


## INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELLA DIGA DROVE DI CEPPARELLO



Codice elaborato:	Nome Elaborato:	Scala:
<b>ET03</b>	<b>RELAZIONE MODELLO FISICO</b>	-
		Data:
		18/04/2019

Settore:	Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488
	
Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000	

<b>PROGETTAZIONE :</b>	<b>COLLABORATORI :</b>
<b>PROGETTISTA - PROJECT MANAGER :</b> <b>ING MARIO CHIARUGI</b> <b>ING. MATTEO BETTI</b>	<b>DOTT. GEOL. CARLO FERRI</b> <b>DOTT. GEOL. ALESSANDRO AGNELLI</b> <b>PER. AGR. DAVIDE MORETTI</b> <b>GEOM. ANDREA BERNARDINI</b>
<b>GEOLOGO:</b> <b>DOTT. GEOL. NICOLA CEMPINI</b>	
<b>ESPROPRI:</b> <b>GEOM. ANDREA PATRIARCHI</b>	

<b>CONSULENTI TECNICI :</b>	<b>COMMESSA I.T. :</b>
 <b>PROGETTISTA OPERE IDRAULICHE E STRUTTURALI :ING. DAVID SETTESOLDI</b>	<b>INGT-TPLPD-ACQAC159</b>

	<b>RESPONSABILE COMMITTENTE :</b> <b>GEOM. ALESSANDRO PIOLI</b>
---	--

<b>DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANE :</b>	<b>RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :</b>
<b>ING. MARIO CHIARUGI</b>	 <b>ING. ROBERTO CECCHINI</b>

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
01	18 / 04 / 2019	Prima Emissione	Salandin	Settesoldi

PROGETTO DEFINITIVO

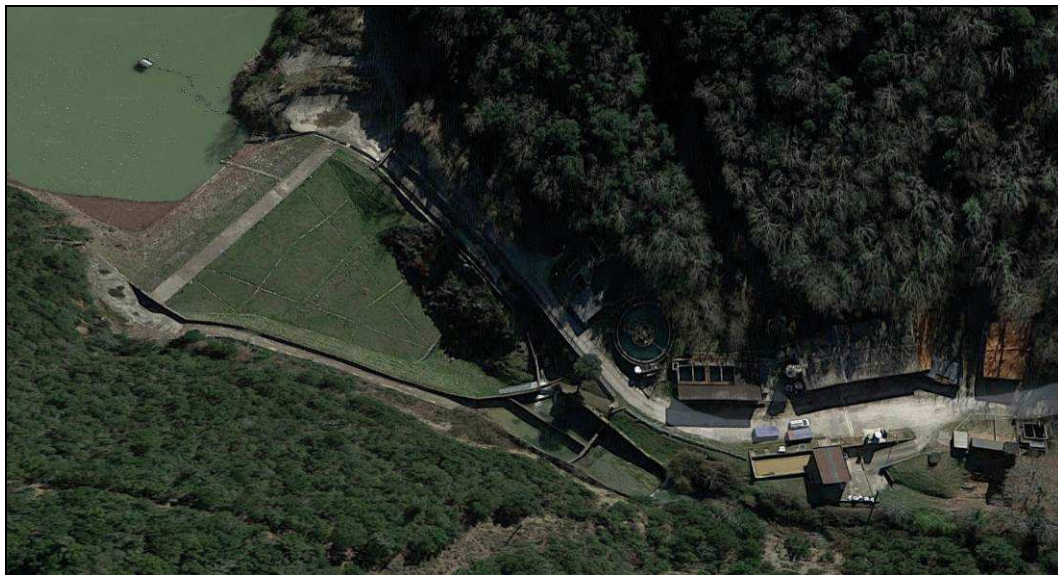
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE - I C E A  
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

Via F. Marzolo, 9 - I 35131 Padova  
tel +39 049 8275477 fax +39 049 8275765

Ingegnerie Toscane Srl

# SPERIMENTAZIONE SU MODELLO IDRAULICO DELLE OPERE DI SCARICO E DI DISSIPAZIONE DELLA DIGA DI CEPPARELLO – COMUNE DI POGGIBONSI (SIENA)

## *Relazione Tecnica Conclusiva*



Responsabili scientifici  
Prof. Ing. Paolo Salandin  
Prof. Ing. Matteo Camporese

Il Direttore del Dipartimento  
Prof. Ing. Carlo Pellegrino

Padova, Gennaio 2019  
(aggiornata a Marzo 2019)

QUESTA PAGINA È STATA LASCIATA  
INTENZIONALMENTE BIANCA

INDICE

1. Premesse	1
2. Breve descrizione delle opere e programma delle ricerche	4
3. Descrizione del modello	9
4. La Configurazione 1: prove sviluppate e comportamento generale delle opere	15
4.1. Lo scaricatore di superficie	15
4.2. I canali di fuga	20
4.3. Il processo dissipativo nella vasca terminale (Configurazione 1)	24
5. La Configurazione 1-2: prove sviluppate e comportamento generale delle opere	28
5.1. Il processo dissipativo nella vasca terminale (Configurazione 1-2)	28
6. Conclusioni	33
APPENDICE A - Verbale della visita al laboratorio del 12.11.2018	35
APPENDICE B - Verbale della visita al laboratorio del 11.12.2018	36
APPENDICE C - Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate	38
APPENDICE D - Elenco riprese video allegate	40

QUESTA PAGINA È STATA LASCIATA  
INTENZIONALMENTE BIANCA

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

SPERIMENTAZIONE SU MODELLO IDRAULICO DELLE OPERE DI SCARICO E DI  
DISSIPAZIONE DELLA DIGA DI CEPPARELLO – COMUNE DI POGGIBONSI (SIENA)

COMMITTENTE: Ingegnerie Toscane Srl - Via Bellatalla, 1 - 56121 Ospedaletto (PI)

1. Premesse

La diga di Drove di Cepparello è situata in Toscana tra il comune di Poggibonsi, in provincia di Siena, e il comune di Barberino Val d'Elsa, in provincia di Firenze. La diga sbarra il corso dei fiumi Borro di Cepparello e Borro di Granaio, che confluisce nel primo appena prima dello sbarramento, ricadenti nel bacino del fiume Arno. Il bacino imbrifero ha una superficie di 11,25 km<sup>2</sup> ed è compreso fra le quote di 580 e 166 m s.m.

Si tratta di una diga in terra omogenea con andamento planimetrico rettilineo, di altezza pari a 28 m ai sensi del D.M. 24.03.1982 e altezza indicata in 25,17 m ai sensi del D.M. 26.06.2014 <sup>(1)</sup>, e, rientrando di conseguenza nella categoria delle ‘grandi dighe’, risulta soggetta alla vigilanza della Direzione Generale Dighe come definito nel citato D.M. 26.06.2014.

I lavori per la costruzione della diga sono stati ultimati nel 1962, su progetto approvato nel 1959, con successive varianti approvate nel 1959 e nel 1960. In fondazione, ad una distanza dal piede di valle pari a circa due terzi della larghezza della fondazione, è stata realizzata una trincea di ammorsamento del rilevato di 2 m di larghezza e 3 m di profondità. Nel 1967 è stato realizzato un diaframma impermeabilizzante per mezzo di iniezioni cementizie nel rilevato ed in fondazione (eseguite dal paramento di monte) adiacente alla trincea sopra menzionata, con lo scopo di eliminare le sensibili perdite manifestatesi appena dopo il primo invaso, inizialmente attribuite a difetti di tenuta della fondazione, e nel 1985 è stato eseguito il ripristino dello scarico di superficie destro. Il paramento di monte è rivestito di pietrame, il coronamento con lastre di calcestruzzo e il paramento di valle è inerbito.

Il proprietario della diga è il Comune di Poggibonsi con sede in Piazza Cavour 2, 53036 Poggibonsi (SI), mentre il soggetto gestore è la società Acque S.p.A., con sede in Via Bellatalla, 1 - 56121 Ospedaletto (PI), che utilizza l’invaso a scopo idropotabile.

La concessione alla derivazione è stata rinnovata con Del. Reg. n. 1230 del 14/02/1994. Ad oggi la diga è gestita con invaso limitato e con collaudo ex art. 14 del D.P.R. 1363/59 in corso.

Nel contesto del progetto di fattibilità *“Interventi di miglioramento della diga Drove di Cepparello”* predisposto dal Gestore tramite Ingegnerie Toscane Srl, che ha affidato a WEST Systems Srl la realizzazione del progetto di Fattibilità, la Direzione Generale Dighe, tramite l’Ufficio Tecnico per le dighe di Firenze, ha richiesto con lettera del 24.10.2017 un approfondimento a livello di progettazione definitiva di alcuni aspetti. In particolare per quelli di modellazione idraulica ha ritenuto necessario *“... procedere ad una modellazione più accurata del sistema, preferibilmente di tipo fisico, date le complesse geometrie e le articolate condizioni del moto idraulico, ...”* con specifico riferimento ai due (nuovi) sfioratori a becco d’anatra, ai due canali di fuga e alla vasca di dissipazione, per verificarne le capacità nelle diverse condizioni di deflusso.

---

<sup>1</sup> *“Interventi di miglioramento della diga Drove di Cepparello – Relazione Idrologica”*, Progetto di Fattibilità a cura di WEST Systems Srl- Firenze, Marzo 2017.

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

Allo stato attuale lo scarico di superficie è costituito da due canali di scarico, uno in sponda destra e uno in sponda sinistra, a sezione rettangolare, tracciati direttamente attraverso le spalle della diga, entrambi con incile a quota 186,00 m s.l.m., rivestiti in calcestruzzo lungo l'intero sviluppo, recapitanti nel Borro di Cepparello attraverso una vasca di dissipazione finale divisa da un setto longitudinale e delimitata a valle da un setto trasversale.

Il progetto di modifica delle opere di scarico e dissipazione sono stati redatti da West Systems Srl (progettista il dott. ing. Davide Settesoldi) incaricata da Ingegnerie Toscane Srl.

Ingegnerie Toscane Srl, (nel seguito Committente) ha deciso di far svolgere lo studio su modello idraulico per la verifica delle opere di scarico e dissipazione al Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (ICEA) dell'Università di Padova.

A seguito dei colloqui intercorsi in presenza (9 marzo e 6 aprile 2018) e delle ulteriori indicazioni comunicate via e-mail e/o telefonica, si è convenuto di indagare fino a tre diverse configurazioni di sagome e dimensioni dei profili sfioranti, e due diverse configurazioni della vasca di dissipazione. Le diverse configurazioni degli sfiori e della vasca di dissipazione da indagare sarebbero state definite prima della realizzazione del modello stesso, al fine di ottimizzare le tempistiche di consegna.

La proposta di contratto, approvata nel Consiglio di Dipartimento del 22.03.2018 e firmato il 24.04.2018 di Padova, è stato restituito firmato dal Committente all'Università il 07.06.2018.

I disegni delle opere da riprodurre su modello sono stati inviati in bozza il 26.05.2018, e successivamente aggiornati il 12.06.2018 e il 27.06.2018, risultando in tale data sostanzialmente definita la Configurazione 1, assieme ad ulteriori eventuali modifiche da prendere in esame. Ciò ha permesso di completare la realizzazione del modello entro settembre 2018 e di sviluppare le prime prove nel mese di ottobre 2018.

Le attività, formalmente sospese in data 24.10.2018 in attesa della soluzione di questioni amministrative, sono riprese in data 12.11.2018 in occasione della visita organizzata presso il Laboratorio di Idraulica e Costruzioni idrauliche del Dipartimento ICEA, presenti il dott. Carlo Ferri (Ingegnerie Toscane Srl) e l'ing. David Settesoldi (West Systems Srl) assieme al geom. Alessandro Pioli (Acque Spa). Nel corso di tale visita sono stati comunicati i risultati delle prove su modello già sviluppate e verificato il funzionamento generale delle opere per diverse portate.

Il verbale della visita è riportato in Appendice A, allegata alla presente relazione.

A seguito della visita, acquisita dal Committente una prima bozza della presente Relazione Tecnica Intermedia, le parti hanno convenuto di sospendere le attività in attesa di una puntuale definizione delle successive configurazioni delle opere da analizzare su modello da parte del Committente.

La Relazione Tecnica Intermedia, anticipata via mail in data 19.11.2018 all'attenzione del dott. Carlo Ferri, è stata formalmente trasmessa al Committente in data 27.11.2018.

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

In data 20.11.2018 il Committente ha richiesto tramite e-mail di modificare la vasca di dissipazione in accordo ai disegni delle opere nella Configurazione 2 – che risulta peraltro identica alla Configurazione 3 per quanto riguarda la vasca di dissipazione –, mantenendo però inalterata la configurazione degli scarichi di superficie esaminata nel corso della visita del 12.11.2018. Per maggior chiarezza la nuova configurazione analizzata sarà nel seguito denominata Configurazione 1-2, e corrisponde alla Configurazione 1 per quanto riguarda gli scarichi di superficie e alla Configurazione 2 per quanto riguarda la vasca di dissipazione e la restituzione delle opere in alveo.

Le modifiche sono state correttamente implementate e il Committente ha potuto prendere visione del funzionamento delle opere in occasione della visita del 11.12.2018 presso il Laboratorio di Idraulica e Costruzioni idrauliche del Dipartimento ICEA, alla quale hanno preso parte il dott. Carlo Ferri e l'ing. Matteo Betti (Ingegnerie Toscane Srl), l'ing. David Settesoldi (West Systems Srl), il geom. Alessandro Pioli (Acque Spa) assieme ai tecnici della Direzione Generale Dighe ing. Francesco Santoro, ing. Francesca Pianigiani e ing. Sara Pascucci.

Come riportato nel verbale (appendice B della presente Relazione) è stato preliminarmente verificata la corretta riproduzione della geometria del modello a confronto con le tavole di progetto.

Successivamente si è presa visione del funzionamento complessivo delle opere per cinque diversi valori di portata compresi fra circa 50 e 300 m<sup>3</sup>/s su prototipo, verificando la coerenza delle misure con la scala delle portate riportata nella Relazione tecnica Preliminare. Il funzionamento della nuova configurazione della vasca di dissipazione risulta peraltro efficace in tutto il campo delle portate esplorato.

Considerato soddisfacente il funzionamento delle opere di scarico e dissipazione così come esaminate nel corso della visita del 11.12.2018, il Committente ha chiesto e l'Università ha accettato di sviluppare sul modello così come visto (Configurazione 1-2) una serie sistematica di misure e di procedere quindi alla stesura della presente Relazione Definitiva entro il 14.01.2019 senza prendere in esame diverse opzioni.

La Relazione Definitiva inviata in forma di bozza in data 14.01.2019, è stata successivamente revisionata in base alle richieste del Committente pervenute via mail in data 20.02.2019.



*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

2. Breve descrizione delle opere e programma delle ricerche

Le caratteristiche principali della diga Drove di Cepparello, come riportate nel vigente Foglio Condizioni di Esercizio e Manutenzione (FCEM), sono elencate nella seguente Tabella 1.

Tabella 1: caratteristiche principali della diga Drove di Cepparello

altezza della diga (ai sensi del DM n. 44 del 24/03/1982)	28,00 m
altezza della diga (ai sensi della L 584/1 994)	25,17 m
altezza di massima ritenuta	21,50 m
quota del coronamento	189,00 m s.m.
larghezza del coronamento	5,00 m
pendenza paramento di monte	1:2,4
pendenza paramento di valle (al di sotto della berma e fra il coronamento e la berma)	1:2,4 e 1:2,1
franco lordo (ai sensi del DM n. 44 del 24/03/1982) con TR = 1000 anni	trascurabile
franco netto (ai sensi del DM n. 44 del 24/03/1982) con TR = 1000 anni	trascurabile
franco lordo (ai sensi del DM n. 44 del 24/03/1982) con TR < 30 anni	1,50 m
sviluppo del coronamento	68,00 m
volume della diga	37,000 m <sup>3</sup>
quota di massimo invaso (progetto)	187,50 m s.m.
quota di massima regolazione (progetto)	186,00 m s.m.
quota di massimo invaso (limitata)	186,50 m s.m.
quota massima di regolazione (limitata)	183,00 m s.m.
quota minima di regolazione	172,00 m s.m.
volume totale d'invaso (ai sensi del D.M. n. 44 del 24/03/1982) alla quota 187,50 m s.m.	0,65×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume d'invaso (ai sensi della L. 584/1994) alla quota 186,00 m s.m.	0,52×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume utile di regolazione	0,52×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	11,40 km <sup>2</sup>

La diga, in relazione alle attuali condizioni di sicurezza, è assoggettata alle seguenti limitazioni di invaso:

- quota massima in occasione di eventi eccezionali (dal 27.06.2013): 186,00 m s.m.
- quota massima in condizioni normali (dal 15.11.2013): 177,00 m s.m

Come sopra riportato, lo scarico di superficie è costituito da due canali di scarico, uno in sponda destra e uno in sponda sinistra, a sezione rettangolare tracciati direttamente attraverso le spalle della diga, entrambi con incile a quota 186,00 m s.m., rivestiti in calcestruzzo lungo l'intero sviluppo, recapitanti nel Borro di Cepparello attraverso una vasca di dissipazione finale divisa da un setto longitudinale e delimitata a valle da un setto trasversale, avente quota di sommità pari a 166,58 m s.m.

La più recente e aggiornata analisi idrologica per la stima della portata di massima piena è stata svolta sulla base delle curve di possibilità pluviometria aggiornate al 2012 da uno studio dell'Università di Firenze <sup>(2)</sup>.

Lo studio idrologico sviluppato dai progettisti ha definito le portate al colmo di piena per assegnato tempo di ritorno così come riportato nella seguente Tabella 2.

<sup>2</sup> “Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B1 - Regionalizzazione precipitazioni”, studio redatto nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all’approfondimento dell’attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Caporali E., Chiarello V. e Rossi G., marzo 2014).

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

Tabella 2: valori della portata al colmo in ingresso alla diga per diversi tempi di ritorno.

Tr (anni)	30	50	100	200	500	1000	5000
Q (m <sup>3</sup> /s)	90	102	122	145	180	211	300

Ai fini delle verifiche idrauliche degli organi di scarico e di dissipazione è stato assunto a base del progetto l'evento di piena con tempo di ritorno  $T_r = 1000$  anni, che ha in ingresso una portata al colmo pari a  $Q = 211 \text{ m}^3/\text{s}$ . Infatti, trattandosi di un intervento su di una diga esistente, ai sensi del D.M. 26.06.2014 art. H.2.2. – Intervento di miglioramento “È fatto obbligo di procedere almeno ad interventi di miglioramento idraulico, in conseguenza alla valutazione della sicurezza idraulica in base ai criteri di cui al cap. H.3.4., se il tempo di ritorno della portata di piena scaricabile rispettando il franco idraulico indicato al cap. C.1 risulti inferiore a 500 anni per le dighe di calcestruzzo e a 1000 anni per le dighe di materiali sciolti. ...”.

Il franco, così come calcolato dai progettisti ai sensi dello stesso D.M. nella già citata Relazione Idrologica, risulta pari a 2,29 m, da cui deriva una quota di massimo invaso da ottemperare nel caso di evento millenario pari a  $189,00 - 2,29 = 186,71 \text{ m s.m.}$

Lo studio idrologico ha messo in evidenza l'insufficienza degli organi di scarico attuali e dunque la necessità di un'opera alternativa di maggior capacità ed efficienza.

Il progetto di un nuovo scarico di superficie è inserito nel più ampio progetto di adeguamento idraulico-strutturale della diga di Cepparello che prevede principalmente il rifacimento degli scarichi di superficie e di fondo, assieme al rinfianco dei paramenti di monte e di valle per il miglioramento della sicurezza statica e sismica.

Obiettivo dell'attività di laboratorio è verificare la capacità di scarico del nuovo sistema sfiorante in progetto, le massime altezze d'acqua che vengono a realizzarsi nei canali di fuga e nella vasca di dissipazione, e l'efficacia dissipativa di quest'ultima.

A tal scopo è previsto siano realizzate misure di livelli idrici (con idrometri a punta al nonio di millimetro e/o misuratori ad ultrasuoni) nella vasca di carico in posizione opportuna in modo da non risentire dell'effetto di chiamata dello sfioratore e in corrispondenza dell'ultima sezione significativa del modello, oltre a misure di portata (con misuratore di portata di tipo magnetico-induttivo) sulla condotta di alimentazione. Le prove saranno documentate con fotografie e riprese realizzate con videocamera.

Le ipotesi progettuali inizialmente formulate dai progettisti, si differenziano negli sfiori e nelle opere di dissipazione. Nella loro formulazione preliminare esse sono distinte in Configurazione 1, Configurazione 2 e Configurazione 3.

Nella Configurazione 1 (Figura 1), il sistema di evacuazione delle portate si avvale di due sfioratori a becco d'anatra a singolo elemento – in sostanza due canali collettori a larghezza variabile –, diversi in termini di dimensioni planimetriche, ma entrambi caratterizzati da un profilo Creager-Scimemi. Entrambi spiccano da una base piana a quota 183,50 m s.m. con ciglio sfiorante a quota 185,00 m s.m., risultando il petto a monte di 1,50 m.

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

Lo sviluppo nominale del ciglio sfiorante è di 38,00 m in sinistra e di 28,70 m in destra.  
 La quota di fondo del canale interno ai profili di sfioro è variabile con lo sviluppo longitudinale, raggiungendo allo sbocco, sia in sinistra che in destra, il valore minimo di 183,00 m s.m. (Figura 2), quota che si mantiene costante fino al raggiungimento dell'asse della diga, a valle del quale prendono avvio i canali di fuga.

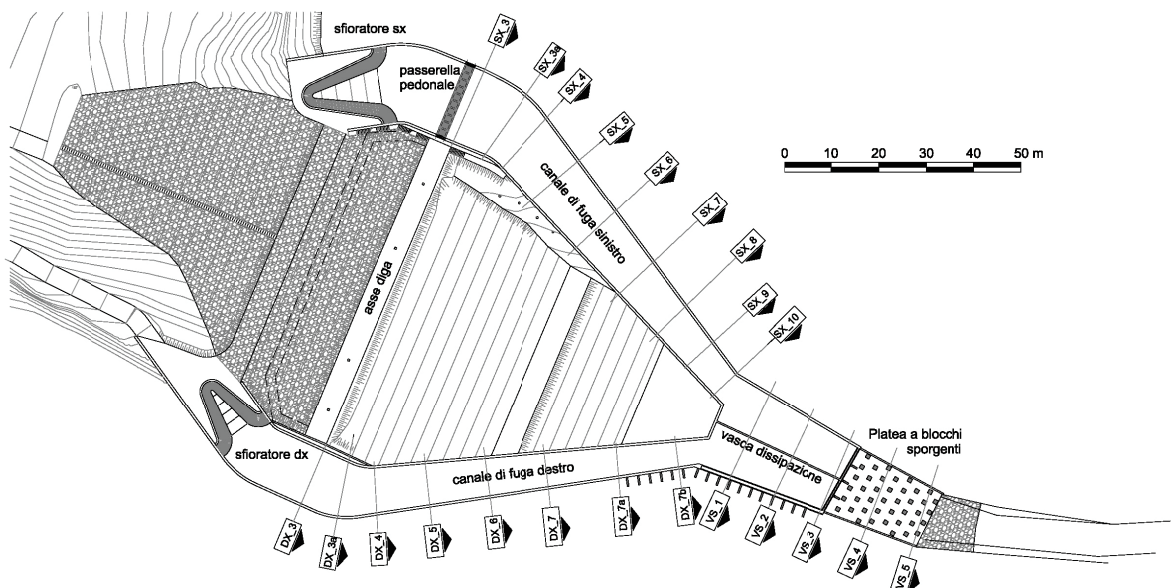


Figura 1: planimetria della diga nella Configurazione 1 con indicate alcune sezioni significative.

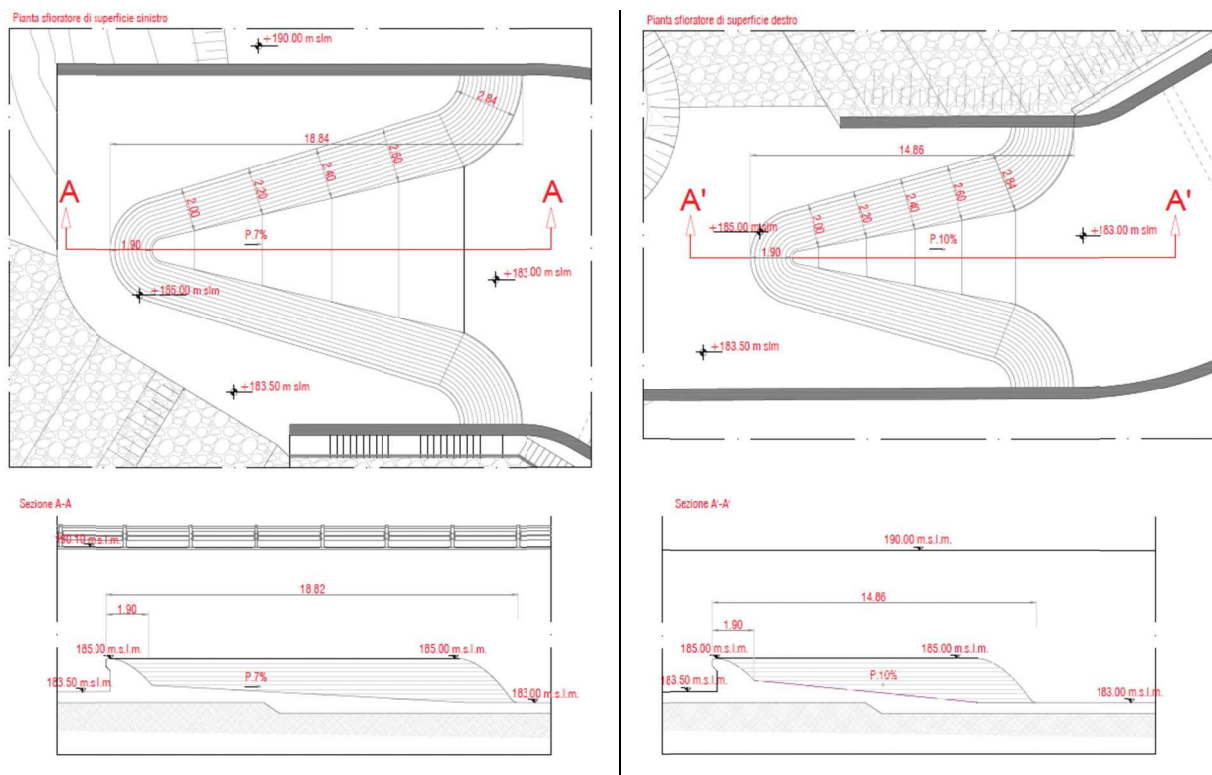


Figura 2: sfioratore sinistro e destro della diga nella Configurazione 1.

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

Il canale di fuga in sinistra idraulica ha uno sviluppo complessivo di 193,60 m, con sezione a geometria rettangolare larga alla base 16,0 m a quota 183,00 m s.m. che si riduce a 6,0 m prima di immettersi nella vasca di dissipazione con fondo a quota circa pari a 163,50 m s.m..

Il canale di fuga in destra ha circa lo stesso sviluppo totale (195,6 m) e sezione rettangolare, ma è caratterizzato da minori larghezze di fondo: 12,0 e 5,0 m alle quote 183,00 e 163,50 m s.m. rispettivamente.

Il bacino di dissipazione, lungo poco meno di 30 m, ha larghezza variabile da 20 a 15 m circa, con quota di fondo mediamente pari a 163,2 m s.m. in sinistra e 163,0 in destra, per essere suddiviso longitudinalmente da un muro di calcestruzzo con sommità a quota 166,55 m s.m. A valle è limitato da un muro trasversale con la stessa quota di sommità, sopra il quale sfiorano le portate in arrivo dai canali di fuga (Figura 1).

L'energia residua della vena stramazzante dal muro terminale - alto poco meno di 4 m sul fondo -, è previsto sia dissipata da un sistema a blocchi, realizzato subito a valle su di un piano dello sviluppo longitudinale di circa 20 m e larghezza progressivamente decrescente da 15 a 12 m: otto file di blocchi cubici di lato pari a 0,85 m spiccano dalla quota di base 162,90 m s.m. mediamente costante del piano. Le portate vengono rilasciate nella sezione naturale d'alveo protetta da scogliera per uno sviluppo longitudinale di 10 m circa.

Nelle Configurazioni 2 e 3 risultano modificate sia i manufatti sfioranti che le opere di dissipazione, restando nella sostanza immutati i due canali di fuga. In particolare nella Configurazione 3 (Figura 3), i due becchi d'anatra sono sostituiti da due sfioratori con sezione a muro verticale e testa sagomata (Figura 4), disposti in posizione arretrata rispetto ai precedenti con andamento planimetrico curvilineo.

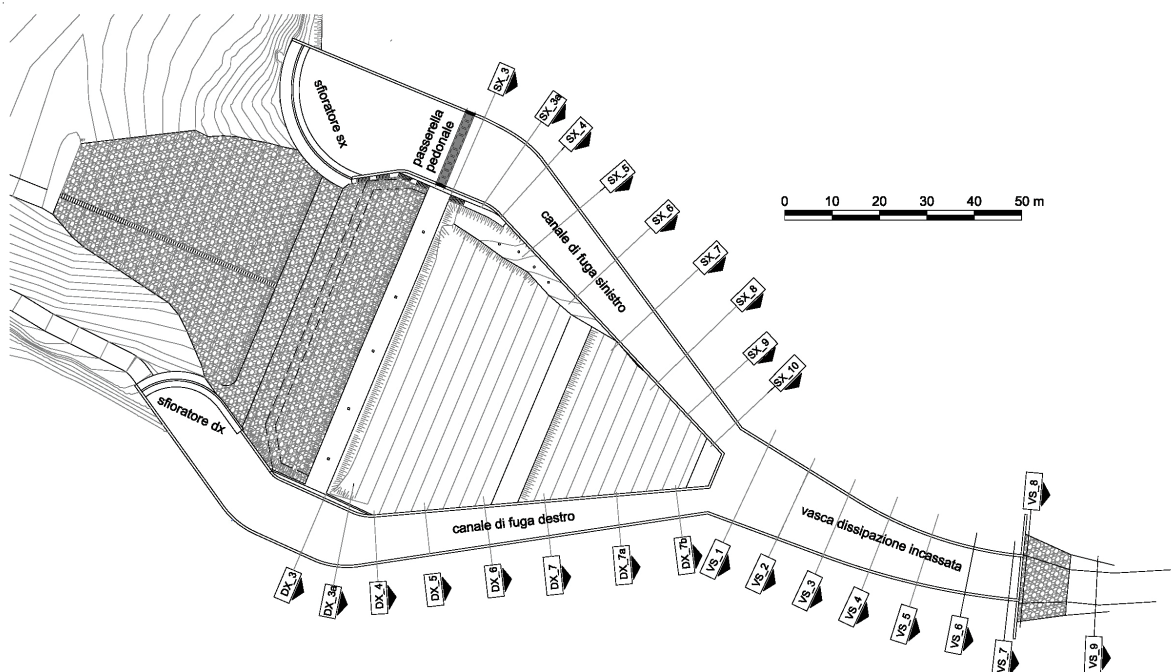


Figura 3: planimetria della diga nella Configurazione 3. Le sezioni significative sono posizionate come nella planimetria della Configurazione 1.

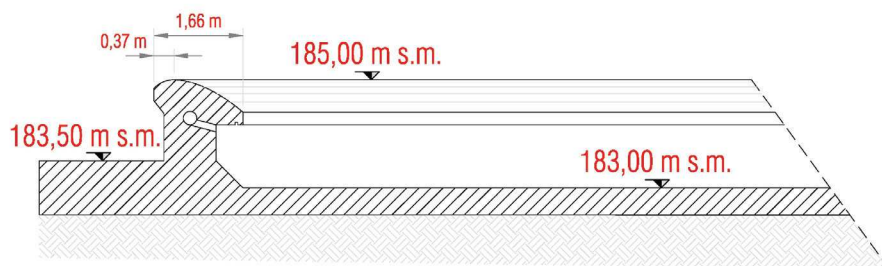


Figura 4: sezione corrente del profilo sfiorante nelle Configurazioni 2 e 3.

Lo sviluppo nominale del ciglio sfiorante – posto sempre a quota 185,00 m s.m. – è di circa 33,5 m in sinistra e di 26 m in destra, restando la quota del fondo a valle costante e pari a 183,00 m s.m. fino all'asse della diga. Da qui si staccano i due canali di fuga che restano immutati rispetto alla Configurazione 1 fino subito a monte della sezione VS\_1, approfondendosi con continuità il fondo fino alla sezione VS\_2 dove è raggiunta la quota minima (158,00 m s.m.) del fondo della vasca di dissipazione. Tale quota è mantenuta costante per 50 m a valle, dove – fra le sezioni VS\_7 e VS\_8 – si ricollega al fondo naturale dell'alveo con un gradino verticale alto circa 4,4 m. Anche in questo caso la sezione d'alveo a valle è protetta con scogliera per uno sviluppo longitudinale di 10 m. Planimetricamente, la vasca di dissipazione presenta un debole curvatura verso la sinistra idraulica, restringendosi con continuità la sezione rettangolare dai 17,3 m della sezione VS\_1 agli 8,9 m della sezione VS\_7.

Rispetto la Configurazione 1, in entrambe le Configurazioni 2 e 3 la vasca di dissipazione, oltre non essere più suddivisa in due parti dal muro longitudinale, presenta il fondo approfondito di 4,5 m e risulta più lunga di 39 m rispetto a quella precedentemente limitata dal muro in elevazione (sezione VS\_3), prolungandosi di circa 20 m rispetto la fine della platea a blocchi precedente prevista.

Quello che distingue la Configurazione 2 dalla 3, è che nella Configurazione 2 il profilo sfiorante in destra è sostituito da una paratoia a ventola, dello sviluppo efficace di 12 m e altezza di ritenuta massima a quota 185,00 m s.m., incernierata sul fondo in corrispondenza all'asse della diga.

In effetti, come anticipato nelle premesse, né l'ipotesi della Configurazione 2 né della Configurazione 3 così come precedentemente descritte sono state – su richiesta del Committente – prese in considerazione nelle sperimentazioni.

Essendo stata ritenuta soddisfacente la prestazione fornita dal sistema di sfiori nella Configurazione 1, è stata richiesta dal Committente la sola modifica della vasca di dissipazione così come ipotizzata nelle Configurazioni 2 e 3.

Oltre alla Configurazione 1, si è quindi studiata su modello la configurazione ibrida nel seguito indicata come Configurazione 1-2 (Figura 5) dove le opere di sfioro sono quelle della Configurazione 1 e le opere di dissipazione sono quelle delle Configurazioni 2 e 3.

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

Per essere i canali di fuga comuni a tutte le configurazioni ipotizzate, essi restano immutati tranne che nel raccordo terminale con la nuova vasca di dissipazione.

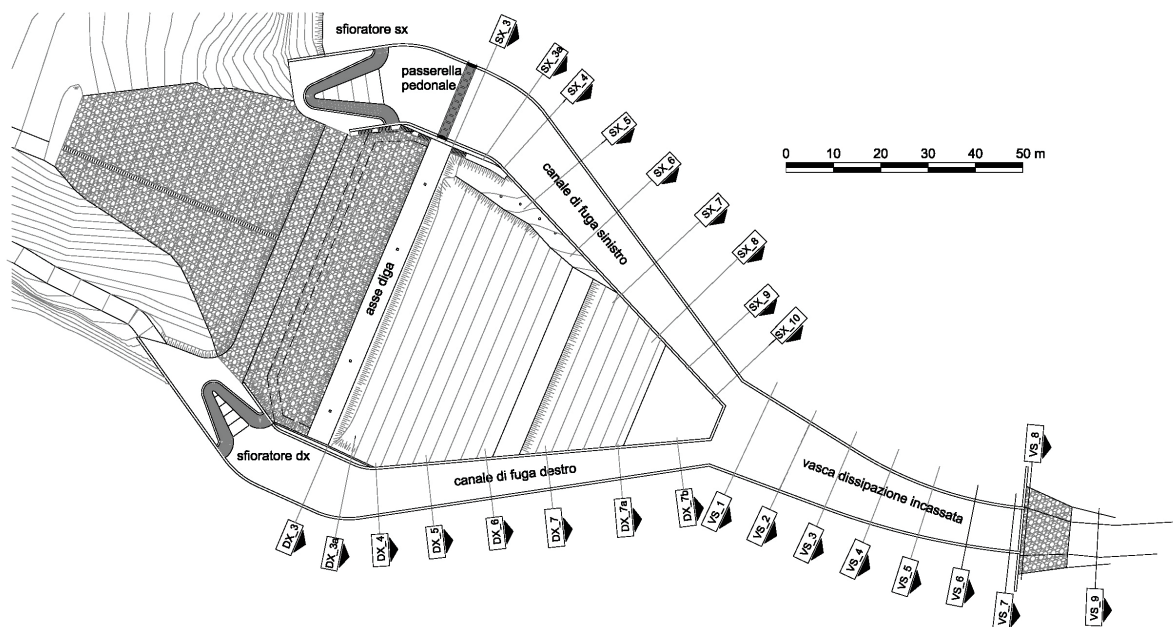


Figura 5: planimetria della diga nella Configurazione 1-2. Le sezioni significative sono posizionate come nella planimetria della Configurazione 1 e 3.

### 3. Descrizione del modello

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

La scala geometrica di riproduzione (da prototipo a modello) assunta è  $1:\lambda=40$ . Tale scelta garantisce la corretta riproduzione del funzionamento delle opere, mantenendo allo stesso tempo una dimensione contenuta per l'intero modello.

Le scale per il trasferimento dei risultati dal modello al reale risultano dunque:

lunghezze:	$\lambda=1:40$	velocità:	$\lambda^{1/2}=1:6,325$
tempi:	$\lambda^{1/2}=1:6,325$	portate:	$\lambda^{5/2}=1:10.119,3$

Il modello è stato realizzato all'interno del Laboratorio di Idraulica e Costruzioni idrauliche del Dipartimento ICEA, riproducendo gli elementi della diga (scaricatori di piena, canali di fuga e vasca di dissipazione) per uno sviluppo di circa 70 m a monte e 230 m a valle misurati dall'asse del coronamento.

L'alimentazione del sistema di sfiori è garantita da una vasca di dimensioni planimetriche di circa  $3,60 \times 2,00 \text{ m}^2$  che riproduce il lago a monte, essendo la portata fornita tramite una tubazione del diametro di 150 mm collegata con un cassone in quota a livello costante. Sulla

condotta è installato un misuratore di portata elettromagnetico DN80 della ISOIL con certificato di taratura ACCREDIA che, nell'installazione appositamente realizzata, garantisce un'accuratezza dello 0,4% nell'intervallo di portate 2-50 l/s (Foto 1).

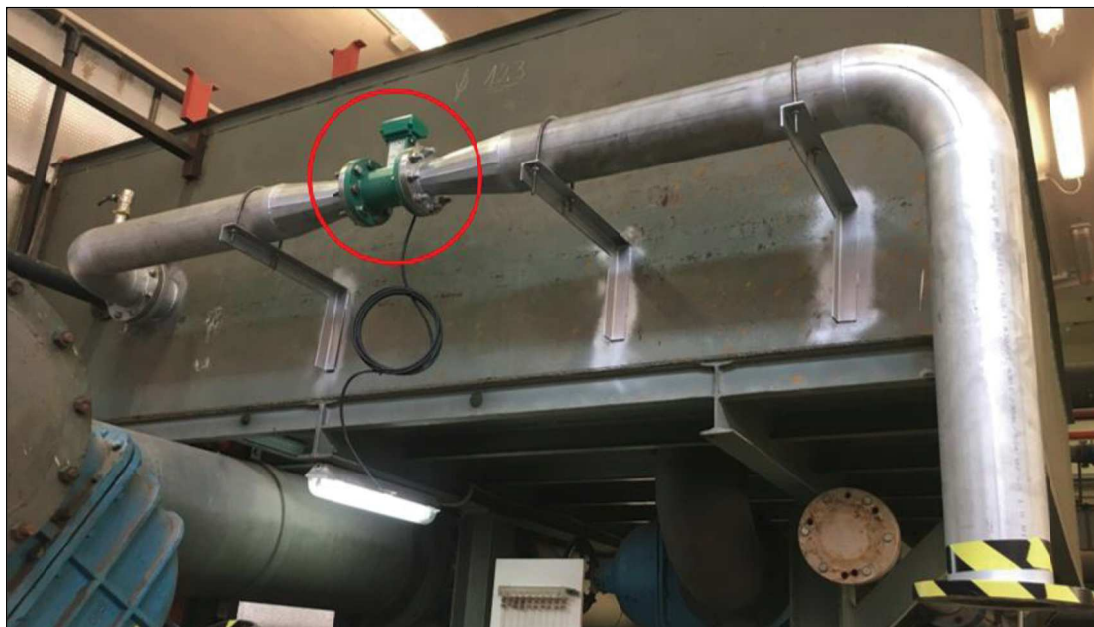


Foto 1 Sistema di alimentazione del modello con evidenziato il misuratore di portata.

Per regolarizzare il piano di posa della muratura sul piano di calpestio del laboratorio è stato disposto un sottofondo in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata dello spessore di circa 10 cm. L'altezza dei muri di contenimento laterale è stata riprodotta in eccesso al fine di garantire comunque il contenimento dei livelli liquidi che vengono ad instaurarsi.

Il manufatto è stato realizzato prevalentemente in muratura e malta cementizia (Foto 2 e 3), riproducendo la geometria delle sezioni e degli andamenti planimetrici forniti dal Committente. Gli scarichi di superficie (Foto 4) sono stati riprodotti in nylon, successivamente impregnato per ridurne la porosità superficiale, tramite stampa 3D dalla ditta 3Dfast di Padova, tecnica che garantisce l'accuratezza millimetrica del risultato.

Nella Configurazione 1, i muri interni – longitudinale e terminale – della vasca di dissipazione, così come la platea con il sistema di dissipazione a blocchi, sono stati realizzati in multistrato marino successivamente impermeabilizzato con la stessa guaina liquida utilizzata per rivestire le pareti e il fondo dei due canali di fuga.

Durante la costruzione del modello, si è comunque tenuto conto delle modifiche che si sarebbero dovute eventualmente apportare per la realizzazione della vasca di dissipazione nelle Configurazioni 2 e 3, riducendo tempi e costi per lo studio complessivo. A esempio, è possibile vedere dalla Foto 2 che mostra il modello in avanzato stato di realizzazione a settembre 2018, il fondo della vasca di dissipazione così come previsto nelle Configurazioni 2 e 3, già stato preliminarmente predisposto. Tramite un foglio di nylon si è separato tale fondo finito al grezzo dal successivo getto di malta cementizia atto a riprodurre la Configurazione 1, la prima ad essere studiata.



Foto 2 Vista da valle del modello in avanzata fase di costruzione (settembre 2018).

Per impermeabilizzare la vasca di carico di monte si è utilizzato un doppio strato di guaina bituminosa dello spessore di 4 mm incollata a caldo (Foto 3), ponendo particolare cura nella realizzazione della giunzione fra la guaina bituminosa e la platea dei manufatti sfioranti (Foto 4). Per garantire il corretto posizionamento dei profili di sfioro sul modello in muratura e malta cementizia, con la stampa 3D non è stata riprodotta la sola sezione sagomata, ma anche la platea orizzontale da cui quest'ultima spicca. L'esatta collocazione altimetrica è stata possibile mediante l'uso della stessa livella laser utilizzata per il controllo delle quote delle varie sezioni dei canali di fuga e della vasca di dissipazione.

I canali di fuga sono stati finiti internamente in malta cementizia lisciata e rivestita con guaina liquida, così come la vasca di dissipazione (Foto 5). Essendo peraltro il muro longitudinale, quello terminale della vasca di dissipazione, la platea e i blocchi di dissipazione, realizzati – come già detto – in compensato marino, successivamente rivestito con la stessa guaina liquida.





Foto 3 Vista da monte del modello ultimato (ottobre 2018).



Foto 4 Vista di dettaglio degli sfioratori a becco d'anatra in sinistra e in destra.

Nella Configurazione 1, il modello termina subito dopo la sezione VS\_5, con il tratto d'alveo protetto con scogliera immediatamente a valle dei manufatti di dissipazione.

Il livello nella vasca di carico è rilevato con l'ausilio di due idrometri al nonio di millimetro posti rispettivamente in destra e sinistra della stessa vasca: in destra, in una zona dove il livello liquido non risente di disturbi e oscillazioni del livello liquido legate alla presenza dell'alimentazione; in sinistra, all'interno di una tubazione in plexiglas aperta sul fondo (Foto 6).

Le stesse misure di livello sono acquisite in digitale mediante l'utilizzo di due sensori di livello ad ultrasuoni (modelli USS 635 della General Acoustic e UC500 della Pepperl & Fuchs). Nella Configurazione 1 è previsto che un terzo sensore di livello ad ultrasuoni

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

(UC500 della Pepperl & Fuchs) sia collocato immediatamente a monte del muro terminale della vasca di dissipazione (sezione VS\_3).



Foto 5 Vista da valle del modello a costruzione ultimata nella Configurazione 1 (ottobre 2018).

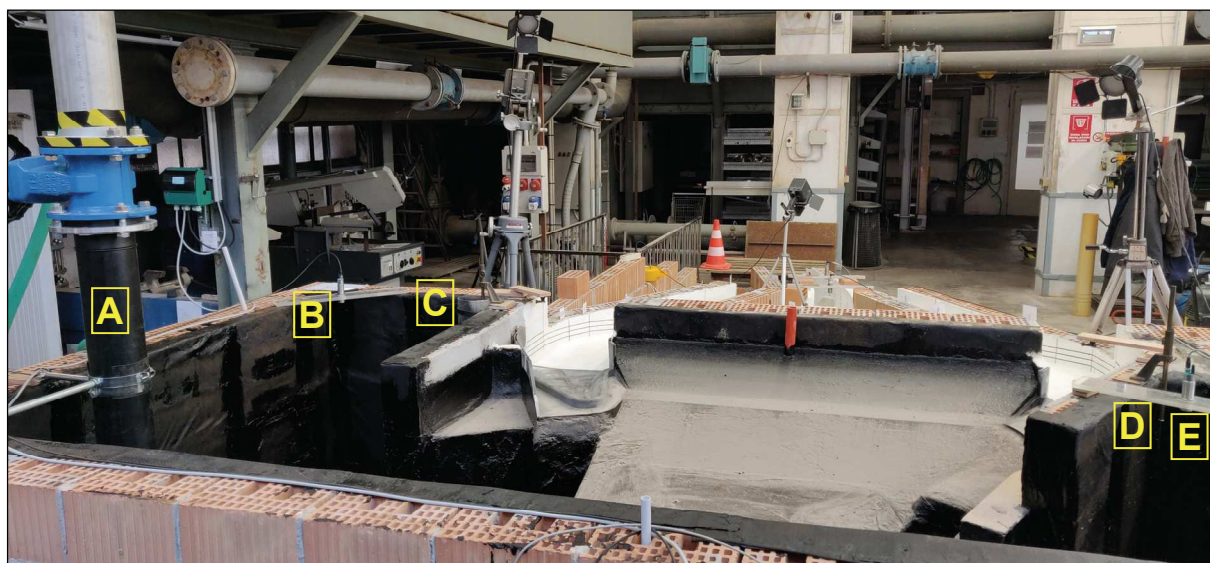


Foto 6 Posizionamento dell'alimentazione e dei misuratori di livello nella vasca di carico. A: alimentazione; B: sensore di livello sx; C: asta idrometrica sx in tubo di plexiglas; D: asta idrometrica dx; E: sensore di livello dx.

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

Nella Configurazione 1-2 la strumentazione nella vasca di carico è ovviamente la stessa, mentre nel tratto di valle sono due (VALLE\_1 e VALLE\_2) i sensori per il rilievo della superficie liquida, posizionati in corrispondenza delle sezioni VS\_3 e VS\_6 rispettivamente.



Foto 6 Vista da valle del modello a costruzione ultimata nella Configurazione 1-2 (dicembre 2018).

I segnali trasmessi dai tre sensori di livello e dal misuratore di portata sono acquisiti tramite una scheda della National Instruments e registrati in un computer dotato di software dedicato all'acquisizione (LabView).

In questa Relazione, le varie grandezze considerate (portate, velocità, pressioni, ecc.) saranno riferite, per maggior comodità, all'originale tranne quando altrimenti specificato. Va però ricordato che il trasferimento al reale delle valutazioni osservate su modello relative a fenomeni che comportino trascinamento d'aria deve farsi con qualche cautela a ragione dell'imperfetta similitudine che può realizzarsi in rapporto a questa categoria di fenomeni.

Da ultimo, alcune considerazioni sono da farsi attorno ai coefficienti di scabrezza nel reale e nel modello. Utilizzando la relazione di Gauckler – Strickler, la scala per il trasferimento del

coefficiente  $K_s$  da modello a reale è  $\lambda^{-1/6}=1/1,849=0,541$ . Ciò implica che se nel modello per il calcestruzzo liscio si assume  $K_{s,m}$  dell'ordine di  $90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , la scabrezza corrispondente nel prototipo implica un coefficiente di Gauckler-Strickler  $K_{s,p}\approx 49 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , valore inferiore a quello che normalmente caratterizza il rivestimento nel reale. Risultando evidente che i canali di fuga sono meno scabri nel reale che nel modello.

Causa la limitatissima influenza che le perdite di carico distribuite hanno nel caso studiato, si possono ritenere comunque trascurabili le eventuali modeste variazioni relative alla non perfetta riproduzione del coefficiente di scabrezza.

#### 4. La Configurazione 1: prove sviluppate e comportamento generale delle opere

Oltre ad una serie di prove di primo orientamento, sono state sviluppate prove in modo sistematico che hanno esplorato l'intero intervallo delle portate previste, da 1 a più di 30 l/s, ad intervalli di 1-1,5 l/s.

Esse sono servite principalmente a caratterizzare: 1) le prestazioni degli scaricatori a becco d'anatra inseriti nella geometria della diga; 2) l'andamento della vena liquida lungo i canali di fuga, con particolar riguardo all'attraversamento dell'asse diga; 3) l'efficienza dissipativa da un punto di vista qualitativo del sistema composto dalla vasca e dalla platea a blocchi.

Tutte le prove sviluppate sono state documentate con filmati allegati alla presente relazione in supporto magnetico (Appendice D).

##### 4.1. Lo scaricatore di superficie

In Figura 6 è riportato l'andamento dei livelli liquidi nel lago misurati a partire dalla quota di sfioro (185,00 m s.m.) in funzione delle portate scaricate così come ricavata su modello. L'analisi ha preso in considerazione portate fino a  $Tr=5000$  anni, pari a circa 30 l/s su modello. La portata caratterizzata da  $Tr=1000$  anni corrisponde su modello a circa 20 l/s.

Le stesse misure in scala di prototipo sono riportate in Figura 7, dove è indicata anche la quota di massimo invaso così come calcolata dai progettisti ai sensi del D.M. 26.06.2014.

Essendo la conformazione degli scarichi di superficie la stessa sia nella Configurazione 1 sia nella Configurazione 1-2, è riportata nelle Figure 6 e 7 l'intera serie delle misure sviluppate ad ottobre e novembre, assieme a quelle di dicembre. Rispetto alla Relazione Tecnica Preliminare, dove i valori sperimentali riportati nella scala delle portate erano quelli di livello rilevati con gli idrometri a punta e mediante lettura diretta sul display del misuratore di portata, sono stati qui riprodotti i dati acquisiti con frequenza di 100 Hz dai sensori, mediati su intervalli di tempo di almeno 60 s.

Come detto in precedenza la curva di taratura del misuratore di portata è stata fornita con lo strumento con certificato ACCREDIA, mentre per le sonde di livello una curva di taratura è stata costruita per ogni diverso giorno di prove sulla base dei dati acquisiti manualmente con

gli idrometri a punta. In Appendice C sono riportate le tabelle con i valori numerici delle curve di portata acquisite nei diversi giorni di prove.

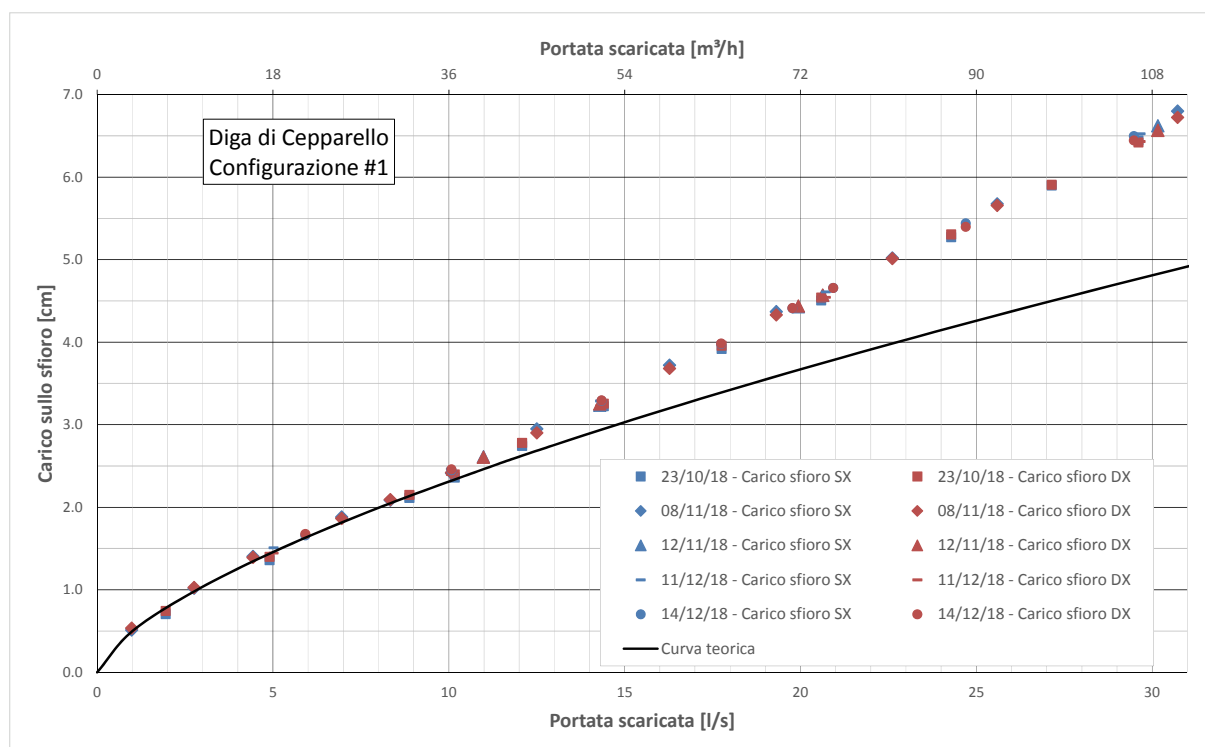


Figura 6 Scala delle portate complessive degli sfioratori in scala di modello: confronto fra i risultati sperimentali e curva teorica.

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

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

dove  $h$  è il carico sullo sfioratore.

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

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

- la limitata larghezza interna dei due becchi d’anatra a monte che porta le vene sfioranti opposte a collidere per i maggiori carichi, così come la stretta voluta planimetrica in testa allo sfioratore porta inevitabilmente le vene a convergere con la conseguente

riduzione delle curvature dei filetti fluidi e la diminuzione locale del coefficiente di deflusso <sup>(3)</sup>;

- l'effetto dei muri laterali che riducono localmente i livelli esterni allo sfioratore rispetto quelli della quota del lago indisturbato per essere le velocità non nulle;
- la crescita del tirante idrico all'interno del canale collettore che per i maggiori valori di portata può, a partire da monte, rigurgitare la vena stramazante alterando la condizione di deflusso libero <sup>(4)</sup>.

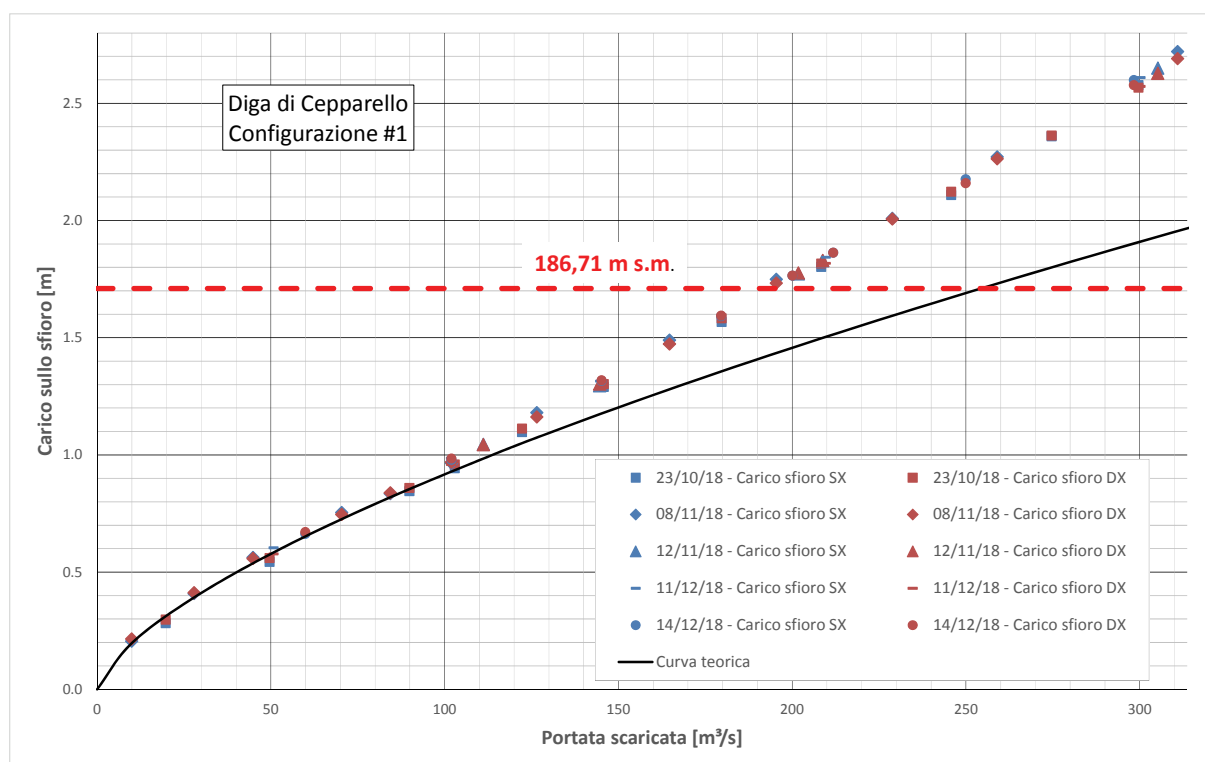


Figura 7 Scala delle portate complessive degli sfioratori in scala di prototipo: confronto fra i risultati sperimentali e curva teorica. Il ciglio dello sfioratore a cui corrisponde un carico nullo è a quota 185,00 m s.m.

I risultati sperimentali, ben distribuiti nell'arco delle portate da indagare, sono stati acquisiti in prove distinte, dimostrando con il loro accordo la riproducibilità del risultato, ovvero la stabilità del sistema indagato e l'affidabilità del sistema di acquisizione dei dati.

Dalla Figura 7 appare evidente come la quota di massimo invaso calcolata dai progettisti sia raggiunta con la configurazione sperimentata degli sfiori per una portata di circa 190 m<sup>3</sup>/s.

L'andamento della curva 'carico – portata' pur discostandosi notevolmente da quello della curva teorica a partire da portate di circa 100 m<sup>3</sup>/s, cresce in modo pressoché lineare fino ai massimi valori indagati, superiori su prototipo a 300 m<sup>3</sup>/s, valore al colmo dell'evento in ingresso al sistema caratterizzato da un tempo di ritorno  $T_r=5000$  anni.

<sup>3</sup> Si veda ad esempio: Tullis J.P., N. Amanian and D. Waldron. Design of labyrinth spillways, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, n.3, March, 1995.

<sup>4</sup> Si veda ad esempio: USACE-WES, *Hydraulic Design Criteria*, Volume 1 and 2, Vicksburg MS, 1977.

Nelle Foto da 6 a 8 è mostrato il funzionamento degli sfioratori di sinistra e di destra per le portate di 102, 144 e 202 m<sup>3</sup>/s su prototipo, rispettivamente corrispondenti ad eventi con tempo di ritorno di 50, 200 e 1000 anni circa.

Per  $Q = 102 \text{ m}^3/\text{s}$  il funzionamento del becco d'anatra di sinistra appare del tutto regolare, mentre alcuni problemi cominciano già ad apparire per il becco d'anatra di destra (Foto 6). Risulta infatti evidente come la limitata distanza del muro in destra sia causa di una evidente dissimmetria delle portate all'interno del collettore, risultando minore il contributo della vena sfiorante da destra rispetto al corrispondente da sinistra. Malgrado ciò, il risultato complessivo del sistema di sfioro descritto dai risultati sperimentali di Figura 7 è ancora molto vicino all'andamento della curva teorica, pur potendosi considerare i 100 m<sup>3</sup>/s il punto d'inizio dello scostamento dei dati sperimentali da quest'ultima.



Foto 6 Comportamento dei due sfioratori per portata su prototipo di 102 m<sup>3</sup>/s.

Infatti per la portata  $Q = 144 \text{ m}^3/\text{s}$  (Foto 7), le problematiche già evidenziate per il becco d'anatra in destra risultano sempre più rilevanti, e inizia a manifestarsi anche qualche insufficienza per il becco d'anatra di sinistra. In questo ultimo, il lato sinistro dello sfioro comincia a risentire della presenza del muro laterale, e il deflusso risulta localmente

rigurgitato nella parte più a monte. Per il becco d'anatra in destra, quasi tutta la porzione dello sfioro addossato alla parete di destra è rigurgitato, riducendosi ovviamente le portate evacuate a parità di carico sulla soglia rispetto l'andamento teorico.



Foto 7 Comportamento dei due sfioratori per portata su prototipo di  $144 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Questo appare evidente anche dal funzionamento complessivo del sistema (Figura 7), dove le sperimentazioni mostrano come, per evacuare la portata  $Q=144 \text{ m}^3/\text{s}$ , sia necessario un incremento nella quota della superficie del lago maggiore di 10 cm rispetto alle condizioni di deflusso libero e indisturbato su tutto lo sviluppo della soglia sfiorante.

Per la portata  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$  – prossima a quella di progetto – la Figura 7 mostra uno scostamento fra il dato rilevato in laboratorio e l'andamento teorico di 30 cm, valore certamente non irrilevante. Questo è dovuto al parziale rigurgito della parte più a monte del becco d'anatra in sinistra, per il quale è peraltro evidente l'effetto della prossimità del muro (in sinistra), oltre al fatto che la sola porzione terminale del becco d'anatra in destra risulta non interessata da fenomeni di rigurgito. E' comunque evidente che, fra i due, il becco d'anatra in destra alla diga risulta più penalizzato dalle condizioni al contorno, nello specifico la presenza a limitata distanza del muro laterale, e dal rigurgito dalla corrente interna al collettore.





Foto 8 Sfioratore di destra interessato dalla portata su prototipo di 202 m<sup>3</sup>/s.

Nonostante ciò, il sistema nel suo complesso è in grado di smaltire portate nell'intorno di quella millenaria con pochi centimetri di sovrizzo rispetto la quota di massimo invaso 186,71 m s.m. calcolata dai progettisti ai sensi del D.M. 26.06.2014.

#### 4.2. I canali di fuga

Nel realizzare il modello, i muri laterali a valle dell'asse diga sono stati mantenuti considerevolmente più alti di quanto lo siano su progetto per contenere comunque i sopralti della vena liquida dovuti alle curvature planimetriche.

Al fine di poter distinguere visivamente i livelli liquidi che vengono ad instaurarsi per le diverse portate, sulle sponde dei canali di fuga sono state tracciate linee continue parallele al fondo che marcano i tiranti (livelli liquidi rispetto il fondo) di metro in metro. Le sezioni significative indicate in Figura 1 sono rese evidenti su modello tramite appositi cartelli posti in corrispondenza delle verticali.



Foto 9 Livelli liquidi nella parte sommitale del canale di fuga in destra per portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Foto 10 Livelli liquidi nella parte sommitale del canale di fuga in sinistra per portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ .

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

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

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

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



Foto 11 Vista da monte della parte sommitale del canale di fuga e del becco d'anatra in destra per portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Foto 12 Vista da monte della parte sommitale del canale di fuga e del becco d'anatra in sinistra per portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ .

L'andamento della corrente nei due canali di fuga ha il tipico aspetto della condizione supercritica, con la formazione di fronti d'onda stazionari che s'incrociano e si riflettono sulle pareti (Foto 13 e Foto 14). Per una portata prossima a quella dell'evento millenario, i sopralzi localizzati possono raggiungere e talvolta superare, come risulta evidente fra le sezioni dx\_4 e dx\_5 di Foto 13, i 2 m di altezza, rimanendo comunque più contenuti rispetto quelli che è possibile osservare immediatamente a valle dei becchi d'anatra.



Foto 13 Livelli liquidi nella parte intermedia (in prossimità della sezione dx\_4) del canale di fuga in destra per portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Foto 14 Livelli liquidi nella parte intermedia (in prossimità della sezione sx\_6) del canale di fuga in sinistra per portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ .

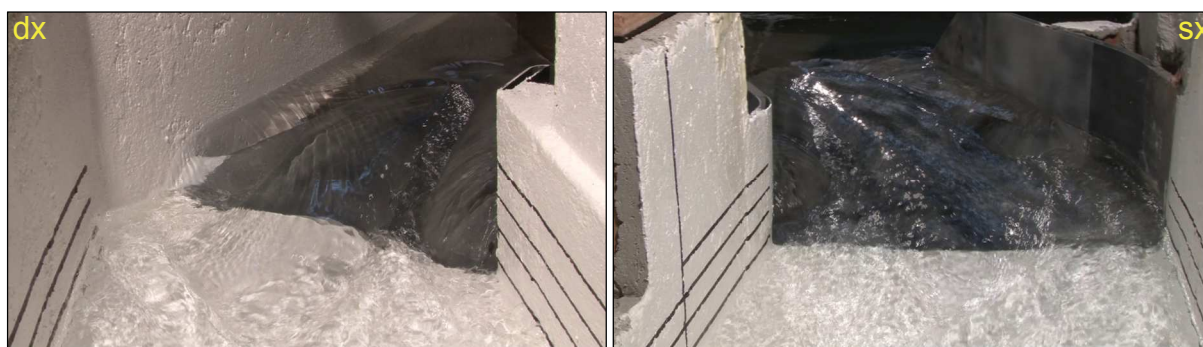


Foto 15 Livelli liquidi nella parte sommitale del canale di fuga in destra e in sinistra per portata su prototipo  $Q = 144 \text{ m}^3/\text{s}$ .

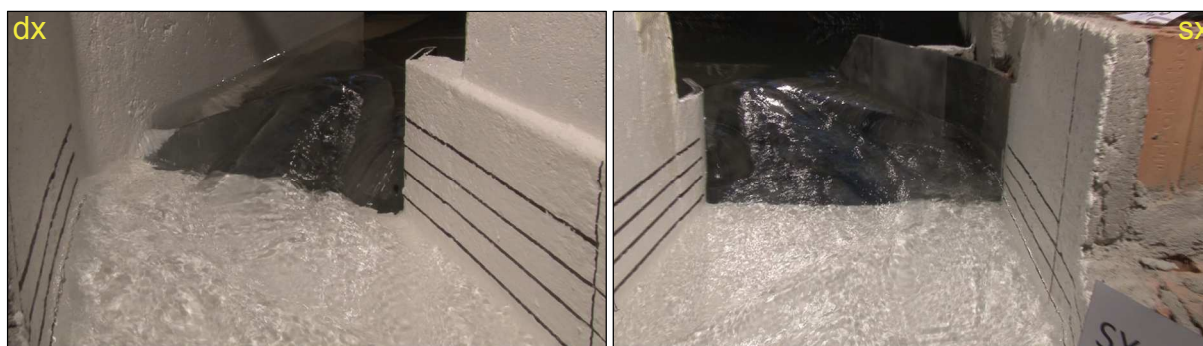


Foto 16 Livelli liquidi nella parte sommitale del canale di fuga in destra e in sinistra per portata su prototipo  $Q = 102 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Nelle Foto 15 e 16 è possibile notare come al diminuire della portata, i sopralzi massimi che si realizzano in testa ai canali di fuga, e di conseguenza anche nei tratti più a valle, si riducono, restando comunque dell'ordine dei 2 m per eventi con tempo di ritorno  $Tr=200$  anni (Foto 15) e  $Tr=50$  anni (Foto 16).

#### 4.3. Il processo dissipativo nella vasca terminale (Configurazione 1)

Nella parte terminale i livelli liquidi sono stati resi visivamente identificabili mediante linee orizzontali spazio-punto tracciate a partire dalla sommità del muro terminale della vasca di dissipazione (166,55 m s.m.), verticalmente spaziate di 1 m su prototipo.

Dal punto di vista globale, il processo dissipativo sembra essere non adeguato già per eventi corrispondenti ad un tempo di ritorno di circa 50 anni (Foto 17).

Non è evidente nessuna formazione del macrovortice caratteristico del risalto idraulico nella vasca, ma solo un fenomeno legato all'impatto delle vene contro il muro terminale simile all'urto forte. Inoltre all'aumentare delle portate (Foto 18 e 19) la vena sfiorante sullo stesso muro terminale tende a saltare parte del sistema di dissipazione a blocchi (compreso tra VS\_3 e VS\_4 circa) e si riversa nell'alveo animata da elevata velocità ed energia residua.



Foto 17 Vista complessiva del tratto terminale della vasca di dissipazione per portata su prototipo  $Q = 102 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Foto 18 Vista complessiva del tratto terminale della vasca di dissipazione per portata su prototipo  $Q = 144 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Questo si nota già per il caso con portata su prototipo di  $144 \text{ m}^3/\text{s}$  (Foto 18), ma è particolarmente evidente nella Foto 19, che corrisponde al caso di un evento con tempo di ritorno  $T_r \approx 1000$  anni ( $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ ). In tale situazione l'efficacia dissipativa dei blocchi è realmente minima, e la corrente viene restituita in alveo con velocità stimabile nell'ordine dei  $12 \text{ m/s}$  su prototipo, potendo questo essere causa di rilevanti fenomeni erosivi localizzati oltre ad indurre fenomeni di cavitazione nell'intorno degli stessi blocchi di dissipazione.



Foto 19 Vista complessiva del tratto terminale della vasca di dissipazione per portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ .

In termini di massimi livelli liquidi, per la portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ , la vena sfiorante defluisce con un tirante superiore a 3 m sul muro terminale (sezione VS\_3), e i livelli liquidi raggiungono quote superiori a 169,5 m s.m. (Foto 20).



Foto 20 Livelli liquidi nel tratto terminale della vasca di dissipazione per portata su prototipo  $Q = 202 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Per portate inferiori a quella millenaria, i massimi livelli liquidi nella vasca raggiungono quote circa pari a 169 m s.m. per  $Q=144 \text{ m}^3/\text{s}$  e circa pari a 168,5 m s.m. per  $Q=102 \text{ m}^3/\text{s}$  (Foto 21 a, b).

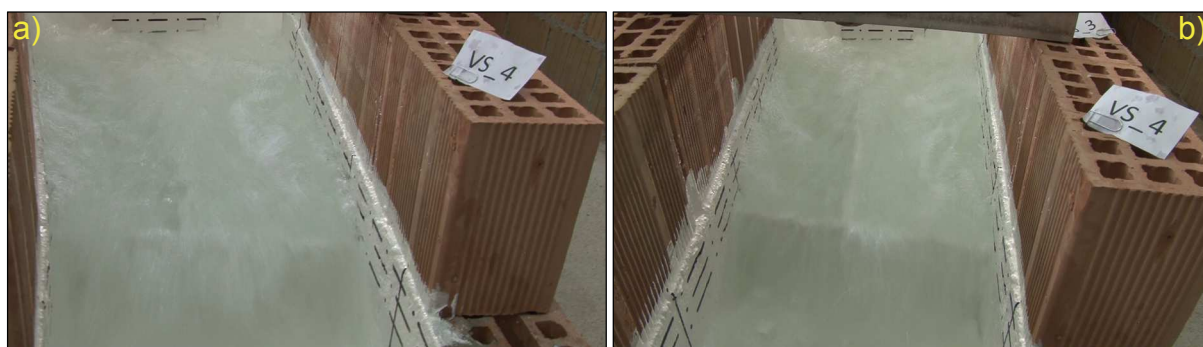


Foto 21 Livelli liquidi nel tratto terminale della vasca di dissipazione per le portate su prototipo: a)  $Q = 144 \text{ m}^3/\text{s}$ , e b)  $Q = 102 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Considerate le caratteristiche del moto, i livelli liquidi rilevati dalla sonda posta in corrispondenza della sezione VS\_3 sono variabili nel tempo, ma una loro descrizione può essere data in termini statistici. In Figura 8 per tutti i valori di portata sperimentati su modello sono riportati i valori corrispondenti ai limiti del 2° e del 3° quartile, che possono essere considerati gli estremi dei valori che mediamente si realizzano con maggior frequenza.

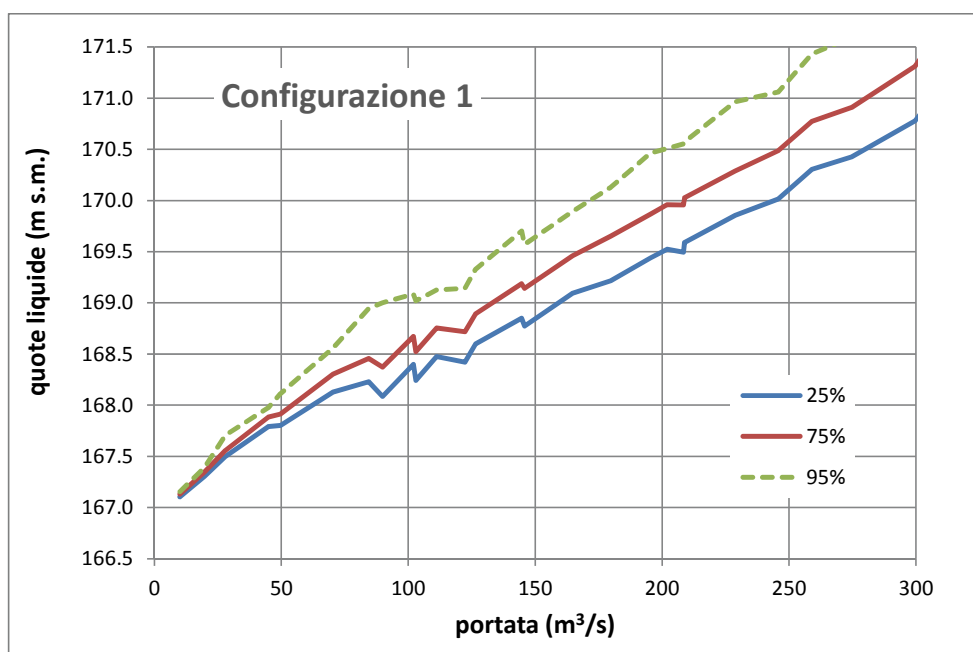


Figura 8 Limiti del 2° e del 3° quartile dei livelli liquidi registrati nella vasca di dissipazione in mezz'ora alla sezione VS\_3 nella Configurazione 1 per le diverse portate sperimentate su modello. Sono indicati anche i limiti dei livelli liquidi caratterizzati dal 95% di probabilità secondo la distribuzione normale.

I valori misurati confermano le osservazioni che è possibile dedurre dalle registrazioni video e permettono il dimensionamento in altezza di entrambi i muri della vasca di dissipazione per essere nella sezione la superficie dell'acqua mediamente la stessa, non manifestandosi in altri termini rilevanti oscillazioni trasversali, fermo restando la necessità di adottare come di consueto un opportuno franco di sicurezza.



In Figura 8 è comunque riportato anche l'andamento del limite superiore delle quote liquide che si realizzano con il 95% di probabilità, calcolate come somma della media più due volte la deviazione standard dei valori registrati. Si sottolinea che i valori a cui è attribuito il 95% di probabilità sono stati calcolati assumendo che le fluttuazioni dei livelli liquidi siano distribuite secondo la legge di probabilità normale.

## 5. La Configurazione 1-2: prove sviluppate e comportamento generale delle opere

Come premesso nel paragrafo 2, essendo stata ritenuta soddisfacente la prestazione fornita dal sistema di sfiori, nella Configurazione 1-2 si è provveduto alla sola modifica della vasca di dissipazione, che rispetto alla precedente risulta approfondita di circa 4,4 m rispetto il fondo alveo e più lunga, restituendo le portate alla sezione del corso d'acqua circa 20 m più a valle.

Restano quindi valide tutte le considerazioni precedentemente sviluppate nei paragrafi 4.1 e 4.2 sul sistema di sfiori e sui canali di fuga, mentre sono nel seguito riportate le evidenze sperimentali dedotte dalle prove sviluppate sulla nuova conformazione della vasca di dissipazione.

### 5.1. Il processo dissipativo nella vasca terminale (Configurazione 1-2)

Nella nuova vasca di dissipazione, al fine di identificare visivamente i livelli liquidi, sono state tracciate in corrispondenza alle sezioni significative illustrate in Figura 3, dei tratti orizzontali a partire dal fondo a quota 158,00 m s.m., spaziate verticalmente di una distanza corrispondente a 1 m su prototipo (Foto 6). I tratti più lunghi corrispondono ad una spaziatura di 2 m e sono tracciati fino a quota 170 m s.m. su prototipo.

Le portate indagate hanno coperto, con riferimento al prototipo, l'intervallo compreso fra 50 e 300 m<sup>3</sup>/s: come per l'analisi del sistema di sfiori e dei canali di fuga, in questa Relazione si è fatto riferimento in particolare ad eventi caratterizzati da tempi di ritorno  $T_r=50, 200$  e 1000 anni, circa corrispondenti alle prove sviluppate per  $Q=102, 145$  e 211 m<sup>3</sup>/s rispettivamente.

Fin dalle prime prove sviluppate durante la visita del Committente dell'11 dicembre 2018, la nuova configurazione ha dimostrato la propria efficacia.



Foto 22 Restituzione della portata in alveo per: a)  $Q = 102 \text{ m}^3/\text{s}$ , e b)  $Q = 144 \text{ m}^3/\text{s}$  su prototipo.

Rispetto a quella precedentemente sperimentata, la nuova opera di dissipazione, garantisce infatti sempre una regolare restituzione delle portate all'alveo come è possibile vedere dalle Foto 22 e 23.

La condizione critica che si realizza sulla parte terminale della vasca larga 8,9 m e caratterizzata da un gradino terminale alto 4,4 m, risulta regolare e controlla il livello liquido di monte contenendo agevolmente il risalto in lunghezza.



Foto 23 Restituzione della portata in alveo per  $Q = 211 \text{ m}^3/\text{s}$  su prototipo.

Pare comunque opportuno estendere in altezza la prevista protezione a scogliera che riveste la sezione naturale d'alveo immediatamente a valle del gradino poiché, come risulta evidente dalla Foto 23, questa è superata (in destra nell'immagine mostrata) da filoni concentrati della vena liquida.

In Figura 9, sono riassunti gli andamenti delle fluttuazioni della superficie registrati dalla sonda VALLE\_1, posta in corrispondenza della sezione VS\_3, e della sonda VALLE\_2, posta in corrispondenza della sezione VS\_6. Come nella precedente Figura 8, sono riportati i valori corrispondenti ai limiti del 2° e del 3° quartile dei segnali registrati oltre al limite dei livelli liquidi caratterizzati dal 95% di probabilità secondo la distribuzione normale.

La scelta di misurare in due posizioni diverse i livelli liquidi a differenza di quanto fatto nella Configurazione 1, è stata dettata dalla maggior lunghezza della vasca di dissipazione e dalla sua non regolare conformazione geometrica rispetto il classico caso di vasca rettilinea di sezione costante uniformemente alimentata da monte.

I valori registrati dalle due sonde, marcano la differenza fra le condizioni del moto nelle due sezioni monitorate dai sensori di livello. La sezione VS\_3 si trova alla fine del primo terzo della lunghezza del risalto, posizione dove – in una sezione regolare – si realizzano le

massime le pressioni fluttuanti al fondo (<sup>5</sup>), mentre la sezione VS\_6 è circa al termine del risalto, in una posizione dove l'energia in ingresso al sistema è in gran parte dissipata. Questo, assieme alla condizione di non simmetrica alimentazione, sono causa della evidente differenza dell'ampiezza delle fluttuazioni dei livelli liquidi che si registrano passando da VALLE\_1 a VALLE\_2 illustrate in Figura 9.

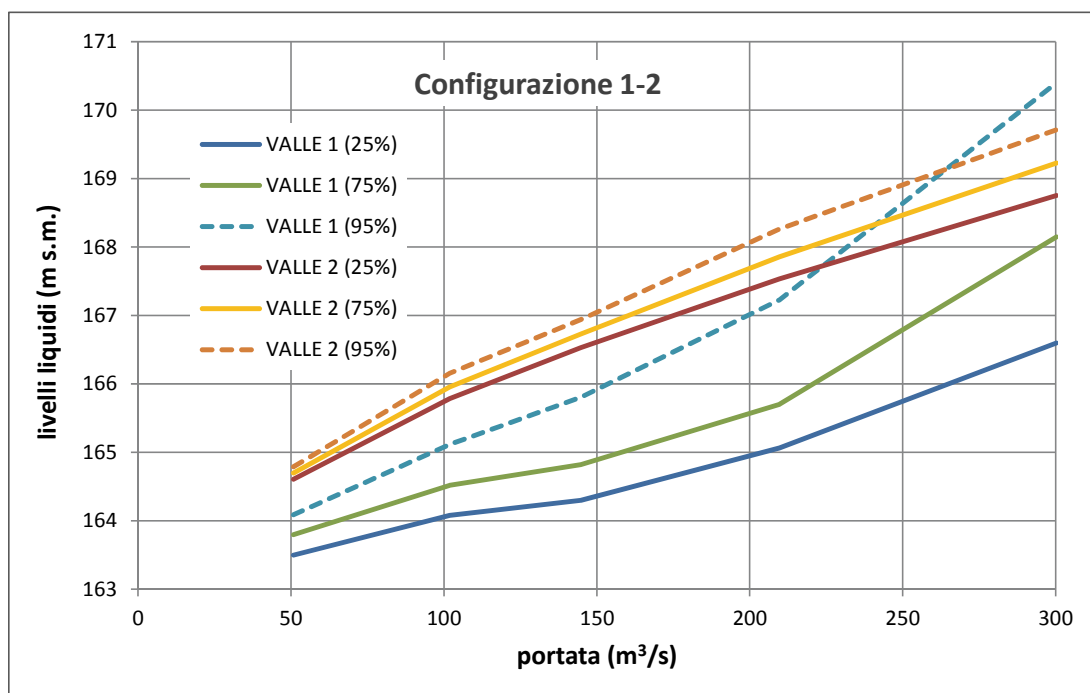


Figura 9 Limiti del 2° (25%) e del 3° (75%) quartile dei livelli liquidi registrati nella vasca di dissipazione in mezz'ora alle sezioni VS\_3 (VALLE\_1) e VS\_6 (VALLE\_2) per le diverse portate sperimentate su modello nella Configurazione 1-2. Sono indicati anche i limiti dei livelli liquidi caratterizzati dal 95% di probabilità secondo la distribuzione normale.

Per valori della portata corrispondenti all'evento millenario (211 m<sup>3</sup>/s), i livelli liquidi nella sezione VS\_3 risultano mediamente compresi fra 165 e 165,8 m s.m., i limiti del 2° e del 3° quartile rispettivamente, ma superano con il 5% di probabilità i 167,2 m s.m., mostrando una escursione di quasi 1,5 m fra i livelli che identificano il limite del 3° quartile e quelli caratterizzati dal 95% di probabilità. Le stesse escursioni si riducono a meno di 0,5 m in corrispondenza della sezione VS\_6, e valori limite del 3° quartile risultano del tutto coerenti con i livelli liquidi deducibili dalla geometria della sezione e del gradino terminale.

Sempre dalla Figura 9 si nota che per valori di portata superiori a 250 m<sup>3</sup>/s i fenomeni oscillatori in corrispondenza alla sezione VS\_3 inducono (occasionalmente) livelli liquidi superiori a quelli che caratterizzano il tratto terminale della vasca di dissipazione (sezione VS\_6).

Nella sezione VS\_3 le oscillazioni della superficie libera sono evidenti anche dalle riprese video dalle quali sono estratti i fermo immagine riportati nella Foto 24.

<sup>5</sup> Si veda ad esempio: Fiorotto, V., and Rinaldo, A. (1992). "Turbulent pressure fluctuations under hydraulic jumps." *J. Hydr. Res., Delft, The Netherlands*, 30(4), 499–520.

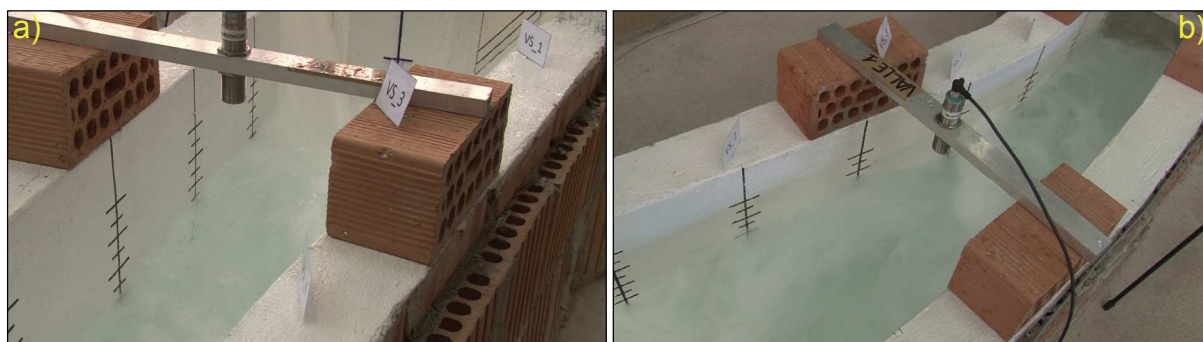


Foto 24 Vista della sponda destra da valle (a) e sinistra da monte (b) in corrispondenza della sezione VS\_3 per la portata  $Q = 211 \text{ m}^3/\text{s}$  su prototipo.

Dalle indicazioni grafiche riportate sulle pareti i livelli liquidi per la stessa portata  $Q = 211 \text{ m}^3/\text{s}$  risultano inferiori a 165 m s.m. in destra e superiori a 167 m s.m. in sinistra, quindi con rapide oscillazioni contro parete più ampie di quelle che si realizzano al centro della sezione e rilevate dal sensore di livello ad ultrasuoni. Si possono anche osservare in corrispondenza alla sezione VS\_3 occasionali sopralzi che raggiungono in sinistra i 168 m s.m., come documentato nella successiva Foto 27, quindi maggiori di quasi 1 m rispetto ai livelli che si realizzano con il 5% di probabilità in mezzera della sezione (Figura 9).

Ovviamente l'entità dei sopralzi si riduce al diminuire delle portate, come è facile evincere dalle Foto 25 e 26, pur permanendo oscillazioni contro parete di una certa entità.

I sopralzi contro parete che si manifestano in particolare nella parte più a monte della vasca di dissipazione sono, come è detto, causati anche dalla dissimmetrica immissione delle portate in arrivo dai due canali di fuga e dalla curvatura verso sinistra di questa ultima, come è possibile evincere dalla geometria del sistema illustrata nella planimetria di Figura 5.

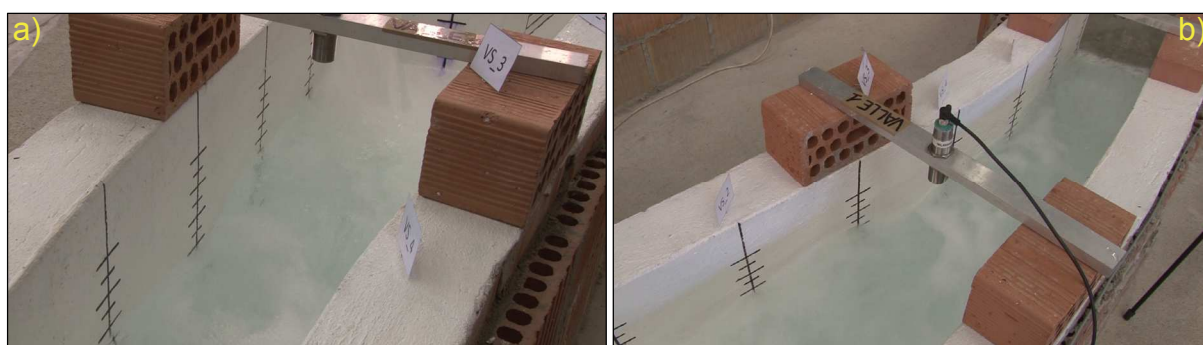


Foto 25 Vista della sponda destra da valle (a) e sinistra da monte (b) in corrispondenza della sezione VS\_3 per la portata  $Q = 145 \text{ m}^3/\text{s}$  su prototipo.

Malgrado la portata in arrivo dal canale di fuga di sinistra sia superiore a quella proveniente dal corrispondente canale di destra, la conformazione geometrica delle opere fa sì che il getto proveniente da destra giunga quasi incontrastato contro la parete di sinistra fra le sezioni VS\_2 e VS\_3, contribuendo non poco al sopralzo precedentemente messo in evidenza.

Tale effetto si evince chiaramente dall'esame della Foto 27. Malgrado i due getti s'incrocino circa in corrispondenza della sezione VS\_1, quello proveniente da destra prevale ed infrangendosi contro la parete in sinistra causa un sopralzo (istantaneo) in corrispondenza della sezione VS\_3 fino a quota 168 m s.m.

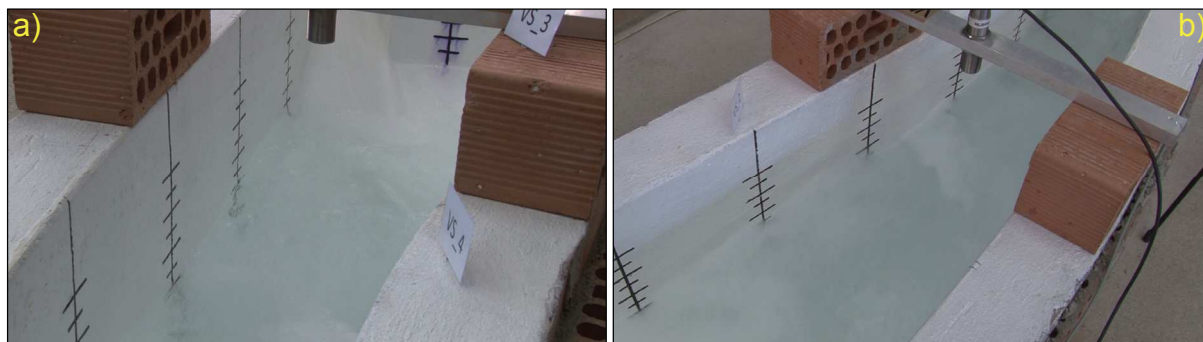


Foto 26 Vista della sponda destra da valle (a) e sinistra da monte (b) in corrispondenza della sezione VS\_3 per la portata  $Q = 102 \text{ m}^3/\text{s}$  su prototipo.



Foto 27 Ripresa del getto proveniente dal canale di fuga destro che impatta sulla sponda in sinistra fra le sezioni VS\_2 e VS\_3. Portata  $Q = 211 \text{ m}^3/\text{s}$  su prototipo.

Come già osservato per i livelli in mezzera dall'esame della Figura 9, anche i sopralzi contro parete si riducono progressivamente da monte verso valle avvicinandosi man mano ai valori rilevati dalla sonda VALLE\_2 in corrispondenza della sezione VS\_6, come si può notare dall'esame della Foto 28 che mostra la parete destra della vasca da VS\_1 a VS\_6.

A differenza di quanto accade nella sezione VS\_3, dal riscontro visivo con il materiale fotografico e video, è possibile verificare che i valori rilevati dalla sonda VALLE\_2 sono mediamente quelli che si realizzano sull'intera sezione. Per contenere anche i significativi sopralzi contro parete che si realizzano nelle sezioni a monte, i limiti del 3° quartile dei livelli

liquidi riportati in Figura 9 per la sonda VALLE\_2 possono essere di conseguenza presi a riferimento per il dimensionamento dell'altezza dei muri della vasca di dissipazione, assumendo come di consueto un adeguato franco di sicurezza.



Foto 28 Variazione delle oscillazioni lungo la parete destra della vasca di dissipazione per la portata  $Q = 211 \text{ m}^3/\text{s}$  su prototipo (vista da monte delle sezioni da VS\_1 a VS\_6).

## 6. Conclusioni

L'esame su modello idraulico in scala 1:40 del comportamento delle opere di scarico e dissipazione della diga Drove di Cepparello (Poggibonsi - Siena), ha preso in considerazione una singola configurazione dei sistemi di sfioro e dei canali di fuga, e due diverse configurazioni della vasca di dissipazione. Nella presente Relazione la combinazione di scarichi di superficie, canali di fuga e la prima vasca di dissipazione, è denominata Configurazione 1, mentre la Configurazione 1-2 è quella che ha preso in esame la seconda tipologia di vasca di dissipazione al posto della prima.

Dalle sperimentazioni sviluppate su modello in similitudine di Froude, possono essere dedotti i seguenti risultati.

- 1) Il sistema di sfioro, costituito da due becchi d'anatra con diverso sviluppo della cresta sfiorante, risultano in grado di scaricare a valle la portata corrispondente all'evento millenario con quota nel lago 186,80 m s.m. circa, valore di poco superiore rispetto la quota di massimo invaso 186,71 m s.m. calcolata dai progettisti ai sensi del D.M. 26.06.2014.
- 2) Il massimo tirante nei canali di fuga, si realizza nella parte sommitale degli stessi, contro la parete esterna in corrispondenza della prima curvatura planimetrica e corrisponde a circa 3 m. La superficie liquida mostra il tipico andamento delle correnti supercritiche, con fronti d'onda stazionari che s'incrociano, diminuendo comunque muovendosi verso valle l'entità dei sopralzi localizzati contro parete.

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

- 3) Il funzionamento della vasca di dissipazione nella Configurazione 1 non risulta ottimale, presentando la corrente restituita in alveo un elevato contenuto energetico e rilevanti velocità. Non è riconoscibile un risalto completamente sviluppato probabilmente per la limitata lunghezza della vasca, e il sistema di dissipazione a blocchi realizzato a valle è parzialmente ‘saltato’ dal getto in uscita dal muro terminale della vasca. I livelli liquidi che si realizzano nella vasca di dissipazione per l’evento millenario risultano circa pari a 170 m s.m.
- 4) La vasca di dissipazione nella Configurazione 1-2 dimostra di essere in grado di restituire la corrente all’alveo naturale in condizioni ottimali, assimilabili a quella critica sul gradino terminale per un ampio intervallo di portate. Il risalto risulta adeguatamente contenuto nello sviluppo totale della vasca dove i massimi livelli liquidi per la portata millenaria si attestano attorno a 168 m s.m. (168,4 m s.m. se si prende a riferimento una probabilità di superamento dei sovralti istantanei pari al 5%). Nella parte superiore della vasca sono presenti rilevanti oscillazioni trasversali che sono causa di risalite dei livelli contro parete fino a quote che, per l’evento di progetto, risultano comparabili con quelle che si realizzano immediatamente a monte del gradino terminale. Tali oscillazioni, che vanno comunque attenuandosi verso valle, sono principalmente imputabili alla dissimmetria dei getti che s’incrociano uscendo dai due diversi canali di fuga nella parte iniziale del risalto, dove il processo dissipativo che caratterizza tale fenomeno non si è ancora realizzato.
- 5) Il sistema degli sfiori, dei canali di fuga e della vasca di dissipazione nella Configurazione 1-2 è stato sperimentato anche per eventi ben superiori a quello millenario, mostrando comunque un buon comportamento generale delle opere, anche se per valori di portata eguali o superiori a quelli di progetto le oscillazioni trasversali in corrispondenza alle prime sezioni iniziali della vasca di dissipazione assumono entità non trascurabili.

Padova, marzo 2019

Responsabili della Ricerca

Prof. Ing. Paolo Salandin



Prof. Ing. Matteo Camporese

Il Direttore del Dipartimento

Prof. Ing. Carlo Pellegrino

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

APPENDICE A - Verbale della visita al laboratorio del 12.11.2018

Il giorno 12.11.2018 presso il Laboratorio di Idraulica e di Costruzioni idrauliche del Dipartimento ICEA, alle ore 10:30 si sono riuniti i Rappresentanti del Committente e del Dipartimento per una prima visita al modello della diga di Cepparello.

La configurazione riprodotta su modello è la n.ro 1.

Sono presenti:

dott. Carlo Ferri (Ingegnerie Toscane Srl)

ing. David Settesoldi (West Systems Srl)

geom. Alessandro Pioli (Acque Spa)

prof. Paolo Salandin – Responsabile della Ricerca (Dipartimento ICEA)

prof. Matteo Camporese – Responsabile della Ricerca (Dipartimento ICEA)

Viene preliminarmente constatata la corretta riproduzione del modello. Viene successivamente aperta l'alimentazione essendo già tutto approntato dal personale tecnico del Dipartimento per lo svolgimento delle prove. Si osserva il contemporaneo inizio dello sfioro sui due becchi d'anatra.

Viene verificato il funzionamento per le portate: 39,5; 51,4; 71,8; 75; 108 m<sup>3</sup>/h.

I presenti prendono visione del funzionamento generale delle opere, anche alla luce dei primi valori sperimentali già ricavati in precedenza.

In particolare ci si sofferma sui seguenti aspetti:

- funzionamento degli sfioratori a becco d'anatra;
- andamento della vena nei canali di fuga;
- livelli liquidi nella vasca di dissipazione e funzionamento generale della stessa.

Al termine delle prove, viene chiusa l'alimentazione per discutere di eventuali modifiche da apportare alla forma e/o alla posizione degli scaricatori e della vasca di dissipazione.

Le parti convengono di sospendere le sperimentazioni dopo aver raccolto il materiale utile alla stesura di una prima relazione preliminare che illustri il funzionamento generale delle opere allo scopo di affinare la soluzione progettuale e definire le successive configurazioni da analizzare.

Alle ore 14:30 la visita si conclude.

Padova, 12 novembre 2012

dott. Carlo Ferri

ing. David Settesoldi

geom. Alessandro Pioli

prof. Paolo Salandin

prof. Matteo Camporese



*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

APPENDICE B - Verbale della visita al laboratorio del 11.12.2018

Il giorno 11.12.2018 presso il Laboratorio di Idraulica e di Costruzioni idrauliche del Dipartimento ICEA, alle ore 11:00 si sono riuniti i Rappresentanti del Committente e del Dipartimento per una seconda visita al modello della diga di Cepparello. Sono presenti altresì i funzionari della Direzione Dighe nel seguito elencati.

La configurazione riprodotta su modello è la n.ro 1 per quanto riguarda il sistema di sfiori, la n.ro 2 per quanto riguarda la vasca di dissipazione.

Sono presenti:

dott. Carlo Ferri (Ingegnerie Toscane Srl)  
ing. Matteo Betti (Ingegnerie Toscane Srl)  
ing. David Settesoldi (West Systems Srl)  
geom. Alessandro Pioli (Acque Spa)  
ing. Francesco Santoro (Direzione Generale Dighe)  
ing. Francesca Pianigiani (Direzione Generale Dighe)  
ing. Sara Pascucci (Direzione Generale Dighe)  
prof. Paolo Salandin – Responsabile della Ricerca (Dipartimento ICEA)

Viene preliminarmente analizzato il modello verificandone la corretta riproduzione rispetto le tavole di progetto. Viene successivamente aperta l'alimentazione essendo già tutto approntato dal personale tecnico del Dipartimento per lo svolgimento delle prove.

Viene verificato il funzionamento, registrando in lettura manuale i seguenti valori di portate e carico sulla quota di sfioro, misurate in due diverse posizioni (sx e dx) nella vasca con punte idrometriche al nonio di millimetro. La portata è letta sul display del misuratore di portata.

Portata (m <sup>3</sup> /h)	Carico in sx (cm)	Carico in dx (cm)
18,1	1,50	1,41
36,4	2,47	2,41
51,4	3,32	3,24
75,0	4,56	4,58
106,7	6,54	6,40

Fra i valori di portata simulati sul modello, quello di 75 m<sup>3</sup>/h è di poco superiore alla portata con tempo di ritorno Tr=1000 anni.

I presenti prendono visione del funzionamento generale delle opere, anche alla luce dei primi valori sperimentali già esaminati su registrazioni video.

In particolare ci si sofferma sui seguenti aspetti:

- funzionamento degli sfioratori a becco d'anatra;
- andamento della vena nei canali di fuga;
- livelli liquidi nella vasca di dissipazione e funzionamento generale della stessa.

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

Al termine delle prove, viene chiusa l'alimentazione per discutere di eventuali migliorie da apportare alla vasca di dissipazione (con lo scopo di ridurre l'altezza dei muri laterali), vasca il cui funzionamento risulta peraltro efficace in tutto l'ambito delle portate indagate.

I funzionari della Direzione Generale Dighe escono alle 14:00.

Successivamente si apre una discussione sulle attività ancora da svolgere.

Le parti convengono di sviluppare una serie sistematica di misure sulla configurazione di scarichi e vasca di dissipazione esaminata in data odierna al fine di produrre la relazione definitiva entro il 14 gennaio 2019.

Alle ore 15:30 la visita si conclude.

Padova, 11 dicembre 2018

ing. Francesco Santoro

ing. Francesca Pianigiani

ing. Sara Pascucci

dott. Carlo Ferri

ing. Matteo Betti

ing. David Settesoldi

geom. Alessandro Pioli

prof. Paolo Salandin

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

APPENDICE C - Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate

<b>23/10/2018</b>						
<b>Portata in ingresso</b>			<b>23/10/18 - Carico sfioro SX</b>		<b>23/10/18 - Carico sfioro DX</b>	
<i>Modello [l/s]</i>	<i>Modello [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Reale [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>
1.955	7.037	19.779	0.71	0.28	0.74	0.30
4.909	17.674	49.679	1.36	0.54	1.40	0.56
8.883	31.979	89.889	2.11	0.85	2.15	0.86
10.172	36.618	102.930	2.36	0.94	2.40	0.96
12.085	43.505	122.288	2.74	1.10	2.78	1.11
14.411	51.881	145.833	3.22	1.29	3.25	1.30
17.760	63.936	179.718	3.92	1.57	3.95	1.58
20.591	74.127	208.363	4.50	1.80	4.54	1.82
24.286	87.428	245.754	5.27	2.11	5.30	2.12
27.145	97.721	274.686	5.90	2.36	5.91	2.36
29.616	106.618	299.695	6.44	2.58	6.42	2.57

<b>08/11/2018</b>						
<b>Portata in ingresso</b>			<b>08/11/18 - Carico sfioro SX</b>		<b>08/11/18 - Carico sfioro DX</b>	
<i>Modello [l/s]</i>	<i>Modello [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Reale [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>
0.984	3.542	9.958	0.51	0.20	0.53	0.21
2.759	9.931	27.914	1.02	0.41	1.03	0.41
4.436	15.970	44.889	1.40	0.56	1.39	0.56
6.955	25.036	70.375	1.88	0.75	1.86	0.74
8.338	30.018	84.378	2.08	0.83	2.09	0.84
10.076	36.275	101.965	2.41	0.96	2.42	0.97
12.505	45.018	126.542	2.95	1.18	2.90	1.16
16.276	58.592	164.698	3.72	1.49	3.68	1.47
19.315	69.532	195.450	4.37	1.75	4.33	1.73
22.613	81.407	228.828	5.02	2.01	5.01	2.00
25.597	92.148	259.019	5.68	2.27	5.66	2.26
30.726	110.615	310.929	6.80	2.72	6.72	2.69

<b>12/11/2018</b>						
<b>Portata in ingresso</b>			<b>12/11/18 - Carico sfioro SX</b>		<b>12/11/18 - Carico sfioro DX</b>	
<i>Modello [l/s]</i>	<i>Modello [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Reale [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>
10.988	39.557	111.191	2.61	1.04	2.60	1.04
14.289	51.442	144.598	3.24	1.29	3.25	1.30
19.944	71.800	201.824	4.43	1.77	4.44	1.78
20.638	74.295	208.837	4.57	1.83	4.57	1.83
30.165	108.595	305.251	6.62	2.65	6.57	2.63

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

<b>11/12/2018</b>						
<b>Portata in ingresso</b>			<b>11/12/18 - Carico sfioro SX</b>		<b>11/12/18 - Carico sfioro DX</b>	
<i>Modello [l/s]</i>	<i>Modello [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Reale [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>
5.019	18.069	50.791	1.51	0.60	1.44	0.58
10.067	36.243	101.875	2.46	0.99	2.40	0.96
14.301	51.485	144.719	3.29	1.31	3.23	1.29
20.723	74.601	209.697	4.61	1.84	4.54	1.82
29.675	106.830	300.291	6.52	2.61	6.43	2.57

<b>14/12/2018</b>						
<b>Portata in ingresso</b>			<b>14/12/18 - Carico sfioro SX</b>		<b>14/12/18 - Carico sfioro DX</b>	
<i>Modello [l/s]</i>	<i>Modello [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Reale [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>	<i>Modello [cm]</i>	<i>Reale [m]</i>
5.920	21.312	59.905	1.66	0.66	1.68	0.67
10.080	36.288	102.002	2.45	0.98	2.46	0.98
14.345	51.642	145.162	3.29	1.32	3.29	1.32
17.750	63.898	179.612	3.98	1.59	3.98	1.59
19.777	71.196	200.125	4.41	1.76	4.41	1.77
20.936	75.369	211.856	4.66	1.86	4.66	1.86
24.699	88.915	249.933	5.44	2.18	5.40	2.16
29.481	106.130	298.324	6.50	2.60	6.44	2.58

*Diga Drove di Cepparello*  
*Relazione Definitiva – Gennaio 2019 (aggiornata a Marzo 2019)*

APPENDICE D - Elenco delle riprese video allegate

Riprese video relative alle prove significative sviluppate su modello allegate alla presente Relazione.

Conf_1_102 Conf_1_144 Conf_1_202	Riprese video relative alla prova per la portata $Q = 102, 144$ e $202 \text{ m}^3/\text{s}$ su prototipo nella Configurazione 1
Conf_12_102 Conf_12_145 Conf_12_211	Riprese video relative alla prova per la portata $Q = 102, 145$ e $211 \text{ m}^3/\text{s}$ su prototipo nella Configurazione 1-2