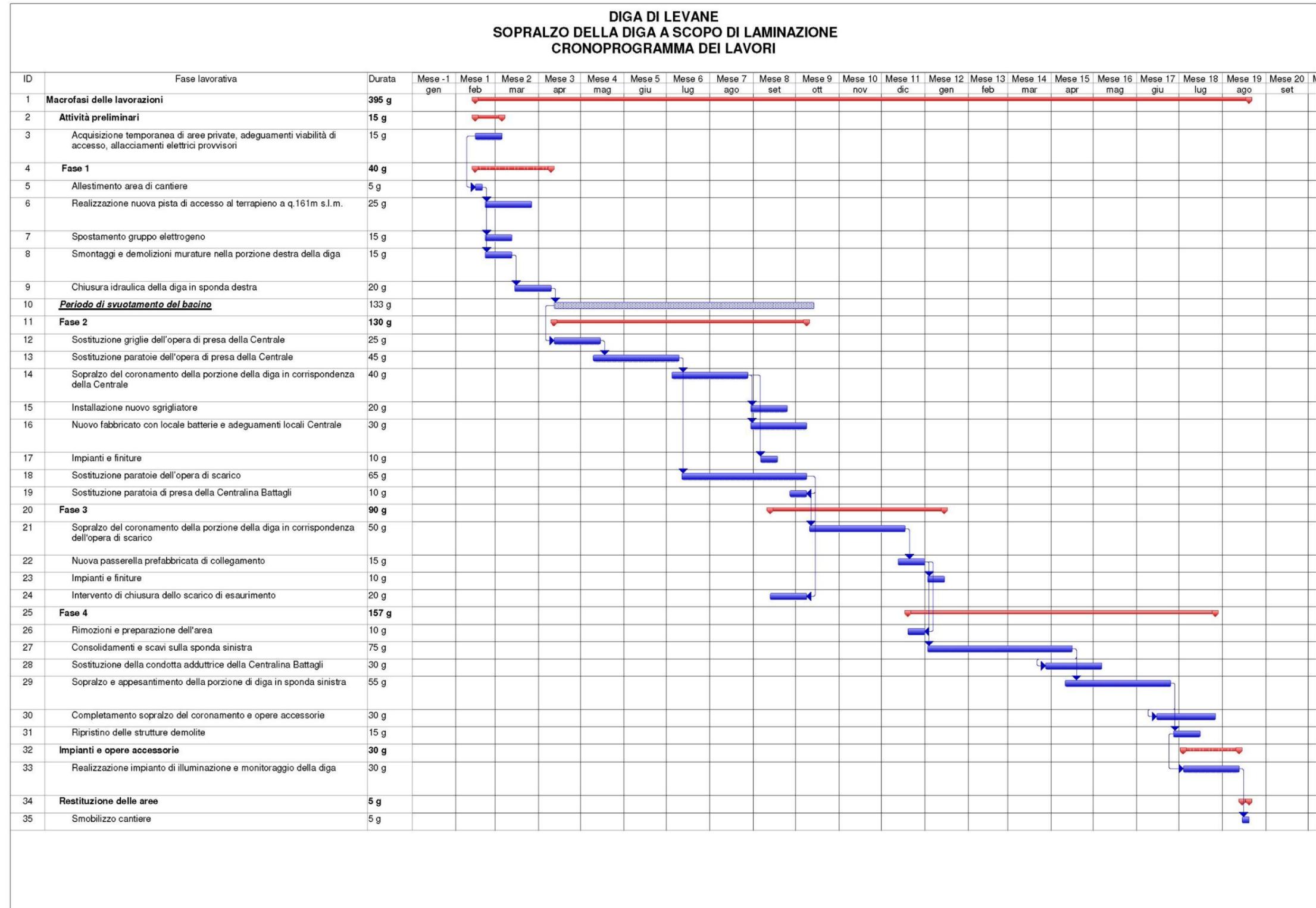
<sup>3</sup> La Stazione di misura di Monteverchi si trova a valle di Levane ma si ritiene possa essere significativa.

Sono meno significative le altre due stazioni disponibili, Arno a Subbiano e Canale della Chiana a Ponte ferrovia FI-Roma, in quanto misurano due rami importanti dell'Arno diversi e discretamente a monte della diga, anche se dispongono di più anni di osservazioni

Il cronoprogramma prevede 133g con serbatoio vuoto nella Fase 2, collocati dopo la metà di aprile fino alla metà di ottobre.

Nel suddetto periodo, la laminazione delle eventuali piene, sarà gestita utilizzando l'invaso di "La Penna", ubicato a monte del bacino di Levane.

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



### 11.3 Opere provvisorie per il cantiere

In spalla sinistra le operazioni di appesantimento richiedono la predisposizione di opere provvisorie per consentire l'apprestamento del cantiere e l'esecuzione in sicurezza dei lavori previsti. In particolare, sono previste le seguenti opere:

Più nello specifico, nella relazione vengono trattati i seguenti aspetti:

- a. muri in c.a. da realizzare lungo la pista di cantiere tra le progressive 0+065 e 0+085;
- b. interventi di consolidamento necessari all'esecuzione degli scavi provvisori necessari ad eseguire l'appesantimento della diga nella zona della spalla sinistra e del terrapieno di valle;  
Gli interventi previsti sono un consolidamento eseguito con la tecnica della gettiniezione e una paratia di micropali di bordo.

Gli interventi, descritti e predimensionati in [39], consentono l'esecuzione della pista di cantiere che si sviluppa sulla pendice della sponda sinistra ed è adibita all'accesso al terrapieno antistante la diga, ove sono posizionate le attrezzature necessarie ai lavori; consentono la messa a giorno in sicurezza della parte di diga seppellita da appesantire, minimizzando lo scavo di terreno e permettendo un maggiore impiego dell'area.

## 12 MATERIALI IMPIEGATI

### 12.1 CALCESTRUZZI

Per i lavori in progetto si utilizzeranno due tipi di calcestruzzo:

**Tipo 1:** per i lavori di soprizzo del corpo diga sia del tratto a gravità, sia del tratto corrispondente all'edificio della centrale, le pile e i muri d'ala;

**Tipo 2:** per la costruzione della passerella di collegamento fra il corpo diga a gravità massiccia e la centrale, le travi copriunite e i vari getti delle opere complementari.

Le norme di riferimento sono le UNI EN 206 - 2016 così come modificata ed integrata dalla UNI 11104:2016 (per l'applicazione in Italia della EN 206). Il calcestruzzo dovrà essere fornito "a prestazione garantita". In [44] se ne elencano le proprietà e le caratteristiche aggiuntive, che dovranno essere rispettate dal produttore, il quale è responsabile della fornitura di un calcestruzzo nel rispetto del progetto e della normativa vigente.

Il calcestruzzo sarà caratterizzato in base alla classe d'esposizione riferita all'ambiente, alla classe di resistenza, espressa come resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$ , ed alle caratteristiche dell'impasto (classi di consistenza).

È previsto l'uso di cemento pozzolanico CEM IV/B 32.5.

Non sarà inoltre ammesso un rapporto a/c superiore a 0,5, per cui le classi di consistenza previste dovranno essere ottenute con l'uso di superfluidificanti.

#### Calcestruzzo tipo 1

Le specifiche messe a punto per il calcestruzzo di tipo 1, che sarà impiegato per i getti di appesantimento, devono tenere conto delle seguenti esigenze: ottenere materiali resistenti e durevoli, pompabili in fase

fluida, e con una velocità di indurimento sufficientemente bassa per permettere al getto di smaltire una buona parte del calore prodotto dalle reazioni esotermiche di idratazione del cemento.

A tale scopo è stato valutato un cemento pozzolanico con basso calore di idratazione (tipo LH), dosato nella quantità minima concessa per garantire al getto durabilità (300kg/mc). Il diametro massimo dell'inerte è legato all'esigenza di poter pompare il calcestruzzo ( $D_{max}=50mm$ ). La consistenza (S4) è la minima possibile per l'esigenza di pompabilità.

La porzione in sinistra della diga di Levane risulterà, secondo il progetto, protetta superiormente e lungo il paramento di valle da una cortecchia di calcestruzzo più durevole. Questa scelta è documentata nella letteratura tecnica, ove, per le dighe a gravità, si documenta l'evoluzione delle opzioni progettuali sul mix design del calcestruzzo e si riferisce come si sia nel tempo optato per calcestruzzi piuttosto poveri in cemento (dosaggi inferiori a 200kg/mc) nel cuore della diga, e calcestruzzi più performanti ai lati (United States department of the interior: BUREC Design of small Dams 3rd edition 1965, ACI Guide of Mass Concrete, 2005).

L'intervento di appesantimento della diga di Levane ha le caratteristiche dell'intervento di massiccamento della Diga di Ponte dell'Acqua (BG) <sup>5</sup> eseguito con successo utilizzando un calcestruzzo così dosato:

COMPONENTI	DENOMINAZIONE	DOSAGGIO (per m <sup>3</sup> d'impasto)
Aggregati	Sabbia fine – vagliata (Boltiere)	791 kg <sup>(1)</sup>
	Pietrischetto – frantumato (Olmo al Brembo)	287 kg <sup>(1)</sup>
	Pietrisco – frantumato (Olmo al Brembo)	370 kg <sup>(1)</sup>
	Ghiaione – vagliato (Cassano d'Adda)	380 kg <sup>(1)</sup>
Cemento	CEM III A 32.5 – (Italcementi Broni)	300 kg
Additivo superfluidificante	Superflux R - (Axim Italia)	3,6 l <sup>(2)</sup>
Additivo aerante	Aermix - (Axim Italia)	0,27 l <sup>(3)</sup>
Acqua totale <sup>(4)</sup>		140-145 kg
Rapporto A/C stimato		0,47-0,49
Rapporto I/C		6.1
Massa volumica		2.350 kg/m <sup>3</sup>
Rck <sub>28gg</sub>	≥	30 MPa

(1) Materiale saturo a superficie asciutta  
(2) 1.2% riferito al dosaggio di cemento  
(3) 0.09% riferito al dosaggio di cemento  
(4) Acqua aggiunta + umidità aggregati + additivi

**Figura 1 Mix design utilizzato per il massiccamento della Diga di Ponte dell'Acqua (BG). Da 'Diga di Ponte dell'Acqua. Intervento di adeguamento statico-funzionale da Lorenzi V., Leone N., Bavestrello F., Masera A. <sup>6</sup>**

È stata svolta in [44] con questa ricetta una stima della massima temperatura raggiungibile dai getti secondo il metodo indicato in ACI207.2R-07[44]. L'American Concrete Institute ha emesso e aggiornato nel tempo Guide Tecniche che contengono indicazioni e dati per una stima del transitorio termico dovuto

<sup>5</sup> Valter Lorenzi - Nazzeno Leone - Federico Bavestrello - Alberto Masera "Diga di Ponte dell'Acqua – Intervento di adeguamento statico e funzionale" Case histories section del Convegno 'Il miglioramento e la riabilitazione delle dighe per preservare un importante capitale infrastrutturale Problemi, possibilità', prospettive organizzato dal COMITATO NAZIONALE ITALIANO PER LE GRANDI DIGHE con la collaborazione del Consiglio Superiore dei LL.PP. e del Registro Italiano Dighe – RID Roma, 4 Maggio 2006

alla presa del calcestruzzo in getti strutturali e dello stato di sollecitazione conseguente, utilizzando i dati di caratterizzazione di alcuni tipi di cemento.

Sono stati qui considerati i periodi di getto invernale ed estivo e sequenze che prevedono il getto continuo da giunto verticale a giunto verticale della diga per un volume di getto giornaliero <100mc.

I valori di massimo sopralzo termico dei getti ottenuti (16,5-18,5°C) determinano, considerando un valore standard di dilatazione termica del calcestruzzo di  $10 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ , una deformazione non confinata di 165-185 milionesimi, valore inferiore al limite superiore accettato dell'allungamento a rottura del calcestruzzo a trazione, pari 200 milionesimi.

I valori ottenuti di temperatura appartengono al range di sopralzo termico (14-19°C) riferito come accettabile per il controllo della fessurazione in ACI 207-1R25 2005

I getti debbono essere gestiti con le cautele indicate nelle -LINEE GUIDA PER LA MESSA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO STRUTTURALE Servizio Tecnico Centrale del CSLPP settembre 2017 ai Capitoli:

7.1.1 Getti in clima freddo

7.1.2 Getti in clima caldo

7.2 Sviluppo di calore: getti di massa

7.3 Protezione termica durante la maturazione del calcestruzzo fresco

## Calcestruzzo tipo 2

*Classe di esposizione:* XC4 (ciclicamente asciutto e bagnato)/XF3

*Classe di resistenza prevista:* C 32/40

*Classe di consistenza:* da S3 (slump = 100÷150 mm) per getti di maggiori dimensioni a S4 (slump = 160÷200 mm) per getti sottili

*Cemento:* pozzolanico CEM IV/B 32.5

*Rapporto acqua cemento massimo:* 0,50

*Aria totale inglobata:* 4 %

*Contenuto di cemento:* 340 Kg/m<sup>3</sup>

*Aggregati (dimensione nominale massima):* 32 mm

*Additivi:*

*Superfluidificante:* (dosaggio standard 0,8-1,2 % in peso di cemento)

Esempio prodotti fluidificanti:

Mapecfluid IF328, Mapecfluid N200, Sikament – 220, Basf MasterRheobuild 100

*Aerante:* (dosaggio standard 0,1-0,5 % in peso di cemento)

Esempio prodotti aereanti: Mapeplast PT1, Sika-Aer, Sika Fro-V5-A, Basf MasterAir108

*o altri equivalenti*

*Massa volumica (teorica standard):* 24 KN/m<sup>3</sup>

*o altri equivalenti*

## 12.2 Acciaio per calcestruzzo armato

Per tutte le strutture armate è previsto l'uso di barre d'acciaio a aderenza migliorata B450C controllato in stabilimento, caratterizzato da una tensione di rottura non inferiore a 540 N/mm<sup>2</sup>, da una tensione di snervamento non inferiore a 450 N/mm<sup>2</sup> e da un allungamento totale a carico massimo (Agt) non inferiore al 7%.

## 12.3 Acciaio da carpenteria

L'impiego di acciaio da carpenteria è previsto essenzialmente per gli organi di intercettazione delle luci di scarico della diga e delle luci di presa della centrale idroelettrica, nonché per gli apparati di movimentazione dei medesimi. Le caratteristiche di tali materiali sono indicate nella Relazione impiantistica [50].

Carpenteria per micropali S355JR (Fe510)

Carpenteria per strutture metalliche di sostegno alla passerella, scale etc. S235JR, S275JR.

### 10.2.7 Malte e miscele cementizie speciali

#### Malta per ancoraggi

Questa malta sarà utilizzata per l'inghisaggio delle barre d'ancoraggio posate in opera per il sopralzo dei muri d'ala e della pila centrale dello scarico della diga.

Sono stati individuati sul mercato prodotti commerciali, che saranno sottoposti prima della stesura del progetto esecutivo a prove di verifica di corrispondenza alla normativa in corso.

In particolare, saranno sottoposti alle seguenti prove:

- verifica della corrispondenza della malta alla norma UNI 8993/1987 + FA1-89/89 e UNI 8994/87, 8997/87, 8998/87
- spandimento secondo UNI 7044/72
- determinazione del tempo di presa secondo UNI EN 196/3
- determinazione delle caratteristiche meccaniche secondo UNI EN 196-1:2005
- determinazione della resistenza allo sfilamento

I prodotti individuati sono i seguenti:

- Stabilcement T della MAPEI e SIKAGROUT 212 della SIKA.

Malta preconfezionata per intonaco fibrorinforzata, tissotropica a ritiro controllato

Prima dell'inizio dei lavori le malte saranno sottoposte a prove di conformità.

#### Miscele per micropali

Per il micropalo si utilizzerà, salvo diverse prescrizioni di progetto, una miscela composta da acqua e cemento nelle proporzioni 1:1 in peso ovvero di malta fluidificata composta di sabbia di fiume lavata finissima in relazione alla possibilità di passaggio attraverso la pompa di iniezione, acqua e q.li 7,5 di cemento 325 per ogni mc. di malta, compreso additivo fluidificante antiritiro nelle proporzioni indicate dal D.L., iniettata a bassa pressione per creare la guaina cementizia tra la parete del foro e l'anima tubolare d'acciaio.

#### Miscele per jet grouting

La miscela d'iniezione dovrà essere costituita da acqua e cemento tipo 425, nel rapporto minimo compreso tra 0,7/1 e 1,5/1, con impiego eventuale di additivi secondo le disposizioni della Direzione Lavori, e dovrà essere iniettata a pressioni pari a 30÷40 MPa.

La quantità di miscela iniettata dovrà superare il 70% del volume teorico del terreno da trattare, con un minimo di 350 kg di cemento (peso secco) per metro cubo di terreno trattato.

La resistenza a compressione semplice del terreno consolidato dovrà essere coerente alle indicazioni della Direzione Lavori a seguito dei risultati delle colonne prova.

Nel caso per esigenze di progetto o a causa della particolare natura del terreno venga richiesta anche la fase della gettinazione preliminare, la sua esecuzione deve avvenire secondo le modalità previste per il trattamento, iniettando acqua al posto della miscela.

Le colonne prova indicheranno l'eventuale esigenza di utilizzare miscele bifluido o trifluido.

### 13 QUADRO ECONOMICO

DIGA DI LEVANE – Progetto di sopralzo ai fini di laminazione		QUADRO ECONOMICO	
<b>A</b>	<b>Lavori a base d'appalto</b>	€	11.456.812,29
A 1.1	Lavori	€	11.037.061,81
A.1.1a	Opere Civili	€	4.431.931,10
A.1.1b	Opere Elettromeccaniche	€	6.605.130,71
A 1.2	Compenso oneri sicurezza (5% di A.1.1a+ 3% di A.1.1b)	€	419.750,48
	<b>Totale lavori a base d'appalto</b>	€	<b>11.456.812,29</b>
<b>B</b>	<b>Somme a disposizione</b>		
B1	Progettazione Esecutiva (5,2% di A.1.1a+ 1,8% di A.1.1b)	€	349.352,77
B2	Indagini e Rilievi	€	30.000,00
B3	Spese Piano e Coordinamento della sicurezza (1% di A1.1)	€	110.370,62
B4	Spese Direzione Lavori (3,5% di A.1.1a+ 1,6% di A.1.1b)	€	260.799,68
B5	Acquisizione utilizzo temporaneo di aree private	€	20.000,00
B6	Attività preliminari di sistemazione della viabilità ordinaria	€	50.000,00
B7	Accantonamento ex art. 113 c.2, D.lgs.50/2016 (2% di A )	€	229.136,25
B8	Spese Tecniche e Generali (5% A)	€	573.000,00
B9	Spese per attività di consulenza e supporto	€	15.000,00
B10	Imprevisti (10% di A.1.1a)	€	443.193,11
	<b>Totale Somme a disposizione</b>	€	<b>2.080.852,42</b>
	<b>Importo Complessivo Finanziamento (A+B)</b>	€	<b>13.537.664,71</b>
<b>C</b>	<b>IVA</b>	€	<b>1.373.815,61</b>
C 1	IVA sui Lavori (aliquota 10% di A+B10)	€	1.190.000,54
C 2	IVA sulle Somme a Disposizione (aliquota 22% di B1+B2+B3+B4+B5+B6+B9)	€	183.815,07
	<b>Totale</b>	€	<b>14.911.480,32</b>
	costo totale con arrotondamento	€	<b>14.911.480,00</b>

## 14 CONCLUSIONI

Assumendo dal Piano stralcio relativo alla riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno il nuovo valore della quota di massimo invaso di 172,00 m slm e la conseguente realizzazione di un volume di laminazione nominale di quasi 10 milioni di metri cubi, il presente progetto raggiunge lo specifico obiettivo derivante dallo stesso Piano di Bacino stralcio, dal DPCM del 05.11.1999 di approvazione del Piano e dall'Accordo di Programma del 2014.

Per questo motivo il progetto prescinde in prima istanza da ulteriori valutazioni idrologiche inerenti il rischio idraulico connesso al corso d'acqua. Esso comprende tuttavia una valutazione di scenari idrologici con tempi di ritorno sufficientemente elevati, tali da essere rappresentativi di eventi estremi, sia in rapporto alla capacità esitativa degli organi di scarico dello sbarramento, sia in termini di elementi conoscitivi messi a disposizione delle Amministrazioni che valuteranno l'impatto ambientale del progetto. A tali scenari sono poi associate le opportune verifiche idrauliche, che soddisfano quanto previsto dalla normativa tecnica vigente.

Il presente progetto è stato redatto in modo completo ed ex novo rispetto a quello inviato a DGD nell'ottobre del 2015.

Pur rimanendo l'impostazione e le scelte progettuali principali, attraverso gli approfondimenti che si sono resi necessari, il presente progetto risponde alle richieste formulate nell'istruttoria conclusiva di DGD come riportato nelle diverse relazioni specialistiche e negli elaborati.

Nuove e più estese indagini e valutazioni di carattere geologico, geotecnico e geomeccanico hanno consentito la caratterizzazione dell'ammasso roccioso di fondazione, con la determinazione dei parametri utilizzati nelle verifiche di stabilità allo scorrimento e di capacità portante, e la formulazione di positive conclusioni circa la stabilità delle sponde dell'invaso, anche nell'eventualità che il livello idrico possa impegnare quote superiori all'attuale quota massima di regolazione.

Sotto il profilo strutturale sono state svolte verifiche di tipo tensionale, di stabilità allo scorrimento e di capacità portante, a seconda dei diversi stati limite considerati e della significatività della combinazione di carico.

I criteri di verifica adottati soddisfano i requisiti delle Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta, di cui al Decreto Ministeriale 26.06.2014[1], e le Norme tecniche per le costruzioni NTC 2018 [2].

Tutte le verifiche eseguite risultano soddisfatte in ogni combinazione di carico considerata.

La progettazione inerente agli organi di intercettazione delle luci di scarico della diga e delle luci di presa dell'annessa centrale idroelettrica è stata sviluppata nella sua forma definitiva, mentre gli aspetti costruttivi sono demandati alla successiva progettazione esecutiva.

Gli aspetti impiantistici sono infine completati dalla definizione dei sistemi di alimentazione, di comando e di controllo e degli impianti di illuminazione.