

L'ACQUA



Digital

Automazione ValORIZZAZIONE

Efficienza

Sviluppo

Misura

Processi

RETIACQUA

Tecnologia Strategia Ricerca
Qualità Innovazione Regolazione

Terranova propone alle **Aziende del Settore Idrico** l'innovativa piattaforma software **RETIACQUA**, dedicata all'**automazione dei processi di core business previsti dal Settore**, in ottica di **Digital Transformation** e nel rispetto degli standard di qualità del servizio, attesi dalla **Regolazione**.

La suite **RETIACQUA** è costituita da aree funzionali integrate, a supporto dei processi di core business delle Società di gestione del Servizio Idrico, quali:

- Customer Care & Contact Center
- Raccolta e validazione dei dati di misura
- Fatturazione, Contabilità Clienti, Incassi e Morosità
- Gestione evoluta recupero del credito
- Adempimenti normativi e Reporting
- Attività Tecniche e Work Force Automation
- Analisi e Reportistica

CUSTOMER CENTRIC

RETIACQUA opera in un contesto di continua evoluzione, data principalmente dalla presenza di ARERA, che ha mandato di rendere efficiente l'intera filiera di gestione tramite regolazione.

INTEGRATO

Grazie alla tecnologia proprietaria T-Sharp, **RETIACQUA** si integra con tutti i tipi di ERP e software aziendali mettendo a disposizione servizi che operano con le più moderne tecnologie di comunicazione, come Web Api e Web Service, in modo da ottenere e trasmettere dati in Real Time.

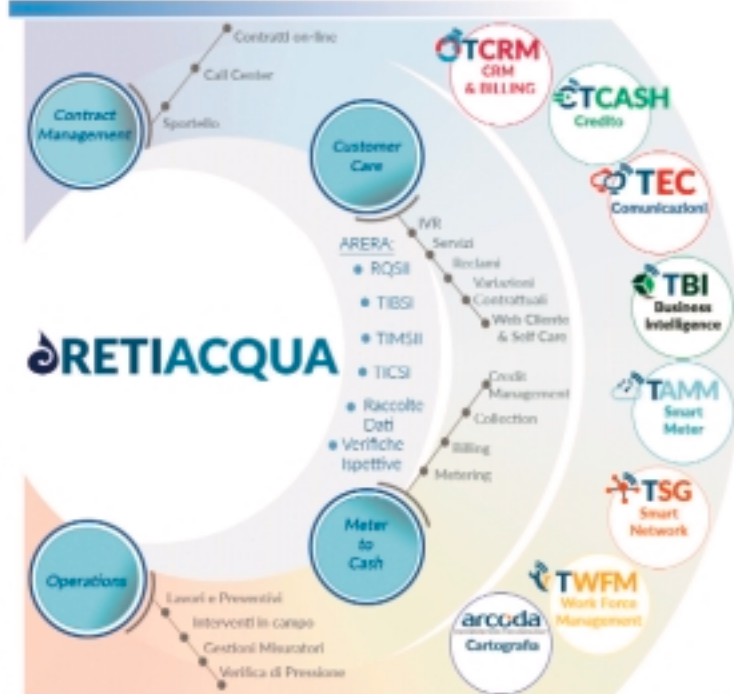
MODULARE

Soluzione completa per tutte le attività di gestione del Servizio Idrico, può essere adottato gradualmente, secondo le esigenze dell'Azienda.

PRONTO ALL'EVOLUZIONE

Risponde al cambiamento per garantire la compliancy ed allo stesso tempo per garantire la propria efficienza ed efficacia tecnica e commerciale.

Architettura della soluzione RETIACQUA



Save the date

H₂O Utilities Forum

TERRANOVA ORGANIZZA LA IV EDIZIONE DELL'EVENTO H₂O UTILITIES FORUM
VERONA, 19 MARZO 2020, presso l'Auditorium Trilance, in Via Tolomeo 11 - VR
APPUNTAMENTO GRATUITO DI CONFRONTO PER LE AZIENDE DEL SETTORE IDRICO, PER
DARE TESTIMONIANZA DEI L'ULTIME EVOLUZIONI DI MERCATO,
DA PARTI DI ESPERTI DEL SETTORE, SU TEMATICHE DI RILEVATO.

Per maggiori info contattate il marketing@terranovasoftware.eu





Direttore Responsabile

Armando Brath

direttore@idrotecnicaitaliana.it

Comitato Tecnico-Scientifico

Renata Archetti

Lorenzo Bardelli

Marcello Benedini

Giuseppe Bortone

Bruno Brunone

Paolo Carta

Rosella Caruana

Carlo Ciaponi

Pierluigi Claps

Maria Cristina Collivignarelli

Bernardo De Bernardinis

Paolo De Girolamo

Roberto Deidda

Vittorio Di Federico

Renato Drusiani

Giorgio Federici

Francesco Federico

Marco Franchini

Gabriele Freni

Maurizio Giugni

Andrea Goltara

Salvatore Grimaldi

Ruggiero Jappelli

Goffredo La Loggia

Stefano Lanzoni

Francesco Macchione

Beatrice Majone

Antonio Massarutto

Mario Rosario Mazzola

Giovanni Menduni

Alberto Montanari

Michele Mossa

Francesco Napolitano

Francesco Puma

Roberto Ranzi

Enrico Rolle

Giuseppe Rossi Paradiso

Paolo Salandin

Maria Giovanna Tanda

Attilio Toscano

Lucio Ubertini

Massimo Veltri

Pasquale Versace

Responsabile della Redazione

Olimpia Arcella

328 1205467

arcella.acqua@idrotecnicaitaliana.it

Segretaria di Redazione

Caterina Porfidia

320 7872904

acqua@idrotecnicaitaliana.it

Impaginazione e grafica

PixelStudio

di Michele Massara

pixelstudio@fastwebnet.it

Archivio fotografico

Giorgio Carlini, ACQUE SpA, Pisa

Mara De Donato, GORI SpA,

Ercolano (NA)



In copertina: Diga di Poggio Cancelli, Lago di Campotosto (AQ). Foto di Egzon Kodrali. 1° Concorso Fotografico ITCOLD 2018.

Editore

Associazione Idrotecnica Italiana

Via di Santa Teresa, 23 - 00198 ROMA

www.idrotecnicaitaliana.it

e-mail: acqua@idrotecnicaitaliana.it

RIVISTA ASSOCIATA



Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 15595 del 21 agosto 1974

Iscrizione al ROC n. 4201 del 29 agosto 2002

Spedizione in abbonamento postale 70% - ROMA

Le opinioni e i contenuti espressi dagli Autori non impegnano la Direzione

La riproduzione delle illustrazioni e degli articoli pubblicati dalla rivista è riservata e non può avvenire senza l'autorizzazione della Casa Editrice.

Finito di stampare nel mese di gennaio 2020 da Romana Editrice srl - Via dell'Enopolio, 37 - 00030 San Cesareo (RM)





Cari Lettori,

il fascicolo de L'Acqua che vi accingente a sfogliare è per la quasi totalità dedicato ad ospitare le relazioni tenute al Convegno nazionale su *"Le grandi dighe italiane. Una risorsa per il territorio"*, organizzato dall'Associazione Idrotecnica Italiana in collaborazione con la Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e svoltosi il 6 maggio u.s. a Roma, con amplissima partecipazione di pubblico.

Il Convegno è stato organizzato con la finalità di fare il punto sulla situazione degli invasi artificiali esistenti nel nostro Paese. Si tratta di un importantissimo patrimonio infrastrutturale sia per la numerosità dei manufatti che per le funzioni essenziali che essi esercitano, delle quali vi è spesso scarsa consapevolezza quando non ignoranza. In Italia si contano ben 532 grandi dighe (manufatti di sbarramento aventi altezza maggiore di 15 m o volume di invaso superiore a un milione di m³), di interesse nazionale e sulle quali viene operata la vigilanza da parte dello Stato, e circa 9.500 sbarramenti minori (secondo il censimento del 1995, le stime odierne parlano di oltre 12.000 opere), le cosiddette piccole dighe vigilate dalle Regioni. La capacità di invaso delle grandi dighe esistenti in Italia ammonta complessivamente a circa 13.5 miliardi di mc; volume di tutto rilievo come si evince dalla constatazione che si tratta di circa 225 mc per abitante o, per altro verso, che il prelievo annuo di risorsa idrica dall'ambiente per i vari usi ammonta in Italia, a seconda delle fonti, a 34÷40 miliardi di mc.

Le funzioni cui assolvono le grandi dighe sono importantissime. Innanzitutto, gli invasi artificiali, regolando i deflussi fluviali naturali dei corsi d'acqua intercettati, consentono il soddisfacimento dei fabbisogni idrici per gli usi potabili, industriali e soprattutto irrigui. In secondo luogo, come mostrato anche da alcune relazioni tenute al Convegno e qui pubblicate, queste opere esercitano in ogni caso un effetto di moderazione delle piene dei territori a valle, mitigandone l'esposizione al rischio idraulico; funzione che, in Italia, riveste spesso rilevanza strategica, dato che la veloce e disordinata crescita urbana avvenuta nella seconda metà del secolo scorso ha reso idraulicamente molto vulnerabili ampie parti del territorio nazionale. In terzo luogo, gli invasi possono fornire un importante contributo alla mitigazione degli effetti dei fenomeni di siccità, come mostrato dalle ormai numerose evidenze storiche recenti. In quarto luogo, le dighe assolvono un'importante funzione di produzione di energia rinnovabile; anche se dal 2008 circa si assiste a una progressiva crescita dell'importanza delle cosiddette "nuove fonti rinnovabili" (eolica, bioenergie e soprattutto solare), l'energia idroelettrica rappresenta tuttora la fonte principale tra le rinnovabili in termini di energia prodotta (circa il doppio del solare in termini di GWh prodotti) e ha inoltre minore impatto ambientale rispetto alle altre fra le quali può considerarsi la fonte più pulita. Inoltre, la porzione di questa produzione idroelettrica proveniente da impianti con regolazione dei deflussi (che presuppongono la presenza di dighe), pari mediamente al 56% del totale, ha una valenza imprescindibile per le sue peculiari funzioni di sostegno al funzionamento della rete elettrica.

Ancora, gli invasi esercitano in molti casi funzioni naturalistiche, di rivitalizzazione e rifunzionalizzazione dei corsi d'acqua intercettati, sostenendone con appositi rilasci portate e livelli di magra; contribuendo in tal modo a mantenere, negli stessi corsi d'acqua, livelli di deflusso ecologico più elevati di quelli che il regime fluviale naturale consentirebbe di ottenere. Infine, le dighe assolvono spesso un'importante funzione di impronta paesaggistica e di creazione di nuovi ecosistemi di elevato valore ambientale, come testimoniato dal notevole richiamo che molti di questi esercitano per gli usi ricreativi e sui flussi turistici.

A fronte dell'incommensurabile valore economico, sociale e ambientale di questo patrimonio infrastrutturale nazionale, non sono pochi i problemi aperti che riguardano oggi il settore delle dighe. All'analisi delle criticità ma anche alle opportunità e alle prospettive del settore è stato dedicato il Convegno nazionale del 6 maggio 2019.



Se da un lato, gli eventi alluvionali e i fenomeni siccitosi che si sono susseguiti in questi ultimi anni hanno confermato che le grandi dighe italiane svolgono un ruolo chiave per assicurare, da un lato, la mitigazione del rischio idraulico e, dall'altro lato, la disponibilità della risorsa idrica, dall'altro lato è indubbio che, nei prossimi anni, si presenteranno sfide cruciali per il complesso delle grandi dighe italiane: in primo luogo garantire adeguate condizioni di sicurezza a fronte di un parco opere che ha oltre 65 anni di vita media, con punte che superano i 100; fronteggiare i cambiamenti climatici in atto, che comporteranno sollecitazioni idrologiche non prevedibili all'epoca della loro progettazione; svolgere compiti di difesa idraulica dei territori vallivi, senza tuttavia eccessivamente penalizzare gli usi a cui le dighe sono prioritariamente destinate; recuperare la piena capacità di invaso di molte dighe esistenti che, pur a distanza di decenni, non è stata ancora raggiunta o deve essere recuperata (su un totale di 532 grandi dighe esistenti solo 379 sono in esercizio senza limitazioni, mentre fra le rimanenti per ben 81 devono essere completate le procedure di invaso sperimentale), rimuovendo le condizioni ostative tuttora esistenti. Per risolvere le menzionate criticità, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha negli ultimi anni avviato diverse linee di azione con piani nazionali di intervento dotati di importanti finanziamenti, come il lettore potrà rilevare nel dettaglio da alcuni degli interventi pubblicati.

Questa rinnovata attenzione dedicata al settore dighe, pur nella consapevolezza della rilevanza delle sfide aperte, consente di guardare con ragionevole ottimismo agli sviluppi che si avranno nel prossimo futuro. Gli Atti del Convegno, raccolti nel presente fascicolo, per l'ampio spettro dei temi affrontati e per il livello di approfondimento della trattazione, reso possibile dall'elevata competenza dei Relatori, costituiscono un documento di stato dell'arte, unico e aggiornato, sul tema delle grandi dighe italiane; essi rappresentano un contributo di conoscenza che l'Associazione Idrotecnica Italiana ha inteso mettere a disposizione di tutti per agevolare i percorsi futuri.

Il fascicolo si completa con un articolo di L. Da Deppo sulla diga ad arco di Ponte Serra, una delle più antiche in Italia; si tratta infatti di un manufatto che ha compiuto ben 110 anni e che è comunque tuttora in esercizio e in buone condizioni di funzionalità. Segue un articolo di R. Drusiani, L. J. Del Giacco e A. Caprari che esamina lo sviluppo delle macchine per il sollevamento d'acqua, nella ricorrenza del cinquecentesimo anniversario della morte di Leonardo da Vinci. La sezione Discussione si apre con una riedizione del contributo di M. Veltri già apparso nel numero precedente, ripubblicato a motivo di alcuni refusi ivi presenti, sui contenuti del quale ho già esposto nell'editoriale del n.5-2019 alcune mie riflessioni, cui rimando il lettore interessato; nella stessa sezione, compare poi uno scritto di R. Jappelli, nel quale l'A. affronta il tema del naturale conflitto tra l'incertezza, che è inevitabilmente insita in qualunque previsione degli eventi futuri, e l'irrazionale, ma naturale anelito, alla completa prevedibilità del futuro, che pervade la società ("Il mito della certezza", come da titolo dello scritto); una dicotomia che pone, o sarebbe meglio dire dovrebbe porre, non pochi problemi di responsabilità al mondo dei media e ai decisori politici.

In tema di prevedibilità, una nota dello stesso A. sul dissesto che nel febbraio 2017 ha interessato la diga Oroville in California.

Buona lettura!

Armando Brath

INDICE
CONTENTS

LE GRANDI DIGHE ITALIANE. UNA RISORSA PER IL TERRITORIO

<i>Carlea D.:</i> Saluti introduttivi / Introductory Greetings	7
<i>Segnalini O.:</i> Introduzione ai lavori / Introduction	9
<i>Catalano A.:</i> Le grandi dighe in Italia. Consistenza e sostenibilità del patrimonio infrastrutturale / The Large Dams in Italy. Consistency and Sustainability of the Infrastructural Heritage	15
<i>Chieppa V.:</i> Le dighe in esercizio sperimentale / Dams in Experimental Operation	27
<i>Brath A.:</i> Laminazione delle piene e sicurezza idraulica dei territori a valle delle dighe. Piani di laminazione: stato di attuazione, criticità e opportunità / Flood Risk Mitigation Downstream of Dams. Lamination Programs: State of Implementation, Critical Aspects and Perspectives	41
<i>Baruffi F., Zaffanella F., Ferri M., Norbiato D.:</i> Il ruolo delle dighe durante l'evento alluvionale di ottobre 2018 nel Triveneto / The Role of Dams During the October 2018 Flood in the Triveneto	59
<i>D'Angelis E.:</i> Laminazione delle piene e difesa idraulica della città di Roma / Flood Lamination and Hydraulic Defense of the City of Rome	69
<i>Giulivo I., Bertuccioli P., Giordano P., Falzacappa M.:</i> Possibilità offerta dal "sistema nazionale di allertamento" per la gestione dei rischi da inondazione a valle delle dighe / Possibility Offered by the "National Alert System" for the Flooding Risks Management Downstream of Dams	81
<i>Pescador Chamorro I., Fornari F., Bonafè A.:</i> Esperienze di gestione dei serbatoi idroelettrici. Il punto di vista del gestore / Management Experience of Hydroelectric Reservoirs. The Manager's Approach	89
<i>Santoro F., Pianigiani F.:</i> Studi di rivalutazione idrologica e verifica della sicurezza idraulica delle grandi dighe in Italia. Principali risultanze dell'applicazione del d. l. 79/2004 / Hydrological Revaluation Studies and Verification of Hydraulic Safety in Large Dams in Italy. Main Results of the Application of the Law Decree 79/2004	97
<i>Brath A, Persiano S., Domeneghetti A., Castellarin A.:</i> Considerazioni sulla stima della portata di progetto in Italia / On the Estimation of the Design Flood in Italy	109
<i>Claps P., Ganora D.:</i> Aggiornamento delle stime idrologiche per la rivalutazione della sicurezza idraulica delle grandi dighe italiane / Updating of Hydrological Estimates for the Revaluation of The Hydraulic Safety of Large Italian Dams	119
<i>Rasulo R.:</i> Verso una procedura unificata per la rivalutazione idrologica delle grandi dighe italiane. La stima della piena millenaria dei bacini dell'Italia meridionale e insulare / Towards a Generalized Procedure for the Hydrological Re-evaluation of Large Dams. The estimation of the Millennial Flood in Southern Italy	127
<hr/>	
Intervento del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti / Address of the Ministry of Infrastructures and Transportation: <i>D. Toninelli</i>	133
Tavola rotonda / Discussion Table Coordinatore <i>G. Ruggeri</i> Partecipanti: <i>M. Berselli, A. Borrelli, D. Carlea, F. Daga, M. Lucchesi, M. Mattei Gentili, L. Mille, O. Segnalini</i>	135

Invited Lecture

Da Deppo L.: La diga ad arco di Ponte della Serra, tra le prime in Italia, compie 110 anni / The Ponte della Serra Arch Dam, One of the Firsts in Italy, Turns 110 **143**

Drusiani R., Del Giacco L. J., Caprari A.: Ideazione e sviluppo delle macchine per il sollevamento idrico nel rinascimento. Nel 500° anniversario dalla morte di Leonardo da Vinci / Ideation and Development of Water Lifting Machines in the Renaissance. On the 500th Anniversary of the Death of Leonardo da Vinci. **157**

■ Discussione/Discussion

Veltri M.: Una Rivista viva, un ruolo sempre più incisivo / A Lively Journal, an Incisive Role **165**

Jappelli R.: Il Mito della certezza / The Persistent Delusion of Certainty **166**

■ ... In Breve/Short Notes

Notizie sulla Diga Oroville / About Oroville Embankment Dam di R. Jappelli **168**

■ Notiziari A.I.I. ed Enti Collaboratori/News from All and Collaborating Institutions

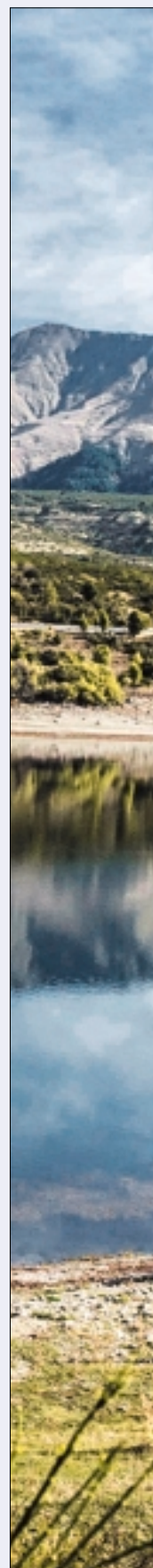
A.I.I. - Associazione Idrotecnica Italiana/Italian Hydrotechnical Association **171**

Iscrizione Soci / Subscription **173**

All-Sez. Italia Centrale: Visita alla Fondazione delle FF. SS., Roma, 19 novembre 2019 **175**



Veduta aerea dell'impianto Isola Serafini sul Fiume Po, (Oldani G. et al., L'Acqua, 5-2008).



La soluzione per la gestione delle acque meteoriche



Il sistema Rausikko viene utilizzato per la raccolta e dispersione delle acque meteoriche nel terreno.



Grazie alla soluzione RAUSIKKO abbinata ai propri prodotti, **Polieco Group** offre una gamma completa per un sistema di gestione delle acque meteoriche.

- Può essere utilizzato in presenza di traffico pesante e su più livelli anche a profondità elevate.
- E' l'unico sistema dotato di un canale centrale per l'ispezione e la pulizia.
- Presenta un'alta percentuale di accumulo.
- E' omologato e certificato da un ente riconosciuto a livello europeo.



POLIECO
GROUP

INDUSTRIE POLIECO-M.P.B. srl Unipersonale - info@polieco.com - www.polieco.com



SALUTI INTRODUTTIVI

Donato Carlea

Presidente Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Grazie a tutti quelli che hanno avuto la capacità e l'idea di organizzare un Convegno di questa importanza che, come detto nel titolo, parla di grandi dighe senza sottovalutare le piccole e medie, di competenze regionali, che sono una risorsa per l'intero territorio italiano e che sono state sempre la dimostrazione di una grande scuola che è quella italiana sia a livello imprenditoriale sia a livello ingegneristico. Ringrazio perciò il Direttore Ornella Segnalini che ha pensato al Consiglio Superiore e al suo Presidente per la partecipazione a questo Convegno; ringrazio il Prof. Brath che è stato sicuramente uno degli artefici di questo Convegno. Anticipo in questo breve saluto una serie di argomenti che saranno da parte mia sviluppati più a fondo nella Tavola Rotonda del pomeriggio.

Innanzitutto un po' di storia. L'organizzazione del Servizio Dighe in Italia si può definire un buon esempio, anzi una cosiddetta buona pratica nella storia, un'ottima pratica di quello che è stato fatto negli anni, a partire dal 1920 con il Regio Decreto n. 1285 *Regolamento per la derivazione e utilizzazione di acque pubbliche*, a cui è seguito nel 1925 *Il regolamento per il progetto e la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta* con il quale si è entrati nel merito non solo della costruzione ma anche della vigilanza di queste grandi opere che sono state realizzate. Negli anni sono seguite anche molte trasformazioni della struttura: dal 1925 fino al 1981, il Reparto di sezione per le dighe era parte del Consiglio Superiore dei lavori pubblici del Ministero dei Lavori Pubblici, affiancato dagli Uffici del Genio Civile. Il Ministero dei LL. PP. poi divenuto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, è stato, secondo la mia opinione, uno degli esempi più belli e più efficaci di decentramento tecnico-amministrativo sul territorio con i Provveditorati alle Opere Pubbliche e con i Comitati tecnici-amministrativi, con competenza regionale e provinciale nella stessa materia del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Una ramificazione e una presenza sul territorio di altissima competenza in tutti i rami dell'ingegneria. Inoltre, per le dighe fu istituito il controllo periodico e costante, della conservazione e non solo delle costruzioni di queste grandi opere e si avviò una trasformazione della struttura, dapprima con il Servizio Nazionale Dighe presso il Dipartimento dal 1991 al 2003 e poi con la creazione del Registro Italiano Dighe dal 2003 al 2007; in ultimo dal 2008 ad oggi la Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche e gli Uffici tecnici per le dighe nel territorio sono rientrati a far parte della famiglia del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Per quanto riguarda la normativa tecnica-amministrativa legata a queste grandi opere, va citato in ultimo il *Regolamento dighe* che è del '59 e quindi ha 60 anni quest'anno. Contando che le dighe hanno una media di vita di 58 anni, alcune sono vicino ai 100 anni, penso che tale *Regolamento* andrebbe aggiornato agli strumenti moderni di cui si dispone, ma senza abbandonare e stravolgere quello che siamo stati capaci di fare.

Qualche giorno fa rileggendo le leggi fondamentali: *Il capitolato generale d'appalto* e *Il Regolamento dei LL.PP.* ci si rende conto che tre erano i criteri guida: la semplicità del provvedimento, la rapidità e la trasparenza; infatti, allora si aveva un solo obiettivo: realizzare le opere pubbliche piccole, medie e grandi, presto e bene, senza avere la pretesa e la presunzione di combattere altri fenomeni. Mi auguro che nei gruppi di lavoro creati per l'aggiornamento del *Regolamento Dighe* vengano mantenuti saldi tutti i principi che le norme precedenti ci hanno tramandato, permettendoci di attuarle ed insieme al contributo sempre più forte del mondo professionale esterno di cui il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti non può fare sicuramente a meno.

Adesso l'obiettivo che abbiamo tutti è quello della manutenzione di queste opere esistenti, della gestione e degli adeguamenti strutturali e impiantistici; perché una grande diga non è solo la struttura di ritenuta, ma è tutta la complessità degli impianti che sono all'interno di essa. Con l'augurio di cominciare da qui, secondo questa strada semplice che deve essere seguita per continuare ad avere ottimi risultati e svolgere un'ottima pratica. Grazie e buon lavoro a tutti





Traversa "Dighetta" sul rio Vannino che alimentava l'invaso detto "Polmone", Val Formazza (VB). Foto di Enrico Rondena - 1° Concorso Fotografico ITCOLD 2018.



INTRODUZIONE AI LAVORI

LE GRANDI DIGHE ITALIANE - UNA RISORSA PER IL TERRITORIO

Ornella Segnalini

Direttore Generale, Direzione Generale Dighe del MIT

Il devastante evento alluvionale del 28-30 ottobre 2018, che ha interessato il settore dolomitico e carnico, ha rimesso al centro dell'opinione pubblica e degli addetti ai lavori l'esigenza di riesaminare il tema della sicurezza idraulica del nostro Paese per rimodulare tanto i provvedimenti necessari a prevenire i danni quanto, e soprattutto, quelli atti a garantire l'incolumità delle popolazioni insediate nei territori a valle degli sbarramenti.

Questo è solo il primo dei rilevanti motivi che ci hanno convinto ad organizzare la giornata di studio che si è svolta il 6 maggio scorso sulle grandi dighe italiane, ovvero su queste infrastrutture, altamente strategiche che, invece, nella maggior parte dei casi, vengono evocate solamente a ricordo di luttuosi eventi passati.

E' nostro compito, in proposito, divulgare la conoscenza del contributo – in termini di valore aggiunto – che la presenza delle stesse dighe garantisce nei confronti del nostro territorio, sia con riferimento alla funzione di mitigazione del rischio idraulico che in relazione al ruolo che possono svolgere nella risoluzione dei sempre più frequenti fenomeni di siccità o per la produzione di energia pulita.

In considerazione, inoltre, di tutto quello che i mutamenti climatici stanno comportando a livello globale sull'ambiente e i danni irreversibili che si potrebbero manifestare qualora non si mettessero in atto le modalità più opportune per intervenire, è il caso di interrogarsi se interventi mirati sul settore idrico e, in particolare, sulle dighe possano costituire, e in quale misura, un contributo in tale contesto.

Alla luce di quanto sopra, se da un lato agli studiosi di questi fenomeni spetta l'individuazione delle cause e la proposta di soluzioni da adottare nel più breve tempo possibile, dall'altro lato noi potremmo fin d'ora procedere ad una razionalizzazione di tutto il settore e al completamento o integrazione di sistemi interconnessi di invasi, tali da assicurare gli equilibri idraulici per un territorio quanto più vasto possibile.

A questo riguardo, è da tenere presente che il numero totale delle dighe del nostro Paese, tra quelle la cui vigilanza compete allo Stato - cioè le grandi dighe (con altezza superiore a 15 m o che realizzano serbatoi artificiali di oltre un milione di metri cubi di acqua) - e che da sole ammontano a oltre 530 unità, sommato a tutte quelle vigilate dalle Regioni, raggiungono l'incredibile cifra di oltre 12.500 manufatti.

Dobbiamo interrogarci, però, per quale motivo, la dimensione di questa immensa ricchezza nazionale sia paradossalmente sconosciuta.

La spiegazione potrebbe stare nel fatto che tali manufatti, realizzati da tanti anni, sono entrati a far parte della nostra comune percezione, hanno creato invasi che ormai appartengono al paesaggio che tutti conosciamo tanto che quasi non ci accorgiamo più della loro esistenza e funzione costante; percepiamo, viceversa, la loro presenza solo in relazione a sporadici episodi (più temuti che reali) che riportano all'attenzione eventi catastrofici ad essi connessi.

E' ormai maturo il tempo di restituire alle dighe la giusta attenzione che merita il ruolo fondamentale che esse svolgono, interagendo con continuità e in modo molto significativo con il territorio circostante. Infatti:

- sotto il profilo della mitigazione del rischio idraulico, le dighe agiscono quali bacini di raccolta per la riduzione delle piene di fiumi e torrenti;
- nella gestione del fabbisogno idrico nazionale, esse garantiscono l'equilibrio del bilancio quantitativo e qualitativo (nei casi di potabilizzazione) delle risorse e della conseguente distribuzione;
- nella soluzione ai fenomeni di siccità, le dighe forniscono un determinante contributo, soprattutto se messe a sistema per l'utilizzazione mirata della risorsa idrica accumulata;





- nella produzione di energia, le dighe, attraverso le centrali idroelettriche, producono l'energia (senza consumare risorsa) che, allo stato dei fatti, è da considerarsi la più pulita che esista;
- dal punto di vista ambientale, le dighe esistenti, nel corso dei decenni, hanno ormai creato e mantenuto ecosistemi di pregio;
- sotto il profilo paesaggistico, le dighe hanno connotato, seppur diversamente, parti di territorio che nel tempo hanno acquistato una loro apprezzabile valenza.



Figura 1 - Diga del Furlo sul Fiume Candigliano (PU). Foto di Egzon Kodrali. 1° Premio del Concorso Fotografico ITCOLD 2018.

Basti pensare che la funzione di riduzione delle piene, comunque assolta dalle dighe, ha fatto perdere alle popolazioni insediate lungo i corsi d'acqua a valle delle stesse la memoria storica degli straripamenti, comportando, in alcuni casi, anche disinvolute modificazioni urbanistiche, intervenute dopo la realizzazione dei manufatti.

Proprio a misura del forte legame di interazione che esiste tra diga e territorio possono essere presi a riferimento i problemi e le difficoltà nel caso (fortunatamente raro) di dismissione di uno sbarramento. E tali esperienze rendono oggi le dismissioni spesso improponibili, nonostante l'età secolare raggiunta da alcune dighe, a meno di non eseguire alternative e costose opere di differente riduzione del rischio idraulico.

Altrettanto problematica - e forse addirittura più difficile - è la programmazione di una nuova diga: quale popolazione, infatti, pur riconoscendo gli indubbi benefici che potrebbero conseguirsi dalla realizzazione di uno sbarramento, ne accoglierebbe di buon grado l'esecuzione a monte del proprio territorio senza preoccuparsi del potenziale rischio connesso alla presenza fisica dell'invaso?

E' anche vero che tra i tanti interventi infrastrutturali possibili le dighe sono certamente quelle che nell'immediato impattano di più sull'ambiente per le modificazioni che comportano sugli ecosistemi; paradossalmente, tale sconvolgimento, nel lungo periodo, dà luogo ad una nuova identità ambientale che spesso assume connotazioni di pregio. E' solo il caso di citare la diga di Lentini in Sicilia, divenuta oasi dopo la costruzione dello sbarramento.

La stampa stessa, spesso, continua a ricordarci che "le dighe fanno paura"; anche se, in realtà, proprio in considerazione delle disastrose conseguenze di eventuali incidenti, le grandi dighe (e i versanti dei laghi artificiali che esse creano) sono costantemente sorvegliate e soggette a manutenzioni straordinarie e ad interventi di adeguamento ai variati standard tecnici di sicurezza più di ogni altra opera pubblica. Eppure tutto ciò non sembra modificare l'orientamento culturale e la propensione generalizzata alla paura. Per farlo occorrerà, probabilmente, avviare campagne di informazione capillare e costante.

Nondimeno, i recenti fenomeni di siccità che stanno colpendo la penisola dovrebbero farci riflettere sull'altro fondamentale ruolo che le dighe, le traverse e le loro derivazioni svolgono nel territorio: quello di fungere da serbatoi di accumulo di acqua, per poi rilasciarla quando e dove essa più necessita.

E se la siccità si presenta ormai con andamento ciclico, altrettanto ricorrenti son i fenomeni meteorologici eccezionali, legati anch'essi agli effetti dei cambiamenti climatici. Gli allagamenti, alluvioni e straripamenti hanno indotto - e già da diversi anni - la Direzione generale per le dighe a dotarsi delle più avanzate metodologie di analisi idrologica che consentono di procedere ad una rivisitazione delle principali funzioni idrauliche degli oltre 500 manufatti vigilati.

Lo Stato, infatti - ed è bene ricordarlo - ha mantenuto, anche dopo il D.Lgs.112/1998 e la riforma del titolo V della Costituzione, le competenze di vigilanza e controllo sulla sicurezza delle dighe più rilevanti per dimensione, esercitandole attraverso la struttura incardinata nel Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, che garantisce - in applicazione della normativa tecnica e procedurale di settore - la periodica attività ispettiva, tramite almeno due sopralluoghi all'anno.

Ciò non di meno, forse perché da anni di dighe non se ne costruiscono più o forse perché nella nostra coscienza vengono ormai percepite, come già illustrato, quali laghi naturali che sembrerebbero essere lì da sempre, il ruolo di queste infrastrutture è stato quasi dimenticato.



Figura 2 - Diga del Barcis (PN).



La grande ricchezza di dighe di cui è dotato il nostro Paese e che non tutti conoscono è il primo tema che verrà affrontato in questa giornata di studio. Al numero ingente, si accompagna anche una notevole età media, piuttosto avanzata, prossima a 65 anni.

Nonostante il lungo tempo passato dalla loro realizzazione, oltre 80 grandi dighe, e anche questo tema verrà affrontato, si trovano ancor oggi in invaso sperimentale, con la conseguenza che non possono essere utilizzate al pieno della loro capacità. La messa in esercizio definitiva dovrà essere conclusa in tempi brevi: questo Paese non può permettersi di sprecare l'acqua ma neppure di mantenere in vita manufatti che potrebbero costituire elementi di potenziale rischio.

Quindi, se è nostro compito primario quello di vigilare affinché le dighe non assurgano malauguratamente a fattore che possa aumentare la pericolosità idraulica per i territori di valle, a fronte degli effetti dei cambiamenti climatici e dei frequenti fenomeni meteorologici eccezionali, bisognerà impegnarsi sempre più affinché le dighe assolvano la funzione di ridurre il rischio idraulico.

Ciò in considerazione del fatto che gli sbarramenti svolgono naturalmente un compito protettivo nei confronti dei territori di valle, moderando le piene a prescindere dalle utilizzazioni concesse, siano esse idroelettriche (Fig. 3), irrigue o potabili.



Figura 3 - Diga di Pian Barbellino (BG). Foto di Matteo Sbarigia. 3° Premio del Concorso Fotografico ITCOLD 2018.

Come esposto negli articoli successivi, alcune dighe possono peraltro essere realizzate o convertite anche parzialmente – tramite i piani di laminazione di competenza regionale – specificatamente a salvaguardia del territorio (Fig. 4).

Gli articoli presentati in questo volume tratteranno, inoltre, di altre dighe, dighe esistenti che hanno assolto un ruolo determinante in termini di difesa del territorio, come nel caso di quelle nel nord-est nel corso dell'evento alluvionale di ottobre 2018, e di singoli invasi da costruirsi che potranno assolvere, se realizzati come "sistema" interconnesso tra loro, l'importante funzione di proteggere il territorio: un esempio è quello degli invasi previsti sul fiume Paglia per la difesa della città di Roma. La loro fattibilità non può prescindere, e sarà uno dei primi casi applicativi, dall'acquisizione del consenso preventivo delle popolazioni attraverso la procedura del dibattito pubblico.



Figura 4 - Diga di Santa Giustina (TN).

Una delle difficoltà da affrontare sarà proprio quella di spiegare, a chi abita nel territorio, come è possibile contrastare l'aumento della pericolosità idraulica indotta dagli invasi. A tale proposito, si riferirà di due strumenti, che sono, da un lato, la previsione e prevenzione, sotto forma di normative tecniche specifiche e stringenti, dall'altro lato, la pianificazione di emergenza.

Altro tema all'attenzione della Direzione dighe è quello della riqualificazione sismica alla quale stiamo sottoponendo il patrimonio da noi vigilato in relazione ai mutamenti della classificazione della pericolosità del territorio (Fig. 5).

Su tutti i temi citati, importanti iniziative finanziarie sono state intraprese.

Grazie al Piano operativo dighe a valere sul fondo FSC 2014-2020, oltre 460 milioni di euro finanziano interventi mirati, tra l'altro, a portare all'esercizio definitivo gli 80 sbarramenti ancora in fase sperimentale e ad incrementare la sicurezza idraulica e sismica delle grandi dighe.

Ulteriori 1.600 milioni di euro sono stati stanziati dal Piano nazionale degli interventi nel settore idrico, dal relativo Piano straordinario e dal Fondo investimenti per la realizzazione di opere mirate al completamento degli invasi, alla esecuzione delle loro interconnessioni e adduzioni, delle loro derivazioni, al contrasto delle perdite sia degli acquedotti che delle reti irrigue, anche al fine di fronteggiare i sempre frequenti fenomeni siccitosi.

Da ultimo, preme sottolinearlo, tutta l'attività concernente questo importante settore infrastrutturale allo stato attuale ha un cammino purtroppo reso "accidentato" a causa della parcellizzazione della *governance* dell'acqua, che resta - incomprensibilmente - suddivisa sia nelle funzioni di gestione della risorsa idrica, sia in termini di distribuzione delle competenze all'interno della pubblica amministrazione ai vari livelli, creando negative sovrapposizioni e duplicazioni di competenze.

Sul versante dei gestori e concessionari delle dighe, il panorama è altrettanto variegato. Sono 136 i concessionari e ben 90 di essi gestiscono una sola diga. Serve evidentemente una forte riorganizzazione del settore e un raffor-



Figura 5 - Diga del Pertusillo (PZ).

zamento della struttura preposta ai controlli della sicurezza. E' per questo motivo che alla giornata del convegno hanno partecipato anche alcuni esponenti, e quelli tra più impegnati, sul tema dell'acqua, all'interno delle Commissioni Ambiente e territorio del Senato e della Camera.

E' evidente che nuove forme di concertazione e sinergia tra le tante amministrazioni che governano la materia dovranno essere adottate.

E' altrettanto evidente che anche forme gestionali innovative dovranno essere valutate e promosse per far sì che le nostre grandi e piccole dighe siano al più presto messe in grado di affrontare il ruolo fondamentale ad esse demandato, quello di essere una vera e propria risorsa strategica per il territorio e l'ambiente.



Angelica Catalano*

LE GRANDI DIGHE IN ITALIA.

Consistenza e sostenibilità del patrimonio infrastrutturale

THE LARGE DAMS IN ITALY.

Consistency and Sustainability of Infrastructure Assets

1. PREMESSA

La legge 584 del 1994 definisce una grande diga e specifica il riparto di competenze in materia di vigilanza della sicurezza dell'infrastruttura tra lo Stato e le Regioni. Già in precedenza la Legge 183 del 1989 sulla Difesa del Suolo aveva specificato tale riparto di attività. Grande diga è un'opera di sbarramento o una traversa che supera i 15 metri di altezza o il cui volume di invaso è superiore ad 1 milione di metri cubi, le Regioni e le Provincie autonome sono i soggetti proprietari delle opere e le concedenti l'uso della risorsa idrica. Lo Stato attraverso la Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ha mantenuto la vigilanza tecnica sull'opera di sbarramento.

L'ultimo censimento a livello nazionale degli invasi presenti nel territorio nazionale è stato completato dal Ministero dei Lavori Pubblici e dalla Protezione civile nel 1995 ed ha censito circa 9500 invasi, oggi le stime pubblicate fanno prevedere un numero complessivo di circa 12.500 invasi.

Molte regioni d'Italia hanno effettuato censimenti, hanno emanato una specifica normativa e istituito uffici preposti al controllo della progettazione, costruzione e dell'esercizio, tuttavia non è disponibile un aggiornamento al censimento nazionale del 1995.

L'insieme delle grandi dighe è definito per Legge con un criterio dimensionale, criterio comune a molti Paesi esteri, il criterio è certamente indicativo delle situazioni potenzialmente più a rischio, può sembrare poco utile in alcuni casi, ma ha assicurato e assicura a livello nazionale, omogenei standard di sicurezza e di controllo.

Le dighe sono opere in concessione, l'utilizzazione della risorsa idrica e il controllo sull'uso è di competenza delle regioni, la normativa in materia è articolata e complessa ed ha avuto negli anni significative modifiche, anche recentemente.

2. CONSISTENZA DELLE GRANDI DIGHE

Ad oggi alla Direzione risulta che le grandi dighe sono in concessione e/o in gestione a 136 soggetti differenti, 90 sono i soggetti che gestiscono una sola opera. Enel Produzione e la società controllata Enel Green Power sono il concessionario gestore di 180 dighe, l'Ente Acque della Sardegna di 34 e la Regione Sicilia di 27 impianti. La frammentarietà che caratterizza la gestione del settore idrico del nostro paese è confermata anche nelle grandi dighe; in alcuni casi sullo stesso invaso (realizzato da una grande diga) sono presenti opere di derivazione o interconnessioni idrauliche con altri bacini e/o con invasi gestiti da soggetti differenti.

Assicurare la sicurezza di un patrimonio di infrastrutture che copre un arco temporale di oltre 120 anni (abbiamo dighe in esercizio anche più antiche) in gestione a 136 soggetti diversi non è semplice, la memoria di chi ha costruito, progettato queste opere non c'è più, sono gli archivi e il trasferimento delle conoscenze acquisite che aiutano il prosieguo dell'esercizio (*Fig.1*). Stimando una vita lavorativa di 30 anni dedicata alle dighe, siamo per molte opere già alla seconda generazione di ingegneri. La curva cumulata a partire dalla fine degli anni 90 è praticamente orizzontale (nella realtà il numero diminuisce per le dimissioni). Sono pochi oramai gli ingegneri che hanno visto costruire ed hanno completato una grande diga. La frammentarietà del settore si è accentuata negli ultimi quindici, venti anni; molte sono le grandi dighe che hanno cambiato gestore e/o concessionario più volte in tale arco temporale.

La Direzione dighe è riuscita, con non poca quotidiana fatica, ad assicurare una parziale integrità della documentazione di archivio, che con il passare del tempo diventa una risorsa sempre più strategica, tant'è che molti concessionari/gestori "non trovano più i progetti, i calcoli di dimensionamento delle opere che gestiscono" e ne fanno richiesta.

*Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti.

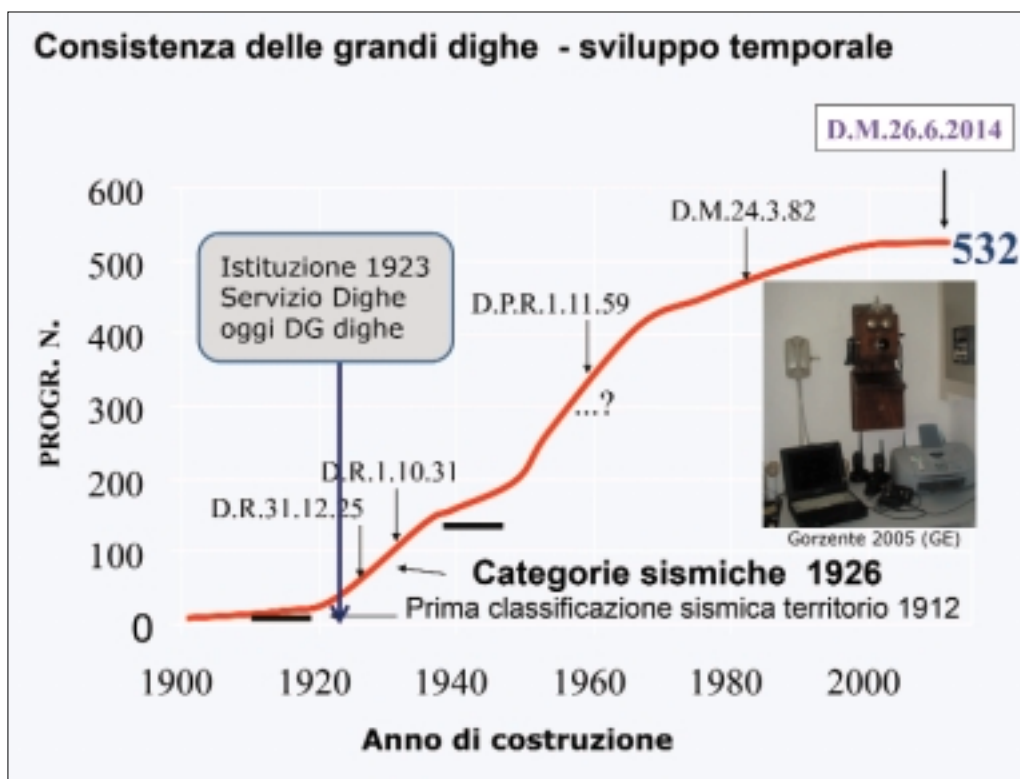


Figura 1 - Sviluppo temporale della consistenza delle grandi dighe.

delle carte preziose anche per l'ingegneria, abbiamo le disposizioni dettate dal Prof. Maurice Lugeon all'ingegnere del Servizio dighe (oggi Direzione Dighe) per eseguire le prime sperimentazioni delle prove di permeabilità oggi comunemente note; uno dei campi di sperimentazione in sito è stata la diga di terra denominata Nocelle nell'altopiano della Sila. Abbiamo il calcolo del regime di filtrazione nei terreni di fondazione della diga di San Valentino in alta Val Venosta, realizzata allo spartiacque tra il bacino del Po e quello del Danubio tracciata dal Prof. Karl Von Terzaghi. Numerose sono le prove su modello idraulico o i calcoli in originale del Prof. Giulio De Marchi, Prof. Giulio Supino, del Prof. Filippo Arredi per citare solo alcuni dei padri fondatori dell'ingegneria delle dighe in Italia.

Nel complesso processo periodico di valutazione della sicurezza di infrastrutture così strategiche una adeguata e approfondita analisi e interpretazione dei dati conservati presso gli archivi e di quelli forniti dal monitoraggio contribuisce ad assicurare, con la dovuta consapevolezza, la sicurezza.

Anche grazie a tutto ciò nel corso della sequenza sismica che ha interessato il centro Italia da Agosto 2016 a Gennaio 2017, nonostante alcune apodittiche affermazioni sui mezzi stampa, l'esercizio della grandi dighe è proseguito nel tempo con alcune limitazioni. La riduzione delle quote di invaso autorizzate è stata disposta sulla base dei risultati dell'interpretazione dei dati di monitoraggio.

E' altresì grazie alla periodica attività di vigilanza svolta dai soggetti gestori e stabilita per legge dall'autorità di controllo e grazie a consolidati sistemi di monitoraggio di accertata affidabilità su lunghi periodi che si sono decisi e si richiedono interventi di manutenzione straordinaria di importanti strutture, ovvero si mantengono in esercizio grandi dighe con problemi o meglio con difetti geotecnici o strutturali congeniti, come li ha definiti in numerose pubblicazioni il Prof. Ruggiero Jappelli, uno dei maestri delle dighe di terra.

Il volume invasabile dalle grandi dighe in Italia è circa $14000 \times 10^6 \text{ m}^3$ di questi: $470 \times 10^6 \text{ m}^3$ per uso potabile (5% della richiesta), $8.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ per uso irriguo (40% della richiesta), $249 \times 10^6 \text{ m}^3$ per uso industriale (5% della richiesta), $4800 \times 10^6 \text{ m}^3$ per uso idroelettrico e $194 \times 10^6 \text{ m}^3$ per la laminazione delle piene (da progetto originario).

L'utilizzo prevalente è quello irriguo, soprattutto nelle regioni del sud d'Italia e nelle isole, quello idroelettrico è significativo e sul totale della generazione da fonti rinnovabili è pari mediamente al 47%, seguito dal fotovoltaico al 21%.

Il dato deve essere associato anche alla quota di energia assicurata dalle rinnovabili che oscilla negli ultimi 5 anni tra il 39,1% ed il 35,4%; la variabilità è proprio quella legata all'idroelettrico che contribuisce per il 15,5 ed il 19,5% (dati Terna aggiornati a novembre 2018).

I volumi potenzialmente invasabili diminuiscono nel tempo in conseguenza dei sedimenti trasportati naturalmente dai fiumi e non gestiti attraverso gli scarichi profondi delle dighe. Il dato relativo ai sedimenti presenti all'in-

L'archivio conserva tutti i progetti delle dighe cronologicamente catalogati a partire dalla data di presentazione del progetto il numero totale di progetti presentati è pari a 1845. Sono conservate le informazioni relative alla costruzione dell'opera, spesso documentate da documentazione fotografica di parti dell'opera ora non più visibili, piani di fondazione, armature dei muri d'ala, particolari costruttivi, etc... Gli atti di collaudo e le misure dei primi riempimenti. Nonché le manutenzioni straordinarie eseguite.

L'archivio della Direzione dighe contiene



terno dei serbatoi realizzati dalle grandi dighe italiane non è noto, alcuni articoli riportano circa 4 miliardi di metri cubi, tale quantizzazione, secondo le valutazioni della Direzione dighe appare sovrastimata.

Il problema è significativamente concentrato in alcune aree del paese e in alcune regioni e comporterà nei prossimi anni per alcuni serbatoi la definitiva perdita di risorsa idrica. Numerosi sono anche i problemi di sicurezza per i territori di valle conseguenti a tale mancata gestione dei sedimenti, e ciò sia in conseguenza della perdita di funzionalità dello scarico di fondo, là dove anche tale scarico contribuisce allo smaltimento delle piene, ed anche per l'impossibilità di vuotare il serbatoio in caso di incidente.

L'intero assetto della normativa specifica di settore è in fase di aggiornamento di concerto con il Ministero dell'Ambiente ed in collaborazione con le Regioni; in alcune regioni d'Italia la normativa vigente emanata non è applicata.

L'interrimento dei serbatoi là dove significativo è una delle questioni su cui porre maggiore attenzione per assicurare nel tempo l'uso della risorsa e per valutare la sostenibilità delle singole infrastrutture.

A titolo di esempio vi illustro la situazione in Sicilia, una delle regioni dove il problema dell'interrimento è maggiormente significativo. Le dighe in esercizio sono 42 (Fig. 2), il volume complessivo immagazzinabile è pari a 1.05 miliardi di metri cubi, sulla base delle informazioni agli atti dell'Ufficio tecnico di Palermo stimiamo che la riduzione di volume disponibile è di circa 70 milioni di metri cubi. Per alcuni impianti anche le questioni ambientali legate alla mancata gestione dei sedimenti diventano, anno per anno, sempre più ingestibili e piene di problemi. La percentuale di volume perso per interrimento è per alcune dighe pari al 72-76 % della capacità utile (Comunelli e Gammata) (Valutazioni al 2015). E' significativo rilevare come tutte le dighe in esercizio da più di 50 anni abbiano problemi di efficienza dello scarico profondo.

Già nel passato la soluzione scelta è stata quella di sopralzare le opere di imbocco originarie dello scarico di fondo, di fatto abbandonando la scelta di ripristinare l'originaria capacità del serbatoio.

Le 532 grandi dighe si differenziano, secondo quanto prevede la normativa di settore in: dighe in normale esercizio senza condizioni, 379 sono le opere di sbarramento in tale stato, 42 sono quelle in esercizio limitato, mentre

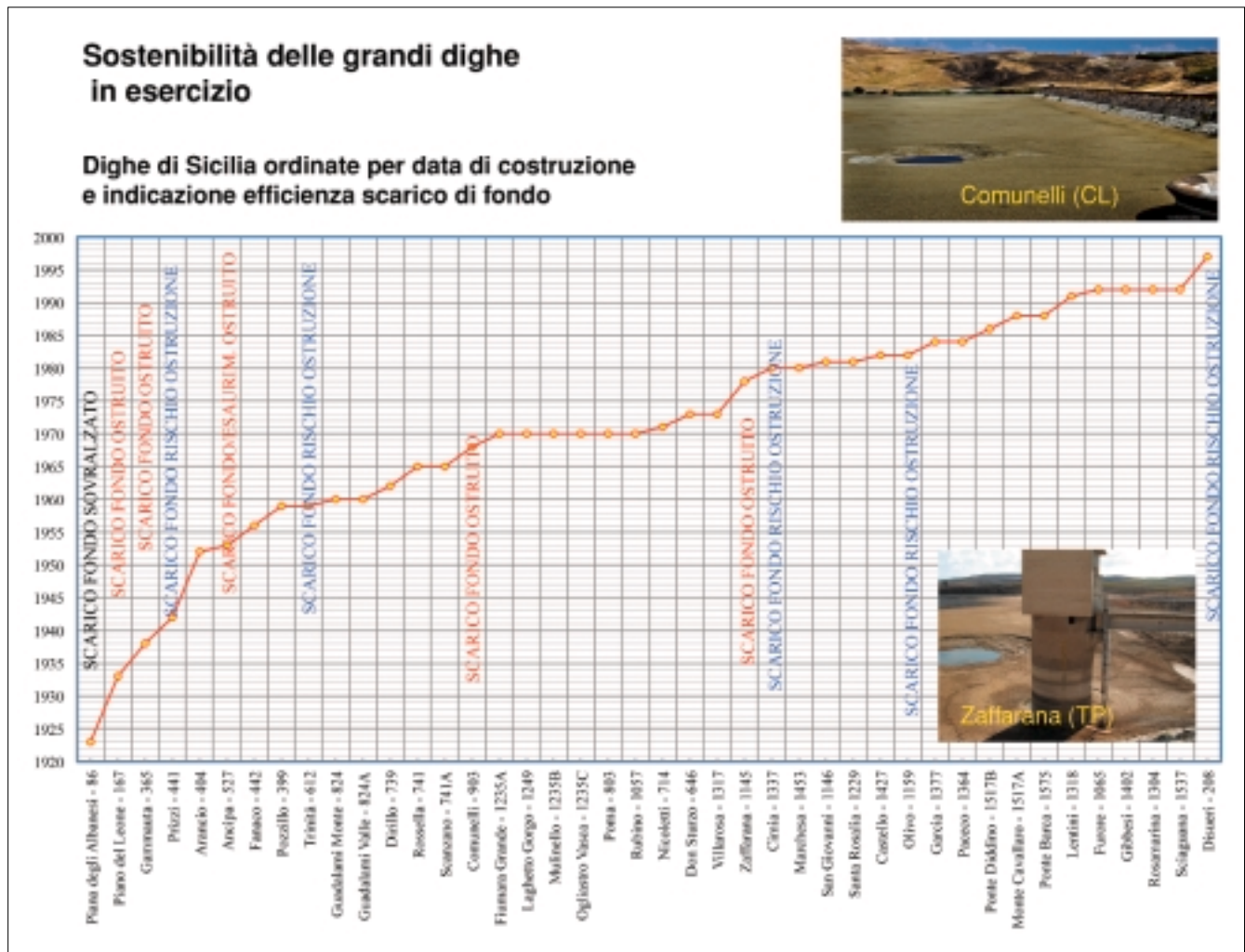


Figura 2 - Dighe di Sicilia ordinate per data di costruzione e indicazione efficienza scarico di fondo.



quelle in esercizio sperimentale con limitazioni all'uso della risorsa sono 81. Le dighe temporaneamente fuori esercizio sono 28 (in attesa di interventi o in via di dismissione), 2 sono le dighe in costruzione ad oggi con lavori sospesi.

Oggetto dell'articolo sono le grandi dighe che nel corso del loro esercizio hanno avuto il collaudo tecnico ai sensi della norma speciale di settore, hanno quindi raggiunto il loro massimo riempimento.

Una prima considerazione deve essere fatta sul significativo numero delle dighe in esercizio limitato: sono questi i casi in cui, per problemi tecnici di diversa origine e natura si è ridotto l'esercizio del serbatoio per assicurare la sicurezza secondo i criteri minimi fissati dalla Legge.

Il totale delle dighe in esercizio limitato è variabile in funzione dell'attività di riqualificazione della sicurezza idraulica e strutturale in corso, avviata da più di 20 anni dalla Direzione e dalla conclusione degli interventi di manutenzione straordinaria progettati dai concessionari, approvati tecnicamente dalla Direzione e completati. Nel corso del mio intervento presenterò in modo sintetico tre interventi che per tipologia delle soluzioni adottate e per le lavorazioni eseguite sono da considerarsi particolarmente significativi.

Anche il totale delle dighe temporaneamente fuori esercizio in attesa delle determinazioni dell'autorità concedente è significativo (Fig. 3).

Il fatto che le dighe in esercizio siano state costruite anche 120 anni fa evidenzia la presenza di una serie di problemi: il primo è certamente quello derivante dalle mutate conoscenze in materia di azioni sia sismiche che idrologiche, il secondo è connesso ai processi di invecchiamento dei materiali. Esiste anche un problema di perdita di interesse per l'infrastruttura per le modifiche dell'utilizzo della risorsa. Appartengono a questo insieme le opere di sbarramento a servizio di impianti minerari e/o industriali, dove terminato l'utilizzo, dismessa la

miniera, le opere di sbarramento sono state di fatto "dismesse" in alcuni casi solo mediante la sola apertura dello scarico di fondo. Abbiamo anche dighe costruite in luoghi sbagliati o su formazioni gessose o su formazioni geologiche molto permeabili, anche per queste opere importanti lavori di dismissione sono stati realizzati, altri sono in corso di esecuzione, altri sono in fase di studio e di progettazione. Nella figura seguente (Fig.4) sono riportate alcune delle dismissioni più significative completate e quelle in corso.

Nel 2016 è stato istituito il Piano Operativo Infrastrutture che suddivide gli interventi in 6 assi tematici oltre agli interventi stradali a quelli nel settore ferroviario è stato previsto un asse relativo alla "Messa in sicurezza del patrimonio infrastrutturale esistente" in tale asse hanno trovato finanziamento gli interventi di messa in sicurezza delle grandi dighe in concessione a soggetti pubblici. La fonte di finanziamento è stata successivamente integrata nel 2018. I finanziamenti sono distribuiti sul territorio italiano seguendo una proporzione pari all'80% al sud e al 20% al nord.

Le dighe per le quali si sono previsti interventi sono 136, restano escluse quelle ad uso idroelettrico, anche quelle dove è in atto un co-uso pubblico. La programmazione degli interventi ha richiesto, e richiede con alcune regioni, un confronto continuo e la rimodulazione di precedenti linee di finanziamento già assentite direttamente dalle autorità concedenti la risorsa idrica. Le regioni destinatarie sono 17, la Sicilia e la Sardegna sono quelle destinatarie dei maggiori importi.

La linea di finanziamento prevede l'esecuzione dell'aggiornamento delle verifiche di sicurezza sismica di tutte le



Figura 3 - Dighe fuori esercizio per perdita interesse dell'utilizzo e dighe trasferite alle regioni.

dighe in zona 1 e 2 e delle relative opere accessorie ai nuovi carichi sismici. Sono altresì previsti interventi di sistemazione delle componenti impiantistiche a servizio degli scarichi, e interventi di miglioramento della tenuta delle opere di sbarramento e di miglioramento della sicurezza idraulica.

Gli interventi sulle dighe non collaudate prevedono prevalentemente l'esecuzione dei lavori che nel corso della fase sperimentale si è riconosciuto necessario eseguire, e ciò al fine di incrementare la risorsa idrica disponibile fino alla massima regolazione e quindi conseguire il collaudo tecnico speciale.

Per le dighe in esercizio già collaudate gli interventi previsti sono 53, ad oggi sono stati presentati 4 progetti definitivi, il progetto che si prevede avvii i lavori per primo è con probabilità la sostituzione delle paratoie di regolazione del Lago Maggiore alla traversa della Miorina. Questi numeri evidenziano anche le grosse difficoltà dei soggetti concessionari gestori pubblici nell'applicazione delle disposizioni relative al codice degli appalti in materia di progettazione. Le gare di progettazione in corso riguardano circa il 50% degli interventi. Per le regioni dove sono previsti più interventi, specifici cronoprogrammi consentono di controllare l'evoluzione del processo di progettazione ed appalto delle opere. L'analisi dei tempi relativi alla presentazione dei progetti ad esempio di miglioramento idraulico dei gestori privati evidenzia tempi lunghi (Fig.5), in alcuni casi più che decennali, in parte conseguenza dei procedimenti autorizzativi certamente complessi (in alcuni casi), in parte di problemi tecnici articolati e specifici di ogni singola opera.

La Figura seguente (Fig.6) esplicita i dati del grafico precedente



Figura 4 - Esempi di dighe dismesse.

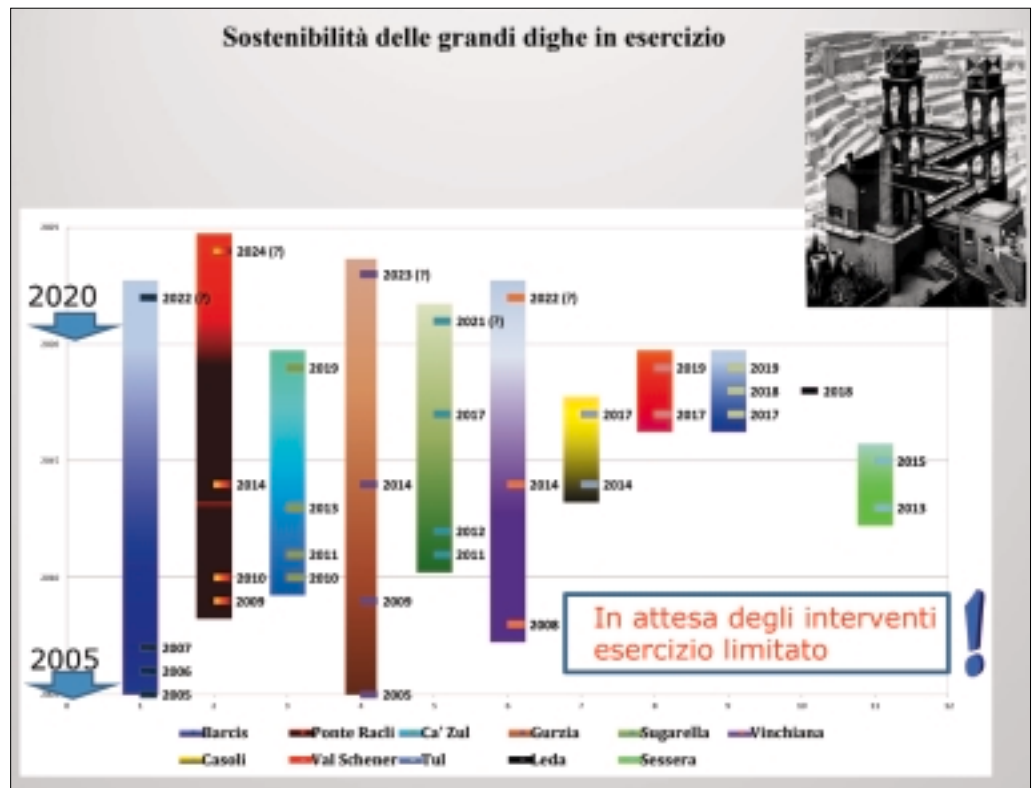


Figura 5 - Tempi di progettazione ed avvio interventi di miglioramento sicurezza idraulica.



Figura 6 - Motivazione dei tempi progettazione ed avvio interventi di miglioramento sicurezza idraulica.

ed elenca anche le motivazioni relative ai tempi del procedimento. Intervenire su una diga esistente, mantenendo l'esercizio e risolvere i problemi che presenta è un'operazione complessa, uno dei casi più noti anche a livello europeo è certamente l'intervento sulla diga dell'Ancipa in Sicilia.

Lo sbarramento di Ancipa è realizzato da una diga a gravità alleggerita (Fig. 7) classificata come diga muraria a speroni a vani interni. La diga è stata realizzata tra il 1949 e il 1953 ed è stata collaudata ai sensi del DPR 1/10/1931, n.1370, nel gennaio del 1957. Gli invasi del serbatoio furono avviati nel corso dei lavori e la quota di massima regolazione è stata raggiunta a Febbraio 1954.

La diga fin dalla costruzione ha evidenziato la presenza di fessure che interessavano gli speroni. L'evoluzione delle fessure rese necessario nel 1970 un riesame del comportamento statico della diga, che venne eseguito dal progettista dell'opera con un modello



Figura 7 - Diga Ancipa Caratteristiche dimensionali e tempistica intervento.

matematico ad elementi finiti. Si tratta di una delle prime applicazioni di questo metodo di calcolo in Italia. Il primo progetto di risanamento è stato presentato nel luglio del 1987, i primi lavori di allargamento del coronamento e di sovralzato di 40 cm sono stati eseguiti nei primi anni '90. La soluzione progettuale definitiva è del 1996, il progetto costruttivo che recepisce le prescrizioni è del 2000.

Gli interventi di risanamento contenuti nei progetti del 1987 e 1996, hanno avuto come obiettivo la regolazione dei carichi termici agenti sulla struttura e il miglioramento della risposta strutturale ai carichi statici (iniezione lesioni) ed alle azioni sismiche (contrafforte di valle). In particolare con la costruzione del contrafforte si è voluto realizzare la continuità strutturale del terzo inferiore del paramento di valle della diga, in modo da assicurare un'adeguata stabilità laterale nei riguardi delle azioni sismiche agenti in direzione spalla-spalla (Fig.8a, b).

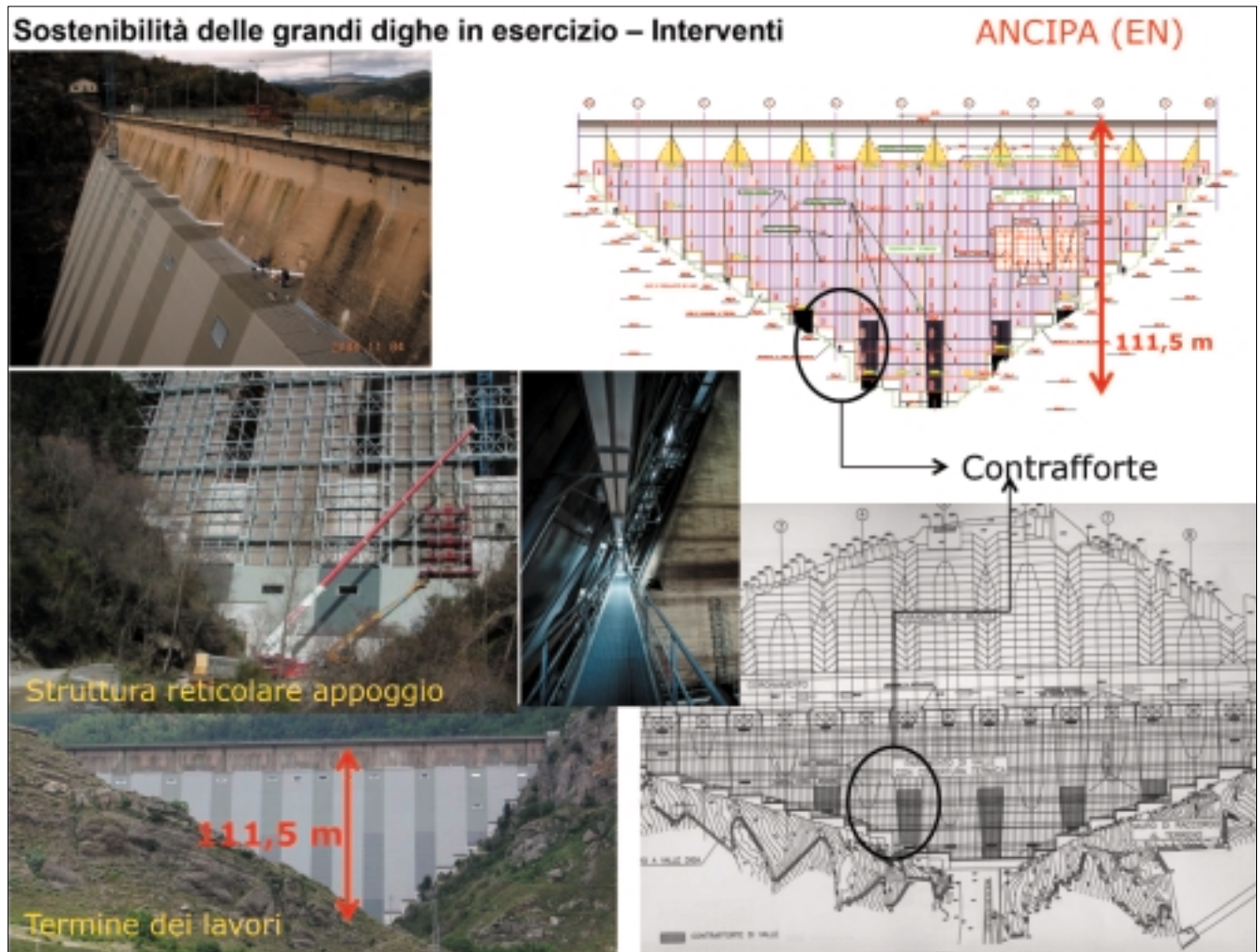


Figura 8a - Ancipa - Tipologia degli interventi eseguiti.

Il progetto del 2000 è stato variato nel 2006 relativamente alle sole operazioni di iniezione. In particolare con le indagini endoscopiche è stato possibile accertare che su uno sviluppo complessivo di circa 2736 m di fessure censite, il 76% è risultato classificato come trascurabile, le fessure effettivamente da iniettare sono risultate con uno sviluppo di circa 600 m (Fig. 8b).

La copertura termica, grazie anche alla regolazione della circolazione dell'aria all'interno dei vani, attuata tramite l'apertura periodica delle serrande di ventilazione, assolve alla funzione di proteggere gli speroni dall'irraggiamento solare e dalle variazioni termiche stagionali. Di conseguenza si sono abbattute le sollecitazioni di origine termica e quindi buona parte dei movimenti ciclici stagionali delle fessure (Fig.9).

Si è inoltre stabilita una maggiore uniformità termica tra le pareti interne ed esterne degli speroni, sia per l'assenza del soleggiamento diretto sul paramento, sia per l'incremento dei moti convettivi nei vani, dovuto all'apertura di fori di ventilazione superiori.

Un secondo esempio significativo di intervento su una diga esistente è certamente quello relativo alla diga di San Giacomo di Fraele. Questo sbarramento ha la singolarità di avere un'invaso che da ottobre a marzo interessa il paramento di valle con un carico idrostatico di circa 35 m, questa azione di carico non è stata considerata all'atto del dimensionamento della diga, in quanto nell'ambito del piano di utilizzo delle risorse idroelettriche dell'alta



Sostenibilità delle grandi dighe in esercizio – Interventi

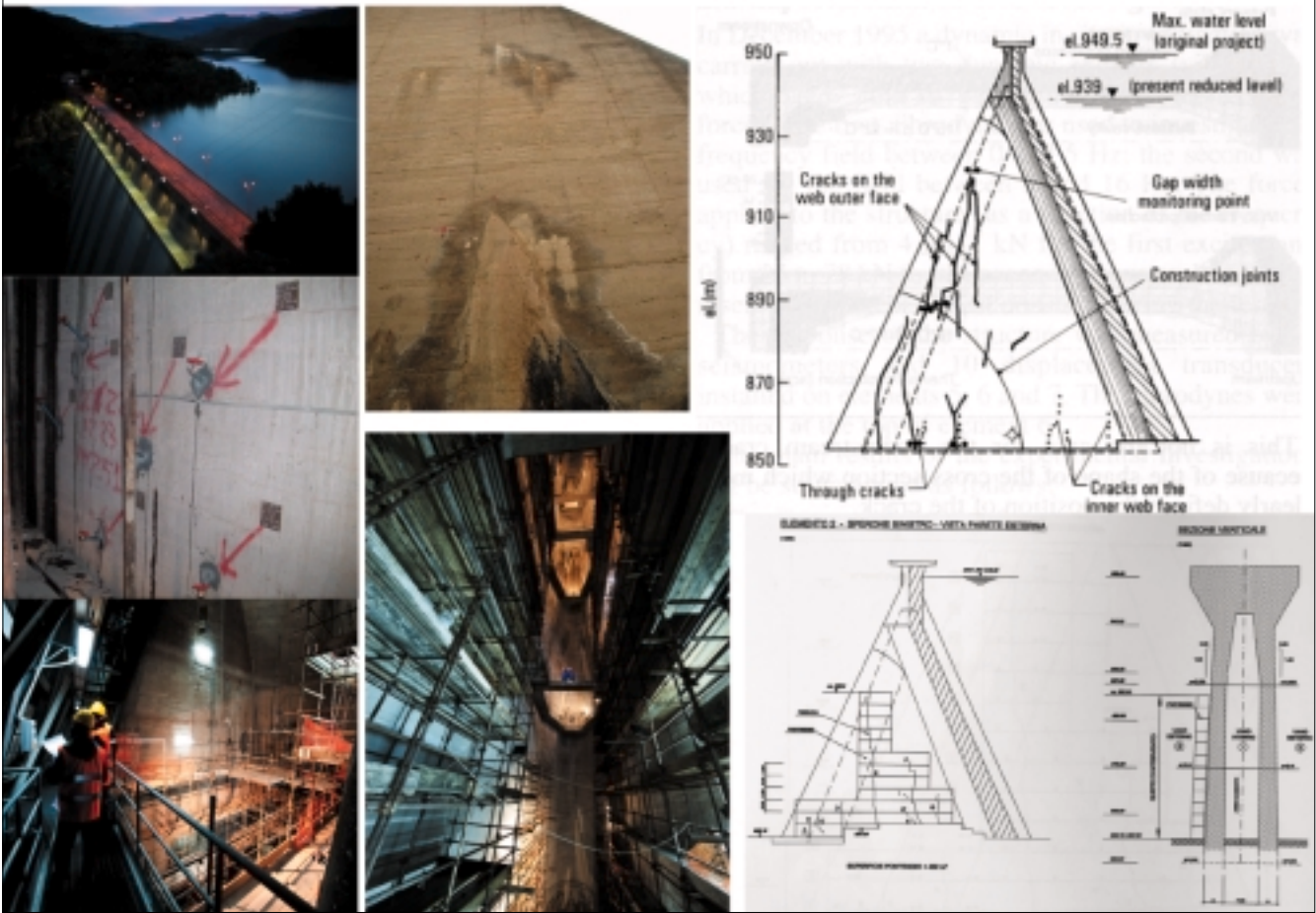


Figura 8b - Ancipa - Interventi di risanamento - particolari.

Valtellina era prevista la dismissione dell'opera una volta completata la costruzione della diga di Cancano III, costruzione che si è interrotta con la realizzazione della diga di Cancano II.

Il mancato completamento del progetto generale ha quindi di fatto trasformato una situazione a carattere provvisorio in una situazione definitiva.

Nonostante le misure di spostamento dei conci più alti e le misure topografiche eseguite sul coronamento assicuravano sul regolare comportamento dell'opera, sono stati adottati a partire dal 1986 provvedimenti di limitazione dell'esercizio. E' stata nel contempo avviata una complessa fase

Sostenibilità delle grandi dighe in esercizio – Interventi

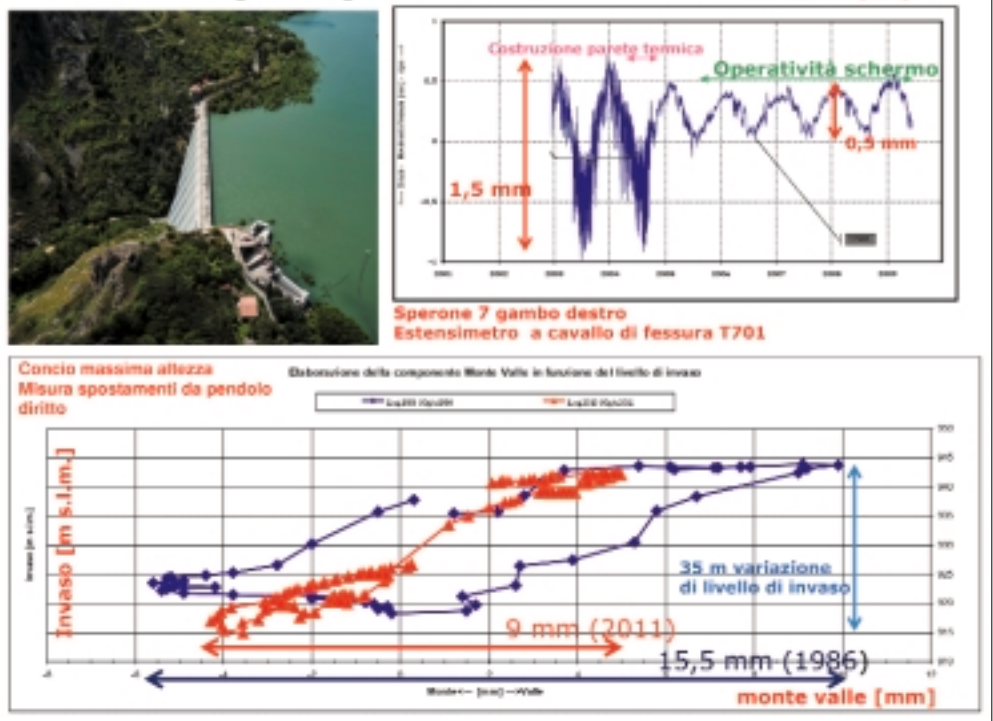


Figura 9 - Ancipa - Misure di spostamento: a cavallo di una lesione e del conccio di massima altezza.

di progettazione di interventi di manutenzione straordinaria delle opere, unitamente ad una serie di studi e indagini volti a rivalutare le condizioni di sicurezza idraulica, geotecnica e strutturale della diga. La progettazione degli interventi eseguiti si è sviluppata su un arco temporale di 10 anni (dal 1995) sono stati redatti ed esaminati 3 progetti esecutivi e 3 varianti.

Nel corso delle complesse fasi della progettazione è stata progressivamente integrata la strumentazione di controllo, in particolare con l'obiettivo di accertare i valori di sottopressione rilevati in corrispondenza del contatto diga roccia di fondazione nelle diverse condizioni di carico dell'opera. Infatti obiettivo principale da conseguire mediante gli interventi di manutenzione è stato quello di incrementare la sicurezza allo scorrimento della diga e di rendere ispezionabile e quindi controllata l'intera opera durante tutto il periodo dell'anno; in presenza del controinvaso di Cancano i cunicoli diga si allagavano, ogni attività di vigilanza era sospesa. L'intervento ha avuto anche la finalità di proteggere il paramento della diga ed in particolare il calcestruzzo del piede di valle degli speroni dall'azione dei cicli di gelo e disgelo.

I risultati dell'intervento sono stati ottimi (Fig. 11), ad oltre dieci anni dal completamento dei lavori la strumentazione di controllo conferma i risultati ottenuti.



Figura 10 - Diga San Giacomo di Fraele: caratteristiche dimensionali e tempistica intervento.

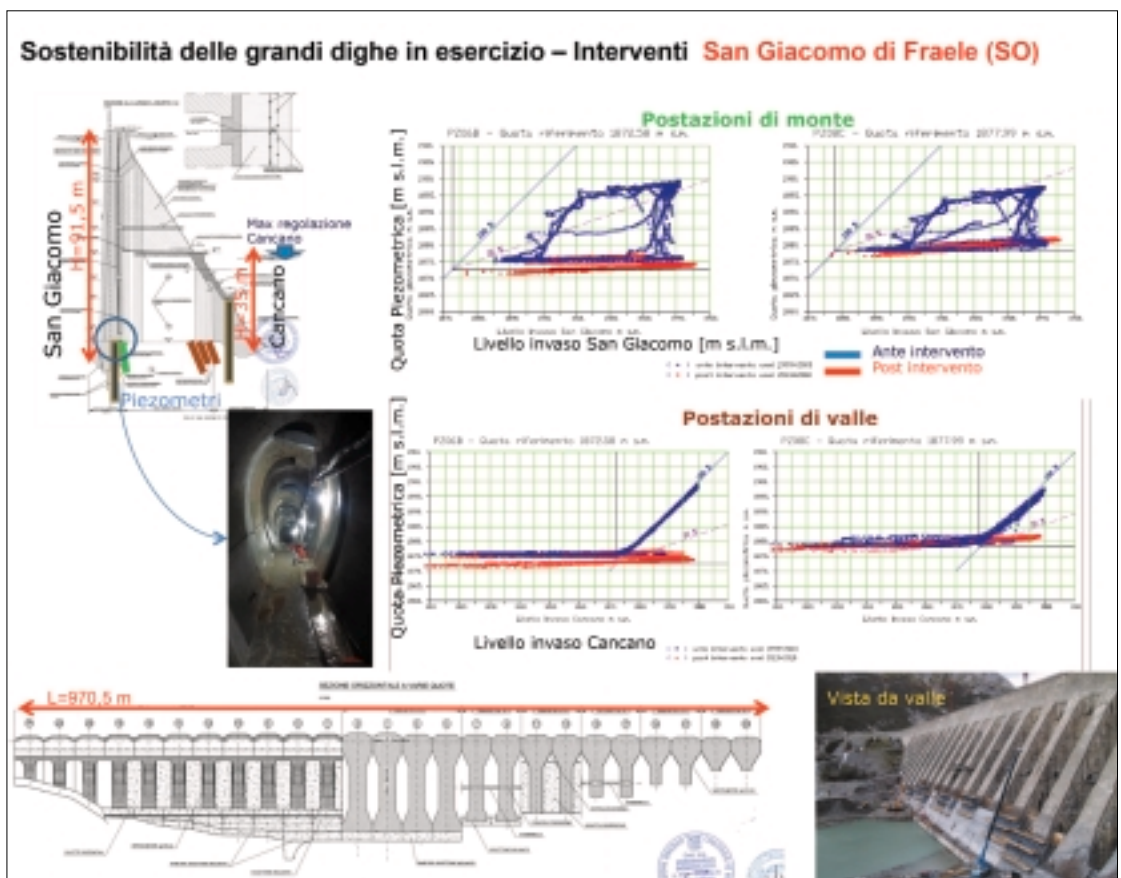


Figura 11 - San Giacomo di Fraele (SO) - Misure piezometriche.

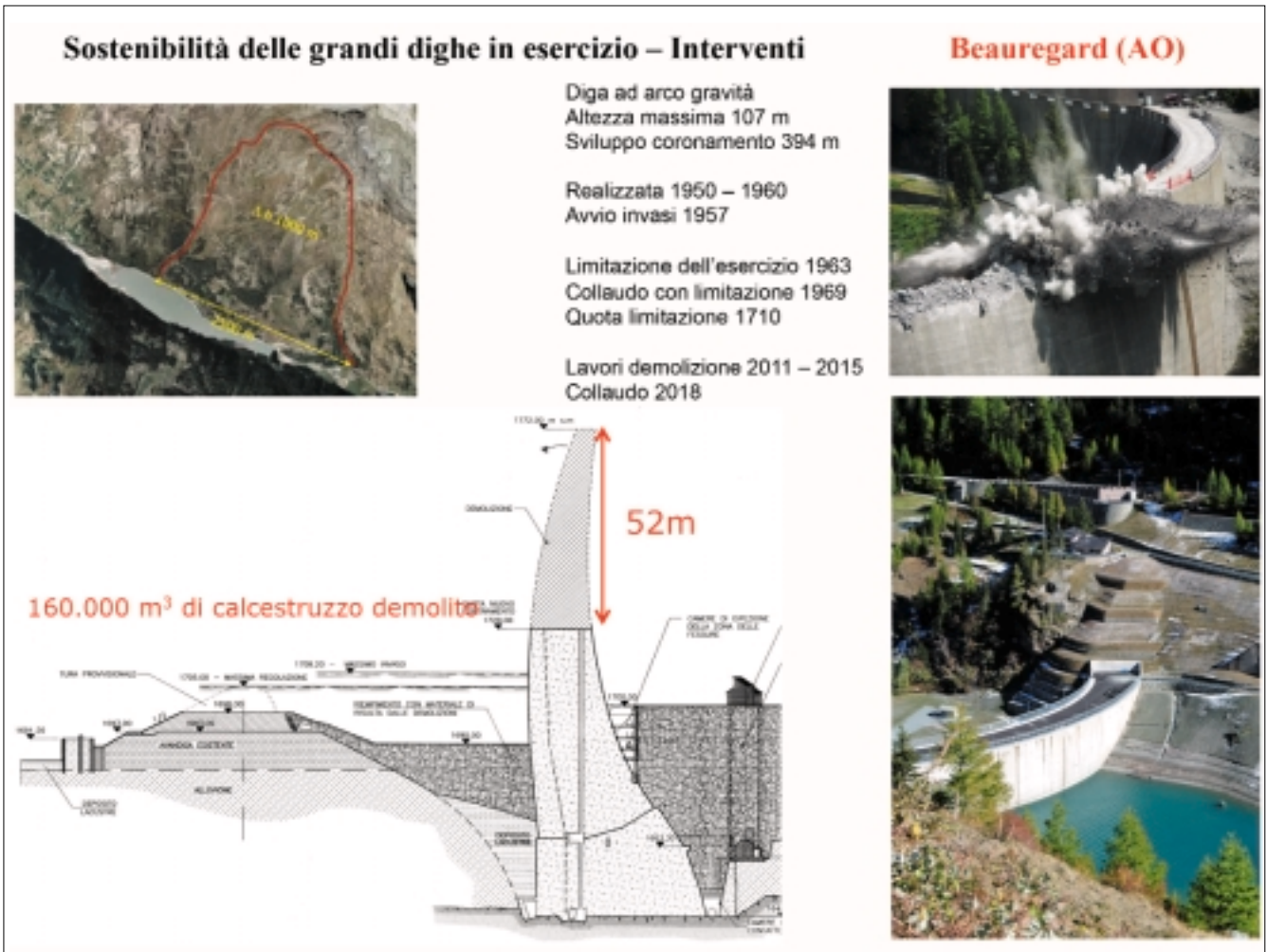


Figura 12 - Beauregard - Caratteristiche dimensionali e tempistica intervento.

Uno degli interventi forse tra i più particolari che ha interessato il parco dighe italiano è quello completato alla diga di Beauregard in Val D'Aosta. Dove è stata abbattuta la porzione superiore della diga ad arco gravità, l'esercizio dell'impianto è stato condizionato fin dalla sua costruzione dalla presenza di una estesa DGPV di oltre 200 milioni di metri cubi, un attento monitoraggio e un modello numericamente continuamente aggiornato consentono di verificare con continuità il comportamento dell'opera. Uno sfioratore di superficie realizzato in coda al serbatoio assicura comunque lo svasso della residua porzione di volume di invaso.

3. CONCLUSIONI

Un'elenco delle criticità che investono il sistema di controllo e gestione delle dighe è possibile:

- elevata età e quindi invecchiamento delle dighe (età media superiore a 65 anni, con punte di oltre un secolo);
- inadeguatezza tecnico-gestionale-finanziaria di molti concessionari e gestori e carenza o assenza di controlli o iniziative da parte delle regioni concedenti (varie concessioni sono scadute o mai formalizzate dopo le autorizzazioni provvisorie a derivare);
- difficoltà o impossibilità di potere procedere a dismissioni in conseguenza del fatto che le dighe hanno frequentemente mutato in modo irreversibile l'assetto e l'uso del territorio a valle;
- procedure di finanziamento, che anche laddove rese disponibili, sono utilizzate con difficoltà dai concessionari, in parte per problemi organizzativi propri, in parte per la macchinosità delle procedure di erogazione stesse;
- mancato coordinamento con i procedimenti amministrativi di altre amministrazioni (in primis procedimenti ambientali) che in alcuni casi rallentano o bloccano interventi fondamentali per la sicurezza;
- problemi di applicazione dei disposti normativi in materia ambientale di gestione dei sedimenti;
- carenze di alcune regioni nella definizione delle misure non strutturali - pianificazione di emergenza - per la gestione del rischio residuo (v. nota del 1/8/2018 relativa al programma di aggiornamento dei documenti di protezione civile ai sensi Dir. P.C.M. 8/7/2014).

Assicurare un sereno esercizio ad un patrimonio di infrastrutture realizzato nel corso di 120 anni necessita dell'impegno dell'autorità di controllo per la definizione di standard uniformi sul territorio nazionale e periodicamente aggiornati sia nei contenuti tecnici, che in quelli procedurali. Necessita dell'impegno delle autorità concedenti la concessione nella scelta dei soggetti a cui è affidata la concessione e la gestione dell'opera ed anche il controllo dell'uso della risorsa idrica sia per la quantità, che per la qualità.

I concessionari e gestori dell'opera devono assicurare la specializzazione tecnica di tutto il personale preposto alla gestione della struttura, dal guardiano, al geometra che esegue le misure, all'ingegnere che responsabilmente deve asseverare semestralmente la sicurezza dell'opera. Le procedure di controllo non devono essere definite solo con riferimento alle condizioni ordinarie, ma anche a quelle straordinarie.

La manutenzione ordinaria deve essere eseguita con regolarità, in sua assenza nel tempo diventano necessarie manutenzioni straordinarie significative in termini tecnici ed economici. Il processo di riqualificazione della sicurezza idraulica e sismica delle grandi dighe avviato dall'Autorità di controllo già da più di venti anni fa e che ha assicurato un sereno esercizio a numerose dighe ed ha dato un significativo contributo nel corso dell'ultima sequenza sismica, deve proseguire, forse con una velocità maggiore e con la consapevolezza che anche le opere accessorie hanno la loro significatività ai fini dell'esercizio.

Le risorse economiche destinate dallo Stato alle dighe – al momento solo per quelle in concessione a soggetti pubblici – certamente contribuirà alla sostenibilità del patrimonio infrastrutturale delle grandi dighe.



Figura 13 - Arte e ingegneria idraulica.



Diga di Ridracoli (FC). Foto di Giulia Buffi. 1° Concorso Fotografico ITCOLD 2018.



Vincenzo Chieppa*

LE DIGHE IN ESERCIZIO SPERIMENTALE

DAMS IN EXPERIMENTAL OPERATION

La memoria affronta la situazione di un sottoinsieme rilevante delle “grandi dighe”: quelle in invaso sperimentale, molto numerose in Italia in confronto ai pochi cantieri di nuove dighe che hanno terminato i lavori di costruzione nell’ultimo decennio. Il tema degli invasi sperimentali è trattato richiamandone i fondamenti normativi ed evidenziando quante sono le “grandi dighe” in questa condizione di esercizio provvisorio; sono quindi esaminate le motivazioni e la criticità di detta situazione, proponendo possibili rimedi; sono infine illustrati alcuni casi esemplificativi.

1. PREMESSA: GLI INVASI SPERIMENTALI E IL COLLAUDO TECNICO-FUNZIONALE

Le “grandi dighe” (dighe di altezza superiore a 15 m o che determinano un volume di invaso superiore a 1 milione di metri cubi ai sensi dell’art.1 del D.L. 507/1994, conv. L. 584/1994, nel seguito “dighe”) in invaso sperimentale, ai sensi dell’art.13 del regolamento approvato con D.P.R. 1363/1959, sono attualmente in numero inaspettatamente elevato rispetto alle dighe costruite nell’ultimo decennio. Prima di richiamare la regolamentazione in materia e rilevare quante sono le dighe in questa condizione di esercizio provvisorio e per quali cause, è opportuno ricordare perché per le dighe sono necessari invasi sperimentali ai fini del collaudo tecnico-funzionale e dell’entrata in “regolare esercizio”.

L’analogia con le prove di carico, obbligatorie o facoltative, che si eseguono sulle altre infrastrutture ed opere civili (ad esempio i ponti), ai fini del collaudo statico, è evidente. Le opere civili, in particolare quelle in calcestruzzo armato e metalliche, non possono essere poste in esercizio prima del collaudo statico e quindi le relative prove di carico possono e devono essere effettuate al termine della costruzione o nel corso di essa; il collaudo statico deve tassativamente precedere l’esercizio, pena sanzioni anche penali.

Le prove di carico sono in genere effettuate per le opere soggette a prevalenti a carichi e sovraccarichi verticali, ma per le dighe, soggette a carichi prevalentemente orizzontali di grandi masse d’acqua, le condizioni sono naturalmente e tecnicamente diverse e non è possibile dare corso prima dell’avvio del riempimento (esercizio sperimentale) a quanto è invece richiesto per le altre opere civili.

Per le dighe infatti i carichi prevalenti sono quelli idrici e il riempimento del lago artificiale è legato agli afflussi naturali, tanto meno governabili quanto maggiore è il volume del serbatoio artificiale e quanto più lunga è la durata della regolazione associata, che può variare da giornaliera a pluriennale.

La progettazione è complessa e multidisciplinare e i controlli tra comportamento previsto e comportamento os-



Figura 1 - Diga del Menta (RC) - Fase iniziale e finale degli invasi sperimentali.

*Direzione Generale Dighe del MIT.



servato devono riguardare gli aspetti strutturali e geotecnici (per le dighe di materiali sciolti si è in genere in presenza di un mezzo trifase), quelli dell'interazione acqua-terreno-struttura, dei fenomeni di filtrazione (sezione d'imposta e serbatoio), della stabilità dei versanti del lago. Gli invasi sperimentali (da effettuarsi secondo un programma di invasi e svassi) e lo speciale collaudo tecnico-funzionale che si conclude al termine di essi (distinto dal collaudo tecnico-amministrativo previsto dalle norme sui lavori pubblici) hanno pertanto l'obiettivo di verifica estesa di rispondenza tra comportamento previsto e comportamento osservato, tenendo ben presente che molti problemi si evidenziano nella fase di primo invaso e che incidenti e disastri hanno avuto luogo proprio nel primo ciclo di completo invaso – svaso.

2. LA REGOLAMENTAZIONE

Per inquadrare il fondamento normativo oltre che tecnico degli invasi sperimentali è necessario un richiamo alla regolamentazione in materia: i regolamenti per la progettazione, costruzione ed esercizio degli sbarramenti di ritenuta dal 1925 al 1931 e poi quello, tutt'ora vigente, del 1959 hanno subito importanti mutamenti sul punto.

Il regolamento del 1925 (R.D. n.2540 del 31 dicembre 1925), che è il primo che disciplina anche l'esercizio delle dighe, prevedeva, in analogia con le norme per le ordinarie costruzioni civili, che il collaudo fosse preventivo alla messa in carico [riempimento n.d.r.] dell'opera, ancorché nel contempo consentisse, se previsto dal "Foglio di condizioni per la costruzione", invasi parziali anche durante i lavori.

Pochi anni dopo il regolamento del 1931 (R.D. n.1370 del 1° ottobre 1931), ha anticipato l'invaso (o spostato in avanti il collaudo), stabilendo che nessuna diga potesse essere posta in "totale carico" se non in occasione del collaudo o successivamente a questo.

Il regolamento del 1959 (D.P.R. n.1363 del 1° novembre 1959), che è quello ancora vigente (anche se in riscrittura dal 1994, con quattro progressivi schemi poi non emanati), ha spostato definitivamente il momento del collaudo tecnico-funzionale al termine degli invasi sperimentali, stabilendo esplicitamente che gli invasi (sperimentali) precedano il citato collaudo e che l'invaso delle acque fino al raggiungimento del livello massimo [di regolazione – n.d.r.] sia consentito per la prima volta in occasione del collaudo stesso.

La procedura è stata sostanzialmente specificata, in tal senso, dalle successive circolari attuative e specifiche (Circolare Min. LL.PP. n. 352 del 4 dicembre 1987) e dal regolamento del 1991 sull'organizzazione del Servizio nazionale dighe (D.P.R. n. 85 del 24 gennaio 1991 - art.24): gli invasi sperimentali fino alla quota massima di regolazione devono precedere ed anzi costituiscono preventivo ed obbligatorio elemento accertativo per il collaudo tecnico-funzionale previsto dall'art.14 del "Regolamento dighe".

Tabella I - Evoluzione della Regolamentazione

R.D. 2540/1925	<p>art.13: "Avvenuta l'ultimazione dei lavori, ne darà avviso per le relative disposizioni di collaudo."</p> <p>art.14: "<u>Nessuna diga potrà essere posta in carico ove non ne sia intervenuto il preventivo collaudo. Qualora nel foglio di condizioni regolante l'esecuzione dell'opera sia ammesso un parziale invaso del serbatoio anche prima che la diga sia compiuta per l'intera sua altezza</u>"</p>
R.D. 1370/1931	<p>art.13: "Avvenuta l'ultimazione dei lavori, ne darà avviso per le relative disposizioni di collaudo"</p> <p>art.14: "<u>Nessuna diga potrà essere posta in totale carico se non in occasione del collaudo o successivamente a questo. Tuttavia potrà consentire, prima che la diga sia compiuta, un parziale invaso ...</u>".</p>
D.P.R. 1363/1959	<p>art.13 - Autorizzazione all'invaso: "<u>Prima che lo sbarramento sia ultimato potrà, a titolo sperimentale e in via provvisoria, autorizzare invasi parziali che dovranno però interessare soltanto quelle parti che abbiano raggiunto una sufficiente stagionatura. ... L'invaso delle acque fino al raggiungimento del livello di massimo invaso [quota massima di regolazione – n.d.r.] sarà consentito per la prima volta in occasione del collaudo</u>".</p> <p>art.14 – Collaudo: "<u>Avvenuta l'ultimazione dei lavori , qualora gli invasi sperimentali abbiano dato risultati soddisfacenti, dispone per il collaudo dell'opera</u>".</p> <p>art.15 – Vigilanza durante l'esercizio: "<u>Approvati gli atti di collaudo lo sbarramento inizia il regolare esercizio</u>".</p>

3. I NUMERI DELLE GRANDI DIGHE

In *Figura 2* è mostrato in grafico il numero delle dighe in funzione dell'anno di conclusione della costruzione (numero totale storicizzato che negli ultimi anni decresce per dismissioni e declassamenti e numero delle attuali di competenza in funzione dell'anno di fine costruzione), cui è stato aggiunto il numero di dighe collaudate in funzione dell'anno di collaudo. La differenza tra dighe costruite e dighe collaudate è sostanzialmente il numero di dighe in invaso sperimentale.

Se non si considerano i primi anni del secolo scorso, nei quali era assente o in corso di definizione la regolamentazione specifica, si nota chiaramente che, mentre fino al 1960 circa il divario tra dighe costruite e dighe collaudate si mantiene contenuto e costante (può considerarsi un indicatore di durata di invasi sperimentali di cinque anni), dopo il 1960 tende a incrementarsi, con un abnorme rallentamento degli invasi sperimentali e dei collaudi rispetto al numero di dighe costruite.

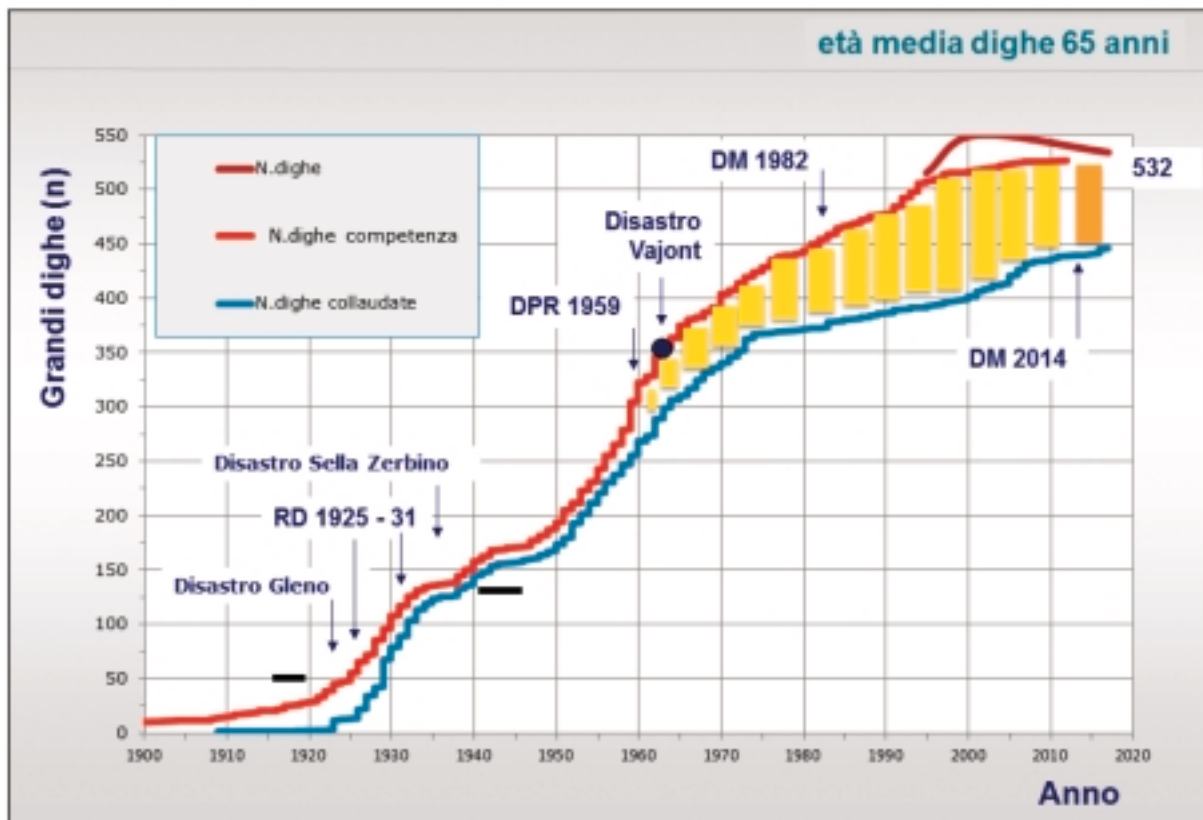


Figura 2 - Numero di grandi dighe realizzate, di competenza (dato non storicizzato) e collaudate.

Nel grafico in *Figura 3* è posta in relazione la durata degli invasi sperimentali con la percentuale delle dighe collaudate dopo invasi dell'associata durata: prima del 1960 la maggioranza delle dighe è collaudata con invasi che non durano più di cinque anni; dopo il 1960 la ripartizione è più varia, con tanti casi che durano anche decenni, fino all'attuale situazione indicata in *Figura 4*.

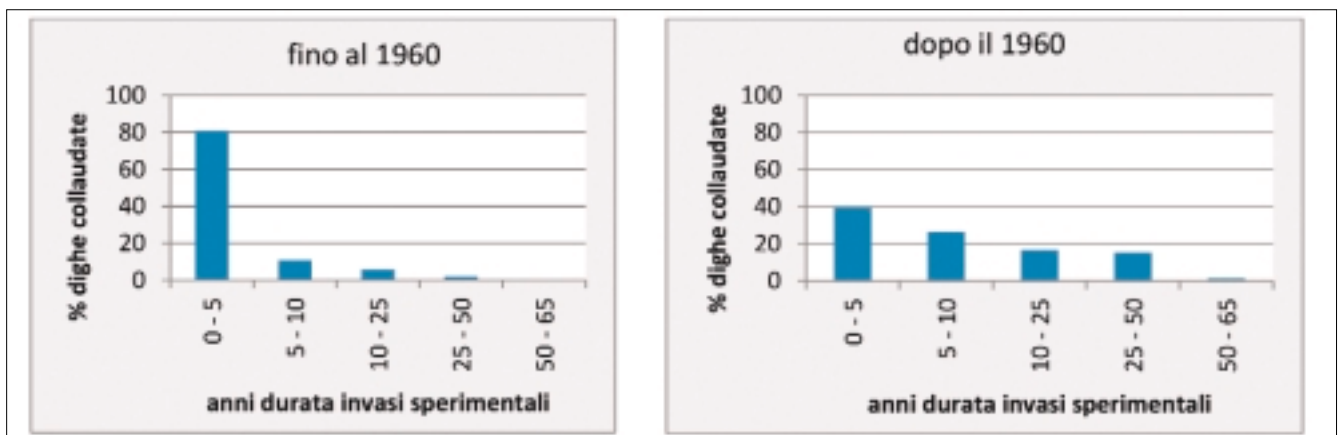


Figura 3 - Durate degli invasi sperimentali fino al 1960 e dopo il 1960.



Attualmente sono ancora in invaso sperimentale e quindi non collaudate dal punto di vista tecnico-funzionale **80 dighe** (non sono inclusi in tale conteggio le dighe in esercizio sperimentale a seguito di significativi lavori di manutenzione straordinaria e ristrutturazione), pari al 15% del numero di grandi dighe. Il 65% di queste dighe ancora in sperimentazione sono ad uso prevalente irriguo e gestite da concessionari pubblici; la maggioranza (75%) degli sbarramenti sono di materiali sciolti, anche in quanto è la tipologia costruttiva più frequentemente utilizzata negli ultimi decenni in particolare nelle regioni meridionali.

La maggioranza degli invasi sperimentali è in corso da più di 25 anni, con punte superiori a 50 anni. Tale durata approssima in alcuni casi quella che oggi è definita la “vita nominale” dell’opera (la vita nominale di progetto VN di un’opera è convenzionalmente definita dalle Norme tecniche sulle costruzioni (NTC, 2018) come “il numero di anni nel quale è previsto che l’opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali”).

Geograficamente dette opere sono ubicate in prevalenza nelle regioni la Sardegna, Sicilia, Basilicata, Toscana e Calabria. La Toscana incide per numero di dighe ma in minor misura per volumi idrici perché si tratta di piccoli invasi a servizio di aziende agricole, mentre la Basilicata, in confronto, pesa in termini di volumi non ancora autorizzati in misura decisamente maggiore.

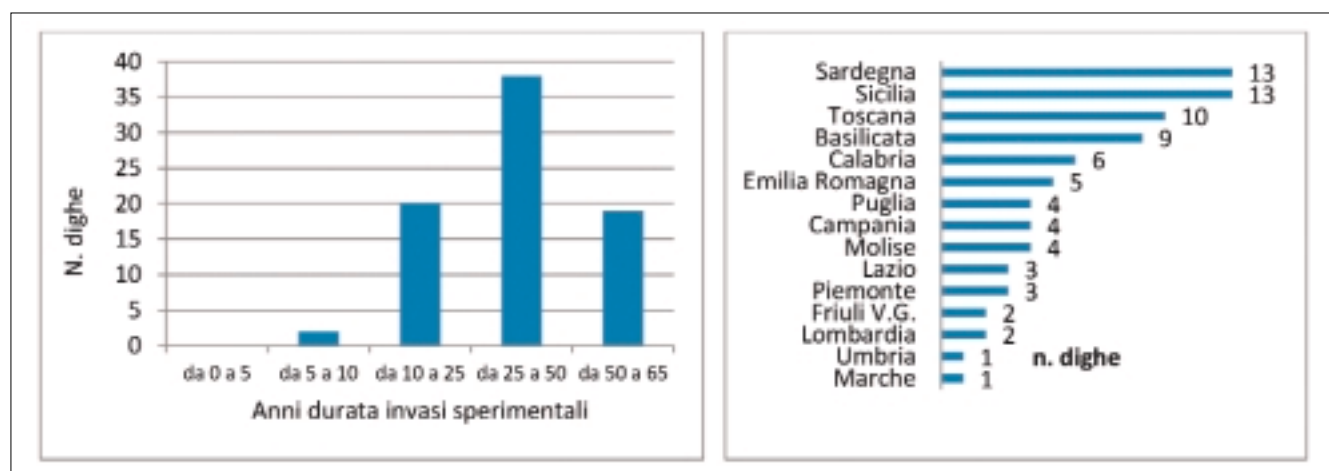


Figura 4 - Numero di dighe per durata degli invasi sperimentali attuale e ripartizione geografica.

Dal punto di vista della perdita della risorsa idrica in termini capacità di invaso, allo stato non sono autorizzati – per sperimentazione non completata o interrotta - 1,5 miliardi di metri cubi di volume di invaso¹ su 10,3 miliardi totali (escludendosi da tale totale il volume sotteso dagli sbarramenti di regolazione dei grandi laghi sub-alpini ammontante ad ulteriori 3,5 miliardi di metri cubi). In realtà sono in discussione 3,3 miliardi di metri cubi (il 30% del volume totale sopra indicato), pari al complesso dei volumi di invaso delle dighe non collaudate, trattandosi di volumi non definitivamente acquisiti all’esercizio, non essendo intervenuto il collaudo tecnico-funzionale di queste dighe in pendenza del completamento della sperimentazione.

E’ evidente che la situazione descritta è in larga parte patologica e che la finalità degli invasi sperimentali è stata in molti casi stravolta, fino ad arrivare ad un esercizio “stabilmente provvisorio”, senza il requisito di piena esercitabilità, cui il collaudo tecnico-funzionale è preordinato. E’ una situazione che la Direzione generale per le dighe del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, struttura cui è affidata la vigilanza sulla sicurezza e sulle operazioni di controllo spettanti a tali fini ai concessionari di derivazione, sta affrontando negli ultimi anni con decisione e che deve essere assolutamente sbloccata nel senso di conseguire la conclusione della sperimentazione e il collaudo di questi serbatoi artificiali o sancirne la collaudabilità parziale oppure la non collaudabilità con la conseguente messa fuori esercizio. Siamo in ogni caso in presenza di una perdita di risorsa idrica non accettabile e di una situazione che richiede interventi risolutivi.

4. LE CAUSE DELLA ECCESSIVA DURATA DEGLI INVASI SPERIMENTALI E I POSSIBILI RIMEDI

I motivi della estesa, e in molti casi ingiustificata, durata degli invasi sperimentali sono molteplici e di seguito sono sinteticamente analizzati, per cogliere alcune criticità generali.

Una delle cause di prolungamento degli invasi iniziali è, in vari casi, quello connaturato alla finalità della prova tecnica: emergono problemi tecnici nel corso della sperimentazione o comportamenti osservati che si discostano dalle previsioni, non chiaramente inquadrati nelle fasi precedenti, e che quindi richiedono studi e interventi. Gli

¹ A questi 1,5 miliardi di metri cubi non invasabili a causa della sperimentazione non completata (di cui ben 388 milioni relativi alla sola diga Cantanera sul fiume Tirso in Sardegna con 360 milioni di metri cubi autorizzati su 748 milioni) devono aggiungersi ulteriori 500 milioni circa di metri cubi di capacità di invaso non utilizzabile afferente a dighe collaudate ma con esercizio limitato per motivi di sicurezza e a dighe non completate.

invasi sperimentali, come tutte le prove di carico, sono infatti finalizzati a verificare la rispondenza tra comportamento atteso e comportamento osservato; la finalità è quella di correggere eventuali diverse valutazioni effettuate nella fase di progettazione e di costruzione o “intrappolare” gli errori commessi in tali fasi. In assenza di prontezza del concessionario-gestore sia in termini di capacità finanziaria sia in termini di capacità progettuale e operativa i problemi restano irrisolti per lungo tempo e si instaura quindi una situazione abnorme rispetto alle previsioni regolamentari.

Sussiste poi generalmente un problema costituito dall'utilizzo anticipato della risorsa idrica nel corso della sperimentazione con asservimento di questa alle esigenze delle nuove utenze anziché il contrario. Tale forzatura, troppo tollerata o assecondata per far fronte ad asserite carenze e crisi idriche, rischia di condurre ad un aggiramento della regolamentazione, mascherando con gli invasivi sperimentali un ordinario esercizio limitato nei volumi; è necessario invece comprimere le esigenze delle nuove utilizzazioni nei primi anni, per conseguire prima possibile la piena operatività dell'opera.

In *Figura 5* è mostrato l'andamento temporale dei livelli sperimentali di una diga ad uso irriguo destinata a creare un serbatoio artificiale di 150 milioni di metri cubi di invaso; la sperimentazione si prolunga in un arco di un ventennio, peraltro con problemi tecnici sulle strutture in calcestruzzo armato dello scarico di superficie che si sono evidenziati nell'ultimissima fase, con un dissesto occorso a detto scarico al raggiungimento per la prima volta della quota massima di regolazione. È un serbatoio a regolamentazione pluriennale, ma è evidente che l'uso anticipato della risorsa idrica ha rallentato la complessiva durata degli invasivi sperimentali.

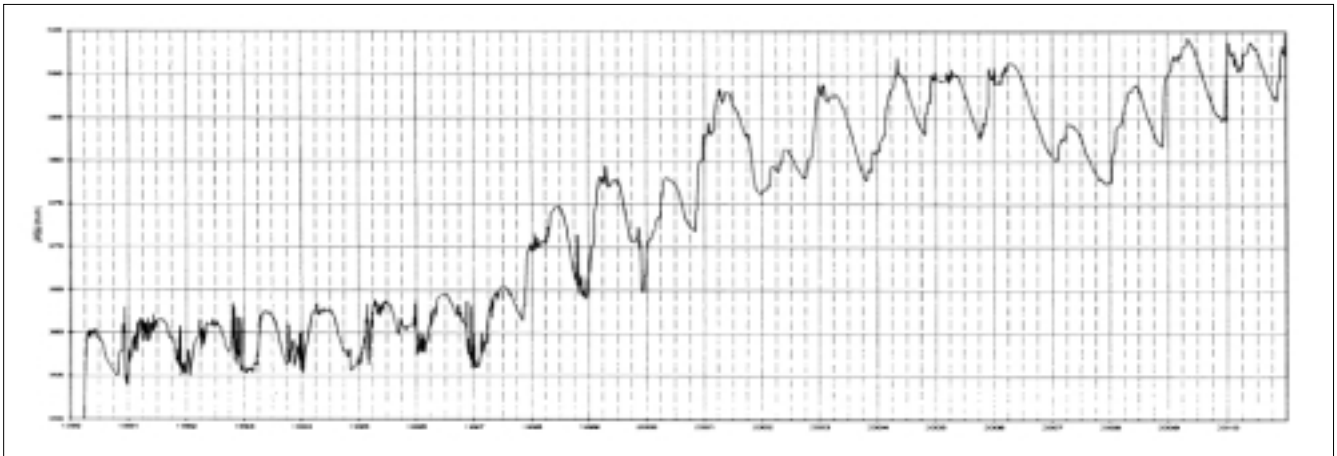


Figura 5 - Diga di Montedoglio - Volume 150 Mm³ a regolazione pluriennale - Sperimentazione 1990-2010.

Queste considerazioni sull'uso anticipato della diga valgono anche per l'uso antipiena: l'adozione da parte delle regioni di un “piano di laminazione” (in genere statico ai sensi della Dir. P.C.M. 27 febbraio 2004), riservando volumi d'invaso per riduzione del rischio idraulico a valle a valere su livelli e volumi idrici non preventivamente sperimentati, è da scoraggiare, perché comporta ritardi nella sperimentazione, che avrebbe poi naturalmente luogo proprio in corso di piena nel momento meno adatto. Alcuni incidenti sono stati evitati o ridotti nelle conseguenze proprio grazie allo sfasamento tra invaso sperimentale e piena.

L'uso anticipato delle risorse si associa frequentemente a fabbisogni mutati rispetto alle previsioni di progetto o successivamente adattati ai volumi sperimentalmente resi disponibili; alcuni invasivi sperimentali non proseguono, perché il volume idrico disponibile è sufficiente per l'utilizzazione e il concessionario non ha interesse a risolvere i problemi che consentirebbero di incrementarlo, confidando sul prolungamento dell'esercizio provvisorio a tempo indefinito.

Tra le cause dell'assenza di iniziative che consentirebbero di comprimere la durata degli invasivi sperimentali si rileva poi un problema strutturale di carezza di risorse economiche dei concessionari pubblici, in particolare nel settore irriguo, carezza che in molti casi si associa a non adeguatezza tecnico-gestionale di enti e consorzi, laddove ad esempio non si è in grado di garantire nemmeno l'ordinaria manutenzione delle opere se non in presenza di finanziamenti straordinari; in queste condizioni le amministrazioni concedenti dovrebbero avviare procedimenti di decadenza o revoca della concessione, tanto più che ci sono invece enti e consorzi di bonifica efficienti. Sussiste in tale ambito il problema di garantire un uso responsabile della risorsa idrica, con entrate certe degli enti concessionari irrigui in relazione all'uso e alla distribuzione dell'acqua assicurato. La circostanza che per le dighe ad uso idroelettrico la durata degli invasivi sperimentali sia invece, allo stato, generalmente contenuta (al di là dei casi di problemi tecnici insorti nel corso della sperimentazione) è indice della rilevanza della capacità tecnico-operativa del concessionario ai fini della corretta conclusione del procedimento previsto dagli artt.13 e 14 del “Regolamento dighe”.



Si evidenzia parallelamente, sotto l'aspetto della valutazione della capacità finanziaria e tecnico-operativa dei concessionari, un problema di disinteresse delle regioni concedenti, più coinvolte nelle acquisizioni nel citato settore idroelettrico e meno attente nel governare il settore delle concessioni irrigue e potabili: se la risorsa idrica non è sfruttata appieno dovrebbe sorgere un problema anche per chi quella risorsa l'ha data in concessione. Relativamente agli interventi che consentirebbero di sbloccare alcune sperimentazioni, si sovrappongono in alcune situazioni procedure autorizzative (in particolare ambientali), di appalto e di finanziamento eccessivamente complesse, da snellire strutturalmente più che con interventi acceleratori straordinari.

Occorre rilevare tra le principali cause anche le lacune nella normativa sugli invasi sperimentali: non aver previsto regole e tempi certi o massimi per il collaudo tecnico-funzionale ha favorito questa situazione non più sostenibile, cui contribuiscono in alcuni casi anche ritardi nelle stesse attività dei collaudatori.

Si aggiunge, come effetto che diventa causa, l'invecchiamento dell'opera e la perdita di conoscenza laddove il collaudo interviene decenni dopo la costruzione, con l'esigenza di dover reiterare indagini e studi e di dover recuperare valutazioni ed atti pregressi.

La conseguenza della situazione descritta è da una parte lo stravolgimento della finalità degli invasi sperimentali (fino ad arrivare ad un esercizio "stabilmente provvisorio" senza il requisito di piena esercibilità cui il collaudo tecnico-funzionale è preordinato), dall'altra una non accettabile perdita di capacità di accumulo della risorsa idrica con danno per la collettività.

Quali sono i possibili rimedi?

Anzitutto si evidenzia l'esigenza di destinare maggiori risorse pubbliche alla salvaguardia del patrimonio delle infrastrutture idriche e in particolare delle dighe, a cominciare dalle risorse economiche necessarie al completamento delle sperimentazioni in corso. A partire dalla fine della scorsa legislatura e poi con l'attuale legislatura sono state destinate importanti risorse alle dighe per interventi relativamente contenuti ma diffusi e qualitativamente significativi per sbloccare la maggioranza degli invasi sperimentali. Il Piano operativo infrastrutture di competenza del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, nell'ambito dei Fondi sviluppo e coesione 2014-20, ha destinato 325 milioni di euro per 70 dighe in invaso sperimentale gestite da concessionari pubblici; ulteriori risorse sono state appostate con il "Piano straordinario invasi" ai sensi della art.1, co.523 e ss., della L. 205/2017. Prima di nuove opere c'è comunque da conseguire il pieno esercizio delle citate dighe ancora senza collaudo tecnico-funzionale in particolare nelle regioni centro-meridionali e insulari. Desta perplessità il fatto che, ad esempio in Calabria o in Sicilia, si promuova la realizzazione di nuove dighe o la ripresa di iniziative non concretizzate in passato, quando c'è da ancora da conseguire l'esercizio di importanti opere già realizzate.

Sono parallelamente necessarie semplificazioni nel sistema parcellizzato sia delle amministrazioni che operano nel settore dell'acqua ma soprattutto dei concessionari, in base a principi di efficienza ed adeguatezza, affidando la gestione delle dighe a enti che per territorio di competenza e capacità tecnico operativa siano in grado di assolvere alla funzione cui la concessione è sottesa. E qui il ruolo delle amministrazioni regionali concedenti deve essere necessariamente più attivo, in parallelo al necessario rafforzamento della struttura dello Stato deputata alla vigilanza sulla sicurezza delle dighe.

Sempre tra i rimedi occorre rilevare che sono in corso di definizione modifiche alla regolamentazione su invasi sperimentali e collaudi (nell'ambito del nuovo Regolamento dighe al quale si auspica che il Consiglio Superiore dei LL.PP. possa riservare la dovuta attenzione in necessario raccordo con la Direzione generale per le dighe del Ministero) in modo da conseguire tempi programmati e certi degli invasi sperimentali e dei collaudi, con necessaria prevalenza della sperimentazione nei primi anni di vita delle opere. Occorre infatti conseguire per ciascuna diga un programma di invasi sperimentali che sia prevalente rispetto all'utilizzazione della risorsa idrica nei primi anni, non per comprimere le nuove utilizzazioni ma per rendere prima disponibile per esse l'intera risorsa idrica.

Occorre in proposito rilevare che, in attesa di dette modifiche alla regolamentazione tecnica, la Direzione generale per le dighe del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, oltre ad attivarsi con le richiamate iniziative di finanziamento ed avviare una ricognizione dei provvedimenti concessori di competenza regionale, ha emesso, in materia di invasi sperimentali e collaudi, le circolari n.25833 del 18/12/2015 e n.30385 del 27/12/2018, finalizzate al riesame delle condizioni delle dighe in invaso sperimentale. Detto riesame è "*volto da una parte ad evitare - tramite eventuale riduzione della quota autorizzata - il consolidarsi a tempo indeterminato di esercizi gestionali non più finalizzati alla sperimentazione tecnica prevista dall'art.13 del D.P.R.1363/1959, dall'altra ad individuare gli adempimenti effettivamente necessari al completamento degli invasi sperimentali, tenuto anche conto, per quanto attiene alla normativa tecnica applicabile, di quanto disposto dall'art.3 del D.M. 26/6/2014*".

E' stato altresì precisato che "*nell'impossibilità del completamento degli invasi sperimentali o qualora fossero venute meno le esigenze di utilizzazione della risorsa idrica a base dei progetti a suo tempo realizzati, è necessario che i concessionari / gestori siano indirizzati, sentita anche l'Amministrazione concedente, verso iniziative*



volte alla dismissione o declassamento degli sbarramenti ovvero volte ad individuare quote di esercizio definitivamente ridotte, con i conseguenti interventi strutturali (ad es. modifiche alle opere di scarico di superficie) o non strutturali necessari per assicurare la sicurezza idraulica e la collaudabilità delle dighe anche in caso di eventi estremi e fino a quote di invaso già positivamente sperimentate con cicli di invaso”.

5. ALCUNI CASI ESEMPLIFICATIVI

Anche se ognuna delle 80 dighe ancora in invaso sperimentale sarebbe un caso a sé, sono di seguito illustrati alcuni casi esemplificativi di sperimentazione, differenziati per problemi sorti e durate della sperimentazione.

I primi due esempi sono relativi a dighe (diga di Casanuova in Umbria, e dighe di Medau Zirimilis – Carru Segau in Sardegna) con invasi sperimentali condizionati da rilevanti problemi tecnici sorti nei primi cicli, che in qualche misura giustificano i rallentamenti occorsi nella sperimentazione, almeno nella prima fase di essa. I successivi quattro esempi (dighe di Altamura in Puglia, Pignola in Basilicata, Redisole in Calabria e Campolattaro in Campania) sono casi limite e paradossali per le condizioni in cui versa il procedimento di sperimentazione tecnica. Gli ultimi due casi (diga di laminazione sull’Olona in Lombardia e diga del Menta in Calabria), al contrario, sono esemplificativi di situazioni virtuose rilevabili nel panorama nazionale.

La diga di Casanova sul fiume Chiascio (bacino del Tevere) in Umbria, realizzata tra il 1981 e il 1994 con un volume originario di invaso previsto in 200 milioni di metri cubi, è un esempio di opera per la quale la sperimentazione è stata oggettivamente condizionata da rilevanti problemi tecnici insorti durante primi invasi. E’ una diga di terra zonata alta 74 m.

Durante i primi riempimenti alle quote idriche inferiori, si è evidenziato un fenomeno di instabilità a carattere lento di una porzione significativa del versante destro della diga, poco a monte della sezione di sbarramento, con interessamento dell’opera di derivazione che lo attraversa, conseguentemente lesionata. Il fenomeno, originariamente interpretato come paleofrana, si è evidenziato proprio a seguito del lesionamento della condotta di derivazione, che dalla presa si sviluppa in sotterraneo approssimativamente con la medesima direzione del movimento ed è intercettata dalla superficie di scorrimento a debole pendenza della frana. La condotta derivazione è stata inizialmente riparata realizzando nella zona lesionata un giunto telescopico atto ad assecondare il movimento della pendice, che è dell’ordine del cm/anno, con incrementi della velocità coerenti con gli incrementi della quota piezometrica in connessione con invasi e/o precipitazioni. Gli invasi sperimentali sono stati interrotti, consentendo nel frattempo solo riempimenti minimi alla quota minima di regolazione.

E’ stata avviata in parallelo dall’Ente concessionario, a seguito di prescrizioni della struttura dello Stato di vigilanza sulla sicurezza delle dighe (all’epoca il Servizio nazionale dighe), un’attività di studio che è durata numerosi anni, con la progettazione e l’iter autorizzativo di interventi di incremento della sicurezza dell’invaso e di stabilizzazione del versante. Il primo intervento eseguito negli anni tra il 2002 e il 2007 è stata la delocalizzazione, verso monte, dell’imbocco dello scarico di fondo (originariamente ubicato in area che poteva essere coinvolta dal movimento franoso ancorché sul versante opposto), in modo da consentire lo svuotamento in sicurezza dell’invaso anche in caso di franamento generalizzato del pendio. Dopo l’esame di varie ipotesi ed un complesso iter progettuale ed autorizzativo, l’ente concessionario ha dato corso alla realizzazione di un intervento di stabilizzazione frontale della pendice, con lo scopo di bloccare o comunque rallentare i fenomeni; l’intervento costituito da un rilevato di imponenti dimensioni (oltre 2 milioni di m³ di terra) al piede del pendio, con il contestuale prolungamento della derivazione e del suo imbocco.

La *Figura 6* riporta, in alto a destra, l’ubicazione della opere (la freccia in rosso identifica la pendice in movimento e la relativa direzione), in alto a sinistra la planimetria del rilevato di stabilizzazione e, in basso, la vista della pendice prima e durante i lavori.

L’intervento è in corso di completamento; dovranno successivamente riavviarsi nuovi invasi sperimentali, di durata prevista tre-quattro anni, per verificare, con un articolato sistema di monitoraggio di spostamenti in superficie e in profondità, di pressioni interstiziali, di deformazioni delle opere e del terreno, l’efficacia dell’intervento, per un recupero almeno parziale della capacità di invaso del serbatoio.

Si forniscono di seguito alcuni dati sul fenomeno: il volume di terreno in lento movimento è stimato in circa 20 milioni di m³, con spessore massimo di 70 m; il rilevato di stabilizzazione ha un volume di circa 2,5 milioni di m³ e un altezza massima di 40 m; l’invaso è stato originariamente previsto in 200 milioni di m³, con quota minima di regolazione a 290 m s.m. e quota massima di regolazione a 330 m s.m.; la quota di coronamento della diga è a 338 m s.m., la quota sommitale del rilevato di stabilizzazione è posta a 310 m s.m. e le prime fasi di nuovi invasi sperimentali prevedono un re-invaso da quota 285 m s.m. a quota 305 m s.m. con un parziale recupero di volume di invaso di 50 milioni m³.

Nonostante il tempo trascorso (dalla fine costruzione durata un arco di quindici anni negli anni 1981-94, ai primi interventi di delocalizzazione dello scarico di fondo degli anni 2002-07, all’intervento di stabilizzazione del 2016-19), questo è un caso in cui i problemi tecnici e di sicurezza, evidenziati proprio dagli invasi sperimentali, oggettivamente condizionano la durata degli stessi e l’entrata in regolare esercizio del serbatoio artificiale.



Figura 6 - Diga di Casanuova sul fiume Chiascio (PG) - Ubicazione e vista delle opere.

Il secondo esempio riguarda l'invaso formato dalle dighe di Medau Zirimilis e Carru Segau in Sardegna, entrambe di pietrame con manto di tenuta a monte in conglomerato bituminoso. In *Figura 7* sono visibili la diga principale, alta 52 m, e, sullo sfondo, quella secondaria, alta 20 m; il volume di invaso è di 17 milioni di m³. La costruzione dell'opera ha avuto luogo tra il 1981 e il 1990; gli invasi sono iniziati immediatamente dopo la costruzione, ma hanno interessato solo le quote idriche fino a 10 m circa dalla quota massima di regolazione.

Nei primi cicli di invaso si sono infatti evidenziati difetti di tenuta in fondazione, rilevandosi la necessità di prolungamento dello schermo per ridurre i gradienti di filtrazione; il tempo trascorso ha aggiunto l'esigenza di interventi manutentivi sui manti di tenuta in conglomerato bituminoso. Il diagramma in *Figura 7* mostra le perdite totali (portate filtranti) raccolte nel cunicolo della diga in funzione del livello di invaso, con evidente comportamento non lineare già per quote di 10 m inferiori a quella massima di regolazione, mai raggiunta proprio per la conseguente sospensione della sperimentazione alle quote più elevate. I problemi si sono evidenziati fin dalla fi-

ne degli anni '90, ma ad oggi nessun intervento è stato eseguito nonostante gli studi disponibili. Solo recentemente sono stati conseguiti dal concessionario finanziamenti per intervenire.

E' evidente che in questo caso il concessionario si è accontentato di utilizzare un volume di invaso ridotto di 6-7 milioni di m³ rispetto ai 17 milioni totali. Ma, a parte l'inadeguato uso della risorsa concessa e dell'opera, sarebbe comunque necessario intervenire anche qualora la decisione fosse per un uso ridotto del volume di invaso, dovendosi in questi casi realizzare anche un nuovo scarico di superficie o modificare quello esistente, per un definitivo abbassamento della quota massima di regolazione.

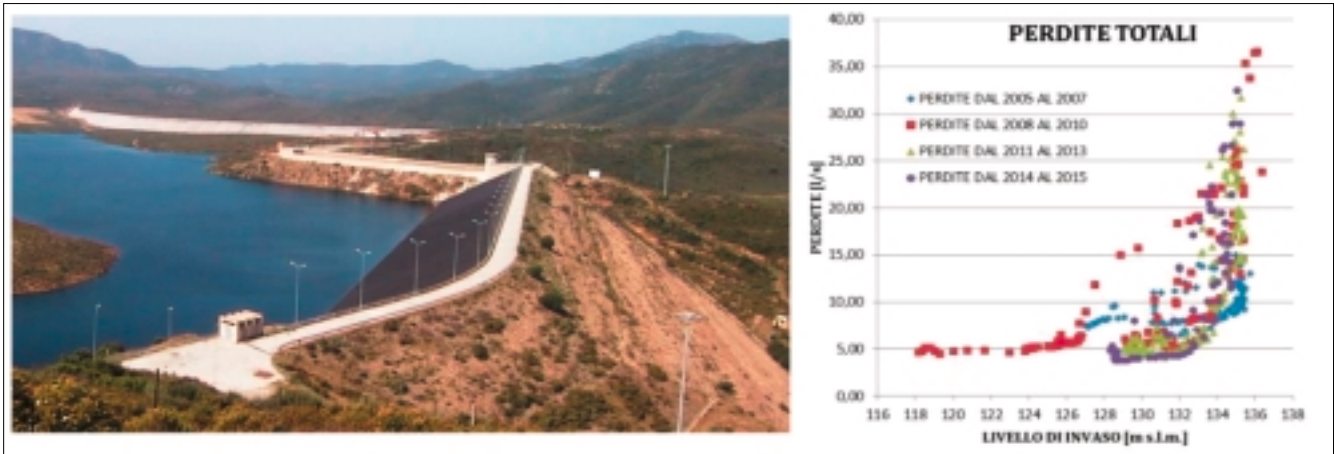


Figura 7 - Dighe di Medau Zirimilis e Carru Segau (CA) – Vista delle opere e andamento delle perdite.

I successivi tre esempi (Fig. 8) costituiscono casi limite di dighe completate da decenni ma mai avviate agli invasi sperimentali e inutilizzate, per carenze impiantistiche (anche minimali) cui i richiedenti la concessione, utilizzati i finanziamenti per la realizzazione dello sbarramento, non è stato in grado o voluto far fronte. Si tratta delle seguenti dighe: diga Redisole in Calabria (bacino del fiume Neto), di pietrame con manto in conglomerato bituminoso, alta 40 m con volume di invaso di 1,5 Mm³ e completata nel 1992; diga Altamura in Puglia (bacino del



Figura 8 - Dighe di Redisole (CS) in alto a sx, Altamura (BA) in alto a dx e Pignola (PZ) in basso.

Bradano), di terra zonata, alta 20 m con volume di invaso di 1,8 Mm³ e completata nel 1993; diga Pignola in Basilicata (bacino del Basento), di terra con manto, alta 10 m con volume di invaso di 5,5 Mm³ e completata nel 1981; le prime due sono opere ad uso prevalente irriguo, l'ultima ad uso originariamente previsto di tipo industriale.

Non essendo gli invasi sperimentali nemmeno iniziati (gli sbarramenti sono mantenuti con scarichi di fondo aperti), non sono stati verificati i comportamenti delle opere, che sono state oggetto di invecchiamento e in parte degrado. E' evidente che in questi casi si è in presenza di un interesse a costruire le opere e un disinte-





resse a gestirle, cui si sommano una presunta sopravvalutazione delle esigenze idriche e l'assenza di azioni correttive e di controllo da parte delle amministrazioni regionali concedenti. Sono opere comunque esistenti e devono essere completate e portate in esercizio oppure definitivamente dismesse. Recentemente, anche su iniziativa del MIT (e per la diga Pignola della Regione Basilicata), sono state rese disponibili risorse per avviare gli invasi sperimentali e si è in attesa di definizione ed esecuzione delle manutenzioni impiantistiche e della strumentazione di controllo ad essi propedeutiche.

Un ulteriore ma singolarmente diverso caso limite è costituito dalla diga di Campolattaro sul fiume Tammaro (bacino del Calore – Volturno) in Campania. E' un importante invaso di 125 milioni di metri cubi, destinato ad usi multipli (in primis irrigui e potabili), costituito da una diga di terra zonata alta 49 m. E' stato realizzato tra il 1981 e il 1993, cui seguono dieci anni di stasi per la soppressione della Cassa del Mezzogiorno - Agensud e il trasferimento delle opere alla Provincia di Benevento. Nel 2006 sono iniziati finalmente gli invasi sperimentali che, svoltisi in un arco di quindici anni, sono in via di conclusione.

La *Figura 9* mostra in fotografia lo sbarramento da monte: la zona più chiara del paramento di monte e della sponda destra in prossimità dei calici di superficie evidenzia che gli invasi sono giunti fin quasi alla quota massima di regolazione. In passato sono stati eseguiti interventi di sistemazione spondale, anche per ridurre l'interimento, e allo stato non sussistono particolari problemi tecnici da risolvere. Manca tuttavia l'opera di derivazione (a parte la presa) e la connessione con il sistema irriguo ed acquedottistico campano, circostanza che rende l'opera e la risorsa idrica inutilizzabile, sebbene gli invasi sperimentali potranno a breve essere completati grazie all'impegno sul punto del gestore (si attende per l'ultimo step il potenziamento della strumentazione piezometrica della diga).

Si è scontata in questi anni l'inerzia del concessionario e soprattutto dell'amministrazione regionale concedente. Solo recentemente, su impulso del MIT, sono state attivate dalla Regione Campania iniziative per la progettazione delle opere di derivazione (dotate solo di un pregresso studio di fattibilità) che, in uno con i finanziamenti in parte disponibili e in parte da reperire, dovrebbero consentire di sbloccare la situazione paradossale (serbatoio completamente invasabile ma privo d'uso) in cui l'opera si trova.

Gli ultimi due casi sono invece esemplificativi di situazioni virtuose che, occorre rilevare, non sono pochi grazie ad enti concessionari e gestori più efficienti.

Il primo è quello relativo allo sbarramento di laminazione sul torrente Olona, che realizza un invaso di 1,5 milioni di metri cubi invasabili per la riduzione del rischio idraulico a valle; la diga, dotata di un sistema di regolazione della portate con paratoie, è a gravità ordinaria in calcestruzzo, alta 16 m e mascherata per motivi ambientali



Figura 9 - Diga di Campolattaro in provincia di Benevento.

da rilevati di materiali sciolti (Fig.10). E' stata realizzata in due anni tra il 2007 e il 2009; l'invaso sperimentale ha avuto luogo in un anno (2010), seguito da ulteriori quattro anni di verifiche che hanno riguardato anche gli automatismi delle paratoie in corso di piena; il collaudo tecnico-funzionale si è concluso nel 2016. Una particolarità, oltre al mascheramento dell'opera, è costituita da una zona agricola storica (i mulini di Ponte Gurone) che sarebbe stata sommersa dall'invaso seppur temporaneo e che il proponente ha voluto salvaguardare, progettando e realizzando un'arginatura ad anello anch'essa soggetta a specifiche verifiche nel corso degli invasi sperimentali e delle piene, con particolare riferimento ai fenomeni di filtrazione. La diga, attualmente in esercizio e gestita dall'Agenzia interregionale per il Po, è stata quindi assoggettata a tempi di progettazione, autorizzazione, realizzazione, invaso sperimentale e collaudo tecnico-funzionale contenuti, che l'hanno resa rapidamente fruibile per le funzioni per la quale è stata realizzata.



Figura 10 - Diga di Olona (VA) e Mulini di Ponte Gurone.

Un altro esempio nel complesso virtuoso, almeno per quanto attiene agli invasi sperimentali, è quello diga del Menta, situata nell'Aspromonte in Calabria, ad uso prevalente idropotabile, che ha raggiunto a fine 2018 la quota massima di regolazione e potrà essere probabilmente collaudata nell'anno in corso. La diga, illustrata anche in *Figg.1 e 11*, è in pietrame con manto di tenuta in conglomerato bituminoso, alta 90 m e con un invaso di 18 milioni di m³. E' stata completata nel 2000 dopo quasi quindici anni di costruzione e sono stati necessari quasi altri dieci anni per il passaggio dalla soppressa Agensud alla Regione Calabria, finché la gestione è stata assunta dalla Sorical s.p.a. (Società Risorse Idriche Calabresi), che in nove anni (dal 2009 al 2018) ha attuato gli invasi sperimentali, realizzando nel periodo l'opera di presa.

L'originario programma degli invasi sperimentali, in realtà previsto in meno di cinque anni, ha subito rallentamenti per la realizzazione della presa (Fig.12). I fenomeni maggiormente tenuti sotto controllo sono state le perdite - filtrazioni e le pressioni interstiziali. L'attenzione è stata rivolta alle rilevanti filtrazioni in fondazione che avevano superato i 50 - 70 l/s per invasi ancora intermedi. Il periodo di stasi dei livelli tra il 2011 e il 2013 ha evidenziato tuttavia una riduzione complessiva delle perdite, probabilmente per progressivo intasamento di vie preferenziali nelle discontinuità e fratture della formazione rocciosa di fondazione, con pressioni neutre in linea con le previsioni progettuali e con l'efficienza del sistema di drenaggio (Fig.13). Tant'è che con la risalita dei livelli idrici le perdite si sono mantenute entro valori coerenti con quelli attesi.

L'opera sarà probabilmente collaudata nel 2019-20 e garantirà l'approvvigionamento idropotabile per la città di Reggio Calabria; è prevista anche un'utilizzazione idroelettrica intermedia.



Figura 11: Diga del Menta (RC) – vista del lago artificiale e dello scarico di superficie allo sfioro.

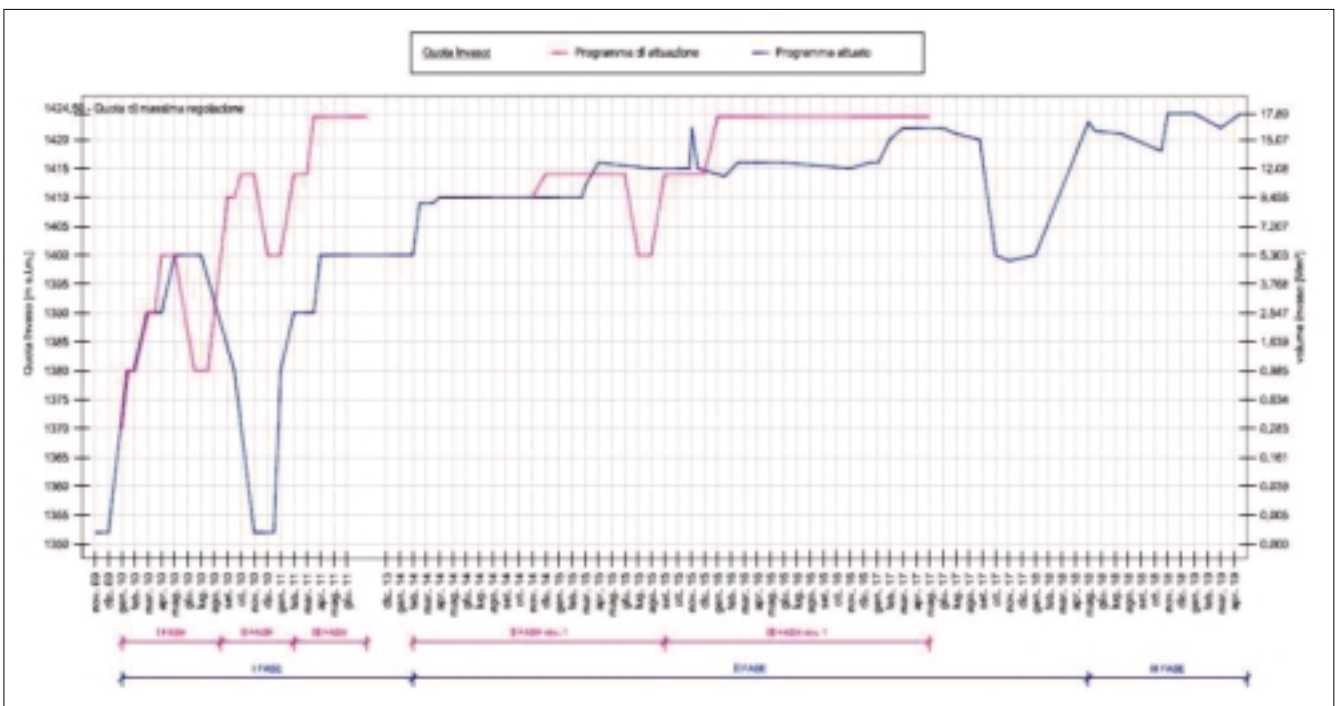


Figura 12 - Diga del Menta (RC) – Andamento degli invasi sperimentali programmati ed attuati.

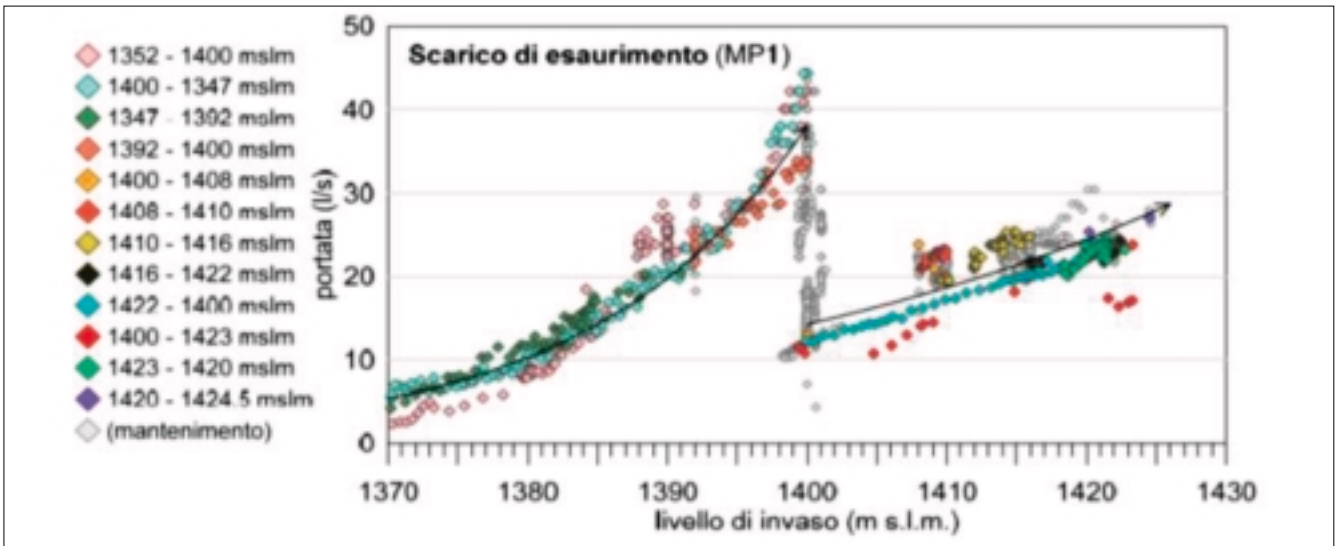


Figura 13 - Diga del Menta (RC) – Andamento delle portate filtranti in funzione del livello di invaso.



6. CONCLUSIONI

Il numero di dighe ancora in invaso sperimentale (80 su 532) impone il forte impegno dei diversi attori che operano nel settore delle dighe, affinché l'attuale occasione posta dalla rinnovata attenzione al tema dell'acqua e delle risorse idriche, unita alla straordinaria disponibilità di finanziamenti per il settore irriguo e potabile (Piano operativo FSC, Piano invasi, Fondi del MPAF e delle Regioni) non sia sprecata, ma consenta un importante incremento in sicurezza di capacità di invaso. Occorre concludere il maggior numero possibile di procedimenti di sperimentazione e di collaudo tecnico-funzionale, grazie ad interventi che incrementano la sicurezza delle opere, valorizzano le risorse idriche e il patrimonio delle infrastrutture idrauliche esistenti conservandolo per il futuro. Occorre nel contempo risolvere le criticità evidenziate dalla eredità di un'abnorme durata degli invasi sperimentali, promuovendo gestioni delle opere meno parcellizzate, più efficienti ed adeguate e introducendo modifiche alla normativa di settore che stabiliscano tempi massimi dei procedimenti di invaso sperimentale e collaudo.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Circolare Min. LL.PP. 4 dicembre 1987, n. 352 - *Prescrizioni inerenti all'applicazione del regolamento sulle dighe di ritenuta*, approvato con decreto del Presidente della Repubblica 1° novembre 1959, n. 1363.

D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363 - *Approvazione del regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta*.

D.P.R. 24 gennaio 1991, n. 85 (art. 24) - *Regolamento concernente la riorganizzazione ed il potenziamento dei Servizi tecnici nazionali geologico, idrografico, mareografico, sismico e dighe nell'ambito della Presidenza del consiglio dei Ministri*, ai sensi dell'art. 9 della legge 18 maggio 1989, n. 183.

R.D. 31 dicembre 1925, n. 2540 - *Regolamento per i progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta*.

R.D. 1° ottobre 1931, n. 1370 - *Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta*.





Diga di Poma, Partinico (PA). Foto di Carla Cioccarì



Armando Brath*

LAMINAZIONE DELLE PIENE E SICUREZZA IDRAULICA DEI TERRITORI A VALLE DELLE DIGHE.

Piani di laminazione: stato di attuazione, criticità e opportunità

FLOOD RISK MITIGATION DOWNSTREAM OF DAMS.

Lamination Programs: State of Implementation, Critical Aspects and Perspectives

I serbatoi di regolazione dei deflussi possono esercitare importanti effetti di moderazione delle piene dei corsi d'acqua, riducendo sensibilmente il naturale livello di rischio idraulico cui sono soggetti i territori vallivi. Tale evidenza è alla base della Direttiva PCM del 27 febbraio 2004, che ha introdotto la disciplina dei piani di laminazione, ma anche delle numerose limitazioni di esercizio imposte, con provvedimenti di natura amministrativa diversa, a numerose dighe esistenti, ai fini della mitigazione del rischio alluvionale dei territori vallivi. Nella memoria si presenta un inquadramento complessivo del problema, mettendo in luce le criticità e le opportunità che questi strumenti presentano ed evidenziando le opportune strategie per la loro più corretta e proficua applicazione.

1. INQUADRAMENTO GENERALE

La presenza di una diga su un corso d'acqua determina, nel corso delle piene, modifiche anche rilevanti del regime idrometrico a valle dell'opera rispetto all'assetto naturale, che si verificherebbe in assenza di opera; l'andamento dell'onda di piena in uscita da un serbatoio $Q_u(t)$ risulta infatti differente, anche sensibilmente, da quello dell'onda in ingresso $Q_e(t)$; quest'ultima onda sarebbe ovviamente quella che transiterebbe a valle dell'opera nell'ipotetica situazione di assenza dell'invaso.

Il legame tra l'onda di piena in ingresso e quella in uscita da un serbatoio è notoriamente dato dalla semplice equazione differenziale, denominata equazione di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1)$$

nella quale $Q_e(t)$, $Q_u(t)$ e $W=W(t)$ rappresentano, rispettivamente, i valori assunti al tempo t dalla portata entrante, da quella uscente e dal volume contenuto nell'invaso. La (1) esprime il principio di conservazione della massa; essa si può infatti agevolmente ricavare imponendo la condizione che la differenza tra la massa d'acqua entrante nel serbatoio e quella uscente dallo stesso, in un intervallo di tempo di durata infinitesima dt , compreso tra il generico tempo t e il tempo $t+dt$, eguagli la variazione di massa idrica presente nel serbatoio, e assumendo il liquido incomprimibile.

La portata in uscita dal serbatoio, $Q_u(t)$, abbandona lo stesso attraverso uno più opportuni organi, denominati scarichi (v. *Fig. 1*); questi sono normalmente costituiti almeno da uno scarico posto nella parte inferiore del serbatoio medesimo, denominato scarico di fondo, destinato a consentire il rapido svuotamento dell'invaso ove necessario, e da uno scarico di superficie o scarico di sicurezza, posto a quote superiori a quella massima alla quale può trovarsi il serbatoio durante il normale esercizio (livello di massima regolazione), esclusi i periodi di piena. Lo scarico di superficie è destinato a garantire lo smaltimento, eventualmente con l'ausilio dello scarico di fondo, delle portate relative alle piene più intense che il serbatoio è destinato a fronteggiare (portate di massima piena); ciò senza che il livello nel serbatoio possa superare un valore massimo ammissibile (denominato livello di massimo invaso), che corrisponde ad una condizione di riempimento che consente ancora il rispetto di opportuni franchi di sicurezza.

Nel caso mostrato in *Figura 1*, la portata uscente al tempo t , $Q_u(t)$, è la somma di quella esitata dallo scarico di fondo $Q_{u,f}(t)$, e di quella esitata dallo scarico di superficie, $Q_{u,s}(t)$; $Q_{u,s}(t)$ risulta presente solo se, nell'istante t considerato, il livello supera quello della soglia di sfioro (posta alla quota di massima regolazione), così da determi-

*Università di Bologna. Presidente dell'Associazione Idrotecnica Italiana.

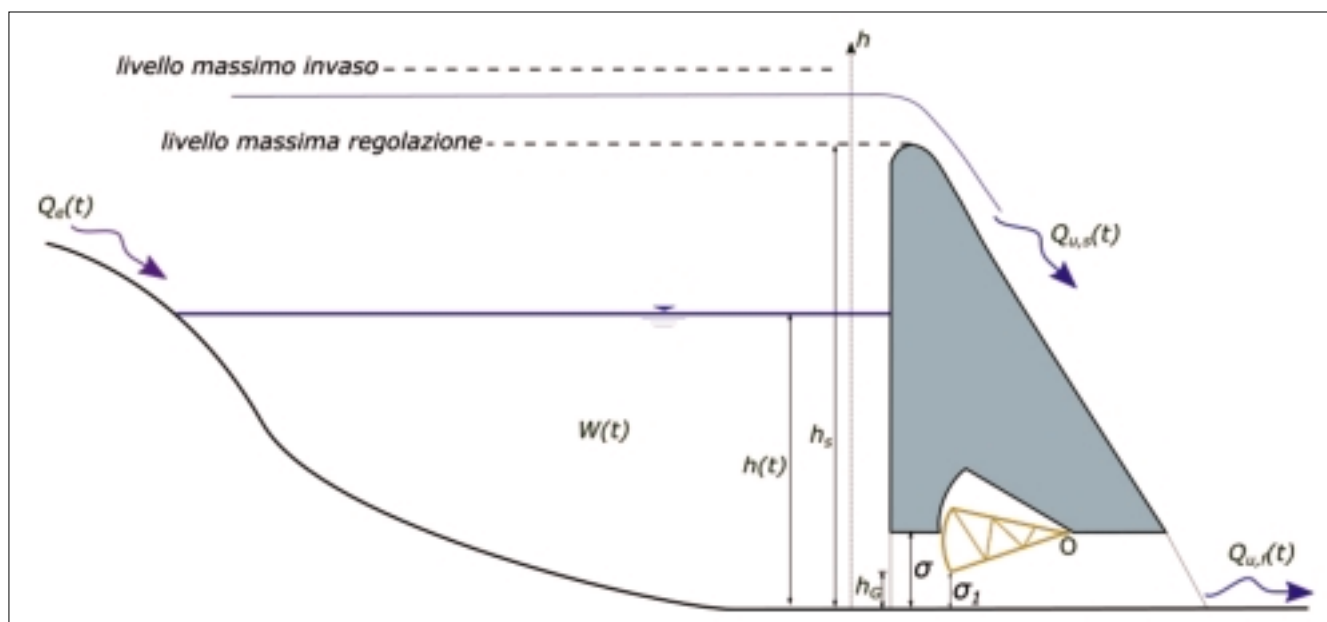


Figura 1 - Schema di un invaso e degli scarichi di fondo e di superficie.

nare l'attivazione dello scaricatore di superficie. Nella *Figura 1* è rappresentato il caso di scarico di fondo presidiato da un organo mobile di regolazione (nel caso in esame costituito da una paratoia a settore circolare che può ruotare attorno al punto O), come sempre avviene per i serbatoi aventi una qualche funzione di regolazione dei deflussi, mentre lo scarico di superficie è costituito, nel caso in esame, da una soglia sfiorante libera ovvero priva di organi di regolazione.

Nella pratica applicativa, il problema di più frequente interesse è quello di valutare l'andamento dell'onda di piena uscente dall'invaso, noti quello dell'onda entrante e il grado di riempimento iniziale dell'invaso stesso. In un problema di questo tipo, nell'equazione di continuità sono incogniti sia l'andamento temporale di $Q_u(t)$ che quello di $W(t)$. L'apparente indeterminazione del problema (presenza di due incognite e disponibilità di una sola equazione) può essere superata osservando che sia $Q_u(t)$ che $W(t)$ sono funzioni dell'altezza d'acqua presente nel serbatoio $h(t)$; ne risulta che l'unica equazione disponibile presenta di fatto un'unica, vera incognita che è appunto $h(t)$. La dipendenza del volume di invaso dall'altezza è esprimibile tramite una legge del tipo:

$$W = W(h) \quad (2)$$

comunemente indicata come curva dei volumi di invaso in funzione dell'altezza o curva di invaso.

Invece, per esprimere la legge di dipendenza di $Q_u(t)$ dal livello $h(t)$, occorre tenere conto del tipo e della natura degli organi di scarico presenti e quindi delle leggi che ne caratterizzano l'efflusso. Nel caso mostrato in *Figura 1*, la legge di efflusso dello scarico di fondo è quella caratteristica delle luci a battente:

$$Q_{u,f}(t) = \mu_f \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot [h(t) - h_G]} \quad (3)$$

essendo μ_f il coefficiente di efflusso della luce, σ l'area della luce stessa (in caso di azionamento della paratoia va considerata la luce libera, ovvero σ_1 , v. *Figura 1*) e h_G la quota del baricentro della luce libera sullo zero di riferimento rispetto al quale viene valutata $h(t)$.

Nel caso dello scarico di superficie, invece, il legame tra la portata scaricata $Q_{u,s}(t)$ e il livello idrico presente nel serbatoio $h(t)$ si esprime come:

$$Q_{u,s}(t) = \mu_s \cdot L \cdot [h(t) - h_s] \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot [h(t) - h_s]} \quad (4)$$

in cui μ_s è il coefficiente di efflusso caratteristico della soglia di sfioro, L la lunghezza della soglia di sfioro, h_s la sua quota rispetto allo stesso riferimento utilizzato per valutare $h(t)$, talché $h(t) - h_s$ è il carico idraulico che si verifica all'istante t sulla soglia di sfioro.

Così facendo l'equazione di continuità può essere risolta con apposite, semplici tecniche numeriche, in modo da determinare $Q_u(t)$, noti $Q_e(t)$ e il livello idrico h_0 presente nel serbatoio all'istante $t=0$.

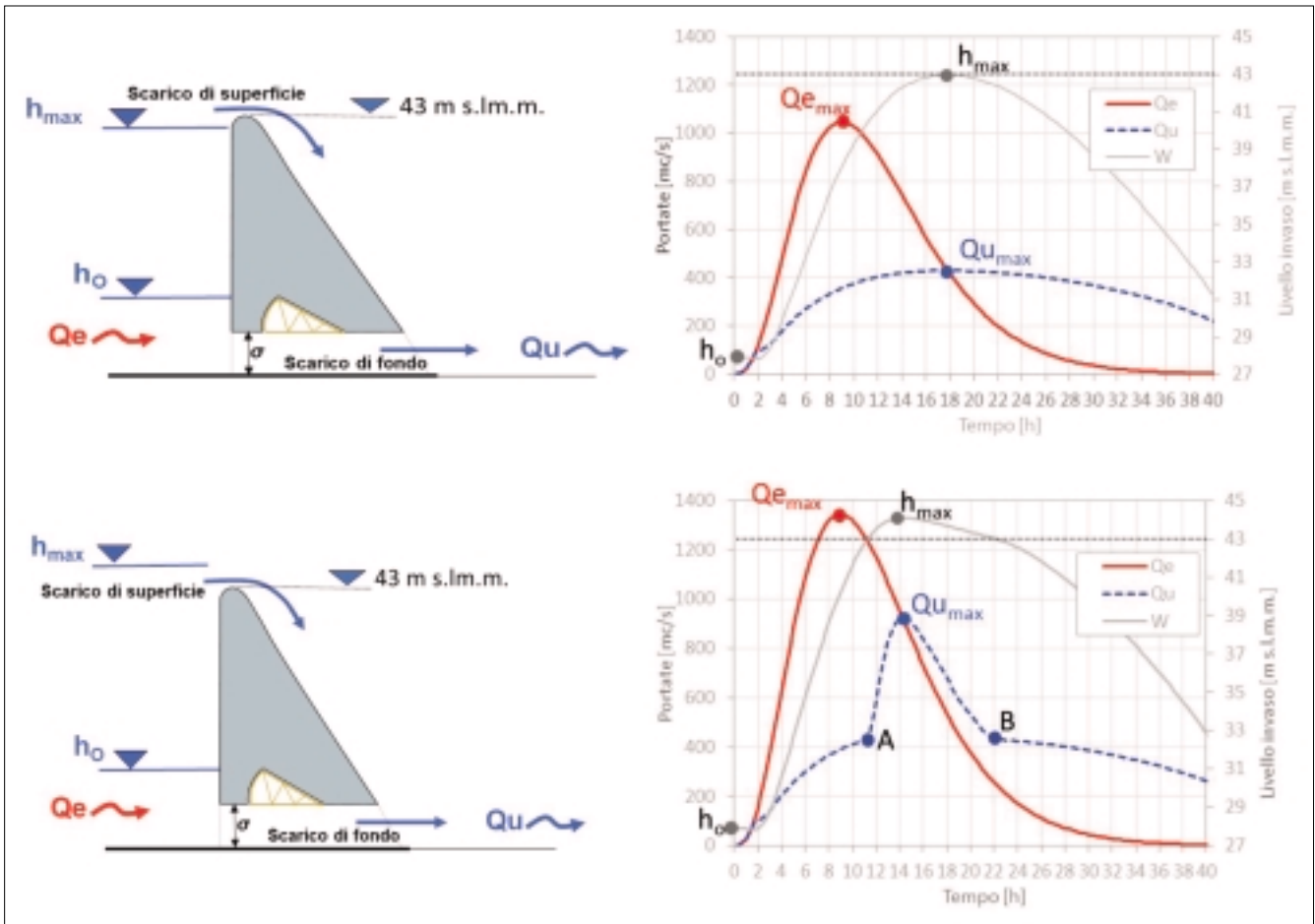


Figura 2 - Effetto di laminazione esercitato da un serbatoio su due differenti onde di piena fra loro omotetiche.

Nella *Figura 2* è mostrato l'andamento della laminazione esercitata da un assegnato serbatoio per due diverse onde di piena fra loro omotetiche, ovvero aventi la stessa forma adimensionale ma diversa portata al colmo (e quindi diverso volume di piena), a parità di altezza iniziale (e quindi di volume iniziale) presente nel serbatoio medesimo. La prima onda, caratterizzata da un picco (e da un volume) più ridotto, viene smaltita interamente attraverso lo scarico di fondo; infatti, dato che il livello massimo raggiunto non supera la soglia dello scarico di superficie, quest'ultimo rimane inattivo. Nel secondo caso, l'onda (caratterizzata da un maggior colmo e da un maggior volume) riempie il serbatoio oltre il livello della soglia dello scarico di superficie, che quindi si attiva. Si nota che, in entrambi i casi, il valore di colmo della portata uscente è inferiore a quello della portata entrante, e che il valore di colmo dell'onda uscente si verifica proprio nell'istante in cui si ha l'intersezione tra il diagramma delle $Q_e(t)$ e quello delle $Q_u(t)$, comportamento che, come potrebbe agevolmente mostrarsi, deve necessariamente verificarsi ai sensi dell'equazione di continuità.

Del pari si nota come, dal momento in cui i livelli nell'invaso superano quelli della soglia dello scarico di superficie per cui quest'ultimo si attiva (punto A della *Figura 2*, riquadro inferiore), si manifesta un ben più rapido ritmo di crescita dell'idrogramma delle portate uscenti, rispetto alla fase precedente in cui opera il solo scarico di fondo; l'idrogramma infatti si impenna in corrispondenza dell'istante cui corrisponde il punto A. Di conseguenza, l'effetto di riduzione del picco dell'onda uscente rispetto a quello dell'onda entrante viene di fatto a smorzarsi. Parallelamente, durante il ramo discendente dell'onda in uscita, si ha prima un rapido calo, che dura fintanto che la soglia di superficie è attiva, e poi, quando il livello torna al di sotto della soglia dello scarico di superficie (punto B), la decrescita delle portate diviene meno rapida.

In entrambi i casi esaminati, il colmo dell'onda uscente è sensibilmente ridotto rispetto a quello dell'onda entrante, grazie all'effetto di laminazione esercitato dall'invaso; la capacità di abbattere il colmo delle onde di piena naturali dei corsi d'acqua suggerisce la possibilità di utilizzare gli invasi come una risorsa per la protezione idraulica dei territori posti a valle.

L'effetto di abbattimento del picco di piena, che va sotto il nome di laminazione della piena, dipende da numerosi fattori: la forma dell'idrogramma in ingresso, le caratteristiche dell'invaso (in particolare il volume di invaso disponibile e le leggi di effluo caratteristiche degli organi di scarico), il grado di riempimento dell'invaso stesso al momento dell'inizio dell'evento di piena. E' intuitivo che l'effetto di laminazione del colmo è favorito dalla di-

sponibilità, al momento dell'arrivo dell'onda da laminare, di un volume di invaso rilevante rispetto al volume della piena in ingresso. La *Figura 2* mostra come, per un assegnato invaso e a parità di grado di riempimento iniziale, quindi con un ugual valore di volume di piena invasabile, la piena del riquadro in alto subisca un abbattimento del colmo più accentuato rispetto a quella del riquadro in basso, che ha forma simile alla prima ma volumi più elevati. La *Figura 3* mostra invece come, per un assegnato invaso e per il medesimo idrogramma di piena, un minore livello di riempimento iniziale (riquadro in alto), corrispondendo a una maggiore disponibilità di volume invasabile in corso di evento, consente un abbattimento più sensibile del colmo di piena rispetto ad una situazione (riquadro in basso) in cui il serbatoio sia maggiormente pieno all'inizio dell'evento.

Ne risulta confermata l'intuitiva convinzione che, a parità di tutte le altre condizioni, un assegnato serbatoio esercita un effetto di moderazione della piena in ingresso, e quindi protezione dei territori di valle, tanto più marcato quanto minore è il volume in esso presente all'inizio dell'evento. E' questo il principio fondamentale su cui si basa la disciplina dei piani di laminazione, discussa nel seguito, e più in generale quella delle limitazioni di invaso alle quali, in non pochi casi, le autorità idraulica competenti hanno assoggettato l'esercizio di alcune grandi dighe, ai fini della mitigazione del rischio alluvionale a valle delle stesse.

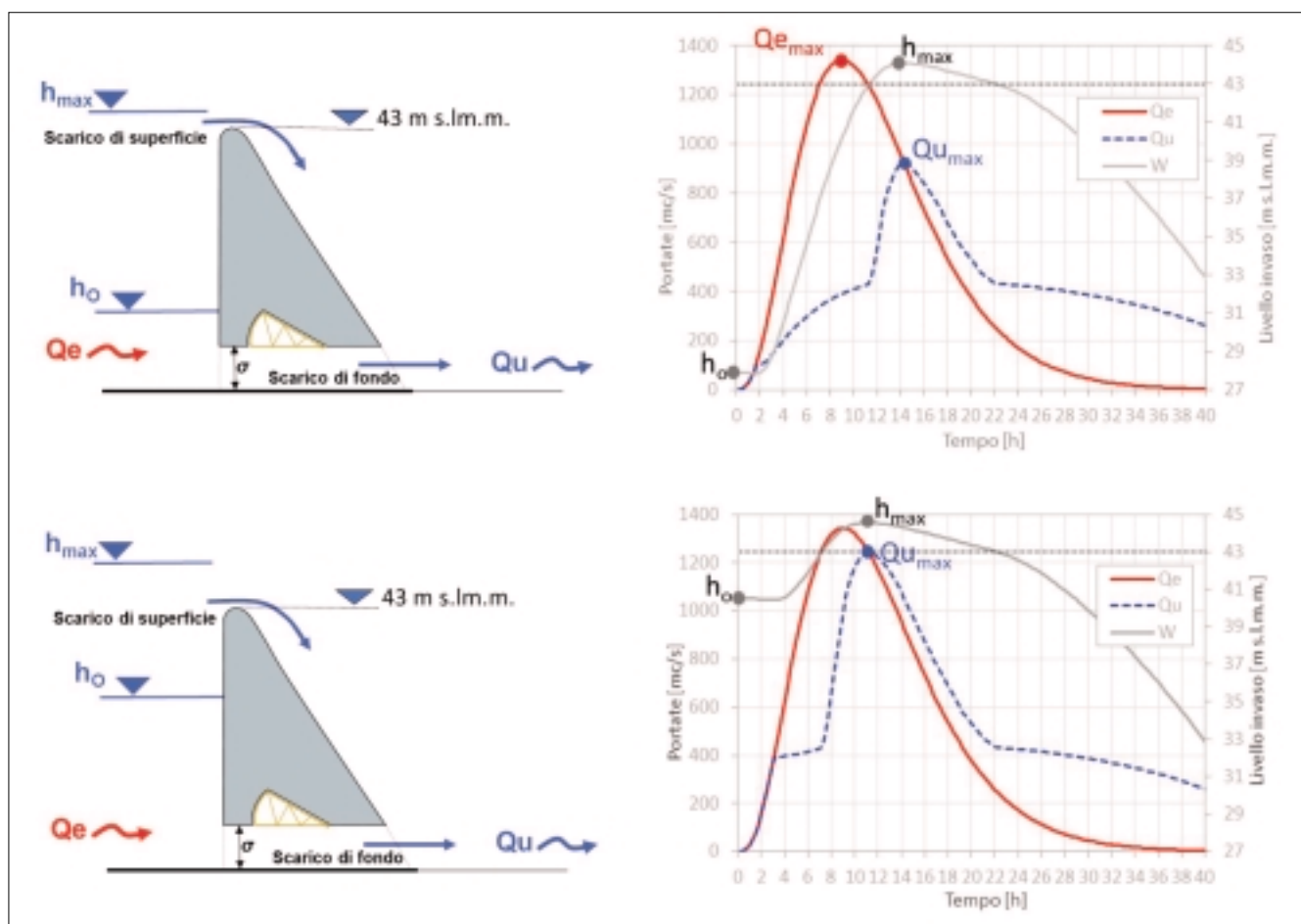


Figura 3 - Effetto del grado di riempimento iniziale di un serbatoio sulla laminazione dell'onda di piena in ingresso.

2. I PIANI DI LAMINAZIONE

2.1 La disciplina normativa relativa ai piani di laminazione

La disciplina dei Piani di Laminazione è stata introdotta dalla Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 27.02.2004 "Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale, per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile".

Va però menzionato che, prima dell'emanazione di tale Direttiva, alcuni importanti aspetti dell'esercizio dei serbatoi durante le piene erano stati già disciplinati, a livello nazionale, dalla Circolare P.C.M. 19 marzo 1996, n. DSTN/2/7019 "Disposizioni inerenti l'attività di protezione civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti dighe". In essa infatti veniva stabilito che "i gestori delle dighe sono tenuti, per quanto attiene l'esercizio e la manutenzione degli sbarramenti, ad uniformarsi, oltre che alle prescrizioni del Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione, anche a quanto contenuto nel 'documento di protezione civile', che individua le condizioni che devono verificarsi sull'impianto di ritenuta, quale complesso costituito dallo sbarramento e dal serbatoio, per-



ché si debba attivare il sistema di protezione civile e le procedure da porre in atto". Nel merito, la Circolare 19 marzo 1996 stabiliva che *"il documento di protezione civile deve altresì contenere ... la prescrizione che le manovre volontarie degli organi di scarico siano svolte, in generale ed ove non diversamente specificato, adottando ogni cautela al fine di determinare un incremento graduale delle portate scaricate contenendone al massimo l'entità che, nella fase di allerta ..., non deve superare, nella fase crescente, quella della portata affluente al serbatoio; nella fase decrescente la portata scaricata non deve superare quella massima scaricata nella fase crescente..."*. Questa importante prescrizione è volta ad scongiurare la possibilità che improprie manovre volontarie di apertura degli organi di scarico possano determinare situazioni di aggravamento del rischio idraulico a valle. Essa è stata sostanzialmente confermata dalla Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 27.02.2004, che fa però salvo il caso in cui una disciplina diversa sia prevista dal piano di laminazione, introdotto dalla Direttiva stessa; infine, essa è stata ripresa nella più recente Direttiva PCM 8.07.2014 *"Indirizzi operativi inerenti l'attività di protezione civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe"*.

La Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 27.02.2004, per prima, individua, in maniera sistematica, la presenza sul territorio di invasi destinati alla regolazione dei deflussi come una possibile risorsa per la mitigazione del rischio idraulico dei territori vallivi, stabilendo che *"al fine di individuare le misure per contrastare gli effetti delle piene in un bacino idrografico nel quale sono presenti invasi artificiali, ancorché destinati alla produzione di energia e/o all'approvvigionamento primario di risorsa idrica, nonché al fine di rendere quanto più compatibili possibile i legittimi interessi dei gestori con le finalità di protezione civile, deve essere organizzata una adeguata attività di regolazione dei deflussi"*. In tale prospettiva *"L'Autorità responsabile del governo delle piene dovrà assicurare, con il concorso dei Centri Funzionali, delle Autorità di Bacino, del Registro italiano dighe (oggi DG Dighe del MIT), degli Uffici territoriali di Governo, delle Autorità responsabili dei piani d'emergenza provinciali, dei soggetti responsabili del presidio territoriale ed attraverso i gestori di opere idrauliche, sia di ritenuta che di regolazione, presenti nel bacino idrografico, se possibile, la massima laminazione dell'evento di piena, atteso o in atto, e lo sversamento in alveo di portate non pericolose per i tratti del corso d'acqua a valle delle opere stesse e/o compatibili con i piani d'emergenza delle province coinvolte dall'evento stesso"*.

La Direttiva P.C.M. 27-02-2004 stabilisce ancora che *"devono essere individuati quegli invasi che potrebbero essere effettivamente utili alla laminazione delle piene e quindi ad una riduzione del rischio idraulico a valle degli invasi stessi"*. Individuati tali invasi, per essi *"le Regioni, con il concorso tecnico dei Centri Funzionali decentrati, dell'Autorità di bacino e del Registro italiano dighe (oggi DG Dighe del MIT), d'intesa con i gestori, sotto il coordinamento del Dipartimento della protezione civile, predisporranno ed adotteranno un piano di laminazione preventivo"*. La Direttiva chiarisce quindi quali sono le finalità e quali debbono essere i contenuti dei piani di laminazione: *"il piano di laminazione deve prevedere le misure e le procedure da adottare che, pur definite tenendo in buon conto sia la mitigazione degli effetti a valle dell'invaso sia la sicurezza delle opere sia l'esigenza di utilizzazione dei volumi invasati, non possono comunque non essere finalizzate alla salvaguardia della incolumità della vita umana, dei beni, degli insediamenti e dell'ambiente territorialmente interessati dall'evento"*.

Al fine di rendere disponibili con adeguato anticipo i volumi utili alla laminazione della piena, possono essere impiegate due diverse procedure, definite programma statico e programma dinamico, da cui si origina la distinzione tra piani di laminazione statici e piani di laminazione dinamici.

I piani di laminazione statici prevedono *"il mantenimento, con continuità e durante i periodi dell'anno valutati critici per il verificarsi di eventi di piena, di una quota di invaso minore della quota d'esercizio autorizzata"*, eventualmente differenziata su base stagionale.

I piani di laminazione dinamici operano invece nel tempo reale, prevedendo l'esecuzione di manovre degli organi di scarico, preventive e/o effettuate nel corso dell'evento in atto, *"da attivare sulla base di previsioni quantitative delle precipitazioni sul bacino a monte e dei conseguenti deflussi attesi all'invaso, nonché sulla base dello stato dell'invaso e della portata territorialmente sostenibile a valle dello stesso. Tali manovre, come già ricordato, potrebbero rendere necessaria comunque l'attivazione del piano di emergenza a valle della diga stessa"*.

Sempre in tema di piani di laminazione, è opportuno ricordare alcuni provvedimenti normativi successivi alla citata Direttiva P.C.M. del febbraio 2004. In primo luogo, la Direttiva del P.C.M. dell'8 febbraio 2013 *"Indirizzi operativi per l'istituzione dell'Unità di Comando e Controllo del bacino del fiume Po ai fini del governo delle piene, nonché modifiche ed integrazioni alla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2004 e successive modificazioni"*, che ha disposto l'istituzione, presso l'allora Autorità di Bacino del fiume Po, di un Tavolo tecnico con il compito di valutare l'influenza che i volumi accumulabili negli invasi regolati dalle dighe possono esercitare sulla formazione e propagazione dell'onda di piena a valle; l'attività del Tavolo tecnico è stata portata avanti in parallelo con quella delle Regioni, indirizzata agli invasi aventi influenza circoscritta al territorio di competenza. L'attività del Tavolo ha portato a concludere, come intuitivamente era da attendersi, che nessuno degli invasi considerati può presentare una funzione significativa ai fini della laminazione delle piene del fiume Po. Essi presentano invece un interesse per la laminazione delle piene nei tratti fluviali posti a valle dei medesimi invasi, per tratti d'asta più o meno estesi, in funzione dei beni presenti ed esposti a rischio. In secondo





luogo, la già menzionata Direttiva del P.C.M. dell'8 luglio 2014 "Indirizzi operativi inerenti l'attività di protezione civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe" assegna al piano di laminazione la funzione di stabilire la definizione delle fasi di allerta relative al rischio idraulico per i territori a valle delle dighe, integrando il Documento di Protezione civile. In assenza di piano di laminazione, l'autorità idraulica competente dovrà convalidare il valore proposto dal gestore della portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica, $Q_{A_{max}}$ e definire un valore di portata Q_{min} quale "soglia di attenzione scarico diga", tenuto conto delle criticità locali dell'alveo di valle, che possono determinare esondazioni localizzate per situazioni particolari.

3. DIGHE ASSOGETTATE A LIMITAZIONI DI ESERCIZIO A FINI DI LAMINAZIONE DELLE PIENE

3.1 Natura dei provvedimenti di limitazione di esercizio

Come indicato in precedenza, l'utilizzo degli invasi artificiali presenti sul territorio, destinati alla regolazione dei deflussi, come strumento di mitigazione del rischio idraulico dei territori vallivi è sancito dalla Direttiva P.C.M. del 27.02.04, che ha introdotto i piani di laminazione.

Nel nostro Paese, vi sono però numerosi casi in cui, in special modo prima dell'emanazione di tale Direttiva, alcune grandi dighe sono state assoggettate, con dispositivi normativi diversi dal piano di laminazione, a limitazioni di esercizio finalizzate alla laminazione delle piene, ai fini della mitigazione del rischio idraulico dei territori vallivi. I dispositivi normativi in forza dei quali sono state stabilite queste limitazioni di invaso possono essere di vario tipo: a parte i piani di laminazione veri e propri, si possono infatti avere limitazioni incorporate nell'atto di concessione, imposte dall'autorità idraulica competente, derivanti da atti di pianificazione di bacino (Piani di Assetto Idrogeologico, Piani Stralcio Sicurezza Idraulica, Piani Stralcio Fasce Fluviali) o derivanti da prassi gestionali. Nella *Tabella 1* sono indicati alcuni esempi di dighe assoggettate a limitazioni di invaso, distinte a seconda dell'origine della limitazione. Si può notare come il quadro d'insieme si presenti nel complesso piuttosto variegato.

TABELLA I - Esempi di dighe attualmente assoggettate a limitazione di invaso, distinte in base alla natura del provvedimento di limitazione

Natura della limitazione di invaso	Esempi di dighe assoggettate a limitazione
Limitazioni da concessione	Santa Giustina, Salto, Turano
Limitazioni imposte dall'Autorità idraulica	Mignano, Piana degli Albanesi
Limitazioni derivanti da atti di pianificazione di bacino (Piani Stralcio Sicurezza Idraulica, PAI, PSFF)	Corlo (PAI); Pieve di Cadore e Santa Croce (PS SI Piave); Ca' Selva, Ca Zul, Ponte Racli (PS SI Livenza)
Prassi gestionali	Mercatale
Piani di laminazione veri e propri ai sensi DPCM Feb 2004	Ingagna, Ravedis, Occhito, Macchionis, Bilancino, Corbara

Nel complesso, su un totale di 534 grandi dighe attualmente in esercizio in Italia, ve ne sono 37, quindi circa il 7% del totale, che, a vario titolo, sono assoggettate a limitazioni di esercizio per esigenze di laminazione. Di queste solo 11 sono assoggettate a limitazioni in forza di un piano di laminazione (la maggior parte dei quali approvati solo in questi ultimi anni), mentre per ben 26 la limitazione deriva da un provvedimento di natura diversa. Il numero dei casi in cui si hanno limitazioni di esercizio derivanti da piani di laminazione veri e propri è quindi modesto rispetto a quello dei casi in cui si hanno limitazioni che si originano da provvedimenti di altro tipo; inoltre, nonostante siano trascorsi 15 anni dall'emanazione della DPCM che istituiva i piani di laminazione, i provvedimenti di limitazione di invaso di natura diversa precedentemente esistenti hanno generalmente mantenuto la loro natura, anziché essere assorbiti all'interno di un piano di laminazione redatto ai sensi della DPCM.

Si può quindi affermare che c'è stata una sostanziale difficoltà di recepimento della disciplina sui piani di laminazione introdotta dalla Direttiva P.C.M. 27 febbraio 2004.

Di seguito si ritiene utile proporre una rassegna di casi di dighe su cui sono operanti, a vario titolo, provvedimenti di limitazione di esercizio ai fini della mitigazione del rischio idraulico dei territori di valle.

3.2 Il sistema Cellina-Meduna

Il sistema costituito dai torrenti Cellina e Meduna, nel bacino del fiume Livenza, possiede importanti serbatoi assoggettati a limitazioni di invaso per esigenze di laminazione delle piene. Le piene di questi corsi d'acqua infatti



possono determinare rilevanti situazioni di pericolo nei territori attraversati, soprattutto nel tratto vallivo del torrente Meduna dopo la confluenza del torrente Cellina, dove sono notevoli gli insediamenti urbani e rurali, principale tra tutti la città di Pordenone. Dalla consultazione dei documenti della pianificazione di bacino si evince che, ad oggi, il tratto vallivo del torrente Meduna, “a valle cioè della statale Pontebbana (SS13), può contenere una portata massima di circa 1000-1500 m³/s. Se superata si avrebbero certamente spagliamenti, rotture di argini e conseguenti esondazioni, quali quelle avvenute nelle recenti grandi piene, con interessamento di importanti centri abitati (Pordenone, Prata di Pordenone)”. Le attuali procedure di protezione civile riferite al tratto

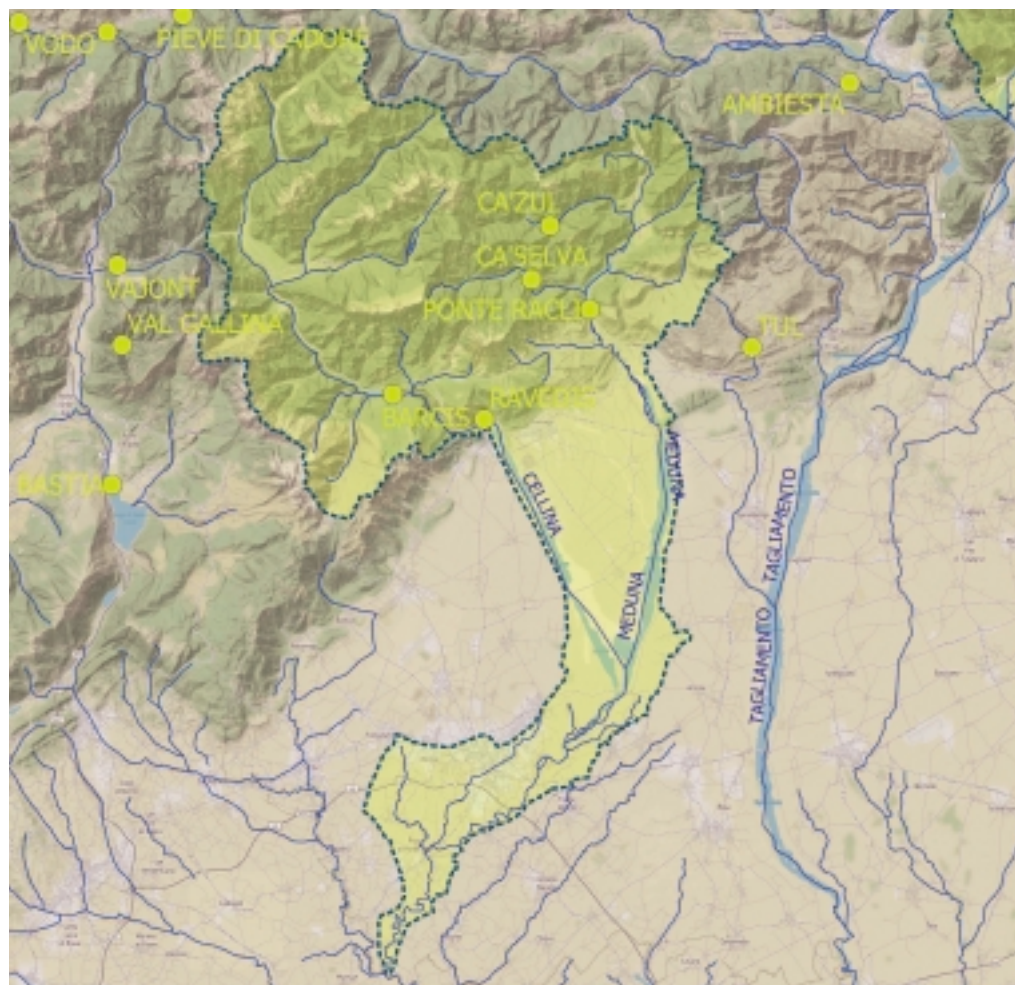


Figura 4 - Bacino idrografico del torrente Meduna e del suo affluente torrente Cellina, chiuso alla confluenza nel fiume Livenza, con indicazione delle grandi dighe presenti sul territorio.

del torrente Meduna a valle della confluenza col Cellina prevedono alcune soglie relative alla somma delle portate scaricate dalle dighe di Ravedis (sul Cellina) e di Ponte Racli (sul Meduna, v. Fig. 4): a 550 m³/s è stabilita la prima soglia di attivazione dei piani di emergenza nel comune di Pordenone, a 800 m³/s la soglia di attivazione del servizio di presidio degli argini, a 1200 m³/s la soglia di attivazione della vigilanza rinforzata degli argini. Dal 2003, il “Piano stralcio per la Sicurezza Idraulica del bacino del fiume Livenza”, redatto dall’Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, stabilisce limitazioni stagionali di esercizio ai fini di laminazione delle piene per le dighe di Ca’ Zul, Ca’ Selva e Ponte Racli sul torrente Meduna; inve-



Figura 5 - Dighe di Ca’ Zul, Ca’ Selva e Ponte Racli sul torrente Meduna (da sx verso dx).

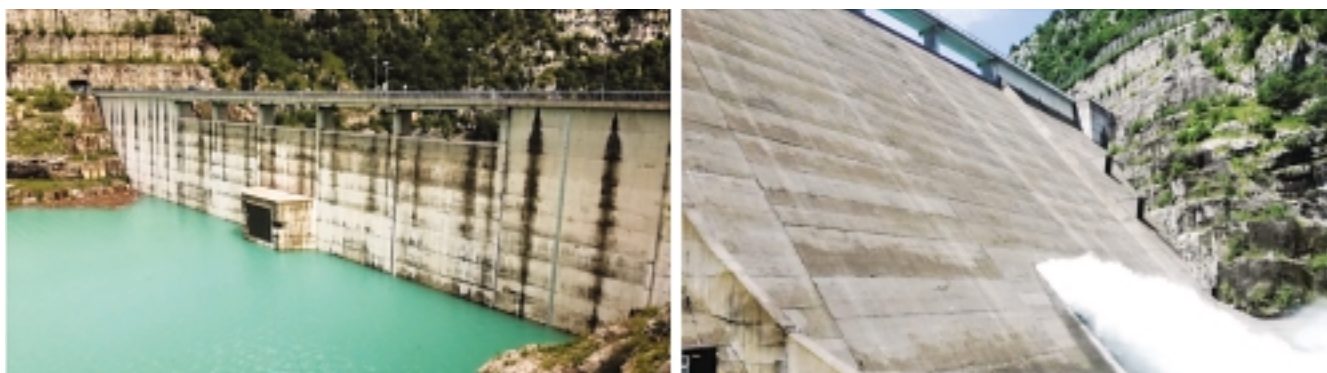


Figura 6 - Diga di Ravedis sul torrente Cellina (a sx, vista da monte e, a dx, da valle).

ce, l'invaso di Ravedis sul torrente Cellina, nato con funzione precipua di laminazione delle piene e funzione aggiuntiva di regolazione dei deflussi ai fini irrigui, dal 2014 possiede un vero e proprio piano di laminazione, approvato con apposita delibera della Regione Friuli Venezia Giulia. Nella *Tabella II* si riportano le principali informazioni sulle limitazioni di esercizio delle dighe menzionate.

TABELLA II - Principali caratteristiche degli invasi presenti sul sistema Cellina-Meduna aventi funzioni di laminazione delle piene

Invaso	Quota max regolazione [m s.l.m.]	Volume di invaso [Mm ³]	Quota min regolazione [m s.l.m.]	Tipo di laminazione	Quota max. autorizzata [m s.l.m.]
Ca' Zul	596	9.4	560	Statica (15 set-30 nov)	560
Ca' Selva	495	36.1	445	Statica (15 set-30 nov)	460
Ponte Racli	313	22	290	Statica (15 set-30 nov)	300 (variabile)
Ravedis	338.50 ^(*)	19.5	308	Statica (16 set-15 apr)	308
				Dinamica (16 apr-15 set)	318-338.5

(*) quota di massima regolazione dell'invaso; attualmente, essendo l'invaso in esercizio sperimentale, è autorizzato una quota massima inferiore.

Per le dighe di Ca' Zul, Ca' Selva e Ponte Racli sul torrente Meduna, che fanno parte dello schema idroelettrico del Meduna, attualmente gestito da Edison SpA, il citato Piano stabilisce, nel periodo dal 15 settembre al 30 novembre di ciascun anno, il rispetto di quote massime di invaso ridotte, fatto salvo il verificarsi di fenomeni di piena. Per la diga di Ca' Zul, che è alta 68 m e ha un volume utile di regolazione di 9.4 Mm³ e una quota di massima e minima regolazione rispettivamente pari a 596 e 560 m s.l.m.m., la quota massima autorizzata nel periodo di laminazione è pari a 560 m s.l.m.m.. La diga di Ca' Selva ha un'altezza di 99 m e un volume utile di regolazione di 36.1 Mm³, con quota di massima regolazione pari a 495 m s.l.m.m. e quota di minima regolazione pari a 445 m s.l.m.m.; la quota massima autorizzata durante il periodo indicato è pari a 460 m s.l.m.m.. Infine, la diga di Ponte Racli ha un'altezza di 50.6 m, e un volume utile di regolazione di 22 Mm³; la quota di massima regolazione è pari a 313 m s.l.m.m., quella di minima regolazione a 290; la quota massima da rispettare nel periodo 15 settembre 30 novembre ai fini della laminazione viene fissata di volta in volta dalla Segreteria Tecnica dell'Autorità di Bacino, ed è normalmente stabilita in 300 m s.l.m.m.

Le predette limitazioni di esercizio costituiscono di fatto programmi di laminazione statica, come definiti dalla Direttiva PCM 27 febbraio 2004, pur non essendo piani di laminazione ai sensi della Direttiva stessa, in quanto traggono origine da un percorso amministrativo diverso da quello in essa previsto.

Per l'invaso di Ravedis sul torrente Cellina, il piano di laminazione vigente prevede l'attuazione di un programma statico dal 16 settembre al 15 aprile con il mantenimento di una quota massima pari a 308 m s.l.m.m. (pari a quella di minima regolazione), tranne che nei periodi 16-30 aprile e 1-15 settembre, allorquando tale quota può essere innalzata a 318 m s.l.m.m. Nella rimanente parte dell'anno (16 aprile-15 settembre), si attua un programma di laminazione misto, in parte statico e in parte dinamico: l'invaso può essere portato fino a 328 m s.l.m.m. in maggio e giugno e fino a 338.50 m s.l.m. in luglio e agosto (laminazione statica), prevedendo l'esecuzione nel tempo reale di specifiche azioni e manovre preventive sulla base delle previsioni quantitative delle precipitazioni sul bacino di monte (laminazione dinamica). Al ricevimento dell'Avviso di Attenzione meteo, il Gestore, agendo sullo scarico di fondo, deve portare entro 24 ore il livello a quota 328 m s.l.m.m., mentre al ricevimento di Avvi-

so di Preallerta meteo lo deve portare a 308 m s.l.m.m.; in entrambi i casi senza mai superare un rilascio a valle di 250 m³/s. Si segnala che l'invaso di Ravedis è attualmente in esercizio sperimentale (ai sensi del D.P.R. 1363/59), per cui la quota massima di regolazione autorizzata dall'Ufficio Tecnico delle Dighe di Venezia ai fini della sicurezza della struttura è pari a 318 m s.l.m.m., con la possibilità di raggiungere in caso di eventi di piena eccezionali la quota di invaso di 325 m s.l.m.m. Come documentato nel seguito, l'invaso di Ravedis ha provocato un forte effetto di laminazione dell'onda di piena naturale del torrente Cellina in occasione della cosiddetta tempesta Vaia, abbattutasi sul Triveneto nell'ottobre 2018, proteggendo efficacemente i territori di valle.

3.3 La laminazione delle piene del fiume Tevere

A seguito dell'emanazione della Direttiva P.C.M. 27 febbraio 2004, nel maggio 2004 è stato istituito presso l'Autorità di Bacino del fiume Tevere un Tavolo tecnico, che ha predisposto un documento dal titolo "Ipotesi di regolazione dei deflussi ai fini del governo delle piene nel bacino del fiume Tevere"; in tale documento si individuava l'invaso di Corbara, posto sul fiume Tevere poco a monte della confluenza del Paglia, come risorsa effettivamente utile per la laminazione delle piene. La diga di Corbara è situata nel territorio delle Regione Umbria, mentre il tratto vallivo, beneficiario dell'effetto di laminazione esercitato dalla diga, è ubicato prevalentemente nel territorio della Regione Lazio. La capacità di laminazione necessaria veniva individuata in 60 milioni di m³, con la quale era valutato che risultava possibile fronteggiare eventi di piena di ritorno non superiore a 50 anni. Ne risultava quindi confermata la necessità di soluzioni di tipo diverso per garantire la sicurezza degli abitati, fra cui la città di Roma, per tempi di ritorno più elevati; infatti, nel caso di tempi di ritorno superiori, per limitare le portate a valle a valori compatibili con le officiosità dei vari tratti, si sarebbe dovuto destinare completamente l'invaso allo scopo di laminazione delle piene.

Nel documento citato veniva proposto di operare in un regime di laminazione dinamica, ovvero non destinando un volume fisso alla laminazione delle piene, ma operando uno svaso del serbatoio in modo da rendere disponibile tale volume, nell'imminenza dell'evento di piena, sulla base di un preannuncio pluviometrico di almeno 24 ore.

Nell'ipotesi che il serbatoio di Corbara si trovasse alla quota di massima regolazione, pari a 138 m s.l.m.m., all'inizio delle operazioni di svaso, dovendo essere portato a quota 131 m s.l.m.m. in 24 ore, quota cui corrisponde un volume di invaso residuo disponibile pari a 70 Mm³, si sarebbe dovuta rilasciare a valle una portata di 695 m³/s, valore da gestire con attenzione ma sopportabile dalle condizioni dell'alveo a valle fino a Castel Giubileo. Il menzionato documento è stato approvato dalla Giunta Regionale Umbra, nel cui territorio si trova la diga di Corbara, con D.G.R. n. 1102/2006 ma non è mai stato approvato dalla Regione Lazio. Di conseguenza, esso non si è mai tradotto in un vero e proprio piano di laminazione, anche se è stato comunque di fatto utilizzato come riferimento per la gestione delle piene del Tevere dal 2005 in poi.

Successivamente, nel giugno 2015 il Capo del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale ha istituito un Gruppo di lavoro per predisporre un documento finalizzato alla definizione dei contenuti tecnici di un Piano di laminazione per la diga di Corbara. Il documento è stato completato nel giugno 2016 e il relativo piano di laminazione è stato adottato dalla Regione Lazio con DGR n.343 del 3/7/2018 e dalla Regione Umbria con DGR n.1343 del 26/11/2018.

Il piano di laminazione 2018 prevede vincoli molto più stringenti rispetto all'esercizio precedente. Infatti, il piano prevede un programma di laminazione statico, articolato su base stagionale, cui si somma un piano di laminazione dinamico; il programma statico prevede che il Gestore mantenga permanentemente la disponibilità di un volume riservato alla laminazione delle piene, differenziato a seconda del mese, con un valore massimo di

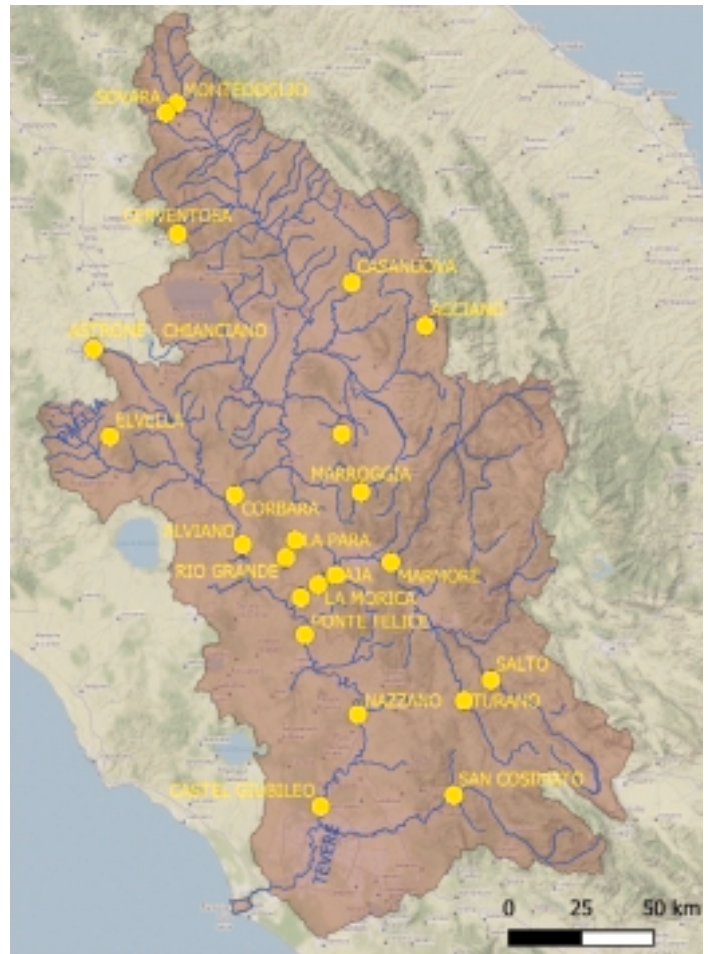


Figura 7 - Bacino del fiume Tevere e ubicazione delle grandi dighe esistenti.



Figura 8 - Svuotamento della diga di Corbara mediante l'apertura delle paratoie poste a presidio dello scarico di superficie.

70 Mm³ nei mesi invernali (v. *Tabella III*) mentre il programma dinamico prevede che il Gestore renda disponibili su richiesta ulteriori 30 Mm³ laddove sia temibile il verificarsi di eventi di piena intensi. In considerazione del fatto che il piano di laminazione provoca una sensibile penalizzazione dell'uso idroelettrico previsto in concessione, esso è stato impugnato dal Gestore nel febbraio 2019 con ricorso presentato al Tribunale Superiore delle Acque Pubbliche.

TABELLA III - Volumi di laminazione statica e complessivi per l'invaso di Corbara.

Mese	Volume di laminazione statica [Mm ³]	Livello massimo in caso di sola laminazione statica [m s.l.m.m.]	Volume di laminazione statica+dinamica [Mm ³]	Livello massimo in caso di laminazione statica+dinamica [m s.l.m.m.]
Gennaio	70	130,0	100	126,6
Febbraio	70	130,0	100	126,6
1-15 Marzo	50	132,5	80	128,7
16-31 Marzo	30	135,0	60	131,3
Aprile	30	135,0	60	131,3
Maggio	-	138,0	30	134,6
Giugno	-	138,0	30	134,6
Luglio	-	138,0	30	134,6
Agosto	-	138,0	30	134,6
Settembre	30	135,0	60	131,3
1-15 Ottobre	30	135,0	60	131,3
16-30 Ottobre	50	132,5	80	128,7
Novembre	70	130,0	100	126,6
Dicembre	70	130,0	100	126,6

3.4. - La diga di Maccheronis e la laminazione della piena del ciclone Cleopatra.

La diga di Maccheronis sul rio Posada, in provincia di Nuoro, fu completata nel 1959 con finalità di regolazione dei deflussi per il soddisfacimento di fabbisogni irrigui; è un manufatto del tipo a gravità massiccia, con altezza massima di 46 m e volume utile di invaso di circa 25 Mm³. Si tratta di una diga di modesta capacità che, per contro, sottende un bacino idrografico piuttosto esteso (S=613 km²); queste caratteristiche fanno sì che la diga non sarebbe in grado di esercitare un rilevante effetto di laminazione delle piene, anche qualora all'inizio dell'evento si trovasse nelle condizioni di minimo riempimento. Per l'intervenuto incremento dei fabbisogni irrigui, la diga

di Maccheronis è stata oggetto di un intervento di ampliamento, teso a incrementare la capacità di invaso originaria, secondo un Progetto esecutivo fatto eseguire dal Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale, nel giugno 2005. La *Figura 9* mostra una vista da valle della diga, prima dell'inizio dei lavori di ampliamento.



Figura 9 - Diga di Maccheronis (NU), nella configurazione precedente all'inizio dei lavori di ampliamento.

Il 18 novembre 2013 il bacino del rio Posada fu interessato dal cosiddetto ciclone Cleopatra, un evento meteorico caratterizzato da rilevantissime quantità di precipitazione con punte locali di quasi 300 mm caduti in 12 ore, che ha interessato con elevate intensità l'intero settore orientale della Sardegna. Al momento dell'evento, i lavori di ampliamento non erano ancora completati e il coronamento della diga, dovendo essere oggetto di un intervento di sovrizzo, si presentava come mostrato nella *Figura 10*.



Figura 10 - Configurazione della diga in occasione del verificarsi del ciclone Cleopatra (11 novembre 2013), dovuta ai lavori preparatori al soprizzo del coronamento.

In occasione dell'evento, vista anche la modesta capacità del serbatoio, il livello di invaso raggiunse rapidamente il coronamento risagomato della diga, che quindi fu sormontata dall'onda di piena, come documentato nella *Figura 11*. La *Figura 10* documenta la situazione della diga una volta che la piena era transitata.

Sulla base delle registrazioni dei livelli nell'invaso durante l'evento e delle leggi di efflusso corrispondenti alla configurazione che gli scarichi avevamo al momento dell'evento stesso, è stata valutata l'onda di piena uscente dall'invaso in occasione dell'evento, $Q_u(t)$. Applicando quindi l'equazione di continuità (1), con una procedura cosiddetta di delaminazione, è stato ricostruito l'andamento dell'onda di piena entrante durante l'evento

$Q_c(t)$; quest'ultima è, ovviamente, l'onda di piena naturale del rio Posada ed è quindi quella che sarebbe transitata a valle della sezione di imposta della diga nell'ipotetico caso di assenza della diga stessa. Le due onde, $Q_c(t)$ e $Q_u(t)$ sono rappresentate nella *Figura 12*, dalla quale si osserva che il colmo dell'onda di piena in ingresso è stato stimato in circa 4200 m³/s, mentre il colmo dell'onda in uscita è stato valutato in circa 3400 m³/s.



Figura 11 - Sormonto del coronamento della diga di Maccheronis da parte della piena del rio Posada conseguente al ciclone Cleopatra (18 novembre 2013).

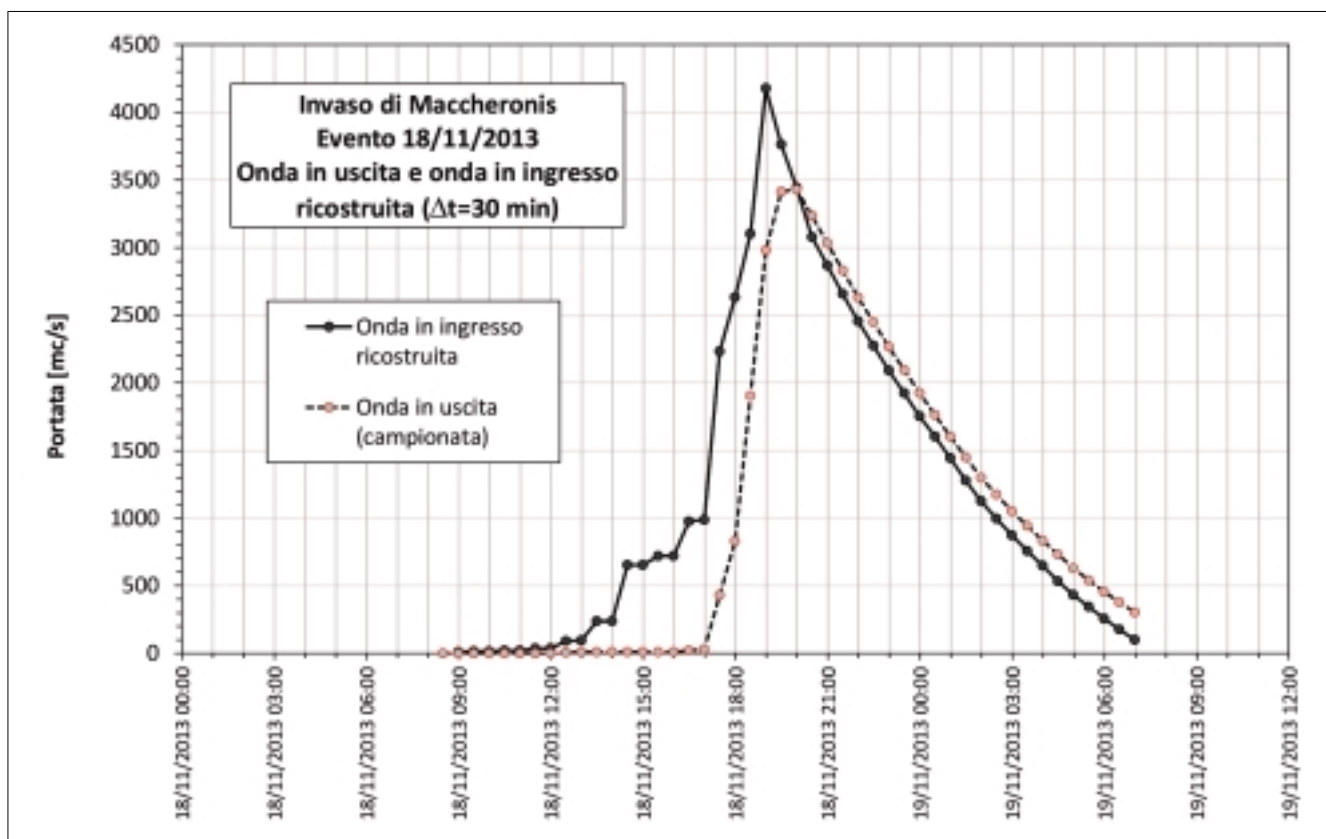


Figura 12 - Idrogramma di piena in uscita dal serbatoio di Maccheronis e idrogramma in ingresso, ricostruito con procedura di delaminazione.

L'invaso di Maccheronis, anche se all'epoca destinato a finalità ben diverse dalla laminazione delle piene e nonostante la sua modesta capacità, ha quindi prodotto una significativa moderazione del colmo dell'onda in arrivo, veicolando a valle una portata massima sensibilmente inferiore a quella che sarebbe ivi pervenuta nell'ipotetico caso di sua assenza. Va detto che, all'epoca dell'evento, al serbatoio di Maccheronis non era assegnata alcuna funzione di laminazione, mentre, successivamente al verificarsi dell'evento stesso, esso è stato assoggettato a un piano di laminazione predisposto e approvato dalla Regione Sardegna. Ancora più significativo è l'effetto di moderazione esercitato dall'invaso quando si faccia riferimento al tempo di ritorno dei valori di colmo: infatti, è stato valutato che, adottando la curva di crescita delle portate al colmo massime annuali utilizzata nel PAI, il colmo dell'evento naturale (idrogramma in ingresso) ha un tempo di ritorno di circa 900 anni, mentre quello dell'onda in uscita ha tempo di ritorno di 280 anni, quindi un po' più elevato del valore 200-ennale cui si attesta la pianificazione delle opere di mitigazione del rischio idraulico. In effetti, la portata 200-ennale stimata dal PAI è pari a 3200 m³/s per cui, tenuto conto della prassi di dimensionare le arginature con un franco dell'ordine del metro, si può ritenere che, qualora le opere di arginatura esistenti nel tratto a valle della diga fossero state adeguate a quel riferimento di portata, l'evento di piena, laminato dalla diga, avrebbe potuto transitare senza provocare esondazioni, a differenza di quanto invece avvenne. Nel complesso, il comportamento della diga di Maccheronis in occasione della piena conseguente al ciclone Cleopatra evidenzia come un'invaso, anche se destinato a scopi ben diversi della laminazione, può esercitare un benefico effetto di moderazione delle piene, a tutto beneficio dei territori a valle.

3.5 La diga di Mignano e la laminazione delle piene del torrente Arda

La diga di Mignano sul torrente Arda, attualmente gestita dal Consorzio di Bonifica di Piacenza, ha finalità di regolazione dei deflussi per il soddisfacimento dei fabbisogni irrigui del comprensorio. Essa sottende un bacino di 87.2 km² e presenta un volume di invaso utile di 12 Mm³, alla quota di massima regolazione di 337.80 m s.l.m.m. Alla diga, negli anni 1965-70, sono state imposte dal Genio Civile importanti limitazioni di esercizio, allo scopo di salvaguardare i territori vallivi dalle piene dell'Arda. In particolare, in primo luogo, la quota massima autorizzata è stata fissata pari a 335.70 m s.l.m.m., abbassandola quindi di 2 m rispetto a quella di massima regolazione, con una perdita di volume utile di invaso di circa 1.5 Mm³; in secondo luogo la massima portata autorizzata esitabile dagli scarichi di fondo è stata limitata a 70 m³/s. Quest'ultimo valore derivava dalla circostanza, osservata dal Genio Civile in occasione di vari eventi di piena, che al superamento di un limite di portata pari a 70-80 m³/s si verificavano, nei tratti di alveo a valle della diga, i primi fenomeni localizzati di esondazione. Un ampio studio condotto per conto dell'Agenzia Interregionale del fiume Po ha consentito di valutare in circa 90 m³/s l'officiosità dell'alveo del torrente Arda; in corrispondenza di tale valore lo stato di inofficiosità dell'alveo a valle di Fiorenzuola d'Arda diventa quasi generalizzato mentre localmente si verificano esondazioni di una qualche importanza per valori anche inferiori di portata. La *Figura 13* documenta la situazione dell'alveo in occasione degli



Figura 13 - Torrente Arda a valle della diga di Mignano. Documentazione delle piene del 2004, 2009 e 2011.



eventi di piena del 2004, 2009, 2011 e gli allagamenti a campagna verificatisi durante il primo di tali eventi, peraltro per portate al colmo inferiori al valore caratteristico di officiosità prima indicato; la brevità del lasso di tempo intercorso tra i vari eventi, che determinano tutti un notevole impegno della sezione idrica dell'alveo, evidenzia chiaramente lo stato di sofferenza idraulica del corso d'acqua. La precaria officiosità dell'alveo è dovuta, oltre che alla modestia delle sezioni trasversali, anche alla presenza di una eccessiva vegetazione in alveo, come documentato dalla *Figura 14*, circostanza senza dubbio imputabile a carenza di interventi manutentivi.



Figura 14 - Torrente Arda a valle della diga di Mignano. Stato della vegetazione presente in alveo.

Per la diga di Mignano sono state raccolte ed elaborate le registrazioni dei livelli dell'invaso e delle condizioni di apertura degli organi di scarico per oltre 100 piene storiche verificatesi dal 1935 in avanti; è stato quindi possibile valutare le onde di piena in uscita dalla diga e, applicando la (1), ricostruire, attraverso una procedura di delaminazione, l'onda in ingresso per ciascuna piena. Dalle singole onde di piena in ingresso e in uscita sono stati estratti i relativi colmi e, utilizzando questi ultimi dati, sono state costruite le serie storiche dei massimi annuali delle portate al colmo in ingresso al lago e di quelle in uscita. La *Figura 15* mostra, in carta probabilistica di Gumbel, la distribuzione di frequenza osservata (pallini neri) e quella di probabilità (curva a tratto continuo) dei valori massimi annuali delle portate al colmo del torrente Arda entranti nell'invaso di Mignano; nella stessa *Figura 15* sono rappresentate anche la distribuzione di frequenza osservata (pallini vuoti) e quella di probabilità (curva tratteggiata) dei valori massimi annuali delle portate al colmo uscenti dalla diga di Mignano. Il confronto tra le due distribuzioni evidenzia l'importanza dell'effetto di laminazione esercitato dalla diga, grazie alle limitazioni di esercizio a suo tempo imposte dal Genio Civile, effetto che risulta più accentuato per le piene più frequenti cioè caratterizzate da tempi di ritorno più piccoli. Ricordando che l'officiosità caratteristica dell'alveo a valle della diga è stata valutata pari a $90 \text{ m}^3/\text{s}$, dalla *Figura 15* si osserva che a tale portata corrisponde (a valle della diga) un tempo di ritorno di circa 25 anni; sempre dalla *Figura 15*, si può notare che, considerando la distribuzione delle portate in ingresso alla diga, il tempo di ritorno di un colmo pari a $90 \text{ m}^3/\text{s}$ è invece pari a circa 3 anni. Nell'ipotetico caso di assenza della diga, la distribuzione delle portate al colmo del torrente nella sezione immediatamente a valle di quella di imposta della diga coinciderebbe ovviamente con quella delle portate in ingresso alla diga; in assenza della diga, quindi, il tempo di ritorno per il quale si verificherebbero allagamenti generaliz-

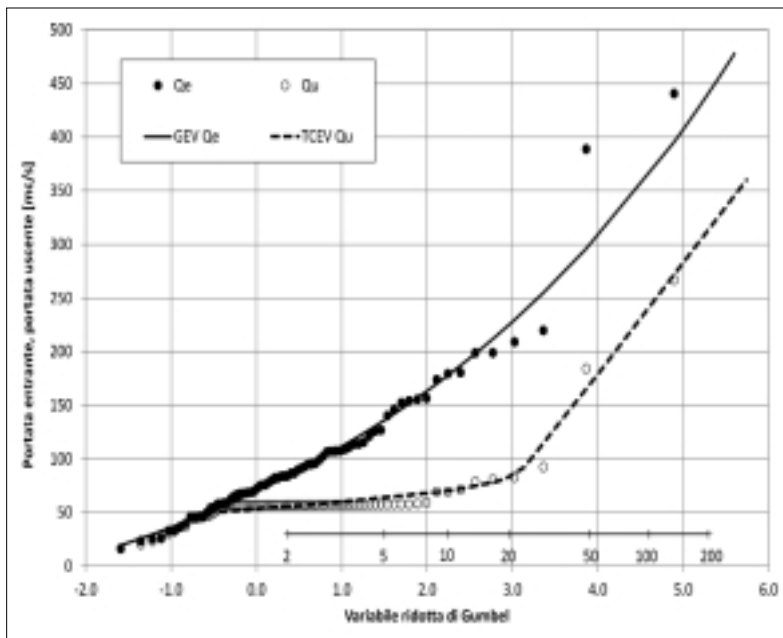


Figura 15 - Rappresentazione, in carta probabilistica di Gumbel, delle distribuzioni di frequenza osservata e di probabilità dei massimi annuali delle portate al colmo del torrente Arda entranti nell'invaso di Mignano (pallini neri e curva continua) e di quelle uscenti dall'invaso (pallini vuoti e curva tratteggiata).

pitazioni estremamente abbondanti sulle zone montane e pedemontane. La *Figura 16*, tratta da Arpav, mostra la distribuzione spaziale delle altezze di pioggia complessivamente cadute dal 27 al 30 ottobre 2018; si notano i valori molto elevati in particolare nel bellunese, con un valore massimo di 715.8 mm rilevato nella stazione di Sofranco di Longarone (BL).

In occasione di questo evento, alcune dighe presenti sul territorio, in particolare quelle soggette a limitazione di esercizio ai fini della laminazione delle piene, hanno esercitato importanti effetti di moderazione delle piene naturali dei corsi d'acqua, mitigando sensibilmente gli effetti dei deflussi nei territori posti a valle della loro sezione di imposta. Di seguito si documentano alcuni casi notevoli: quelli degli invasi di Ravedis sul torrente Cellina nel bacino del fiume Livenza, quello di Pieve di Cadore nel bacino del fiume Piave e quello del Corlo nel bacino del fiume Brenta.

Nella *Figura 17* è mostrato l'effetto di laminazione prodotto dall'invaso di Ravedis sull'onda di piena del torrente Cellina in ingresso all'invaso stesso durante l'evento di piena dell'ottobre 2018. La piena del Cellina è risultata particolarmente intensa a monte della diga; si può notare che l'onda in ingresso possiede due colmi, il primo pari a circa 660 m³/s, il secondo, più importante, pari a 1477 m³/s. L'onda in uscita risulta fortemente laminata dal serbatoio di Ravedis; il colmo in uscita è infatti pari a 862 m³/s. Quindi, in assenza dell'invaso di Ravedis, il colmo dell'onda di piena naturale del solo Cellina, prescindendo dalla messa in conto dei naturali effetti di laminazione che l'onda

zati nel tratto di alveo a valle sarebbe pari a 3 anni anziché, come avviene oggi proprio grazie alla presenza della diga, a 25 anni. Si può quindi concludere che la diga di Mignano, soprattutto grazie alle limitazioni di esercizio saggiamente imposte dal Genio Civile, ha salvato dalle esondazioni i territori vallivi posti in fregio al torrente Arda moltissime volte dal 1965-70 a oggi. Non può comunque non essere rilevato che positivi effetti sulla riduzione della frequenza attesa di esondazione avrebbero potuto essere ottenuti anche mettendo in atto interventi di sfalcio della vegetazione e in generale di manutenzione dell'alveo più continui, sistematici ed efficaci di quanto storicamente avvenuto.

4. IL RUOLO DELLE DIGHE NELLA DIFESA IDRAULICA DEI TERRITORI A VALLE IN OCCASIONE DELLA TEMPESTA VAIA DELL'OTTOBRE 2018

Nei giorni dal 26 al 30 ottobre 2018, il Triveneto fu interessato da un evento meteorico di eccezionale intensità, la cosiddetta tempesta Vaia, con fortissimi venti e precipitazioni

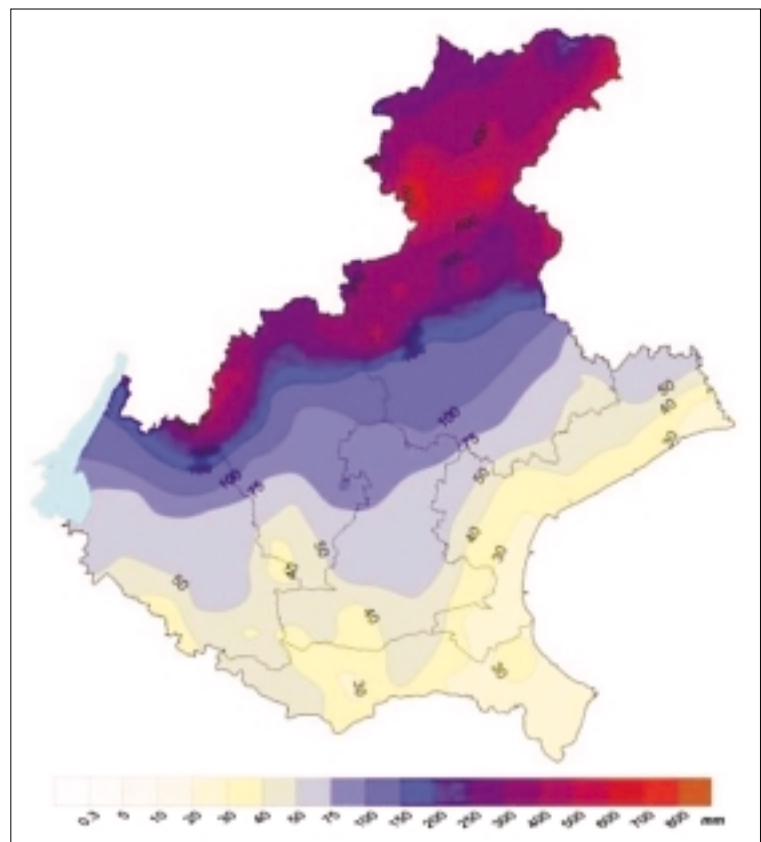


Figura 16 - Mappa delle precipitazioni (mm) cadute nei giorni dal 27 al 30 ottobre 2018 (fonte Arpav).

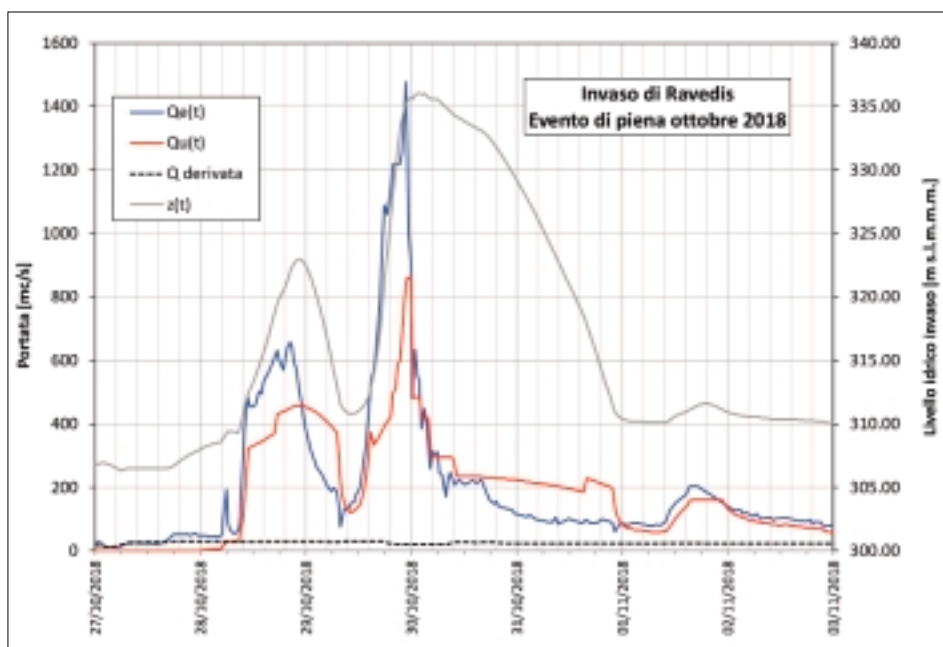


Figura 17 - Invaso di Ravedis sul torrente Cellina. Laminazione della piena dell'ottobre 2018.

s.l.m.m., superando quindi la quota massima autorizzata nell'attuale periodo di esercizio sperimentale.

La diga di Pieve di Cadore, ubicata nell'alto corso del fiume Piave, ha uso idroelettrico, un'altezza di 108 m e un volume utile di circa 67.5 Mm³, alla quota di massima regolazione pari a 683.5 m s.l.m.m. L'Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, con delibera del Comitato Istituzionale n. 2 del 3 marzo 2004, ha assoggettato la diga di Pieve di Cadore, insieme a quella di Bastia (lago di Santa Croce), posta più a valle, a limitazioni di invaso di tipo statico relative al periodo 15 settembre - 30 novembre di ogni anno per la salvaguardia dei territori di valle. Per la diga di Cadore, è prescritto il mantenimento del livello dell'acqua nell'invaso a quota non superiore a 667 m.s.l.m., sempre salvo il verificarsi durante detto periodo di eventi di piena.

L'invaso di Pieve di Cadore è stato interessato dalla piena del Piave conseguente alla cosiddetta tempesta Vaia nell'ottobre 2018. Nella Figura 18 sono messe a confronto l'onda di piena in uscita dall'invaso e quella in ingresso allo stesso, ricostruita con procedura di delaminazione; nella stessa figura è mostrato anche l'andamento del livello idrico nell'invaso. Dalla Figura 18 si nota che il colmo dell'onda in ingresso è pari a 1155 m³/s mentre

il colmo dell'onda in uscita è pari a 1052 m³/s; l'invaso ha esercitato quindi un certo effetto di moderazione del colmo dell'onda di piena naturale del corso d'acqua; il livello massimo di invaso ha raggiunto quota 684.14 m s.l.m.m., innalzandosi quindi di oltre 14 metri al di sopra del livello massimo imposto a inizio piena. All'inizio della piena, il volume presente nell'invaso era pari a circa 32.4 Mm³ mentre, nelle condizioni di massimo riempimento durante la piena, tale volume ha raggiunto i 47.5 Mm³; quindi il volume di piena invaso è stato pari a circa 15.1 Mm³, a fronte di un volume complessivo della piena in ingresso pari a circa 58 Mm³.

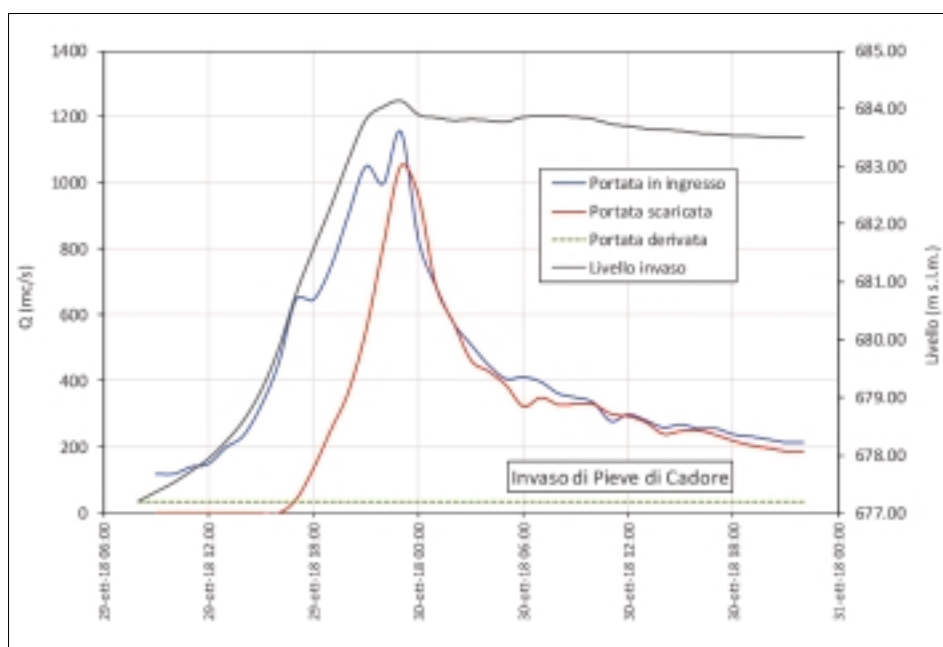


Figura 18 - Invaso di Pieve di Cadore sul fiume Piave. Laminazione della piena dell'ottobre 2018.

avrebbe subito a valle del serbatoio prima di transitare nelle zone a maggiore rischio di esondazione e anche dal contributo del Meduna, sarebbe risultato superiore ai valori di portata, prima indicati, caratteristici dell'officiosità del tratto di alveo del torrente Meduna, posto a valle della confluenza del torrente Cellina. Appare di tutta evidenza l'effetto decisivo che l'invaso di Ravedis ha esercitato nella difesa idraulica dei territori rivieraschi posti a valle della diga, durante l'evento di piena dell'ottobre 2018. Va rilevato che, in occasione del secondo ramo di risalita della piena, il livello massimo nel serbatoio ha raggiunto quota 336.06 m

Storicamente, l'asta del fiume Brenta è interessata da fenomeni di piena molto intensi e ricorrenti, che comportano situazioni di rischio idraulico a valle di Bassano del Grappa, ma anche nel tratto compreso tra la confluenza del torrente Cismon e la chiusura del bacino montano, con particolare riferimento all'abitato di Valstagna. La diga del Corlo è ubicata sul torrente Cismon poco a monte della sua confluenza nel fiume Brenta; ha uso idroelettrico, un'altezza di 71 m e un volume utile di circa 45 Mm³, alla quota di massima regolazione pari a 268 m s.l.m.m.; l'area del bacino imbrifero sotteso è pari a circa 640 km². L'Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, con delibera del Comitato Istituzionale n. 2 del 26 ottobre 2000, ha adottato misure di salvaguardia finalizzate all'utilizzo del serbatoio del Corlo per la laminazione delle piene del Brenta. Successivamente, con delibera del Comitato Istituzionale n. 1 dell'1 agosto 2002, queste limitazioni sono state leggermente modificate, per essere successivamente rese definitive, incorporandole nel PAI. Le limitazioni di esercizio cui è assoggettato l'invaso prevedono il mantenimento di una quota di vaso non superiore a 252 m s.l.m.m. nel periodo dal 15 settembre al 30 novembre di ogni anno, salvo il verificarsi durante detto periodo di eventi di piena. Il provvedimento prevede quindi un approccio di tipo statico alla laminazione delle piene.

L'invaso del Corlo ha esercitato un sensibile effetto di moderazione della piena dell'ottobre 2018, in occasione cosiddetta tempesta Vaia, come documentato dalla *Figura 19*, nella quale è mostrato il confronto tra l'onda di piena in uscita dall'invaso e quella in ingresso allo stesso, ricostruita con procedura di delaminazione; nella stessa figura è mostrato anche l'andamento del livello idrico nell'invaso.

Dalla *Figura 19* si nota che il colmo dell'onda in ingresso, pari a 804 m³/s, viene fortemente laminato dall'invaso; il colmo dell'onda a valle è infatti pari a 283 m³/s, quindi con un notevole effetto di smorzamento rispetto a quello dell'onda in ingresso. Il livello di vaso si è innalzato fino a raggiungere una quota massima di 267.0 m s.l.m.m., quindi 15 metri al di sopra del livello massimo imposto a inizio piena. Il volume di vaso all'inizio della piena era di circa 13.2 Mm³ mentre, nelle condizioni di massimo riempimento durante la piena, tale volume ha raggiunto i 35.9 Mm³; quindi il volume di piena invasato è stato pari a 22.7 Mm³, a fronte di un volume complessivo dell'onda di piena in ingresso pari a 60.6 Mm³.

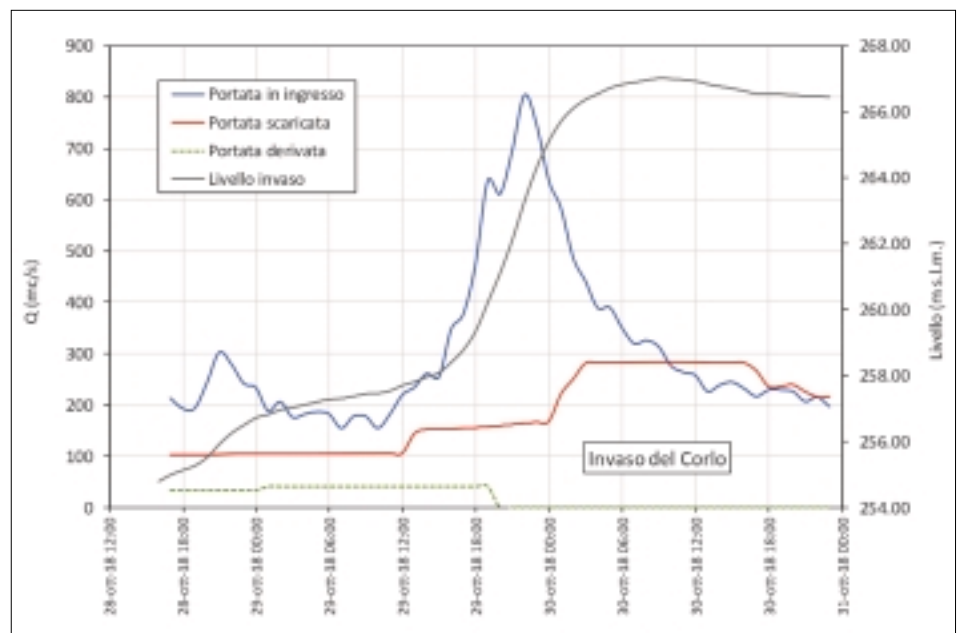


Figura 19 - Invaso del Corlo nel bacino del fiume Brenta. Laminazione della piena dell'ottobre 2018.

5. CRITICITÀ E OPPORTUNITÀ

I serbatoi di regolazione dei deflussi possono esercitare un importante effetto di moderazione delle piene dei corsi d'acqua su cui sono ubicati, mitigando il rischio idraulico dei territori posti a valle; in ogni caso, la loro presenza sul territorio fa sì che, a valle della diga, si verifichino colmi di piena inferiori a quelli che si avrebbero in assenza dell'invaso. L'entità di questo effetto di smorzamento dipende da numerosi fattori, quali: la forma dell'onda di piena in ingresso al serbatoio, in particolare il suo volume, il volume disponibile nel serbatoio per invasare la piena all'inizio dell'evento, le caratteristiche degli organi di scarico e le loro modalità di gestione in corso d'evento, la distanza del serbatoio dai territori a valle da proteggere.

A parità di tutte le altre condizioni, un assegnato serbatoio esercita un effetto di moderazione della piena in ingresso e quindi protezione dei territori di valle tanto più marcato quanto minore è il volume in esso presente all'inizio dell'evento. Su questo principio si basa la disciplina dei piani di laminazione, sia di tipo statico che di tipo dinamico, introdotti dalla Direttiva PCM del 27 febbraio 2004; ad esso pure si ispirano le limitazioni di vaso alle quali le autorità idrauliche competenti hanno assoggettato nel tempo l'esercizio di alcune grandi dighe, ai fini della mitigazione del rischio alluvionale dei territori a valle delle stesse.

A distanza di 15 anni dalla sua emanazione, la Direttiva non ha avuto un'applicazione così ampia come si poteva



presupporre. Infatti, risultano a tutt'oggi numericamente largamente prevalenti i casi di limitazioni di esercizio che scaturiscono da provvedimenti amministrativi di natura diversa dai piani di laminazione; solo in pochi casi poi i provvedimenti già in essere all'epoca di emanazione della Direttiva si sono trasformati in un piano di laminazione redatto ai sensi della DPCM. Secondo alcuni osservatori, queste difficoltà attuative della Direttiva scaturiscono dal fatto che la stessa prevede complesse attività di concertazione fra diverse amministrazioni, per le quali il ruolo di attore principale è assegnato alle amministrazioni regionali.

Non vi è dubbio comunque che la presenza di una grande diga costituisca, in molti casi, una risorsa per il territorio vallivo ai fini della moderazione delle piene. In proposito, si può ricordare che, nel suo monumentale rapporto finale completato nel 1970, la Commissione Interministeriale per lo Studio della Sistemazione Idraulica e della Difesa del Suolo (Commissione De Marchi), istituita a seguito dell'alluvione di Firenze e del Nord Est del novembre 1966, individuò e propose la realizzazione di un elevato numero di nuove dighe con funzione di laminazione delle piene di molti corsi d'acqua italiani, insieme con il potenziamento, sempre ai fini di laminazione delle piene, di diverse dighe già esistenti. Il lavoro della Commissione De Marchi è stato assai celebrato, ma alle sue proposte si è data attuazione in numero purtroppo molto limitato di casi, soprattutto per quanto attiene alla sostituzione di nuovi invasi e al potenziamento di quelli esistenti ai fini della laminazione delle piene.

L'attenzione verso le dighe ai fini di laminazione delle piene è stata invece sostanzialmente indirizzata all'apposizione di limitazioni di esercizio ad opere di invaso già esistenti. Attività che può considerarsi certamente condivisibile, anche alla luce degli esempi in precedenza discussi, dai quali risulta chiaramente l'importanza delle ricadute territoriali. Tale condivisione va però accompagnata con l'auspicio che il ricorso ai volumi di invaso disponibili nei manufatti esistenti non diventi, nel futuro, il nuovo paradigma della difesa del suolo in Italia.

Il nostro Paese sconta notoriamente una sensibile difficoltà di intervento nel campo della difesa idraulica del territorio. Vi è un problema storico di finanziamenti inadeguati e insufficienti, ma ancor più di difficoltà di spesa dei finanziamenti messi in essere. E' noto l'effetto frenante dovuto alle difficoltà di creazione del consenso sociale indispensabile all'attuazione degli interventi di difesa del suolo (la cosiddetta "sindrome di Nimby": Not in my backyard, va bene l'intervento ovunque ma non nel mio territorio); non secondaria è poi la difficoltà di attivazione dei decisori politici (la cosiddetta "sindrome di Nimto": Not in my term of office, vale a dire la tendenza a non prendere decisioni poco popolari nel proprio mandato elettorale). E' altrettanto nota l'estrema lunghezza delle procedure burocratiche, che accompagnano la realizzazione di un'opera pubblica in Italia: a titolo di esempio si può citare che, per la realizzazione di un'opera pubblica con taglio da 20 a 50 milioni di Euro, occorrono in Italia in media 11 anni, di cui solo 4,5 anni sono dovuti all'esecuzione dei lavori, mentre circa 5 anni sono richiesti dalle fasi di progettazione (inclusi i tempi per l'acquisizione dei vari pareri, che ne condizionano fortemente la durata) e ben 1,4 anni per le fasi di affidamento, legate a procedure di evidenza pubblica e relativi contenziosi.

Con questi presupposti, l'affermazione del nuovo paradigma della difesa del suolo si configura come una scorciatoia che potrebbe tentare, anche oltre misura, i decisori. E' importante vigilare, soprattutto da parte della comunità dei tecnici e di quella scientifica, affinché tale prospettiva venga scongiurata. Ciò per poter preservare appieno l'importantissima funzione che gli invasi esistenti assolvono oggi sia per l'approvvigionamento idro-potabile e irriguo, a maggior ragione in vista dei temuti effetti dei cambiamenti climatici, sia per la produzione di energia rinnovabile, campo nel quale l'idroelettrico riveste un ruolo essenziale non solo nella copertura di una parte significativa del fabbisogno energetico (50.5 TWh di produzione idroelettrica nel 2018, pari al 17.4% della produzione elettrica nazionale) ma anche per la sua indispensabile funzione di supporto all'esercizio delle altre fonti energetiche.



Francesco Baruffi, Francesco Zaffanella , Michele Ferri, Daniele Norbiato*

IL RUOLO DELLE DIGHE DURANTE L'EVENTO ALLUVIONALE DI OTTOBRE 2018 NEL TRIVENETO

THE ROLE OF DAMS DURING THE OCTOBER 2018 FLOOD EVENT IN THE TRIVENETO

1. IL DISTRETTO DELLE ALPI ORIENTALI

Il Distretto idrografico delle Alpi Orientali interessa le Province Autonome di Trento e Bolzano, le Regioni Veneto, Friuli Venezia Giulia, oltre a parti di bacini ricadenti entro i confini di Svizzera, Austria e Slovenia. Complessivamente il Distretto si estende per una superficie di oltre 37.000 km². (Fig. 1)

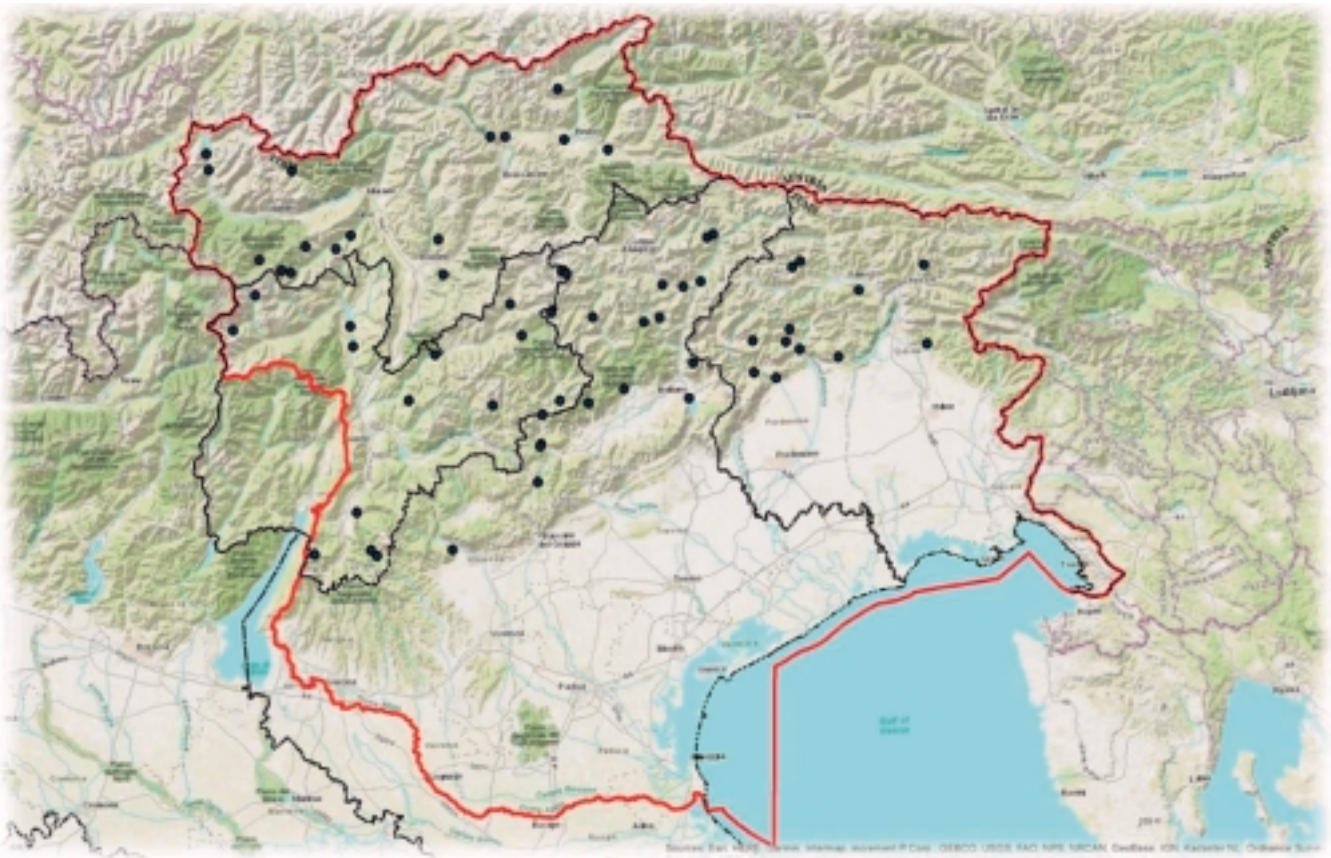


Figura 1 - Territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali, i punti blu identificano i principali serbatoi.

Dal punto di vista climatico il Distretto delle Alpi Orientali si colloca, in una zona di transizione tra l'areale continentale centro-europea in cui predomina l'influsso delle grandi correnti occidentali e dell'oceano atlantico, e l'areale sud-europeo ove domina l'influsso degli anticicloni subtropicali e del mar Mediterraneo.

In linea generale, il clima veneto-friulano si configura come temperato-umido, con limitate differenze fra l'ammontare di precipitazione dei mesi più piovosi rispetto a quelli meno piovosi. Permangono in ogni caso le tipiche fluttuazioni nella distribuzione mensile delle precipitazioni con i minimi a febbraio e luglio sia nelle zone di pia-

*Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali.



nura che in quelle di montagna, ed i massimi di piovosità mensile nella tarda primavera (maggio-giugno) e nella parte centrale dell'autunno (novembre).

La precipitazione media annua risulta molto variabile con andamento crescente nella direzione Sud-Nord almeno fino al primo ostacolo orografico costituito dalla fascia prealpina.

I valori medi annui variano da poco meno di 700 mm riscontrabili nella parte più meridionale della Regione Veneto (provincia di Rovigo) fino ad oltre 3.000 mm riscontrabili nell'area dei Musi di Lusevera ed Uccia situata nei pressi del confine con la Slovenia.

Le zone mediamente più piovose del Friuli (Prealpi Carniche), superano nell'anno "secco" i 1.500 mm di precipitazione annua, per arrivare in ogni caso ad oltre 2.000 mm nelle stazioni del bacino dell'alto Isonzo. Nell'anno "umido", nella pianura veneta l'apporto idrico si attesta sostanzialmente fra i 1.000 ed i 2.000 mm annui, sempre con andamento crescente da Sud a Nord, mentre nella pianura friulana oscillano tra i 1.500 mm fino a 4.000 circa della Valle Musi.

Procedendo verso Nord e verso Est le Alpi agiscono come una barriera e la piovosità annua decresce progressivamente scendendo sotto ai 1.000 mm annui. In genere nei fondovalle cadono dai 700 ai 900 mm, ma nelle vallate più settentrionali dell'Alto Adige, schermate da rilievi elevati, le piogge annue scendono sotto ai 600 mm annui.

Sei grandi fiumi costituiscono la rete idrografica principale, l'Isonzo, il Tagliamento, il Livenza, il Piave, il Brenta-Bacchiglione e l'Adige, tutti corsi d'acqua dotati di elevata pendenza ed a carattere fluvio-torrentizio, con portate medie annue sostanzialmente comprese tra 80 e 100 m³/sec e portate di piena fra 2.500 e 5.000 m³/sec. Esiste poi un sistema carsico (Timavo) ed uno idrografico minore costituito dai fiumi di risorgiva presenti nella bassa pianura alimentati dalle dispersioni dei corsi d'acqua principali. Tra questi da ovest verso est: il Dese, il Sile, il Lemene, lo Stella, l'Aussa-Corno. Inoltre due lagune, quella di Marano e Grado e quella di Venezia

Una volta completato il loro percorso nell'alta pianura, i sei grandi fiumi risentono morfologicamente della brusca riduzione di pendenza che fa loro abbandonare il carattere pluricursale per assumere una configurazione monocursale con formazione di ampi meandri quando la pianura degrada dolcemente verso la linea di costa. In questa percorso finale sono presidiati da argini impostati su terreni di formazione recente a granulometria fine, di scarsa permeabilità, ove storicamente si sono manifestati i più significativi e ricorrenti fenomeni alluvionali. In questi ambiti territoriali l'uomo ha forzato - per così dire - gli spazi reali ove i corsi d'acqua si espandevano divagando, costringendoli entro argini che spesso assumono dimensioni considerevoli e dove si possono determinare condizioni di spiccata pensilità. Ne risulta un sistema idraulico assoggettato nella storia a ripetuti interventi di artificializzazione (4.000 chilometri di arginature classificate di II e III categoria, oltre alle reti minori ed a migliaia di opere di regolazione) e governato in modo unitario, fin dal 1502, dal Magistrato alle Acque di Venezia.

2. L'EVENTO VAIA⁽¹⁾

Il nome "VAIA" identifica la perturbazione che ha interessato il Triveneto dal 27 ottobre 2018 al 30 ottobre con conseguenze che si sono protratte per diversi mesi e tuttora in parte presenti. La perturbazione si è contraddistinta per le ingenti piogge registrate nella parte montana delle Venezie e per il forte vento. Analogamente ad altri fenomeni intensi ha causato ingenti danni localizzati principalmente sull'alto Veneto (Bellunese), ma anche in Alto Adige e nell'area montana ovest della regione Friuli Venezia Giulia, con conseguente dichiarazione dello stato d'emergenza.

3. LA SITUAZIONE METEOCLIMATICA PRECEDENTE L'EVENTO VAIA

Lo studio degli eventi alluvionali avvenuti nel passato aiuta ad identificare meglio quali siano le più importanti variabili meteo-climatiche da valutare anche nei periodi precedenti all'evento stesso poiché in grado di modificare profondamente la risposta idrologico-idraulica di ciascun bacino.

Tra le variabili più significative così identificate si ritiene di rappresentare: la coltre e copertura nivale, la saturazione del suolo, la distribuzione e forma delle precipitazioni.

Per valutare l'effetto al suolo di VAIA è stata quindi condotta una analisi della situazione meteo-climatica ad inizio evento; la tarda estate e il primo periodo dell'autunno 2018 è stato caratterizzato da precipitazioni modeste e scarse, con prolungati periodi siccitosi. Prendendo come esempio la stazione di Soffranco (BL) che per la Regione Veneto ha registrato il massimo valore di cumulata durante l'evento (oltre 700 mm), nel mese di agosto ha registrato una cumulata mensile di 153,6 mm di pioggia, nel mese di settembre 2018 solo 39 e per il mese di ottobre (fino al 25 ottobre) poco più di una decina di mm di pioggia. Quanto poi alla presenza di neve o alla generazione di precipitazione nevosa, il periodo antecedente l'evento è stato caratterizzato da uno zero termico al di sopra della media e mediamente mantenutosi sopra i 2000 m di altitudine, di fatto garantendo sia l'assenza di precipitazioni nevose, sia la contestuale assenza e formazione di coltre nivale, favorita dalle temperature miti derivanti dai venti caldi che spiravano da sud (Fig. 2).

⁽¹⁾ L'evento del 26-30 ottobre 2018 ha casualmente preso il nome della signora Vaia Jakobs, manager di un grande gruppo multinazionale.

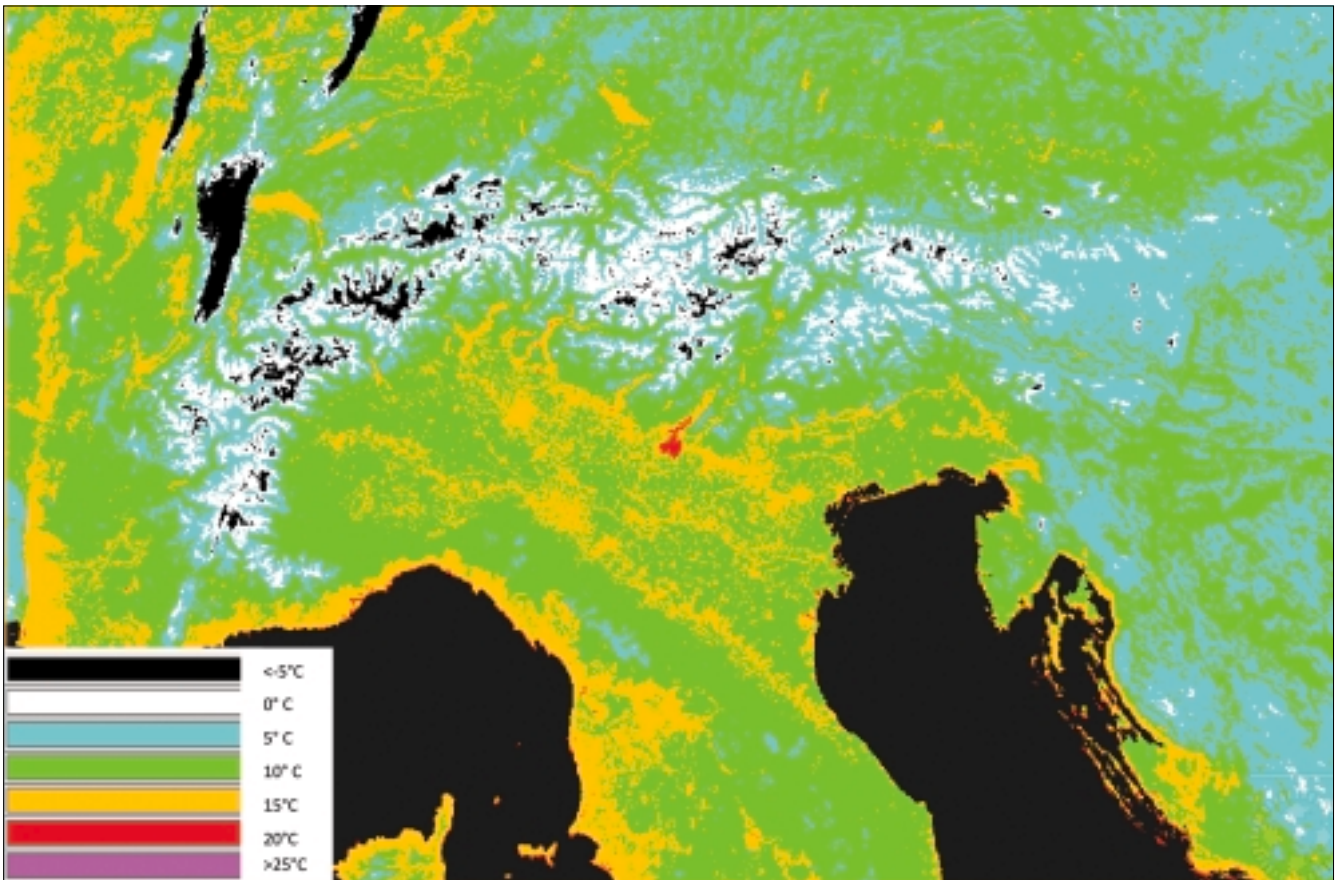


Figura 2 - Temperature rilevate nel periodo antecedente l'evento VAIA (SENTINEL 3 LST 12-10-2019).

L'evento VAIA quando si è manifestato, ha quindi trovato una condizione preliminare particolarissima con il suolo secco a causa delle scarse precipitazioni, assenza di precipitazione solida e in generale di copertura nivale sull'intero arco alpino orientale, temperature miti e presenza di venti da sud (scirocco in primis) (Fig.3).

Accanto alle variabili meteorologiche sono state analizzate anche le forzanti antropiche, prima e più importante fra tutte, la gestione degli invasi. Nel periodo precedente l'evento, infatti, alcuni importanti invasi idroelettrici avevano effettuato il pre-svaso mettendo a disposizione volumi destinati alla riduzione del colmo delle piene autunnali. Tutto ciò in virtù

delle norme stabilite dai PAI e dai piani di sicurezza idraulica predisposti dall'Autorità di bacino dell'Alto Adriatico⁽²⁾ (ex L.183/89). La modalità di gestione degli invasi durante l'evento ed l'effetto derivante dal pre-svaso sarà successivamente ripresa ed esposta.



Figura 3 - Copertura nivale rilevata da satellite Sentinel 3, prodotto: OLCI L1 13-10-2018.

⁽²⁾ Ora assorbita nell'Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali.



4. LE PREVISIONI METEO

Il 25 ottobre (2018), il sistema previsionale AMICO⁽³⁾ sviluppato dall'Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico nel 2012 ed operativo sul bacino del Bacchiglione dallo stesso anno, aveva già rilevato la possibilità di quantitativi di precipitazione elevati in tale ambito territoriale. A fronte dell'indicazione di allerta prodotta dal modello AMICO furono quindi verificati i modelli HIRLAM, LAMI, COSMO⁽⁴⁾ e le previsioni ECMWF⁽⁵⁾ a più larga scala. Tutti i modelli mostravano una convergenza su tale possibilità indicando precipitazioni cumulate superiori ai 200 mm per il periodo previsionale, in aumento man mano che l'evento si avvicinava, confermando lo scenario previsto dai bollettini di protezione civile emanati dalle regioni.

In relazione all'attività istituzionale dell'Autorità di bacino distrettuale l'analisi delle previsioni è stata orientata sostanzialmente alla fase postuma per capire se le mappature di pericolosità e rischio prodotte dai piani di bacino, nonché i modelli idrologici/idraulici utilizzati sono in grado di ben rappresentare gli effetti al suolo; si è proceduto pertanto alla disamina dei vari modelli rilevando che il modello HIRLAM attraverso la risoluzione temporale (1 ora) e la buona risoluzione spaziale (7km) aveva meglio descritto anticipatamente l'effetto al suolo. Dal confronto tra i dati misurati (media areale oraria su bacino) e i dati dell'ultima previsione pre evento si è rilevato, nonostante l'errore sulla stima della pioggia oraria, una buona sovrapposibilità tra la reale variabilità temporale dell'evento e quella prevista dal modello HIRLAM, variabile estremamente rilevante e difficile da stimare.

La spazializzazione e la variabilità temporale rivestono, infatti, un ruolo cruciale nella determinazione degli effetti al suolo; grazie alle nuove tecnologie e ai dati disponibili si è oggi in grado di verificare tali variabili con un relativo grado di certezza; per quel che concerne la variabilità spaziale risultano ancora funzionali i metodi di interpolazione geospaziale, a cui, in fase di rianalisi, è possibile associare la reale spazializzazione delle piogge ricavata dall'elaborazione dei dati provenienti dai satelliti meteo (sia europei che extraeuropei), frutto del rilievo e della fusione di informazioni da vari sensori (infrarossi, microonde, ottici). L'analisi postuma combinata delle previsioni, delle misure a terra interpolate con metodi classici (Kriging, IDW) e il confronto con quanto rilevato da satellite ha permesso di confermare la buona affidabilità dei modelli previsionali e la correttezza del pattern geospaziale delle precipitazioni interpolate, confermando la bontà e del dato fornito dal modello previsionale AMICO e la robustezza dei presupposti idrologici su cui è basato il PGRA⁽⁶⁾. In conclusione l'analisi ex post dell'evento VAIA ha confermato ancora una volta l'importanza della forma della precipitazione quale elemento fondamentale per la stima della risposta del suolo, ben rappresentata, in particolare, dal modello HIRLAM che restituendo una risoluzione oraria mostrava preliminarmente un pattern crescente, la presenza di uno iato, così come poi accaduto e sancito dalle stazioni di misura.

5. LA METEORA VAIA

L'analisi della meteora, effettuata grazie ai dati rilevati dai satelliti EUMETSAT MSG⁽⁷⁾ (geostazionari sull'area mediterranea), ha evidenziato alcuni fattori interessanti sulla formazione e sulla dinamica del fenomeno VAIA.

VAIA ha avuto genesi sulla penisola iberica (Fig. 4) e si è poi spostata sulla costa tirrenica finendo, sospinta dai venti meridionali, a ridosso dell'arco alpino orientale dove è perdurata per diversi giorni. L'analisi delle carte bariche mostrava una situazione depressionaria estesa su gran parte dell'Europa centrale a cui si opponeva un'area anticiclonica con nucleo stabile sull'area mediorientale. Il fronte tra l'area ciclonica e anticiclonica che transitava attraverso l'Europa Centrale estendendosi alla penisola iberica, di fatto ha bloccando le precipitazioni in una "sacca" posta sopra il Triveneto.

I venti da sud che sospingevano le masse di aria umida (generata anche grazie alle temperature miti del periodo) trovando il limite orografico costituito dalle Alpi, hanno quindi scaricato gran parte della precipitazione proprio nella fascia montana veneto-friulana. Diversamente da altre meteore, le temperature miti hanno spostato per l'evento VAIA le piogge più abbondanti nella parte più alta dei bacini, generando i vari record di precipitazione presenti in particolare in varie stazioni del bellunese e in alcune stazioni dell'alto Tagliamento.

In tale drammatico contesto va tenuto presente che le alte temperature non hanno trovato – per fortuna – la disponibilità di depositi nivali che diversamente, sciogliendosi, avrebbero fortemente ampliando la risposta idrologica nei diversi bacini.

Ulteriore fattore degno di nota, correlato principalmente al paragrafo successivo, ossia agli effetti a terra è stata la

⁽³⁾AMICO: (Alto adriatico Modello Idrologico e idraulico). E' uno strumento di previsione delle piene, operativo per il fiume Bacchiglione. AMICO elabora i dati meteo-climatici (sia in tempo reale sia in previsione a 3-5 giorni), determina i deflussi mediante un innovativo modello geomorfoclimatico e valuta la propagazione dell'onda di piena.

⁽⁴⁾LAMI (limited area model), previsione resa disponibile da ARPAV, risoluzione temporale: 6 ore, spaziale circa 7 km e durata previsione 74 ore; COSMO, simile al modello LAMI ma con risoluzione spaziale di 5 km e temporale a 3 ore; HIRLAM (High Resolution Limited Area Model), reso disponibile dall'Istituto meteorologico Finlandese, risoluzione spaziale di 7 km, temporale di 1 ora e previsione a 54 ore

⁽⁵⁾Modello previsionale del Centro Europeo di Previsioni Meteo a Medio Termine (risoluzione spaziale 12.5 km e temporale a 6 ore)

⁽⁶⁾PGRA - piano di gestione del rischio alluvioni predisposto nel 2016 dall'Autorità distrettuale delle Alpi Orientali in esito alla direttiva 2007/60/EU (www.alporientali.it)

⁽⁷⁾Meteosat è una costellazione di satelliti artificiali meteorologici geostazionari gestita da EUMETSAT, la sigla MSG indica la seconda generazione di satelliti.

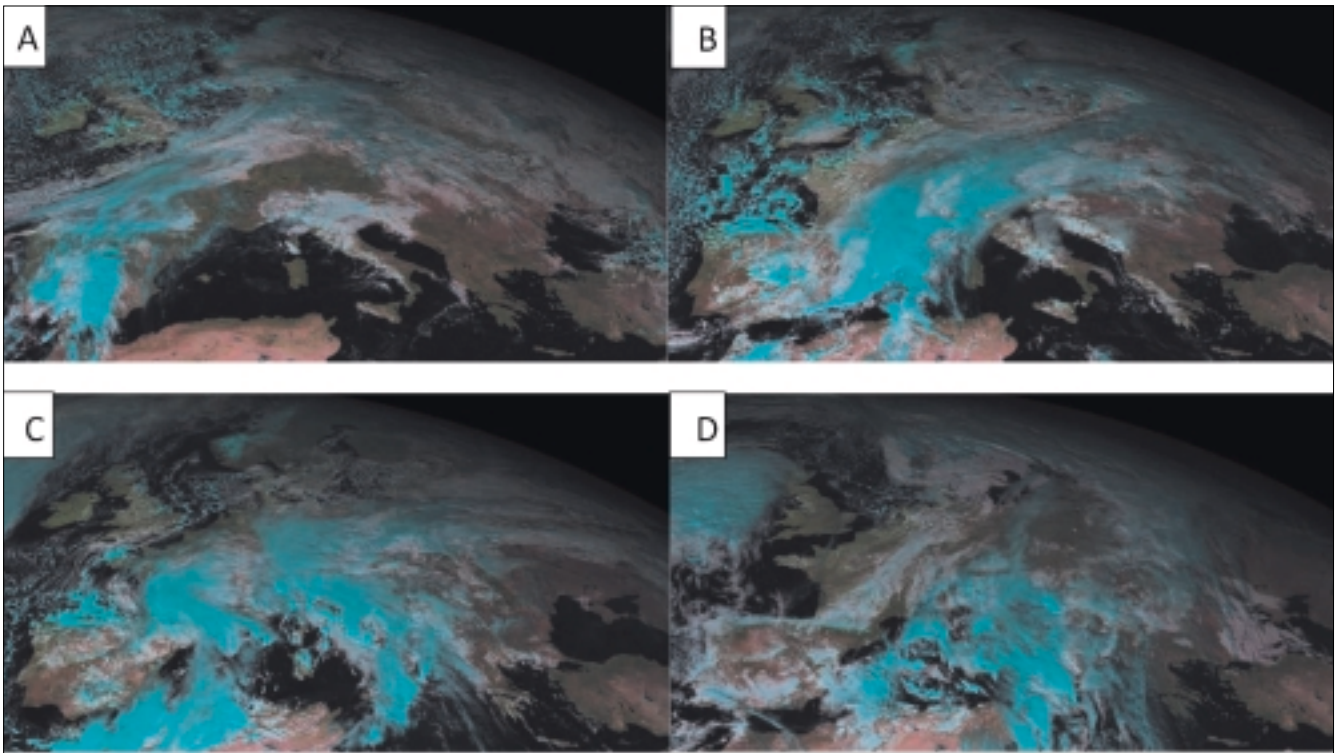


Figura 4 - Immagini EUMETSAT MSG 27 (A) -28 (B) -30 (C) ottobre e 2 (D) novembre 2018 h 12.43 moto perturbazione da satellite.

presenza di vento forte. Il vento, misurato anche dai satelliti EUMETSAT MSG ha registrato valori ampiamente superiori ai 120 km/h su vaste zone del bellunese e del trentino (altopiano di Asiago e zone limitrofe appartenenti alla provincia di Trento, vallate dell'Agordino). Interessante per la valutazione dei corrispondenti fenomeni è la direzione del vento che in corso di evento ha cambiato direzione da SW-NE a SE-NW generando la marea sostenuta e persistente registrata a Venezia nel periodo, che è risultata comunque al di sotto dei massimi registrati.

6. EFFETTI A TERRA DELLA METEORA

Nell'ambito della pianificazione di bacino è particolarmente importante capire se i piani di bacino (PAI e PRGA) ben rappresentano la possibile e potenziale condizione di pericolosità e rischio sul territorio. Un evento come VAIA è un'occasione importante per una verifica a scala uno a uno. Su tali presupposti eseguita la disamina delle condizioni meteo, la validazione dei modelli idrologici ed idraulici effettuata confrontando le informazioni elaborate, con i livelli idrometrici acquisiti dalla rete di telerilevamento delle Regioni Veneto e Friuli Venezia Giulia, rappresenta un test di fondamentale importanza per confermare o meno la robustezza degli strumenti modellistici utilizzati. I livelli idrometrici contenuti (tipici del periodo tardo estivo-autunnale) che si sono manifestati su gran parte della rete idraulica principale dei bacini principali e secondari, ad eccezione del bacino del Piave e di alcuni areali dei bacini di Tagliamento, Livenza e Brenta, ha trovato conferma in esito alle, condizioni al suolo preliminari all'evento e descritte nei precedenti paragrafi. Diversa è la situazione se si considerano i dissesti geologici di varia natura e gli imponenti fenomeni di trasporto solido che hanno accompagnato l'evento, presenti in quasi tutta l'area montana su cui ha giocato un ruolo fondamentale la localizzazione e l'intensità delle precipitazioni, sia in termini di volume che di tempi ed intensità (di precipitazione).

Dal punto di vista idrologico la ricostruzione degli idrogrammi di piena, considerando lo stato del terreno nei giorni antecedenti l'evento descritto nei paragrafi precedenti, è un passaggio altrettanto importante; il quadro che ne emerge è di fatto costituito da coefficienti di deflusso (rapporto volume precipitato/Volume defluito) estremamente ridotti in quanto gran parte della pioggia è stata, per l'appunto, assorbita dal terreno per infiltrazione. Questo ha portato ad una conseguente risposta idrologica contenuta rispetto alle precipitazioni, diminuendo le portate al picco e appiattendolo la curva di piena grazie ad un'ampia "coda" di deflusso.

Nel valutare la risposta idrologica dei diversi bacini idrografici è stata imprescindibile un'analisi delle funzioni svolte dai serbatoi idrolettrici e di laminazione; nei bacini più colpiti da VAIA sono presenti importanti serbatoi costruiti principalmente per lo sfruttamento della risorsa idroelettrica (ad eccezione dell'invaso di Ravedis), caratterizzati in gran parte da potenti scarichi di superficie e limitati scarichi di fondo.

Proprio la conformazione particolare e non orientata alla laminazione della piena, ha indotto i piani di sicurezza



idraulica predisposti a suo tempo dall'Autorità di bacino dell'Alto Adriatico⁽⁸⁾ a disciplinare la materia in conformità degli orientamenti di settore⁽⁹⁾ prevedendo il loro pre-svaso a partire dal mese di settembre per prepararli ad accogliere i volumi di piena generati da eventi alluvionali. In questo caso le portate generate da VAIA hanno trovato i serbatoi ben predisposti con ampi volumi disponibili.

Tale volumetria nel caso di VAIA, contando i soli serbatoi presenti nella Regione Veneto è quantificabile in oltre 105 milioni di metri cubi⁽¹⁰⁾.

Le considerazioni idrauliche sono state sviluppate considerando principalmente i dati provenienti dai vari gestori, nonché mediante le osservazioni ed il monitoraggio di lungo periodo reso disponibile grazie all'ausilio dei dati satellitari.

Incrociando i dati del modello idrologico con le misurazioni in entrata ai serbatoi si è constatato, anzitutto una buona corrispondenza tra il misurato ed il simulato in termini di portata entrante, nonché la coerente preparazione degli invasi prevista dal PAI per mitigare il rischio di alluvione laminando le portate.

Prendendo come esempio i serbatoi del bacino del Piave, le stime ENEL presentano volumi invasati in corso di evento di circa 75 milioni di metri cubi, di fatto sottratti al deflusso principale e restituiti frazionati nel tempo con una riduzione del picco di piena variabile dal 15 al 20%. La trattenuta di grandi volumi nella parte montana del bacino ha permesso di limitare i livelli in alcune sezioni critiche poste subito a valle dei serbatoi e di mantenere contestualmente nelle tratte planiziali le aree d'espansione libere e disponibili all'invaso dell'eccesso di portata.

Un altro invaso che ha avuto grande rilevanza nella difesa dalla piena generata da VAIA è stato il serbatoio del Corlo, presente sul tratto finale del T. Cismon, tributario di sinistra del Brenta, la cui immissione nel recettore principale è situata subito a monte dell'abitato di Valstagna. La rilevanza della manovra effettuata durante l'evento ha ridotto la portata fluente del 76%, passando da circa 900 mc/s (portata del Cismon entrante nel serbatoio) a poco meno di 200 mc/s (Fig. 5). Il dato assume un significato ancora più rilevante se si aggiunge a tale portata, la portata di circa 700 mc/s misurata nella sezione del Brenta di monte più prossima alla confluenza con il Cismon (Ponte Filippini). La sezione di Valstagna, infatti, è in grado di esitare in condizioni di sicurezza al limite una portata non superiore a circa 900 mc/s. Va da sé l'importante ruolo che il pre-svaso e la successiva gestione del serbatoio del Corlo ha avuto in occasione dell'evento VAIA.

Senza l'intervento del serbatoio la portata del F. Brenta avrebbe, infatti, attraversato l'abitato di Valstagna e tutta la tratta fluviale fino all'abitato di Bassano del Grappa (compreso) con portate e velocità delle acque incompatibili con la sicurezza del territorio generando una grave situazione di pericolo per la popolazione ed un imponente danno economico.

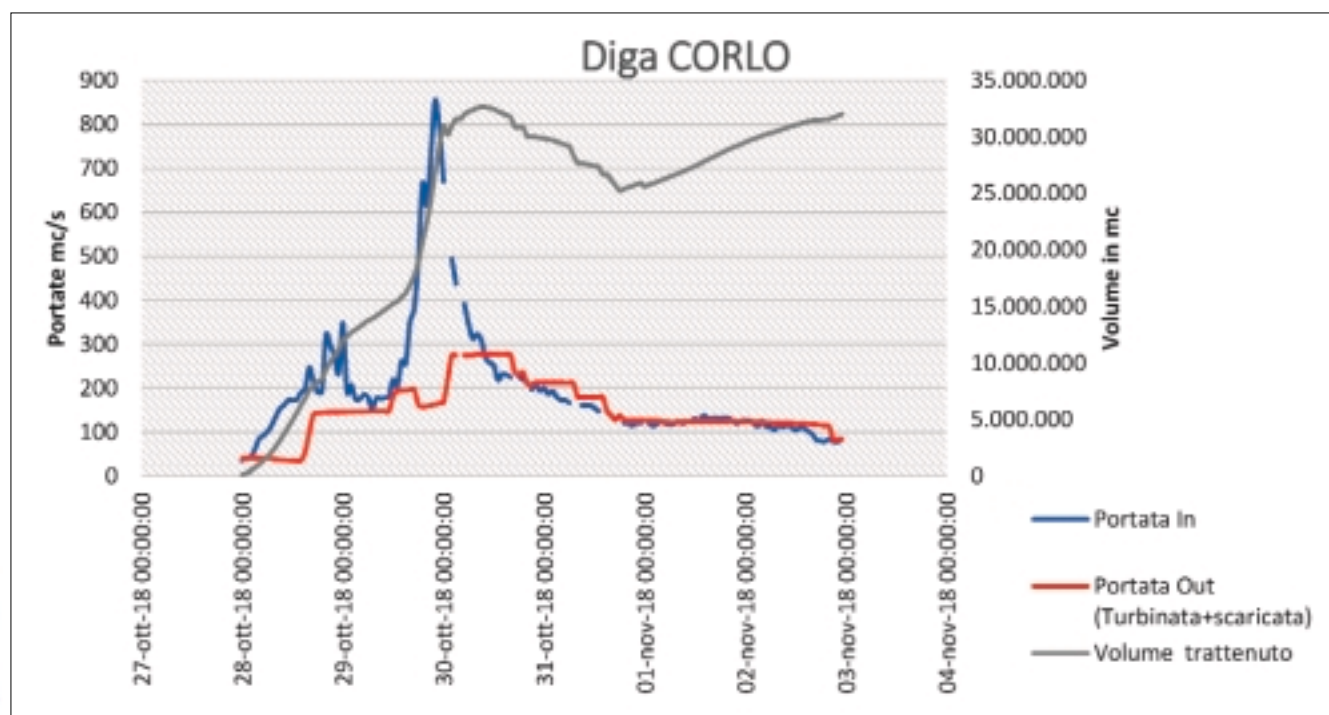


Figura 5 - Invaso del Corlo, (T. Cismon, F. Brenta), portate ricostruite dai dati provenienti dal gestore.

⁽⁸⁾Ora ricondotta nel Distretto delle Alpi Orientali.

⁽⁹⁾Direttiva pcm 27-2-2004.

⁽¹⁰⁾Fonte ENEL, volumi trattenuti dagli invasi in gestione del bacino del Piave e del Brenta-Bacchiglione.

Condizioni analoghe si sono rilevate anche analizzando la gestione dei serbatoi del Livenza; la gestione coordinata degli invasi del Cellina⁽¹¹⁾ e del Meduna⁽¹²⁾, i due principali tributari del Livenza hanno permesso il transito della sola portata massima ammissibile (1300 m³/s) alla sezione del ponte della SS13 in comune di Pordenone laminando i deflussi generati dal bacino tributario (il solo Cellina alla sezione di Barcis riportava portate di oltre 1000 m³/s).

Dalla disamina di tutte le variabili idrauliche e dal confronto con le portate inserite nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PRGA), emerge un dato fondamentale; la pianificazione di bacino individua portate superiori a quelle realmente registrate durante l'evento, confermando sulla base di quanto sopra descritto la correttezza delle ipotesi assunte. Gli strumenti di pianificazione del rischio idraulico sono stati orientati, infatti, verso scenari intensi più gravosi di quest'ultimo registrato e basati su determinate condizioni atte a massimizzare gli effetti al suolo della meteora, rendendoli adattativi anche agli scenari di cambiamento climatico.

7. IL CONFRONTO CON L'EVENTO DEL 1966

L'analisi effettuate e sopra descritte hanno confermato l'importanza dello stato del suolo antecedente l'evento (assenza neve, suolo secco), nonché dei provvedimenti assunti dal PAI richiedendo nei mesi autunnali il pre-svaso di alcuni importanti serbatoi idroelettrici.

Ad ulteriore conforto delle considerazioni già esposte è di notevole interesse il raffronto tra VAIA e l'evento del novembre 1966;

L'evento del 1966 è stato caratterizzato, soprattutto nel Triveneto, da precipitazioni abbondanti aventi forma riconducibile alla triangolare crescente (precipitazioni incrementali). Questo particolare pattern temporale risulta gravoso per gran parte dei sistemi idraulici in quanto le precipitazioni minori saturano interamente i primi strati di suolo limitando il deflusso iniziale, mentre all'aumentare del tempo, man mano che le precipitazioni crescono in termini sia di intensità che di cumulata, la risposta del sistema diventa impulsiva trasformando gran parte della precipitazione in deflusso superficiale. (Fig. 6)

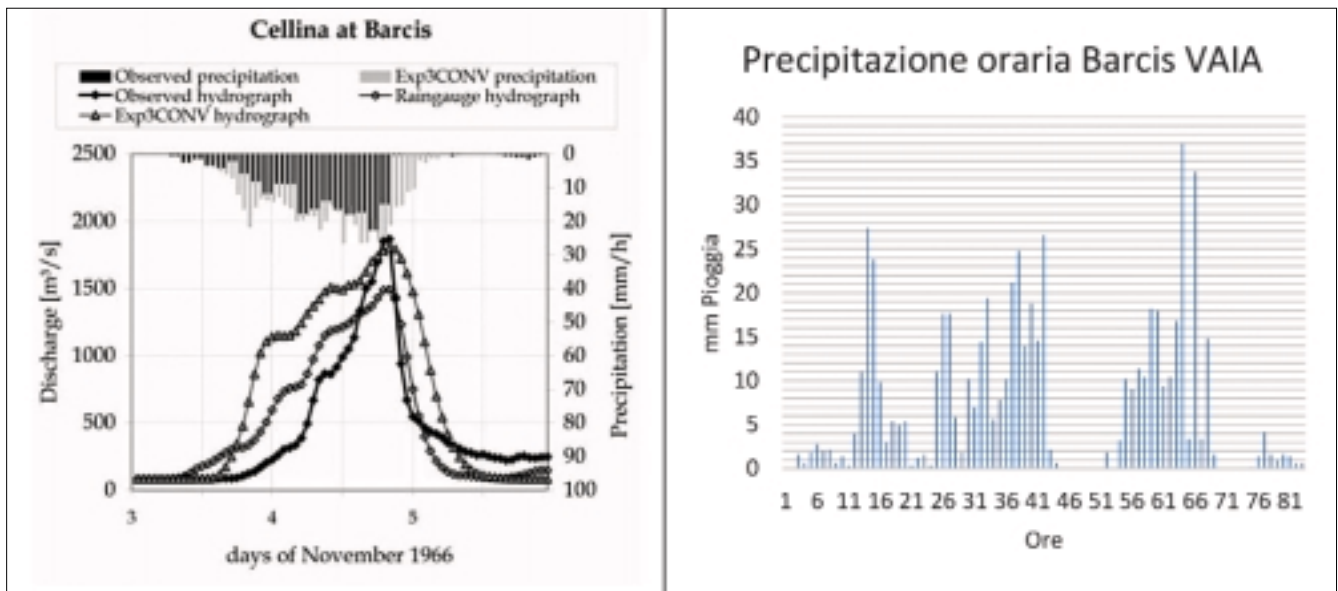


Figura 6 - Precipitazioni orarie nel 1966 (3-4-5 novembre) e nel 2018 (83 ore dal 27-10 ore 01.00 al 30-10 ore 11.00) registrate dalla stazione di Barcis, elaborazioni del 1966 tratte da: "The 1966 "century" flood in Italy: A meteorological and hydrological Revisitation, P. Malguzzi,1 G. Grossi,2 A. Buzzi,1 R. Ranzi,2 and R. Buizza3".

Questi due diversi eventi hanno parecchi punti in comune, primo fra tutti la stessa distribuzione barica, lo stesso percorso della meteora e la medesima configurazione incrementale delle precipitazioni, ad eccezione del fatto che nel 1966 le precipitazioni hanno continuato a crescere fino alla fine dell'evento. Nell'evento VAIA, infatti, si è registrato uno iato (Fig. 7) circa a metà dell'evento che ha contribuito al miglioramento della situazione idraulica favorendo il deflusso e rendendo la forma della precipitazione più simile ad un "doppio picco", piuttosto che alla forma triangolare crescente. Il doppio picco ha d'altro canto messo a dura prova la gestione dei serbatoi idroelettrici dotati di scarichi non adatti al governo di picchi ripetuti. Tuttavia alcune precipitazioni locali hanno

⁽¹¹⁾Serbatoio di laminazione di Ravedis (PN).

⁽¹²⁾ Serbatoi idroelettrici di Ca' Selva, Ca'Zul e Ponte Racli (PN).



Registrazioni piogge di diverse stazioni ARPAV

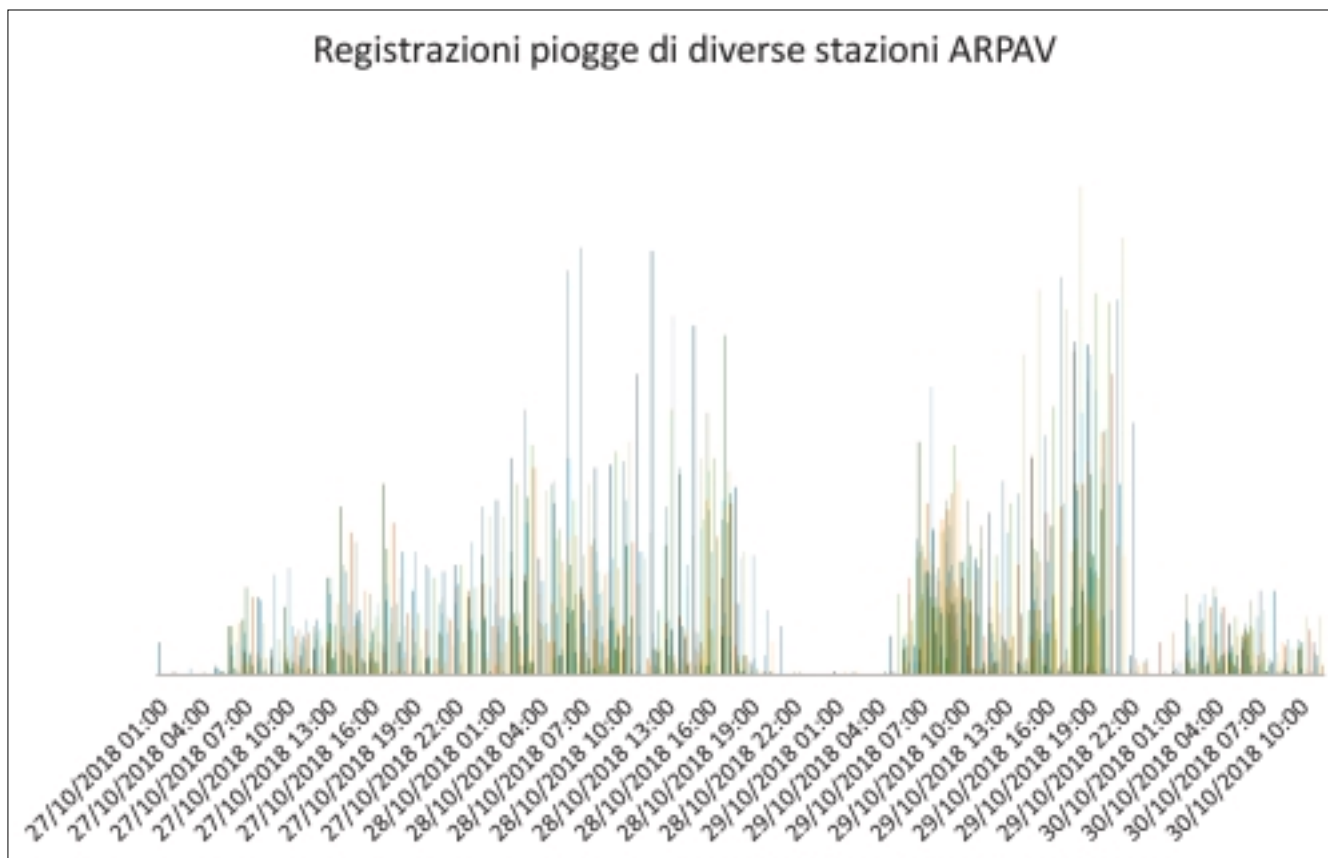


Figura 7 - lato registrato dalle stazioni ARPAV, dalle 22 del giorno 28 alle 04 del giorno 29 ottobre 2018.

fatto registrare valori concentrati elevatissimi, generando i conseguenti vari dissesti geologici gravitativi e di scioglimento, nonché importanti fenomeni di trasporto.

Nel 1966 si sono registrate inoltre condizioni di temperatura simili a quelle registrate nell'ottobre 2018. Sono invece estremamente diverse le condizioni antecedenti l'evento. A differenza di VAIA, nel 1966 erano presenti abbondanti nevicate e precipitazioni nel periodo antecedente la meteora, ragion per cui vi era un enorme volume stoccato sotto forma di neve e infiltrato nel suolo che ha contribuito alla generazione di portate centenarie ben maggiori di quelle registrate nelle sezioni pianiziali nel corso dell'evento VAIA.

8. CONCLUSIONI

Su tali presupposti il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, coerentemente con l'obiettivo di massimizzare l'impatto delle precipitazioni, annovera come condizione al contorno ad esempio un contenuto di umidità nel suolo elevato (suolo saturo); questa scelta, confermata dal confronto tra VAIA e l'evento del 1966, rappresenta l'importanza di considerare tutte le forzanti presenti, anche antropiche (uso dei serbatoi) e pesarle in modo da prevederne le combinazioni che massimizzano la risposta idrologica. E' dunque il combinato disposto di tutte le variabili a creare l'evento estremo.

Proprio in virtù di quest'ultima affermazione risulta di fondamentale importanza dell'attività di coordinamento svolta dalle Autorità di Bacino Distrettuali che operano in via preventiva attraverso gli strumenti di pianificazione. L'analisi ex post dell'evento ha confermato l'importanza delle misure di preparazione e di prevenzione previste dal PRGA in esito alla direttiva 2007/60/EU, una tra tutte l'implementazione di sistemi previsionali, ma non va sottovalutata l'importanza della preparazione dei serbatoi idroelettrici attraverso il loro pre-svaso nel periodo autunnale. L'esperienza di VAIA conferma l'importanza di comparare la valutazione economica per la mancata produzione idroelettrica (e non solo) con i benefici derivanti dalla evitata alluvione di importanti centri abitati. Una ulteriore variabile che l'evento VAIA ha posto all'attenzione, anche per gli strumenti di pianificazione, riguarda l'effetto del vento che si è manifestata con l'incredibile quantità di materiale flottante nei serbatoi, sradicato dal vento e trasportato dai corsi d'acqua intercettati dagli sbarramenti. La loro presenza infatti deve far riflettere sulle condizioni di criticità che si potrebbero manifestare per l'accumulo sotto i ponti o per la messa fuori uso degli organi di scarico di una diga (Fig 8).

Come utilizzare, quindi, le nuove conoscenze derivanti, dallo studio del fenomeno, dalle mappature predisposte in esito alla direttiva 2007/60/CE e come coniugare l'utilizzo del territorio in attesa di effettuare gli eventuali ap-

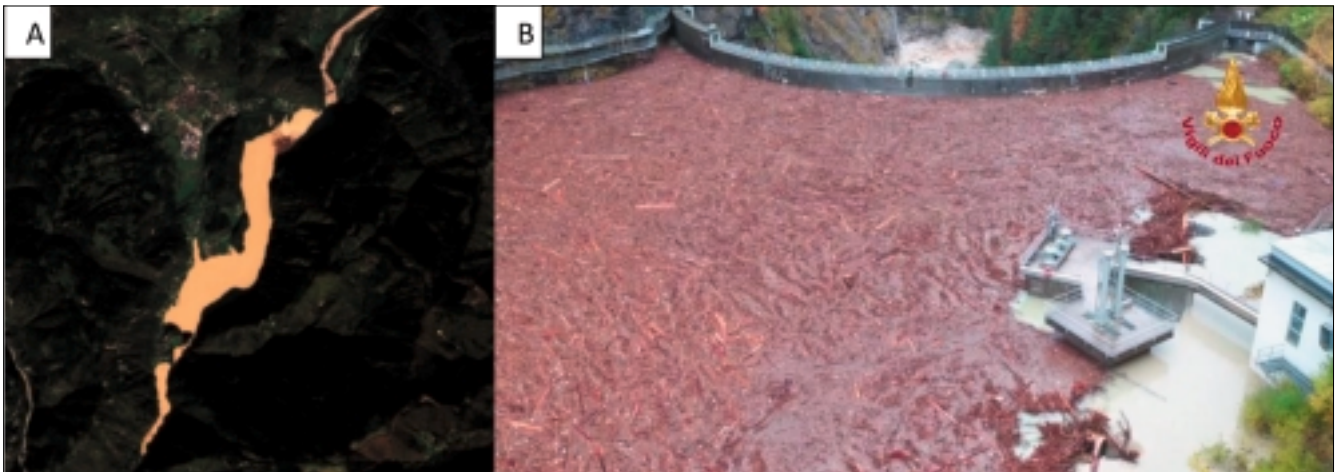


Figura 8 - Ammassi lignei rilevati da satellite nell'invaso del Corlo (A); invaso Comelico con materiale flottante, fonte VVF Belluno.

profondimenti o per realizzare le opere? La risposta a tali interrogative viene dalla Comunità Europea attraverso la lettura delle Guidance for reporting under the Floods Directive e del lavoro sviluppato dal WG-F on floods, che nelle sue raccomandazioni⁽¹³⁾ indica la logica nella quale deve essere impostata l'azione di pianificazione per tener conto di possibili scenari di rischio e che ben si coordina con la funzione assunta dai serbatoi idroelettrici durante l'evento VAIA. Una bilanciata combinazione tra protezione, prevenzione e preparazione è la risposta al quesito, attuando cioè una strategia d'insieme tra queste diverse componenti di base.

Nell'ambito della prevenzione, protezione e preparazione va confermato il ruolo fondamentale delle misure non strutturali, tra cui l'implementazione dei sistemi previsionali, la ricerca multidisciplinare e l'educazione ai temi del rischio, necessaria per comprendere criticamente le situazioni che si possono presentare. Il tutto funzionale ad abbattere il rischio operando non solo sulla componente della pericolosità, ma anche sull'esposizione (degli elementi a rischio).

Alla preparazione, in particolare, viene affidato questo compito, al fine di coltivare la consapevolezza delle situazioni.

Va anche detto che delle tre variabili (strategiche), la preparazione riveste aspetti molto complessi perché è socialmente la meno accettabile. E' difficile comunicare alla gente la necessità di essere preparati ad un qualsiasi "disastro". Tuttavia, al fine di abbattere il grado di rischio la preparazione è fondamentale in quanto permette di stabilire preliminarmente le azioni da intraprendere per ridurre i danni in caso di un evento alluvionale.

La necessità di attuare misure non strutturali, tra cui il continuo aggiornamento delle basi conoscitive, nella logica di produrre strumenti di pianificazione adeguati e performanti per una migliore gestione del territorio, coniuga le richieste di sviluppo del territorio stesso con le tempistiche di realizzazione delle opere di difesa idraulica strutturali. Questo approccio diviene fondamentale considerando l'incertezza propria relativa alla realizzazione delle opere di difesa che si manifesta spesso con l'insorgere di conflittualità derivanti da opposti interessi, con le difficoltà nel reperire le risorse finanziarie necessarie e non ultimo da esigenze tecniche non sempre allineate con le richieste provenienti dal territorio.

⁽¹³⁾Observations, recommendations and conclusion-final report, Working Group F on flood, thematic workshop on the preparation of flood risk management plans (FRMP), Maastricht, January 2010.



Piazza Navona durante la piena del 1865. *Archivio ACEA*



Erasmus D'Angelis*

LAMINAZIONE DELLE PIENE E DIFESA IDRAULICA DELLA CITTÀ DI ROMA

FLOODS LAMINATION AND HYDRAULIC DEFENSE OF THE CITY OF ROME

Persino Caio Giulio Cesare, il più grande stratega di tutti i tempi, fallì nell'impresa degli interventi di prevenzione dagli straripamenti del Tevere. Anche lui come chi lo aveva preceduto e gli imperatori successivi come il geniale figlio adottivo Augusto, fallirono ogni lungimirante piano di difesa e anzi alcuni lo liquidarono come “troppo costoso”, e preferirono affidarsi al dio Tiberino e alla dea Fortuna. E Roma continuò ad espandersi passando dalla “città di mattoni” alla “città di marmo” augustea, tra un allagamento e l'altro, con una massiccia edificazione sull'area fluviale. Chi studia la topografia della Roma antica, ha censito nell'età augustea almeno 400 edifici importanti e oltre 9.000 tra case a più piani, botteghe e fulloniche. La monumentalizzazione dava solo l'illusione di una città resistente a tutto. Purtroppo non lo era contro l'avanzata del Tevere, e del resto la stessa epica della Fondazione si basava su uno straripamento del fiume.

Chi entrava in città a cavallo o in barca risalendo il Tevere veniva sopraffatto dall'estensione di Roma, dal suo allargarsi tra i colli di sontuose ville patrizie e imperiali con giardini, colonnati e statue, meraviglie come il Foro e templi, teatri e anfiteatri e terme, e delle *insulae* popolari con edifici anche di tre o quattro piani e al piano terra botteghe sempre aperte con ogni genere di prodotti. Ma, scrive Svetonio, il Tevere era un fiume “*da tempo ostruito dai detriti e ristretto per l'estendersi degli edifici*”.

L'*urban sprawl* la espose alle piene mettendo a rischio la tenuta del primo Ponte Sublicio e di aree ripetutamente allagate come nel 32, 23, 22 e 13 a.C. quando la cassa d'espansione naturale del fiume tornava a riempirsi d'acqua, e nei quartieri cittadini i morti si contavano a migliaia al punto che per i romani antichi attraversare la città in barca in occasione di nubifragi e allagamenti era normale.

Ma la Roma antica dava lezioni, e ancora oggi, di cultura delle acque, erano inventori di acquedotti e cloache e di piani regolatori delle acque, della gestione idraulica di fiumi e lagune e del reticolo minore. Le inondazioni sempre più drammatiche avevano convinto Augusto a istituire la prima Magistratura del Tevere, il *curator alvei Tiberis et riparum et cloacarum*, con specifiche competenze sulle acque superficiali e sotterranee, la manutenzione dell'alveo, la pulizia delle rive e la tenuta degli argini sui quali correvano i sentieri dell'alaggio per la risalita dei



*Segretario Generale, Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.



barconi. Augusto, e poi Tiberio, si impegnarono per impedire costruzioni troppo vicino agli argini. Gli architetti nell'area urbana allargarono l'alveo del Tevere fino all'ampiezza di 130 metri. E elaborarono piani ambiziosi come quello di una titanica deviazione del Tevere a monte della città, scavando un *drizzagno*, un nuovo alveo che deviasse le esondazioni, ma non se ne fece nulla.

Il Tevere allagava le zone basse di Roma e ancora nel 15 d.C., sotto Tiberio, rifece i conti con la catastrofe, descritta da Tacito negli *Annales* come: "...un'improvvisa inondazione del Tevere, che con uno smisurato ingrossamento, abbattuto il Ponte Sublicio, allagò non solo le parti basse e piane della città, ma anche quelle sicure contro sciagure di tal genere; molti furono trascinati fuori dalla pubblica via, parecchi furono sorpresi nelle osterie e nelle camere da letto. Fra il popolo dilagò la fame, la povertà e la carestia. Le fondamenta dei caseggiati furono danneggiate dalle acque stagnanti".

Dopo quella sciagura, Tiberio incaricò due commissari di rango consolare, Ateio Capitone e Lucio Arrunzio, di escogitare una soluzione per proteggere Roma. I due analizzarono la dinamica del fiume nell'Italia centrale e capirono che era impossibile difendere la città senza ridurre o deviare le portate dei suoi affluenti, a partire dal Paglia, che confluiva nel Tevere nei pressi di Orvieto dopo aver caricato l'acqua dei maggiori fiumi di Etruria e Umbria. I commissari presentarono a Tiberio un piano faraonico che prevedeva la deviazione nell'Arno del *Clanis* aretino, il grosso affluente del Paglia. Sapevano anche che, aumentando la portata dell'Arno, sarebbe stata cancellata dalle mappe imperiali la giovane *Florentia*, nata sulla riva destra nel 59 a.C.. Il progetto includeva inoltre la costruzione di sbarramenti e dighe lungo il corso di altri due possenti affluenti, il Nera e il Velino, per frazionarli in una molteplicità di canali con una nuova idrografia che prevedeva l'allagamento delle valli di *Reate* e *Interamnes*, trasformando le fertillissime pianure del reatino e del ternano in due giganteschi acquitrini.

I progettisti ricevettero il via libera da Tiberio e dal Senato, ma nessuno aveva fatto i conti con la rabbia delle colonie e dei *Municipia* penalizzati dalla risistemazione idrologica. Questi si organizzarono per combattere la prima battaglia della nostra storia con al centro la difesa dei fiumi e dai fiumi, il primo conflitto sul tema dell'equilibrio idrologico. Se Roma stava provando a salvarsi, loro avevano lo stesso obiettivo. A Roma i delegati di quei territori spiegavano le proprie ragioni all'imperatore, ai senatori, ai due commissari e ai *curatores* del Tevere. Si appellavano innanzitutto alla sacralità delle acque: le deviazioni sarebbero state una grave offesa alla religione degli antichi *socii* legati al culto dei fiumi *patri*. Ricordarono anche che grazie al Chiani il Tevere portava a Roma un flusso ininterrotto di legname dal Casentino.

I senatori, spiazzati, si confrontarono in un lungo e tosto dibattito. La conclusione la racconta il soddisfatto Tacito negli *Annales*, nativo dell'antica Terni: "Si discusse poi in Senato, per iniziativa di Arrunzio e di Ateio se per frenare le inondazioni del Tevere si dovesse deviare il corso dei fiumi e dei laghi che lo alimentano; furono perciò ascoltati i rappresentanti dei municipi e delle colonie, pregavano che il Chiana non fosse deviato dall'alveo consueto e trasferito nell'Arno perché ciò sarebbe stato di grave danno [...] sarebbero andati in rovina i campi più fertili d'Italia se il Nera, separato in canali vi avesse stagnato sopra con allagamenti [...] rifiutavano di ostruire il lago Velino che si getta nel Nera, perché allora avrebbe dilagato nelle terre circostanti. La natura aveva ottimamente provveduto alle umane esigenze quando aveva dato ai fiumi il loro corso e, come aveva dato le sorgenti così gli sbocchi; si dovevano poi rispettare anche i culti degli alleati che avevano dedicato ai fiumi patrii riti, boschi, altari [...]. Fossero le preghiere delle colonie, o la difficoltà dell'impresa o il sentimento religioso, certo è che prevalse il parere di Pisone, che aveva espresso l'opinione di non far nulla di tutto ciò".

Tiberio non poteva opporsi e ripiegò sull'istituzione di un collegio di cinque senatori incaricati di studiare sistemi



di regolazione della portata del fiume verso Roma, “*affinché il suo livello non si alzasse troppo durante l’inverno e non si abbassasse eccessivamente durante l’estate*”. Gli architetti e gli ingegneri dell’Impero ripiegarono allora su un colossale sbarramento per impedire che il Chiana sboccasse nel Paglia. Il “Muro Grosso”, venne innalzato presso Orvieto, a Carnaiola, oggi la località Fabro Scalo, ai tempi di Nerone, nel 65 d.C., e il lungo e massiccio sbarramento spezzò il *Clanis* in due tronconi separati dall’immenso acquitrino generato dal rigurgito del fiume nel fondovalle. E’ da allora che la Val di Chiana divenne palude e tale rimase fino alle bonifiche leopoldine dell’Ottocento.

Ma Roma continuava ad allagarsi, e per duemila anni il Tevere non dava tregua, e nemmeno i papi erano mai riusciti a far partire progetti e piani che pure pervenivano in Vaticano firmati da illustri sapienti di ogni secolo e che prevedevano di deviare e fermare a monte della città le acque di piena. Sui muri della Roma antica basta alzare lo sguardo nei centri storici per scoprire sui muri le medievali lapidi e *manine* murate e incastonate sulle facciate di chiese e palazzi storici. Raccontano decine di terribili piene che superavano all’idrometro di Ripetta l’altezza dei 16 metri sopra lo zero idrometrico, quota di riferimento rispetto al pelo libero, e altre decine di alluvioni minori non meno devastanti. Delle 125 lapidi affisse, 90 sono ancora visibili. La più antica è quella fatta murare su ordine di papa Gregorio IX sulla facciata della chiesa della Traspontina che risale al 2 febbraio 1230.

Le più recenti si riferiscono alle grandi esondazioni del 1870, del 1900 e del 17 dicembre 1937, ricordata sulla facciata della chiesa di San Bartolomeo, sull’Isola Tiberina. Sono concentrate soprattutto tra Castel Sant’Angelo, Santa Maria sopra Minerva e Ripetta, e raccontano giorni di diluvio provocati dal fiume che correva a pelo sulla città, esondava superati pochi metri e figuriamoci ai 15 e oltre i 16 metri con le sue inondazioni imponenti.





Nel solo Ottocento il Tevere uscì dalle sponde fra il 30 gennaio e il 2 febbraio 1805 a 16,42 metri e allagò l'intera area urbana e le campagne, il 10 dicembre 1846 quando fece segnare i 16,25 metri a Ripetta, e nel tremendo 28 dicembre 1870 quando arrivò con una portata al colmo di circa 3.300 metri cubi al secondo. E fu un nuovo cataclisma dalle 22 e a un centinaio di giorni dalla "breccia" di Porta Pia. Il fiume in piena ruppe i troppo fragili argini dopo giorni di nubifragi, gonfiato dagli apporti degli affluenti e dal Paglia, e dilagò con violenza nei rioni popolari. Scavalcò Ponte Milvio e trascinò nei gorgi anche la prima stazione idrometrica italiana, montata a Ripetta nel 1781 dall'Accademia meteorologica di Mannheim. Raggiunse l'impressionante altezza di 18,45 metri e portò allo scoperto l'altrettanto impressionante immobilismo che nel succedersi dei secoli aveva mantenuto la città ostaggio del fiume. La nuova Capitale dell'Italia offriva al mondo una pessima immagine di sé, rivelando di essere inerme non solo nei confronti del Tevere ma anche delle zone malariche che la circondavano. Nessuno, nemmeno la potenza della Chiesa, era riuscito a sottrarla alla condanna degli allagamenti o quantomeno a ridurne gli effetti.

Se i giornali clericali definirono l'alluvione "un castigo divino", per i giornali liberali era frutto del malgoverno dei secoli precedenti. In poche ore, piazze, strade e campagne fuori porta furono "intieramente coperte dalle acque". L'impeto della corrente trascinava alberi sradicati e masserizie, e migliaia di romani si rifugiarono ai piani alti. I comandi militari fecero arrivare da Napoli dopo un paio di giorni zattere e barche e il nuovo governo italiano era sotto choc. Giunse nella Capitale, per una visita lampo, il re Vittorio Emanuele II accompagnato dalla sua corte e, dopo una giornata di incontri e sopralluoghi, tornò già in serata a Firenze.

Roma rimaneva in balia del fiume e per difenderla scese in campo il Generale Giuseppe Garibaldi. Nelle tragiche ore della grande alluvione del 1870, giurò di tornare in battaglia "con feroce passione" davanti al Governo del re guidato da Giovanni Lanza, prendendo un impegno solenne davanti ai romani alluvionati. Da deputato, annunciò che avrebbe fatto aprire i cantieri per rendere il fiume più sicuro. Spinse il Parlamento ad affidarsi a due commissioni, una per valutare i progetti contro le alluvioni e l'altra per la bonifica dell'ampia fascia costiera malarica.

Il 1° gennaio 1871, il ministro dei Lavori pubblici, Giuseppe Gadda, nominò con decreto 12 esperti di Tevere. Erano perlopiù ingegneri del Genio civile e del Ministero dei Lavori pubblici, e tecnici segnalati da Quintino Sella, l'austero e potentissimo ministro delle Finanze al quale si deve il merito di aver fondato la Società Geologica Italiana e la Scuola per ingegneri di Torino, oggi Politecnico, e di aver promosso la "grandiosa impresa" della redazione della Carta geologica d'Italia (ancora ferma e meno della metà) e aver fatto costruire in Largo Santa Susanna il "tempio" della geologia, l'edificio liberty a lungo quarto museo della geologia mondiale e sede dei geologi e oggi tristemente abbandonato.

Sul tavolo della Commissione giunsero diverse proposte, tra cui anche il progetto firmato da Garibaldi e elaborato con alcuni ingegneri garibaldini. Con una spesa di 60 milioni prevedeva lo scavo di un canale diversivo di 17 chilometri e largo 60 metri che avrebbe deviato il Tevere dall'alveo naturale. Avrebbe aggirato la Capitale da Est, più o meno all'altezza di Serpentara, sulla via Salaria, riprendendo il vecchio corso oltre San Paolo. Dopo quasi un anno di verifiche e approfondimenti, il 7 dicembre 1871 i Commissari approvarono invece il progetto, altrettanto colossale, degli ingegneri Raffaele Canevari e Angelo Vescovali, per la "Sistemazione del tronco urbano del Tevere con sponde murate e Lungotevere e fognoni per gli scoli della città". Sono gli alti muraglioni di travertino che vediamo oggi, abbastanza alti da riuscire a contenere la piena fino ad allora considerata più imponente, quel-



la del 28 dicembre 1870. L'idea di imbrigliare il fiume in una specie di gran canale si ispirava alle Mura Serviane e Aureliane, riecheggiando alcuni piani cinquecenteschi degli architetti Della Porta e Fontana, e l'ipotesi dell'architetto Raffaele Stern, al quale i francesi avevano commissionato uno studio nel breve regno napoleonico durato dal 1808 al 1814. Era la canalizzazione del corso urbano del Tevere con la costruzione sulle due sponde di 18 chilometri di muraglioni alti 15 metri, dei nuovi lungotevere, di 31,7 chilometri di arginature di cui 16.5 in sponda destra e 15.2 in sponda sinistra, e 14 chilometri di altri argini.



Una volta approvato quel Piano, però, passarono giorni, mesi e poi anni, e il governo continuava a ritardare il finanziamento. Garibaldi perse la pazienza, e un bel giorno ripartì da Caprera presentandosi a Roma il 26 maggio 1875 quando, narrano le cronache parlamentari, con tono di voce *“di natura leonina”*, nel silenzio generale dell'Aula ammutolita *“prorompendo con quell'ardore e con quella vigorosa forza impulsiva con la quale guidò le schiere dei liberatori della Patria in tante gloriose pugne”*, cominciò col chiarire a tutti che la salvezza di Roma sarebbe stata *“fino alla fine l'ideale di tutta la mia vita”*. E si scagliò contro i politici perditempo, gridando in faccia ai ministri e ai colleghi: *“Signori! La città di Roma, la capitale d'Italia, la sede del Governo e del Parlamento d'una giovane nazione che seppe conquistare in pochi anni la sua unità, ogni anno è funestata dalle inondazioni del Tevere che corrompono l'aria e rendono il clima insalubre per una parte dell'anno. Quando poi arrivano le piene straordinarie due terzi della città rimane allagata. Il danno fisico ove non fosse rimosso, sarebbe ben presto un danno alla vita politica del paese tutto. Il Governo si è preoccupato di questa grave questione, e una Commissione da esso nominata ne fece oggetto dei suoi studi; ma nessuna conclusione pratica venne finora adottata. È singolare, o signori [...] vedere un fiume che scorre sregolato, senza difesa alle sue sponde, lasciando interamente in balia delle sue acque perfino una grande città, capitale dello Stato [...] la sistemazione del Tevere si è presentata al mio pensiero come una necessità urgente”*.

Anche il che fare per il Generale e deputato era molto chiaro: *“Occorre innanzi tutto, o signori, che il Parlamento autorizzi l'opera, la dichiari di pubblica utilità, determini la spesa e le basi sulle quali deve essere ripartita. Senza di ciò sarebbe vano ogni studio ed ogni cura ulteriore [...] Questo lavoro ridurrà il fiume per modo che, invece di quel Tevere minaccioso, devastatore, che spaventa i due terzi della popolazione romana, e le porta di volta in volta danni enormi, avremo un Tevere benefico, un Tevere che sarà una grande arteria che attraverserà e darà nuova vita alla città, coi suoi magnifici lungoteveri, e che migliorerà l'igiene pubblica, e compirà una linea di navigazione a vantaggio dell'industria e del commercio”*.



Tutti concordavano a parole con la sua proposta di legge n. 2583 dal titolo: *Opere idrauliche per preservare la città di Roma dalle inondazioni del Tevere*. Ma visto che nessuno dava ancora certezze sui finanziamenti, il giorno dopo, fuori dal Parlamento, l'Eroe dei due mondi radunò e arringò una folla di romani, esortando tutti a essere “Seri, seri, seri e fermi!”. Solo allora diedero il via alle procedure.

Il 23 novembre 1875 il progetto arrivò al Consiglio superiore dei Lavori pubblici; appena sei giorni dopo fu approvato. Il cantiere del Tevere fu aperto il 3 dicembre 1876, e durò la bellezza di circa mezzo secolo per concludere la quasi totalità delle opere nel 1926, completandole nel 1935, con l'ultimo tratto in destra finito nel 1948.



I muraglioni dotarono la città di solide difese strutturali. Spariva però una parte di Roma, con tutta la sua atmosfera. Gli alti argini imbrigliarono il Tevere da Ponte Milvio a San Paolo, demolendo tutto ciò che era stato edificato sul tracciato, e modificando radicalmente il rapporto tra la città e le sue acque. L'opera avanzò a costo di chilometri di demolizioni lineari di edifici e strutture a ridosso del fiume, compresi gli antichi scali di Ripetta e di Ripa Grande, teatri storici come l'Apollo, la Loggia della Farnesina, ville e giardini, porzioni di quartieri medievali, piazzette e vie da dove migliaia di famiglie furono sradicate ed espulse verso le nuove borgate di periferia.

L'alveo fu rimodellato e uniformato al percorso del massiccio lungo muro, fu dato al letto un'ampiezza di circa 100 metri, rettificando parte del corso e creando curve più morbide sotto i nuovi lungotevere. Intervenero anche sui ponti. A Ponte Sant'Angelo vennero abbattute le rampe di accesso, aggiungendo due arcate alle tre centrali. Ponte Cestio fu smontato e rimontato con due nuove arcate. Allargarono Ponte Sisto con travi in ferro e fecero saltare con la dinamite due delle tre antiche arcate di Ponte Senatorio, da allora chiamato Ponte Rotto.

Roma venne ridisegnata e ampliata dai mostri sacri dell'urbanistica di allora e anche dai palazzinari. Nei decenni che dalla proclamazione a Capitale portarono alle soglie del fascismo, con 3 piani regolatori e 8 leggi speciali, la città balzò da circa 200 mila a oltre mezzo milione di abitanti. Si sarebbe di certo potuto evitare l'accatastamento di borgate ai margini dell'Urbe, prive di fogne e di acqua, sopravvissute fino agli anni Settanta del Novecento, ma l'urbanistica romana venne appaltata ad affaristi e speculatori attratti come mosche da piani con incorporate varianti, modifiche e deroghe che resero impossibile un coerente disegno urbano. Nei venticinque anni di vigenza del primo piano regolatore del 1873, furono infatti realizzati molti “fuori piano”, grazie a convenzioni con costruttori, famiglie nobiliari e investitori arrembanti, che il consiglio comunale approvava come varianti senza tener conto della necessità di infrastrutture fondamentali per la mobilità, le fognature, gli acquedotti, e senza alcun rispetto per le rive e le golene del fiume. Il meccanismo delle convenzioni garantiva ai proprietari terrieri che cedevano porzioni di aree edificabili allo Stato di ricevere “in dono” non solo opere di urbanizzazione e strade, ma anche la facoltà di costruire “per pubblica utilità” procedendo direttamente agli espropri.

Nel novembre 1907 salì in Campidoglio il nuovo sindaco Ernesto Nathan, estraneo alla sfilza dei nobili che avevano governato Roma per 37 anni prima di lui. Improntò il suo mandato a un inedito senso civico e del bene comune, che ispirò anche il nuovo piano regolatore, varato il 10 febbraio 1909, in cui si prospettavano investimenti per costruire fogne, scuole, strade, condutture idriche. Con l'ingegnere Edmondo Sanjust di Teulada, Nathan provò a dare alla Capitale un respiro europeo.

Ma la *new wave* capitolina durò poco, e le antiche abitudini tornarono a insediarsi più funeste che mai. La città fu ridisegnata con le follie di una urbanizzazione spesso all'insegna dell'abusivismo più sfrontato, che non ha risparmiato nemmeno le rive del Tevere e la sua foce urbanizzata da Osta e Fiumicino. Un'espansione urbana oltre ogni limite e precauzione, che nemmeno i progettisti dei muraglioni non potevano immaginare. Nel XX secolo, infatti, sono state 28 le piene eccezionali, di cui tre straordinarie. Tutte provocarono danni, con “l'acqua der Te-

vere che s'arzava come le cascate de Tivoli, ricadendo tutt' intorno da una sponda all'altra con un rumore sordo, che faceva paura", come scrisse un fimarolo.

La piena del 2 dicembre 1900 resta la più imponente del secolo, con portata di 3.300 metri cubi al secondo e altezza idrometrica a Ripetta di 16,17 metri. Non sommerse la città storica, dove provocò allagamenti attraverso rigurgiti di fogne, ma l'intera valle tiberina da San Paolo al mare, che allora era tutta campagna, compresa la tenuta di Maccarese. La forte corrente fece crollare un lungo tratto dei muraglioni dell'Anguillara e argini tra Ponte Cestio e Ponte Palatino. Anche la replica del 15 febbraio 1915 vide le acque a 16,08 metri con portata di 3.160 metri cubi al secondo. Se nell'area urbana il Tevere fu per la prima volta contenuta dai muraglioni provocando solo allagamenti, sommerse nuovamente le campagne fino al mare, e Maccarese. Altre due alluvioni, nel 1929 e nel 1934, dimostrarono la tenuta rispetto al passato dei nuovi argini del Tevere ma le campagne oggi città furono allagate.

L'allarme risuonò più forte con l'evento di piena, ancora una volta con portate eccezionali a 2.800 metri cubi al secondo, che colpì Roma il 17 dicembre 1937, il primo raccontato dal *Cinegiornale Luce*. La piena raggiunse a Ripetta 16,90 metri, livello di poco inferiore al 1870. L'acqua dilagò da Ponte Milvio alla via Portuense alla Magliana. Allagò anche il centro storico, anche se i muri di sponda contennero gran parte della portata, salvando centinaia di romani dall'annegamento e riducendo i danni. Ma tutta la campagna circostante, divenuta ormai un paesaggio urbano, si trasformò in un immenso lago, dove per giorni si andava soltanto in barca.

Con decreto del Ministero dei Lavori pubblici datato 28 febbraio 1938, il regime fascista nominò una commissione di tecnici per affrontare il problema Roma. Questi ripresero in mano gli studi che nel 1905 già prospettavano di affiancare ai muraglioni la realizzazione del porto-canale di Fiumicino e del *drizzagno* di Spinaceto, il canale idraulico che avrebbe accorciato il percorso del fiume a valle accelerando il deflusso nel mare. A Spinaceto-Mezzocammino, a sud-ovest di Roma, il 28 novembre 1938 iniziarono a scavare il canale rettilineo di 1.290 metri e largo 75, tagliando meandri e accorciando il fiume di 2.700 metri. Con lo sbancamento delle rive, la distanza tra i due argini maestri venne ampliata a 400 metri, creando un vasto letto. Lo inaugurò il 12 agosto 1940 lo stesso Mussolini e il *drizzagno* fu "collaudato" nella piena del 5-6 febbraio 1947, con portata di poco inferiore a quelle di dieci anni prima, a quota 14,60.

Roma ancora oggi è in balia della complessa idrologia che confluisce nel Tevere. Lungo l'asta riceve ben 42 corsi d'acqua, e di questi 20 lo caricano d'acqua nei giorni di nubifragi e ci sono fiumi e torrenti imponenti come il Chiascio, il Nestore, il Nera, il Paglia e l'Aniene. Ognuno di loro riceve altri affluenti. Nel Nera entrano Corno, Serra e Velino che a sua volta riceve il Salto che ha ricevuto a sua volta l'Imele e il Turano. Nel Chiascio confluiscono Rasina, Tescio e il Topino con i suoi cinque affluenti (Attone, Caldognola, Clitunno, Menotre e Ose). Nel Paglia si riversa il Chiani, e nel Nestore il Caina col suo affluente Formanuova e il Fersinone con i suoi Faenella e Fosso de' Pozzi, poi il Fossatone, Fosso delle Lame, Fosso di Sant'Andrea, Genna, Calvana, Cestola e Rigo. Nell'Aniene confluiscono la Marrana di Tor Sapienza-Tor Tre Teste, la Marranella e il Pratulungo.

La documentazione storica, studi, simulazioni e proiezioni, dati satellitari e screening fluviale del team guidato da Carlo Ferranti forniscono all'Autorità di Distretto dell'Appennino Centrale il seguente quadro di probabilità





di piene: tempi di ritorno di 10 anni con portate da 1700 a 2000 metri cubi al secondo, di 100 anni da 2000 a 3000, di 200 anni da 3000 a 4000, di 500 anni da 4000 a 5000 metri cubi al secondo. È evidente che l'accelerazione dei cambiamenti climatici ha reso oggi più che mai teorici questi calcoli scientifici e idrologici su tempi di ritorno. Sappiamo però che, nel calcolo del rischio, ci sono 235 km su 405 dell'intero Tevere a rischio allagamento, con i 60 km di attraversamento di aree urbanizzate di 56 città e per intero la sola Roma per 52 km che sconta un'espansione edilizia senza precauzioni, un abusivismo che non ha risparmiato aree golenali in barba alle leggi naturali e a quelle vigenti.

Per la propria difesa, Roma fa oggi affidamento su sbarramenti con bacini e traverse costruite, per scopi idroelettrici, a Castel Giubileo nel 1952, a Nazzano nel 1956, a Ponte Felice nel 1961, a Corbara nel 1962, ad Alviano nel 1964 e a Montedoglio nel 1992; su dighe con altri serbatoi di laminazione sui principali affluenti come San Liberato sul Nera nel 1953, Posticcioia sul Salto nel 1940, sul Turano nel 1940 e a Casanuova sul Chiascio nel 1992. Le laminazioni importanti sono, però, quelle di Montedoglio e Corbara, con sistemi di scarico in caso di allerta.

Non bastano. A Roma è tornata più volte la paura delle piene. Se tra le recenti quella del 7 dicembre 2005 ha avuto una portata di 1400 metri cubi al secondo e un livello idrometrico di 11,4 metri, problemi più seri si sono avuti l'11 dicembre 2008 quando la violenza del Tevere ha strappato dagli ormeggi alcuni barconi e una motonave galleggiante ancorati alla meglio e, dopo averli sballottati tra le onde, li ha incastrati sotto Ponte Sant'Angelo in un groviglio di legni e lamiere. Il possibile allagamento di Roma venne scongiurato solo grazie a una ardita e complessa operazione di Protezione Civile guidata allora da Guido Bersoloso, che riuscì alla fine a liberare le arcate, ma erano pronti a far saltare parte del ponte storico.

Ci sono state poi la piena del novembre 2012 che portò di colpo da 5 a 13 metri il livello dell'acqua, e quella del 30 gennaio 2014 quando le aree di Ponte Galeria, Prima Porta e Labaro si allagarono con il Tevere a 1800 metri





cubi al secondo e lo straripamento della Marrana di Labaro con centinaia di famiglie sfollate. Nessun evento, fortunatamente, ha però superato la piena massima di riferimento del sistema di difesa del centro storico: le temute “Tipologia 1870” e “Tipologia 1937”. E’ l’incubo esondazione. La simulazione e la modellistica dell’Autorità di Distretto mostrano allagamenti e aree sommerse da nord a Castel Giubileo e a Ponte Milvio fino a Ostia e Fiumicino. Il sistema idraulico dei muraglioni, infatti, difende il centro storico ma non ha risolto il “nodo” di Ponte Milvio, da sempre la strettoia-ostacolo al deflusso che permette il passaggio fino a portate estreme sotto i 2500 metri cubi al secondo, dopodiché il Tevere può saltare gli argini e irrompere a sinistra allagando il Foro Italico e a destra il quartiere Flaminio e le aree di Tor di Quinto e della Farnesina, coprendo d’acqua le zone di piazza Mazzini e altre del quartiere Prati, aree verso San Pietro e Trastevere e, in condizioni eccezionali, inondare piazza del Popolo e da lì invadere buona parte del centro, dove l’onda proseguirebbe verso il Pantheon, per via del Corso, Ripetta e Piazza Venezia, allagando Largo Argentina e il centro antico.

Alla foce del Tevere un’altra ampia porzione a rischio comprende quasi tutta Fiumicino fino all’Aeroporto “Leonardo da Vinci” e, in sinistra, la Fiumara Grande e gran parte di Ostia, che l’acqua raggiungerebbe dopo aver allagato l’Eur-Torrino, Tor di Valle, Acilia, Infernetto, Casal Palocco.

Anche l’Aniene gonfiato oltremisura manderebbe sott’acqua parte della Tiburtina fra San Basilio e Rebibbia, alcune zone di Casal de’ Pazzi e Montesacro, e ulteriori danni li farebbero i dodici fossi e rii, corsi d’acqua minori che in ambito metropolitano segnalano altre zone esondabili: Crémera in località Labaro, Crescenza in località Due Ponti, Malafede in località Vitinia, Vallerano in località Mostacciano, Galleria in corrispondenza del ponte ferroviario Roma-Genova, i fossi della Magliana, Acquatraversa, di Pratalungo, dei Prati, della Freghisia, dell’Osa, di Tor Sapienza, della Caffarella.

Le cartografie aggiornate dell’Autorità mostrano chiaramente un elevato livello di rischio, dovuto non solo alla naturale conformazione idrografica ma anche alla scomparsa di oltre la metà del fitto reticolo idraulico, circa 700 chilometri di idrovie urbane preziosissime per lo scolo dell’acqua di pioggia o di possibili piccole esondazioni tra fossati e canali a cielo aperto. Motivo: negli ultimi decenni sono state progressivamente *tombate*, non solo dal cemento, ma da ventennali sversamenti di rifiuti di ogni tipo e da vegetazione spontanea cresciuta senza manutenzioni. Queste idrovie non svolgono più le funzioni idrauliche indispensabili in una città come Roma, e dovrebbero essere tutte ripristinate e gestite con interventi di manutenzione costanti e ordinaria, mettendo in pista i Consorzi di Bonifica con nuovi ruoli e compiti. Nel frattempo, l’Autorità di Distretto ha iniziato a fare manuten-



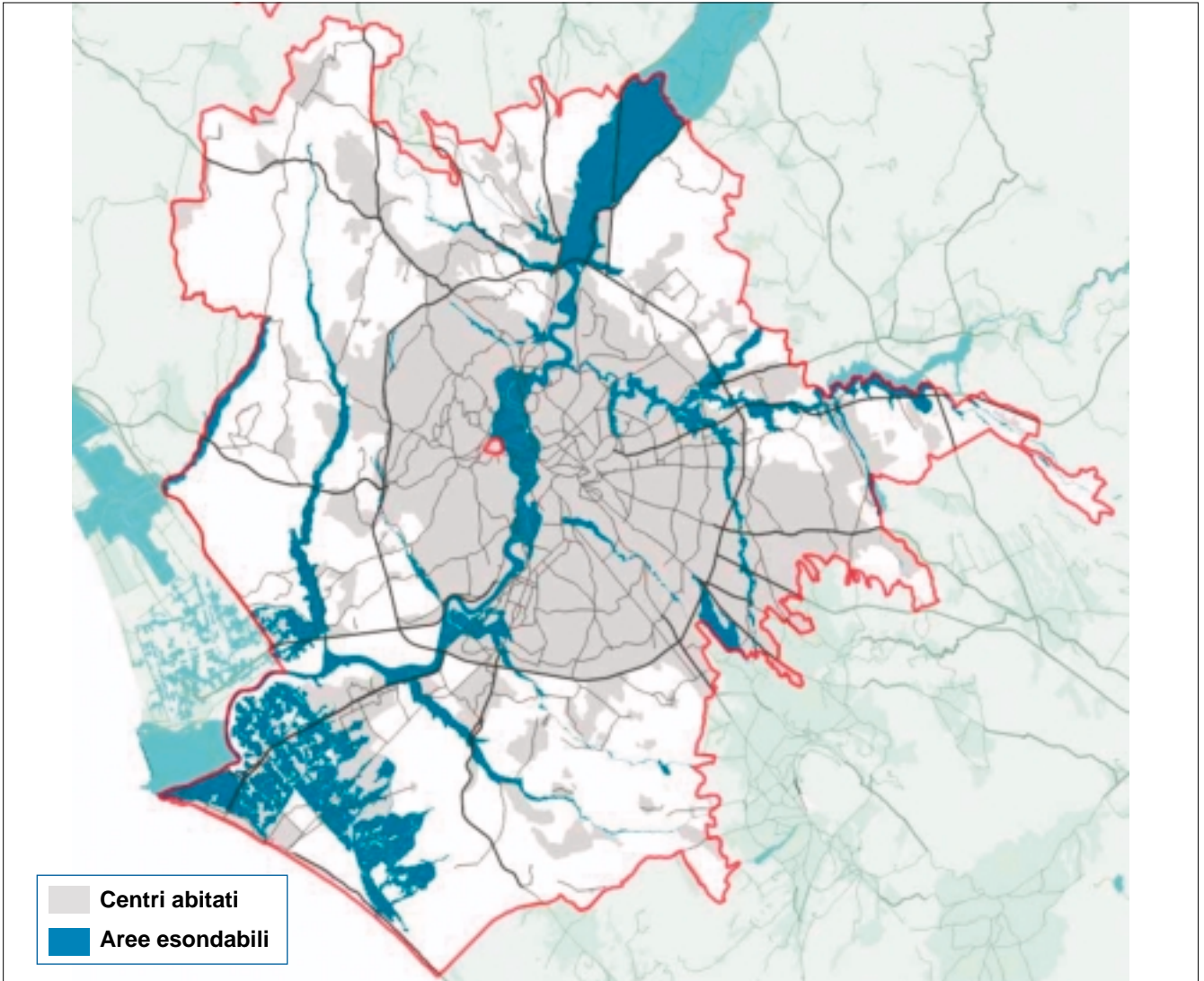
zioni in via straordinaria su circa 70 km di vie d'acqua in aree più rischiose con risorse (10 milioni di euro) messe a disposizione dal Ministero dell'Ambiente e messe a gara da Invitalia.

L'analisi dei 55 chilometri in cui il Tevere sviluppa il suo corso da Castel Giubileo alla foce, mostra 120 ettari di golene cementificate, 9 chilometri di sponde ricoperte da vegetazione infestante e alte alberature pronte a fare da tappo in caso di piena, 2,7 chilometri di banchine che presentano vistosi smottamenti e crolli, tratti di argine trasformati in discariche e ricoveri di varia umanità. Affluenti minori con notevole capacità di trasporto solido, durante le piene rilasciano poi in Tevere ma-



teriali di varia natura che si depositano lungo rive e banchine. E il rischio piena e allagamenti riguarda pertanto un territorio urbano molto vasto, di 1135 ettari, dove vivono e lavorano circa 250 mila persone in zone densamente abitate e con un patrimonio di testimonianze storiche e artistiche uniche. Un territorio, peraltro, in cui la stessa toponomastica è esplicitamente "ammonitrice": *Infernetto, Punta Maledetta, Punta Malafede, via Affogalasio, Isola Sacra, via delle Idrovore, Fosso o Fossa o Fossato, Pantano, Bagni, Settebagni, Bagnoletto, Bagno- lo, Marana, Maranella, Stagni o Stagno, Fontanelle, Padule, Palude, Piscina, Lago o Laghetto, Fiumara, Acquaviva, Acquafresca, Acquadolci, Acqua Traversa, Fonte, Canale, Morena, Catino, Mortizza, via Focemorta, via*



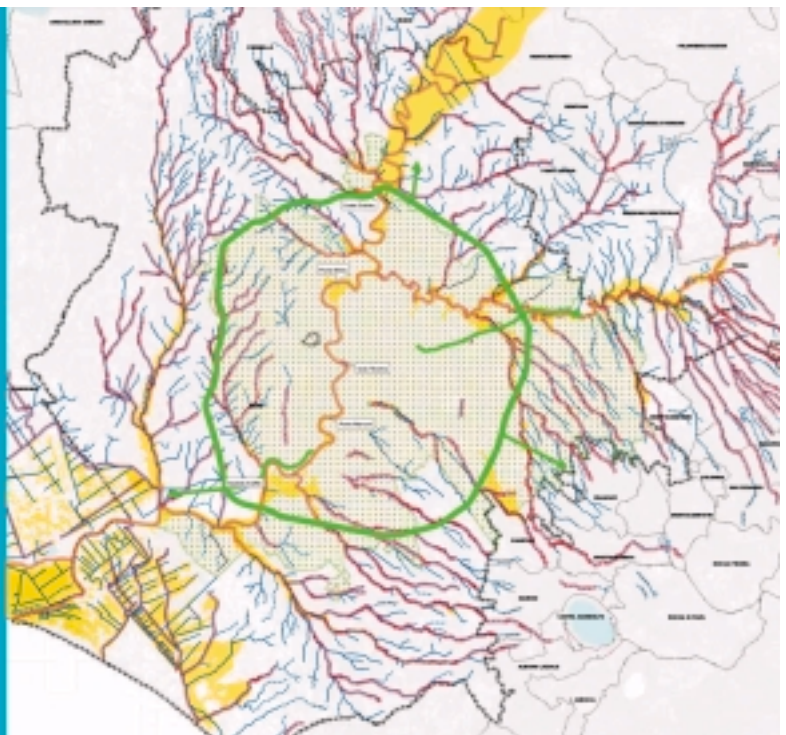


delle Sorgenti, via dei Condotti Vecchi, via della Padula, Bacino Puzzolente, via della Fonte della Puzzolente, via della Fontanella, via dell'Acqua Vergine, via di Valle Bagnata, Stagni di Ostia...

Roma ha quindi urgente bisogno di opere e interventi. Con i Comuni e la Regione Lazio abbiamo individuato le opere necessarie per ridurre lo stato di rischio idraulica. L'investimento complessivo per garantire nell'arco temporale di 10 anni l'impresa della prevenzione strutturale e della massima sicu-



ROMA È RICCA DI VIE D'ACQUA, UTILI PER LO SCORRIMENTO, MA CIRCA 700 KM RISULTANO IN DEGRADO O SCOMPARSE



rezza possibile dal rischio idrogeologico nell'area urbana fino alla foce di Fiumicino, è stato calcolato pari a 871 milioni per realizzare 155 interventi di varia tipologia, da casse di espansione o aree di laminazione alle arginature. A questo valore vanno aggiunti almeno 15 milioni l'anno per gestire la manutenzione ordinaria e tenere in efficienza vie d'acqua come canali e fossi interni all'area urbana. E' questa la sfida sapendo che i costi di una ipotetica alluvione con tipologia 1937 ammonterebbero a 28 miliardi di euro, oltre una manovra finanziaria nazionale.

Ma a Roma e al Tevere serve l'*Opera Maxima* che per noi non è la grande opera salvifica

ma è un sistema di interventi connessi nelle aree tra Lazio e Umbria a monte della Capitale e dell'orvietano devastato periodicamente dalle piene del Paglia. E' la pianificazione condivisa e partecipata di un nuovo modello che prevede sinergie, integrazioni e interconnessioni finanziato dalla norma in legge di bilancio 2018 (legge 27 dicembre 2017, n. 205) che ha introdotto il "Piano Nazionale di interventi nel settore idrico" (art. 1, comma 516), articolato in una sezione acquedotti e una sezione invasi, gestito dal Ministero delle Infrastrutture con una ampia cabina di regia istituzionale e di soggetti attuatori, coordinata dalla dirigente Ornella Segnalini cui si deve la partenza dei primi stralci del piano. Possiamo oggi avviare la progettazione per rendere più sicuro e fruibile anche il Paglia che confluisce nel Tevere a valle del lago-diga di Corbara, tra Orvieto e Baschi, dopo aver percorso dal Monte Amiata circa 86 km attraversando Toscana, Lazio e Umbria. Il Paglia raccoglie lungo il suo corso numerosi affluenti e tra questi il Chiani dalla notevolissima portata responsabile delle piene del fiume che, fra tutti gli affluenti del Tevere, è quello a regime più torrentizio. L'ultima sua alluvione devastante del 12 novembre 2012 ha visto sommersa la Maremma grossetana e parte dell'Umbria nella zona di Orvieto e di Perugia, e nel Lazio la provincia di Viterbo con la piena record di 1.200 m³/s all'idrometro di Orvieto, prima della confluenza con il Tevere dove ha toccato un livello di 10,20 metri allagando completamente tutta la piana orvietana e causando seri danni all'economia locale.

L'Alta Scuola, che sta coordinando il "Contratto di fiume del Paglia" che è la forma più moderna, ecologica e partecipata di programmazione e pianificazione di interventi non strutturali in aree fluviali in grado di cambiare la percezione di un intero territorio, collabora alla redazione del piano di difesa che prevede di fermare tra alto Lazio, Umbria e Toscana almeno 50 milioni di metri cubi di acqua di piena che altrimenti entrerebbero nelle città e a Roma, come è sempre accaduto.

Nel 1985 fu presentato dal Consorzio di Bonifica, al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, uno studio di fattibilità per un progetto di diga nella zona di Acquapendente a salvaguardia di Roma. In diversi incontri con gli amministratori e le associazioni di cittadini dei territori del Paglia il riscontro su tale opera è risultato ampiamente negativo. Abbiamo discusso e lavorato per l'avvio di un serio *Dibattito Pubblico* nei 16 Comuni del Paglia per una nuova progettazione di più opere, meno impattanti, che faranno sistema attraverso una serie di invasi di laminazione lungo l'asta del fiume, con progetti di fruibilità e reti ecologiche. La svolta è arrivata con il finanziamento dello studio di fattibilità di 2.433.296,00 euro, disposto con DPCM, e messo a gara da Invitalia per assegnarlo. Vedrà almeno due o tre ipotesi, sulle quali per 4 mesi nel 2020 si snoderà una discussione pubblica e trasparente. Poi, insieme alle Regioni Umbria, Lazio e Toscana, inizierà lo sviluppo progressivo della progettazione con una pluralità di obiettivi: difesa idro-geomorfologica, gestione della risorsa idrica, tutela ambientale a sostegno dello sviluppo socio-economico sostenibile di un territorio molto vasto che va dal bacino del Paglia al corso del Tevere compreso tra l'invaso di Corbara e la foce e l'area del viterbese fuori del bacino del Paglia. E quindi i cantieri.

Il piano per mitigare i rischi di piena prevede interventi strutturali (casse di espansione, arginature, idrovore...) e non strutturali, come quelli previsti dal Contratto di Fiume





Italo Giulivo^{a)}, Paola Bertuccioli^{b)}, Pietro Giordano^{b)}, Marco Falzacappa^{b)}

POSSIBILITÀ OFFERTA DAL "SISTEMA NAZIONALE DI ALLERTAMENTO" PER LA GESTIONE DEI RISCHI DA INONDAZIONE A VALLE DELLE DIGHE

POSSIBILITY OFFERED BY THE "NATIONAL ALERT SYSTEM" FOR THE FLOODING RISKS MANAGEMENT DOWNSTREAM OF DAMS

Le Grandi Dighe esistenti, malgrado la diffidenza della comunità a causa del possibile rischio indotto dalla presenza delle stesse, costituiscono una risorsa essenziale per tutto il territorio italiano. Il loro utilizzo prevalente, a scopo principalmente idroelettrico, irriguo e potabile, è disciplinato da concessioni molto spesso datate. Tuttavia, la crescente frequenza di episodi di dissesto idrogeologico, legati presumibilmente anche ai cambiamenti climatici in atto, ha imposto una politica di riduzione del rischio sempre più orientata ad un utilizzo plurimo della risorsa idrica, supportata da un quadro normativo evoluto in tal senso. Nel corso degli anni, infatti, sono stati emanati provvedimenti normativi quali la legge n. 183/1989, poi recepita nel d.lgs. n. 152/2006, il d.lgs. n. 49/2010 di recepimento della Direttiva europea 2007/60/CE, la Direttiva P.C.M. 27/02/2004 e la Direttiva P.C.M. 08/07/2014 che hanno definito le competenze e le linee di sviluppo relative alle attività di previsione e prevenzione per il rischio idrogeologico e idraulico, prevedendo nello specifico la predisposizione di documenti chiave per l'adozione di strumenti di riduzione del rischio non strutturale quali i piani di laminazione, l'aggiornamento dei Documenti di Protezione Civile e i Piani di Emergenza Diga. Tali strumenti hanno una maggiore efficacia in termini di mitigazione del rischio se integrati con il sistema di allertamento nazionale. Infatti, l'attività di previsione svolta dalla rete dei Centri Funzionali con il concorso di soggetti scientifici e tecnici competenti, mira a valutare gli scenari di rischio e, quando possibile, a preannunciare, monitorare, sorvegliare e vigilare gli eventi e i livelli di rischio attesi. In questa ottica, laddove possibile, la predisposizione di piani di laminazione dinamica è maggiormente efficace rispetto a quella statica, in quanto può garantire sufficienti standard di sicurezza nei territori a valle, determinando minori impatti sulla disponibilità della risorsa.

1. INTRODUZIONE

In Italia, l'andamento dei fenomeni di dissesto idrogeologico negli ultimi cinquanta anni mostra un progressivo aumento del rischio per la popolazione. L'espansione urbana che ha interessato tutto il Paese in modo rilevante dal dopoguerra sino ad oggi ha determinato l'antropizzazione di territori fragili, esponendo ad un rischio elevato la popolazione.

La frequenza di episodi di dissesto idrogeologico che spesso causano la perdita di vite umane e ingenti danni ai beni, dovuti anche agli effetti dei cambiamenti climatici, impone una politica di gestione del rischio non più incentrata sulla riparazione dei danni e sull'erogazione di provvidenze, ma sulle attività di previsione e prevenzione ed in particolare sull'individuazione delle condizioni di rischio e sull'adozione di interventi sia di natura strutturale che non strutturale, opportunamente combinati, per la sua riduzione.

Negli anni sono stati emanati provvedimenti normativi quali la legge n. 183/1989, poi recepita nel d.lgs. n. 152/2006, il d.lgs. n. 49/2010 di recepimento della Direttiva europea 2007/60/CE e la Direttiva P.C.M. 27/02/2004 e s.m.i. che hanno definito le competenze e le linee di sviluppo relative alle attività di previsione e prevenzione per il rischio idrogeologico e idraulico.

In particolare relativamente alle competenze di protezione civile è stato sviluppato un sistema di allertamento e sorveglianza dei fenomeni che, assieme a un'adeguata pianificazione comunale di protezione civile, rappresenta una risorsa fondamentale per la mitigazione del rischio, dove non si possa intervenire con misure strutturali o nelle more della realizzazione delle stesse.

In questo senso, l'equazione del rischio che, come noto, è rappresentata dalla potenzialità che si verifichino vittime, feriti o beni danneggiati o distrutti che potrebbero avvenire a un sistema, società o comunità in uno specifico

^{a)}Direttore Ufficio III - Attività tecnico-scientifiche per la previsione e la prevenzione dei rischi - Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri; ^{b)}Ingegneri - Ufficio Attività tecnico-scientifiche per la previsione e la prevenzione dei rischi - Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri - 00189 - Via Vitorchiano 2, Roma, Italy.





periodo di tempo, determinati probabilisticamente in funzione della pericolosità, dell'esposizione, della vulnerabilità, è stata integrata introducendo il fattore della capacità C , che riduce il valore del rischio e quindi si può immaginare di posizionarlo al denominatore.

$$R = \frac{P \times V \times E}{C} \quad (1)$$

Il valore della capacità C , proposto dalle Nazioni Unite (UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction) è un fattore che cresce con il rafforzamento del senso di comunità, con l'attività di formazione, con il coinvolgimento dei cittadini, con l'effettuazione di una valutazione dei rischi e delle criticità, con la pianificazione, con l'allertamento e, più in generale, con il miglioramento di tutte le forze, mezzi (misure) e risorse disponibili in una organizzazione, comunità o società per gestire e ridurre i rischi da disastri ed aumentare la resilienza.

Un caso particolare di incremento del valore di C , e quindi di una riduzione del rischio, è riscontrabile nei territori posti a valle delle dighe ove sia vigente una adeguata pianificazione, che preveda un piano di laminazione, un Documento di Protezione Civile aggiornato e un Piano di Emergenza Diga. Tali strumenti, inoltre, come vedremo nel seguito, potranno avere maggiore efficacia in termini di mitigazione del rischio quanto più si riuscirà ad integrarli nel sistema di allertamento nazionale. L'attività di previsione, ad esempio, svolta con il concorso di soggetti scientifici e tecnici competenti, mira a valutare gli scenari di rischio e, quando possibile, a preannunciare, monitorare, sorvegliare e vigilare gli eventi e i livelli di rischio attesi.

2. DIRETTIVA ALLUVIONI

Lo scopo della Direttiva 2007/60/CE, come noto, è "istituire un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse con le alluvioni all'interno della Comunità" (art.1). Tale Direttiva, quindi, affronta l'argomento della gestione delle alluvioni nel suo complesso, vale a dire, sia la gestione nel "tempo reale" che nel "tempo differito", così come definiti dalla Dir.P.C.M. 27/02/2004 e s.m.i. e come di seguito riportati:

Il tempo reale come quel periodo misurabile ancora in mesi, in cui deve svilupparsi e determinarsi l'efficacia dell'azione urgente e generalmente non permanente di protezione civile. Tale periodo comprende: i) la previsione del manifestarsi di un evento, ancorché complesso, sia esso di origine naturale e/o antropica, ii) il contrasto ed il contenimento dei conseguenti effetti soprattutto sulla popolazione ed i suoi beni, iii) la gestione, quando del caso, dello stato di emergenza, iv) il ripristino delle condizioni di vita preesistenti all'evento stesso, perseguendo anche, ove possibile e attraverso opportuni interventi, la riduzione della pericolosità;

Il tempo differito come quel periodo misurabile non più in mesi, ma in anni, decenni e secoli, in cui le azioni di studio e previsione, nonché di pianificazione, programmazione e realizzazione di interventi, sono volte a garantire condizioni permanenti ed omogenee sia di salvaguardia della vita umana e dei beni, che di tutela ed uso sostenibile delle risorse ambientali.

Tale definizione è chiarificatrice in quanto distinguendo due tipi di periodi, tempo reale e tempo differito, automaticamente distingue due tipi di attività e due autorità competenti: le attività nel tempo reale sono affidate al Servizio Nazionale della Protezione Civile, mentre quelle nel tempo differito al Ministero dell'Ambiente della tutela del territorio e del mare e alle Autorità di Bacino e Regioni.

E' chiaro che solo una forte sinergia tra le misure nel tempo reale, prime fra tutte il sistema di allertamento e la pianificazione di emergenza, e le misure nel tempo differito, tra cui opere e vincoli territoriali, può concretizzarsi in un'efficace gestione delle alluvioni. La direttiva 2007/60/CE, infatti, prevede l'adozione di piani di gestione del rischio alluvione affermando esplicitamente che essi "riguardano tutti gli aspetti della gestione del rischio e, in particolare, la prevenzione, la protezione e la preparazione, comprese le previsioni di alluvioni e i sistemi di allertamento, e tengono conto delle caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato".

L'art.7 comma 5 del D.Lgs.49/2010, decreto di recepimento della direttiva comunitaria, specifica, in particolare, che la parte di competenza delle Regioni in coordinamento con il Dipartimento della protezione civile deve contenere una sintesi dei contenuti dei piani urgenti di emergenza e tener conto degli aspetti relativi alle attività di:

- previsione, monitoraggio, sorveglianza ed allertamento posti in essere attraverso la rete dei centri funzionali;
- presidio territoriale idraulico posto in essere attraverso adeguate strutture e soggetti regionali e provinciali;
- regolazione dei deflussi posta in essere anche attraverso i piani di laminazione;
- supporto all'attivazione dei piani urgenti di emergenza predisposti dagli organi di protezione civile ai sensi dell'articolo 67, comma 5, del decreto legislativo n. 152 del 2006 e della normativa previgente.

Nel seguito si riporta una descrizione generale del sistema di allertamento per il rischio idraulico per poi affrontare nel dettaglio le problematiche connesse alla presenza di un invaso artificiale.



3. SISTEMA DI ALLERTAMENTO NAZIONALE

La protezione civile nata per il soccorso in emergenza, ha sviluppato negli anni sistemi di previsione e prevenzione dei fenomeni per proteggere la vita dei cittadini e il patrimonio delle comunità. Grazie alla collaborazione con enti, istituti e gruppi di ricerca il Dipartimento della Protezione Civile ha promosso studi e ricerche per migliorare la conoscenza del territorio, valutare la portata dei fenomeni e sviluppare strategie innovative per il contenimento dei danni.

Tra le principali attività di prevenzione non strutturale il D. Lgs. n. 1/2018 “Codice della protezione civile” prevede l’allertamento del Servizio nazionale articolato in attività di preannuncio in termini probabilistici, ove possibile e sulla base delle conoscenze disponibili, di monitoraggio e di sorveglianza in tempo reale degli eventi e della conseguente evoluzione degli scenari di rischio.

Per il rischio idraulico la gestione del sistema di allerta nazionale distribuito è assicurata dal Dipartimento della Protezione Civile e dalle Regioni e Province autonome attraverso la rete dei Centri Funzionali nonché dalle strutture regionali e dai Centri di Competenza chiamati a concorrere funzionalmente ed operativamente a tale rete.

La rete dei Centri Funzionali è una componente del Servizio Nazionale della Protezione Civile ed è costituita da un Centro Funzionale Centrale (CFC) presso il Dipartimento della protezione civile e da 21 Centri Funzionali Decentrati (CFD), uno presso ciascuna Regione e Provincia Autonoma. Tale rete opera secondo criteri, metodi, standard e procedure comuni con l’obiettivo di fornire un servizio continuativo per tutti i giorni dell’anno e, se del caso, su tutto l’arco delle 24 ore giornaliere di supporto alle decisioni delle autorità competenti per le allerte e per la gestione dell’emergenza, nonché assolvere le necessità operative dei sistemi di Protezione Civile.

Il CFC, nell’ambito della rete dei CF, in analogia ai CFD Regionali ha il compito di far confluire, concentrare ed integrare tra loro i dati qualitativi e quantitativi rilevati dalle reti meteo-idro-pluviometriche, dalla rete radar-meteorologica nazionale, dalle diverse piattaforme satellitari disponibili per l’osservazione della terra oltre che i dati territoriali idrologici, geologici, geomorfologici e quelli derivanti dai sistemi di monitoraggio delle frane e i risultati delle modellazioni meteorologiche, idrologiche, idrogeologiche ed idrauliche.

I Centri Funzionali sono essenzialmente strutture tecniche che operano, nell’ambito del sistema di allertamento nazionale, con due settori “meteo” ed “idro”, in stretta sinergia tra loro, al fine di definire dei possibili scenari di criticità sull’intero territorio nazionale attraverso l’emissione di Bollettini/Avvisi propedeutici ad allertare le strutture di protezione civile in modo graduale in relazione alla magnitudo degli eventi attesi

Le attività connesse al sistema di allertamento, svolte quotidianamente nell’ambito della rete dei CF, possono essere suddivise in due fasi principali:

- **la fase di previsione** – tale attività consiste in una prima fase di valutazione/previsione quantitativa delle principali grandezze meteorologiche (pioggia, neve, vento, temperature,..) che possano avere un impatto sul territorio e poi una seconda fase di valutazione/previsione dei possibili scenari di criticità idrogeologica-idraulica che si possano manifestare sul territorio sulla base delle suddette forzanti meteorologiche combinate con le specifiche caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei bacini idrografici. Sia l’attività di previsione meteorologica che idrogeologica/idraulica viene rappresentata attraverso Bollettini/Avvisi giornalieri sia a scala regionale che nazionale;

- **la fase di monitoraggio e sorveglianza** – tale attività, che prevede una stretta sinergia tra i settori meteo e idro della rete dei CF, ha lo scopo di tenere sotto controllo i fenomeni in atto e, ove possibile, definire la possibile evoluzione, al fine di poter allertare le strutture di protezione civili locali, presenti sul territorio e, se del caso, rinforzare il presidio idraulico, oltre che, in certi casi, attivare le necessarie fasi di emergenza. Per lo svolgimento di tale



Figura 1 - Distribuzione sul territorio nazionale della rete dei Centri Funzionali e loro livello di attivazione.



attività è fondamentale la consultazione in tempo reale dei dati osservati dalla rete a terra idro-pluviometrica, della rete e del “composito” Radar nazionale e dei dati satellitari, in modo anche integrato, al fine di valutare i diversi scenari di criticità con i relativi impatti sul territorio e la loro possibile evoluzione.

3.1 Fase di previsione

La fase di previsione della situazione meteorologica e la valutazione della pericolosità sul territorio nazionale connessa ai fenomeni meteorologici, nonché la valutazione dei livelli di criticità associati a predefiniti scenari di rischio stimati per ciascuna zona d’allerta ai fini di protezione civile, viene svolta dalla rete di CF, su base soggettiva tenendo conto delle risultanze del tavolo tecnico della Conferenza Sinottica Nazionale, della modellistica meteo-idro disponibile e dei contributi provenienti dai settori meteo-idro dei CFD che concorrono alla rete nazionale.

Il settore meteo del CFC predispone, entro le ore 12:00 di ogni giorno, le previsioni meteorologiche a scala sinottica, sulla base della suddetta Conferenza Sinottica svolta, giornalmente alle ore 10.00, congiuntamente con i settori meteo dell’Aeronautica Militare e dei CFD di Emilia Romagna e Piemonte in qualità di Centri Competenza. Tale documento riporta in forma testuale le previsioni meteorologiche a scala sinottica sull’Italia ai fini di protezione civile per le successive 12, 36 e 60 ore e una volta adottato dal Capo del Dipartimento della Protezione Civile o da un suo delegato viene reso disponibile alla rete dei CF oltre che alle strutture operative del SNPC. Successivamente, entro le ore 15.00, viene emesso, a firma del Capo Dipartimento o di un suo delegato, il Bollettino di Vigilanza Meteorologica Nazionale (BV) con il quale vengono segnalati i fenomeni meteorologici significativi previsti fino alle ore 24:00 del giorno di emissione (oggi) e nelle 24 ore del giorno seguente (domani), più la tendenza attesa per il giorno successivo (dopodomani). Tale documento riguarda solo i fenomeni meteorologici rilevanti ai fini di protezione civile, cioè quelli di possibile impatto sul territorio o sulla popolazione. In questa ottica, il messaggio di vigilanza è volto a segnalare solo le situazioni in cui si prevede che uno o più parametri meteorologici supereranno determinate soglie di attenzione o di allarme.

Rientra infine nell’attività del settore meteo del CFC, sulla base delle interlocuzioni con i diversi settori meteo dei CFD, la responsabilità dell’emissione di un eventuale Avviso meteo nazionale, a firma del Capo Dipartimento o di un suo delegato, nel caso siano stati emessi più Avvisi meteo regionali e/o di eventi stimati di riconosciuta rilevanza a scala sovraregionale.

L’attività delle previsioni delle diverse grandezze meteorologiche, svolte in raccordo tra il CFC e i CFD, risulta propedeutica alla successiva valutazione degli impatti sul territorio attraverso l’individuazione degli scenari di criticità connessi a tre tipologie di fenomeni (Idrogeologico localizzato, Idraulico e Temporali) a cui, per ognuno

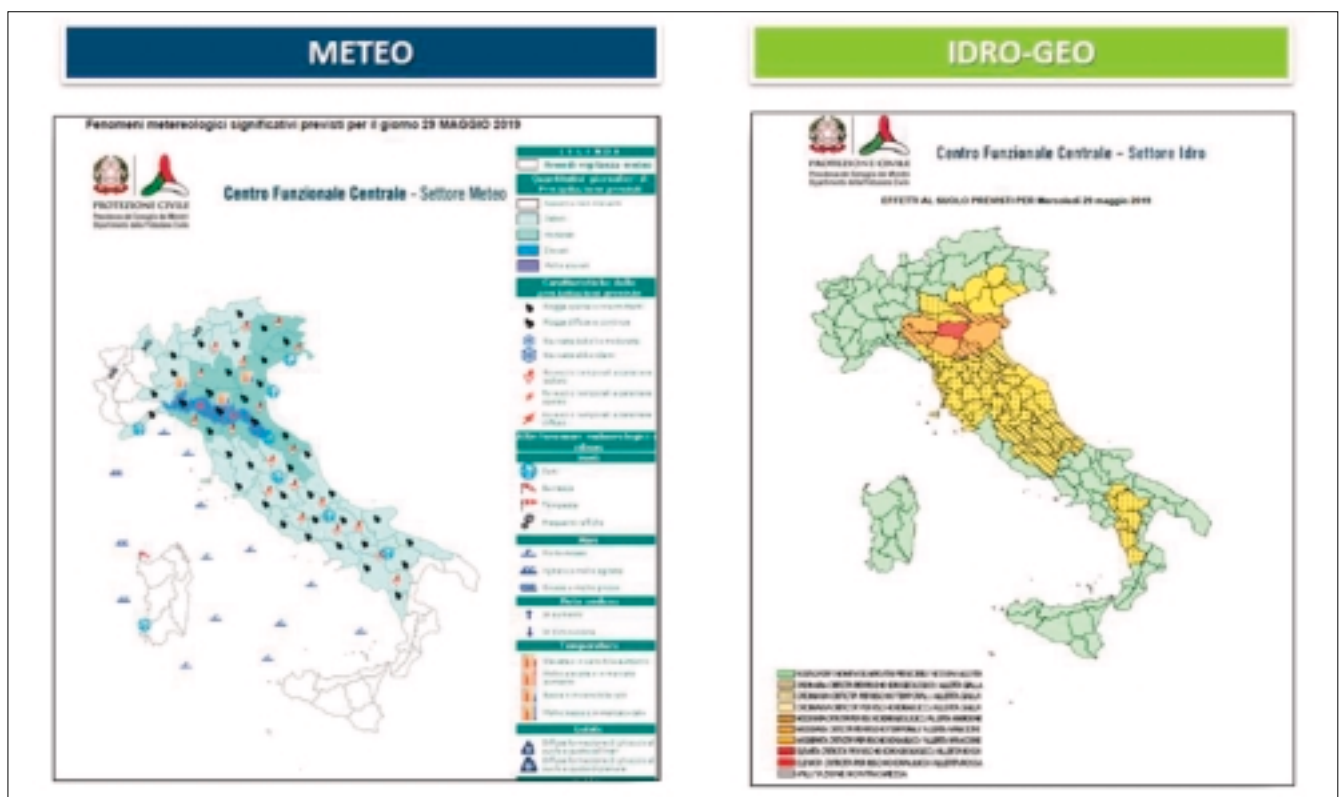


Figura 2 - I bollettini di vigilanza nazionali meteo e di criticità.

di essi, viene associato un codice colore (verde, giallo, arancione e rosso) in relazione alla magnitudo del fenomeno previsto. Tali valutazioni, sono effettuate quotidianamente da ciascun CFD, se del caso in raccordo con il CFC, su delle aree denominate “Zona d’allerta” (pari a 158) che rappresentano ambiti territoriali significativamente omogenei per l’atteso manifestarsi nel tempo reale della tipologia e della severità degli eventi meteo idrologici intensi e dei relativi effetti. Ciascuna Regione ha la responsabilità di trasmettere tali valutazione ai Comuni, per l’attivazione da parte degli stessi delle eventualmente fasi operative in conformità a quanto previsto nel proprio piano di emergenza comunale oltre che informare la popolazione.

I suddetti scenari di criticità, suddivisi per le tre tipologie di rischi, classificati sui diversi livelli di allerta tramite un codice colore valutate da ciascun CFD, e se del caso, coordinate dal CFC, confluiscono in un Bollettino di criticità idrogeologica e idraulica a scala Nazionale che entro le 16.00 di ogni giorno viene reso pubblico sul sito web istituzionale del Dipartimento della Protezione Civile. Questo documento rappresenta la valutazione del possibile verificarsi, od evolversi, di effetti al suolo (frane e/o alluvioni) legati prevalentemente ad eventi meteorologici previsti, o in atto, per il giorno di emissione e per il giorno successivo. La valutazione viene elaborata sulla base degli scenari di evento (pericolosità) che comportano la probabilità che si verifichino scenari di rischio predefiniti in una o più Zone d’Allerta in cui è suddiviso il territorio nazionale. Le criticità che vengono prese in esame sono:

- la criticità idraulica: rischio derivante da piene e alluvioni che interessano i corsi d’acqua del reticolo maggiore;
- la criticità idrogeologica: rischio derivante da fenomeni puntuali quali frane, ruscellamenti in area urbana, piene e alluvioni che interessano i corsi d’acqua minori;
- la criticità idrogeologica per temporali: rischio derivante da fenomeni meteorologici caratterizzati da elevata incertezza previsionale in termini di localizzazione, tempistica e intensità.

3.2 Fase di monitoraggio e sorveglianza

Alla fase di previsione è affiancata l’attività di monitoraggio e sorveglianza che si esplica attraverso l’osservazione dell’evoluzione dei fenomeni meteo-idrogeologici idraulici, l’analisi dei dati meteo-idro-pluviometrici provenienti dalle reti di monitoraggio, al fine di garantire un’attività di supporto tecnico-scientifico agli Enti ed Istituzioni facenti parte del Sistema di protezione civile. In considerazione di ciò, è essenziale che tale attività debba essere svolta dalla rete dei Centri Funzionali, dalla Sala Situazione Italia del Dipartimento della Protezione civile e dalle Sale Operative Regionali di protezione in modo sinergico ed integrato.

Nella fase di monitoraggio sia quantitativo che qualitativo, vengono raccolti i dati provenienti dai satelliti meteorologici, dalla rete radar nazionale e dalla rete di stazioni al suolo realizzando, h24, un controllo integrato, a scala nazionale, di fenomeni meteo idrologici e della loro evoluzione sull’intero territorio.

Alcune tipologie di evento (es. fenomeni temporaleschi localizzati, piene improvvise, etc.) non sempre risultano compatibili con il tempo di accentramento e visualizzazione dei dati presso la rete dei CF, oltre che per la propria natura (evoluzione repentina spazio-temporale, anche nell’ordine di pochi minuti) anche per le caratteristiche tecnologiche della rete dei sensori (rete a terra, radar e satelliti) con conseguenti possibili ritardi dell’aggiornamento degli scenari di criticità in atto su limitate aree del territorio. Le eventuali criticità idrogeologiche e idrauliche, associate alle suddette tipologie di eventi molto localizzati sia spazialmente che temporalmente, dovrebbero essere gestiti a scala locale attraverso l’attività di sorveglianza da parte Presidi Territoriali, in conformità alla Dir. del P.C.M. del 27/02/2004. Al momento tale attività non risulta essere svolta in modo omogenea a scala nazionale.



Figura 3 - Rete pluviometrica fiduciaria.

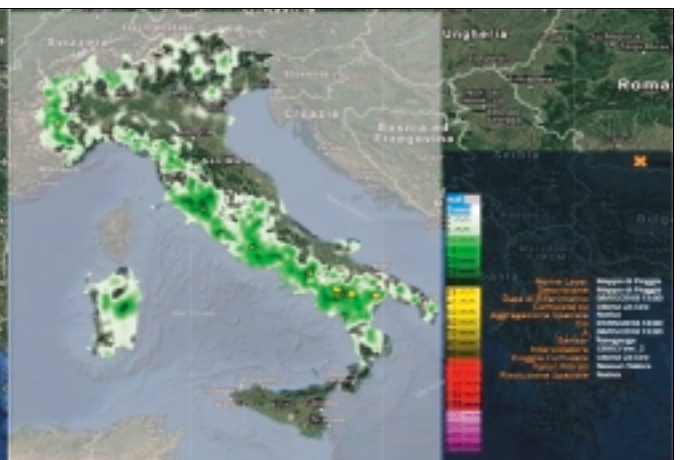


Figura 4 - Mappa di precipitazione Interpolata.

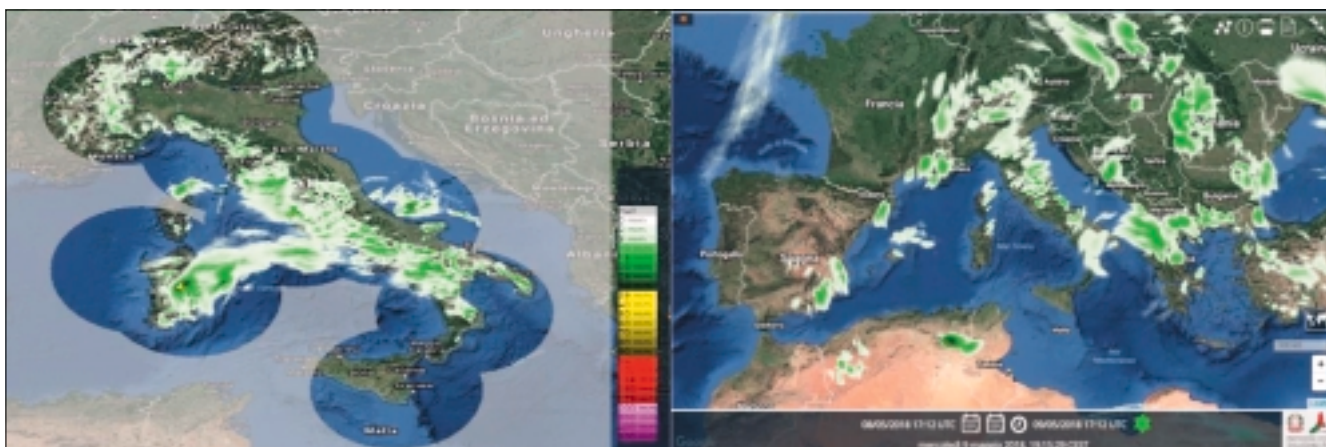


Figura 5 - Rete radar nazionale.

Figura 6 - Prodotti satellitari.

4. REGOLAZIONE DEI DEFLUSSI

La Direttiva del 2004 relativamente al governo delle piene, dispone che *“Al fine di individuare le misure per contrastare gli effetti delle piene in un bacino idrografico nel quale sono presenti invasi artificiali, ancorché destinati alla produzione di energia e/o all’approvvigionamento primario di risorsa idrica, nonché al fine di rendere quanto più compatibili possibile i legittimi interessi dei gestori con le finalità di protezione civile, deve essere organizzata una adeguata attività di regolazione dei deflussi.”*

A tal fine, sulla base di specifici studi, devono essere individuati quegli invasi che potrebbero essere effettivamente utili alla laminazione delle piene e quindi ad una riduzione del rischio idraulico a valle degli invasi stessi. Sempre come previsto dalla Direttiva del 2004, *“Per tali invasi le Regioni, con il concorso tecnico dei Centri Funzionali decentrati, dell’Autorità di bacino e del Registro italiano dighe [oggi Direzione Generale Dighe del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti], d’intesa con i gestori, sotto il coordinamento del Dipartimento della protezione civile, predisporranno ed adotteranno un piano di laminazione preventivo.”*

Il piano di laminazione può comportare due diverse procedure, definite per brevità **programma statico e programma dinamico**, che devono consentire di rendere disponibile con un adeguato anticipo i volumi preventivamente definiti o comunque utili ai fini della laminazione della piena.

Il programma statico prevede il mantenimento, con continuità e durante i periodi dell’anno valutati critici per il verificarsi di eventi di piena, di una quota di invaso minore della quota d’esercizio autorizzata.

Il programma dinamico, cioè nel tempo reale, prevede l’esecuzione di manovre, preventive e/o nel corso dell’evento in atto, da attivare sulla base di previsioni quantitative delle precipitazioni sul bacino a monte e dei conseguenti deflussi attesi all’invaso, nonché sulla base dello stato dell’invaso e della portata territorialmente sostenibile a valle dello stesso.

In conformità alla suddetta direttiva, il Dipartimento della Protezione Civile, negli ultimi 15 anni, ha partecipato a diversi Tavoli tecnici, per la definizione dei piani di laminazione, in diverse regioni come Lombardia, Friuli Venezia Giulia, Umbria, Lazio, Abruzzo, Puglia e Basilicata. In generale si è rilevata una difficoltà nella definizione della procedura operativa, in quanto l’attuazione del piano di laminazione va a modificare l’utilizzo della risorsa idrica, causando impatti verso il gestore. Tale esigenza è stata sempre tenuta in considerazione nei suddetti tavoli istituzionali contemplandola comunque al prevalente interesse di salvaguardare i territori di valle come espressamente indicato nella Direttiva del 2004: *“Per diversi e possibili prefigurati scenari d’evento e per ciascuna diga, il piano di laminazione deve prevedere le misure e le procedure da adottare che, pur definite tenendo in buon conto sia la mitigazione degli effetti a valle dell’invaso, sia la sicurezza delle opere, sia l’esigenza di utilizzazione dei volumi invasati, non possono comunque non essere finalizzate alla salvaguardia della incolumità della vita umana, dei beni, degli insediamenti e dell’ambiente territorialmente interessati dall’evento.”*

Tra i Piani di laminazione adottati, ai quali il Dipartimento della Protezione civile ha partecipato su richiesta delle Regioni, si segnala il Piano per la diga di Occhito a seguito degli eventi alluvionali del 2005 e del 2009 che provocarono ingenti danni ad infrastrutture strategiche nazionali (autostrade e ferrovie) in provincia di Foggia isolando di fatto per qualche giorno la Puglia. Allo stato attuale tale piano è cogente a seguito dell’adozione da parte della Regione Puglia in data 30/12/2013. Inoltre il medesimo Dipartimento ha coordinato un tavolo istituzionale che ha portato, dopo 15 anni di approfondimenti, all’adozione del piano di laminazione per la diga di Corbara da parte delle Regioni Lazio e Umbria. Tale diga situata nel territorio della Regione Umbria, ma la cui regolazione produce effetti prevalentemente nel territorio della Regione Lazio, può svolgere un ruolo strategico per la laminazione delle piene che interessano la media-bassa valle Tevere in quanto consente di ridurre l’entità dei colmi di piena nel tratto urbano di Roma.

Tali piani di laminazione evidentemente sono misure non strutturali in conformità alla normativa vigente e possono essere considerate misure transitorie nei casi in cui è possibile la realizzazione di interventi strutturali di messa in sicurezza.

Una delle principali criticità emerse in fase di attuazione della Dir. P.C.M del 27/02/2004, relativamente all'attuazione dei piani di laminazione è legata al fatto che i Decreti di concessione di derivazione delle acque sono molto spesso datati e unicamente approntati per l'utilizzo primario della risorsa idrica, senza tenere in conto del potenziale utilizzo ai fini della mitigazione del rischio idraulico a valle. Pur essendo le finalità di protezione civile primarie rispetto all'utilizzo prevalente, le minusvalenze che si verificano a fronte dell'adozione di un piano di laminazione possono talvolta rallentare se non, in certi casi, bloccare l'iter di approvazione dei piani stessi.

5. DIRETTIVA DIGHE

Il rilascio di volumi di acqua a valle delle Dighe può generare, soprattutto in particolari condizioni di intense precipitazioni meteoriche, rischi di allagamenti nei territori di valle. Per questa ragione, tale fattispecie di rischio è stato introdotto nella direttiva P.C.M. 8 luglio 2014 *“Indirizzi operativi inerenti l'attività di protezione civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe”* in cui è prevista, in condizioni di allerta, una stretta interazione tra i gestori e le strutture regionali in cui ricadono i singoli invasi.

Tale direttiva prevede che per ciascuna grande diga debbano essere predisposti due documenti:

- il Documento di protezione civile, predisposto dalla Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche ed elettriche con il concorso dell'autorità idraulica competente per l'alveo di valle, della Protezione civile regionale, nonché del gestore, ed approvato dal Prefetto competente per il territorio in cui ricade la diga, che contiene le specifiche condizioni per l'attivazione del sistema di Protezione civile, le comunicazioni e le procedure tecnico-amministrative da attuare nel caso di eventi, temuti o in atto, coinvolgenti l'impianto di ritenuta o una sua parte che possono essere rilevanti per la sicurezza della diga e dei territori di valle (*“rischio diga”*), e nel caso di attivazione degli scarichi della diga stessa quando le portate per l'alveo di valle possono comportare fenomeni di onda di piena e rischio di esondazione (*“rischio idraulico a valle”*).
- il Piano di emergenza della diga, predisposto dalla Regione in raccordo con le Prefetture – UTG territorialmente interessate e con la collaborazione dei comuni e delle province coinvolte, che oltre a considerare quanto previsto nel Documento di protezione civile, deve riportare:
 - gli scenari riguardanti le aree potenzialmente interessate dall'onda di piena, originata sia da manovre degli organi di scarico sia dal collasso della diga;
 - le strategie operative per fronteggiare una situazione di emergenza, mediante l'allertamento, l'allarme, le misure di salvaguardia anche preventive, l'assistenza ed il soccorso della popolazione;
 - il modello di intervento, che definisce il sistema di coordinamento con l'individuazione dei soggetti interessati per il raggiungimento di tale obiettivo e l'organizzazione dei centri operativi.

L'innovazione principale della direttiva P.C.M. 8 luglio 2014 è l'introduzione del rischio idraulico a valle della diga e l'individuazione di valori di soglia di portata il cui superamento attiva il sistema di protezione civile. In particolare, è previsto che in assenza di Piano di laminazione, il valore, determinato dal Gestore, della portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica - Q_{Amax} sia validato dall'Autorità idraulica competente per il territorio di valle, con il supporto del CFD, in coerenza con gli atti di pianificazione di bacino per rischio idraulico. Altro valore da individuare è il Q_{min} che rappresenta una *“soglia di attenzione scarico diga e costituisce indicatore dell'approssimarsi o manifestarsi di prefigurati scenari d'evento (quali ad esempio esondazioni localizzate per situazioni particolari, lavori idraulici, presenza di restringimenti, attraversamenti, opere idrauliche, etc).* Tale valore deve essere determinato in base alle situazioni che potrebbero insistere sull'asta idraulica a valle della diga in corso di piena, tenendo conto dell'apporto, in termini di portata, generabile dal bacino imbrifero a valle della diga.

Allo stato attuale si riscontrano diverse criticità nel definire i nuovi documenti di protezione civile per tutte le grandi dighe e di conseguenza predisporre il Piano di emergenza della diga. Tra le varie criticità la più ricorrente è legata alla difficoltà di validare i valori della portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento e di definire i valori della portata che individua la *“soglia di attenzione scarico diga”*.

6. CONCLUSIONI

Le Grandi Dighe, oltre al loro utilizzo prevalente, possono rappresentare una risorsa strategica per la gestione dei rischi da inondazione nei territori a valle attraverso la predisposizione e l'adozione di specifici piani di laminazione, a seguito di un preventivo studio che dimostri l'influenza che possono esercitare i volumi accumulabili dai singoli invasi sulla formazione e propagazione dell'onda di piena a valle. Le criticità che si riscontrano nel dare attuazione a tali piani, in conformità alla normativa vigente, possono risolversi a condizione che vengano supera-

te una serie di problematiche, come l'aggiornamento di concessioni molto datate che non tengono in conto del potenziale utilizzo dell'invaso per la mitigazione del rischio idraulico a valle, che attualmente ne impediscono una celere e uniforme attuazione. Si sottolinea la necessità di una maggiore integrazione delle procedure di allertamento e pianificazione finalizzate a ridurre il rischio residuo attraverso la condivisione di dati/informazioni tra i Gestori e il Sistema di Protezione civile per dare effettiva attuazione ai Documenti di Protezione Civile (art. 2 del D.P.C.M. 08/07/2014) o ai Piani di Laminazione (D. P.C.M. 27/02/2004).

Tenuto conto della moltitudine degli strumenti e dati disponibili in tempo reale, anche non standard (dati radar, dati satellitari...), implementati nella modellistica in tempo reale per le previsioni delle piene utilizzati in modo operativo per la valutazione del rischio idraulico, si ritiene raccomandabile, laddove possibile, la predisposizione di un piano di laminazione che sia maggiormente volto ad una laminazione dinamica piuttosto che statica, in grado cioè da garantire eguali standard di sicurezza nei territori a valle, ma determinando minori impatti sulla disponibilità della risorsa. Il ruolo strategico di laminazione per le grandi dighe è da ritenersi ancor più una esigenza se si considerano gli scenari connessi ai cambiamenti climatici in continua evoluzione, associati ai quali si registrano regimi pluviometrici sempre più impulsivi.

Sussistono, in conclusione, ampi margini di sviluppo dei piani di laminazione per gli invasi effettivamente utili, individuati a seguito di una ricognizione, per la riduzione del rischio idraulico in conformità alla D.P.C.M. 27/02/2004.



Isidro Pescador Chamorro^a, Francesco Fornari^b, Alberto Bonafè^b

ESPERIENZE DI GESTIONE DEI SERBATOI IDROELETTRICI. *Il punto di vista del gestore*

HYDROELECTRIC TANK MANAGEMENT EXPERIENCES. *The Point of View of the Manager*

1. INTRODUZIONE

L'idroelettrico, con circa 4.300 impianti e 21.9 GW installati, fornisce fino al 17,6% della generazione nazionale di elettricità, contribuendo al buon posizionamento dell'Italia rispetto ai target climatici europei al 2020 (GSE, 2017).

Il gruppo Enel (Enel Green Power SpA + Enel Produzione SpA) gestisce in Italia 503 impianti idroelettrici con una capacità installata di circa 12,4 GW e una produzione di circa 18,4 TWh¹, pari al 37% della produzione idroelettrica Italiana e al 7% della produzione nazionale di elettricità².

Nel campo dell'idroelettrico, Enel, adesso Enel Green Power (EGP), solo fino a 15 anni fa era presente solamente in Italia, ma a seguito della liberalizzazione del mercato elettrico in Italia, si è affacciata anche nei mercati esteri divenendo una tra le principali multinazionali nel settore delle rinnovabili.

Il D.lgs. n. 79/1999 (cosiddetto "Decreto Bersani"), come modificato dall'art. 37 del D.L. n. 83/2012 ha introdotto una durata alle concessioni di Enel (in precedenza senza scadenza) fissandone la scadenza al 2029. Il Decreto che stabilì la liberalizzazione del mercato dell'energia e il limite sull'energia prodotta non superiore al 50% in capo ad una sola azienda, determinò dalla cessione di parte degli impianti Enel alla nascita di nuove Società nell'arco di pochi anni.

Rimanendo nell'ambito italiano di EGP, possiamo affermare che l'idroelettrico rappresenta al momento la quota maggioritaria della produzione da fonte rinnovabile. Sempre in ambito EGP, da citare anche l'importante tradizione geotermica di Larderello, il crescente contributo del fotovoltaico e dell'eolico e l'attuale marginalità delle biomasse.

Anche nel più ampio ambito Italiano l'idroelettrico è ancora una realtà importante come evidenziato dai dati GSE 2017 riportati in *Figura 1* che danno la produzione di energia idroelettrica al 35% del totale delle rinnovabili.

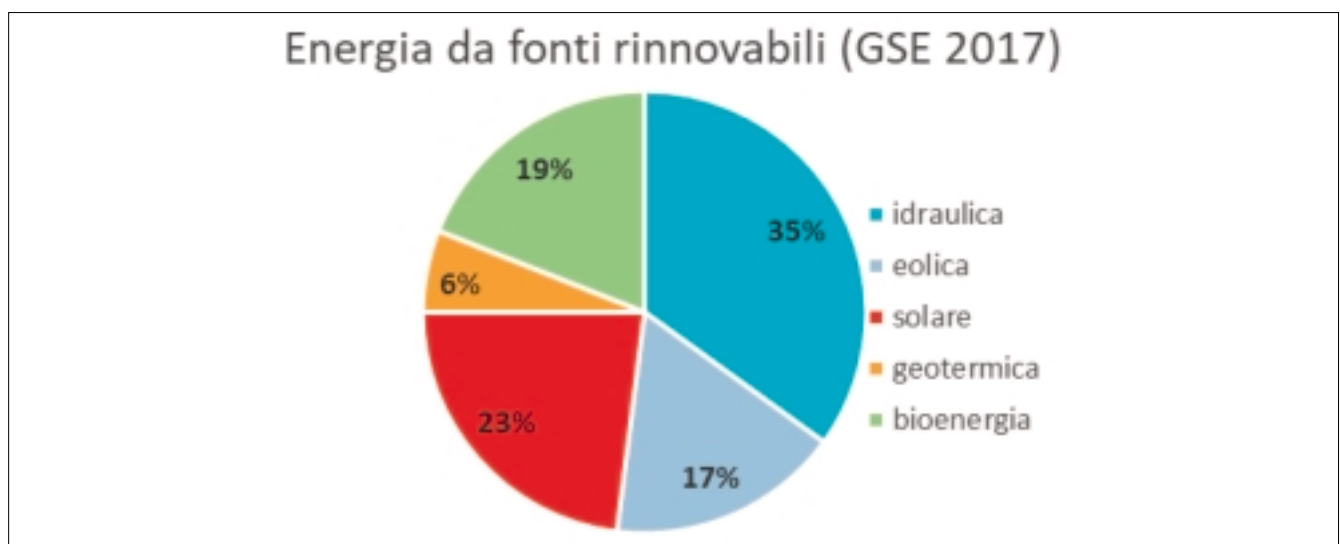


Figura 1 - Energia da fonti rinnovabili (dati GSE 2017).

^aEnel Green Power S.p.A., O&M Hydro Italy; ^bEnel Green Power S.p.A., O&M Hydro Italy, Dams & Civil Infrastructures Safety.

¹Produzione comprensiva di pompaggi.

²Dati preliminari da Report Terna dicembre 2018.



2. IL CONTRIBUTO DELL'IDROELETTRICO NELLO SVILUPPO DELLE ENERGIE RINNOVABILI

In generale diverse tecnologie di produzione coesistono in un sistema elettrico, ma pur essendo il contributo dell'idroelettrico minoritario dal punto di vista quantitativo, il suo ruolo risulta fondamentale per bilanciare la domanda e l'offerta nella rete e quindi, in sostanza, per il corretto funzionamento e sicurezza del sistema elettrico stesso.

Questo avviene a seguito delle caratteristiche intrinseche degli impianti idroelettrici, che presentano alta flessibilità agli avviamenti frequenti e alle modifiche di carico. Se si considera anche il fatto che presentano un valore di minimo tecnico molto basso, questi risultano impianti ideali per bilanciare in ogni istante domanda e offerta e far fronte alle rapide fluttuazioni dovute a picchi di domanda o a interruzione di altre fonti di produzione (*Bollettino ITCOLD*, 2016).

A titolo di esempio, si osserva in *Figura 2* la produzione di energia in un giorno qualsiasi, nel caso specifico domenica 15 luglio 2018. È possibile vedere la curva in marrone che rappresenta il consumo di energia complessivo ed istantaneo. Questo consumo dipende dalla sommatoria degli stili di vita di ciascuno di noi clienti finali, dalle condizioni meteorologiche in atto e da infiniti altri fattori personali di ogni consumatore che non tengono conto della variabilità naturale della fonte eolica o solare o delle inerzie proprie degli impianti termici o dei limiti quantitativi attuali di altre fonti come il geotermico o le biomasse. In ogni istante va prodotta esattamente l'energia richiesta dalla rete per evitare blackout, così come accadde una notte di settembre del 2003, durante un periodo non di alto consumo, a causa di una carenza di immissione in rete con il conseguente calo della frequenza ed i successivi distacchi.

Un sofisticato sistema segue con molta precisione quanta energia il mercato chiede adeguando la produzione. In questo senso l'energia idroelettrica un tempo tendeva a compensare le variazioni di domande rispetto alla tipica curva piatta di offerta degli impianti termici. Attualmente, però, la produzione idroelettrica è chiamata a compensare anche tutte le variazioni della produzione da fonte eolica o solare, nei momenti (periodi lunghi o anche solo istanti) in cui si riduce o manca l'irraggiamento solare o varia il vento.

Gli impianti idroelettrici permettono di fornire tutti i tipi di regolazione di frequenza. Tra queste, vi è la regolazione Primaria, ossia la capacità di ciascun gruppo di variare in maniera autonoma la potenza erogata al variare della frequenza di rete in tempi brevi, da alcune centinaia di millisecondi ad alcuni secondi. L'intervento in regolazione Primaria, tuttavia, determina una modifica alla frequenza del sistema che risulta diversa rispetto a quella nominale pari a 50 Hz precedente alla perturbazione. È necessaria pertanto la regolazione Secondaria che è la capacità del sistema di variare la frequenza di rete variando la potenza erogata da alcuni gruppi con opportune caratteristiche. Con la regolazione Secondaria quindi si riporta la frequenza di rete al valore nominale, ricostituendo così la riserva per la regolazione Primaria.

Infine tramite la regolazione Terziaria si variano la potenza erogata dai gruppi con l'obiettivo di ripristinare la necessaria riserva di regolazione Secondaria e ripartire in maniera ottimale sui vari gruppi, sulla base di considerazioni economiche, le variazioni di potenza intervenute.

Tramite l'idroelettrico si prestano altri servizi ausiliari al sistema elettrico che ne determinano il ruolo chiave. L'idroelettrico può effettuare regolazione della tensione attraverso la sua capacità di agire anche in assorbimento di energia (reattiva) ed attraverso la cosiddetta capacità "black start" di avviare la generazione senza fonti esterne di energia.

In caso di black-out, gli impianti idroelettrici, garantiscono la riaccensione del sistema in tempi brevi, in qualsiasi situazione climatica (assenza di vento o sole), praticamente in ogni zona della penisola grazie alla loro omogenea distribuzione.

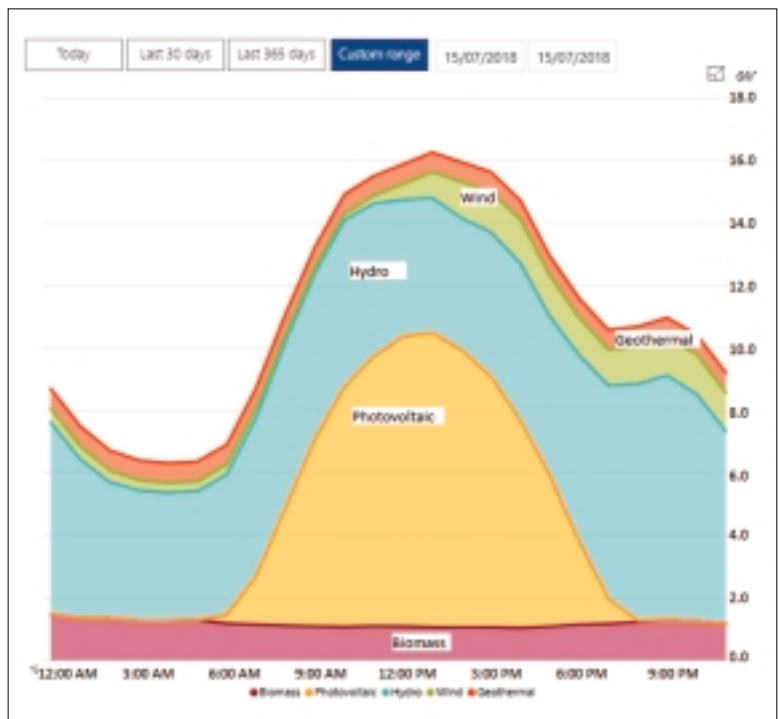


Figura 2 - Produzione oraria di energia rinnovabile il giorno 15 luglio 2018 (TERNA, 2018).

Risulta quindi evidente l'importanza fondamentale della flessibilità e della capacità regolatrice dell'idroelettrico per l'inserimento nel sistema elettrico della produzione derivante da fonti rinnovabili non programmabili ed intermittenti come l'eolico ed il fotovoltaico e quindi, in buona sostanza, anche per il loro sviluppo cui l'idroelettrico può dare un contributo indiretto ma determinante.

Lo sviluppo di queste altre fonti rinnovabili richiede infatti una maggiore capacità di bilanciamento che può essere trovato in particolare negli impianti idroelettrici di pompaggio.

3. LA GESTIONE E LA VERIFICA DI SICUREZZA DELLE DIGHE E DELLE OPERE IDRAULICHE IN AMBITO IDROELETTRICO

Quando si parla di idroelettrico si parla in primo luogo di dighe. Occorre, però, parlare anche di gallerie, canali, condotte e altre opere che permettono alle dighe di assolvere a tutte le loro funzioni, non solo legate all'idroelettrico, ma anche all'irrigazione, all'uso idropotabile, alla protezione del territorio di valle, finanche al turismo.

Un aspetto importante legato alle dighe è rappresentato proprio dalle nuove esigenze che si sono originate nel corso del tempo e che spesso si sono aggiunte alle originarie esigenze legate alla sola produzione idroelettrica. Ad esempio: necessità irrigue, potabili, mitigazione delle piene, deflusso ecologico nei corsi d'acqua, usi turistici e ricreativi, etc..

Occorre tuttavia riconoscere che un ruolo fondamentale nello sviluppo della cultura della sicurezza e della manutenzione delle dighe e delle opere idrauliche è stato ricoperto proprio dal settore idroelettrico che ha potuto dedicare allo scopo attenzione e soprattutto risorse.

Negli ultimi anni la manutenzione e l'innovazione necessari per il mantenimento in efficienza delle opere ha dovuto affrontare difficoltà sempre crescenti. La ragione più importante naturalmente è imputabile al naturale invecchiamento del parco opere, ma anche a obblighi sempre più stringenti di miglioramento dei livelli di sicurezza richiesti a opere a volte obsolete a fronte di carichi di progetto spesso incrementati (come nel caso delle verifiche sismiche o idrologiche).

Come esempio, in *Figura 3* si rappresenta la foto di un modello fisico della diga di Gurzia (To) recentemente realizzato presso l'Università di Torino a supporto della progettazione dell'adeguamento idraulico dello scarico di superficie che gli studi e le valutazioni idrologiche avevano evidenziato essere insufficiente allo smaltimento della piena millenaria. Tale insufficienza è un tipico esempio dei diversi criteri di sicurezza attuali rispetto a quelli vigenti in sede di realizzazione dell'opera, datata 1926.

In generale, analizzando le verifiche idrauliche effettuate secondo le metodologie idrologiche aggiornate sulle 180 dighe gestite da Enel in Italia, delle quali ben il 50% furono costruite prima del 1950, si osserva che i margini adottati dai progettisti hanno in generale garantito un elevato grado di adeguatezza alle prescrizioni attuali. Infatti circa il 90% di esse risultano in grado di evacuare la piena millenaria con livello d'invaso inferiore alla quota di Massimo Invaso di progetto e solo il 3% delle dighe si è rivelato sormontabile in caso di evento estremo millenario. Queste ultime sono tutte state costruite prima del 1950, qualcuna addirittura prima del 1930, quando i metodi idrologici si basavano essenzialmente su relazioni empiriche e su curve inviluppo. Attualmente questi metodi sono abbandonati a favore dei metodi statistici.

Per tutti questi casi di insufficienza degli organi di scarico a far fronte alla piena millenaria in sicurezza, EGP ha provveduto ad effettuare studi e approfondite analisi, al fine di predisporre i necessari progetti di adeguamento e miglioramento. La maggioranza di questi progetti hanno già ottenuto l'assenso da parte della Direzione Dighe e degli Enti Locali, mentre alcuni di essi sono stati già realizzati o sono, al momento, in corso.

EGP ha anche intrapreso un programma di verifica del livello di sicurezza a fronte della sollecitazione sismica delle opere civili costituenti la rete degli impianti idroelettrici in Italia. In particolare tutte le grandi dighe situate nelle zone con sismicità medio-alta erano già state oggetto di verifica con le norme vigenti ante 2016; le richieste dalla nuova normativa risultano peraltro molto impegnative per la necessità di esame approfondito sui materiali e sulla geologia dei siti. Il programma di verifiche vede impegnati con EGP alcuni dei più quotati organismi

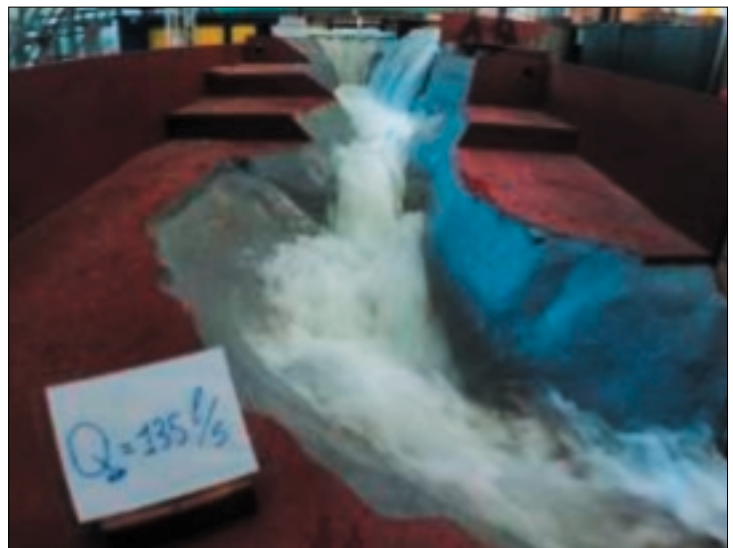


Figura 3 - Foto del modello idraulico dello scarico della diga di Gurzia.



tecnici, studi di ingegneria e Università e prevede il completamento degli studi entro il 2020. Le verifiche fin qui condotte sono in generale molto confortanti, e confermano la robustezza intrinseca di questi manufatti.

Per le Case di guardia e le opere accessorie dighe è stato avviato un programma di verifiche secondo normativa che si completerà, entro qualche mese; nei casi dove emergeranno carenze è previsto il passaggio immediato alla progettazione ed esecuzione degli interventi di adeguamento.

Per altri edifici e centrali non vi sono obblighi vincolanti di verifica, ma EGP ha deciso di valutare il rischio per tutti i propri fabbricati abitualmente frequentati da personale. Tali strutture sono molto numerose (oltre 700) così da rendere necessario un programma serrato di verifiche con priorità basata sulla presenza di personale e rilevanza del rischio, avvalendosi di un pool di Studi professionali consulenti.

Si stanno avviando le verifiche anche delle dighe ubicate nelle aree a più bassa sismicità dove sono situati oltre il 55 % degli impianti.

4. IL TEMA DELLA SCADENZA DELLE CONCESSIONI

Il D.lgs. n. 79/1999 (Decreto Bersani), come modificato dall'art. 37 del D.L. n. 83/2012 ha introdotto un limite di durata alle concessioni di Enel (in precedenza senza scadenza) fissandone la scadenza al 2029 e prevedendo l'indizione, cinque anni prima della scadenza della concessione, di una gara per la nuova assegnazione delle medesime. Il quadro giuridico regolatorio delle procedure di gara prevede il trasferimento dal concessionario "uscente" a quello "entrante" della titolarità del ramo d'azienda comprensivo di "tutti i rapporti giuridici afferenti alla concessione", quindi sia le c.d. opere bagnate (opere di raccolta, di regolazione, condotte forzate e canali di scarico) che le c.d. opere asciutte (fabbricato di centrale, macchinari). A fronte di tale trasferimento, al concessionario uscente spetta un corrispettivo che, nel rispetto dei principi di parità di trattamento e trasparenza, è previamente concordato con l'amministrazione concedente e da questa reso noto nel bando di gara.

Alla luce della richiamata normativa, si può ritenere che l'Italia sia il Paese europeo con la disciplina delle concessioni idroelettriche maggiormente pro-concorrenziale sia in termini di durata, sia in termini di modalità di affidamento (gare), pur in assenza di un quadro normativo relativo alle regole di gara.

Nonostante ciò la Commissione Europea, il 26 settembre 2013 ha aperto una procedura di infrazione contro il nostro Paese, contestando la contrarietà del sistema di gare italiano con le norme dei Trattati che tutelano la libertà di stabilimento.

In particolare, la Commissione Europea ha criticato l'obbligo per chi si aggiudica una concessione di acquisire dal concessionario uscente il ramo d'azienda relativo all'attività idroelettrica, pagando un corrispettivo di mercato. Ciò in quanto esso comporterebbe un vantaggio per il concessionario uscente al momento della gara.

Le imprese del settore hanno dimostrato come la procedura di infrazione manchi di fondamento:

- sia dal punto di vista economico, in quanto, con la cessione del ramo d'azienda, concessionario uscente ed entrante sopportano lo stesso costo economico e quindi l'uscente non gode di alcun vantaggio competitivo;
- sia dal punto di vista giuridico perché la tutela del diritto di proprietà - garantito dalla Costituzione italiana e dai Trattati UE - costituisce una legittima deroga alle libertà di stabilimento la cui tutela è alla base della procedura di infrazione.

Si è anche dimostrato come il valore industriale residuo non solo sia un criterio scientifico ma sia anche imposto dalle regole contabili vigenti a livello europeo (IAS/IFRS).

Il percorso di riforma del quadro normativo italiano dovrebbe avvenire senza determinare effetti pregiudizievoli per gli operatori nazionali e dovrebbe essere accompagnato dal contemporaneo superamento delle attuali distorsioni e asimmetrie derivanti dall'assenza di armonizzazione dei regimi idroelettrici a livello europeo e dalla mancanza di un "level playing field" nel settore.

Inoltre, andrebbe difeso appieno il diritto di proprietà, tutelato tanto dalla Costituzione Italiana quanto dai trattati UE.

Il nuovo regime delle concessioni idroelettriche, introdotto con il decreto-legge 14 dicembre 2018, n. 135, contiene nuove disposizioni che hanno modificato il quadro normativo rispetto a quello previsto con il Decreto legge 22 giugno 2012, n. 83 ("D.L. n. 83/2012").

Le principali novità riguardano:

- La proroga onerosa delle concessioni già scadute fino al 2023 (fenomeno riguardante soggetti estranei al gruppo Enel);
- La regolamentazione della ri-assegnazione delle concessioni alla scadenza;
- Il regime di indennizzo del concessionario uscente per il trasferimento degli *asset* legati alla concessione idroelettrica;
- L'introduzione di un canone binomio³ da corrispondere al 60% alle province e città metropolitane e al 40% alle regioni e l'obbligo di fornire 220 kWh/y per ogni kW di concessione ai Comuni di impianto.

³Componente fissa legata alla potenza nominale di concessione e componente variabile calcolata come percentuale dei ricavi normalizzati.



Tabella I - Confronto tra le situazioni nazionali e le procedure in corso (European University Institute, 2014)

Paese	Durata	Processo competitivo?	Azioni della CE?
Austria	Fino a 90 anni	No	No (DG Market: caso chiuso nel 2006 senza richiesta di modifica della normativa)
Bulgaria	35 anni	No	No
Finlandia	Illimitata	No	No
Francia	75 anni Le più recenti max 40 anni	Si (ma non esiste una procedura di gara)	Si (DG Comp)
Germania	30 anni	No	No
Regno Unito	Prima del 2003 illimitata Dopo il 2003 12-24 anni, ma sono possibili estensioni di durata indefinita	No per quelle ottenute prima del 2003 Si dopo il 2003 ma sono possibili estensioni di durata indefinita	No
Grecia	Nessuna durata	No	No
Italia	Fino a 30 anni	Si	Si (DG Growth)
Norvegia	Illimitata	No	No
Polonia	20 anni	No	No
Portogallo	Fino a 75 anni	Si per le nuove No per le vecchie	Si (DG Comp) ma normativa approvata
Spagna	Fino a 75 anni	Si	No
Svezia	Illimitata	No	No
Svizzera	Fino a 80 anni	Non obbligatorio	No

Per quanto concerne il regime di ri-assegnazione, viene introdotta la possibilità per le Regioni di affidare le nuove concessioni a: i) operatori economici, selezionati tramite procedure ad evidenza pubblica; ii) società a capitale misto pubblico e privato, dove il socio privato è scelto a mezzo gara o iii) mediante partenariato pubblico privato. Il mantenimento di un livello adeguato di sicurezza nella gestione degli impianti così come il mantenimento del livello occupazionale attuale non sono citati nel testo, e dovranno essere specificati dai provvedimenti attuativi delle regioni o delle Autorità competenti.

Per quanto attiene, invece, ai criteri per determinare l'indennizzo al concessionario uscente alla scadenza della concessione, la norma prevede criteri differenziati per categorie di beni.

Per alcuni tipi di beni (opere di raccolta, di regolazione, i canali di scarico e le condotte forzate) prevede il trasferimento senza compenso alle Regioni, fatto salvo il pagamento del valore degli investimenti non ammortizzati purché previsti dall'atto di concessione o comunque autorizzati dal concedente. Questo aspetto comporta incertezza sul valore di recupero degli investimenti in manutenzione e/o repowering che saranno fatti nei prossimi anni, con possibile rallentamento degli stessi.

Per altri tipi di beni (edifici, macchinari, impianti di utilizzazione, trasformazione e distribuzione inerenti la concessione) prevede il pagamento di un prezzo corrispondente al valore di stima o quello fissato con una perizia. Per tali beni viene altresì prevista la possibilità per il concessionario entrante di effettuare una selezione (c.d. *cherry picking*). L'aspetto del *cherry picking* è peculiare della normativa italiana ed avrà impatti importanti sia sull'utilizzo futuro delle infrastrutture esistenti sia sulla competitività delle gare di riassegnazione.

Infine, l'introduzione del canone binomio e la cessione gratuita dell'energia ai comuni avranno un pesante impatto su tutti i concessionari.

5. ALTRI USI DELLE DIGHE E DELLE OPERE IDRAULICHE. IL DEFLUSSO ECOLOGICO

Per quanto attiene ai rilasci per il Deflusso Ecologico, ai sensi della normativa vigente, sull'intero perimetro Italia degli impianti idroelettrici Enel, vengono rilasciati circa 2,2 milioni di m³/ora di acqua dalle opere di presa, dalle dighe e dagli sbarramenti in Italia, pari ad un volume di circa 20.000 Mm³ all'anno.

Al fine di garantire le condizioni di naturale integrità ecologica di un corso d'acqua, con particolare riferimento alla tutela della vita acquatica, è stato di recente introdotto dalla Comunità Europea il concetto di Deflusso Ecologico (DE), quale evoluzione del precedente Deflusso Minimo Vitale (DMV).

In recepimento di tale direttiva, Il ministero dell'ambiente attraverso gli 8 Distretti Idrografici ha emesso altrettante Delibere per la determinazione dei DE. Si segnala che tale delibere non sono omogenee tra loro e potrebbero portare ad un aumento di tale deflusso.

Nella prossima fase di adozione di tali delibere da parte delle regioni (ente competente per l'aspetto ambientale) si dovrebbero effettuare delle sperimentazioni sito-specifiche volte a determinare un valore di deflusso da rilasciare realmente commisurato alle specifiche esigenze di ciascun corpo idrico, nonché di utilizzare proficuamente le esperienze di Enel e di altri operatori in alcune Regioni (GSE, 2017), con risultati più che soddisfacenti in termini di qualità della vita nei fiumi.

Adeguate risposte ad eventuali conflitti di esigenze devono passare attraverso decisioni condivise e praticamente sostenibili.

6. IL PROBLEMA DELL'INTERRIMENTO DEI BACINI

Come noto i serbatoi idrici, per varie cause legate a fattori ambientali, territoriali, meteorologici ed antropici, sono soggetti ad interrimento (Fig. 4) con un tasso estremamente variabile di anno in anno e situazioni quantitative e qualitative molto variabili in funzione delle caratteristiche geomorfologiche, idrologiche e di antropizzazione dei bacini imbriferi sottesi (Bollettino ITCOLD, 2016).



Figura 4 - Foto dello stato di interrimento del serbatoio di Pozzillo.

In passato l'interrimento non costituiva un grave problema poiché i sedimenti che si accumulavano negli invasi venivano periodicamente trasferiti a valle mediante l'apertura delle paratoie di scarico durante le operazioni di svaso.

La successiva evoluzione normativa ha previsto, con l'art. 114 del D.Lgs. 152/06 (riproponendo una norma già presente nel T.U. sulle acque - art. 40 D.lgs 152/99), che le operazioni di svaso, sfangamento o sghiaimento delle dighe siano effettuate sulla base di un Progetto di Gestione ai sensi del D.M. 30 giugno 2004, da approvare a cura degli enti competenti.

Tra le modalità di sfangamento, la rimozione meccanica (asportazione a bacino vuoto) risulta sovente l'unica via tecnicamente percorribile poiché le altre sono vincolate al rispetto degli stringenti limiti imposti dalle autorità sui valori dei parametri delle acque di valle durante le operazioni; tale modalità risulta però particolarmente onerosa e complessa per le necessità di svuotamento totale del serbatoio, di individuazione di un sito di conferimento e per l'ingente impiego di mezzi di movimentazione e trasporto.

L'art. 114 comma 7 del D.Lgs. 152/06 prevede che, nella definizione dei canoni di concessione di inerti, le amministrazioni determinino specifiche modalità ed importi per favorire lo sghiaimento degli invasi per asporto meccanico.

Ad oggi non ci risulta che vi siano amministrazioni che hanno deliberato la riduzione del canone. Con canoni ridotti o assenti il prelievo nei bacini risulterebbe competitivo favorendo da un lato l'impiego di manodopera in

aree spesso disagiate, dall'altro un minore impatto ambientale in quanto l'escavazione non avverrebbe all'interno degli alvei.

In molti casi questi sedimenti, se opportunamente sostenuti da un quadro normativo, potrebbero avere un valore per l'agricoltura e/o comunque essere reimpiegati nelle immediate vicinanze degli invasi senza arrecare alcun danno all'ambiente.

La proposta di Enel Green Power prevede l'impiego dei sedimenti dei bacini con finalità di utilizzo in agricoltura, previa verifica preliminare di compatibilità, per agevolare la coltivazione delle specie agricole; a tale scopo è in corso uno studio con Università italiane e con le autorità competenti regionali che valuteranno questo tipo di utilizzo ed anche i benefici in termini di ricaduta occupazionale sul territorio (imprenditoria locale / cooperative agricole per la raccolta e riutilizzo del materiale).

È necessaria e auspicabile una modifica del contesto normativo per la classificazione dei sedimenti secondo la finalità sopra esposta.

7. IL PROBLEMA DELLO SMALTIMENTO SGRIGLIATI (QUALIFICA GIURIDICA DEL MATERIALE SGRIGLIATO, RICONOSCIMENTO COSTI DI SMALTIMENTO)

Ogni corpo idrico, fiume, torrente o canale, lungo il proprio percorso raccoglie una certa quantità di materiale, per lo più organico e di origine naturale (quale ad esempio fogliame, rami d'albero, essenze algali, etc...) che viene trasportato lungo l'alveo fino ad incontrare una interruzione idraulica, rappresentata da uno sbarramento, un'opera di presa o una diga, che ne arresta il trasporto (Fig. 5).



Figura 5 - Immagine del serbatoio di Comelico durante la tempesta Vaia di Ottobre 2018.

Tali quantitativi vengono generalmente raccolti presso le griglie delle opere idrauliche che captano e derivano le acque verso le centrali idroelettriche e che fungono da filtro per evitare che si possano instaurare problemi alle turbine e alle macchine idrauliche. Questo materiale, così recuperato dai corpi idrici, prende il nome di sgrigliato. Mediamente EGP smaltisce annualmente oltre 9.000 tonnellate di sgrigliati che vengono gestiti come rifiuto ai sensi della normativa nazionale vigente

In un'ottica di economia circolare EGP propone che la classificazione del materiale sgrigliato sia non come rifiuto, ma come una risorsa che dopo una opportuna classificazione, possa essere riutilizzata per nuovi scopi (vd. Pellet, laminati, compost, ecc..).

8. GESTIONE DEGLI EVENTI E LAMINAZIONE DELLE ONDE DI PIENA

Fra gli effetti benefici della presenza di dighe e serbatoi sul territorio è sicuramente da annoverare la loro capacità di laminazione, ossia di riduzione delle portate di colmo a tutto vantaggio della protezione dei territori di valle. Si tratta di una capacità molto sito specifica che dipende dalla tipologia di serbatoio, dal suo volume, dalla tipologia degli scarichi presenti e dall'estensione del bacino presente a monte. Si tratta, tuttavia, di un



beneficio sempre presente per qualunque impianto idroelettrico a serbatoio. Per alcuni maggiori invasi si stanno attualmente redigendo i cosiddetti Piani di Laminazione che permetteranno di gestire le piene ed i rilasci a valle secondo un protocollo condiviso fra tutti gli attori in gioco.

Per migliorare il processo si è recentemente predisposto, ai sensi della Direttiva PCM 8 luglio 2014, un sistema automatico di trasmissione in tempo reale dei dati di monitoraggio, per la comunicazione per via telematica e in tempo reale dei dati di monitoraggio idrologico-idraulico acquisiti presso le dighe di competenza DG Dighe.

I parametri di monitoraggio da trasmettere al Sistema di acquisizione dei dati di monitoraggio delle grandi dighe sono il livello di invaso, il corrispondente volume di invaso e le portate scaricate. Sono richieste anche le portate di adduzione all'invaso (bacini allacciati) e derivata nei casi in cui esse siano significative ai fini della ricostruzione degli eventi di piena o comunque nei casi indicati dalla DG Dighe.

In particolare, le misure acquisite in diga saranno normalmente trasmesse con cadenza giornaliera. Si dovrà prevedere una frequenza di trasmissione maggiore (ogni 30 minuti) nei seguenti casi:

- a) a seguito di stato di allerta di cui alla Direttiva PCM 8 luglio 2014 o al Documento di Protezione Civile della diga;
- b) il bacino idrografico sotteso anche parzialmente dalla diga sia interessato da allertamenti meteo-idro per criticità idrogeologica e/o idraulica (di moderata o elevata criticità),
- c) il bacino sotteso sia interessato da avvisi di avverse condizioni meteorologiche (di moderata o elevata intensità), in coerenza con il bollettino di vigilanza meteo nazionale, oppure
- d) su richiesta della DG Dighe.

Questa iniziativa risponde anche allo scopo di avere uno standard unico di riferimento dei dati di riferimento, a beneficio di tutte le Amministrazioni interessate.

9. INNOVAZIONE

Pur essendo un settore industriale storico in cui le grandi opere sono quelle più visibili e apparentemente non toccate dal passare degli anni, la spinta al miglioramento dell'efficienza e della sicurezza nell'esercizio porta i gestori ad introdurre novità tecnologiche rilevanti.

Il settore del monitoraggio, mutuando soluzioni sviluppate in altri ambiti, consente un controllo molto più dettagliato e rapido dei sistemi infrastrutturali, l'utilizzo di droni e segnali via satellite aprono la strada ad approcci impensabili fino a ieri.

Tutto questo movimento evolutivo è trainato dalla disponibilità di sistemi di calcolo in grado di processare quantità di informazioni enormi che però vanno sempre filtrate dall'esperienza di chi ha saputo affrontare le tematiche con metodi meno sofisticati.

Si tratta di esperienze e know how che dall'ambito idroelettrico possono facilmente essere messe a valore anche in settori più parcellizzati come quello irriguo o potabile attraverso le numerose occasioni di confronto organizzate da ITCOLD con gruppi di lavoro, eventi, visite tecniche.

10. CONCLUSIONI

Se i meriti dell'idroelettrico nello sviluppo economico dell'Italia del secondo dopoguerra è ben noto e riconosciuto, non altrettanto noto è l'importanza dell'idroelettrico nell'attuale fase di sviluppo delle energie rinnovabili, quali l'eolico ed il solare.

Nel presente articolo vengono quindi poste in evidenza alcuni motivi di preoccupazione dei gestori idroelettrici, legati alle esigenze di manutenzione sempre crescenti per un parco impianti che in alcuni casi supera i 100 anni.

Si descrivono inoltre le attività dei gestori relativamente alle attività di pulizia dei serbatoi dall'interrimento, gli adeguamenti del parco dighe ormai quasi centenarie a seguito delle verifiche idrologiche e sismiche introdotte dalla nuova normativa.

Si evidenzia anche il fondamentale ruolo svolto dalle dighe nella gestione delle piene.

Fondamentale anche che venga chiarito il quadro legislativo relativo alla prossima scadenza delle concessioni.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

GSE, 2017. *Rapporto statistico – Fonti rinnovabili*.

ITCOLD (Bollettino), 2016. *Dighe ed energia elettrica*, https://www.itcold.it/wpsysfiles/wp_content/uploads/2016/07/RAPPFIN2012BALLATORE_1.pdf.

ITCOLD (Bollettino), 2016. *La gestione dell'interrimento dei serbatoi artificiali italiani situazione attuale e prospettive*. 2016 <https://www.itcold.it/wpsysfiles/wp-content/uploads/2016/07/RAPPFIN-GdLInterrimento-Fase2-20092.pdf>

TERNA, 2018. <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/transparency-report/renewable-generation>.



Francesco Santoro, Francesca Pianigiani*

STUDI DI RIVALUTAZIONE IDROLOGICA E VERIFICA DELLA SICUREZZA IDRAULICA DELLE GRANDI DIGHE IN ITALIA.

Principali risultanze dell'applicazione del D.L. 79/2004

HYDROLOGICAL REVALUATION STUDIES AND VERIFICATION OF HYDRAULIC SAFETY IN LARGE DAMS IN ITALY.

Main Results of the Application of the Law Decree 79/2004

1. PREMESSA

A distanza di 15 anni dall'entrata in vigore del D.L. 79 del 2004 che ha disposto la rivalutazione delle condizioni di sicurezza idraulica delle grandi dighe, il presente articolo illustra le principali risultanze dell'applicazione del D.L. 79/2004, cogliendo l'occasione per esprimere alcune considerazioni sulle criticità emerse e sulle prospettive future al fine di assicurare degli adeguati margini di sicurezza idraulica per le grandi dighe.

2. INTRODUZIONE NORMATIVA

Fino alla entrata in vigore delle Norme tecniche approvate con il D.M. 24/03/1982, la dizione “portata di massima piena” non era associata ad uno specifico periodo di ritorno dell'evento di riferimento. Tuttavia, dagli anni '90 il Servizio nazionale dighe (ora Direzione generale dighe del M.I.T. di seguito D.G. Dighe) aveva indicato il tempo di ritorno di 1000 anni come riferimento. La correlata regolamentazione tecnico-amministrativa (tutt'ora il D.P.R. 1363/1959) ha stabilito l'obbligo di acquisire, sulla portata di progetto, il parere del Servizio idrografico (già statale, poi regionale), mentre per la rivalutazione della sicurezza idrologico-idraulica delle “dighe esistenti” la competenza è stata assunta, per prassi, dalla D.G. Dighe stessa.

A seguito dell'emanazione del D.L. 79 del 2004, la Circolare 3199/2005 ha fissato in 1000 anni, per tutte le dighe, la portata di riferimento per le verifiche idrauliche. Le Norme tecniche approvate con il D.M. 26/06/2014 (di seguito N.T.D.) hanno esplicitamente stabilito il tempo di ritorno della piena di progetto, differenziandolo in funzione del tipo di diga (1000 anni per le dighe di calcestruzzo e 3000 anni per le dighe di materiali sciolti, di nuova costruzione). Per le “dighe esistenti” le N.T.D. stabiliscono a livello generale (p.to H.2.1) quali siano i casi per cui interviene l'obbligo di “adeguamento” o di “miglioramento”, precisando che “è fatto obbligo di procedere almeno ad interventi di miglioramento idraulico, in conseguenza alla valutazione della sicurezza idraulica, se il tempo di ritorno della portata di piena scaricabile rispettando il franco idraulico indicato al cap. C.1 [dighe di nuova costruzione] risulti inferiore a 500 anni per le dighe di calcestruzzo e a 1000 anni per le dighe di materiali sciolti”.

3. LA RIVALUTAZIONE IDROLOGICA STRAORDINARIA DELLE DIGHE

Gli studi di rivalutazione idrologica trasmessi dai concessionari, acquisiti per oltre il 95% delle grandi dighe, hanno riguardato complessivamente n. 470 invasi, un numero inferiore rispetto alle dighe esistenti (532) in quanto bisogna considerare che in alcuni casi su uno stesso invaso o bacino artificiale sono presenti più sbarramenti o in altri casi si tratta di vasche fuori alveo.

Preliminarmente, è da evidenziare che l'esame e la valutazione degli studi idrologici presentati dai concessionari non si sono limitati ad una verifica di congruità delle metodologie adottate e di adeguatezza degli studi presentati, ma hanno richiesto, ai fini del rilascio del parere e relativa approvazione, delle autonome elaborazioni, sovente fondate su una più aggiornata conoscenza idrologica del bacino e la costruzione di un modello idrologico diretto e/o indiretto, possibilmente tarato su eventi reali ricostruiti, al fine di validare le stime prodotte dai gestori. Questo iter ha comportato, di conseguenza, un allungamento dei tempi istruttori. Inoltre, per un numero ristretto di studi, la D.G. Dighe si è avvalsa del supporto scientifico di alcuni Istituti Universitari (Politecnico di Torino, Università di Bologna – Alma Mater Studiorum, Università di Roma “La Sapienza”, Università di Napoli “Federico II”).

*Direzione Generale MIT.





L'esperienza maturata nel corso dell'iter istruttorio delle rivalutazioni idrologiche presentate dai concessionari indica che le stime di portate di progetto con periodo di ritorno cinquecentenario, millenario o plurimillenario sono inevitabilmente affette da livelli di incertezza, anche in considerazione del fatto che l'analisi idrologica è stata spesso condotta in maniera appropriata dal punto di vista metodologico, ma in carenza di informazioni idro-pluviometriche o con informazioni non aggiornate. A seguito alla dismissione del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (S.I.M.N.), con il passaggio delle competenze alle Regioni, si sono purtroppo determinate importanti discontinuità nelle osservazioni idrologiche (per disattivazione, spostamento e variazione del numero di stazioni pluviometriche ed idrometriche). Tali disuniformità sono amplificate per quei bacini idrografici sottesi dalle grandi dighe, il cui territorio ricade in regioni diverse.

Come si evince dalla *Tabella* sottostante, allo stato attuale a fronte di n. 454 studi trasmessi sono stati esaminati n. 225 rivalutazioni ritenute prioritarie in quanto la portata rivalutata era prossima o superiore alla portata di progetto. Ad eccezione di poche rivalutazioni recentemente pervenute (circa n. 4 casi) gli altri studi di rivalutazione idrologico idraulica prodotti dai gestori hanno indicato stime decisamente inferiori a quelle di progetto confermando la sicurezza degli sbarramenti.

Tabella I - Riepilogo degli studi idrologici

Ufficio Tecnico per le Dighe	N. Dighe	N. Studi Idrologici necessari	N. Studi Idrologici Trasmessi	N. Studi Idrologici Critici	N. Studi Idrologici Critici Esaminati	% N. Studi Esaminati/ N. Studi Critici	N. Studi Idrologici non Critici da Esaminare
Venezia	63	60	60	33	33	100%	27
Torino	86	73	73	38	38	100%	35
Perugia	55	49	48	18	18	100%	30
Palermo	47	35	29	11	11	100%	18
Napoli	61	50	43	20	18	90%	23
Milano	88	83	81	40	40	100%	41
Firenze	50	50	50	35	35	100%	15
Cagliari	59	50	50	23	21	91%	27
Cosenza	23	20	20	7	7	100%	13
TOT	532	470	454	225	221	98%	229

4. STATO DI ATTUAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA IDRAULICA DELLE DIGHE ESISTENTI

Il tema della valutazione della sicurezza idraulica è da sempre una delle più importanti tematiche che i gestori delle grandi dighe e l'Autorità di controllo della sicurezza (D.G. Dighe) si sono trovati ad affrontare anche in considerazione del fatto che il nostro territorio è stato oggetto nel recente passato di eventi eccezionali (1966, 2000, 2018), associati ultimamente dalla comunità tecnico-scientifica a fenomeni straordinari racchiusi sotto il nome di "*cambiamenti climatici*".

Alcuni interventi di miglioramento idraulico sono stati eseguiti prima dell'emanazione del D.L. 79 del 2004 nell'ambito della periodica revisione della sicurezza idraulica delle grandi dighe. Da una ricognizione eseguita sull'intero patrimonio infrastrutturale, emerge che ad oggi sono stati prescritti, in corso di progettazione o esecuzione ed eseguiti circa n. 105 interventi, suddivisi per stato di avanzamento, secondo il grafico sotto riportato.

Complessivamente circa il 20% delle grandi dighe in Italia ha o ha avuto necessità di un intervento di miglioramento della sicurezza idraulica. Nelle more dell'esecuzione degli interventi prescritti, in alcuni casi sono state impartite delle limitazioni di invaso temporanee.

Gli studi di rivalutazione idrologica e verifica idraulica hanno, quindi, dato luogo a numerosi interventi di mi-



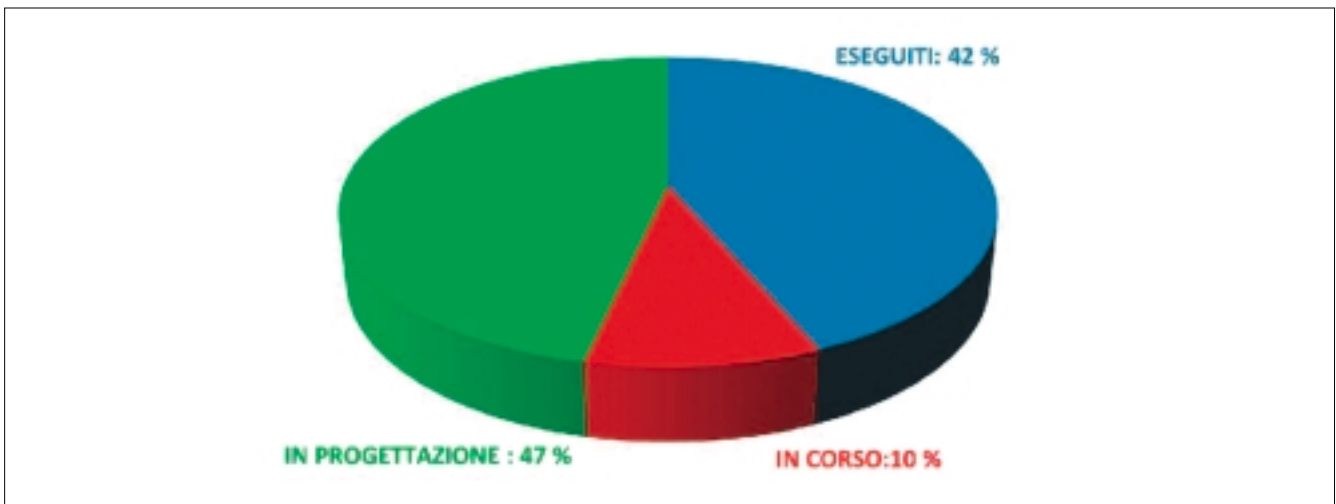


Figura 1 - Stato di avanzamento degli interventi di incremento di sicurezza idraulica.

gioramento per l'incremento della capacità di scarico e/o del franco idraulico differenziandosi le soluzioni progettuali in base alla tipologia di diga e del grado di carenza idraulica riscontrata.

Le tipologie di intervento possono sinteticamente riassumersi in:

- riefficientamento degli organi di scarico;
- ampliamento scarichi e recupero del franco con muro paraonde;
- ripristino del franco idraulico di progetto;
- innalzamento della quota di coronamento;
- aumento della sezione di efflusso degli scarichi di superficie;
- realizzazione di nuovi scarichi;
- ristrutturazione completa;

Nei paragrafi successivi si illustrano alcune tipologie di intervento che hanno riguardato o stanno riguardando alcune grandi dighe italiane.

4.1 Riefficientamento degli organi di scarico

Diga di San Colombano - lavori completati (anni 2012-2014)

Provincia di Trento - concessionario Dolomiti Energia Holding

La diga di San Colombano sbarrò il torrente Leno di Vallarsa, affluente del fiume Adige; la spalla destra e casa di guardia si trovano nel Comune di Trambileno (TN) e la spalla sinistra è nel Comune di Vallarsa (TN). L'opera è classificata come diga muraria ad arco a doppia curvatura, di altezza 37 m e volume totale di invaso pari 2,12 Mm³. La diga è dotata di una soglia fissa di scarico (con 6 luci a quota 280,20 m s.l.m.) e di un altro scarico superficiale con paratoia a settore avente la soglia posta a quota 276,00 m s.l.m. ed il ciglio sfiorante a 280,00 m s.l.m. (quota di massima regolazione per il serbatoio).

La regolazione automatica della paratoia dello scarico di superficie della diga di San Colombano era esclusivamente basata sul riempimento-svuotamento delle vasche dei galleggianti che la azionavano in relazione al livello di invaso del bacino. L'esperienza ha evidenziato un ottimo funzionamento del sistema durante numerosi eventi di piena registrati negli anni, ma con una criticità legata all'eventuale blocco dell'organo all'inizio dell'evento causato da attriti di primo distacco. In questo caso, gli attriti potevano essere tali da bloccare il movimento per un tempo sufficiente a riempire eccessivamente le vasche galleggianti a paratoia chiusa, provocando, in caso di sblocco successivo, indesiderate e pericolose sovra-aperture.

L'intervento di miglioramento della sicurezza idraulica è consistito in modifiche al sistema di regolazione e automazione consistite in:

- installazione di una nuova motorizzazione dell'organo a catene tramite sostituzione del motore idraulico e fornitura di un nuovo gruppo di movimentazione paratoia composto da motore oleodinamico;
- fornitura centrale oleodinamica di caratteristiche equivalenti a quella installata, con pompe ridondanti;
- esclusione dell'afflusso d'acqua alle vasche dei galleggianti tramite inserimento di una saracinesca sulla tubazione di adduzione;
- adeguamento del sistema di controllo per consentire il monitoraggio e l'azionamento a distanza dell'impianto, dalla sala quadri della Centrale di San Colombano, a 700 m dalla diga.



Figura 2 - Ante operam – argano a catena (sopra) e sistema di movimentazione (sotto).



Figura 3 - Post operam – nuova movimentazione dell'argano a catena (sopra) e modifiche al sistema di regolazione e automazione (sotto).

4.2 Ampliamento scarichi e recupero di parte del franco richiesto con muro paraonde

Diga di Quarazza - lavori in corso di affidamento

Regione Piemonte - concessionario HydroChem

La diga di Quarazza sbarrò il torrente omonimo, affluente di destra del Torrente Anza (sottobacino del Toce, bacino del Po), nel Comune di Macugnaga (VB). L'opera di ritenuta, ultimata e collaudata nel 1954, è costituita da una diga in calcestruzzo ad arco semplice di altezza 22,34 m ai sensi del D.M. 24/03/82 e volume totale di invaso pari a 0,215 Mm³.

Lo scarico di superficie: è costituito da una soglia sfiorante ricavata nella tratta ad arco della diga, per uno sviluppo complessivo di 31,20 m (interrotta dalle pile di sostegno dell'impalcato di coronamento ad interasse 4,25-2,50 m), con ciglio a quota 1334,44 m. La portata esitabile alla quota di massimo invaso è pari a 210 m³/s.

Il procedimento per la rivalutazione della sicurezza idrologico-idraulica della diga di Quarazza è stato avviato a seguito dell'approvazione del F.C.E.M. (Foglio di condizione per l'esercizio e la manutenzione) della diga

(1999), motivata sulla base di un evento eccezionale che aveva interessato la diga negli anni precedenti (la piena del 1993 con rilascio dalla diga di una portata al colmo di 180-200 m³/s) e sulla base della limitatissima capacità di laminazione del serbatoio. Nel F.C.E.M. è indicata quale portata di massima piena di progetto il valore di 130 m³/s e una capacità totale degli scarichi pari a 230 m³/s (rideterminata dal concessionario in 210 m³/s). In ottemperanza alle prescrizioni ricevute, l'allora concessionario della diga (Tessenderlo Italia s.r.l.) ha trasmesso la relazione idrologica datata 26/04/00 che, sulla base di metodi diretti e indiretti, stimava la portata di piena con tempo di ritorno 500 anni in un range di valori pari a 270-258 m³/s, assumendo poi cautelativamente quale portata di massima piena di riferimento un valore pari a 300 m³/s, esitabile dallo scarico di superficie con un battente di 3,2 m e un franco residuo ridotto a 55 cm. A seguito dell'intervenuta normativa (art.4 D.L. 79/2004) il concessionario, in ottemperanza alle disposizioni di cui alla circ. 3199 del 06/04/05, ha trasmesso la relazione idraulica data febbraio 2006. Con questa relazione il concessionario, sulla base di metodi diretti e indiretti analoghi a quelli utilizzati nel 2000, ha stimato la portata di piena con tempo di ritorno 1000 anni pari a 260 m³/s, esitabile dallo scarico di superficie con un battente di 2,73 m e un franco residuo pari a 1 m. A seguito di esame istruttorio dello studio citato da parte di D.G. Dighe, si è ritenuto necessario acquisire chiarimenti ed integrazioni relativamente alle differenti conclusioni cui erano giunti gli studi del 2000 e 2006. Il concessionario, nel 2009, ha trasmesso una terza relazione idrologico-idraulica idraulica con la quale la portata al colmo millenaria viene ridotta a 250 m³/s, sempre utilizzando le medesime metodologie, ma estendendo le serie storiche delle portate fino al 2008. In esito al procedimento istruttorio, in via cautelativa e definitiva, è stata adottata per la portata millenaria di riferimento il valore di 300 m³/s prescrivendo degli interventi di miglioramento idraulico in carenza di franco regolamentare e in considerazione che l'attuale scarico di superficie a soglia libera presenta inoltre notevoli elementi di vulnerabilità all'ostruzione (pile ad interasse inferiore anche a 5 m), con possibilità di sormonto del coronamento in caso di parzializzazione delle luci ad opera di materiale flottante. Il progetto esecutivo di incremento della sicurezza idraulica, approvato nel marzo 2019, prevede la demolizione completa dell'attuale impalcato e di 6 delle 8 pile di sostegno, a raso della soglia sfiorante. Le due pile centrali, che avranno funzione di supporto per il nuovo impalcato, verranno in parte (o completamente) demolite, per la loro successiva ricostruzione con sezione maggiorata. La quota dell'impalcato sarà sopraelevata al fine di garantire il transito della massima portata con il necessario franco di sicurezza garantito altresì da un muro paraonde lungo il piano di coronamento.

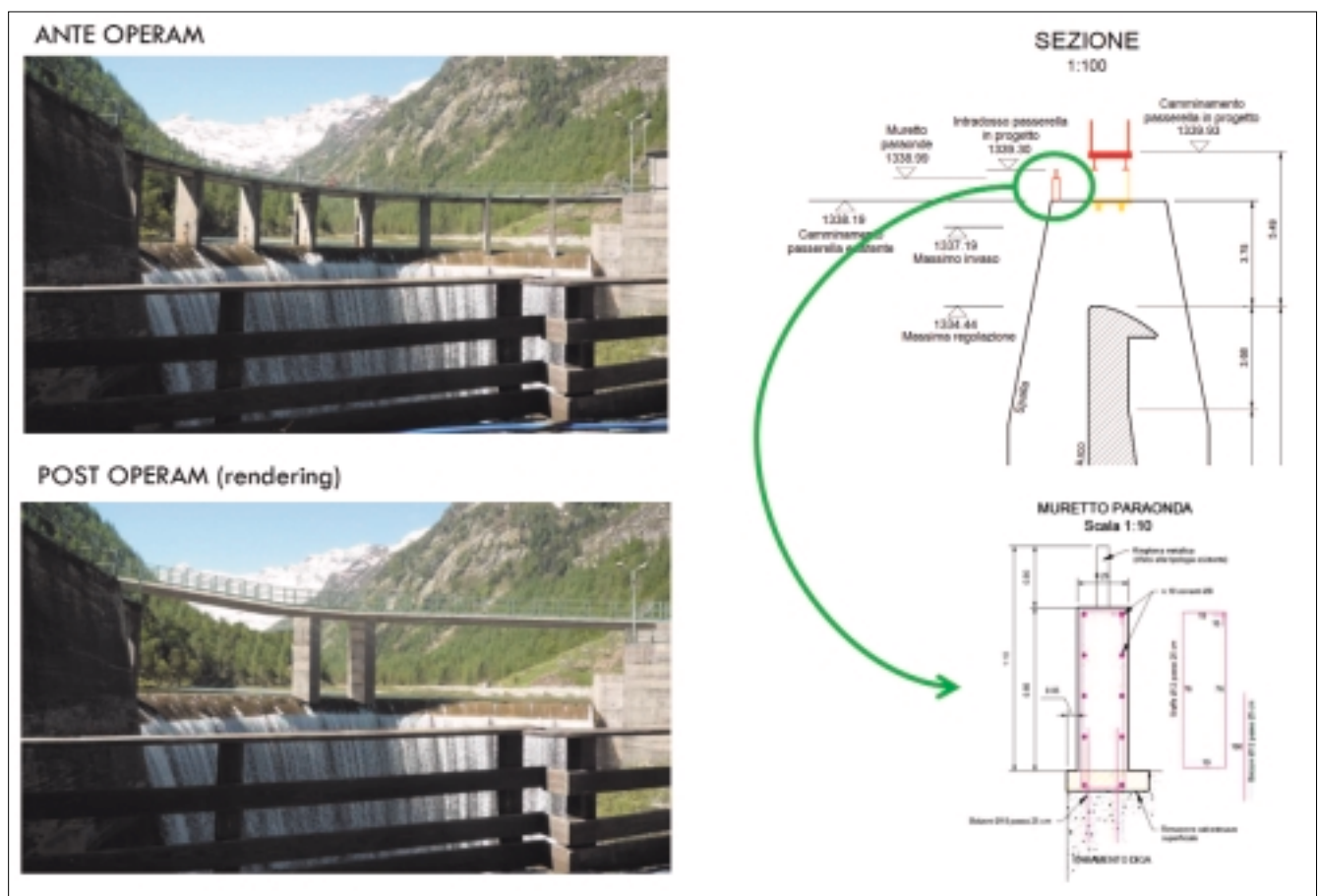


Figura 4 - Diga di Quarazza - recupero del franco con muro paraonde e ampliamento dello scarico di superficie.



4.3 Ripristino del franco idraulico

Diga di Bastia - lavori completati (anni 2006 -2010)

Regione Veneto – concessionario Enel Green Power

La diga di Bastia (provincia di Belluno), costruita negli anni 1926-1929, sbarrava il torrente Rai, emissario naturale del lago di Santa Croce. La diga è in materiali sciolti, del tipo omogeneo e poggia su un potente materasso prevalentemente limoso-argilloso. Complessivamente il rilevato è lungo due chilometri ed il tratto principale dello sbarramento ha denunciato un lento, ma graduale abbassamento del coronamento per effetto della consolidazione dei terreni di fondazione. Nel periodo 2006-2010 è stato eseguito un intervento per il ripristino del franco che ha comportato la posa di circa 55.500 m³ di limo per il sopralzo del corpo diga e la posa di circa 44.000 m³ di ghiaie limose sabbiose per la realizzazione di una banca a monte ed una berma a valle. Durante i lavori e a completamento degli stessi è stata installata una nuova strumentazione di controllo dello sbarramento ad integrazione e sostituzione di quella esistente.

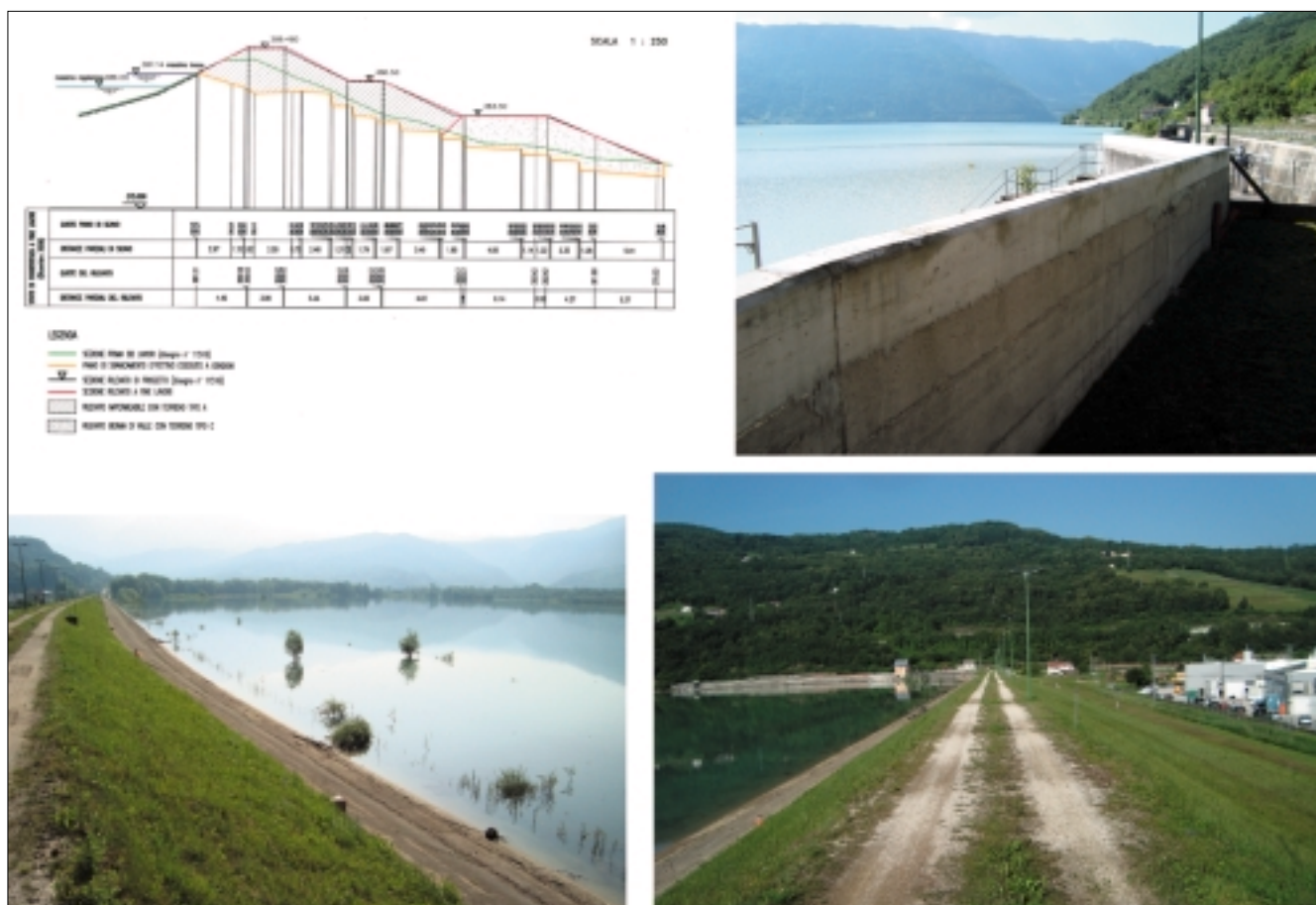


Figura 5 - Diga di Bastia – intervento di ripristino del franco.

4.4 Innalzamento della quota di coronamento

Diga di Cà Zul – inizio lavori ottobre 2019

Regione Friuli Venezia Giulia – concessionario Edison S.p.A.

La diga di Cà Zul ricade nel Comune di Tramonti di Sopra (PN). Il serbatoio viene utilizzato per la regolazione stagionale delle portate del torrente Meduna, per la produzione di energia elettrica nella centrale di Valina e per uso irriguo. Per alcuni mesi dell'anno, inoltre, l'invaso viene anche utilizzato per laminazione delle piene che interessano lo stesso torrente Meduna, in accordo con l'A.d.B. dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione. Il concessionario del serbatoio è l'Edison S.p.A.

La diga, di altezza pari a 68 metri e volume totale di invaso pari a 9,8 Mm³, è ad arco a doppia curvatura, suddivisa da 12 giunti verticali radiali che delimitano 13 conci.

A seguito della aggiornata rivalutazione idrologico-idraulica svolta, ai sensi del D.L. 79/2004, dal concessionario nel luglio 2006 che indicava una portata di riferimento millenaria rivalutata pari a 684 m³/s, ed in esito all'iter istruttorio della D.G. Dighe fu prescritto "la portata millenaria di riferimento viene indicata in $Q_{TR1000} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$, a fronte di una massima portata esitabile dagli scarichi $Q_{sc \text{ max}} = 454 \text{ m}^3/\text{s}$. Pertanto, considerando anche che l'effetto di laminazione del serbatoio è trascurabile, si segnala la necessità di predisporre un progetto di interventi per l'incremento delle condizioni di sicurezza idraulica della diga."

Il progetto avviato nel 2009 ha avuto un lunghissimo iter approvativo in primo luogo a causa di una revisione della iniziale proposta progettuale ed in secondo luogo per l'ottenimento di alcuni nulla osta di competenza regionale.

Detti interventi consistono nell'incremento di 1 m della quota di massimo invaso del serbatoio (da 598,00 m s.l.m. a 599,00 m s.l.m.) con il conseguente innalzamento della quota di coronamento, da 599,00 m s.l.m. a 600,00 m s.l.m.

I lavori in progetto, che saranno avviati ad ottobre 2019, prevedono, inoltre, l'allargamento dello sfioratore in corpo diga e la sua trasformazione da 6 luci nette da 6,66 m ciascuna (40 m complessivi) a 4 luci nette da 11,25 m (45 m complessivi).

La nuova quota di massimo invaso e l'allargamento dello sfioratore in fregio allo sbarramento determinano le seguenti capacità massime degli scarichi:

- scarico di superficie in spalla sinistra: 230 m³/s;
- sfioratore in corpo diga: 394 m³/s;
- scarico di fondo: 81 m³/s;

per un totale di 705 m³/s.

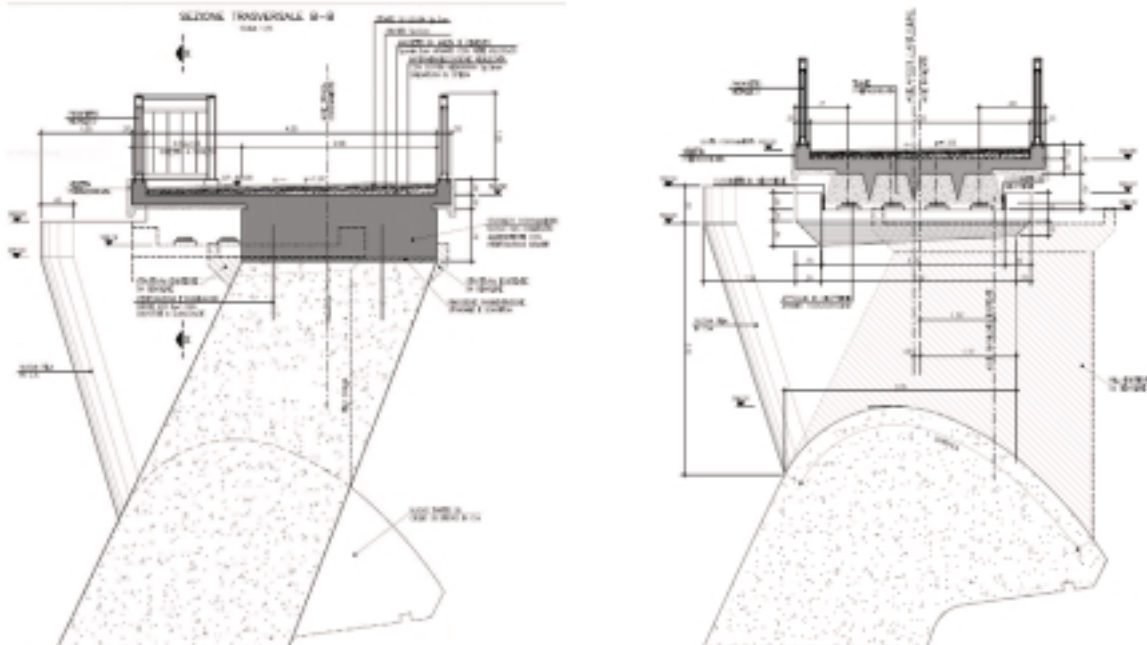


Figura 6 - Diga di Ca' Zul – innalzamento della quota di coronamento sezione tracimabile (destra) e non (sinistra).



4.5 Aumento della sezione di efflusso

Diga di Valla – lavori completati (2007-2009)

Regione Piemonte – concessionario Tirreno Power

La diga di Valla, ad arco, totalmente sfiorante sbarrata a quota 282,50 m. s.l.m. l'omonimo torrente a monte della confluenza da destra nel Bormida di Spigno poco a monte dell'abitato di Spigno Monferrato in provincia di Alessandria.

La diga è alta 47 m, ai sensi del D.M. '82, e forma un serbatoio di 2,3 Mm³. L'opera fu costruita nel 1925 dalla ditta Anselmino per scopi idroelettrici; successivamente è stata ceduta prima alla Falck, poi all'Enel ed infine alla Tirreno Power.

Lo scarico di superficie originariamente era costituito dal n. 14 luci libere in corpo diga, di larghezza pari a circa 7 m, con una capacità dello scarico di superficie al massimo invaso pari a 400 m³/s. La complessiva capacità esitativa della diga tenendo conto dello scarico di mezzofondo e fondo era pari a 425 m³/s.

L'adeguamento dello scarico di superficie allo smaltimento della portata millenaria rivalutata pari a 899 m³/s ha previsto il raddoppio di sei luci di sfioro e la conservazione delle due sole luci laterali di 6,75 metri all'estremità della soglia sfiorante. Il progetto definitivo prevedeva inizialmente la demolizione alternata delle pile di sostegno della passerella di servizio, ma a seguito dell'analisi delle condizioni del calcestruzzo costituenti le pile intermedie da mantenere, si è resa necessaria anche la loro completa demolizione con ricostruzione ed innalzamento fino a quota 283,75 m s.l.m. corrispondente al nuovo piano di appoggio dell'impalcato.

A seguito dei lavori dello scarico di superficie la quota di massima regolazione è rimasta invariata mentre la quota di massimo invaso è incrementata da 281,60 a 282,70 m s.l.m. Nelle verifiche idrauliche le due luci laterali di 6,75 m sono state considerate efficaci al 50% ed ulteriore riduzione della luce di sfioro è stata applicata per tenere conto della contrazione della vena liquida in corrispondenza delle pile di sostegno dell'impalcato.

Nel corso della progettazione è stato altresì eseguito un modello idraulico al fine di confermare le scelte progettuali adottate.



Figura 7 - Diga di Valla – aumento della sezione di efflusso dello sfioratore di superficie.

4.6 Nuovo scarico di superficie

Diga di Barcis – (p. definitivo approvato, per autorizzazioni ambientali oltre 10 anni)

Regione Friuli Venezia Giulia – concessionario Edison S.p.A.

La diga di Barcis è stata costruita tra il 1952 e il 1954 per consentire un migliore sfruttamento idroelettrico delle acque del torrente Cellina che era iniziato nel primo decennio del 1900 mediante quella che oggi è conosciuta come vecchia diga del Cellina.

La diga, di altezza pari a 50 m e volume totale di invaso originario pari a 23,2 Mm³, è di tipo ad arco a doppia curvatura, suddivisa da un giunto perimetrale tra cupola e pulvino di imposta, trascinabile per gran parte del coronamento.

Il bacino imbrifero del Cellina ha una superficie di 392 km² ed è uno tra i più piovosi d'Italia. La piovosità media annua è compresa tra le isoiete 1300 mm e 2000 mm con piogge intense rilevate storicamente decisamente elevate con massimi giornalieri che hanno superato i 200 mm. In base alle misure effettuate alla diga si stima in circa 1870 m³/s la portata massima ivi transitata in occasione dell'evento eccezionale del novembre 1996. In occasione del recente evento alluvionale "tempesta Vaia" di ottobre 2018 è stata misurata una portata al colmo di 1015 m³/s.

La diga è dotata di un particolare scarico di superficie in calcestruzzo armato che consiste in un pozzo con imbocco a soglia anulare, posto poco a monte della diga e sormontato da una paratoia anulare in acciaio. La soglia circolare è a quota 399,00 m s.l.m., ha un diametro di circa 17,5 m e uno sviluppo di circa 54,9 m. Il pozzo ha un

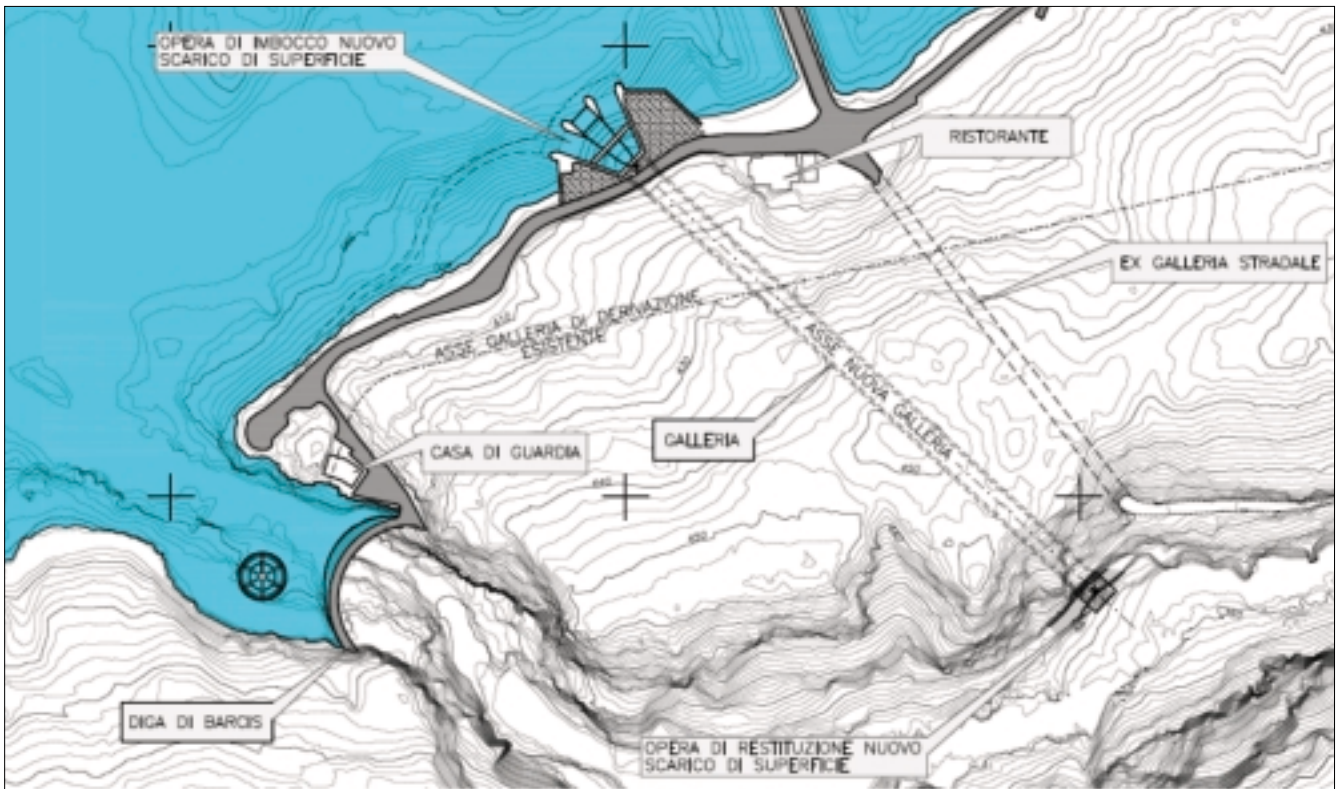


Figura 8 - Diga di Barcis – realizzazione di un nuovo scarico di superficie.



diametro di 8,70 m e si addentra verticalmente in roccia sino a una profondità di circa 39 m sotto la soglia. Qui si piega quasi ad angolo retto, con opportuno raccordo dotato di condotto di aereazione, e si immette in un galleria sub-orizzontale a sezione poliedrica che scarica circa 80 m a valle della diga.

Attualmente gli organi di scarico dell'invaso sono costituiti dallo scarico di superficie a calice sopra descritto con una portata esitabile alla quota di massimo invaso di 970 m³/s, uno scarico di superficie a soglia fissa in fregio al coronamento ed uno scarico di fondo per una capacità esitativa complessiva al massimo invaso di 1412 m³/s.

A seguito della aggiornata rivalutazione idrologico-idraulica eseguita dal concessionario, ai sensi del D.L. 79/2004, fu accertata la necessità di potenziare le opere di scarico al fine di garantire lo smaltimento di una portata millenaria di 2500 m³/s.

Il Progetto, la cui prima stesura risale al 2009, prevede la costruzione di uno scarico di superficie ausiliario in sponda sinistra, al di fuori dell'impianto di ritenuta, così costituito:

- opera di imbocco costituita da tre luci larghe 10 m ciascuna, con soglia a 397,60 m s.l.m., presidiate da paratoie a ventola 10,00 x 4,40 m a comando oleodinamico;
- opera di trasporto costituita da uno scivolo convergente e da una conseguente galleria a sezione policentrica di diametro pari a 9 m, lunga circa 270 m, che attraversa un ammasso roccioso in sponda sinistra;
- opera di restituzione costituita da un manufatto in calcestruzzo munito di deflettori, che restituisce le acque nell'alveo del Torrente Cellina circa 400 m a valle della diga.

L'iter approvativo del progetto di miglioramento della sicurezza idraulica della diga ha richiesto dei tempi molto lunghi di approvazione per gli aspetti di compatibilità ambientale. Certamente, non è questa la sede per ricostruire quanto accaduto, ma è doveroso segnalare che il tema della sicurezza di una grande diga dovrebbe essere prioritario e prevalente rispetto ad altre legittime istanze.

4.7 - Ristrutturazione completa della diga

Diga di Lago Nero – lavori completati (1975 -1982)

Regione Lombardia – concessionario Enel Green Power

L'invaso artificiale, di Lago Nero è ubicato nel Comune di Valgoglio (BG), nell'alto torrente Goglio (quota media 2000,00 m s.l.m.) costituisce lo sbarramento principale del sistema idraulico formato dalle dighe di Aviasco, Campelli, Cernello, Sucotto preposto alla regolazione annuale dell'energia producibile dalla sottostante centrale di Aviasco.

Lo sbarramento, costruito tra il 1920 e 1925, è realizzato mediante una struttura di ritenuta a gravità massiccia in calcestruzzo ad andamento planimetrico rettilineo della lunghezza totale di 140 m con un'altezza della diga (ai sensi della L. 584 del 1984) di 38 m, quota di coronamento pari a 2025,15 m s.l.m. e franco di 1,18 m.

Nel corso dell'esercizio dell'opera si sono resi necessari degli importanti lavori di ristrutturazione sia di tipo statico che idraulico, che hanno riguardato sostanzialmente tutto l'impianto di ritenuta.

Gli interventi eseguiti tra il 1975-1982 hanno riguardato:

- sopralzo parziale del piano di coronamento con appesantimento del corpo diga ai fini statici;
- impermeabilizzazione del paramento di monte;
- ampliamento dello sfioratore.

Nello specifico nella parte centrale del coronamento è stato realizzato un sopralzo in calcestruzzo per uno sviluppo di 52 m e per un'altezza di 6,35 m. Durante tale intervento è stata anche incrementata la capacità esitativa degli scarichi, in origine pari a 13,7 m³/s (12,5 m³/s dallo scarico di superficie e 1,2 m³/s dallo scarico di fondo), per complessivi 88 m³/s.



Figura 9 - Diga di Lago Nero – ristrutturazione completa.

5. CIRCOLARE N.3356 DEL 13/02/2018

Gli studi di rivalutazione idrologico idraulica hanno frequentemente evidenziato una profonda debolezza dell'informazione idrologica di partenza: nonostante le dighe abbiano lunghe storie di esercizio (l'età media delle grandi dighe supera i 65 anni), il numero degli studi di rivalutazione basato su un'adeguata serie storica di portate al colmo massime annuali (da utilizzare ad esempio con "metodi diretti" regionali) è risultato minoritario, rispetto a quello degli studi che hanno utilizzato "metodi indiretti" anche locali, basati sulle precipitazioni e su analisi afflussi-deflussi, a volte non tarati su eventi reali. Preso atto dell'inefficacia delle disposizioni che, nell'ambito dei F.C.E.M., prevedevano la registrazione presso le dighe, a carico dei gestori, dei dati che permettessero la ricostruzione degli eventi di piena in afflusso, è stata recentemente emanata dalla D.G. Dighe una nuova disposizione (Circ.n.3356 del 13/02/2018) che impone, oltre alla registrazione con idonea scansione temporale dei dati sui livelli idrici e sulle portate scaricate in corso di evento, anche l'esplicitazione del massimo evento annuale di piena (idrogramma) occorso alla diga, da associare a uno ietogramma rappresentativo degli apporti zenitali in corrispondenza dell'evento di piena, nell'ambito dell'asseverazione sulla sicurezza relativa al II semestre di ciascun anno. Ciò faciliterà anche il controllo dell'adempimento e consentirà un incremento dell'informazione idrologica da utilizzare nei successivi studi di rivalutazione.

6. CONCLUSIONI

Il devastante evento alluvionale del 28-30 ottobre 2018, che ha interessato il settore dolomitico dell'Italia, pur non comportando particolari criticità riguardo la sicurezza idraulica delle grandi dighe, ha evidenziato l'esigenza di riesaminare periodicamente il tema della sicurezza idraulica delle dighe e dei territori a valle.

Gli effetti dei cambiamenti climatici e in particolare del regime delle piogge intense di questi ultimi 20 anni pone la necessità di una maggiore attenzione nei riguardi della sicurezza idraulica delle grandi dighe, evidenziando che vi sono delle porzioni del territorio italiano a maggiore vulnerabilità.

L'identificazione di possibili alterazioni nel regime di frequenza delle precipitazioni e, ancor di più, delle portate al colmo di piena, come anche l'interpretazione delle possibili cause alla base di dette alterazioni, costituiscono un problema centrale per l'analisi della sicurezza idrologica-idraulica delle grandi dighe italiane, progettate e realizzate in larga parte nella prima metà del secolo scorso, sulla base di informazioni idrologiche necessariamente datate e limitate nel tempo.

Nei prossimi 10 anni sarà necessario procedere ad un aggiornamento della verifica idrologico idraulica per le dighe che hanno avuto una rivalutazione intorno al 2005. Tuttavia, l'orientamento della D.G. Dighe sarà probabilmente quello di procedere puntualmente e non in modo sistematico come fatto nel passato, nella richiesta di tali studi.

Negli anni '90 il Progetto VA.PI. sulla Valutazione delle Piene in Italia, promosso dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha prodotto dei rapporti idrologici condivisi ed ha costituito un importante riferimento nell'ambito delle verifiche idrologiche delle dighe. In tal senso è auspicabile un aggiornamento del progetto VA.PI., in quanto ad oggi i vari rapporti VA.PI. sono basati su dati fermi agli anni '80 o '90. In tal modo oltre all'aggiornamento dei dati e delle metodologie di analisi idrologica, si otterrebbe una omogeneizzazione dell'analisi idrologica su bacini interregionali, penalizzati dalla riforma del S.I.M.N. (Servizio Idrografico Mareografico Nazionale) che ha comportato, per le problematiche di interesse di questa D.G. Dighe, insoddisfacente risposta negli strumenti di pianificazione territoriale delle Autorità di Bacino.

Gli studi di rivalutazione idraulica hanno dato luogo a numerosi interventi di miglioramento per l'incremento della capacità di scarico e/o del franco idraulico. Al riguardo è da evidenziare che la tempistica per la realizzazione di questi interventi (mediamente 10 anni) è troppo lunga. L'iter approvativo di un progetto di miglioramento idraulico è spesso subordinato e rallentato da pareri e prescrizioni di altri Enti, laddove il tema della sicurezza della diga dovrebbe essere prioritario e prevalente rispetto ad altre legittime istanze.



Diga del Turano.



Diga di Scais.



Armando Brath, Simone Persiano, Alessio Domeneghetti, Attilio Castellarin*

CONSIDERAZIONI SULLA STIMA DELLA PORTATA DI PROGETTO IN ITALIA

ON THE ESTIMATION OF THE DESIGN FLOOD IN ITALY

Con riferimento ad un'ampia porzione dell'Italia centrosettentrionale, comprendente il Triveneto, l'Emilia-Romagna e le Marche, si prende in esame la procedura VAPI, considerata tuttora il riferimento nazionale per la stima della portata di progetto, con l'obiettivo di verificarne attendibilità e attualità anche alla luce degli ultimi quarant'anni e più di osservazioni, non considerati nella messa a punto della procedura stessa. Gli esiti di una recente attività di aggiornamento dell'archivio dei massimi annuali delle portate al colmo di piena, per l'area in esame, hanno evidenziato infatti la disponibilità di una consistente mole di dati idrometrici relativi agli ultimi decenni, nonostante si sia assistito nello stesso arco temporale ad una progressiva riduzione del numero di stazioni di misura attive. Le analisi eseguite hanno messo in luce come le distribuzioni di frequenza regionali proposte nei Rapporti VAPI abbiano livelli di attendibilità molto variabili e spesso insoddisfacenti, il che porta a raccomandare un sistematico aggiornamento della procedura di riferimento per la stima della portata di progetto. Parallelamente, la nota evidenzia la ormai indifferibile necessità di potenziare l'esistente rete di monitoraggio delle portate; obiettivo da conseguirsi non solo con l'installazione di nuovi sensori idrometrici ma soprattutto implementando sistematiche attività di manutenzione e aggiornamento delle scale di deflusso delle stazioni esistenti, nonché analisi post-evento per la validazione del dato, necessarie per pervenire ad un'affidabile stima della portata al colmo massima annuale, oggi condotte solo per un numero molto marginale di sezioni osservate. In questo contesto, la ricostruzione degli eventi di piena in ingresso all'invaso delle grandi dighe italiane, avviata da una recente disposizione dell'autorità competente, potrebbe portare, in tempi relativamente rapidi, a un consistente incremento del patrimonio nazionale di dati storici di portata disponibili.

1. INTRODUZIONE

Il territorio italiano, in virtù della favorevole conformazione orografica, conta la presenza di oltre 9000 sbarramenti artificiali, 532 dei quali sono classificati come grandi dighe secondo quanto previsto dalla Legge 584/1994 (c.d. sbarramenti che superano i 15 metri di altezza o determinano un volume di invaso superiore al milione di metri cubi). Alle grandi dighe compete un ruolo strategico, legato ai diversi usi, anche multipli, ai quali esse sono destinate: oltre agli usi legati alla regolazione dei deflussi per la produzione di energia idroelettrica e l'approvvigionamento idrico per usi idropotabili, irrigui ed industriali, esse possono contribuire efficacemente alla laminazione delle piene, determinando un abbattimento dei colmi di piena in transito a valle dell'invaso. Tali manufatti costituiscono dunque un patrimonio infrastrutturale da gestire e conservare in maniera ottimale e in sicurezza. La vigilanza sulla costruzione e sull'esercizio delle grandi dighe italiane compete oggi giorno alla Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche (DG Dighe) del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT), che deve confrontarsi con l'età avanzata (pari in media a circa 65 anni) delle grandi dighe attualmente in esercizio.

Si tratta di manufatti progettati e realizzati in larga parte nella prima metà del secolo scorso, sulla base di informazioni idrologiche necessariamente datate e limitate nel tempo. In tal senso, appare raccomandabile una periodica rivalutazione della sicurezza idrologico-idraulica delle grandi dighe, da eseguirsi impiegando le tecniche più avanzate e i più recenti dati disponibili, attività peraltro prevista dalla normativa vigente come di seguito indicato. Tale necessità appare ancor più rilevante alla luce della crescente preoccupazione nei confronti dei possibili effetti del cambiamento climatico-ambientale sul regime di frequenza degli eventi di piena (v. ad es. *EEA*, 2005; *Merz et al.*, 2007; *Wilby et al.*, 2008; *Fowler e Wilby*, 2010; *Guha-Sapir et al.*, 2016). In tal senso, proprio gli ambienti montani, alpini e appenninici, dove si colloca la maggior parte delle grandi dighe, rappresentano un contesto particolarmente sensibile, specie con riferimento all'arco alpino (v. *Schmocker-Fackel e Naef*, 2010 a,b; *Allamano et al.*, 2009; *Beniston*, 2012; *Castellarin e Pistocchi*, 2012; *Bocchiola*, 2014), sebbene in talune zone le indicazioni di alterazione non siano univoche (v. ad es. *Persiano et al.*, 2018) e non sia da trascurare l'influenza di

*Dipartimento DICAM, Università di Bologna, Viale del Risorgimento 2, 40129, Bologna. Email: armando.brath@unibo.it





fattori di origine antropica (v. ad es. *Villarini et al.*, 2010). In merito alla rivalutazione della sicurezza idrologico-idraulica delle grandi dighe, l'art.4 del D.L. 79/04, convertito con L. n.139/04, ha disposto l'individuazione, da parte del Registro Italiano Dighe (RID), delle grandi dighe da sottoporre a verifica idraulica in conseguenza dei ridotti franchi di sicurezza; verifica da eseguirsi a cura del concessionario dell'opera e da approvare da parte del RID, con poteri per quest'ultimo di prescrivere la redazione di un progetto di interventi per l'incremento delle condizioni di sicurezza delle opere, ove ciò sia ritenuto necessario. Con la soppressione del RID, le competenze sono passate alla già menzionata DG Dighe del MIT, che ha opportunamente disposto la rivalutazione sistematica della sicurezza idraulica delle grandi dighe italiane sulla base dei principi generali indicati nella circolare n.3199/RID del 6/4/05 e secondo le procedure di cui alla direttiva n.6729/RID del 24/9/07. Successivamente, il D.L. 201/11 convertito con L. 214/11 al c.7 dell'art.43 ha previsto l'individuazione, con relativo ordine di priorità, delle grandi dighe per le quali siano necessari interventi di adeguamento o miglioramento delle condizioni di sicurezza, anche sulla base delle rivalutazioni idrologico-idrauliche di cui all'art.4 del D.L. 79/04. Per le grandi dighe, il Decreto Ministeriale 26 giugno 2014 "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" prevede che "gli scarichi di superficie della diga devono essere dimensionati per l'onda con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno di 1000 anni, per le dighe in calcestruzzo, e di 3000 anni per le dighe di materiali sciolti, tenendo conto dell'effetto di laminazione esercitato dal serbatoio". Inoltre, per le dighe esistenti, "è fatto obbligo di procedere almeno ad interventi di miglioramento idraulico [...] se il tempo di ritorno della portata di piena scaricabile rispettando il franco idraulico [...] risulti inferiore a 500 anni per le dighe di calcestruzzo e a 1000 anni per le dighe di materiali sciolti".

L'ottenimento di stime affidabili per portate aventi tempi di ritorno dell'ordine di quelli prescritti dalla normativa richiederebbe una disponibilità di dati molto ampia; prendendo a riferimento la portata millenaria, la stima necessiterebbe della disponibilità di un numero di dati di portata al colmo massima annua (almeno 500 dati secondo *Cunnane*, 1987; almeno 5000 dati secondo la più recente e restrittiva 5T rule, proposta da *Jakob et al.*, 1999) che supera abbondantemente la numerosità dei campioni normalmente disponibili nelle sezioni di misura. Per questo motivo, si ricorre all'analisi regionale di frequenza delle piene, con la quale si elaborano dati di portata di piena di bacini strumentati idrologicamente simili al bacino di interesse (v. ad es. *Hosking e Wallis*, 1993, 1997).

L'unica tecnica ad oggi disponibile per la stima su base regionale della portata di progetto che sia stata sviluppata per l'intero territorio nazionale è la cosiddetta Procedura VAPI, introdotta dal Progetto speciale Valutazione delle Piene (o Va.Pi.), promosso negli anni '90 dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Il VAPI, studiando il territorio nazionale con riferimento ai compartimenti dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), ciascuno trattato indipendentemente dagli altri, ha sviluppato modelli regionali basati su una variante gerarchica del metodo della piena indice (v. *Dalrymple*, 1960) e su serie di massimi annuali (Annual Maximum Series, AMS) di portate al colmo di piena rilevate in molti casi soltanto fino al 1970 o al più agli anni '80 (v. ad es. *Brath e Franchini*, 1997). A seconda degli specifici compartimenti, è stato adottato il modello probabilistico a doppia componente TCEV (Two Component Extreme Value; v. *Rossi et al.*, 1984) oppure la distribuzione GEV (Generalized Extreme Value).

In esito alla presentazione degli studi di rivalutazione idrologico-idraulica da parte dei Concessionari o dei Gestori, constatata la notevole diversificazione degli approcci impiegati e la carenza di alcune impostazioni metodologiche, la DG Dighe ha ritenuto di attivare una Convenzione di ricerca con quattro università italiane con l'obiettivo di uniformare le procedure di stima ed aggiornarle allo stato dell'arte della ricerca specialistica; tra queste, l'Università di Bologna ha preso in esame le aree delle Alpi Orientali e dell'Appennino Settentrionale (v. ad es. *DICAM*, 2015). Il presente studio espone le principali risultanze di tale attività di ricerca, con particolare riferimento a due aspetti essenziali: (1) la disponibilità di dati di portata di piena massima annua negli ultimi decenni, (2) la verifica della attendibilità e attualità del VAPI per le aree in esame alla luce di un data-base aggiornato con i dati più recenti (v. anche *Persiano et al.*, 2018, per un focus più specifico sulla zona delle Alpi Orientali).

2. ARCHIVIO DEI DATI DI PORTATA: CONSISTENZA STORICA ED ATTUALE

Le attività di analisi condotte hanno preso in esame la porzione di Alpi Orientali ricadente nel Triveneto (corrispondente alle Regioni Veneto e Friuli-Venezia Giulia e alle Province Autonome di Bolzano e Trento) e la porzione di Appennino Settentrionale compresa nelle Regioni Emilia-Romagna e Marche. Per quanto concerne la stima della portata di progetto, la procedura VAPI di riferimento per il Triveneto è contenuta nel Rapporto relativo al compartimento SIMN di Venezia (v. *Villi e Bacchi*, 2001), mentre la zona dell'Appennino Settentrionale ricade nel territorio analizzato nei Rapporti VAPI relativi ai compartimenti SIMN di Bologna (v. *Franchini e Galeati*, 1996) e di Parma (sotto-regioni Parma 3 e Parma 4; v. *Brath et al.*, 1995 e 1997). I dati di portata al colmo di piena utilizzati nelle applicazioni del Progetto VAPI, a meno di specifiche integrazioni effettuate sulla base di ulteriori misure ed elaborazioni, sono stati tratti dalla Pubblicazione N. 17 del SIMN, che copre il periodo 1917-1970. In questa sede, al fine di verificare l'attendibilità degli strumenti messi a punto dal Progetto VAPI per la valutazione delle piene di progetto, è stato operato un complesso ed oneroso lavoro preliminare di aggiornamento sistematico delle serie degli e-



stremi idrometrici, in modo da includere le osservazioni di portata rese disponibili negli ultimi quattro decenni. La prima fase delle attività è stata dunque dedicata alla predisposizione di un data-base storico affidabile e aggiornato che contenesse le portate al colmo massime annuali per le stazioni ricadenti nelle aree di studio. L'integrazione dei dati idrologici ha previsto sia un'estensione oltre il 1970 delle serie di stazioni già presenti nell'archivio VAPI, laddove per dette stazioni risultassero disponibili dati più recenti, sia l'introduzione di serie di stazioni idrometriche precedentemente non considerate. Nello specifico, in aggiunta alla Pubblicazione N. 17 del SIMN (che ad oggi rappresenta l'unico esempio di catalogo sistematico dei dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani), i dati idrologici ai quali si è fatto riferimento sono principalmente quelli raccolti e pubblicati sistematicamente dal 1920 negli Annali Idrologici, editi un tempo dal SIMN ed oggi dalle ARPA regionali sotto il coordinamento dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Per poter completare nel migliore dei modi la ricerca dei dati necessari, si è inoltre fatto ricorso a serie di portata disponibili presso altri enti ed istituzioni, quali ARPA Emilia-Romagna e Protezione Civile della Regione Marche (c.d. Annali pubblicati dal 2005 al 2009). Allo scopo di rendere l'aggiornamento della base dati il più completo e capillare possibile, si è inoltre fatto riferimento alle relazioni tecniche prodotte dai Gestori degli invasi artificiali, che talvolta riportano gli idrogrammi delle principali piene in ingresso all'invaso, ricostruiti mediante operazioni di delaminazione delle portate scaricate sulla base di misure di livello all'invaso. Occorre tenere ben presente che Annali Idrologici e Pubblicazione N. 17, essendo validati e pubblicati dalle autorità competenti, hanno carattere ufficiale; pertanto, in presenza di sovrapposizioni con dati provenienti da altre fonti, si è fatto riferimento ai dati in essi contenuti. Operando in tal modo, è stato possibile assemblare un data-base dettagliato di serie AMS di portate al colmo di piena per entrambe le aree di studio. Per quanto concerne la zona delle Alpi Orientali (c.d. Triveneto; v. *Figura 1a*), le serie si riferiscono a 76 sezioni fluviali e hanno lunghezze minima, media e massima pari rispettivamente a 5, 32 e 87 anni, per un totale di 2433 valori di portata al colmo massima annuale, a coprire complessivamente il periodo dal 1913 al 2013. Relativamente agli Appennini Settentrionali (v. *Figura 1c*), il data-base si estende complessivamente dal 1920 al 2014 e riguarda 62 sezioni fluviali, con serie di lunghezze minima, media e massima rispettivamente di 5, 28 e 89 anni, per un totale di 1731 valori. La consistenza della base dati costruita in questa sede è illustrata nelle *Figure 1b e 1d*, che riportano gli istogrammi di frequenza del numero di valori massimi an-

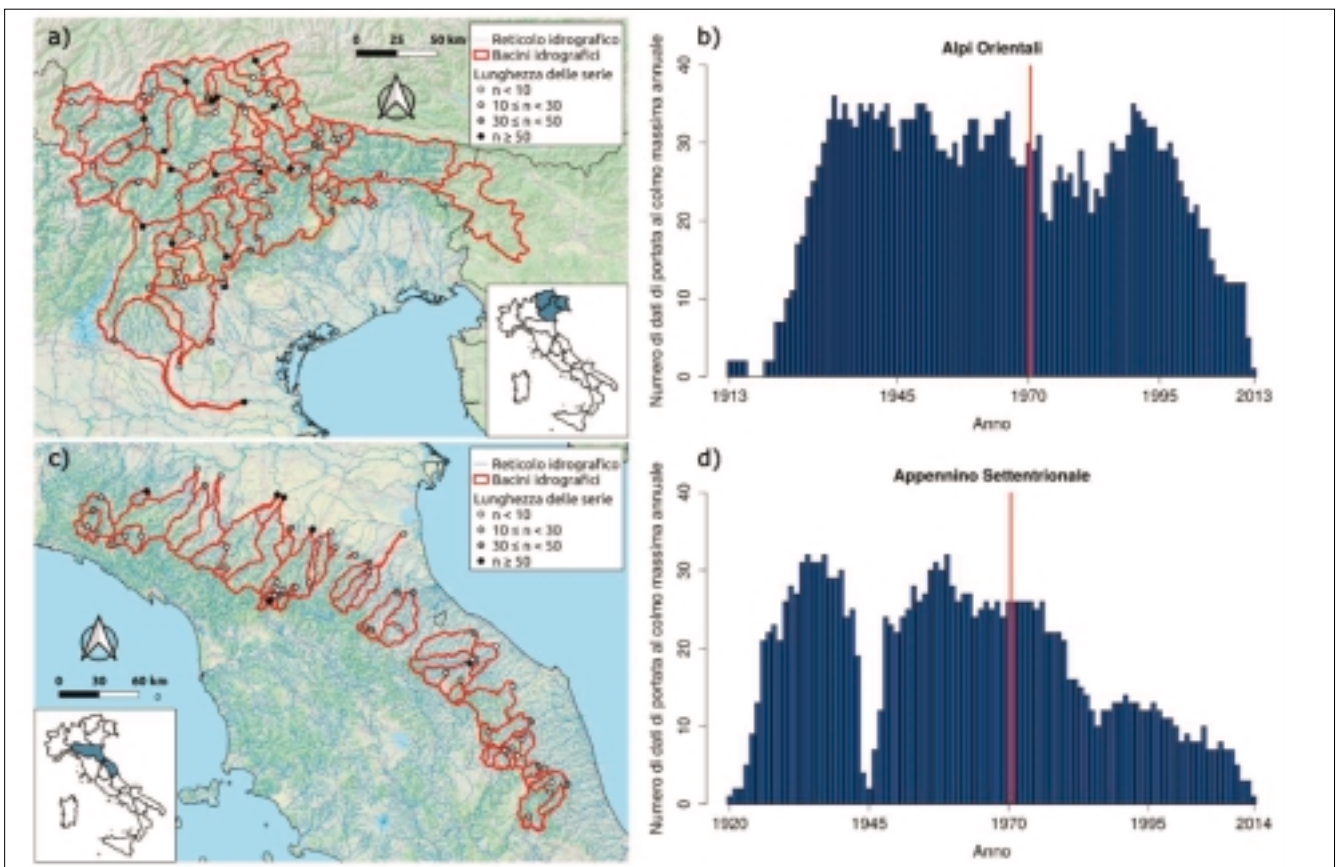


Figura 1 - a), c) Stazioni di misura (punti a diversa tonalità di grigio in funzione della lunghezza delle serie, v. legenda) considerate rispettivamente per le zone di Alpi Orientali e Appennino Settentrionale; i contorni dei bacini idrografici sottesi sono rappresentati in rosso. b), d) Istogrammi di frequenza dei massimi annuali di portata al colmo di piena per le zone di Alpi Orientali e Appennino Settentrionale; la linea verticale rossa evidenzia l'orizzonte temporale (anno 1970) dei dati utilizzati per la redazione del Progetto VAPI.



nuali delle portate al colmo raccolti per le rispettive aree di studio; la linea verticale rappresentata in rosso rende più evidente l'importante aggiornamento operato relativamente al periodo successivo al 1970, non incluso nella Pubblicazione N. 17 del SIMN e considerato solo in misura molto parziale nell'ambito dei diversi rapporti VAPI, dando ulteriore giustificazione alla necessità di valutare attendibilità e attualità della procedura di riferimento.

L'andamento nel tempo della disponibilità annuale di osservazioni di portata al colmo massima, e dunque del numero di stazioni idrometriche funzionanti, nelle aree oggetto di studio è evidenziato nelle Figure 1b e 1d: al netto incremento di stazioni di misura disponibili avvenuto nel secondo e terzo decennio del secolo scorso, è seguito un calo in corrispondenza della Seconda Guerra Mondiale (più evidente nella zona dell'Appennino Settentrionale), in seguito al quale si osserva una stabilizzazione su valori che oscillano tra le 20 e le 35 serie per anno in entrambe le aree. Invece, dal 1970 in avanti, ovvero nel periodo successivo a quello coperto dalla Pubblicazione N. 17 del SIMN, si osserva il declino del numero di serie di portata disponibili, in particolar modo nell'area dell'Appennino Settentrionale. L'andamento osservato per le aree in esame riflette l'evoluzione temporale delle attività di misura di portata a scala nazionale. Infatti, dal 1950 al 2002 il numero di sezioni in cui il SIMN ha monitorato la portata risulta variabile e spazialmente disomogeneo: la *Tabella I* (v. anche *ISPRA, 2017*) evidenzia la drastica riduzione delle sezioni monitorate per i compartimenti SIMN di Venezia e Parma, di interesse nel presente studio (nessuna informazione è invece riportata da ISPRA per il compartimento di Bologna).

TABELLA I - Numero di sezioni di misura di portata pubblicate sugli Annali Idrologici del SIMN per i diversi compartimenti (v. ISPRA, 2017)

Compartimento	Superficie [km ²]	1951	1961	1971	1981	1991
Venezia	37 000	37	32	20	3	2
Parma	67 100	60	50	33	16	7
Bologna(*)	22 000	-	-	-	-	-
Pescara	13 200	20	25	27	10	16
Bari	20 000	10	10	19	20	18
Catanzaro	23 700	20	46	42	4	-
Napoli	19 300	32	26	24	16	15
Roma	23 600	19	15	17	4	4
Pisa	20 700	20	28	33	26	20
Genova	4 800	17	13	18	-	-
Palermo	25 700	6	25	23	43	34
Cagliari	24 100	20	19	16	-	-
Totale	301 200	261	289	272	142	116

(*) informazioni mancanti

Come è noto, con il D.Lgs. n. 112 del 31 marzo 1998 (c.d. Legge Bassanini) venne disposto il trasferimento delle competenze sul monitoraggio idrologico dallo Stato alle regioni; si è così avviata una riorganizzazione delle attività di misura delle portate e di definizione e manutenzione delle scale di deflusso, che, allo stato attuale, sono svolte prevalentemente dalle strutture regionali e provinciali che ricadono nella rete dei Centri Funzionali di Protezione Civile. Di fatto, presso tali strutture, la rete di misura idrometrica ha ormai assunto il prevalente obiettivo di protezione civile, per il quale il monitoraggio in tempo reale del livello idrometrico risulta di maggiore interesse rispetto alla misura della portata. Tale situazione ha determinato un quadro nel quale molte stazioni non sono dotate di scala di deflusso aggiornata, quando non ne sono completamente sprovviste. In tal senso, è opportuno notare come, delle 1276 stazioni di monitoraggio idrometrico censite da ISPRA nel 2016, quelle che forniscono effettivamente misure di portata sono soltanto 747, delle quali solo 621 sono dotate di scala di deflusso aggiornata (v. *ISPRA, 2017*). La distribuzione spaziale di queste ultime risulta peraltro molto disomogenea: come riportato da *ISPRA (2017)*, alcune regioni (ad es. la Campania), pur dotate di un elevato numero di stazioni idrometriche, non eseguono un aggiornamento sistematico delle scale di deflusso da molti anni e dunque non sono in grado di garantire valutazioni affidabili sulle portate di piena. Ancora più ridotto è poi il numero delle stazioni di misura per le quali vengono eseguiti bilanci idrologici ed elaborazioni di validazione del dato misurato, utili a rendere disponibile il dato della portata massima annuale osservata. Se la consistenza della rete di monitoraggio idrometrico nazionale oggi esistente appare accettabilmente adeguata ai fini dello svolgimento del servizio di piena e, in generale, per le esigenze di protezione civile, lo stesso non può certamente dirsi quando siano di inte-



resse dati utili ad effettuare elaborazioni statistiche finalizzate alla stima delle portate di assegnato tempo di ritorno, sulla cui attendibilità peraltro si basa il buon esito delle attività di pianificazione e progettazione di opere idrauliche di mitigazione del rischio e di quelle di mappatura delle aree inondabili.

In tale contesto, pare evidente la necessità di operare un consistente potenziamento della rete di misura delle portate dei corsi d'acqua italiani, non solo installando nuovi sensori idrometrici ma anche, e forse soprattutto, incrementando il numero di stazioni di misura dotate di scala di deflusso periodicamente aggiornata e dedicando maggiore attenzione e risorse alle attività di validazione post-evento del dato idrometrico e alla sua pubblicazione. Peraltro, nell'attuale contesto di crescente preoccupazione nei confronti dei possibili effetti del cambiamento climatico, occorre tener presente la significativa influenza di un singolo anno eccezionale sulla stima del regime di frequenza delle piene, e non può dunque prescindersi dal prendere in considerazione tali eventi (v. ad es. *Persiano et al.*, 2018). ISPRA (2017) ha stimato che, per dotare di scala di deflusso tutte le stazioni idrometriche ad oggi funzionanti, sarebbe necessario un investimento totale annuo di circa 4 milioni di euro; si tratta di una cifra molto modesta rispetto alla spesa nazionale media annualmente sostenuta per fare fronte ai danni derivanti dai fenomeni alluvionali e dalle frane, pari a circa 3.4 miliardi di euro, a rimarcare l'importanza di stanziare fondi sistemati per il rilancio delle attività di monitoraggio. In questa sede, preme sottolineare come le dighe esistenti costituiscono, almeno in linea di principio, i più affidabili misuratori delle onde di piena naturali dei corsi d'acqua intercettati, che possono essere valutate mediante la ricostruzione dell'evento di piena in ingresso all'invaso (c.d. procedura di delaminazione). Considerando i circa 65 anni di età media delle grandi dighe italiane, tali ricostruzioni consentirebbero di disporre di un consistente patrimonio di dati storici in tempi piuttosto rapidi. In tale ottica, la Circolare DG Dighe 13-12-2018 costituisce un importante passo nella giusta direzione, prevedendo l'obbligo per il Gestore di ricostruire, nelle asseverazioni semestrali, il più importante evento idrologico di ogni anno, in termini di onda di piena in ingresso all'invaso, oltre che uno o più eventi di piena significativi del quinquennio precedente.

3. VALUTAZIONE DELL'ATTENDIBILITÀ E DELLA VALIDITÀ DEL VAPI NELLE AREE DI STUDIO

Alla luce del consistente aggiornamento della base dati operato nella ricerca di cui si riferisce, che è stato sopra descritto, si è ritenuto ragionevole eseguire una verifica dell'attendibilità delle metodologie di stima della portata di massima piena messe a punto nell'ambito del Progetto VAPI per le zone delle Alpi Orientali e dell'Appennino Settentrionale. In via preliminare, al fine di valutare se alla luce dell'aggiornamento del data-base eseguito le ipotesi di delimitazione delle regioni omogenee adottate nel VAPI risultino plausibili, si è effettuata una comparazione grafica fra la curva di crescita teorica proposta dal VAPI per ciascuna regione omogenea e la distribuzione di frequenza campionaria dei dati di portata al colmo delle stazioni ricadenti nella regione stessa, registrati per tre diversi periodi: l'intero periodo di osservazione e, al fine di evidenziare il comportamento a seguito dell'introduzione dei dati più recenti, i due sotto-periodi fino al 1970 (PRE1970) e dopo il 1970 (POST1970). In particolare, per l'area delle Alpi Orientali si è fatto riferimento alla curva di crescita regionale TCEV proposta dal Rapporto VAPI Triveneto (c.d. compartimento SIMN di Venezia; v. *Villi e Bacchi*, 2001), mentre per gli Appennini Settentrionali si sono considerate le curve di crescita TCEV relative ai compartimenti SIMN di Bologna (c.d. Romagna e Marche; v. *Franchini e Galeati*, 1996), e alle sotto-regioni 3 e 4 del compartimento SIMN di Parma (c.d. Parma 3 e Parma 4; v. *Brath et al.*, 1995 e 1997). In questa sede, si è deciso di limitare il confronto (v. *Figura 2*) alle sole stazioni idrometriche dotate di almeno 10 anni di osservazioni, per un totale di 62 stazioni (2336 valori di portata al colmo massima annuale) per il compartimento di Venezia, 39 stazioni (1194 valori) per Bologna, 4 stazioni (100 valori) per Parma 3 e 11 stazioni (377 valori) per Parma 4.

Per quanto concerne il Triveneto, la *Figura 2a* mostra che, sia sull'intero periodo di osservazione che su quello precedente al 1970 (c.d. PRE1970), il campione regionale non viene rappresentato correttamente dalla curva di crescita TCEV. In merito al sotto-campione PRE1970, è bene sottolineare che, in virtù dell'aggiornamento operato nel presente studio, le serie di dati utilizzate in questa sede sono più estese rispetto a quelle disponibili in fase di redazione del VAPI (infatti, per lo stesso periodo di riferimento, sono state qui incluse serie storiche raccolte nell'ambito della ricerca, relative a sezioni fluviali non considerate nella stesura del VAPI, per lo più riguardanti dighe per le quali il Gestore ha ricostruito gli idrogrammi di piena in ingresso). Al contrario di quanto osservato per i due suddetti periodi, il campione regionale costituito dai dati più recenti (c.d. POST1970) mostra un buon accordo con la curva proposta dal VAPI, comportamento che può essere spiegato considerando che il campione relativo a tale periodo non contiene eventi di piena eccezionali (c.d. outlier), quali quelli che hanno investito il Triveneto nel 1966 (v. anche *Persiano et al.*, 2018) o nella recente tempesta Vaia dell'ottobre 2018. Per valutare l'eterogeneità associata ai campioni regionali corrispondenti ai tre periodi considerati, si è applicato il test di Hosking e Wallis (1993, 1997), che, sulla base degli L-momenti adimensionali, classifica l'omogeneità del raggruppamento in funzione del valore dell'indice di eterogeneità H_k (c.d. raggruppamenti sufficientemente omogenei per $H_k < 1$, possibilmente eterogenei per $1 \leq H_k < 2$ e assolutamente eterogenei per $H_k > 2$), ove k può assumere i valori 1, 2 o 3 a seconda dell'ordine degli L-momenti campionari considerati. In questa sede si sono presi a rife-

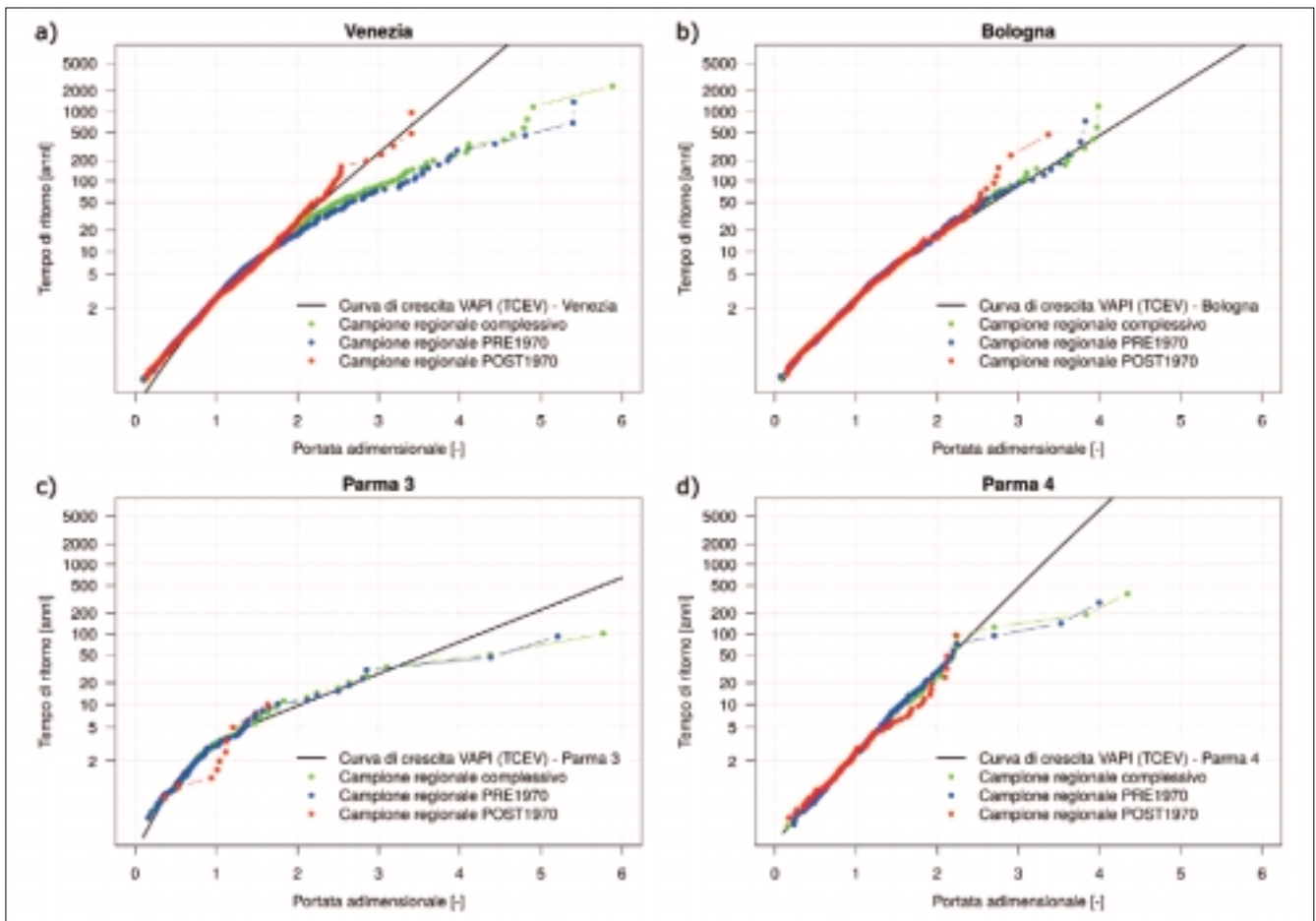


Figura 2 - Confronto tra la curva di crescita regionale fornita dal Progetto VAPI per i compartimenti di a) Venezia, b) Bologna, c) Parma 3, d) Parma 4 e le corrispondenti distribuzioni di frequenza campionarie regionali per l'intero periodo di osservazione e per i due sotto-periodi, precedente e successivo al 1970.

rimonto i valori di H1 (riferito all'L-coefficiente di variazione) e H2 (riferito alla somma degli L-coefficienti di variazione e di skewness), riconducibili rispettivamente al secondo e al primo livello di regionalizzazione gerarchica implementati nel VAPI.

I risultati dell'applicazione del test hanno evidenziato, per il Triveneto, un elevato grado di eterogeneità associato ai tre campioni regionali considerati per entrambi i livelli (v. *Tabella II*): H1 assume valori superiori a 9 per il caso del periodo di osservazione complessivo (v. anche *Persiano et al.*, 2018) e di quello POST1970 e superiore a 4 per il caso PRE1970; i valori di H2 riportati in *Tabella II* indicano eterogeneità anche al primo livello di regionalizzazione. Tali risultati costituiscono un'ulteriore conferma dell'opportunità di eseguire un aggiornamento della procedura di riferimento per la stima della frequenza delle piene nel Triveneto; in proposito, corre comunque l'obbligo di ricordare che gli stessi Autori del Rapporto VAPI di pertinenza (*Villi e Bacchi*, 2001), pur utilizzando ai fini operativi un'unica curva di crescita regionale, avevano riconosciuto che la regione appariva contraddistinta da un comportamento non del tutto omogeneo al proprio interno.

Per quanto concerne la zona dell'Appennino Settentrionale, nei pannelli b, c e d di *Figura 2* si riportano i confronti relativi rispettivamente ai compartimenti di Bologna, Parma 3 e Parma 4. Per il compartimento di Bologna (v. *Figura 2b*), si evidenzia la buona corrispondenza tra la curva VAPI e i campioni osservati per i periodi complessivo e PRE1970; per il periodo POST1970 la curva TCEV di riferimento risulta invece cautelativa in corrispondenza di valori di portata adimensionale superiori a 2, comportamento che potrebbe suggerire la possibilità di ritenere valida la curva nell'ottica di uno studio regionale che mantenga buoni margini di sicurezza. Per quanto riguarda la zona Parma 3 (v. *Figura 2c*), il comportamento della TCEV proposta dal VAPI risulta non ottimale con riferimento a tutti e tre i periodi considerati. Preme tuttavia sottolineare che tale zona risulta poco rappresentata all'interno del data-base predisposto in questa sede: mentre la curva TCEV di Parma 3 del VAPI è stata calibrata in base a tutti i bacini della omonima sotto-regione, il presente studio ha considerato soltanto i dati delle quattro sezioni ricadenti nel bacino idrografico del Trebbia (per un totale di soli 100 valori di portata al colmo massima annua), in quanto non è stata inclusa la porzione di Parma 3 ricadente al di fuori dell'area emiliano-romagnola. Infine, per la sotto-regione Parma 4 (v. *Figura 2d*), si evidenzia una buona corrispondenza tra curva

TCEV proposta dal VAPI e campione regionale fino a valori di portata inferiori al doppio di quella media, oltre i quali si osserva una anomalia per i periodi complessivo e PRE1970. Relativamente all'omogeneità dei rispettivi campioni regionali, i compartimenti di Bologna e Parma 4 risultano caratterizzati da buona omogeneità al primo livello di regionalizzazione (v. valori di H2 riportati in *Tabella II*), mentre al secondo livello si riscontra una eterogeneità marcata per i periodi complessivo ($H1 > 5$ per Bologna, $H1 > 2$ per Parma 4) e PRE1970 ($H1 > 3$ per Bologna, $H1 > 2$ per Parma 4), e più contenuta per il periodo POST1970 ($H1 < 2$ per Bologna e $H1 < 1$ per Parma 4), caratterizzato tuttavia da un limitato numero di osservazioni disponibili per tali aree. Quest'ultima considerazione spiega anche i bassi valori di eterogeneità osservati per il Parma 3 ($H1$ e $H2$ inferiori all'unità per tutti i periodi considerati; si sottolinea che, relativamente al periodo POST1970, non si riportano i valori di eterogeneità per il Parma 3 in quanto per tale periodo si ha una sola serie con almeno 10 anni di dati).

Tabella II - Valori degli indici di eterogeneità H1 e H2 di Hosking e Wallis (1993, 1997) associati ai campioni regionali predisposti in questa sede per i diversi compartimenti e sotto-periodi considerati.

Compartimento	Complessivo		PRE1970		POST1970	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
Venezia	9.8	5.3	4.4	2.7	9.9	3.1
Bologna	5.2	-0.1	3.7	-0.4	1.3	-0.4
Parma 3	-0.1	-0.4	-0.1	-0.3	-	-
Parma 4	2.4	0.7	2.6	1.2	0.7	0.0

La limitata omogeneità del regime di frequenza delle portate massime annuali al colmo di piena nelle regioni omogenee identificate nell'ambito del Progetto VAPI, con particolare riferimento ai compartimenti di Venezia, Bologna e Parma 4, evidenzia come la rappresentatività delle curve proposte per dette regioni possa essere modesta e suggerisce dunque la

necessità di procedere per tali aree ad un aggiornamento della procedura di riferimento per la stima della frequenza delle piene. In tal senso, all'interno della Convenzione di ricerca svolta con la DG Dighe, si è testato e applicato l'approccio della regione di influenza (Region of Influence, RoI, v. *Burn*, 1990; *Zrinji e Burn*, 1996; *Castellarin et al.*, 2001), il quale sostituisce all'idea di regione omogenea geograficamente identificabile (adottata anche nel Progetto VAPI) quella più generale di raggruppamenti omogenei di bacini aventi comportamento idrologico simile tra loro, che possono o meno essere geograficamente vicini gli uni con gli altri. Per il sito di interesse, l'approccio RoI porta ad identificare gruppi omogenei di stazioni idrometriche sulla base di informazioni in termini di descrittori climatici e geomorfologici del bacino sotteso, che risultano influenzare fortemente il regime di frequenza delle piene (ad es. area drenante del bacino idrografico sotteso, precipitazione media annua, quota media e minima, posizione del bacino; v. anche *Persiano et al.*, 2018).

L'applicazione del RoI per la stima della portata millenaria in corrispondenza di 41 grandi dighe nelle aree in esame (25 nelle Alpi Orientali, 16 nell'Appennino Settentrionale) ha mostrato significativi vantaggi dell'approccio RoI in termini di omogeneità dei raggruppamenti regionali identificati (per giungere ad una stima attendibile della portata millenaria secondo quanto proposto da *Cunnane*, 1987, sono stati considerati raggruppamenti composti da almeno 500 anni di osservazioni). L'applicazione dell'approccio RoI ai 25 casi analizzati in Triveneto ha condotto all'identificazione di raggruppamenti omogenei con valori di eterogeneità H1 compresi tra 0.76 e 2.41, decisamente inferiori rispetto al valore rilevato per l'intero campione del Triveneto (c.d. $H1 > 8$; per una descrizione più dettagliata dell'applicazione del RoI all'area del Triveneto, si rimanda a *Persiano et al.*, 2018). Detti raggruppamenti sono stati identificati quantificando l'affinità idrologica dei bacini in termini di area drenante del bacino, precipitazione media annua, quota media e minima, posizione del bacino (c.d. latitudine e longitudine del baricentro del bacino). Un analogo comportamento è stato osservato anche per i 16 casi analizzati nella zona dell'Appennino Settentrionale, per la quale analoghe applicazioni del RoI hanno condotto a raggruppamenti regionali caratterizzati da valori di H1 compresi tra 0.17 e 1.92, inferiori sia rispetto ai valori calcolati per i campioni regionali di Bologna e Parma 4 (rispettivamente $H1 > 5$ e $H1 > 2$) sia rispetto all'intero campione associato ad Emilia-Romagna e Marche (per il quale H1 è prossimo a 6).

A titolo d'esempio, in *Figura 3* si riporta il confronto tra distribuzione di frequenza campionaria locale e le curve di crescita dimensionali VAPI e RoI per due casi analizzati nell'ambito della Convenzione di ricerca con la DG Dighe del MIT: la diga di Pieve di Cadore (in Triveneto; v. *Figura 3a*) e la diga di Mignano (in Emilia-Romagna; v. *Figura 3b*). Relativamente alla diga di Pieve di Cadore (area del bacino sotteso pari a 818 km²; v. anche *Persiano et al.*, 2018), è disponibile una serie AMS di 49 anni (dal 1951 al 1999; ottenuta a partire dalle serie di portata alimentanti l'invaso artificiale), il cui valore medio (287 m³/s) costituisce la portata indice considerata. Il campione RoI associato include 16 bacini, per un totale di 555 osservazioni (che consentono di ottenere una stima attendibile del quantile millenario secondo *Cunnane*, 1987, o centennale secondo la 5T rule di *Jakob et al.*, 1999). Per la diga di Mignano (area del bacino sotteso pari a 90 km²), è disponibile una serie AMS di 75 valori (ricostruiti in *Brath*, 2012) nel periodo 1934-2011, cui è associata una portata indice di 101.4 m³/s; il campione

RoI è costituito da 19 bacini, per un totale di 518 osservazioni. In entrambi i casi, oltre al significativo vantaggio dell'approccio RoI in termini di omogeneità ($H1 \approx 1.48$ e $H2 \approx 0.98$ per Pieve di Cadore; $H1 \approx 1.36$ e $H2 \approx 0.01$ per Mignano), si osserva la maggiore rappresentatività della curva di crescita RoI nei confronti del campione osservato localmente presso il sito di interesse.

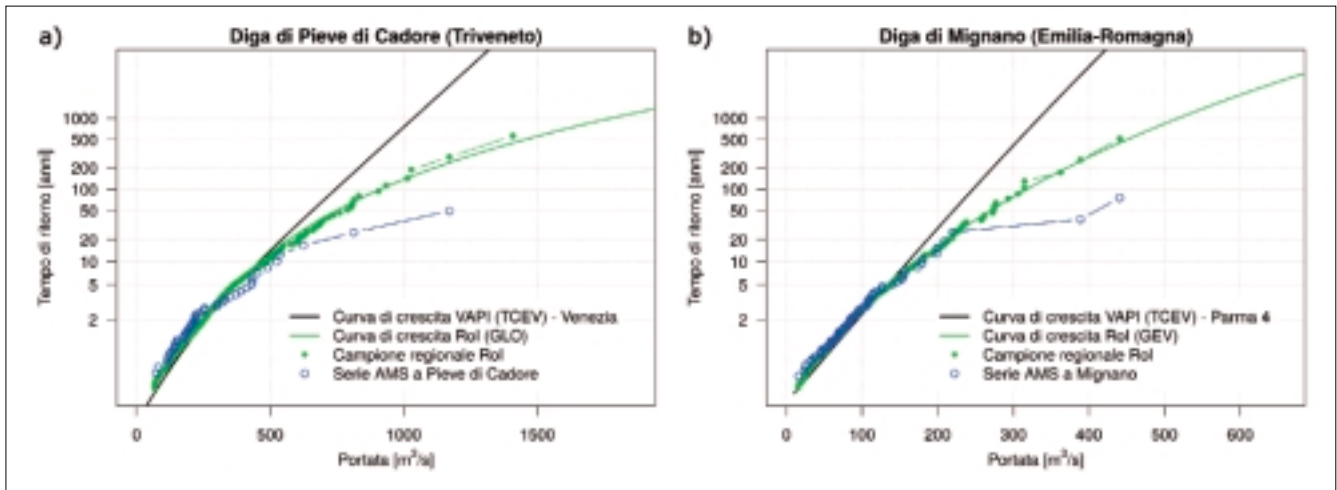


Figura 3 - Confronto, per le dighe di a) Pieve di Cadore (in Triveneto) e b) Mignano (in Emilia-Romagna), tra la curva di crescita regionale fornita dal Progetto VAPI (curva in nero) e le corrispondenti distribuzioni di frequenza campionarie locale (in blu) e regionale RoI (punti in verde; la curva in verde rappresenta il corrispondente modello teorico, scelto mediante applicazione dell'approccio di Hosking e Wallis, 1993, 1997; GLO e GEV indicano rispettivamente le distribuzioni Generalized Logistic e Generalized Extreme Value).

Tali evidenze mettono in chiara luce, almeno per aree in esame, l'opportunità di avviare un sistematico aggiornamento della procedura di riferimento per la stima della portata di progetto che tenga in considerazione e valorizzi la disponibilità dei dati di portata più recenti. In tale contesto, sarebbe opportuno valutare il ricorso ad approcci che tengono conto dell'influenza dei descrittori geomorfoclimatici sul regime di frequenza delle piene a scala regionale, quali l'approccio RoI (v. ad. es. Burn, 1990).

4. CONCLUSIONI

La ricerca di cui si riferisce nella presente memoria ha preso in esame le aree delle Alpi Orientali e dell'Appennino Settentrionale, caratterizzate dalla presenza di numerose grandi dighe, per le quali da tempo la DG Dighe del MIT ha avviato sistematiche attività di revisione degli studi di rivalutazione idrologico-idraulica. Tali studi prevedono l'aggiornamento della valutazione della portata di piena di progetto, attività che appare estremamente opportuna, alla luce sia della vetustà del patrimonio infrastrutturale che della odierna crescente preoccupazione nei confronti degli effetti futuri dei cambiamenti climatici sulle piene.

Dato che la procedura di riferimento per la stima della portata di progetto in Italia (c.d. procedura VAPI) è basata su dati di portata al colmo di piena rilevati soltanto fino al 1970 (o al più, in qualche caso, agli anni '80), il presente studio si è concentrato innanzitutto sulla verifica dell'attendibilità e dell'attualità del VAPI per le aree in esame. Ciò sulla base di un data-base appositamente aggiornato, grazie alla raccolta sistematica dei dati di portata di piena massima annua degli ultimi decenni, che ha portato ad ottenere un totale di 76 serie AMS di portate al colmo di piena relative per la zona delle Alpi Orientali (Triveneto; periodo 1913-2013) e di 62 serie per la zona dell'Appennino Settentrionale (Emilia-Romagna e Marche; periodo 1920-2014).

Tale aggiornamento ha reso palese la consistente mole di dati resisi disponibili negli ultimi decenni (con particolare riferimento al periodo successivo al 1970, generalmente non considerato nell'ambito del Progetto VAPI), dando ulteriore conferma della necessità di eseguire almeno una valutazione di attendibilità della procedura di riferimento in ambito nazionale (appunto il VAPI) e, se possibile, di attualizzarla e aggiornarla.

Ciò nonostante il fatto che gli ultimi decenni siano stati caratterizzati, per le zone di interesse (in particolar modo nell'area dell'Appennino Settentrionale), da una progressiva riduzione del numero di serie idrometriche osservate, utili per gli scopi di valutazione delle portate di piena di assegnato tempo di ritorno. Tale andamento riflette peraltro ciò che avviene per il complesso della rete di osservazione idrometrica nazionale, ormai prevalentemente orientata all'obiettivo di protezione civile, e dunque sostanzialmente al monitoraggio in tempo reale del livello idrometrico, più che alla stima dei valori di portata e alla valutazione dei massimi annuali di quest'ultima, operazioni per le quali sarebbe necessario provvedere ad un costante aggiornamento delle scale di deflusso e all'esecuzione nel tempo differito, post-evento, di specifiche attività di validazione del dato osservato.

Le analisi eseguite nel presente studio hanno inoltre evidenziato la scarsa rappresentatività delle curve di crescita regionali proposte dai rapporti VAPI per le aree di studio analizzate (Triveneto, Emilia-Romagna e Marche), sia in termini di accordo con il campione regionale delle osservazioni aggiornate sia in termini di effettiva omogeneità idrologica dei campioni regionali, requisito fondamentale per pervenire a stime regionali delle portate di piena sufficientemente affidabili. Anche per tale ragione, si raccomanda un aggiornamento della procedura VAPI per la stima della portata di progetto, possibilmente adottando procedure analoghe all'approccio RoI (v. ad es. *Burn*, 1990), che, tenendo in considerazione l'influenza di fattori climatici e topografici sul regime di frequenza delle piene a scala regionale, consentono di delineare raggruppamenti di bacini caratterizzati da un buon grado di omogeneità.

Prima a questo punto ribadire come l'aggiornamento del VAPI dovrebbe avvenire in un quadro generale che, assieme alla presa in esame di tecniche regionali precedentemente non considerate, non dovrebbe prescindere da un sistematico aggiornamento preventivo delle serie storiche analizzate, effettuato in base ad una complessiva ricognizione dei dati idrometrici disponibili, aggiornati all'attualità. Questa attività potrebbe anche essere l'occasione per richiamare l'attenzione dei decisori sulla indifferibile necessità del potenziamento dell'esistente rete di monitoraggio delle portate. In tal senso, sarebbe auspicabile lo stanziamento di fondi sistematici per il rilancio delle attività di monitoraggio, non solo in termini di installazione di nuovi sensori idrometrici ma anche, e forse soprattutto, in termini di messa in atto di sistematiche attività di manutenzione e aggiornamento delle scale di deflusso delle stazioni esistenti, nonché di esecuzione di quel complesso di operazioni di validazione post-evento del dato, necessarie per pervenire alla stima della portata al colmo massima annuale.

In questo contesto, non è da trascurare il contributo alla costituzione della base dati che può derivare dalla ricostruzione degli eventi di piena in ingresso all'invaso delle grandi dighe italiane, operazione certamente complessa, ma grazie alla quale, considerato che l'età media delle dighe italiane è di circa 65 anni, si potrebbe disporre di un consistente patrimonio di dati storici di portata, in tempi relativamente rapidi.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Allamano P., Claps P., Laio F.**, 2009. *Global warming increases flood risk in mountainous areas*. Geophysical Research Letters.
- Beniston M.**, 2012. *Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps*. Journal of Hydrology, 412-413, 291-296.
- Bocchiola D.**, 2014. *Long term (1921-2011) hydrological regime of Alpine catchments in Northern Italy*. Adv. Water Resour., 70, 51-64.
- Brath A.**, 2012. *Studio delle attuali condizioni di rischio idraulico del torrente Arda dalla Diga di Mignano alla confluenza in Po*. Per conto di AIPo (Agenzia Interregionale per il fiume Po).
- Brath A., De Michele C., Galeati G., Rosso R.**, 1997. *Una metodologia per l'identificazione di regioni omogenee nel regime di piena*. L'Acqua, Vol. 1.
- Brath A., De Michele C., Rosso R.**, 1995. *Metodologie di valutazione del rischio idrologico nei corsi d'acqua padani e liguri, con particolare riferimento alla stima della piena indice*, Rapporto interno, Politecnico di Milano.
- Brath A., Franchini M.**, 1997. *La valutazione regionale del rischio di piena con il metodo della portata indice*, in "La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati", edito a cura di Maione U. e Brath A., Atti del corso di aggiornamento, Politecnico di Milano, pp. 31-57, Ed. BIOS, 6-10 Ottobre 1997.
- Burn D.H.**, 1990. *Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach*. Water Resources Research, 26(10), 2257-2265.
- Castellarin A., Burn D.H., Brath A.**, 2001. *Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for regional flood frequency analysis*, Journal of Hydrology, 241(3-4), 270-285.
- Castellarin A., Pistocchi A.**, 2012. *An analysis of change in alpine annual maximum discharges: implications for the selection of design discharges*. Hydrological Processes, 26(10), 1517-1526.
- Cunnane C.**, 1987. *Review of statistical models for flood frequency estimation, Hydrologic frequency modeling* (a cura di Singh V.P.), 49-95.
- Dalrymple T.**, 1960. *Flood Frequency Analysis*. U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap., 1543-A.
- DICAM** – Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna, 2015. *Rapporto sintetico riguardante l'esame critico degli studi idrologici sui bacini delle Alpi Orientali e dell'Appennino Settentrionale - Secondi 10 casi significativi*, Convenzione di ricerca tra Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche) e DICAM; Responsabile scientifico: Brath A., Gruppo di lavoro: Castellarin A., Domeneghetti A., Persiano S.; Bologna, dicembre 2015.
- EEA** - European Environment Agency, 2005. *Vulnerability and Adaptation to Climate Change: Scoping Report*. EEA Tech. Report, Copenhagen, Denmark.





- Fowler H.J., Wilby R.L.**, 2010. *Detecting changes in seasonal precipitation extremes using regional climate model projections: Implications for managing fluvial flood risk*, Water Resour. Res., 46, W03525.
- Franchini M., Galeati G.**, 1996. *Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo per la regione Romagna-Marche*, L'Energia Elettrica, n.3, 1996.
- Guha-Sapir D., Below R., Hoyois P.**, 2016. *Annual Disaster Statistical Review 2015, database: "EM-DAT: The CRED/OFDA International Disaster Database"* – www.emdat.be, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- Hosking J.R.M., Wallis J.R.**, 1993. *Some statistics useful in regional frequency analysis*. Water Resources Research, 29(2), 271-281.
- Hosking J.R.M., Wallis J.R.**, 1997. *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press.
- ISPRA**, 2017. *Programma nazionale di misure di portata in corsi d'acqua finalizzate alla definizione della scala di deflusso. Valutazione tecnico-economica*. Aggiornamento novembre 2017. Tavolo Nazionale per i Servizi di Idrologia Operativa, Roma.
- Jakob D., Reed D.W., Robson A.J.**, 1999. *Choosing a pooling-group*. Flood Estimation Handbook, Vol. 3, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Merz B., Thieken A.H., Gocht M.**, 2007. *Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges*. In: Begum S., Stive M.J.F., Hall J.W. (eds) *Flood risk management in Europe: innovation in policy and practice*. Series: Advances in natural and technological hazards research, vol 25. Springer, Dordrecht, Chapter 13, 231-251.
- Persiano S., Domeneghetti A., Galeati G., Castellarin A., Brath A.**, 2018. *Influenza dei fattori climatici e topografici sul regime di frequenza delle piene nel Triveneto*, L'Acqua, n. 2.
- Rossi F., Fiorentino M., Versace P.**, 1984. *Two component extreme value distribution for flood frequency analysis*, Water Resources Research, 20(7), 847-856.
- Schmocker-Fackel P., Naef F.**, 2010a. *Changes in flood frequencies in Switzerland since 1500*, Hydrology and Earth System Sciences, 14(8), 1581-1594.
- Schmocker-Fackel P., Naef F.**, 2010b. *More frequent flooding? Changes in flood frequency in Switzerland since 1850*. Journal of hydrology 381, 1-8.
- Villi V., Bacchi B.**, 2001. *Valutazione delle piene nel Triveneto*. CNR-GNDICI (Italia), Padova-Brescia.
- Wilby R.L., Beven K.J., Reynard N.S.**, 2008. *Climate change and fluvial risk in the UK: more of the same?* Hydrol. Process. 22, 2511-2523.
- Zrinji Z., Burn D.H.**, 1996. *Regional flood frequency with Hierarchical Region of Influence*. Journal of Water Resources Planning and Management, 122 (August), 245-252.





Pierluigi Claps, Daniele Ganora*

AGGIORNAMENTO DELLE STIME IDROLOGICHE PER LA RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA IDRAULICA DELLE GRANDI DIGHE ITALIANE

UPDATING OF HYDROLOGICAL ESTIMATES FOR THE REVALUATION OF THE HYDRAULIC SAFETY OF LARGE ITALIAN DAMS

In ambito di sicurezza idraulica degli sbarramenti, ma anche in generale dei territori, i contributi scientifici degli ultimi anni tendono a consolidare le conoscenze e ad accrescere le sinergie tra metodi esistenti e nuovi dati piuttosto che a creare nuove metodologie. Si ricercano, da un lato, criteri per rendere concretamente applicabili le nozioni accreditate sull'incertezza delle stime statistiche puntando sul concetto di robustezza delle stime mentre, dall'altro, le indicazioni che si vanno consolidando sui trend climatici degli estremi impongono nuovi livelli di cautela sulle stime in regime stazionario precedentemente acquisite. Nello stesso tempo non viene trascurata la necessità di estrarre, dalle tante nuove informazioni derivanti dai sistemi automatici di misura, conoscenze (ad esempio su grandezze quali i volumi di piena ed i nubifragi estremi) finora dalla difficoltà di reperimento di cospicue basi di dati. Il quadro che viene offerto in questo lavoro è quindi ad un tempo incoraggiante, per i tanti nuovi dati a disposizione, e sfidante, per il gravoso impegno metodologico necessario affinché questi portino a nuove consapevolezze, tecnicamente fondate, sui livelli di sicurezza attualmente garantiti dalle opere idrauliche.

1. INTRODUZIONE

Nel processo di valutazione della sicurezza idraulica, sia essa relativa alle grandi opere idrauliche o a grandi porzioni di territorio, diversi fattori possono entrare in gioco con rilevanti effetti, prevalentemente legati al periodo in cui viene svolta la valutazione: la scelta delle metodologie di analisi, i dati disponibili in prossimità o sull'opera ed i dati disponibili su aree idrologicamente affini a, quella di interesse. Questo porta a dover considerare con molta attenzione le tempistiche di aggiornamento delle grandezze idrologiche di progetto. Lungi dal dover essere viste come onerose incombenze, soprattutto per le implicazioni amministrative, queste possono influenzare in modo decisivo la gestione delle opere. La Direttiva Europea 2007/60 indica in 6 anni la lunghezza di un ciclo completo di pianificazione. Sappiamo però che in Italia sono numerosissimi i casi in cui le stime di piene estreme al colmo vengono rivalutate con intervalli anche molto superiori ai 20 anni. In questa memoria si forniscono elementi che sono ritenuti utili a stimolare iniziative di rivalutazione delle stime più frequenti e caratterizzate da elevati livelli di standardizzazione, certamente necessari a garantire corrette transizioni amministrative tra valori di progetto vecchi e nuovi.

2. AGGIORNAMENTI SUI METODI SULLA ROBUSTEZZA DELLE STIME

Le stime di portate di progetto con periodi di ritorno elevati (es. superiori a 100 anni) sono inevitabilmente affette da elevati livelli di incertezza, riconducibili in particolare alla necessità di ottenere, dalle curve di distribuzione di probabilità, quantili relativi a probabilità di non superamento (da 0.99 in su) difficilmente riscontrabili tramite osservazioni dirette. In moltissimi casi le osservazioni sono del tutto assenti. Ne deriva una pletora di metodi di stima statistica riconducibili a diversi paradigmi metodologici, ma ognuno con fondamento teorico potenzialmente valido. Risulta pertanto improbabile pensare di poter selezionare un singolo metodo di stima "ottimale", da utilizzare in ogni situazione pratica. In questo ambito la letteratura scientifica sta evolvendo in maniera chiara verso una visione in cui si predilige l'utilizzo simultaneo di diversi modelli idrologici di stima piuttosto che la selezione del singolo 'miglior' modello (equipinalità dei modelli idrologici, v. *Okoli et al*, 2018). L'esito prevalente di questi approcci è quello di prediligere una stima ottenuta come valor medio (*model average*) tra quelle ottenute con i diversi modelli.

Nell'ambito di un'attività di collaborazione tra alcuni gruppi di ricerca e la Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, uno degli orientamenti emersi è descritto nel contributo di Claps et al., (2016a). Si è suggerita una procedura indirizzata a "misurare" la qualità

*Politecnico di Torino - pierluigi.claps@polito.it





delle stime delle portate di progetto tramite l'attribuzione di un punteggio (compreso tra 0 ed 1) ad ogni metodologia utilizzata, ed all'intera procedura quando la stima sia basata sull'uso di più metodi e relativa combinazione dei loro risultati. Punteggi bassi sono attribuiti a metodi a cui si associano alti livelli di incertezza, ad esempio perché i dati utilizzati sono poco numerosi, o perché i parametri, specie quelli locali, sono stimati in maniera inadeguata. Una conseguenza resa possibile dalla metrica di qualità così definita è quella di poter differenziare i livelli di incertezza commisurati al progetto idrologico in aree caratterizzate da una diversa densità di dati, consentendo di assumere possibili atteggiamenti prudentziali in regioni dove anche l'applicazione di metodi di elevata qualità non consente di ottenere stime affidabili, a causa della ridotta disponibilità di dati idrologici di partenza. Un criterio prudentiale potrebbe essere quello di assumere come valore di progetto il massimo (e non la media) tra le stime ottenute con diversi modelli, quando il punteggio non riesca a superare una soglia minima predefinita. Anche se la procedura è stata pensata per valutare la qualità di stime connesse alla valutazione della sicurezza idrologica delle dighe, con opportuni adattamenti può applicarsi a casi più generali ed a periodi di ritorno inferiori al valore standard di 1000 anni utilizzato nel citato lavoro di Claps et al. (2016a).

La procedura di attribuzione del punteggio a metodi di stima utilizzati in un progetto idrologico si basa sulla classificazione dei metodi e sulla quantità di dati in essi utilizzati. I punteggi specifici dei modelli sono assegnati sulla base dell'analisi di un gran numero di studi di analisi regionale delle piene realizzati in aree con bacini di montagna e, in particolare, con bacini chiusi da invasi artificiali. Lo schema di attribuzione dei punteggi è riportato nella *Figura 1*, nella quale si può rilevare come, qualora all'interno di un progetto siano utilizzati più metodi, a ciascuno di essi può essere attribuito separatamente un punteggio, utile a pervenire ad un'unica valutazione globale. Il punteggio può essere attribuito solo se i metodi utilizzati sono esaurientemente descritti, con descrizione approfondita ed esauritivi riferimenti bibliografici, in modo da rendere le stime ripetibili.

Il punteggio attribuito ad ogni metodo deriva dalla composizione di due valori parziali, denominati S_Q e S_K , che dipendono dalle metodologie utilizzate per la stima della piena indice e della curva di crescita. Utilizzando il criterio standard di suddivisione della stima in due fasi (metodo indice) si ha infatti: $Q_T = Q_{ind} K_Q(T)$, dove Q_{ind} è la portata indice e $K_Q(T)$ è il valore del quantile adimensionalizzato (coefficiente di crescita) relativo al periodo di ritorno T. Inizialmente proposto per supportare il confronto tra studi finalizzati alla rivalutazione della sicurezza idraulica delle dighe, lo schema di classificazione può essere usato come base per costruire linee guida per stime di pericolosità idrologica in generale, in quanto consente facilmente di auto-valutare la rappresentatività dei metodi utilizzati.

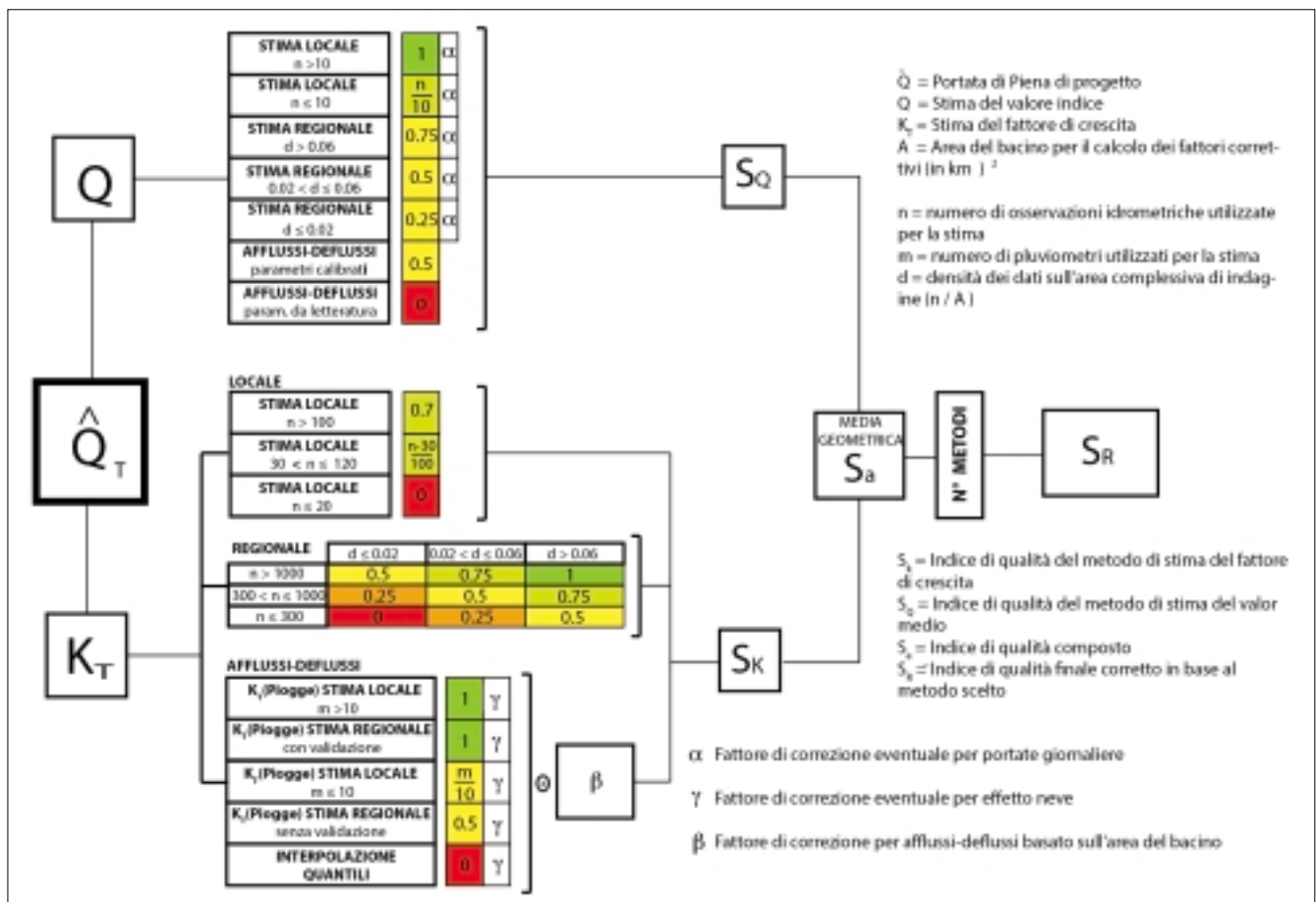


Figura 1 - Esempio di griglia per l'attribuzione dei punteggi parziali per piena indice e fattore di crescita.

3. STRUMENTI DI SUPPORTO ALLE STIME IDROLOGICHE MULTI-MODELLO

Nell'ambito delle problematiche appena evidenziate, le attività svolte nell'ambito di un progetto di ricerca del Politecnico di Torino (Grasso *et al.*, 2019) possono risultare di particolare interesse nelle applicazioni pratiche, in quanto hanno portato alla costruzione di uno strumento informatico in grado di fornire una restituzione di stime regionali delle precipitazioni estreme sul territorio italiano. Queste sono ottenibili mediante applicazione di diverse metodologie, ma con interfaccia unica che fornisce informazione continua su tutto il territorio nazionale, superando le discontinuità insite nei confini regionali.

Ad oggi, di pari passo con l'aggiornamento delle osservazioni pluviometriche, in alcune regioni italiane sono disponibili strumenti metodologici aggiornati per la costruzione delle curve intensità-durata-frequenza (IDF) delle piogge estreme in siti senza osservazioni. Riguardo alle piogge estreme si possono rilevare oggi le maggiori differenze tra le conoscenze ed i metodi riportati negli studi VAPI e quelli attualmente disponibili (v. Claps *et al.*, 2016b).

Il tool informatico descritto in Grasso *et al.* (2019) offre la possibilità di applicare insieme metodi, nuovi e meno recenti, sia a fini di confronto che di irrobustimento delle stime mediante l'applicazione del criterio di stima 'model averaging' sopra richiamato. Lo schema tecnologico proposto, in questo caso, prevede la gestione delle richieste dell'utente tramite un geoservizio WPS (Web Processing Service) che consente di visualizzare e interrogare dati spaziali situati su server remoto. Una serie di procedure anch'esse residenti sul server consentono di ottenere in modalità interattiva:

- la stima della pioggia di progetto tramite le curve IDF in un generico punto del territorio italiano derivanti dalle procedure VAPI e da altre più recenti esistenti in un certo territorio (v. Claps *et al.*, 2016b);
- un confronto diretto o l'applicazione della media alle stime fornite dalle diverse metodologie disponibili;
- l'applicazione degli stessi risultati alla stima di pioggia areale, tramite inserimento di un file vettoriale dell'area di interesse (tipicamente un perimetro di bacino idrografico).

Le mappe dei parametri dei diversi modelli di regionalizzazione disponibili sul territorio italiano sono memorizzate in un geo-database e servono come base di partenza per determinare le due componenti necessarie a costruire le stime, ovvero la pioggia indice e la curva di crescita K_T . In Figura 2 vengono rappresentati l'interfaccia grafica attraverso la quale si effettuano le richieste di esecuzione delle procedure geospaziali, mappe di coefficienti

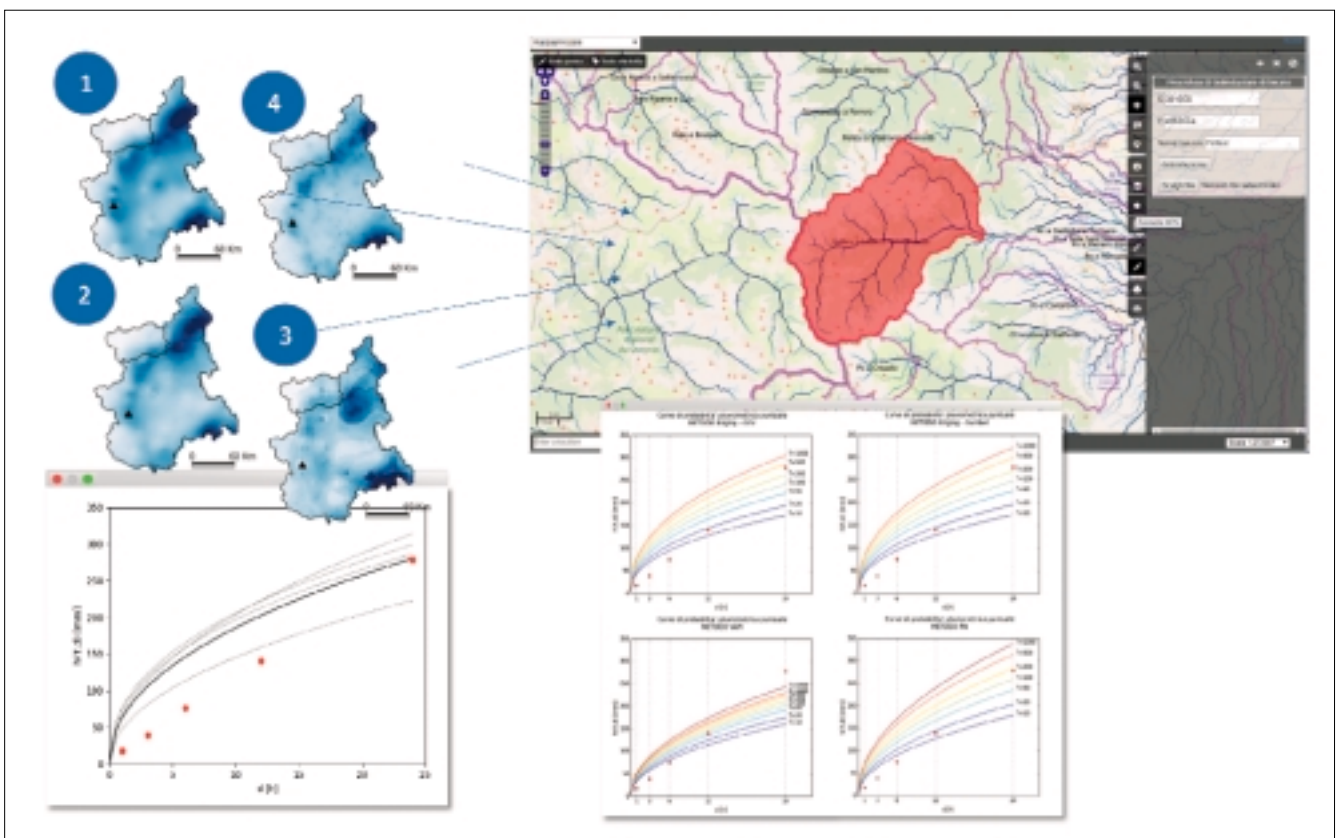


Figura 2 - Dall'angolo in alto a sinistra in senso orario: mappe di coefficienti di crescita K_{100} sul Piemonte derivanti da 4 metodi, l'interfaccia grafica di interrogazione del sistema, rappresentazione di massimi di evento (pallini rossi) sulle curve di possibilità pluviometrica dei 4 metodi e costruzione della curva media (linea spessa) a partire dalle curve a $T=200$ dei 4 metodi nella stazione di prova per confronto con i massimi di evento.



di crescita K_T sul Piemonte, derivanti dall'applicazione di quattro diversi metodi, e grafici di confronto tra stime effettuate con metodi diversi.

4. AGGIORNAMENTI SULLE TENDENZE TEMPORALI DI PIENE E NUBIFRAGI

Un recente studio internazionale di larga scala (Bloeschl et al., 2019) pubblicato sulla rivista 'Nature' ha mostrato che i cambiamenti nell'entità delle piene fluviali osservati in Europa negli ultimi decenni possono essere chiaramente attribuiti ai cambiamenti climatici. Lo studio, al quale hanno partecipato 35 gruppi di ricerca di varie nazioni coinvolti nell'ambito del progetto europeo "FloodChange", ha visto la partecipazione di una consistente comunità italiana ed ha evidenziato che gli eventi di piena stanno diventando sempre più intensi nell'Europa nord-occidentale, mentre in altre aree dell'Europa meridionale ed orientale le intensità sono generalmente diminuite, per azione mitigante dell'anticipato scioglimento nivale o per la riduzione dell'umidità media del suolo.

Lo studio ha analizzato i dati provenienti da 3738 stazioni di misura di portate fluviali in tutta Europa, nel periodo 1960 - 2010. L'entità delle variazioni nelle portate di piena rilevate è notevole: esse vanno da una riduzione del 23% ad un aumento dell'11% per decennio (rispetto alle medie di lungo termine).

Sul territorio italiano lo studio evidenzia come le entità delle alluvioni dei corsi d'acqua di dimensione medio-grande siano in media diminuite negli ultimi 50 anni, coerentemente con quanto è accaduto in tutti i paesi del Mediterraneo. Questa tendenza tuttavia non trova riscontro nell'ambito dei bacini dell'arco alpino che, invece, generalmente mostrano una tendenza all'aumento delle portate di piena, oltre tutto con entità degli incrementi tra i più importanti tra quelli osservati. Sempre in Italia, per mancanza di osservazioni disponibili sui corsi d'acqua di ridotte dimensioni e sui tratti urbani dei corsi d'acqua, non vi sono elementi sufficienti a confermare o smentire il trend sui piccoli bacini, ovvero quelli dove si sono verificati i maggiori problemi recenti nel nostro Paese. Per questi ultimi, sensibili a piogge intense di breve durata, ci si aspetta un quadro decisamente più complesso del rischio alluvionale a causa dei trend degli eventi temporaleschi, recentemente oggetto di elaborazioni a scala nazionale in una ricerca del Politecnico di Torino (Libertino et al., 2019). Su questo aspetto è quindi importante soffermarsi adeguatamente.

Il lavoro di Libertino et al. (2019) è stato basato sull'analisi di osservazioni delle massime precipitazioni annue di breve durata (sub-giornaliere) registrate in 1346 stazioni italiane, selezionate in base ad una numerosità minima di 30 anni tra le circa 5000 presenti nel database a copertura nazionale completa denominato "I-RED" (Libertino et al., 2018). Quest'ultimo comprende tutte le piogge estreme orarie italiane comprese tra il 1915 ed il 2015. Il periodo di analisi dei trend è stato solo di poco più ridotto (1928-2015).

Nel lavoro di Libertino et al. (2019) si prova a verificare se i nubifragi stiano effettivamente aumentando in frequenza ed intensità in Italia. Prendendo in considerazione l'intero patrimonio storico di dati italiani dei nubifragi fino a 24 ore di durata, l'analisi si presta anche a rispondere a domande inerenti la presenza ed aumento, in Italia, dei cosiddetti 'Medicanes' ovvero eventi più simili ad uragani che a piogge convettive, pur molto intense.

I risultati dell'analisi svolta mostrano che l'intensità dei nubifragi è in evoluzione nel tempo, ovvero che in alcune aree del paese gruppi di stazioni mostrano trend crescenti significativi (v. Figura 3). Non si può però affermare che ciò sia vero in tutte le regioni italiane. Infatti, in alcune aree non si evidenzia un aumento ma piuttosto una diminuzione nel tempo delle intensità estreme. Queste tendenze risultano particolarmente evidenti laddove i trend mostrati da singole stazioni sono correlati spazialmente in modo significativo, cosa che richiama l'attenzione su alcune aree nelle quali l'aumento delle in-

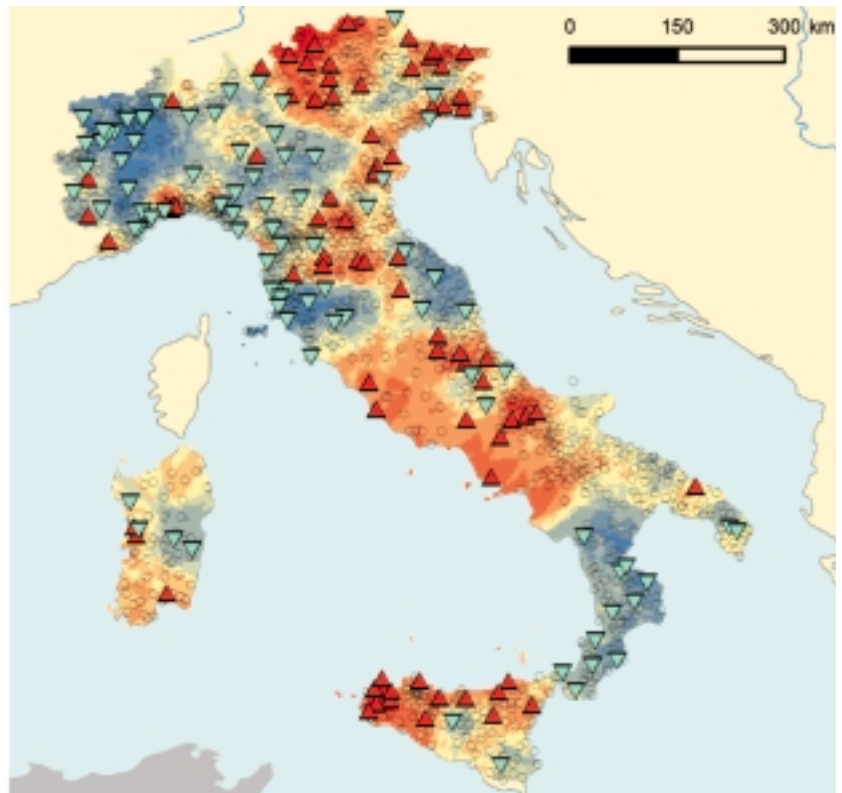


Figura 3 - Intensità di nubifragi di 1 ora. Stazioni ed aree con aumenti significativi nel tempo (rosso) o con diminuzione (celeste-blu).

tensità si mostra con notevole chiarezza. Al variare della durata degli estremi annui considerati (da 1 a 24 ore) emergono alcune differenze nei risultati (v. *Libertino et al.*, 2019) che dipendono dalla diversa genesi degli eventi e possono anche essere ricondotte al differente peso assunto dalle caratteristiche orografiche nello sviluppo di varie tipologie di evento di pioggia.

Con riferimento alla frequenza degli eventi il citato lavoro ha anche esaminato l'andamento temporale dei superamenti di record (**record-break**). Questi avvengono quando viene superato il valore di massimo storico di una serie di osservazioni sull'intero territorio italiano a partire dall'inizio delle misure, ovvero quando si verifica un valore di pioggia in X ore mai osservato prima su tutta la nazione. Eventi del genere propongono una diretta relazione con i fenomeni di Medicanes, i quali tendono a portare significativi innalzamenti della soglia massima di precipitazione rilevata fino a quel momento per la data durata. Le elaborazioni effettuate (*Figura 4*) mostrano che le anomalie, ovvero le percentuali di record-break osservati rispetto a quelli attesi a livello nazionale, sono in crescita negli ultimi decenni. La tendenza è avvertibile nella regolarità di crescita delle curve nel tempo, ma non è ancora confermata in senso statistico, in quanto le curve rimangono all'interno degli intervalli di confidenza compatibili con l'assenza di variazione significativa nel tempo.

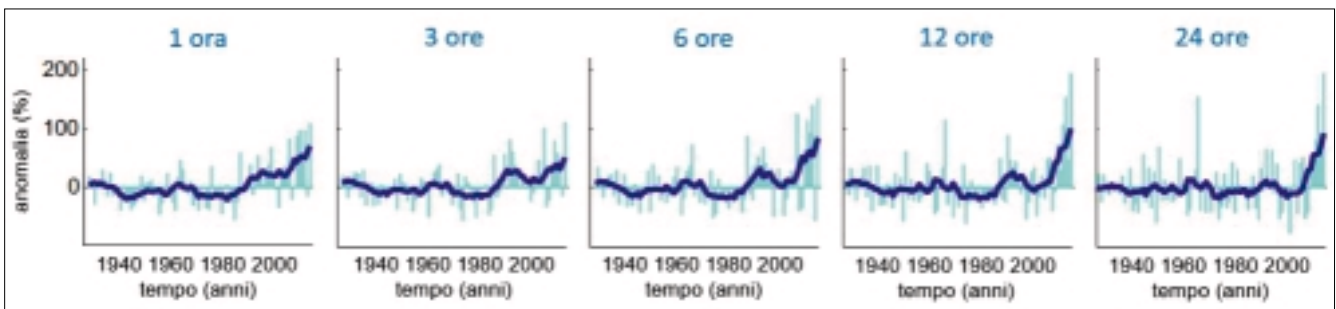


Figura 4 - Curve delle percentuali dei record di nubifragi osservati rispetto a quelli attesi in Italia. Le barre celesti indicano i valori assoluti annuali.

5. AGGIORNAMENTI SULLE STIME DEI VOLUMI DI PIENA

L'importanza dei piani di laminazione, proposti dalla Direttiva PCM 27/2/2004, e della gestione degli scarichi delle dighe volta ad applicare procedure di "laminazione attiva", è legata al fatto che, se correttamente pianificati, essi producono una diminuzione del rischio nei territori a valle e sull'opera stessa senza penalizzare la gestione dell'impianto. Strettamente legato a queste procedure è l'aspetto della valutazione probabilistica dei volumi di piena, poiché l'efficacia di una diga ai fini della laminazione non è funzione solo delle caratteristiche geometriche dell'invaso e dello sbarramento, ma anche e soprattutto del volume di piena che sarà temporaneamente immagazzinato dal lago.

Numerosi sono ad oggi i metodi per la stima della portata di progetto in siti non strumentati, ma assai pochi sono i lavori incentrati sulla stima regionalizzata del volume dell'idrogramma di progetto. Quest'ultimo viene di norma derivato attraverso la costruzione della Curva di Riduzione del Colmo di Piena con la durata (CRCP) che, per un generico anno, lega la generica durata D al rapporto tra la portata media massima (Q_D) in una finestra di durata D e la portata massima istantanea di quell'anno (Q_p). Nell'ambito di una serie storica è naturale ricercare la curva media calcolata su tutte le durate: $\varepsilon_D = \bar{Q}_D / \bar{Q}_p$.

In Cordero (2019) e Cordero et al. (2019) è stata condotta un'analisi statistica dei volumi di piena mediante studio delle serie storiche di portate semi-orarie relative a 87 bacini di Piemonte e Valle d'Aosta. In analogia con gli studi di regionalizzazione delle piogge e dei picchi di piena nel citato lavoro si è affrontato il problema della stima della curva di riduzione dei colmi di piena in sezioni non strumentate. La curva CRCP è stata rappresentata attraverso una consolidata relazione a due parametri (NERC, 1975):

$$\varepsilon_D = \frac{Q_D}{Q_p} = (1 + b \cdot D)^{-c},$$

i cui parametri b e c sono stati studiati mediante analisi regionale mediante modelli di regressione lineare multipla. I modelli di regressione definiscono relazioni tra i parametri della CRCP e alcuni descrittori geomorfoclimatici di bacino. Considerati inizialmente in numero molto elevato (92) i descrittori 'utili' sono successivamente passati a 34 tramite applicazione di una funzione di "potatura" (*pruning*), che preserva quelli di più semplice determinazione a parità di correlazione mostrata con i parametri da stimare. Tutte le possibili combinazioni di 2 e 3 descrittori estratti dai 34 sono state considerate per costruire i migliori modelli di regressione multipla lineare. In aggiunta a questi si sono anche applicati metodi nonparametrici (ACE – Alternating Conditional Expectation algorithm) e multivariati (CCA – Canonical Correlation Analysis) che tuttavia non hanno prodotti stime migliori delle regressioni lineari.



Applicando le migliori configurazioni dei modelli sopra descritti si sono ottenuti errori di ricostruzione dell'ordine del 20% ma i risultati rappresentano una base di valutazione oggettiva da utilizzare per la scelta dell'idrogramma di progetto. Il permanere di una forte incertezza è dovuto all'elevata variabilità delle curve CRCP annuali di ogni bacino rispetto alla curva media. La *Figura 5*, ad es., mostra come dalle procedure di stima regionale si ottengano deviazioni consistenti e, come intuibile, crescenti con la durata, anche se regolari e con bassa distorsione in funzione delle durate considerate.

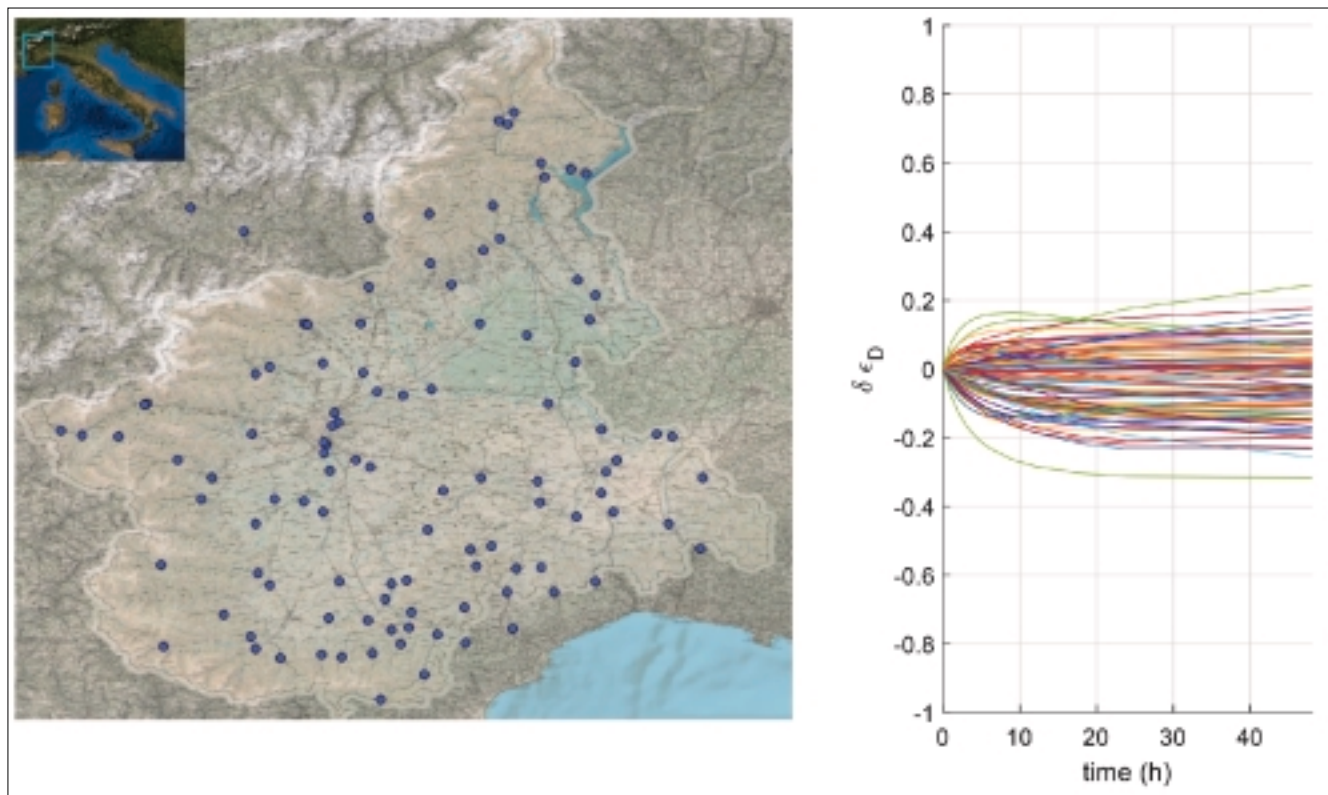


Figura 5 - Stazioni idrometriche utilizzate per la calibrazione del modello regionale delle CRCP (sinistra) ed errori nella ricostruzione delle CRCP regionali per le stesse sezioni (destra).

La finalità principale per cui è di interesse stimare una curva CRCP è quella di consentire la costruzione di idrogrammi sintetici ('di progetto'). In una sezione con dati, la rappresentazione analitica adottata è efficace se gli idrogrammi sintetici sono compatibili con quelli osservati. In assenza di dati non si sarebbe modo di effettuare questa verifica a meno che se la sezione di interesse non venisse fittiziamente considerata priva di osservazioni. Questo è il caso mostrato in *Figura 6*, nella quale si valuta prima (a sinistra) l'efficacia del modello regionale di stima della CRCP, mediante sovrapposizione della curva 'regionale', cioè stimata senza utilizzare i dati della sezione di interesse. Successivamente si confronta un idrogramma sintetico (a destra) costruito senza usare i dati

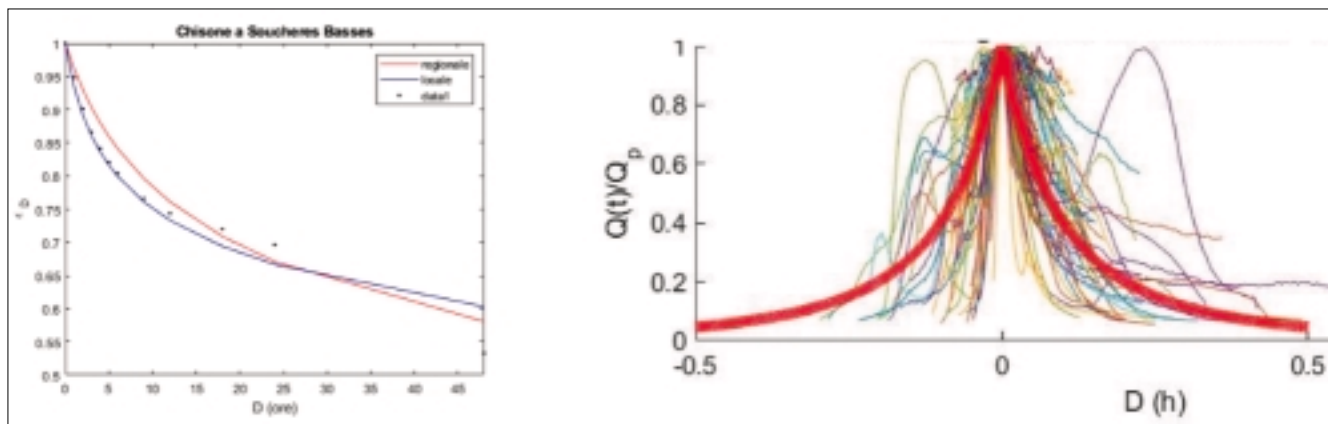


Figura 6 - A sinistra: esempio di CRCP empirica (punti) sovrapposta alla forma analitica NERC locale e regionale. A destra: idrogramma sintetico normalizzato ricostruito mediante CRCP regionale (NERC) sovrapposto con gli idrogrammi empirici normalizzati osservati nella stessa sezione.

con gli idrogrammi effettivamente osservati, dopo averli normalizzati rispetto al tempo mediano dell'evento ed all'entità del picco di piena. I risultati ottenuti sono incoraggianti e stimolano all'ulteriore arricchimento della banca dati degli idrogrammi prodotta nell'ambito del progetto Europeo RESBA-Alcotra.

6. CONCLUSIONI

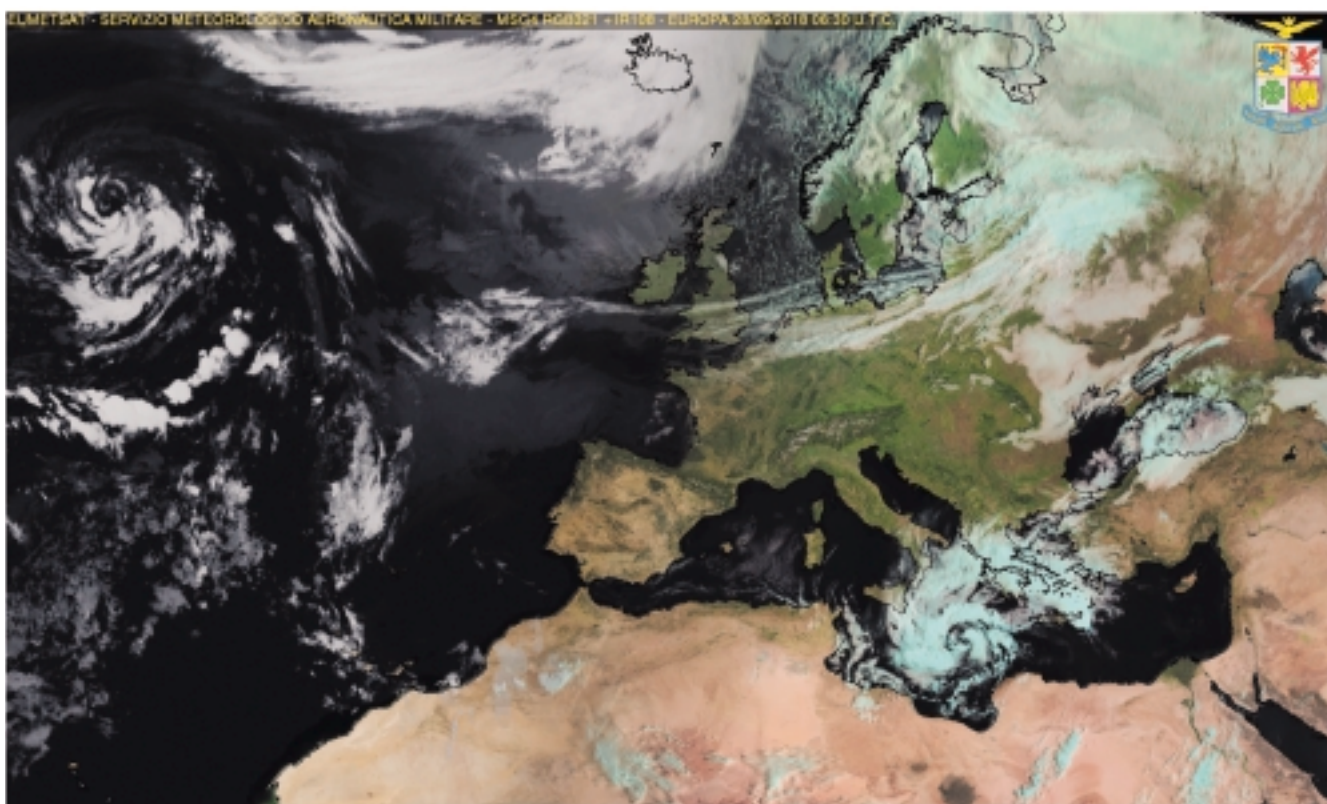
Le incombenze degli organismi pubblici responsabili della sicurezza degli sbarramenti fluviali e dei territori sono rese pressanti dal succedersi di eventi che presentano caratteri apparentemente inediti con frequenza crescente. Iniziative di ricerca di enti ed università tendono a verificare, grazie a crescenti disponibilità di osservazioni, quanto tali preoccupanti tendenze siano frutto di variazioni nelle forzanti climatiche e quanto dipendenti dai cambiamenti strutturali nei sistemi fluviali. Un corretto approccio alla revisione delle stime di grandezze di progetto, per la sicurezza sia degli sbarramenti fluviali che dei territori, richiede tuttavia un consistente impegno in direzione di una standardizzazione delle procedure. In questo lavoro si discute di come questo sia possibile senza necessità di rivedere in modo sostanziale le metodologie ma tenendo conto in maniera accurata della effettiva consistenza delle informazioni a supporto delle stime stesse. A partire da una base comune di procedure, certamente va tenuto conto dei risultati che emergono dagli studi di trend sulle precipitazioni estreme e sulle piene. Di fronte a questi fenomeni il territorio italiano si mostra ancora una volta estremamente disuniforme e di difficile caratterizzazione. Questo suggerisce da un lato di operare in via prudenziale nelle aree più critiche e, dall'altro, di intensificare in modo consistente le azioni di ricerca operando, per quanto possibile, almeno su aree a dimensione macro-regionale.

RINGRAZIAMENTI

Parte dei risultati presentati in questo lavoro è stata finanziata dai progetti "Accordo Istituzionale con la Direzione Generale Dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche del Ministero Infrastrutture e Trasporti" e Interreg-Alcotra "RESilienza degli Sbarramenti" (RESBA).

BIBLIOGRAFIA

- Blöschl G., Hall J., Viglione A., Perdigão R., Parajka J.; Merz B.; Lun D., Berit A.; Aronica G., Bilibashi A., Boháč M., Bonacci O., Borga M.; Čanjevac I., Castellarin A., Chirico G.B., P. Claps P. et al., 2019.** *Changing climate both increases and decreases European river floods.* NATURE. Volume: 573, Issue: 7772 Pages: 108-+, DOI: 10.1038/s41586-019-1495-6 (2019)
- Claps P., Ganora D., Laio F., 2016°.** *Portate di progetto per la sicurezza idrologica delle dighe: una procedura per valutare la qualità delle stime.* In Atti del XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – DOI:10.6092/unibo/amsacta/5400. pp.513-516. ISBN:9788898010400.
- Claps P., E. Caporali, V. Chiarello, R. Deidda, D. De Luca, L. Giuzio, A. Libertino, F. Lo Conti, S. Manfreda, L. Noto, and P. Versace, 2016b.** *Stima operativa delle piogge estreme sul territorio nazionale: nuovi metodi e possibili sinergie.* In: Atti del XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – DOI:10.6092/unibo/amsacta/5400. pp.549-552. ISBN:9788898010400. 2016.
- Cordero S., 2019.** Metodologie statistiche e sperimentali per il supporto ai piani di emergenza in presenza di invasi artificiali. *Tesi di Dottorato di Ricerca*, Politecnico di Torino.
- Cordero S., Ganora D., Claps P., 2019.** *Volume of design hydrograph: a regionalisation method based on flow reduction function.* In preparation
- Grasso S., Libertino A., Claps P., 2019.** *MULTIRAIN: A GIS-based tool for multi-model estimation of regional design rainfall for scientists and practitioners.* Journal of Hydroinformatics, doi: doi.org/10.2166/hydro.2019.016.
- Libertino A., Ganora D., P. Claps P., 2018.** *Technical note: Space-time analysis of rainfall extremes in Italy: clues from a reconciled dataset.* Hydrology and Earth System Sciences, 22, 2705-2715; doi: 10.5194/hess-22-2705-2018
- Libertino A., Ganora D., Claps P., 2019.** *Evidence for increasing rainfall extremes remains elusive at large spatial scales: the case of Italy.* Geophysical Research Letters, 46, DOI:10.1029/2019GL083371.
- Okoli K., Breinl K., Brandimarte L., Botto A., Volpi E., Di Baldassarre G., 2018.** *Model averaging versus model selection: estimating design floods with uncertain river flow data,* Hydrological Sciences Journal, 63:13-14, 1913-1926, DOI:10.1080/02626667.2018.1546389
- NERC, 1975.** *Estimation of flood volumes over different duration.* Flood Studies Report I, 352-373.



Sistema depressionario del tipo a “ciclogenesi esplosiva” del 28 settembre 2018.





Giacomo Rasulo*

VERSO UNA PROCEDURA UNIFICATA PER LA RIVALUTAZIONE IDROLOGICA DELLE GRANDI DIGHE ITALIANE.

La stima della piena millenaria dei bacini dell'Italia meridionale e insulare

TOWARDS A GENERALIZED PROCEDURE FOR THE HYDROLOGICAL RE-EVALUATION OF LARGE DAMS.

The Estimation of the Millennial Flood in Southern Italy

1. PREMESSA

Il Decreto legge n° 79 del 2004 prevedeva che il Registro italiano dighe, provvedesse alla valutazione della sicurezza di tutte le dighe esistenti, Questa, per la parte idraulica, in base alla Normativa tecnica per la progettazione o la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (*Min. LL.PP.*, 2014), consiste nel verificare che le opere idrauliche siano adeguate a sostenere l'impatto della piena con periodo di ritorno T di 1000 anni, per le dighe in calcestruzzo, e di $T = 3000$ anni, se in materiali sciolti.

Inoltre il "Regolamento per la disciplina del procedimento di approvazione dei progetti e del controllo sulla costruzione e l'esercizio degli sbarramenti di ritenuta", allora in elaborazione, prevedeva la periodica revisione della sicurezza idrologico-idraulica delle dighe, con cadenza decennale.

Pertanto la Direzione Generale per le Dighe, del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, procedette alla stipula di quattro convenzioni di collaborazione, rispettivamente con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale della Università degli Studi di Napoli "Federico II" (DICEA), col Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale della Università di Roma "La Sapienza", col Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali della Università di Bologna e col Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture del Politecnico di Torino, assegnando il compito, a ciascun Dipartimento, di esaminare criticamente le metodologie impiegate nelle verifiche idrologico-idrauliche di almeno 40 dighe, scelte dalla Direzione Generale e, collegialmente, di definire procedure codificabili ed uniformi di rivalutazione idrologico-idraulica delle grandi dighe, basate su le più aggiornate metodologie di analisi, anche al fine di integrare, su basi scientifiche, i risultati elaborati, dalle varie Autorità di Bacino, per le aree di loro competenza.

Tutti i Dipartimenti coinvolti hanno soddisfatto quanto previsto al primo punto degli impegni sottoscritti, credo con piena soddisfazione della Direzione Generale per le Dighe. Purtroppo non si è riusciti ad elaborare, invece, una procedura uniforme di rivalutazione idrologico-idraulica delle grandi dighe.

Pertanto mi sembra opportuno, in questa occasione, di lasciare traccia di quanto a suo tempo da me predisposto, in qualità di Responsabile Scientifico della ricerca per il DICEA, come contributo al lavoro per la predisposizione della procedura unificata.

2. BOZZA DELLA POSSIBILE PROCEDURA UNIFICATA

A parere dello scrivente, l'eventuale procedura unificata dovrebbe porsi gli obiettivi di:

1. lasciare ampia libertà ai tecnici che operano, in quanto si assumono la responsabilità dei risultati;
2. nello stesso tempo, permettere ai tecnici che devono effettuare la verifica di valutare agevolmente se gli studi, proposti dai vari gestori, tengano adeguato conto della più recente bibliografia tecnico-scientifica disponibile per il territorio in cui ricade il bacino, se sono state analizzate correttamente le peculiarità dello stesso, se si è estesa l'indagine a tutte le misure disponibili ed utili e se è stata effettuata un'accurata stima dei parametri presenti nei modelli utilizzati.

*Università degli studi di Napoli Federico II.





La strada più corretta, per pervenire ad una procedura unificata, che rispetti gli obiettivi sopra riportati e permetti di valutare la massima portata di piena con periodo di ritorno assegnato è quella di partire dall'espressione:

$$Q_T = \mu(Q) K_T,$$

prodotto della portata indice $\mu(Q)$, del singolo bacino sotteso, per il fattore di crescita K_T , che definisce la variabilità, negli anni, delle piene.

Questa, infatti, oltre ad essere ormai di uso generale in Idrologia, presenta il vantaggio di separare la valutazione della portata indice $\mu(Q)$, che dipende da tutte le caratteristiche fisiche del bacino, quale superficie, forma, permeabilità, ecc. e della piovosità media della zona, da quella del fattore di crescita K_T , che invece dipende unicamente dalla variabilità delle piogge.

Inoltre partendo da questa posizione è ben difficile che il tecnico incaricato scivoli nell'utilizzo di una ben diversa modellistica, nata, piuttosto, con il fine di ricostruire l'idrogramma di piena, partendo da un noto pluviogramma.

3. STIMA DEL FATTORE DI CRESCITA K_T

Il fattore di crescita K_T , ovviamente, è intimamente connesso alla distribuzione di probabilità delle portate massime annuali nella sezione d'interesse. Allo stato attuale degli studi idrologici non è possibile scegliere a priori l'una o l'altra delle varie distribuzioni utilizzate dagli idrologi.

Pertanto, il tipo di distribuzione di probabilità utilizzato, e i valori dei parametri che la caratterizzano, nell'area idrologica in cui ricade il bacino in esame, dovrà essere frutto di una analisi che coinvolga tutti i dati registrati nelle sezioni monitorate, in un ampio territorio circostante il bacino stesso.

Inoltre, nell'ultimo trentennio, quasi tutte le autorità di Bacino d'Italia hanno sviluppato ampi studi idrologici diretti ad individuare le aree ideologicamente simili, la distribuzione di probabilità che caratterizza le piene e i valori assunti dai parametri per ognuna di queste.

Pertanto la procedura unificata dovrà imporre che il tecnico mostri, preliminarmente, il fattore di crescita cui si perverrebbe in base agli studi idrologici predisposti dalla autorità di bacino di competenza; dopo di che lo studio potrà mostrare, ben documentato, il perché si ritiene di doversi distaccare di quest'ultimo e se, eventualmente, ciò comporti un aumento di sicurezza.

Le relazioni presentate saranno giudicate tenendo conto della vastità dell'area analizzata, degli studi presi a riferimento, senza tralasciare il criterio di sicurezza.

Solo a scopo esplicativo, si riporta che per il lavoro svolto dal DICEA, per l'Italia Meridionale ed Insulare, poiché le varie Autorità di Bacino di competenza avevano fatto riferimento allo Studio idrologico fatto dal C.N.R. col progetto VaPi. (CNR-GNDCI, 1999), quest'ultimo è stato preso in considerazione come studio base, tuttavia, poiché la variabilità delle piene, nelle stesse aree idrologicamente simili, è stata valutata, in un diverso studio idrologico svolto a livello nazionale (Bocchiola et al., 2004) con una diversa distribuzione di probabilità, si è ritenuto di procedere col criterio di sicurezza, adottando il valore del coefficiente di crescita maggiore tra questi due studi.

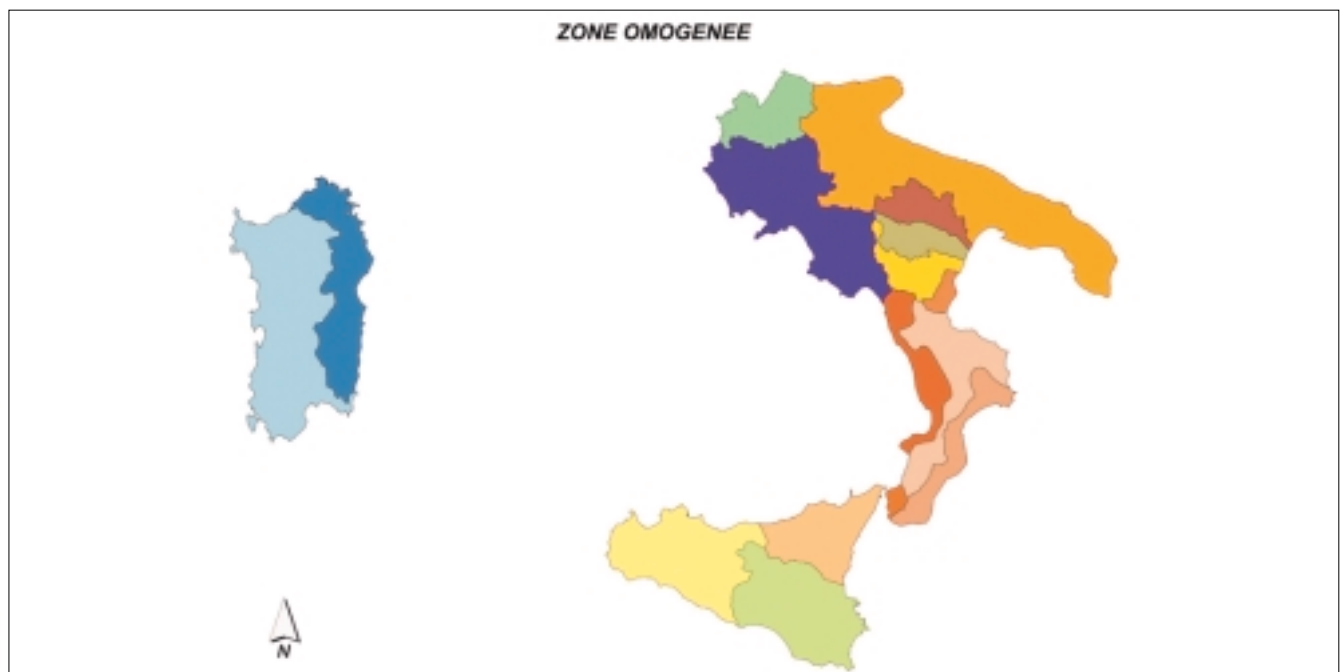


Figura 1 - Aree Idrologicamente simili.

4. VALUTAZIONE DELLA PORTATA INDICE $\mu(Q)$

La portata indice $\mu(Q)$ corrisponde, normalmente, al valor medio dei massimi annuali delle portate al colmo di piena del bacino sotteso. Poiché questo dipende da tutte le specifiche caratteristiche idrologiche del singolo bacino (piovosità, geologia, uso del suolo, permeabilità, orografia, ecc.), la sua migliore stima è quella che si ricava dai valori registrati nella sezione d'interesse, purché su un arco temporale adeguato (almeno dieci/dodici anni). In mancanza occorrerà ricorrere alla stima tramite modelli afflussi/deflussi fisicamente basati.

A tal proposito si auspica che gli enti gestori, nel prosieguo, provvedano ad un adeguato monitoraggio, secondo quanto riportato nel "Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione" (Min. LL.PP., 1987).

Tuttavia, molto spesso, il monitoraggio effettuato dall'ente gestore non è strutturato per registrare, in continuo, le portate affluenti all'invaso, come si effettuerebbe con una qualsiasi stazione idrometrografica, ma è diretto unicamente al controllo dell'altezza del livello del lago e, per giunta, le misure vengono registrate con scansione Δt non molto piccola. In tutti questi casi, alle portate affluenti si può pervenire solo tramite un processo di "de-laminazione", effettuato per intervalli temporali non minori di Δt e, pertanto, il valore di portata cui che si determina è quello medio in questo stesso intervallo. Ne deriva che la stima del massimo annuale della portata al colmo, valutata a partire da questi dati, è influenzata dall'ampiezza dell'intervallo Δt , rapportato al tempo critico del bacino t_c .

Occorre valutare, quindi, fino a che punto la portata indice, così calcolata, è più affidabile di quella che si ricaverebbe con un qualsiasi modello afflussi-deflussi.

Nel caso del lavoro, precedentemente citato, da noi svolto per l'Italia Meridionale ed Insulare, si è assunto la posizione che, se il rapporto $\Delta t/t_c$ supera una certa soglia, assunta in non più di 0,1, l'affidabilità del valore così calcolato non superava quella valutata coi modelli afflussi-deflussi e, pertanto si ricorreva a questi ultimi.

5. MODELLI AFLUSSI/DEFLUSSI

Stante la complessità dei fenomeni fisici che presiedono il ciclo delle acque, con la loro variabilità spaziale e temporale, a tutt'oggi non esiste una modellazione matematica completa che riesca a integrarne tutta la fenomenologia. Di conseguenza le scienze ingegneristiche, dovendo pervenire, comunque, a una valutazione quanto più affidabile possibile di molte di queste grandezze (nel nostro caso la portata media dei massimi annuali delle portate al colmo di piena $\mu(Q)$), si appoggiano a modellazioni empiriche, che leghino il valore della grandezza cercata a quelli di alcune grandezze fisiche, considerate le più influenti, secondo legami di dipendenza semplificati. Si procede, quindi, per ipotesi di lavoro, in cui questo legame viene espresso con un modello matematico schematico, in cui i valori dei coefficienti presenti devono essere determinati in maniera che il modello valuti, nella maniera migliore possibile, i valori sperimentali.

Ne consegue che, per pervenire alla determinazione del valore di una qualsiasi grandezza cercata (nel nostro caso la portata indice), la bibliografia tecnica è ricca di molti di questi modelli empirici afflussi/deflussi e molti altri potranno essere formulati in futuro.

Poiché il legame che esprimono, tra il valore della portata indice e quelli delle grandezze fisiche considerate più influenti, rappresentano solo relazioni empiriche, la maggiore o minore bontà dell'uno sull'altro, non può essere espressa che dalla maggiore o minore capacità del modello di stimare il valore ricercato e questa, a sua volta, dipende soprattutto da se i valori dei coefficienti presenti nel modello sono stati tarati su valori noti della grandezza cercata, in modo che il modello interpreti nella maniera migliore possibile i dati sperimentali.

Per questo motivo, negli studi sottoposti al Servizio Dighe, occorrerà indicare le motivazioni della scelta del modello, sottolineando, soprattutto, quale validazione si porta a supporto dei valori dei parametri adottati nel modello stesso e si porterà, a verifica della buona rispondenza del modello e dei valori prescelti per i parametri, la sua capacità di determinare la portata indice per tutti i bacini simili in cui quest'ultima è nota.

Anche in questo caso, al solo scopo esplicativo, si riporta, nella Figura 2, la giustificazione portata a sostegno

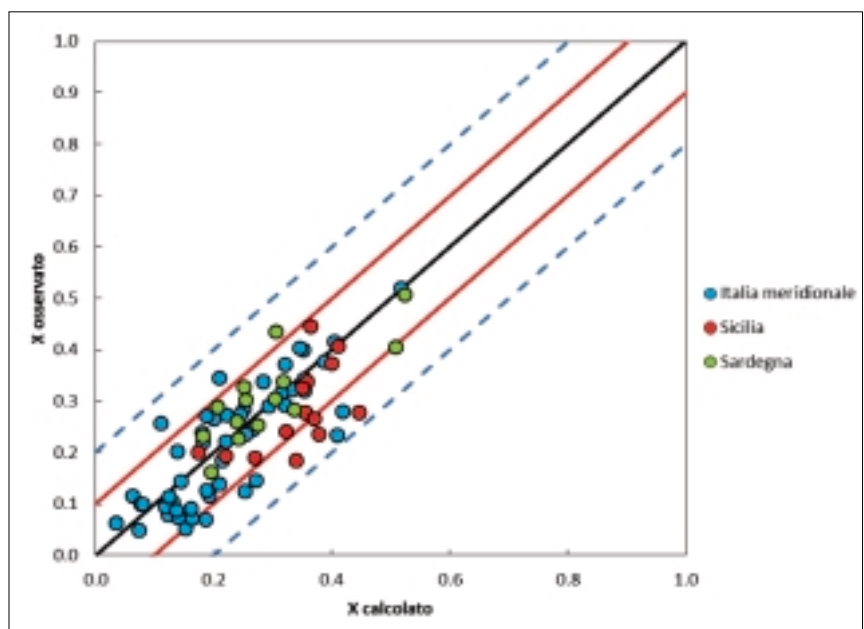


Figura 2 - Confronto tra i coefficienti d'afflusso calcolati e osservati.

del modello afflussi/deflussi prescelto dal DICEA, per il lavoro svolto per l'Italia Meridionale ed Insulare. In questa figura sono riportati, infatti, a confronto, i coefficienti d'afflusso che andrebbero adottati per valutare con la formula razionale i valori registrati nelle varie sezioni idrografiche dell'Italia Meridionale ed Insulare, con quelle che si ricavano con il modello adottato.

6. LIMITI DELLA PROPOSTA DI PROCEDURA UNIFICATA

La procedura proposta si fonda tutta sulle metodologie statistiche ordinariamente utilizzate nel campo della idrologia. Quest'ultima a sua volta si basa sul presupposto che i dati registrati in una stazione di misura siano rappresentativi di tutti gli eventi meteorici che possono presentarsi sulla regione e pertanto i valori registrati possano essere considerati come variabili, tratte a caso, dalla popolazione di tutti i possibili valori che la grandezza può assumere. In base a questa considerazione, valori particolari, che si presentavano con periodo di ritorno particolarmente alto rispetto alla lunghezza del campione, venivano considerati unicamente come eventi eccezionali.

Tuttavia, la particolare attenzione posta dagli studiosi della fisica dell'atmosfera, in questi ultimi anni a questi ultimi eventi, ha mostrato che questi non sono da considerarsi come valori estremi degli eventi ordinari (Ordinary Weather Systems), genericamente riconducibili a strutture meteorologiche frontali molto ampie, con ciclogenese baroclinica o, più raramente, con componente convettiva, che si presentano molte volte all'anno e su ampie aree di territorio, ma piuttosto rispondono a delle situazioni meteorologiche particolari.

A seconda della natura di queste ultime, questi eventi prendono il nome di "bombe d'acqua" (Isolated Convective Cells) o "Medicane" (Mediterranean Hurricanes), ed hanno particolari caratteristiche:

- Le celle convettive isolate, si presentano come cluster di alta intensità, incastonati in una più vasta area di intensità ordinaria. Sono caratterizzate da durata media di poche ore, su aree piccole o piccolissime (aree di dimensioni tra 1 e 10 km²) e possono determinare precipitazioni anche di intensità di 150 mm/ora, con altezza totale generalmente inferiore ai 300 mm.
- I medicanes (Mediterranean Hurricanes) (*De Luca, 2012*), sono, invece, cicloni a cuore caldo, con caratteristiche analoghe ai cicloni tropicali, che si sviluppano sul Mediterraneo, che si comporta come una cassa, con una forte interazione tra atmosfera, mare e orografia della costa. La loro ciclogenese convettiva è legata prevalentemente a scambi di calore tra superficie del mare e l'atmosfera; la stessa dinamica di formazione comporta che interessino la fascia co-

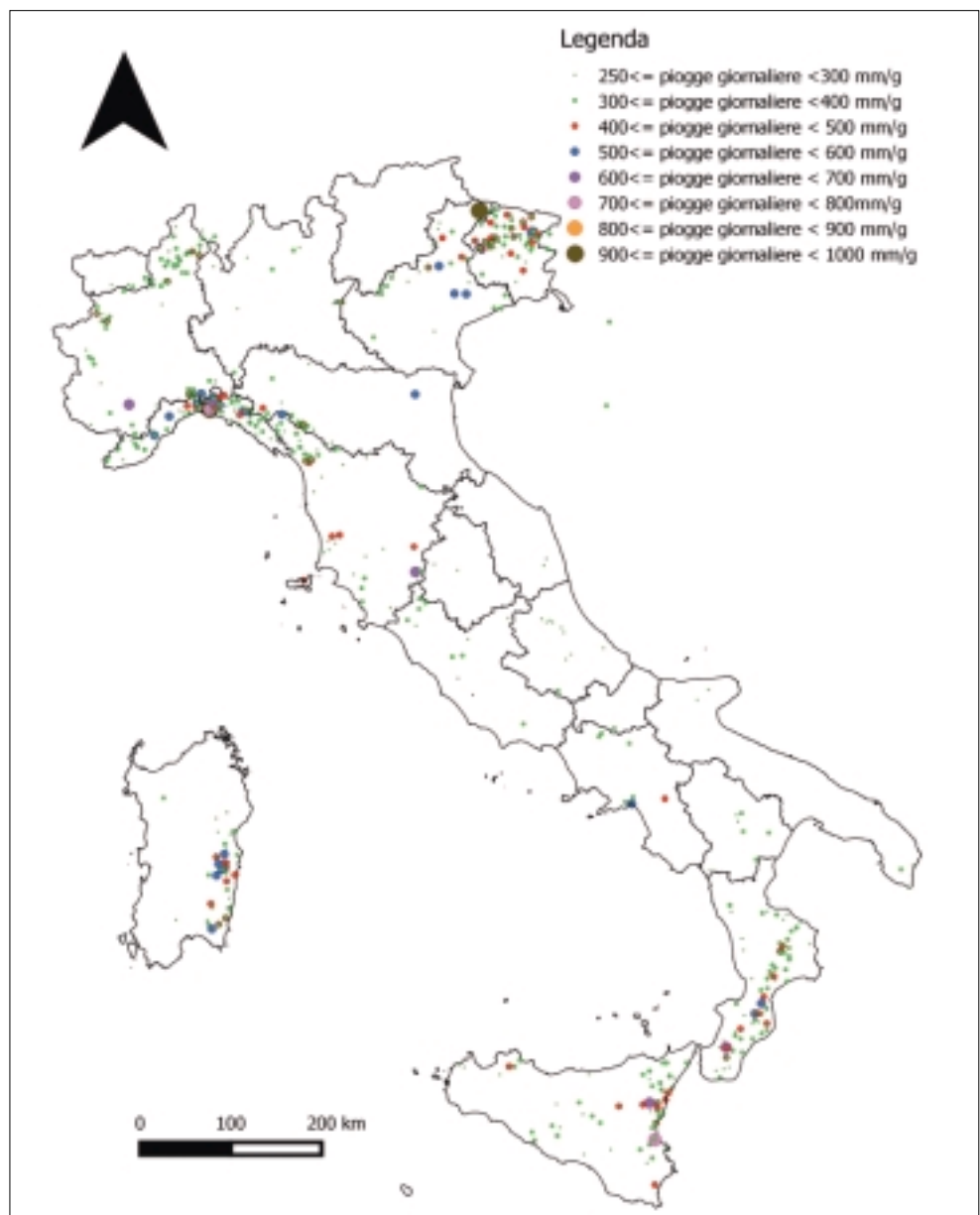


Figura 3 - Precipitazioni massime annuali di durata 24h e 1 giorno ubicate in Italia.



stiera sulle cui pendici scaricano la loro gran massa d'umidità ed energia; tuttavia, in presenza di estese barriere tendono ad aggirarle. Presentano frequenza di accadimento molto bassa (periodo di ritorno di vari anni), ma sono caratterizzati da precipitazioni di durata più lunga di quelle determinate dalle celle convettive isolate (anche 10 ore), valori medi nell'ordine dei 500 mm/die (da 300 a 1000 mm/die), altissima intensità media ($i > 100 \div 150$ mm/h) ed interessano aree più vaste, ($100 \div 1000$ km²) (Waymire, 1984), anche se, comunque, limitate, a zone costiere ($100 \div 300$ km dalla costa), con forte gradiente altimetrico.

Le piogge determinate da questi eventi, per la scarsa frequenza d'accadimento delle cause fisiche scatenanti, si verificano a distanza di più anni l'una dall'altra, inoltre la piccola estensione dell'area interessata, fa sì che i valori di pioggia conseguente, gran parte delle volte, non vengano registrati da alcun pluviografo. Ne consegue che la gran parte dei dati registrati non hanno traccia di questo tipo di eventi se non eccezionalmente, e pertanto anche gli studi proposti per descrivere la probabilità di accadimento delle piene si riferiscano unicamente agli eventi meteorologici ordinari.

Pertanto altre metodologie dovranno essere messe a punto, per tenere conto della popolazione di questo tipo di eventi, lì dove questi hanno probabilità di verificarsi.

Tenuto conto che solo adesso si sta focalizzando l'interesse della comunità degli idrologi sulla presenza di questi eventi e che, pertanto, la letteratura tecnica è priva di indicazioni sulla loro probabilità di verificarsi, sulla distribuzione spazio-temporale degli stessi e sul comportamento dei bacini, in presenza di queste abnormi forzanti idrologiche, ad azione su aree non troppo estese, ad oggi, le dighe a rischio eventi del tipo "medicanes" possono essere soggette solo ad una "particolare attenzione" da definire in sede molto più ampia.

Alla fine del contratto di collaborazione il prof. Fabio Rossi, riuscì solo ad individuare le aree d'Italia più soggette ad eventi meteorologici straordinari del tipo "medicanes" *Figura 3*; che sono risultate: il golfo di Genova, la Sardegna orientale, la Versilia, la Costiera Amalfitana, la Calabria meridionale e la Sicilia ionica e a predisporre un elenco di dighe che potrebbero essere soggette a precipitazioni estreme, per cui occorrerà ricorrere a studi specifici non codificabili attualmente.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Ministero dei Lavori Pubblici, *Decreto 24 giugno 2014*.

CNR-GNDCI, 1999. *Rapporto Nazionale VAPI*, <http://www.idrologia.polito.it/gndci/Vapi.htm>.

Bocchiola D., De Michele C., Rosso R., 2004. *L'applicazione della legge generalizzata del valore estremo GEV all'analisi regionale delle piene d'Italia*, L'Acqua n. 1.

Ministero dei Lavori Pubblici, *Circolare 4 dicembre 1987, n. 352*.

Romero e Emmanuel, 2013.

De Luca C., 2012. *Previsione e prevenzione di eventi idrologici estremi*. Tesi di dottorato (Università degli Studi di Salerno).

Waymire Vijay E., Gupta K., Rodriguez I., Iturbe, (1984). *A Spectral Theory of Rainfall Intensity at the Meso - β Scale*. American Geophysical Union, 1984.





Diga Lago Campliccioli, Valle Antrona (VCO). Foto di Laura Mendicino. 1° Concorso Fotografico ITCOLD 2018.



Diga Morasco, Valle Formazza (VCO). Foto di Alberto Caldani.





INTERVENTO DEL MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE E TRASPORTI

Danilo Toninelli

Ministro del MIT

Buongiorno a tutti e grazie di essere qui.

Spesso ce ne dimentichiamo. Troppo spesso. Parliamo sempre di strade, ponti, gallerie, ferrovie, porti, aeroporti, intermodalità. Ma c'è un altro grande, importantissimo asset infrastrutturale del Paese che non dobbiamo affatto trascurare e che anzi, con un piano di investimenti relevantissimo messo in campo da questo Governo, può tornare e sta tornando al centro del rilancio economico nazionale, in ottica di salvaguardia ambientale e miglioramento della qualità della vita di tutti noi.

Parliamo delle dighe italiane. Un patrimonio di pregio assoluto per la nostra bella Penisola, un patrimonio fortemente legato ai nostri territori, che li difende e li valorizza, contribuendo a creare ecosistemi di pregio. Un patrimonio, insomma, che va conosciuto meglio da tutti noi.

E noi, come esecutivo, ci crediamo talmente tanto che abbiamo messo sul settore idrico oltre 2 miliardi di euro. Due miliardi che significano imprese che lavorano, occupazione che si genera e qualità del territorio e dei servizi erogati, come vedremo tra poco.

Stiamo parlando di oltre 12.500 manufatti, distinti in grandi dighe, oltre 530 sorvegliate dallo Stato, e in piccole dighe, oltre 12.000 vigilate dalle Regioni.

Anche qui, come spesso capita con le nostre infrastrutture, purtroppo, siamo di fronte a un'età media abbastanza avanzata: 60 anni. Ecco perché è importantissima la prevenzione, la manutenzione continua e la vigilanza che oggi beneficia degli standard tecnici più avanzati.

E' inutile che io ricordi a voi le variegate e rilevanti funzioni che le dighe ricoprono: forniscono l'acqua di pregio alle popolazioni, quel bene primario che deve restare pubblico e su cui non sono accettabili speculazioni di sorta; conservano la stessa acqua in modo da poter affrontare le crisi idriche e di siccità che sempre più spesso occorrono per colpa degli stravolgimenti climatici con cui abbiamo a che fare; producono energia pulita; alimentano la nostra splendida agricoltura e zootecnica; riducono il rischio di alluvioni e straripamenti.

Siamo tuttavia consapevoli che quest'immensa ricchezza, per assolvere a tutti gli obiettivi elencati e, in primis, quello di mitigare i danni connessi al fenomeno della siccità, non può rimanere così com'è. Serve, infatti, promuovere il potenziamento e l'adeguamento delle dighe e delle infrastrutture idriche ad esse legate. Bisogna interconnettere questi manufatti tra loro, dotarli delle necessarie e adeguate opere di adduzione, fare in modo che operino come un "sistema" complesso a servizio del territorio in cui si ricadono.

E' per questo motivo che il Governo ha ritenuto, con l'ultima legge di bilancio, di investire in nel settore idrico circa 1.140 milioni di euro, tra Piano nazionale e Fondo investimenti. A tali risorse si sommano quelle del "Piano straordinario" e sempre del Fondo investimenti, esercizio 2018, per altri 450 milioni di euro e le risorse messe a disposizione dal "Piano operativo dighe" a valere sul Fondo sviluppo e coesione per altri 463 milioni di euro. Ecco da dove derivano i 2 miliardi di cui parlavo all'inizio.

Le risorse finanziarie, quindi, ci sono. Ma un fenomeno come quello della siccità, che interessa tutto il Paese, non solo il Sud, come si è visto con i casi del Po e dell'Adige, necessita di una sana cooperazione tra le istituzioni a tutti i livelli per essere affrontato.

Ecco perché, oltre a metterci i soldi, con la legge di Bilancio 2019 abbiamo fatto di più, abbiamo creato un approccio nuovo rispetto al passato:

- 1) in primis, superando l'emergenza del Piano straordinario – che ha finanziato solo gli interventi dotati di progettazione esecutiva e definitiva, qualunque essi fossero – abbiamo previsto risorse destinate alla progettazione di interventi necessari e di ampio respiro e poi alla realizzazione delle conseguenti opere;
- 2) in secondo luogo, abbiamo creato una sinergia funzionale tra le due sezioni che caratterizzano il Piano nazionale, quella "invasi" e quella "acquedotti", con l'idea che un intervento riguardante la prima sezione è effettivamente strategico soprattutto se risolve un problema di offerta, di qualità e di servizio dell'acqua a scopo potabile;
- 3) in terzo luogo, abbiamo affidato alla pianificazione di bacino, predisposta dalle sette Autorità di distretto, il ruolo primario di diventare elemento discriminante, in termini di coerenza con le linee di assetto fondamentali del piano, ai fini della selezione degli interventi da ammettere a finanziamento.





Ecco perché l'evento di oggi, che contribuisce a ridare la giusta visibilità al nostro sistema idrico, ha il merito di vedere la questione in termini intersettoriali, dando peraltro il giusto peso anche alla tematica ambientale, che ormai è decisiva.

Fino ad oggi sono stati finanziati ben 266 interventi. Altri e più numerosi interventi saranno a breve foraggiati dalle rimanenti risorse del Piano nazionale. Si tratta di molti interventi spesso di importo sotto soglia comunitaria, alcuni tra i quali, quelli sulle dighe, anche complessi in quanto specialistici, ma piccole opere che dovrebbero comunque essere realizzate con iter più snelli.

Eppure, anche per tali opere stiamo registrando una serie di impasse attribuibili a varie ragioni.

In primo luogo, la complicazione dell'iter di approvazione e di realizzazione delle opere pubbliche.

In secondo luogo, le caratteristiche, in particolare di alcuni gestori e concessionari, che, specialmente per le dighe, sono parcellizzati in tanti soggetti, talvolta senza adeguata o addirittura senza alcuna capacità tecnica per progettare e realizzare opere di una certa complessità, seppur di piccolo importo.

In terzo luogo, pesa la frammentazione della governance del settore idrico, che interessa tutte le amministrazioni e a tutti i livelli di governo, siano esse centrali che territoriali.

A tutte queste problematiche stiamo mettendo mano attraverso lo "sblocca cantieri" e il Decreto "Crescita".

Per quanto riguarda l'iter approvativo e realizzativo delle opere, sono state previste forme innovative di commissariamenti con poteri speciali, che permettono di accelerare notevolmente il processo fin dalla fase di progettazione degli interventi ritenuti prioritari, per esempio quelli di incremento della sicurezza delle dighe. L'articolo 4 del decreto sblocca cantieri prevede poi il dimezzamento dei tempi dei procedimenti di valutazione di impatto ambientale.

In più, sempre nel decreto sblocca cantieri, stiamo prevedendo una società in house del Mit che possa sostituirsi, anche attraverso specifiche convenzioni e contratti di programma, al soggetto inadempiente, gestore o concessionario che sia, avviando sia le attività di progettazione che quelle di realizzazione delle opere.

Ma non dimentichiamo anche l'impegno del Parlamento e vorrei citare, permettetemi, il lavoro della mia forza politica, il Movimento 5 Stelle. E' in discussione, infatti, la proposta di legge sull'acqua pubblica presentata dalla deputata Federica Daga. Si tratta di un testo che prevede un governo unitario del ciclo naturale e integrato dell'acqua, in grado di elaborare il "Piano strategico nazionale per la programmazione e la realizzazione degli investimenti nei sistemi idrici", in coordinamento anche con il mio Ministero e, soprattutto, con le sette Autorità di bacino distrettuali.

Grande enfasi, all'interno della proposta, è riposta nella pianificazione degli interventi e nella selezione di quelli ritenuti prioritari, dato che siamo consapevoli che la messa a sistema delle dighe non può che passare attraverso una robusta programmazione e una corretta individuazione delle priorità degli interventi che servono a questo Paese.

Da ultimo, con orgoglio ricordo la prima esperienza di Dibattito pubblico proprio su un sistema di invasi, quelli sul Fiume Paglia, a protezione della città di Roma, finanziati dal Piano nazionale nel settore idrico.

Perché, se le dighe rappresentano una risorsa importante e strategica per il territorio e l'ambiente in cui ricadono, è pur vero che queste opere sono considerate una minaccia e un elemento di rischio per le popolazioni a valle degli invasi, sebbene siano minuziosamente vigilate.

Oggi, attraverso il Dibattito pubblico, queste opere prioritarie saranno realizzate solo in presenza del consenso e della concertazione con le popolazioni. Si tratta di un passo avanti non di poco conto da parte di un Governo che ascolta sempre i cittadini e che ha come stella polare quella di migliorare la qualità della vita di tutti noi.

Grazie.





TAVOLA ROTONDA

Modera:

Giovanni Ruggeri

Presidente ITCOLD

Partecipanti: Donato Carlea (Presidente Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici); Federica Daga (Componente VIII Commissione della Camera dei Deputati Ambiente Territorio e Lavori Pubblici); Angelo Borrelli (Capo Dipartimento Protezione Civile); Maddalena Mattei Gentili (Direttore Generale Direzione STA, MATTM); Meuccio Berselli (Segretario generale Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po); Luigi Mille (Direttore dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po); Massimo Lucchesi (Segretario Generale Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Meridionale); Ornella Segnalini (Direttore Generale Direzione Generale Dighe, MIT).

G. Ruggeri Le attività precedenti si sono un po' protratte, e quindi abbiamo tempi un po' più stretti per la Tavola Rotonda. Però, "è chi ha poco da dire, che ha bisogno di tanto tempo per dirlo". E questo non è certamente il caso degli esperti che abbiamo il piacere di avere qui con noi, che sapranno certamente darci utili informazioni e stimoli di riflessione anche in tempi più brevi di quelli previsti.

Iniziamo dando la parola al Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che è il terminale di tutti i provvedimenti legislativi relativi alle dighe. Abbiamo sentito negli interventi precedenti quale importanza abbiano tali provvedimenti; e considerato che ve ne sono alcuni di estrema importanza in corso di sviluppo chiediamo a Donato Carlea se ci può ragguagliare al riguardo.

D. Carlea: Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha una sezione, la IV, che una volta si occupava solo di dighe. Oggi, nel vedere alcune immagini e nel sentire alcuni interventi, sono tornato al passato quando di quella sezione ho fatto parte, perché, tra il mio girare per l'Italia, c'è stato anche un periodo in cui ho fatto il Consigliere appunto alla IV sezione. Quando ancora di dighe se ne costruivano, ma tante erano già allora le dighe per cui occorreva manutenzione, una gestione attenta di quel di quello che c'era. L'hanno detto già tutti quanti negli interventi cosa significa una diga ai fini delle risorse per il territorio, per la gente, per l'irriguo, per il potabile. Gli impianti idroelettrici sono sempre stati collegati alla presenza di un invaso; poi perché no anche all'indotto che le dighe e gli invasi hanno prodotto successivamente: spesso le dighe sono diventate dei posti belli anche dal punto di vista paesaggistico, ambientale, inseriti così bene nel paesaggio.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che da qualche mese mi onoro di presiedere, per questa materia continua la sua storia. Nelle Norme tecniche per le costruzioni, sia quelle del 2008 che quelle del 2016, le classi d'uso assegnate alle dighe sono, come è facile immaginare, le classi più alte (la terza o quasi sempre la classe quarta); perché è facile immaginare quello che le dighe rappresentano anche in caso di eventuali calamità e in termini di Protezione Civile.

Negli ultimi tempi stiamo dando una particolare accelerazione proprio affinché le norme delle dighe possano essere portate all'Assemblea generale ed essere pubblicate; siamo quasi in dirittura d'arrivo. Nelle nuove norme tecniche per le dighe si è passati da un criterio storico - qualcuno lo ha definito di tipo ottocentesco - a un criterio prestazionale.

A breve avremo nuove norme generali per le dighe, che molto probabilmente dovranno in gran parte abbracciare quella che è una realtà. Quale? Le dighe esistono, hanno diversi anni e devono essere costantemente seguite, la manutenzione anche con interventi importanti deve essere di assoluta priorità, quasi come se fossimo arrivati congiuntamente a quello che io definisco il piano di manutenzione di un'opera. E' una delle poche eccellenti introduzioni delle varie normative che si sono succedute in termini di codice di appalti negli ultimi anni perché come dico sempre, finalmente si è capito che il costo di un'opera è la somma del costo di costruzione più il costo di gestione, qualsiasi sia il tipo di opera.

G. Ruggeri: Grazie ingegnere per questo aggiornamento. Le posso assicurare che tutta la comunità tecnica di settore è in trepidante attesa del nuovo Regolamento generale per le dighe, che speriamo sia all'altezza della qualità e della tradizione che l'Italia ha sempre avuto in questo settore. La ringraziamo anche per essersi trattenuto fino ad ora perché sappiamo che ha un impegno istituzionale che la attende.





Abbiamo parlato di infrastrutture idriche e in particolare di dighe. Tutto questo ruota attorno alla risorsa acqua. Abbiamo la fortuna di avere a questo tavolo la deputata Daga, della Commissione Ambiente della Camera dei Deputati. Deputata, ci può informare sulle riflessioni e sugli ultimi sviluppi in materia di governance dell'acqua?

F. Daga: Intanto volevo ringraziarvi per l'invito, io ho piacere sempre quando è possibile poter condividere quello che è un percorso che dura ormai da moltissimi anni. Sicuramente le parole del Ministro ci hanno dato un quadro di quelli che sono i fondi che sono stati stanziati ultimamente e per questo io vorrei fare un ringraziamento alla dott.ssa Segnalini perché è riuscita a creare un ambiente di collaborazione molto stretto per poter portare avanti tutte quelle piccole cose e anche le grandi cose che ha appunto raccontato prima il Ministro. Ho partecipato a una serie di iniziative come quello che appunto era il tavolo per la definizione dei criteri di ripartizione del fondo per le regioni; è stato fondamentale avere una interlocuzione diretta con le Regioni che sono poi comunque quelle che devono alla fine distribuire i fondi sui territori. Quindi quel tavolo ha permesso di poter mettere a confronto tutti i soggetti che erano interessati.

Noi stiamo lavorando su quella che è la semplificazione e centralizzazione della governance dell'acqua; è un momento un po' particolare - lo diceva anche il Ministro - la crisi idrica dal 2017 ci ha reso coscienti che c'è bisogno di cambiare anche il tipo di mentalità nell'approccio alla gestione del servizio idrico; quindi in questi mesi abbiamo lavorato ulteriormente in modo molto intenso. Il fulcro della nostra proposta in questo momento è: investimenti nel settore idrico, appunto il piano invasi-acquedotti che ci dà un punto di partenza molto importante, che vengano realizzati dallo Stato attraverso un piano strategico nazionale su tutti gli usi idrici. Stiamo ipotizzando che possa essere magari un ente centrale che possa fare tutto questo coordinamento, che coordini un po' tutti i soggetti coinvolti, che abbia contezza di quelle che sono le opere assolutamente da fare. Quindi un ente centrale che posso fare da raccordo, che possa ragionare sugli investimenti di grande portata per poi andare a collaborare con le Autorità di bacino distrettuali, quelle che hanno la gestione, fanno il piano di gestione locale e lo fanno insieme alle Regioni. Quindi anche in questo ambito ci ritroviamo di nuovo le Regioni che collaborano; andando ancora più in basso ci ritroviamo con quelli che sono gli enti di governo dell'ambito; bene lì ci sono anche i sindaci e perché non aggiungere anche qualche altro soggetto interessato sul territorio. Quindi creare un ambito di partecipazione su quelle che sono le decisioni da inserire, tutti gli interventi da inserire in quello che è il piano d'ambito. Stiamo ragionando in questi termini e vorremmo anche una partecipazione maggiore di quelli che sono i nostri Sindaci. Spesso e volentieri hanno ultimamente abdicato a questa funzione di gestione e controllo territoriale del servizio idrico integrato; quindi vorremmo dare loro maggiore possibilità di decisione effettiva in questo ambito; dare agli enti di governo dell'ambito una struttura maggiormente significativa che possa realizzare tutte queste cose che siamo appunto comunicando; significa agire sì in ambito locale ma veramente pensare in globale. E' un momento nel quale non ci possiamo più permettere di guardare solamente dietro casa nostra ma è il momento di guardare assolutamente più in grande e favorire la collaborazione di tutti i soggetti che sono coinvolti appunto nella gestione servizio idrico. Noi in questo momento stiamo presentando un testo in Parlamento, alla Camera dei Deputati che ha 12 anni di età, ha una vita vissuta di partecipazione popolare molto ampia ed è un po' quella che è una risposta al referendum del 2011 che è stato particolarmente partecipato in Italia. E' un testo che va aggiornato e che chiede tantissimo. La fase di audizione in Commissione ci ha permesso di avere, di sentire quelle che erano le criticità da parte di soggetti coinvolti e di acquisire quelle che sono state le proposte dei soggetti stessi. Ne abbiamo recepiti tutta una serie che abbiamo poi trasformato in emendamenti, pubblicati sul sito della Camera. Lo scopo del gioco è quello di mettere da parte gli interessi particolari e di strutturare e dare una mano per quelli che sono gli interessi generali e di guardare più alle collettività e non semplicemente al singolo soggetto che va appunto a gestire il servizio idrico in un dato territorio. Ne abbiamo bisogno per tutti i fattori che voi già conoscete e che si stanno susseguendo negli anni e quindi noi riteniamo di avere, di essere pronti in questo momento per poter continuare a discutere del testo anche in Commissione Ambiente. Spero di avervi dato un quadro generale, di quello che è l'indirizzo che vorremmo prendere e possa essere in qualche modo di stimolo magari per la discussione. Vi ringrazio.

G. Ruggeri: Grazie Daga. Credo sia condiviso da tutti i presenti che una volta che sia stata definita una linea di azione politica, qualunque essa sia, la possibilità di trasformarla in realtà operativa realmente efficace passa attraverso un processo di discussione e condivisione con tutte le componenti coinvolte. Confidiamo quindi che la riflessione in corso possa avvalersi del contributo di tutte le varie componenti.

Restando ancora su aspetti di valenza generale, chiedendo quindi un po' di pazienza ai relatori più dedicati ad uno specifico territorio, passo la parola ad Angelo Borrelli, Capo Dipartimento della Protezione Civile.

Oggi abbiamo ampiamente delle interazioni tra le dighe e il territorio, dal punto di vista della sicurezza. Chi ha lavorato per molti anni sulle dighe, ha potuto riconoscere che l'interazione tra il territorio la diga è stato uno de-

gli aspetti nel quale, più di altri, vi sono stati cambiamenti ed evoluzioni molto evidenti e importanti. Penso che Angelo Borrelli ci potrà dare utili informazioni e dettagli a questo riguardo.

A. Borrelli: Innanzitutto ringrazio la Dottoressa Segnalini, per aver organizzato insieme all'Associazione Idrotecnica Italiana questa giornata di studio e di approfondimento sulle grandi dighe. Voglio inoltre salutare l'ingegnere Chieppa della Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche ed elettriche del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, che è sempre presente al Comitato Operativo, convocato in occasione del verificarsi di emergenze di rilievo nazionale. Vi assicuro che noi dedichiamo sempre una grande attenzione al tema delle dighe e della loro tenuta, sia in caso di evento sismico - in cui è evidente che la preoccupazione maggiore è verificare se le dighe abbiano subito danni per effetto delle scosse - che di evento idrogeologico - idraulico.

Voglio anche ricordare che le dighe sono, tra le opere dell'uomo, quelle che rivestono un ruolo strategico per il governo della risorsa idrica, fondamentale per gli usi idropotabili e irrigui ma anche per la produzione di energia elettrica. Tuttavia, l'acqua molto spesso - lo vediamo anche negli ultimi eventi che si sono registrati ieri - oltre che essere una risorsa, può essere un pericolo con gravi ricadute sulla stessa vita umana. E' per questo che le dighe devono essere utilizzate anche per attenuare il rischio idrogeologico - idraulico nei corsi d'acqua a valle, attraverso una opportuna regolazione dei deflussi.

Io sono al Dipartimento della Protezione Civile dal 2002 e vi assicuro che ogni volta che c'è una piena sul Tevere - come quella del 2008 o quella del 2012 - si pone il problema della gestione della diga di Corbara. Chi parla col gestore? Chi dà l'ordine di aprire le paratoie? Chi deve dare indicazioni sulla gestione della piena? Quindi dobbiamo approfittare - come diceva prima il Segretario dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale - dei momenti di "calma" per affrontare e risolvere il tema dell'utilizzo delle risorse idriche per i diversi scopi. In questa ottica, come Dipartimento della protezione civile abbiamo coordinato un Tavolo a cui hanno partecipato tutti i soggetti competenti, che ha portato all'adozione da parte delle Regioni Lazio ed Umbria del Piano di laminazione della diga di Corbara.

Quello che voglio sottolineare in questo mio intervento - perché so che il collega Italo Giulivo ha già illustrato quelle che sono le tematiche relative al sistema di protezione civile che riguardano le grandi dighe - è che noi dobbiamo lavorare affinché la pianificazione di emergenza delle dighe venga realizzata e portata avanti con la maggiore dovizia di particolari possibili e che sia integrata nell'ambito della pianificazione di Protezione Civile generale. Infatti, noi riteniamo, come sistema di Protezione Civile, che la pianificazione di emergenza delle dighe debba essere ricompresa nella pianificazione di Protezione Civile, anche ai fini dell'allertamento della popolazione. Qui voglio ricordare che abbiamo proposto, ed è stata inserita nel Decreto Legge Sblocchi Cantieri, un'importante norma che istituisce la piattaforma nazionale di allertamento della popolazione, denominata IT Alert. In breve, quello che manca nel nostro Paese è una piattaforma che consenta di raggiungere i nostri cittadini per informarli sull'andamento delle condizioni meteorologiche. Noi riteniamo che questo aspetto sia fondamentale per la sicurezza e quindi stiamo lavorando per costruire un sistema che consenta di arrivare al singolo cittadino. Il primo passo prevede lo sviluppo della piattaforma attraverso la quale è possibile inviare comunicazioni a tutti i cittadini provvisti di smartphone che si trovino in una determinata area geografica e di allertamento, in cui è previsto o è in corso un evento, utilizzando la tecnica del cell broadcast. Nella fase successiva vogliamo sviluppare una APP che consenta di avere le informazioni di protezione civile, utili al cittadino, personalizzate in base alla sua localizzazione al momento dell'invio del messaggio. Questo è il progetto che stiamo portando avanti e che dobbiamo realizzare. Concludo segnalando che anche venerdì prossimo nella riunione della Commissione Nazionale per la Previsione e la Prevenzione dei Grandi Rischi si parlerà di dighe e di risorse idriche. Grazie.

G. Ruggeri: Grazie a Borrelli del contributo. Questa mattina abbiamo parlato molto di dighe, di territorio, di sicurezza. E molti interventi hanno richiamato l'importanza degli aspetti ambientali. Spesso gli aspetti ambientali sono stati citati in relazione al tema della sedimentazione dei serbatoi, uno degli argomenti di maggior rilievo ed impatto, nella realtà attuale.

Abbiamo la fortuna di avere con noi Maddalena Mattei Gentili della Direzione Generale del Servizio di Salvaguardia Territorio Ambiente del Ministero dell'Ambiente del Territorio e del Mare, a cui diamo la parola chiedendo in particolare un suo commento sul tema della sedimentazione negli invasi.

M. Mattei Gentili: Buonasera a tutti. Preme innanzitutto ringraziare il Direttore Segnalini per l'invito a questo convegno che testimonia d'altronde il modo in cui le due direzioni stanno lavorando insieme su molte tematiche come ad esempio sul Piano Nazionale Idrico - sezione invasi - in cui abbiamo collaborato anche insieme ai no-





stri distretti. Attualmente stiamo lavorando sulla predisposizione della bozza di Decreto Ministeriale riguardante i criteri per la redazione del Progetto di gestione degli invasi, argomento che contiene in sé anche la grande problematica ambientale relativa alla gestione dei sedimenti. Sebbene possa apparire strano, siamo riusciti a conciliare i nostri interessi e a farli convergere verso un'unica direzione. Il Ministero dell'Ambiente, ogni qual volta si parli di gestione e di tutela della risorsa idrica, deve fare riferimento alla Direttiva Quadro Acque. La Direttiva Quadro Acque ci impone degli obiettivi, come ad esempio il raggiungimento di un buono stato ambientale delle acque attraverso l'attuazione di una serie di misure. La caratterizzazione dei distretti, l'analisi delle pressioni, l'analisi economica degli utilizzi idrici sono tutti presupposti per l'implementazione della Direttiva Quadro Acque e quindi un riferimento costante del Ministero dell'Ambiente, a maggior ragione quest'anno che la Commissione ha chiuso la procedura di infrazione. L'EU PILOT 7304/2015/ENVI era infatti stato aperto nel 2015 nei confronti dell'Italia proprio per il mancato adeguamento alla Direttiva Quadro Acque; grazie all'action plan di rientro presentato alla Commissione e agli sforzi fatti sia a livello centrale che territoriale, la Commissione, a febbraio 2019, ha notificato all'Italia la chiusura del Pilot 7304.

Anche il decreto sul Progetto di gestione degli invasi deve essere letto in quest'ottica, in questa prospettiva. Oggi abbiamo sentito ovviamente parlare molto di dighe, essendo l'argomento del convegno. Il Ministero dell'Ambiente su questa tematica ha ovviamente un atteggiamento precauzionale. Occorre infatti seguire l'indirizzo attuale del legislatore: prima recuperiamo e manteniamo l'esistente. Questi presupposti sono riconducibili anche al ddl 133 nel quale è riportato che, per quanto riguarda la mitigazione del dissesto idrogeologico, gli interventi prioritari da ammettere al finanziamento e per i quali è riservata una quota di finanziamento, sono i cosiddetti interventi win-win integrati e ambientali, che non sono altro che quegli interventi che conciliano le finalità della direttiva quadro acque con la finalità della direttiva sul rischio alluvioni. Facciamo degli esempi: invece di costruire l'opera infrastrutturale, laddove è possibile, recuperare la sinuosità del fiume oppure recuperare le pianure alluvionali oppure forestare le pianure alluvionali; si tratta di interventi che nel nostro ambito italiano sono un po' innovativi e a volte possono essere anche di difficile realizzazione. Si pensi ad esempio al recupero di pianure alluvionali in un ambito fortemente antropizzato, ci possono essere regioni dove, a causa della forte antropizzazione del territorio, è più difficile effettuare questo tipo di operazione. E' pur vero che, in generale, la tendenza è quella di "recuperare", così come è previsto anche nel piano nazionale idrico. Cosa dice infatti il Piano invasi? Recupera, mantieni, amplia, completa le opere e mettile in esercizio e, soltanto in casi residuali, utilizza le cave dismesse come un serbatoio di accumulo per le risorse, per l'utilizzo irriguo. Ammette a finanziamento la progettazione di interventi che ritiene strategici. La strategicità viene letta in duplice accezione: quella ambientale e quella di compatibilità con la pianificazione di distretto, perché le dighe e gli sbarramenti di ritenuta possono essere anche delle misure contemplate nei piani di distretto; è ovvio infatti che la diga di ritenuta ha una funzione, come abbiamo visto, di capacità di laminazione delle piene o comunque di rilasci anche per gli ecosistemi di valle, discorso legato quindi al flusso ecologico. Per ricollegarci al decreto in lavorazione, le dighe interrompono la continuità del trasporto di sedimenti nei fiumi causando l'accumulo di questi all'interno degli invasi. Ciò determina, da una parte, elevati livelli di interrimento degli invasi che ne compromettono le funzioni limitandone la capacità utile e presentando anche rischi per la sicurezza dell'impianto, dall'altra, privano i tratti fluviali a valle degli invasi del carico naturale di sedimenti che invece sono essenziali per mantenere le caratteristiche idromorfologiche del fiume che creano gli habitat acquatici e quindi l'intero ecosistema fluviale. I sedimenti infatti sono essenziali per l'habitat delle piante acquatiche, degli invertebrati e degli altri organismi. Non solo il sedimento grossolano, che costituisce l'alveo dei fiumi e che supporta degli habitat importanti, ma anche quello fine che può costituire un nutriente. Inoltre il sedimento non è essenziale soltanto dal punto di vista degli habitat acquatici ma anche dal punto di vista fisico. Infatti, la mancanza di sedimento comporta modifiche morfologiche, come le incisioni nei canali fluviali, mentre il mancato trasporto del sedimento incrementa il grave fenomeno dell'erosione costiera; il Ministero dell'Ambiente ha creato un osservatorio proprio sull'erosione costiera, perché in Italia è un fenomeno di dimensioni macroscopiche che incide non solo a livello ambientale ma anche turistico; la sensibilità su questo tema è quindi molto forte. Ma entriamo nel merito della disciplina del Decreto, sulle difficoltà incontrate prima fra tutte il ritardo: questo decreto avrebbe dovuto essere pronto già da molto tempo. In primo luogo è sopraggiunto il decreto sulla blue-economy che ha comportato delle modifiche, un cambio di rotta. Ha infatti introdotto le Autorità di distretto, il Piano di gestione sedimenti a livello distrettuale e quindi ha comportato anche una modifica e un arricchimento dei contenuti della bozza di decreto sul progetto di gestione degli invasi che si stava predisponendo. In secondo luogo ha introdotto la criticità relativa alla gestione del sedimento. Il sedimento andrebbe collocato lungo il corso del fiume quindi deve essere conciliabile con le operazioni di svasso, sfangamento, sghiaimento della diga oppure con l'asportazione del materiale a diga piena o a invaso vuoto. Ma il problema è capire come ricollocare questo sedimento e nel caso di fluitazione come debba transitare l'acqua per portare il sedimento nel posto che è stato individuato come il migliore per ricreare ecosistemi naturali.

Ci sono quindi dei punti di criticità, dei nodi che adesso stiamo sciogliendo in questo gruppo di lavoro con il Ministero dei Trasporti e che riguardano anche un vuoto normativo. Abbiamo infatti parlato della Direttiva Quadro



Acque, la quale però quando si riferisce al buono stato chimico del corpo idrico, per le acque interne, fa riferimento a criteri relativi alla colonna d'acqua ma non nei sedimenti. Quindi quando noi andiamo a movimentare un sedimento dobbiamo prima caratterizzarlo; perché questo può essere anche contaminato; un sedimento contaminato, reimmesso nel corso d'acqua, provoca più danni che benefici anche dal punto di vista ambientale. Poiché non ci sono dei criteri in tal senso il gruppo di lavoro sta cercando di individuarne una serie per poter dare indicazioni su quando e come il sedimento può essere prelevato e una volta caratterizzato, come deve essere trattato. Noi già lo sappiamo, si possono fare una serie di operazioni come lavaggi o biodegradazioni oppure il sedimento può essere riposizionato, trattato come un rifiuto quindi posizionato in una discarica; e anche in questo caso si apre il tema di trovare le discariche quindi, come dicevo in precedenza, questo è un provvedimento molto complesso. Un altro nodo che si sta affrontando e che ha segnalato proprio il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti è relativo al fatto che, mentre è prevista una sanzione per il gestore nel caso di mancata presentazione del progetto di gestione, questa non è prevista nel caso in cui si disattendono le operazioni che sono state autorizzate ovvero se il gestore esegue le operazioni prima dell'autorizzazione. Il gestore non può essere affatto incentivato a non presentare il progetto di gestione; quindi stiamo studiando con il Ministero delle Infrastrutture proprio per intervenire e colmare questa lacuna normativa. Si può agire o a livello di norma primaria altrimenti portando questa fattispecie all'interno dell'ambito più generale della normativa ambientale collocandola nel sistema del danno ambientale, che però diventa un po' generico.

L'ultimo problema riguarda proprio l'interazione che ci deve essere fra il progetto di gestione degli invasi e il piano di gestione dei sedimenti ove predisposto dalle Autorità di distretto, perché l'articolo 114 del decreto 152 del 2006 non esplicita che l'Autorità di distretto debba intervenire nella procedura per la redazione del progetto di gestione; però il Ministero dell'Ambiente ritiene che, in qualche modo, il piano di gestione dei sedimenti predisposto dall'Autorità di distretto debba comunque essere adeguatamente applicato e valutato quando si parla di movimentare i sedimenti all'interno di un invaso.

Stiamo dando una forte accelerata a questo Decreto anche perché va di pari passo col Piano Nazionale Idrico e speriamo di concludere i lavori entro l'estate. Vi ringrazio.

G. Ruggeri: La ringrazio dottoressa Gentili. Le auguriamo tutti buon lavoro, perché avete in mano un problema di primo piano per la continuazione in efficienza dell'esercizio di queste opere. Mi viene da ricordare, e chi ha memoria lunga lo ricorderà senz'altro, che fu una un'improvvida deliberazione che classificò gli scarichi delle dighe come scarichi industriali, e che ha di fatto portato alla occlusione di molti scarichi di fondo, anche con conseguenze su aspetti di sicurezza. Questo evidenzia l'importanza delle riflessioni che state facendo, e delle soluzioni che confidiamo saprete trovare.

Restando sempre sui temi ancora generali ma più calati su realtà territoriali specifiche, cedo con piacere la parola a Meuccio Berselli, Segretario Generale Autorità di bacino Distrettuale del fiume Po, per parlare proprio di come si opera per trovare un'ottimizzazione tra varie e diverse esigenze ed interessi. Ottimizzazione che, come sappiamo, non è facile da trovare. Vediamo cosa Berselli ci racconta delle sue esperienze al riguardo.

M. Berselli: Grazie dell'invito. Intanto mi riallaccio al ragionamento che ha fatto il Ministro prima, indicando una siccità che nei giorni scorsi stava colpendo il bacino del fiume Po. Il bacino che è esteso circa 70.000 km², rappresenta un'area in cui si produce circa il 40% del PIL nazionale; attraverso l'utilizzo della risorsa idrica, esso contribuisce al 35% dell'agricoltura nazionale e alla produzione del 55% dell'idroelettrico nazionale. L'intera area del bacino del Po ha quindi una pressione, un valore enorme sia a livello di coordinamento che di pianificazione. La geomorfologia del bacino comprende i grandi laghi: il Lago Maggiore, il Lago di Garda, il Lago di Idro, il Lago d'Iseo; questi laghi offrono l'opportunità, quando il fiume ha una portata bassa, di poter regolare, poter derivare, poter prelevare l'acqua e, quindi, di disporre della risorsa idrica nei territori anche quando l'ecosistema fluviale non l'avrebbe a disposizione, ma anche di utilizzare quell'acqua per tutti gli altri usi. Per esempio, importantissimo è l'uso agricolo nei momenti estivi, quando le temperature sono molto alte e quando molto spesso, come negli ultimi anni, gli eventi siccitosi sono molto prolungati nel tempo. Dunque, l'opportunità di disporre di questi grandi laghi naturali ci consente di poter sopperire a talune mancanze naturali. Per questi motivi, bisogna utilizzarli nel modo migliore possibile e bisogna farli diventare molto performanti, ottimizzandone la resa per gli usi di cui abbiamo necessità. Infatti, quando riuniamo gli Osservatori, come per esempio quello sulle crisi idriche, tra gli argomenti più dibattuti c'è la gestione e le regole della derivazione dal Lago Maggiore. Infatti, nel Lago Maggiore un centimetro di acqua corrisponde a un volume idrico di circa 2,4 milioni di m³. È quindi immediato comprendere che 50 cm di acqua in più nel Lago Maggiore da poter derivare nel momento del bisogno significa una riserva di acqua importantissima dal punto di vista economico e sociale. Inoltre, avere una riserva di acqua ci consente di poter rispondere alle esigenze del deflusso ecologico, di poter rispondere quindi a un altro





problema di habitat, fondamentale, che abbiamo nel bacino del Po e cioè evitare l'intrusione del cuneo salino che è nel delta. L'intrusione del cuneo salino si previene garantendo il passaggio a Pontelagoscuro di 450 m³/s di acqua; se la portata è inferiore a tale valore, il cuneo salino continua il suo percorso di intrusione, per esempio, negli anni della grande siccità, 2003-2007 ha superato i 20 km. Quindi si comprende come l'importanza della garanzia della risorsa idrica non è solo per il prelievo e per il valore economico dell'agricoltura (coltivazione del pomodoro, produzione del parmigiano reggiano), che peraltro sono fondamentali, ma è anche per evitare che un habitat fragile e delicato come quello del delta possa esser compromesso. Ed è importante anche la conoscenza dei livelli delle grandi dighe, perché nel bacino del Po ci sono 193 delle oltre 500 grandi dighe di cui abbiamo parlato oggi. Quindi il fatto di conoscere e di poter derivare l'acqua in alcuni momenti di scarsità idrica, prima che entri in campo il Dipartimento di Protezione Civile acclarando un peggioramento troppo evidente, significa cercare di mitigare conflitti, anche futuri, fra territori. Quindi, la nostra attività di pianificazione prevede anche di sensibilizzare le comunità locali, come ad esempio quelle del Lago Maggiore, e di far comprendere loro che se noi tentiamo di far derivare più acqua del Lago, non è per allagare le zone rivierasche del Lago Maggiore; ma è proprio per calmierare un problema evidente che riguarda tutto il bacino del fiume. La nostra struttura si occupa anche delle alluvioni e della gestione di questo tipo di emergenza. Facciamo una pianificazione in tempo differito in cui operativamente entra l'Agenzia AIPO che fa la sua parte nella gestione dell'emergenza e si occupa anche della qualità del corpo idrico, perché ogni volta che parliamo di Fiume dobbiamo anche tentare di rispondere alle esigenze di miglioramento del corpo idrico. Per esempio, ad oggi oltre 6500 depuratori - quindi investimenti delle Regioni e investimenti dei Ministeri - hanno provveduto a migliorare la qualità dell'acqua che, negli ultimi 20 anni, ha favorito anche un ripopolamento seppur alloctono, ma comunque di presenza di fauna evidente nel fiume. In sintesi, il nostro lavoro è di garantire acqua per tutti i territori attraverso tutte le misure possibili, non ultima quella del confronto con i territori locali, per riuscire ad ottenere la possibilità di avere acqua per tutti. Grazie.

G. Ruggeri: Grazie Berselli. Penso che chi è abituato a fare il tecnico difficilmente proverà invidia per il suo mestiere, che appare decisamente complesso. Rimaniamo nell'ambito del bacino del Po con l'ingegner Mille, dell'Agenzia Interregionale per il Po, che commenterà in merito alle opere che AIPO gestisce e all'interazione tra queste e il territorio.

L. Mille (Sintesi dell'intervento): Il relatore ha evidenziato che l'Agenzia Interregionale per il fiume Po, che dirige, ha ereditato le competenze di una struttura ministeriale, il Magistrato per il Po, ma fa qualcosa in più rispetto a quello che faceva il Magistrato per il Po. Intanto si è allargato l'ambito di competenza anche sul Lago di Garda e al Mincio ma soprattutto fa anche attività di gestione e regolazione dei laghi. L'Ing. Mille si è unito ai ringraziamenti rivolti alla dottoressa Segnalini e all'Associazione Idrotecnica Italiana per la lungimiranza con cui hanno organizzato questo Convegno e per il gradito invito. Ha poi mostrato l'ubicazione di tutte le dighe - di fatto sono traverse ma rientrano nel regolamento dighe - che l'Agenzia gestisce e che ricadono tutte sotto la competenza dell'ufficio territoriale di Milano della DG Dighe, ringraziando l'Ing. Maugliani che lo dirige, per la collaborazione strettissima anche di indirizzo che ha sempre dato. Ha poi ricordato la stretta collaborazione con l'ufficio centrale della DG Dighe e in particolare con l'ingegner Chieppa, assolutamente importante per l'Agenzia. Le problematiche che l'Agenzia ha nella gestione di queste dighe è che di fatto il collaudo ex legge 584 articolo 14 ce l'ha solo una, quella di Gurone, mentre le altre sono in fase di collaudo. Ha espresso preoccupazione per i tempi per la realizzazione delle opere idrauliche e infine ricordato l'urgenza di provvedere alla redazione e approvazione dei piani di laminazione.

G. Ruggeri: Ringraziando della paziente attesa, diamo la parola a Massimo Lucchesi, Segretario Generale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, che, continuando nel processo di progressiva focalizzazione, tratterà aspetti associati a un'opera specifica: la diga del Bilancino. Una diga recente, una rarità nel contesto delle nostre dighe, che hanno un'età media di circa sessant'anni.

M. Lucchesi: Intanto ringrazio per l'evento perché in termini tecnici credo che sia uno dei meglio riusciti negli ultimi tempi. Come dicevo prima a qualche collega ingegnere, a volte frequentiamo dei corsi di formazione soltanto per ottenere crediti o partecipiamo a riunioni che quasi non servono; credo che questo sia invece un evento molto utile che ha toccato tantissimi temi importanti, direi fondamentali.

Io sono il Segretario dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale e pertanto ho come territorio di riferimento la Regione Toscana, la Regione Liguria, che guarda verso il mare e una piccola parte dell'Umbria. E' il distretto più piccolo, ma è anche quello che ha caratteristiche, dal punto di vista del territorio, molto complesse: abbiamo zone di pianure, abbiamo le Alpi Apuane, l'Appennino. Su questo territorio sono presenti diverse dighe in attività (Valle del Serchio, Lunigiana, Arno ecc.) e altre, come quella di Corfino in dismissione,

con le problematiche di cui parlavamo anche prima, sia dal punto di vista dell'adeguamento sismico sia dal punto di vista dello smaltimento dei fanghi invasati (con tutti gli aspetti relativi anche al Piano di Gestione delle Acque e al deflusso ecologico).

Sostanzialmente il tema delle infrastrutture per la laminazione è presente nello strumento di pianificazione dell'Autorità di distretto, in particolare per il bacino dell'Arno dal '99, anno in cui è stato fatto il primo piano stralcio di rischio idraulico. Nel piano erano già presenti alcuni progetti di pianificazione che riguardavano interventi tra i quali appunto la diga di Bilancino, il potenziamento della diga di Levane sull'Arno (sopralzo del corpo diga esistente di 4,5 metri con volume laminabile di 9,5 milioni di m³, che sta andando in progettazione esecutiva adesso) ed altri ancora su vari reticoli principali. Si trattava di un sistema che pianificava tutta una serie di interventi di laminazione delle piene comprese le casse di espansione.

In questa attività di pianificazione, e qui vengo al tema di oggi, qual è la “ricetta”, la scelta migliore? La scelta tra casse di espansione e dighe va commisurata con le caratteristiche dei territori, perché molto spesso accade che nascano degli “innamoramenti” dal punto di vista tecnico, ma credo che non vada mai perso di vista il fatto di conoscere e applicare questi strumenti, avendo presente le specificità dei territori interessati.

Per quanto concerne la diga del Bilancino, nelle frequenti riunioni di monitoraggio che abbiamo organizzato come Osservatorio della risorsa idrica, abbiamo notato i benefici che questa diga, con una capacità di invaso di circa 17 milioni di metri cubi, porta alla zona di Firenze in fase di risorsa scarsa nel periodo estivo, in quanto consente l'approvvigionamento di vari acquedotti nella zona del Fiorentino. In questo contesto credo che sia fondamentale il lavoro svolto da parte del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, ma occorre anche il supporto delle Regioni e degli Enti coinvolti perché quando ci sono le pianificazioni e i finanziamenti è fondamentale individuare, sulla base di quanto previsto dai piani dell'Autorità di Distretto, le priorità e gli interventi da attuare. Indubbiamente un lavoro di questo tipo comporta anche elementi di adeguamento per quanto riguarda le sezioni idrauliche, a valle della struttura; e in questo ovviamente l'attività si interseca con il piano di gestione del rischio alluvioni, altro strumento di pianificazione delle Autorità di Distretto.

C'è un'esigenza però, che già è emersa nei lavori di stamani, che è quella di lavorare anche sull'opinione pubblica. Porto al riguardo un esempio: durante la pausa pranzo mi ha chiamato un Sindaco di un comune di pianura sul Serchio preoccupato per la neve caduta sulle parti alte della Garfagnana chiedendomi cosa succede se piove e se gli ammassi nevosi si sciolgono velocemente e vengono a valle. Sollecitava e raccomandava che il sistema delle dighe del Serchio “reggessero” a monte le acque. Questo dimostra che nonostante ci siano i Piani dell'Autorità e i piani di gestione delle Dighe, è ancora presente una percezione di improvvisazione e di insicurezza. È naturale che ci si preoccupi in “tempo di guerra” mentre quando va tutto bene ci si dimentichi dei rischi di alluvione. Su questi temi quindi credo ci sia da lavorare ancora molto, dal punto di vista tecnico ma anche dal punto di vista divulgativo. Il tema della diga, come del resto quello della messa in sicurezza dei corsi d'acqua (che non è mai una messa in sicurezza definitiva), ha bisogno, oltre che di approfondimenti tecnici, anche di un progetto finalizzato alla sensibilizzazione e conoscenza delle tematiche relative al rischio idraulico che sia indirizzato ai cittadini ma anche agli amministratori locali.

G. Ruggeri: Grazie a tutti i relatori della Tavola Rotonda. Penso di interpretare il senso di tutti ringraziando in particolare il Direttore della Direzione Generale Dighe, Arch. Ornella Segnalini, insieme con l'Associazione Idrotecnica Italiana, per aver organizzato questa Giornata, e senza altri indugi le passo la parola per le conclusioni.

CONCLUSIONI

O. Segnalini: Grazie a tutti, se non altro per la pazienza di averci ascoltato tutta la giornata. Sono veramente contenta e credo che tutta la Direzione Generale sia molto soddisfatta del convegno di oggi, perché ha messo in luce alcune problematiche molto importanti, alcune le abbiamo esaminate, su altre c'è molto lavoro da compiere. Sicuramente al primo punto c'è il problema del rafforzamento della nostra attività di vigilanza. Qui ci viene incontro il nuovo *Regolamento*, di cui ha parlato il Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Mi auguro che i lavori per la genesi dell'aggiornamento del *Regolamento* si possano concludere a breve; infatti, la Commissione incaricata ha lavorato per tanto tempo e in modo molto importante; c'è anche un nuovo approccio verso le dighe, un nuovo approccio che tiene conto dei livelli di attenzione che dovranno avere le dighe: non sarà più sufficiente eseguire due visite di vigilanza all'anno in tutte le dighe, ma sarà necessario differenziare le ispezioni a seconda delle peculiarità delle dighe stesse; infatti le dighe sono molto differenti, hanno età differenti,



hanno gestori differenti, quindi per alcune forse due ispezioni l'anno sono troppo, ma per altre ci sarà bisogno di prevederne di più; quindi una nuova visione anche nella nostra attività è sicuramente importante. Servono anche norme innovative per la gestione dei sedimenti delle dighe, delle norme più realistiche, rispetto a quelle passate, come ci ha fatto presente il Direttore Gentili. Non abbiamo l'ambizione che tutto il sedimento accumulato negli anni nel serbatoio possa essere rimosso anche perché ci saranno dei problemi sulla ricollocazione dello stesso o su come farlo fluitare nel corso d'acqua. Però sicuramente un approccio realistico come quello che sta assumendo la specifica Commissione che sta lavorando alla nuova normativa (tra l'altro ringrazio l'ing. Santoro della mia Direzione e il Ministero dell'Ambiente per il lavoro che stanno facendo), è veramente importante. Dal punto di vista della pianificazione di emergenza c'è tanto lavoro da fare. Siamo contenti di questo nuovo sistema *It-Alert*, che risulta veramente importantissimo a mio avviso perché può essere una soluzione per tanti gravi fatti che sentiamo quotidianamente, ma la pianificazione di emergenza deve essere incentivata. Per esempio, molti documenti di Protezione Civile sono stati già esaminati dalla Direzione dighe, però poi il procedimento per la loro approvazione ha un *impasse* proprio a livello regionale, perché compete alle Regioni l'ultimo passo. Per questo argomento posso testimoniare di aver avuto tutto il mio personale molto impegnato per la soluzione di questi problemi; io auspico che ci sia anche magari un'innovazione a livello normativo da questo punto di vista, che possa in qualche misura accelerarli, farli approvare e assumere in maniera più celere. Poi bisogna dare voce anche ai gestori. Essi ci hanno rappresentato i loro problemi, le loro questioni in fatto di laminazione e forse una riflessione va approfondita anche in questo campo. Invito però tutti, ma soprattutto le Regioni, a rivedere le loro concessioni nei confronti dei gestori; la laminazione deve essere un elemento che entra a far parte della concessione; le concessioni sono le vecchie concessioni minerarie, ormai desuete, vecchie concessioni passate alle Regioni *tout court*. Sicuramente serve una nuova forma di gestione delle nostre dighe; abbiamo parlato di 90 concessionari che gestiscono una sola diga, principalmente dislocati nel centro-sud Italia. Per esempio, la *Legge di Bilancio* per il 2018 aveva previsto proprio che ci fosse una società in sostituzione dell'EIPLI: oggi purtroppo non è potuto esser presente il Segretario generale del Distretto dell'Appennino meridionale, la dottoressa Vera Corbelli, cui è stato affidato come Commissario straordinario il passaggio dalla gestione EIPLI, ormai in liquidazione da tanti anni, credo più di 15, alla nuova società prevista dalla legge finanziaria. Io auspico che questa gestione intermedia non si traduca poi in una gestione definitiva; perché dobbiamo andare avanti, verso una nuova forma societaria, quella prevista dalla *Legge di Bilancio*: una Società dello Stato che potrà essere partecipata dalle Regioni interessate. Mi auguro e invito le Regioni in questa sede a cominciare a pensare a nuove forme di gestori per le dighe; non è possibile che le dighe siano in mano a enti che per varie ragioni (perché troppo piccoli, perché non dotati delle necessarie risorse), hanno difficoltà nell'avviare i lavori; magari sanno gestire la diga però non hanno capacità ad avviare le gare che servono per adeguare la diga. Da ultimo, serve pensare in grande Onorevole Daga, serve proprio pensare a una struttura, mi fa molto piacere quello che lei ha detto: un piano strategico nazionale, una struttura centrale che si possa occupare di questo problema, che possa avere uno sguardo unitario sull'elemento acqua, un bene preziosissimo, sia esso acqua che deriva dalle dighe, acqua che proviene dalle sorgenti. Il Piano Invasi, ovvero il *Piano Nazionale nel settore idrico* nella sua breve esperienza ha messo insieme tutte le amministrazioni dello Stato, ha messo insieme in un tavolo tecnico-politico anche le Amministrazioni regionali e le Autorità di distretto; perché alle 7 Autorità di Distretto è demandato il ruolo più importante che esista: quello di pianificare, di mettere in relazione, di interconnettere questi elementi, queste strutture importantissime che sono le nostre dighe.

Grazie a tutti.

Luigi Da Deppo*

LA DIGA AD ARCO DI PONTE DELLA SERRA, TRA LE PRIME IN ITALIA, COMPIE 110 ANNI

THE PONTE DELLA SERRA ARCH DAM, ONE OF THE FIRSTS IN ITALY, TURNS 110

La diga di Ponte della Serra è stata costruita tra il 1907 e il 1909 nei Comuni di Lamon e Sovramonte (Belluno), per l'utilizzazione delle acque del torrente Cismòn (Brenta). La diga, alta 45 m, consiste in un arco di calcestruzzo e muratura, con raggio esterno di 33 m sostenuto, a valle, in chiave, da uno sperone murario; su questo e sulle spalle in roccia, si impostano, verso la sommità della diga, due volte ad asse orizzontale che sostengono una struttura piana dalla quale sfiora la portata di piena. Particolari costruttivi interessanti sono l'impiego di cassoni ad aria compressa per l'approfondimento delle fondamenta nella coltre alluvionale, la gru-teleferica (blondin), per la prima volta in Italia, per il trasporto dei materiali dai cantieri alla diga e la costruzione in muratura di pietrame con malta di cemento, con il nucleo centrale di calcestruzzo. Il serbatoio aveva capacità di invaso di 4×10^6 m³, annullata dopo 50 anni non avendo la diga lo scarico di fondo, ma solo una bocca sghiaiatrice poco al di sotto della quota dello sfioratore. La superficie del bacino imbrifero è di 497 km². La portata dello scarico di superficie e dello scarico di sghiaimento è di 1.000 m³/s. Il costo fu di circa 900.000 lire, equivalenti a 4.000.000 di € di oggi.

Parole chiave: Diga, Impianto idroelettrico.

The Ponte della Serra dam was built between 1907 and 1909 in the Municipalities of Lamon and Sovramonte (Belluno, north-east Italy), for the usage of the Cismòn stream (a Brenta River tributary) waters. The dam, 45 m high, consists of a concrete and masonry arch, with an external radius of 33 m, supported, downstream in the keystone position, by a masonry spur. Two horizontal axis vaults are abutted against this spur and the rocky shoulders, towards the top of the dam. The vaults support a flat structure from which the overflow spills. Other interesting construction details include: the use of compressed air caissons for lowering the foundations into the alluvial deposits; the use of a cableway crane (blondin), for the first time in Italy, for transporting materials from construction sites to the dam; and the construction in stone masonry with cement mortar, with a central concrete core. The reservoir had a 4×10^6 m³ storage capacity, which was decommissioned after 50 years because the dam had no bottom outlet, but only a desiltation sluiceway just below the level of the spillway. The catchment area is 497 km². The combined discharge capacity of the spillway and desiltation sluiceway is 1,000 m³/s. The cost was around 900,000 lire, equivalent to € 4,000,000 today.

Keywords: Dam, Hydroelectric Power Plant.

1. PREMESSA

Il periodo antecedente lo scoppio della grande guerra corrispose in Italia ad un forte e deciso sviluppo della produzione elettrica ed idroelettrica in particolare; la prima centrale elettrica entrò in funzione a Milano nel 1883, un anno dopo l'attivazione a New York della prima centrale elettrica del mondo⁽¹⁾.

Nel 1906 la Società Forze Motrici Cismòn Brenta iniziò, i lavori preparatori per la costruzione di una diga a scopo idroelettrico in una stretta del torrente Cismòn (Brenta) poco a monte del Ponte della Serra (Fig. 1) in Comu-

*Emerito di Costruzioni idrauliche - Università degli studi di Padova.

⁽¹⁾ La prima centrale elettrica del mondo fu quella di Pearl Street a New York, progettata e costruita da Edison con quattro dinamo, da 80 kW ciascuna, azionate da quattro motrici a vapore; la centrale fu inaugurata nel 1882. In Italia la prima centrale fu attivata a Milano, in via Santa Radegonda, vicino al Duomo, il 28 giugno 1883, ad opera della Società Edison, creata da Giuseppe Colombo; era equipaggiata con motrici a vapore e dinamo. La centrale fu completata nel 1884 per alimentare, con una potenza complessiva di 400 kW, una rete di distribuzione per un raggio di 500 m. Il primo impianto idroelettrico italiano, con potenza di 62 kW, fu costruito a Tivoli (Roma), nel 1885. La seconda centrale idroelettrica, della potenza di 185 kW fu realizzata a Terni nel 1887. Gli impianti erano a corrente continua e la tensione di trasmissione e distribuzione era intorno ai 100 V. Nel 1883-85 a Verona fu realizzato un impianto idroelettrico, che utilizzava un canale derivato dall'Adige collaudato nel 1887, con potenza di 3.000 HP (1HP = 0,746 kW). Nel 1892 entrava in servizio una centrale con corrente alternata che sfruttava le cascate di Tivoli, col trasporto a Roma, distante 26 km, di 1300 kW a 5000 V (Marin, 1982).

ne di Lamon e Sovramonte (Belluno), circa 8 km a valle dell'altra confine con l'Impero Austro-Ungarico e distante circa 15 km dalla confluenza in Brenta e 13 km dalla città di Feltre. La superficie del bacino imbrifero è di 497 km².

La diga, costruita con gestione diretta, ultimata ed invasata per la prima volta nel 1909, era, in Italia, sedicesima in ordine cronologico di costruzione a partire dal 1600 e, tra queste, prima per altezza e prima per capacità di invaso del serbatoio (ANIDEL, 1961)⁽²⁾. Realizzando una centrale a Pedesalto (Fonzaso-Belluno) si creava un salto di 54 m, per ritrarre una potenza tra 4.500 e 7.500 CV (1CV = 0,736 kW).

Come può vedersi dalla bibliografia, numerose sono le note che, in vario modo, trattano della diga di Ponte della Serra; è tuttavia da segnalare che il 12 maggio 1910 il progettista ing. Angelo Forti tenne una brillante ed esaustiva conferenza agli studenti della R. Scuola per gli ingegneri di Padova dal titolo: *L'impianto idroelettrico del Cismon a Ponte della Serra con speciale riflesso alla grande diga di sbarramento e ai sistemi e materiali adottati per la sua costruzione*. La lezione, corredata di numerosi disegni e foto, fu pubblicata nella collana Conferenze Tecniche dell'Università e, identica, nel Giornale dei Lavori Pubblici (Forti, 1910). Il materiale qui presentato è tratto in ampia parte dalla citata Lezione.

2. LA DIGA E LA CENTRALE

2.1 Dati principali della diga

La diga, di cui la *Tabella I* (ANIDEL, 1961) riporta i dati principali e che è illustrata⁽³⁾ nelle *Figure da 2 a 6*, è impostata in una stretta i cui fianchi si elevano con pareti quasi verticali. La parte più bassa è formata di strati rossastri del giurese superiore (titaniano) costituiti da calcari molto compatti con sottili interstratificazioni argillose regolarmente inclinate verso monte; fra le due pareti vallive esiste una disposizione abbastanza simmetrica.

TABELLA I - Diga di Ponte della Serra: dati principali

Descrizione		Unità misura	Quantità
Quota di massimo invaso		m s.m.m.	379,25
Quota di massima piena		m s.m.m.	381,25
Capacità di invaso del serbatoio originario		m ³ x10 ⁶	4,00
Capacità utile attuale		m ³ x10 ⁶	0,30
Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso		km ²	497,00
Altezza del piano di coronamento (a quota 379,25)	Sul punto più depresso delle fondazioni	m	44,40
	Sul piano dell'alveo a valle	m	34,75
Franco rispetto al piano di coronamento sul livello di massimo invaso		m	0,00
Sviluppo del coronamento	Soglia sfiorante	m	41,50
	Paramento a monte	m	46,00
Raggio di curvatura planimetrica del paramento di monte		m	33,00
Corda in sommità		m	45,00
Inclinazione del paramento	A monte		verticale
	A valle		
Spessore	Alle fondazioni	m	14,30
	Alla risega a livello dell'alveo	m	12,50
	In sommità	m	3,00
Volume della diga	Muratura	m ³	11.225
	Calcestruzzo	m ³	8.413

(2) Secondo la tabella riportata da ANIDEL la diga risulta diciottesima in ordine cronologico di costruzione a partire dal 1600 e, seconda per altezza e prima per capacità totale del serbatoio per il fatto che ANIDEL considera l'attuale territorio Italiano. All'epoca della costruzione della diga di Ponte della Serra il Trentino, nel cui territorio ricadevano due delle 18 dighe considerate da ANIDEL, faceva parte dell'impero Austriaco.

(3) Le figure relative alla diga qui riportate sono tratte da disegni d'epoca, in parte a colori, dono all'A. del Prof. Francesco Marzolo (1892-1982). I disegni riportati da Forti (1910) e da ANIDEL (1954), facilmente reperibili, sono certamente più chiari in alcuni dettagli; si è preferito tuttavia questa rappresentazione che, anch'essa, mostra la cura nei disegni di quell'epoca.



Figura 1 - Ponte della Serra costruito nel 1880 in sostituzione di un ponte ligneo.

Ai materiali del giurese sovrastano i calcari grigiastri appartenenti al cretaceo inferiore; queste rocce sono meno compatte di quelle del giurese e nelle parti più esposte paiono leggermente fratturate, senza tuttavia pregiudizio per la costruzione (ANIDEL, 1951).

La diga è stata progettata con la consulenza geologica del feltrino Giorgio Dal Piaz (1872-1962), allora libero docente di Geologia nell'Università di Padova. Dal Piaz si occupò in seguito della geologia di molte dighe italiane, compresa quella del Vajont.

La diga serve ad innalzare il pelo dell'acqua originario di 34 m circa, formando un bacino di oltre 4×10^6 m³. Essendo l'opera di presa ad una quota vicina a quella del coronamento diga, la centrale sfrutta l'incremento di salto creato dalla diga e solo in minima parte l'invaso. La forma ad arco fu scelta per la ristrettezza della gola; il coronamento fu previsto tracimabile per le incertezze sul valore della piena del torrente.

La diga, alta 44,40 m sul punto più depresso delle fondazioni, consiste in un arco formato da due grossi muri di pietra a faccia vista che formano i paramenti, tra i quali è stato gettato il nocciolo centrale di calcestruzzo. L'arco è sostenuto a valle, in chiave, da uno sperone (*pilone*) di muratura; su questo e sui fianchi rocciosi si impostano, verso la sommità, due volte a tutto sesto ad asse orizzontale (*arconi*) che sostengono una struttura superiore piana che termina con una sbarra rettilinea con sezione triangolare che si alza di 4,30 m sul piano a costituire lo sfioratore di superficie (*soglia protesa*).

Con un carico di 2 m si possono scaricare, tenuto conto del contributo degli scaricatori e sfioratori del canale di presa, circa 1.000 m³/s che impattano a valle lontano dalle fondazioni della diga, per evitare pericolose escavazioni in prossimità delle fondamenta. La soglia sfiorante, lunga 41,50 m a quota 397,25 m s.m.m., si ispira a quella della diga ad arco di Madruzzo, alta 41,10 m, realizzata nel 1883, in provincia di Trento (allora Austria) per contribuire, assieme ad altre briglie di muratura realizzate a partire dal 1597 e più volte asportate e ricostruite, alla sistemazione del Torrente Fersina, affluente di sinistra dell'Adige a Trento, a difesa di questa città (ANIDEL, 1961).

Il progettista ricorda l'idea dell'illustre idraulico Pietro Paleocapa (1788-1869) di realizzare briglie sul Cismòn per correggere il torrente e proteggere i rivieraschi sia del Cismòn che della Brenta dai frequenti disastri. Con la diga si sarebbe dunque ottenuto anche l'intento, di alto valore pubblico, propugnato da Paleocapa (Miliari, 1939).

La diga, senza giunti di contrazione e sistemi drenanti, è stata calcolata per archi orizzontali indipendenti, assumendo per le murature con cemento Portland una resistenza a compressione di 12 kg/cm² (1,2 MPa).

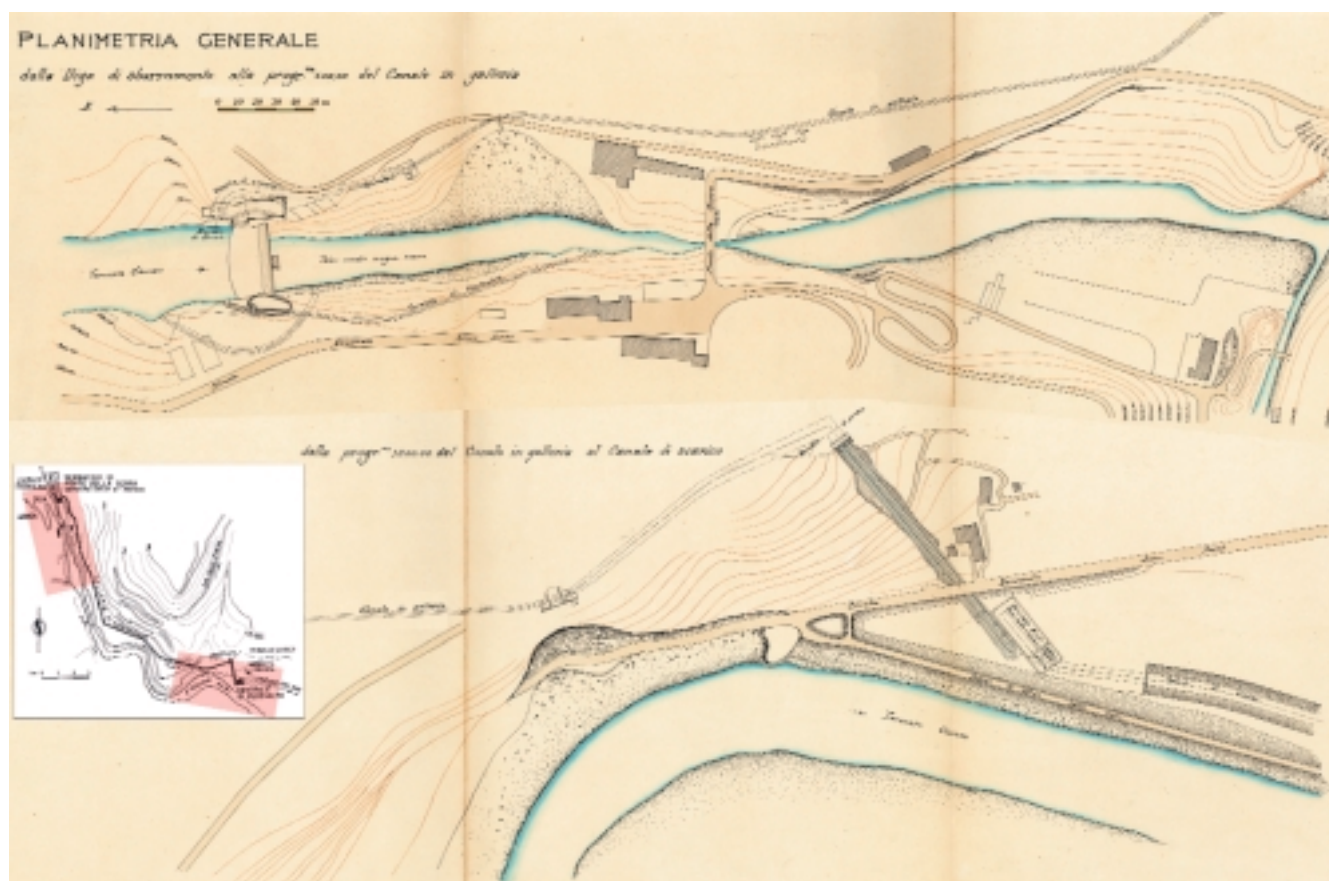


Figura 2 - Diga di Ponte della Serra e Centrale di Pedesalto: planimetria generale.

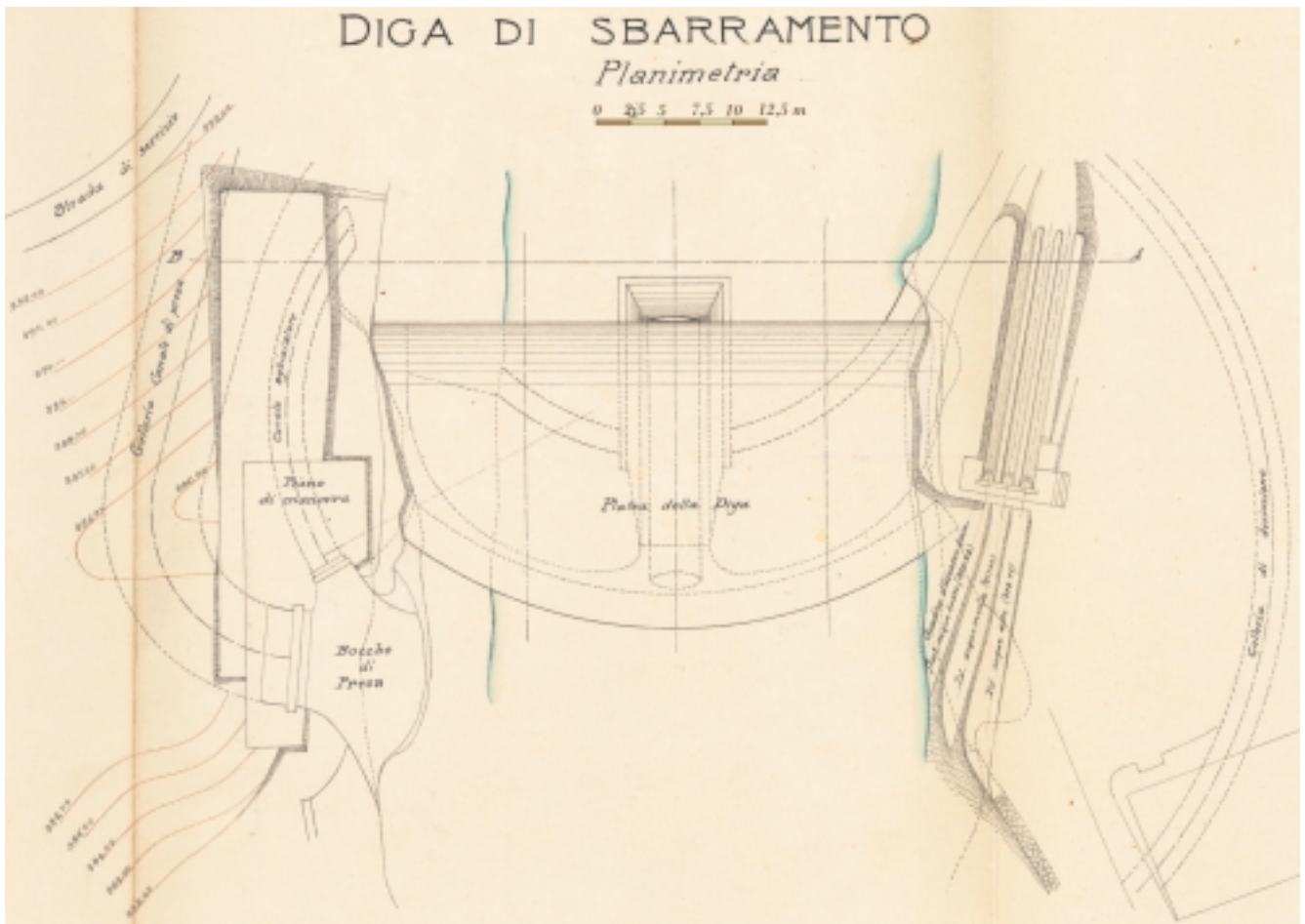


Figura 3 - Diga di Ponte della Serra: planimetria generale.

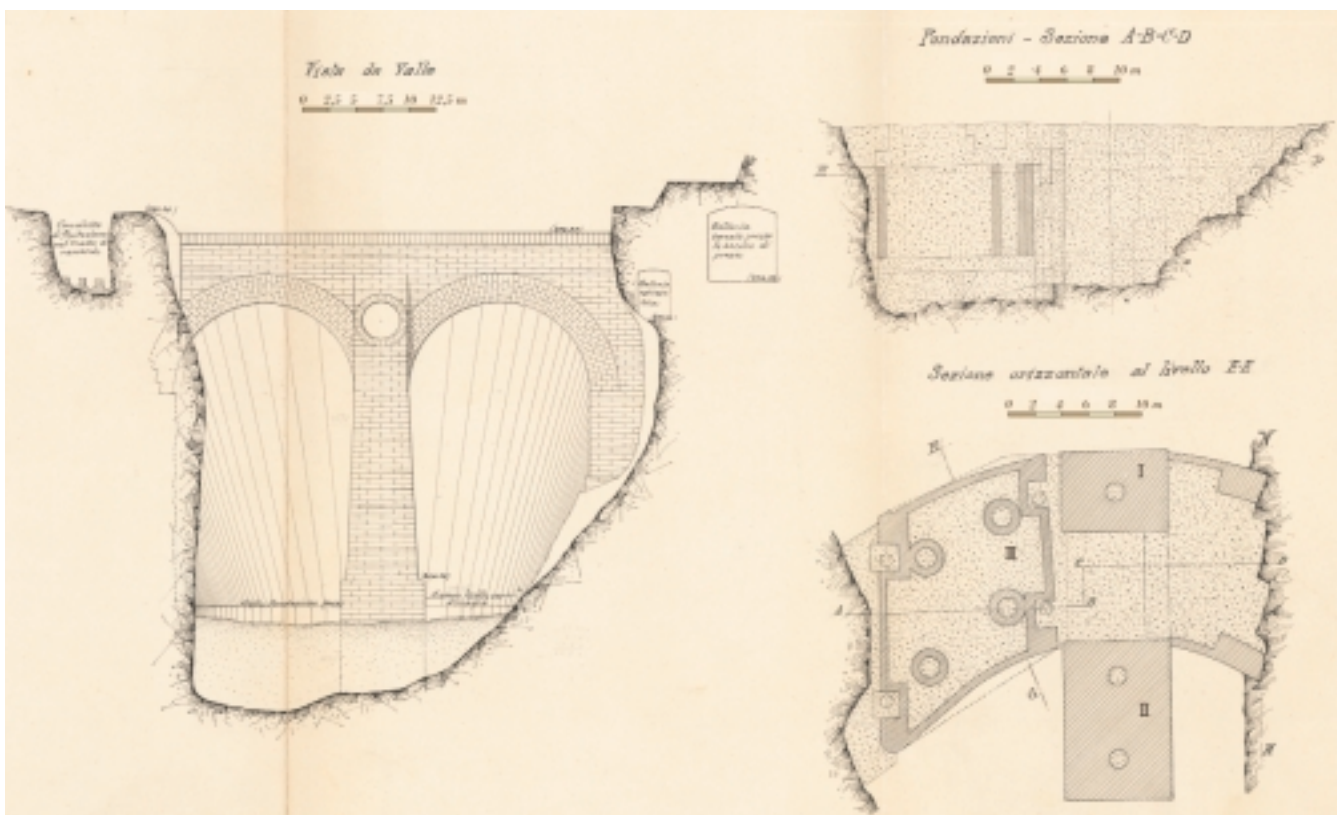


Figura 4 - Diga di Ponte della Serra, prospetto da valle e sezioni.

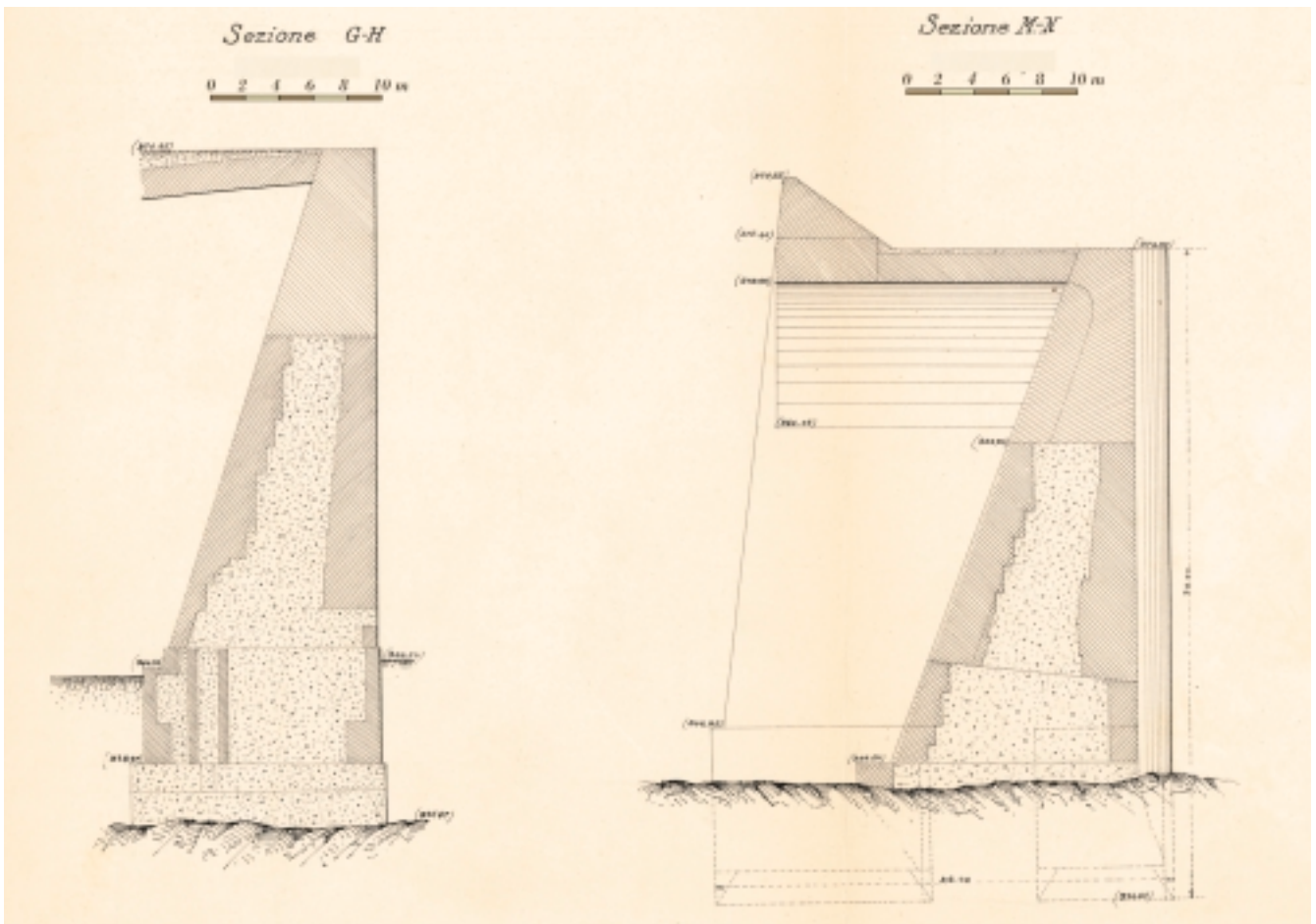


Figura 5 - Diga di Ponte della Serra, sezioni trasversali.

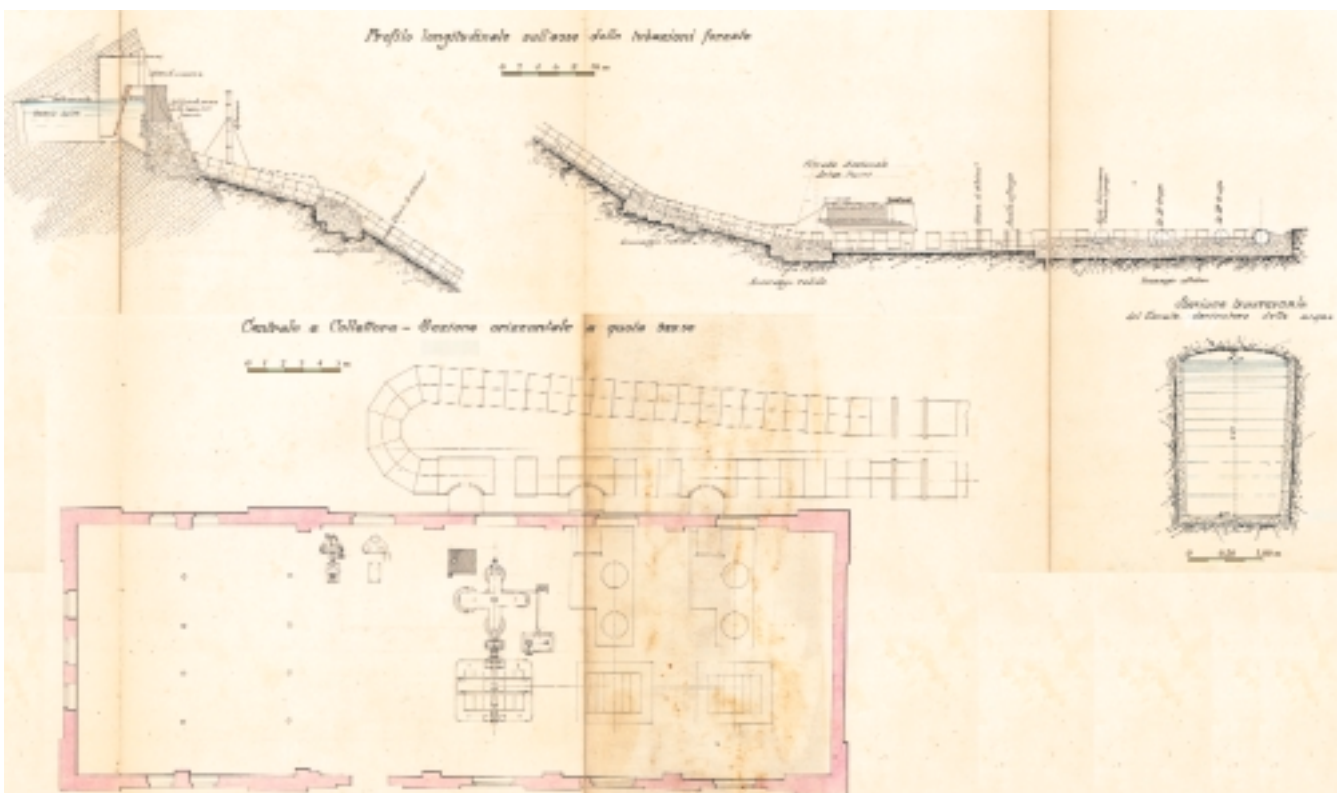


Figura 6 - Impianto Ponte della Serra-Pedesalto: condotta forzata, pianta della centrale e sezione del canale di derivazione.

Si osserva che al tempo della costruzione della diga non esistevano né Regolamento né Norme Tecniche per le dighe. Le prime Norme Tecniche per la progettazione e l'esecuzione delle Dighe vennero emanate con D.M. 2 aprile 1921 n. 481: *Norme generali per i progetti e per la costruzione di dighe di sbarramento per serbatoi e laghi artificiali*. A tale data vi erano in Italia 78 dighe. Il primo Regolamento Dighe fu approvato con R.D. 31 dicembre 1925 n. 2540, *Regolamento per i progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta (Ministero dei Lavori Pubblici, 1926)*, dopo il crollo della diga di Gleno (Val Camonica), accaduto nel 1923. Il Regolamento non si limitava ad indicare principi e regole tecniche di base ma stabiliva il conferimento al Ministero dei Lavori Pubblici di compiti di vigilanza e controllo sulla progettazione, esecuzione ed esercizio.

2.2 Opere di presa e adduzione alla centrale

In sponda sinistra, poco a monte della diga, a quota 375,00 m s.m.m., ha inizio la galleria di presa, dimensionata per la portata di 15 m³/s, lunga 45 m, con tre bocche regolatrici presidiate da paratoie. Immediatamente a valle delle opere di presa è presente uno sfioratore lungo 47 m, diviso in tre tratti, i due di lunghezza inferiore in galleria e uno, quello di lunghezza maggiore, all'aperto, per smaltire l'acqua non assorbita dalla centrale (Figg. 2 e 3). Tra la diga e la galleria di presa, ma con soglia a quota 373,50, è ubicato uno sghiaiatore costituito da una galleria, lunga 26,50 m, presidiata da paratoia, che è anche un ausilio allo scarico delle piene potendo evacuare 250 m³/s (Fig. 3).

Al termine della galleria di presa è presente una luce dissabbiatrice e un edificio (partitore) munito di paratoie cui fa seguito un canale derivatore in galleria, lungo 1.409 m scavato in roccia calcarea con pendenza dello 0,1 %. La sezione è circa rettangolare con larghezza media di 2,20 m ed altezza di 3,40 m, rivestita con calcestruzzo di calce con spessore da 15 a 20 cm e quindi intonacata e lisciata con cemento; la calotta è arcuata e non rivestita (Fig. 6). Al termine del canale derivatore è posta una vasca di carico, lunga 178 m, della capacità di 5.000 m³; la vasca è dotata di scaricatore di superficie e di fondo. La vasca di carico termina all'aperto chiusa da un muraglione dal quale partivano due condotte forzate di 1,90 m di diametro realizzate con acciaio chiodato con spessore da 6 a 10 mm. Le condotte erano poggiate su blocchi di muratura con sella metallica di scorrimento ed ancorate a blocchi di muratura nei punti di variazione di livelletta (Fig. 13). Nella parte inferiore le condotte erano chiuse ad anello costituente il collettore che alimentava le turbine (Fig. 6). La centrale fu dotata di 3 turbine Francis, da 3.900 HP ciascuna e 2 da 185 HP ciascuna di fabbricazione Riva & C. Alle turbine erano accoppiati 3 alternatori trifasi da 5.000-5.500 V e 42 Hz e 2 dinamo a corrente continua per l'eccitazione degli alternatori e servizi accessori con tensione di 125V.

Per poter mantenere attiva la fluitazione⁽⁴⁾, costituente antico diritto, in sponda destra è stata realizzata una canaletta con pendenza del 20% che consentiva di convogliare il legname a valle della diga. L'immissione del legname poteva avvenire da imbocchi posti a tre quote differenti (Fig. 3); così da consentire il passaggio con escursione della quota del lago fino a 3,50 m.

2.3 Il cantiere e la costruzione

Per il cantiere fu sfruttata l'accessibilità dalla esistente strada nazionale Arten-Pontét.

I saggi per valutare la profondità alla quale si trovava la roccia in alveo furono eseguiti infiggendo pali di legno fino a rifiuto. La perizia geologica per stabilire il punto più adatto per posizionare la diga portò a spostare la sezione d'imposta circa 100 m più a valle di quella scelta in una prima fase, ove erano stati eseguiti i saggi sul fondo.

Per la deviazione provvisoria delle acque di magra fu realizzata una galleria in sponda destra lunga 85,30 m (Fig. 3) costituita da un cunicolo di 2,5x2,5 m² presidiato con paratoia metallica movimentata con servomotore idraulico (Fig. 7); l'imbocco della galleria di deviazione è stato murato a costruzione ultimata.

Le imposte della diga sulle due sponde rocciose furono ottenute rimuovendo tutte le parti di roccia che si presentavano malsicure.

Tutta la parte corticale dell'opera fu realizzata con muratura di pietrame e malta; il nucleo fu realizzato con calcestruzzo (Figg. 4 e 5). Per il pietrame per muratura ordinaria e di pietra da taglio fu scelta una cava principale in

⁽⁴⁾ Il commercio del legname con la pianura veneta e Venezia in particolare ha rappresentato per molte zone della provincia di Belluno, a partire dal 1300 e fino al periodo tra le due guerre, una delle fonti primarie di sussistenza, accanto all'agricoltura e all'allevamento del bestiame, questi ultimi svolti con carattere prevalentemente familiare. Dopo la martellatura autunnale, il taglio, diramatura e scorzatura primaverili, i trochi, suddivisi in elementi lunghi 4,20 m, detti *taje*, o, per il legname di qualità inferiore, in elementi di lunghezza di 2,20 o 3,20 m dette *bore*, contrassegnati col marchio del proprietario, venivano portati a valle lungo le *risine* (canali artificiali di legno) che permettevano di superare terreni accidentati e forti dislivelli, per essere poi spinti nel torrente dove iniziava la *menàda*, ossia il trasporto da parte della corrente. Quando la portata del torrente era insufficiente si provocavano piene artificiali (*cacciate*) mediante sbarramenti di terra che, quando sormontati crollavano rapidamente, o con opere stabili, dette *Stue*, che trattenevano temporaneamente l'acqua e dotate di luci che, una volta aperte, fornivano la portata necessaria per spingere i tronchi a valle fino ai *cidoli*, sbarramenti artificiali dove venivano raccolti e smistati. Fonzaso, per la sua collocazione geografica, e con una parte del suo territorio pianeggiante, aveva molte segherie poste all'uscita del Cismòn dalla gola di Pedesalto, ove veniva segato gran parte del legname di Primiero destinato al mercato di Padova e di Venezia. Già nel Cinquecento nel porto di Fonzaso si smistavano i legnami e si pagava il dazio al Vescovo di Feltre che ogni anno faceva costruire un *serraglio* per la conta del legname ed il pagamento della decima. All'inizio del 1600 si fluitavano lungo il Cismòn 40.000 *taje* all'anno. All'inizio del '900 fluitavano nel Cismòn da 10.000 a 15.000 m³ di legname (10.000-20.000 *taje*).

sponda destra a valle del ponte ed altre due cave in sponda sinistra lungo la strada nazionale. La resistenza a rottura risultò superiore a 2.000 kg/cm². Il pietrisco utilizzato per i calcestruzzi della diga era ottenuto dalla spaccatura a mano del calcare prelevato dalle discariche della galleria di derivazione. Ghiaia e sabbia di natura silicea provenivano dallo scavo per le fondazioni della diga e della centrale.

La malta impiegata per la muratura fu di quattro tipi diversi a seconda dell'impiego: con 500 kg di cemento per il paramento di monte fino al piano di imposta degli arconi, per gli arconi e per il bordo sopraelevato dello sfioratore; con 400 kg di cemento per il paramento di valle; con 50 kg di cemento e 175 kg di calce idraulica per tutto lo spessore della diga da quota 364,45 e 368,00 m s.m.m.; con 275 kg di calce idraulica per tutto lo spessore della diga tra le quote 368 e 374,95 m s.m.m. e per il rivestimento del nucleo del pilone centrale.

Il calcestruzzo era composto con 250 kg di cemento, 0,5 m³ di sabbia e 0,8 di ghiaia e pietrisco per il nucleo centrale della diga e con 225 kg di calce idraulica, 0,4 m³ di sabbia e 0,75 di ghiaia e pietrisco per il nucleo del pilone centrale di sostegno delle volte, della soglia protesa e per il riempimento delle volte degli arconi.

Furono posti in opera 8.413 m³ di calcestruzzo e 11.225 m³ di muratura per complessivi 19.638 m³; furono necessari 33.225 q di cemento e 5.895 q di calce. Numerose prove sui materiali impiegati furono svolte presso i laboratori ufficiali di Milano e di Zurigo, con risultati sostanzialmente sempre corrispondenti alle garanzie richieste.

Il cantiere fu diviso in due parti: in sponda sinistra per la lavorazione della pietra; in sponda destra per il deposito di sabbia, ghiaia, argilla, carbone legnami e macchinari. I due cantieri erano collegati con una passerella sospesa a funi metalliche (Fig. 12). Per il trasporto dei materiali dai cantieri alla diga è stata utilizzata, per la prima volta in Italia, la gru-teleferica (blondin)⁽⁵⁾. I blondin erano due, uno fisso e uno mobile su binari. Il carrello di ognuno aveva una portata di 2.000 kg. I due blondin, con corsa di 55 m, coprivano una zona, nel senso del fiume, di 36 m. La velocità di traslazione era di 2 m/s per quello fisso e di 1 m/s per quello mobile; la velocità di sollevamento era di 0,30 m/s e 0,6 m/s rispettivamente. Con ognuno dei due blondin si compivano 80-100 viaggi al giorno, con punte di 250 viaggi complessivamente. Per il funzionamento dei blondin, dell'impastatrice, delle pompe, dei montacarichi, per l'illuminazione, ecc. erano disponibili due macchine a vapore con potenza complessiva di 135 kW, accoppiate con due alternatori produttori corrente elettrica trifase a 200 V e 42 Hz. Erano inoltre disponibili due locomobili da 30 CV. L'acqua era addotta da una vicina sorgente, con tubazione di 10 cm di diametro.

2.4 Sistemi costruttivi della diga

Per le fondamenta della diga era previsto l'affondamento fino in roccia di due cassoni ad aria compressa⁽⁶⁾, i numeri I e II della *Figura 4*, destinati a servire anche come grande sondaggio del fondo alveo dato che le terebrazioni erano state svolte nel punto originariamente previsto per la diga, ubicato 100 m a monte (*Fig. 7*). Il cassone numero I costituiva una parte della fondamento dell'arco della diga; il cassone numero II era la fondamento dello sperone centrale. Si doveva poi chiudere con una tura la tratta verso la sponda destra, fra i cassoni I e II ed eseguire all'aria libera, mediante esaurimenti, l'ala sinistra della diga. Lo scavo tra i due cassoni affondati doveva essere mantenuto come pozzo di aggettamento da riempire una volta realizzata ad aria libera la fondazione dell'ala destra della diga.

I Cassoni furono forniti dalle Officine di Savigliano (Cuneo) ed affondati dall'Impresa Caldart di Sospirolo (Belluno).

L'affondamento dei due cassoni iniziò nel gennaio 1907; affondato il cassone I, di 48 m² di superficie, si ebbe conferma del profilo della roccia subalvea. Si procedette quindi all'affondamento del cassone II di 96 m² di superficie. Nel giugno 1907 l'affondamento dei due cassoni era ultimato. A causa dell'invasione del cantiere da parte di una enorme massa di materiale fluitato fu necessario attendere fino ad agosto 1907 per iniziare la parte sinistra della diga, parte che fu realizzata ad aria libera con ture, come previsto. Le ture, furono realizzate per fasce profonde 1,30 m come schematizzato nella *Figura 8*. Gli aggettamenti vennero praticati con due pompe azionate da motori elettrici; in 50 giorni si giunse a vuotare completamente la fossa di fondazione, raggiungendo la profondità di 8,50 m sotto il pelo di magra del torrente. La *Figura 8* mostra la tura verso monte dell'ala sinistra della diga con in destra della foto la parete rocciosa ed in sinistra il cassone I.

⁽⁵⁾ Il blondin o gru-teleferica prende il nome da Charles Blondin, funambolo francese (1824-1897) che nel 1859 attraversò le cascate del Niagara, sul confine Canada-Stati Uniti, su una fune lunga 340 m, con diametro di 8,3 cm, tesa tra le due sponde, 49 m sopra l'acqua. E' schematicamente costituito da tre funi: la fune portante tesa tra i due estremi sostiene un carrello che può essere spostato orizzontalmente da una fune traente, una fune di sollevamento passa sul carrello e sostiene un gancio per la movimentazione verticale.

⁽⁶⁾ I cassoni ad aria compressa (o pneumatici) furono introdotti in Francia nel 1839 dall'ing. minerario Jaques Triger. Tra le principali applicazioni della fine '800 sono da ricordare le fondamenta, nel 1887, per due dei quattro piloni della torre Eiffel, realizzata per l'esposizione universale di Parigi del 1889 (centenario della Rivoluzione Francese). Del 1905 è l'impiego per l'attraversamento della Senna con le gallerie subalvee per il Métro. Notevoli sono state le applicazioni in Italia per la realizzazione di opere in presenza d'acqua, quali traverse fluviali e fondazioni di pile di ponti, specie per la ricostruzione post seconda guerra mondiale, ecc.. In alcune applicazioni si è superata la superficie di 1000 m² per cassone (per esempio, alla metà del '900, per la botte a sifone di Formigosa che permette al Diversivo di Mincio, che aggira i Laghi di Mantova, di sottopassare il canale navigabile Fissero-Tartaro). Il loro impiego è praticamente cessato alla metà del '900, quando, anche per la pericolosità del lavoro al loro interno, sono stati soppiantati dai diaframmi e dai pali di grande diametro. Per la descrizione di un cassone, delle modalità di affondamento e delle norme per la prevenzione degli infortuni, si veda, per esempio, Da Deppo e al. (2018).

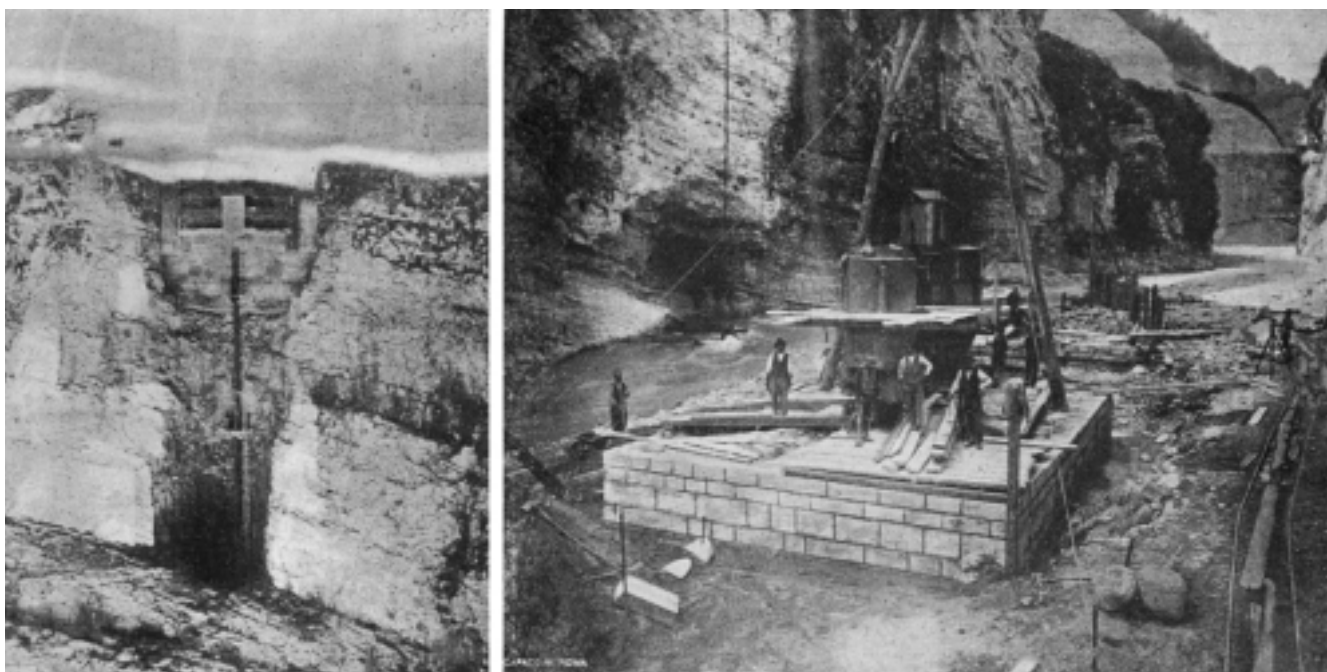


Figura 7 - Paratoia di chiusura della deviazione provvisoria e fase iniziale di realizzazione del pilone centrale in elevazione dal cassone II di fondazione.

La costruzione della fondamenta dell'ala sinistra iniziò il 21 settembre 1907; il 3 ottobre una piena colse i lavori quando le murature erano ancora 3,5 m sotto il piano delle ghiaie e riempi la parte superiore della fossa di fondazione che, dal novembre 1907 fu nuovamente riscavata e nel gennaio 1908 questa parte di fondazione si poteva ritenere ultimata. In varie altre situazioni legname di fluitazione interessò il cantiere (Fig. 9).

Nello stesso mese iniziò lo scavo della parte destra, che aveva una superficie di 600 m². Due piene, una nell'aprile e una nel maggio 1908, comportarono la distruzione di quanto realizzato e convinsero ad eseguire la fondazione della parte destra con un unico cassone pneumatico di 176 m² di superficie (il numero III della Fig. 4) la cui forma planimetrica era quella della fondamenta da realizzare (Fig. 9). Questo sistema di fondazione non era stato scelto fin dall'inizio per la difficoltà che si aveva, al tempo, per la chiusura delle intercapedini tra cassoni. L'affondamento del cassone, iniziato nel novembre 1908, fu completato nel marzo 1909, raggiungendo la roccia in posto 10 m sotto l'alveo originale.

Per chiudere le intercapedini tra i cassoni I e II ed il III e tra quest'ultimo e la sponda destra erano stati predisposti nel cassone III quattro

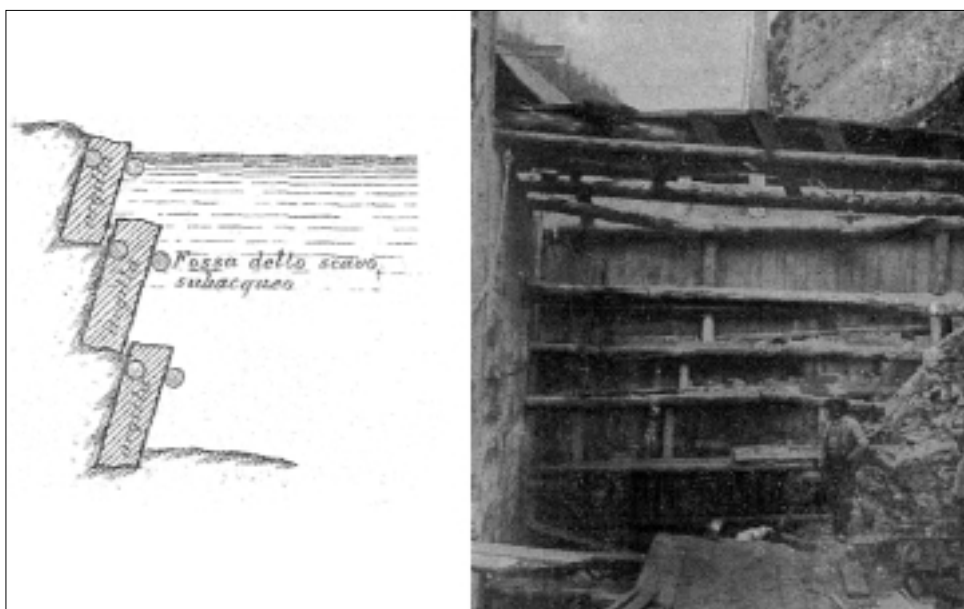


Figura 8 - Schema di realizzazione delle ture e veduta della tura lato monte dell'ala sinistra della diga.

pozzi verticali che, una volta aperti sul soffitto del cassone, giungendo fino alla roccia in posto, avrebbero dovuto consentire l'aggottamento per lo scavo del materiale ed il riempimento con calcestruzzo.

Sfortunatamente il materiale in posto, smosso per il fallito tentativo di esecuzione all'aria libera e per l'affondamento del cassone, risultò molto permeabile per cui l'aggottamento avrebbe asportato tutta la parte cementizia del getto di calcestruzzo. Il riempimento fu possibile solo nel rettangolo centrale tra i cassoni I e II dove non vi era corrente.

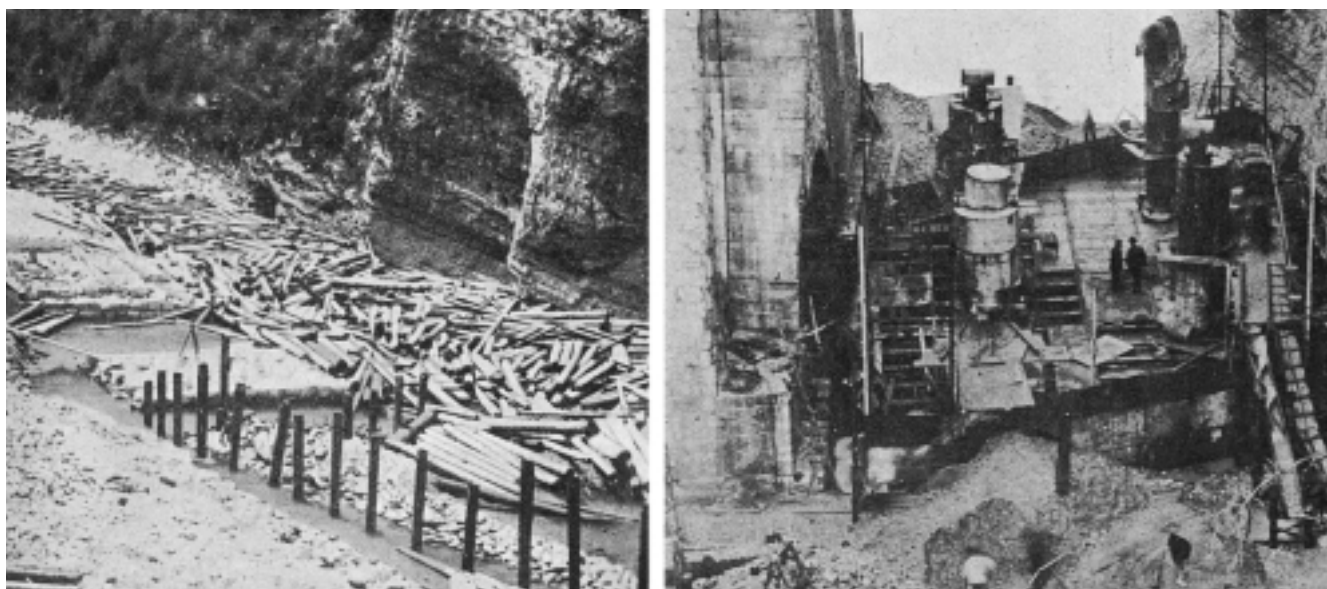


Figura 9 - Legname di fluitazione nella zona di imposta della diga e cassone per la fondazione dell'ala destra.

La soluzione adottata fu quindi quella di trasformare le intercapedini in camere di lavoro a tenuta d'aria compressa. Le estremità di monte e di valle dell'intercapedine a sinistra del cassone III furono chiuse con due pareti di calcestruzzo armato; la camera fu quindi chiusa con una copertura a volta con una *caminada*, costituita da un tubo di acciaio, che collegava la camera di lavoro con la sovrastante camera d'equilibrio. Si procedette quindi alla messa in pressione del cassone ed alla stuccatura di tutte le perdite d'aria. Pulito il fondo si provvide al riempimento della camera di lavoro con calcestruzzo. In modo analogo fu chiusa l'intercapedine verso la sponda destra. Già nell'estate 1907, a fondamenta non ancora completate, si elevò parte del pilone centrale sul cassone II. Nel 1908 si eseguì tutta l'ala sinistra della diga ad arco, il collegamento col pilone, gli archi frontali e la sbarra rettilinea. Nel 1909 si costruì l'ala destra della diga.

Durante la sopraelevazione della diga furono lasciati in corpo diga due cunicoli di sfogo delle *acque grosse*, per evitare inconvenienti in caso di rigonfiamenti del fiume; quello di sinistra, più basso, serviva anche per la fluitazione del legname. Cessata la fluitazione del 1909 i due cunicoli furono chiusi e, il 27 dicembre 1909 fu chiusa la paratoia della deviazione provvisoria (Fig. 7) e si poté procedere all'invaso che fu completato il 1 gennaio 1910. La *Figura 10* mostra le centinature degli archi quasi completate e la costruzione della parte ad arco della diga. Sono visibili le luci sul fondo ancora aperte per il passaggio delle portate di magra e per la fluitazione del legname e, sullo sfondo, il Ponte della Serra.

Le filtrazioni d'acqua sia attraverso il corpo diga sia attraverso le spalle si mostrarono fin dall'inizio del tutto insignificanti, a conferma della riuscita dell'opera.

Per la costruzione della diga furono impiegati fino a 600 operai, con notevole contributo all'economia locale.

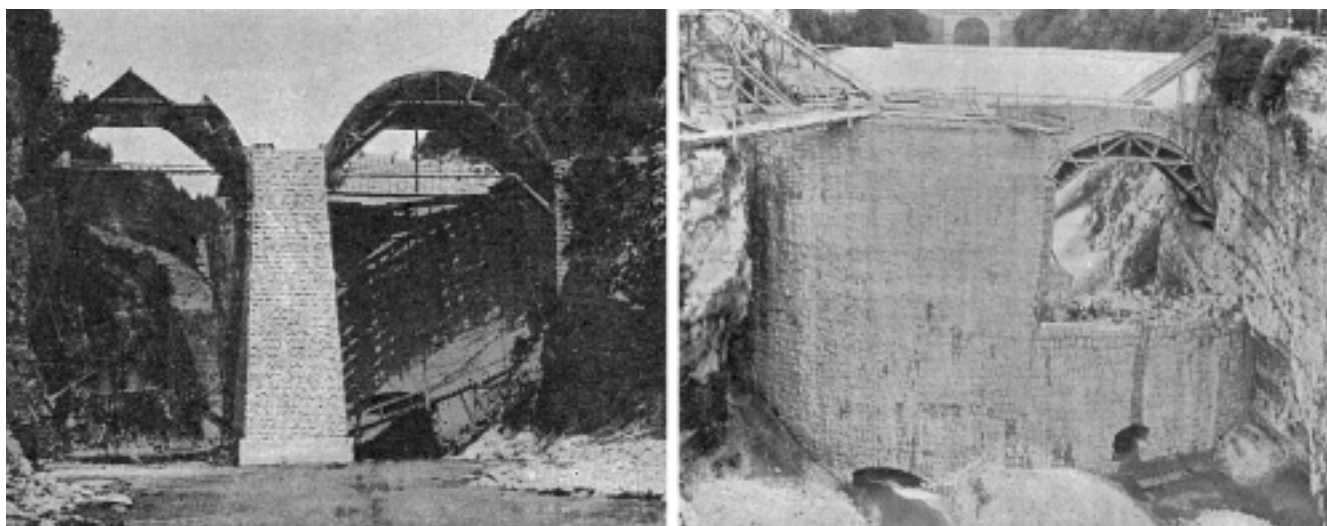


Figura 10 - Fasi di realizzazione della diga: a) centinature degli archi; b) costruzione della parte ad arco, vista da monte.

La Fig. 11 mostra la costruzione della parte ad arco e della sbarra rettilinea sul coronamento. La Fig. 12 mostra la diga completata e la vista del lago a monte con la passerella realizzata per collegare le due parti del cantiere sulle due sponde. La Fig. 13 mostra l'interno e l'esterno della centrale di Pedesalto, con le condotte forzate, a fine costruzione.

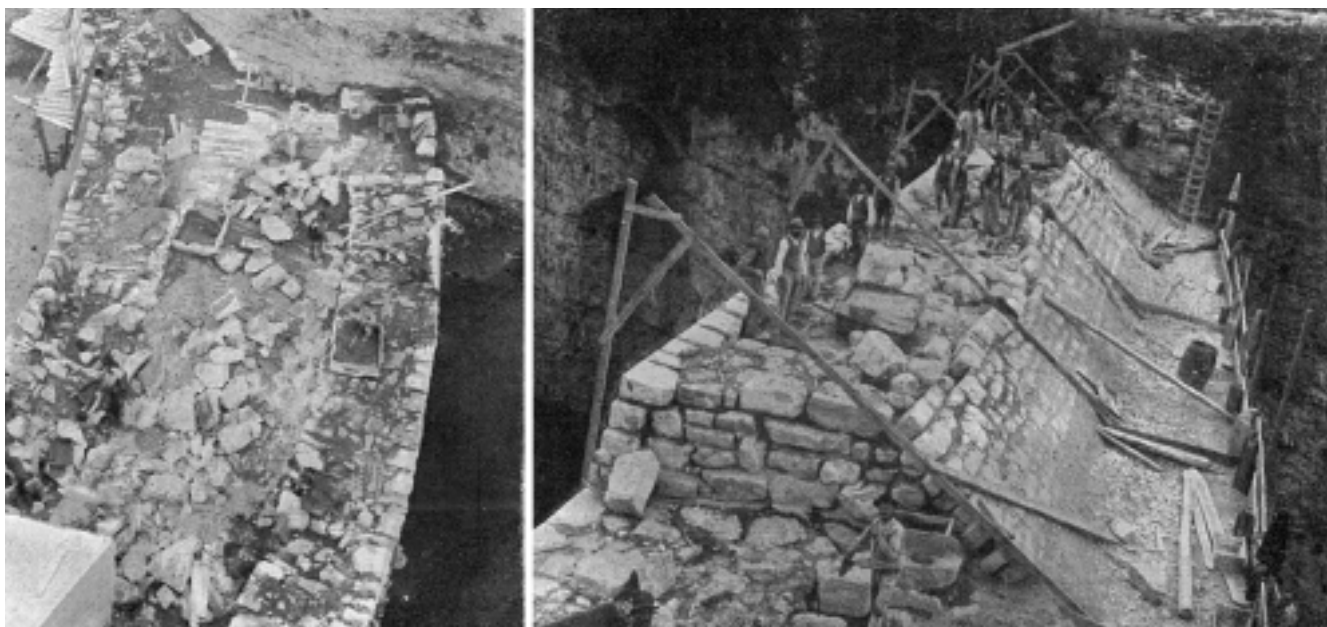


Figura 11 - Costruzione della parte ad arco e della sbarra rettilinea sul coronamento.

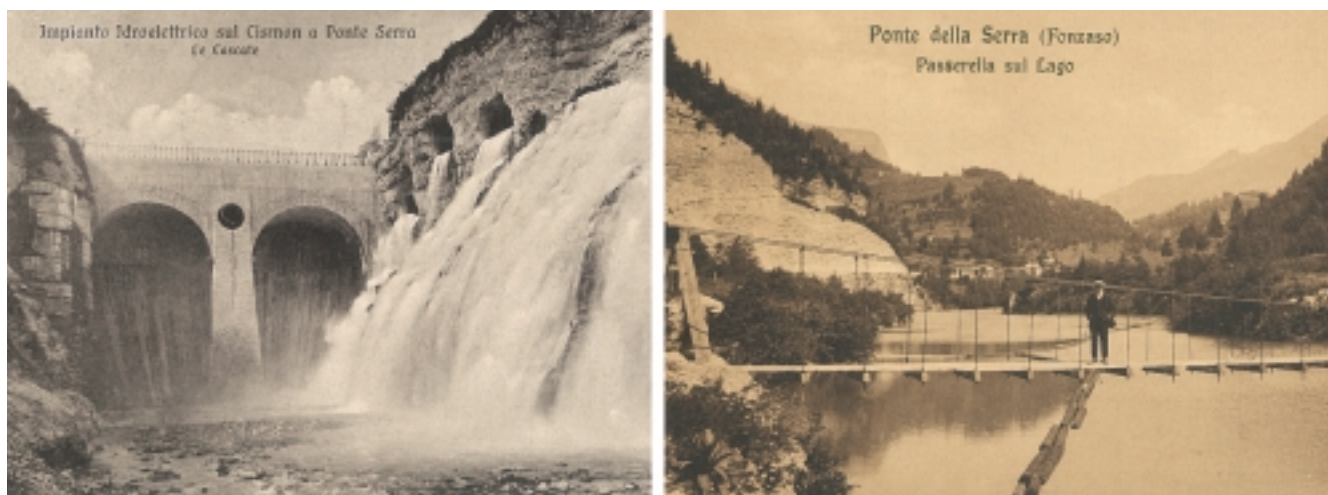


Figura 12 - Diga completata vista da valle con in funzione (da sinistra): lo scarico di sgiaimento, le due luci sfioranti in galleria e lo sfioratore di troppo pieno; a destra: vista del lago verso monte con la passerella sospesa.

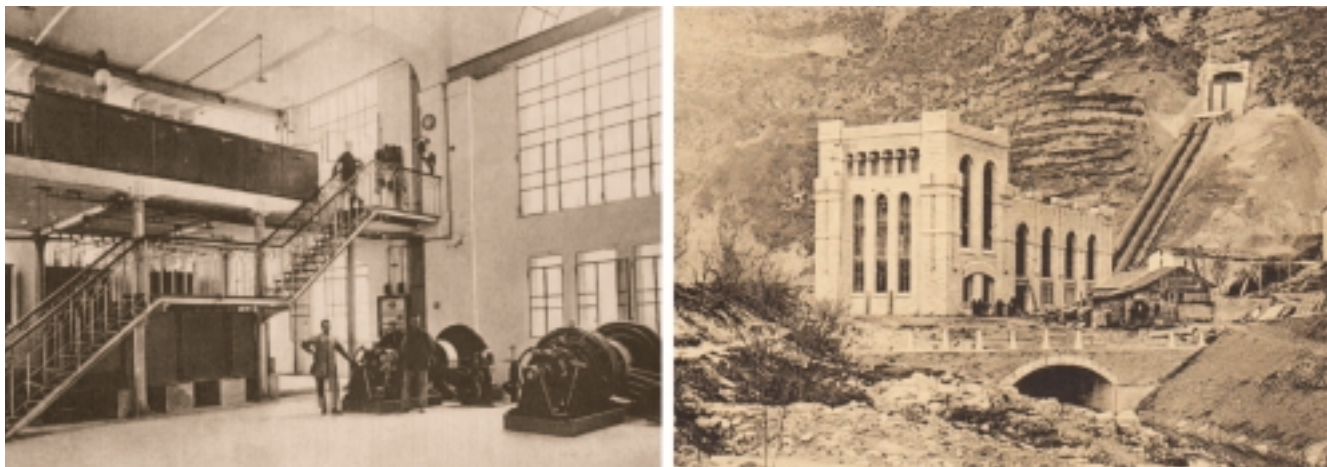


Figura 13 - Centrale di Pedesalto: sala macchine ed esterno, con condotta forzata, a fine costruzione.

3. LA GRANDE GUERRA, L'OCCUPAZIONE AUSTRIACA ED IL RIPRISTINO DELLA CENTRALE

Il 23 maggio 1915 l'Italia dichiarò guerra all'Austria; l'esercito prese posizione ai confini con l'impero Austro-Ungarico su un fronte di 400 km, dallo Stelvio al Carso e si diresse verso il Trentino e Gorizia. Dopo oltre 2 anni di logorante guerra di posizione, il 24 ottobre 1917 le linee italiane a Caporetto (ora Slovenia) furono aggirate, con crollo generale del fronte. Centinaia di migliaia di uomini ripiegarono in disordine verso ovest ritirandosi fino alla Piave, dove era stata allestita una linea di difesa dal Grappa al mare. Il 9 novembre i reparti di retroguardia passarono sulla riva destra della Piave; il giorno 12 il fronte era consolidato anche sul Grappa. La rotta di Caporetto costò nelle file italiane 10.000 morti, 30.000 feriti e 265.000 prigionieri.

Il 31 ottobre 1917 i produttori veneti di energia elettrica furono convocati a Treviso dal Gen. Maglietta per essere informati che l'esercito stava per abbandonare i territori in sinistra della Piave, ed anche in destra in prossimità del Grappa, dove erano in funzione alcuni impianti. L'ultima centrale ad essere abbandonata fu, la sera dell'11 novembre, quella di Pedesalto, ubicata in destra Piave ai piedi del Monte Grappa (Marin, 1982). Prima dell'abbandono la centrale fu resa inutilizzabile da un manipolo di Alpini comandati dal Cap. Candoni; gli stessi fecero anche saltare il Ponte della Serra. Gli austriaci provvidero immediatamente a ricostruire il ponte (Fig. 14) e, in tre mesi, rimisero in funzione la centrale come mostra la lapide tuttora presente (Fig. 15). L'impianto tornò in mano italiana i primi di novembre del 1918. Il ponte, distrutto dagli austriaci in ritirata, fu subito ricostruito (Fig. 15)⁽⁷⁾.



Figura 14 - Ponte della Serra, fatto saltare dagli italiani l'11 novembre 1917 e ricostruito dagli austriaci.



Figura 15 - Lapide posta dagli Austriaci sulla centrale; la lapide recita: "Dopo la distruzione – ripristinato – 10/11-15/4-1918" e Ponte della Serra, ricostruito dagli italiani dopo la grande guerra.

4. LE VERIFICHE SUL COMPORTAMENTO, GLI INTERVENTI, LA SOTTENSIONE E L'ALLUVIONE DEL 1966

Il 31 gennaio 1905 era stata fondata a Venezia la SADE, diretta, fin dopo la seconda guerra, dal feltrino ing. Achille Gaggia. La SADE si assicurò dalla Società forze motrici Cismòn Brenta tutta la produzione di Pedesalto fin dalla sua attivazione. Nel 1912 Pedesalto entrava in possesso diretto della SADE (SADE, 1929).

⁽⁷⁾ Il Ponte della Serra fu nuovamente fatto saltare dalle truppe tedesche il 2 maggio 1945, sul finire della seconda guerra mondiale, per ritardare l'avanzata delle truppe alleate. Per i successivi due anni il transito fu assicurato con un ponte Bailey; il ponte attuale, di calcestruzzo, simile a quello del 1880, è del 1947.

Nel 1916 dalla Reale Accademia delle Scienze di Torino fu nominata una Commissione per studiare i problemi connessi allo stato di guerra e del dopoguerra. Il prof. Camillo Guidi (1917) presentò la relazione: *Come possa meglio tutelarsi l'incolumità delle popolazioni e l'integrità dei fondi a valle delle alte dighe di sbarramento per la formazione dei laghi artificiali*. La relazione, recensita sul Giornale del Genio Civile (1917), evidenziava i pericoli per gli abitati a valle delle dighe, auspicando che nel regolamento sulle derivazioni delle acque pubbliche fossero inserite specifiche disposizioni per i progetti, la loro approvazione e la realizzazione, compreso un Regolamento. In risposta Forti, in una nota pubblicata sul Giornale del Genio Civile (1918) afferma di ritenere non necessaria l'emanazione di una nuova legislazione speciale come auspicato dal Guidi, *ma che sia invece sufficiente far presente agli organi governativi, che impartiscono le concessioni e ne sorvegliano l'esecuzione, che essi devono rivolgere a questa parte degli impianti una particolare attenzione*. Alla risposta di Forti ha fatto seguito una replica di Guidi (1918) che ribadiva tutte le sue raccomandazioni.

Come detto al § 2.1, le prime Norme tecniche per la progettazione e l'esecuzione delle Dighe vennero emanate con D.M. 2 aprile 1921 n. 481. Con D.M. 6 dicembre 1923 n. 1706, dopo il crollo della diga di Gleno (Vilminore di Scalve-Bergamo), avvenuto il 1 dicembre 1923, con 356 morti, fu istituita una Commissione Ministeriale per la verifica delle dighe di ritenuta, col compito di accertare per ognuna delle circa 100 dighe allora presenti (costruite, in costruzione o progettate), le condizioni di stabilità e proporre gli eventuali provvedimenti. La Commissione dichiarò che la diga di Ponte della Serra, dopo 15 anni di servizio, era in buono stato di conservazione e di funzionamento degli organi di smaltimento delle piene, e non vi erano quindi da prescrivere disposizioni speciali oltre a quelle di carattere generale impartite a tutti gli uffici del Genio Civile (*Min. LL. PP.*, 1926). Nel 1914 vi fu una piena del Cismòn che Forti definì catastrofica e che fu da lui valutata di $800 \text{ m}^3/\text{s}$, inferiore quindi alla capacità di scarico della diga (Forti, 1922). Il primo Regolamento Dighe fu approvato con R.D. 31 dicembre 1925 n. 2540. Il Regolamento non si limitava ad indicare principi e regole tecniche di base ma stabiliva il conferimento al Ministero dei Lavori Pubblici di compiti di vigilanza e controllo sulla progettazione, esecuzione ed esercizio.

Per eliminare alcuni inconvenienti rilevati al piede di valle della diga, dal dicembre 1928 al marzo 1929 fu messo all'asciutto l'alveo a valle della diga stessa, rimosse tutte le parti della roccia staccata dalla massa ed eseguiti: iniezioni di cemento nelle fessure della roccia e nel corpo diga con impiego di 160 q di cemento, getto di uno zoccolo di sottomurazione (40 m^3 di calcestruzzo) a protezione del tagliente (*coltello*) al piede del cassone pneumatico, costruzione di blocchi di 15 m^3 ciascuno per un totale di 195 m^3 , disposti in tre ordini, per dissipare l'energia della vena sfiorante, costruzione di una controbriglia a valle (80 m^3 di calcestruzzo) per creare un cuscinio d'acqua, sigillatura in vari punti dei bolognini di rivestimento della diga (ANIDEL, 1951).

Nel 1920, dopo un decennio dalla costruzione Forti (1920) aveva calcolato il contributo solido del Cismòn alla diga in $400 \text{ m}^3/\text{km}^2$, anno, prevedendo quindi il colmamento del serbatoio dopo 20 anni dalla costruzione. Di fatto solo nel 1951 il serbatoio risultava quasi colmato da alluvioni (ANIDEL, 1951).

Nel 1954 è stata completata la diga ad arco sul torrente Senaiga (affluente di destra del Cismòn) e la centrale di Arsìè (Belluno) che restituisce nel lago del Corlo (bacino di 628 km^2), creato dalla diga ad arco omonima realizzata nel periodo 1951-1953 a valle di Ponte Serra, sottendendo quindi quasi completamente l'impianto Ponte della Serra-Pedesalto (Enel, 1974); il bacino residuo a Ponte della Serra è di 39 km^2 (Fig. 17).

Durante l'evento alluvionale del novembre 1966, che ha colpito, tra l'altro, le tre Venezie, il Cismòn a Pedesalto ha eroso la sponda sinistra facendo crollare il corpo alto della centrale ove erano collocati i trasformatori (Fig. 16).



Figura 16 - Centrale di Pedesalto erosa delle acque del Cismòn durante l'evento del 3-4 novembre 1966.

La centrale è stata ripristinata ed ha ripreso a funzionare nel 1984 utilizzando il deflusso del bacino residuo (*Baldin, 2017*). A proposito della piena del 1966 si ricorda che il Corlo, affluente del Cisonon a valle di Ponte della Serra, ha dato un contributo specifico di $2,46 \text{ m}^3/\text{s}, \text{km}^2$, superiore di quello di $2 \text{ m}^3/\text{s}, \text{km}^2$ assunto da Forti per il suo progetto.

La *Figura 17* mostra una veduta aerea generale dell'impianto di ritenuta nella situazione attuale e lo schema degli impianti che interessano il bacino del torrente Cisonon. Nello schema è compreso l'impianto di Forte Buso-Caoria la cui diga è ubicata nel bacino del Travignolo (Avisio-Adige) ma la restituzione avviene nel bacino del Cisonon.

La *Figura 18* mostra la galleria di derivazione dalla diga con lo sfioratore di troppo pieno ubicato a monte dell'edificio partitore e l'interno dell'edificio partitore ubicato al termine della galleria di presa, in testa al canale derivatore verso la centrale di Pedesalto, con, a sinistra, i comandi della paratoia utilizzata per il rilascio del DMV, e, sulla destra, quelli per la paratoia di derivazione.

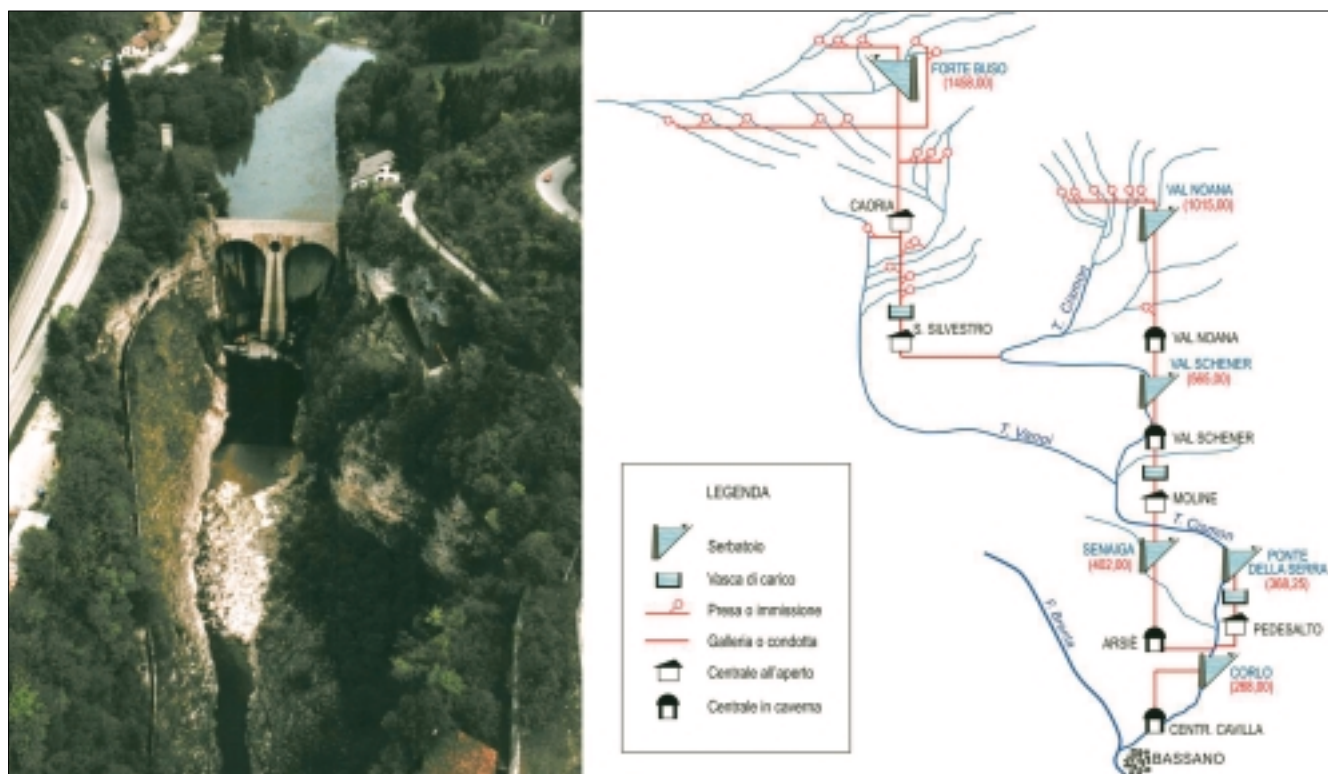


Figura 17 - Veduta attuale dell'impianto di ritenuta di Ponte della Serra e schema degli impianti del torrente Cisonon.



Figura 18 - Parte alta della diga e galleria di presa con sfioro di troppo pieno a monte dell'edificio partitore e, a destra, interno dell'edificio partitore in testa al canale derivatore.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La Diga ad arco di Ponte della Serra, costruita tra il 1907 ed il 1909 sul torrente Cismòn (Brenta) in comune di Lamon e Sovramonte (Belluno) è una delle più significative fino ad allora realizzate in Italia. Degne di nota sono state alcune modalità esecutive, in particolare l'impiego dei cassoni pneumatici per le fondazioni e, per la prima volta in Italia, l'impiego dei blondin per il trasporto e posa del calcestruzzo. L'utilizzo idroelettrico aveva luogo nella centrale di Pedesalto (Fonzaso-Belluno). Il costo fu di 900.000 lire, equivalenti a 4.000.000 di € di oggi. L'invaso, non dotato di scarico di fondo, ma solo di uno sghiaiatore con presa ubicata 5,75 m sotto la quota di massimo vaso, dopo circa 50 anni è stato completamente riempito di materiale alluvionale; in varie circostanze è stato successivamente sottoposto a parziale sfangamento.

Lo sbarramento, tuttora in esercizio, si presenta in buone condizioni e non pare necessitare di interventi straordinari importanti. L'impianto, gestito dall'Enel, è stato sotteso nel 1954 dall'impianto Diga del Senaiga (Brenta)-Centrale di Arsiè (Belluno), a Pedesalto rimane l'utilizzo di un bacino imbrifero residuo di 39 km²; la potenza efficiente è di 0,9 MW e la producibilità media annua è di 4 GWh. Nel 2006 la piena millenaria è stata rivalutata a 1.200 m³/s.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Signor Gianluigi Bugno per la consueta cura dedicata alla grafica e gli ingegneri dell'Enel Marco Baldin, Paolo Chemello e Matteo Vicentini per materiale e foto relativi all'impianto nella situazione attuale.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ANIDEL, 1951. *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici Italiani*, Vol. IV.
- ANIDEL, 1961. *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici Italiani*, Tecnica delle dighe di ritenuta in Italia. Vol. I.
- Baldin M., 2017. *L'impianto di Pedesalto. Comunicazione personale.*
- Da Deppo L., C. Datei e P. Salandin, 2019. *Sistemazione dei corsi d'acqua*. Edizioni Progetto, 11^a Ed. Padova.
- ENEL, 1974. *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici Italiani*, Vol. I., Roma.
- ENEL (Comuni di Fonzaso, Lamon e Sovramonte), 2010. Mostra: Centenario della Diga di Ponte Serra - Un secolo di energia un secolo di immagini.
- Forti A., 1910. *L'impianto idroelettrico del Cismòn a Ponte della Serra con speciale riflesso alla grande diga di sbarramento e ai sistemi e materiali adottati per la sua costruzione*. Conferenza tenuta il 21 maggio 1910 agli studenti della R. Scuola d'Applicazione per gli ingegneri di Padova. Conferenze Tecniche della R. Scuola per Ingegneri annessa alla R. Università di Padova. Roma, tipografia del Genio Civile. La nota è stata anche pubblicata, identica, nello stesso anno, nel Giornale dei Lavori Pubblici, pp. 619-643.
- Forti A., 1912. *L'impianto idroelettrico del Cismòn a Ponte della Serra*. Il Politecnico, n.1.
- Forti A., 1913. *Das Wasserkraftwerk am Cismòn bei, Ponte della Serra*. Schweizerische Bauzeitung, n. 25 e 26, vol. LXI.
- Forti A., 1915. *Dighe per serbatoi e laghi artificiali ad arco ed in cemento armato*, in Italia. Il Politecnico, n.1.
- Forti A., 1918. *Per la sicurezza delle alte dighe di sbarramento*. Giornale del Genio Civile, n. 1. pp. 37-41.
- Forti A., 1920. *I laghi serbatoi artificiali e l'insidia solida*. Annali Cons. Sup. delle Acque, fasc. 1, p. 3.
- Forti A., 1921. *Lezioni di costruzioni idrauliche. Parte II: Impianti idroelettrici*. Lezioni tenute presso la R. Scuola d'applicazione per gli ingegneri di Padova. Ed. Universitaria La Litotipo, Padova.
- Forti A., 1922. *Elementi per la determinazione delle piene catastrofiche dei corsi d'acqua montani*. Annali Cons. Sup. delle Acque, fasc. 2-3, p. 55.
- Forti A., 1923. *Gli sfioratori di piena nei laghi serbatoi*. Annali Cons. Sup. delle Acque, fasc. 2, p. 55.
- Guidi C., 1917. *Come possa meglio tutelarsi l'incolumità delle popolazioni e l'integrità dei fondi a valle delle alte dighe di sbarramento per la formazione dei laghi artificiali*. Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino, Vol. LII, 1916-1917, p. 808-811. La nota è stata Recensita sul Giornale del Genio Civile, 1918. pp. 574-575.
- Guidi C., 1918. *Ancora sulla sicurezza delle alte dighe di sbarramento*. Giornale del Genio Civile, pp. 80-83.
- Il Gruppo Società Adriatica di Elettricità ed il Progresso dell'Industria Elettrica nella Regione Veneto-Adriatica durante l'ultimo decennio**. Venezia, 1924. Stab. Tipo-litografico F. Garzia.
- Impianti della Società Adriatica di Elettricità**. 1905-1955. 1955. Officine Grafiche C. Ferrari, Venezia.
- L'impianto idroelettrico del Cismòn**. 1911. Il Monitore Tecnico n. 8.
- Marin R., 1982. *Nascita ed evoluzione dell'industria elettrica nel Veneto*. L'Elettrotecnica, Vol. LXIX, Gennaio.
- Marzolo F., 1926. *Utilizzazioni di forze idrauliche-Impianti idroelettrici*. CEDAM, Padova.
- Miliani L., 1939. *Le piene dei fiumi Veneti ed i provvedimenti di difesa. L'Agno-Guà-Frassine-Fratta-Gorzone; Il Bacchigione ed il Brenta*. Reale Accademia d'Italia. Pubblicazioni della Commissione Italiana per lo studio delle grandi calamità. Vol. VIII. Casa Editrice Felice Le Monnier, Firenze.
- Ministero dei Lavori Pubblici** (Min. LL.PP. - Commissione per la verifica delle dighe di ritenuta), 1926. *Le dighe di ritenuta in Italia*, Roma, Provveditorato generale dello Stato.
- SADE, 1929. *Il gruppo Società Adriatica di Elettricità, La sua attività tecnica ed economica dalle origini al 1929*. "Universale" Tipografia Poliglotta.
- Scimemi E., 1928. *Dighe*. Ed. Ulrico Hoepli, Milano.
- Vicentini M., 2017. *Diga di Ponte Serra ed impianto idroelettrico di Pedesalto. Documentazione fotografica. Comunicazione personale.*

Renato Drusiani^{a)}, Luigi Joseph Del Giacco^{a)}, Alberto Caprari^{b)}

IDEAZIONE E SVILUPPO DELLE MACCHINE PER IL SOLLEVAMENTO IDRICO NEL RINASCIMENTO

IDEATION AND DEVELOPMENT OF WATER LIFTING MACHINES IN THE RENAISSANCE

Nel corso del Rinascimento si è sviluppata in tutta Europa una "rivoluzione culturale" che ha coinvolto gran parte del sapere umano, dall'arte, all'architettura, sino alle diverse discipline tecniche-scientifiche. Questo è avvenuto attraverso più fasi, che hanno riguardato, sia il recupero e la valorizzazione della cultura classica, che una serie di apporti originali/innovativi i cui frutti, in diversi casi, saranno pienamente colti solo in periodi successivi. La relazione esamina in particolare lo sviluppo delle macchine per il sollevamento dell'acqua che si è determinato in Italia a partire dal XV secolo. Fra le personalità dominanti del periodo emerge certamente Leonardo da Vinci, genio visionario ed eclettico il cui contributo nel campo dell'idraulica e delle macchine idrauliche è stato rilevante, del resto grazie alle sue intuizioni sono state poste le basi per i futuri sviluppi della pompa centrifuga. La vivacità del periodo considerato si riscontra anche dalle raccolte sistematiche di idee e progetti curate da svariati tecnici/scienziati fra i quali in particolare Agostino Ramelli. Queste raccolte riguardano, non solo moderne riproposizioni di macchine del passato, ma anche originali intuizioni, riprese ed attuate anni, se non secoli dopo. Questa stessa vivacità culturale indusse a volte a sfidare alcune leggi fisiche (all'epoca non ancora formalizzate) con inevitabili insuccessi, come nel caso di quelle macchine idrauliche che anelavano produrre il moto perpetuo e con cui lo stesso Leonardo dovette misurarsi.

Parole chiave: Leonardo da Vinci, Agostino Ramelli, Janello Torriani, Codice Leicester, Codice Corazza, Tecnologie del Rinascimento, Perpetuum mobile, pompa centrifuga.

During the Renaissance, a sort of "cultural revolution" took place all over Europe, involving a large part of human knowledge, from art to architecture, to technical-scientific disciplines. This happened through several phases, which involved both the recovery and enhancement of classical culture, and a series of original / innovative contributions whose results will in some cases be fully captured only in late periods. The report examines the development of water-lifting machines that was established in Italy from the fifteenth century. Among the dominant personalities of the period certainly emerges Leonardo da Vinci, a visionary and eclectic genius whose contribution in the field of hydraulics and hydraulic machines was significant. For example, it is thanks to his intuitions that the foundations have been laid for future developments of the centrifugal pump. The liveliness of the period considered can also be found in the systematic collections of ideas and projects carried out by various technicians/scientists, including Agostino Ramelli in particular. These collections concern not only a modern revisitations of machines of the past, but also original intuitions, often taken and implemented years, if not centuries, later. This same cultural vivacity sometimes led to challenge certain physical laws (not yet formalized at the time) with inevitable failures, as for those hydraulic machines that yearned to produce perpetual motion and with which Leonardo himself had to measure himself.

Keywords: Leonardo da Vinci, Agostino Ramelli, Janello Torriani, Codex Leicester, Codex Corazza, Renaissance Technology, Perpetuum Mobile, Centrifugal Pump.

1. INTRODUZIONE

Nella ricorrenza del cinquecentesimo anniversario della morte di Leonardo da Vinci avvenuta in Francia nel 1519 si è ritenuto opportuno approfondire il contributo del Rinascimento, di cui Leonardo è stato uno dei più importanti esponenti, nello sviluppo di macchine per il sollevamento dell'acqua. E' in tale periodo che abbiamo avuto, accanto al recupero/valorizzazione delle esperienze idrauliche di matrice Ellenistica/Romana, anche la creazione delle basi per un loro superamento. La nascita del metodo scientifico a cui hanno contribuito Leonardo da Vinci,

^{a)}Drusiani R., Del Giacco L. J. - Utilitalia, Piazza Cola di Rienzo 00192 Roma; A. Caprari^{b)}, CAPRARI SPA Via Emilia Ovest 900, 41123 Modena.

Galileo Galilei ed altri ha consentito l'avvio di quel progresso scientifico e tecnologico in tutti i campi del sapere, che prosegue tutt'ora. In particolare le intuizioni sviluppate allora sull'idraulica e le macchine idrauliche, anche attraverso percorsi che oggi potrebbero apparire paradossali, hanno segnato profondamente questa materia. Fra queste intuizioni, certamente fra le meno conosciute, va collocata la pompa centrifuga, ideata e descritta da Leonardo, ma per il cui sviluppo, che la porterà ad essere il sistema dominante nel sollevamento dell'acqua, dobbiamo attendere il XIX secolo. Il presente contributo si ispira in parte ad un lavoro presentato in un recente Simposio internazionale (*Drusiani et al., 2019*)

2. GLI ANTICHI SISTEMI PER IL SOLLEVAMENTO DELL'ACQUA

Con la formazione dei primi insediamenti l'uomo si è posto il problema di come affrontare una serie di pratici problemi riguardanti l'accesso all'acqua ed il suo utilizzo. Attingere acqua da un pozzo, irrigare dei campi, svuotare il fondo di un'imbarcazione, erano operazioni elementari di sollevamento dell'acqua che qualunque gruppo umano organizzato doveva affrontare e risolvere.

Uno dei primi sistemi, diffuso nel II secolo a.C. in Egitto e Medio Oriente è stato certamente lo Shaduff (figura 1a) in grado di attingere agevolmente acqua da pozzi e specchi d'acqua. Vengono successivamente introdotti dispositivi più complessi e a funzionamento continuo come la ruota idraulica o noria (*Fig. 1b*), la Coclea o Vite d'Archimede (*Fig. 1c*), la pompa a pistone detta anche Ctesibica (*Fig. 1d*), dal nome del suo inventore, il greco Ctesibio. Diverse le fonti di energia impiegate per l'azionamento: uomo, animali, ma anche vento o acqua.

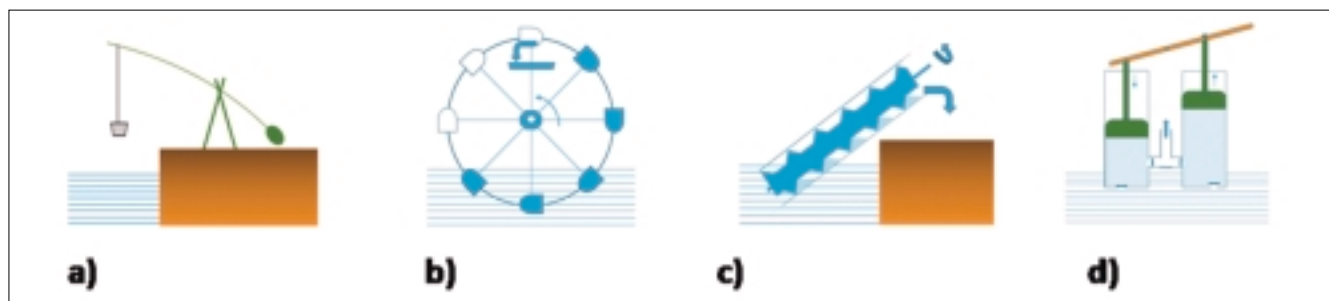


Figura 1 - Antichi sistemi di sollevamento: a) Shaduff; b) Ruota idraulica; c) Vite d'Archimede; d) Pompa Ctesibica.

Se al mondo ellenistico va riconosciuto un forte impegno nell'innovazione, grazie anche alla nota Scuola di Alessandria, fondata nel IV secolo a.C., al mondo Romano va soprattutto il merito di avere perfezionato ed applicato su larga scala quelle scoperte greco-ellenistiche ritenute più utili e funzionali. Del resto approfonditi esami sui reperti archeologici di macchine di sollevamento, dalle vite di Archimede alle ruote idrauliche per drenare le gallerie delle miniere, hanno mostrato che, pur in assenza degli strumenti di calcolo di cui oggi disponiamo, *“le macchine romane risultano progettate e realizzate in linea con obiettivi di ottimizzazione del tutto coerenti con quelli che noi, al giorno d'oggi, siamo soliti prefissare”* (*Barbaresi, 2011*).

A seguito del crollo dell'impero romano ed al fanatismo antipagano seguito agli editti di Teodosio, andò dispersa una parte di importanti scritti rappresentativi del livello di cultura raggiunto. Nel VIII secolo, nei territori del Medio Oriente, si assistette tuttavia ad un rinnovato interesse verso le tecnologie del periodo ellenista (*Hill, 1993*), frutto anche della traduzione in arabo degli antichi testi raccolti dai funzionari arabi durante la conquista dell'Africa bizantina. Così attraverso la mediazione dalla lingua araba, l'Occidente si riappropriò, secoli dopo la caduta dell'impero romano, delle opere fondamentali di Euclide, di Erone ed altri.

3. IL “RINASCIMENTO” DELLE POMPE

3.1 Contesto storico ed attori coinvolti nello sviluppo delle macchine idrauliche

La cultura europea nei diversi rami della conoscenza riprese vigore nel Rinascimento. A questo ha contribuito il recupero e la valorizzazione delle eccellenze del pensiero raggiunte da Greci e Romani attraverso due diversi processi. Da un lato la riscoperta autoctona e la valorizzazione di opere che erano state dimenticate nel periodo medioevale, come il trattato *De architectura* di Vitruvio che risaliva al tempo di Augusto e venne riproposto nel XV secolo da studiosi come Leon Battista Alberti, e dall'altro con il trasferimento di conoscenze dall'area islamica all'Europa. Quest'ultimo apporto non riguardava solo testi classici ma anche alcune metodologie come il sistema decimale, appreso in Cabiria (odierna Algeria) dal matematico pisano Leonardo Fibonacci e trasferito poi nel continente Europee all'inizio del XIII secolo.

Tutto questo è alla base di una vera e propria “rivoluzione culturale”, del resto l'adozione del metodo matematico-sperimentale valorizzando la misura e l'approccio quantitativo, permise, pur attraverso vivaci scontri e polemiche, di accantonare buona parte di quelle certezze metafisiche imposte dalla Scolastica, che privilegiavano invece una visione preordinata dei fenomeni naturali.

Riconosciuto iniziatore di un tale approccio è stato Leonardo da Vinci (1452-1519) da cui sono pervenute oltre settemila pagine di appunti e disegni (Suh, 2009) riguardanti molteplici temi (idraulica, meccanica, architettura, anatomia, ecc.) Queste pagine raccolte in diversi Codici (fra i più noti: Atlantico, Leicester, Madrid) sono state riordinate e riproposte nel tempo più volte e da più curatori (Capurro, 2014), alla stessa stregua di un moderno best-seller.

Con riferimento al nostro Paese vanno ricordati altri tecnici-scienziati che hanno preceduto, accompagnato e seguito tale percorso; si possono citare fra i più rilevanti: Mariano di Jacopo detto il Taccola (1381-1453), Francesco di Giorgio Martini (1439-1501), Agostino Ramelli (1531-1600) ed il già ricordato Galileo Galilei (1564-1642). Con l'eccezione di Leonardo che ricorreva ad un sistema di scrittura c.d. speculare, quasi una forma di crittografia, i lavori di questi autori sono spesso scritti in latino (la lingua colta dell'epoca) oppure sono bilingui e ciò per favorirne la diffusione a cui ha contribuito anche la stampa a caratteri mobili diffusasi alla fine del XV secolo.

E' comunque ad Agostino Ramelli, ingegnere militare nato nel 1531 nei pressi del lago di Lugano che ci ha lasciato una vasta collezione di disegni e descrizioni, quello a cui si presterà particolare attenzione. La sua raccolta *"Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli"* è stato all'epoca considerato come la più completa raccolta delle tecnologie meccaniche occidentali ottenendo al riguardo molteplici riconoscimenti. Infatti non solo questo testo venne tradotto in cinese nel 1612 (Koetsier, 2012) nell'ambito delle attività di divulgazione/evangelizzazione svolte dai missionari gesuiti guidati da Padre Antonio Ricci, ma essa fu fonte di diretta ispirazione di altri manuali tecnici come per l'opera di Nicolas Grollier de Servière *"Recueil d'Ouvrages Curieux de Mathématique et de Mécanique, ou description du Cabinet de Monsieur Grollier de Servière"* edita nel 1689.

3.2 Le macchine idrauliche del Capitano Ramelli

L'opera di Ramelli (Fig. 2) edita nel 1588, contiene numerose applicazioni meccaniche, dall'arte militare, ai cantieri edili; la quota più significativa dei 195 esempi è comunque rappresentata dalle macchine idrauliche. I testi illustrativi con espressi riferimenti ai disegni, sono in italiano ed in francese e costituiscono un valido connubio fra disegno tecnico e disegno artistico/architettonico (Testaferrata, 2006) che ricorre a molteplici forme rappresentative (sezioni, esplosi e trasparenze), combinando disegno d'insieme con quello delle varie parti. Si tratta di modalità chiaramente finalizzate anche a quegli obiettivi pratico/didattici che ritroveremo due secoli dopo nelle tavole dell'Encyclopedie di Diderot e d'Alembert, uno dei testi cardine dell'Illuminismo.



Figura 2 - Le pagine iniziali dell'opera di Ramelli.

Grazie ai disegni proposti da Ramelli è possibile, sia ripercorrere (in chiave moderna per l'epoca) macchine concepite al tempo dei Greci e dei Romani, ma anche evidenziare nuove soluzioni che saranno poi applicate in anni se non in secoli successivi. Alcuni esempi sono di seguito illustrati.

La *Figura 3* rappresenta un sollevamento a più stadi con viti d'Archimede azionate da una ruota idraulica calettata ad una Noria che svolge anche la funzione di primo sollevamento. La *Figura 4* illustra una applicazione di pompe a pistone a servizio di un pozzo; anche in questo caso vanno notati i dettagli costruttivi dei pistoni e delle valvole di non ritorno. Alcuni dei sistemi rappresentati si presentano pleotorici in quanto ad abbondanza e varietà di componenti utilizzati, ma forse questo è motivato dal desiderio dell'autore di comunicare all'esterno la sua capacità di dominare la materia.

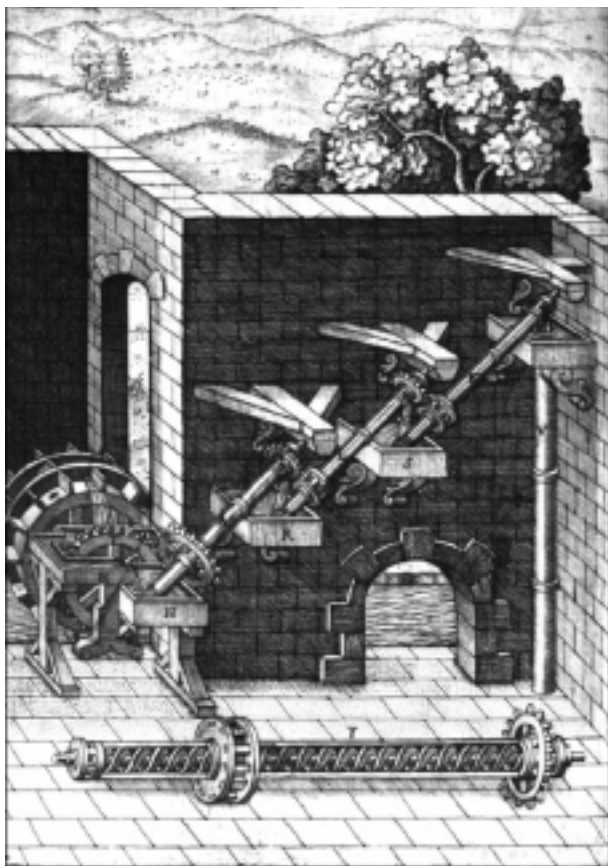


Figura 3 - Sistema di viti d'Archimede in serie.



Figura 4 - Sollevamento con pompe a stantuffo.

La successiva *Figura 5* illustra un sistema, non certo convenzionale, di sollevamento idrico tramite tazze basculanti che riversano l'acqua l'una nella successiva, guadagnando così ad ogni passo un incremento di quota. Tale sistema, adeguatamente replicato, consente di far pervenire l'acqua a distanza ed anche a quota significativa senza ricorrere a dispositivi operanti ad elevata pressione. Il movimento di tutti i leveraggi è assicurato da una ruota motrice idraulica alimentata dalla corrente fluviale che, anche in questo caso, svolge il ruolo di primo stadio di sollevamento.



Figura 5 - Sollevamento con tazze basculanti.

Il sollevamento ora descritto corrisponde, pur con alcune varianti, a quanto realizzato in Spagna dal cremonese Janello Torriani (1500-1585) su incarico dello stesso Imperatore Carlo V. Si trattò di una opera assai impegnativa per l'epoca che serviva a trasferire l'acqua del fiume Tago all'Alcazar della città di Toledo superando un dislivello di un centinaio di metri. Esso era in grado di assicurare 16.000 litri di acqua al giorno e fu in grado di operare per circa mezzo secolo (Shulman, 2017).

Fra i sistemi di sollevamento di carattere innovativo proposti da Ramelli si ricordano le pompe volumetriche rotative; la *Figura 6a* riporta una pompa a singolo ingranaggio, completa di dispositivi antiriflusso, mentre nella *Figura 6b* è rappresentata una pompa a palette.

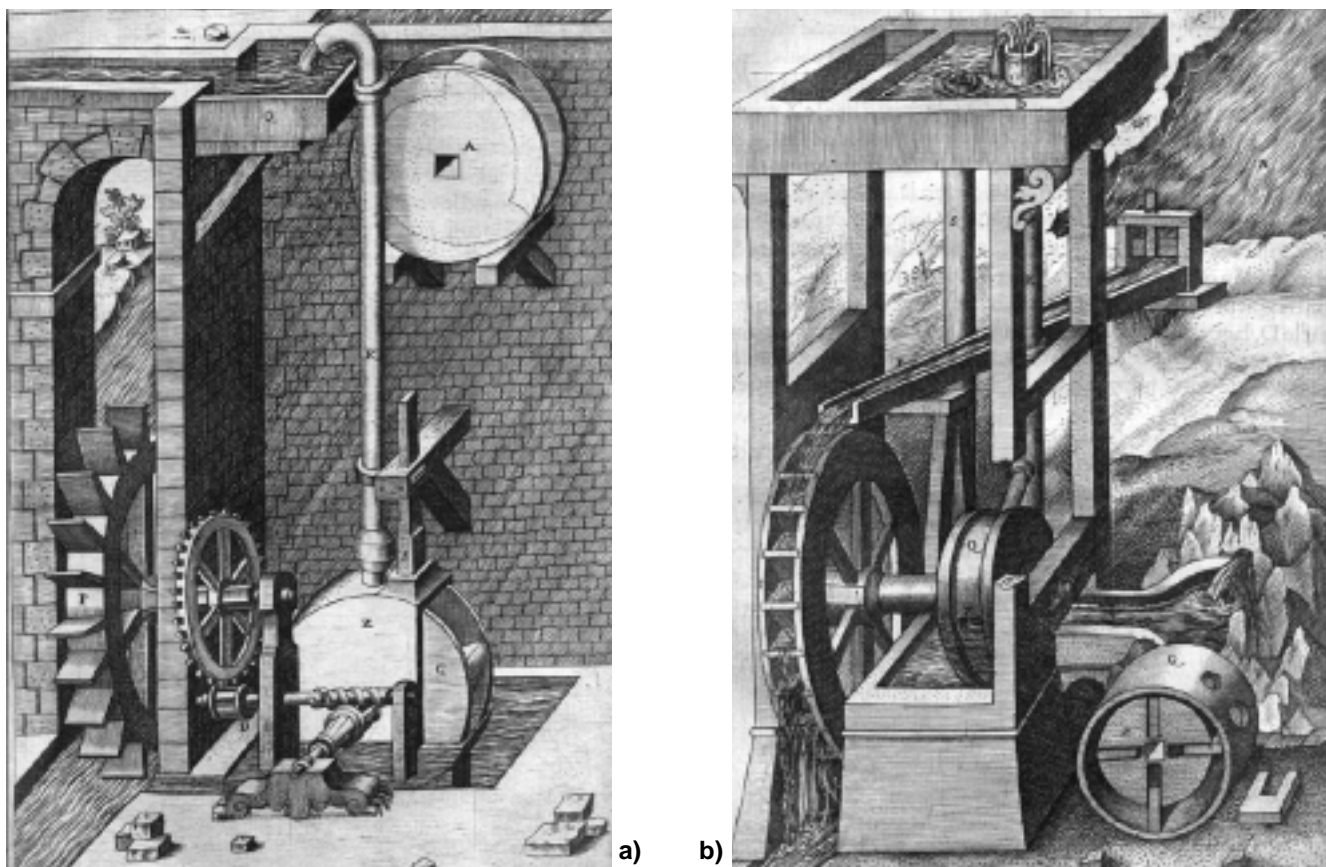


Figure 6 - Pompe volumetriche rotative: a) palette; b) a singolo ingranaggio.

Le soluzioni operative riguardanti queste ultime tipologie di pompe avverranno in epoche successive; nel primo caso la soluzione (riproposta in due ingranaggi) è del 1636 per opera di Pappenheim (Skinner, 2014), mentre per il deposito del brevetto di pompa a palette occorre attendere oltre duecento anni, nel 1874 da parte del canadese Charles C. Barnes (Theriat, 2001).

3.3 Macchine idrauliche e mitologia del moto perpetuo

All'interno di questa rassegna va ricordata una particolare categoria di macchine idrauliche, si tratta delle macchine a moto perpetuo (dette anche *Perpetuum mobile*) che, negli auspici dei loro proponenti avrebbero dovuto funzionare a tempo indefinito senza apporto di energia dall'esterno.

Oggi queste soluzioni sono considerate bizzarria, ma all'epoca il tema era di massima importanza ed ha impegnato alcune delle migliori menti, indotte a ciò anche da promesse di ricchi premi.

Si possono infatti citare l'Imperatore Rodolfo II d'Asburgo (1552-1612) con la promessa di ricompensare in oro (una tonnellata) d'oro l'artefice di una tale scoperta (Popplow et al., 2002) e, un secolo dopo, lo stesso Zar di Russia Pietro il Grande. Quest'ultimo nel suo intento di modernizzare la Russia, all'epoca assai arretrata, offrì supporto agli esperimenti proposti da J.E.E. Bessler (noto anche come Orffyreus) su macchine di tipo *Perpetuum mobile* (Jenkins, 2013).

I sedicenti inventori di tali congegni sostenevano che combinando opportunamente dispositivi meccanici e idraulici, si sarebbe stati in grado di garantire il funzionamento continuo della macchina senza apporto energetico e svolgendo al tempo stesso lavoro utile come macinare grano, affilare lame, ecc. La *Figura 7a* illustra il *Perpetuum mobile* del britannico Robert Fludd (1574 -1637) nel quale la vite d'Archimede e la ruota idraulica si ali-



Figura 7 - Esempi di Perpetuum mobile: a) di Robert Fludd; b) di Vittorio Zonca.

mentano reciprocamente con la stessa acqua (Goldemberg, 2012) per l'arrotatura "free energy" di lame. Nella successiva Figura 7b è invece rappresentato il disegno di un mulino concepito dal padovano Vittorio Zonca (1568-1603), tratto da *Nuovo teatro di machine et edificii*, che si avvale di un sifone che secondo il suo ideatore si sarebbe dovuto autoricare senza richiedere apporti di energia esterna.

Il principio di conservazione dell'energia in forza del quale tali macchine non possono funzionare emergerà solo nel corso del XIX secolo¹ tuttavia non tutti gli scienziati rinascimentali o post-rinascimentali rincorrevano tale mito. Fra questi spicca proprio Leonardo da Vinci che, a differenza di molti suoi contemporanei, era arrivato a concludere per via empirica dopo svariati fallimenti, sull'impossibilità del moto perpetuo. Leonardo infatti con malcelato disprezzo afferma nel Codice di Madrid: "... o speculatori del continuo moto, quanti vari ingegni in simil cerca avete creati! Accompagnatevi con li cercatori d'oro". Quest'ultimo riferimento riguarda gli alchimisti dell'epoca maniacalmente ossessionati dalla ricerca della pietra filosofale e che Leonardo accomuna ai sostenitori del moto perpetuo.

4. IL CONTRIBUTO DI LEONARDO NELL'IDEAZIONE DELLA POMPA CENTRIFUGA

4.1 La prima rappresentazione

Le macchine idrauliche illustrate nell'opera del Capitano Ramelli e di altri inventori dell'epoca sono classificabili come pompe volumetriche che elevano la quota piezometrica ovvero l'energia potenziale di volumi discreti di acqua. Occorre allora domandarsi se nelle macchine di sollevamento ideate nel Rinascimento anche l'energia cinetica, ovvero la velocità del fluido, svolge un ruolo.

Una risposta a questo interrogativo è fornita dallo stesso Leonardo da Vinci nel 1508 in alcune pagine di appunti raccolti nel Codice di Leicester successivamente riproposti nel Codice Corazza (Buccaro, 2011). Questi appunti (Fig. 8), non certo fra i più celebrati di Leonardo, riguardano il drenaggio di aree paludose ottenuto per mezzo di un recipiente tronco-conico all'interno del quale la forza centrifuga impressa all'acqua posta in rotazione consente a questa di risalire lungo le pareti fuoriuscendo dal bordo superiore (Cremanti, 2005).

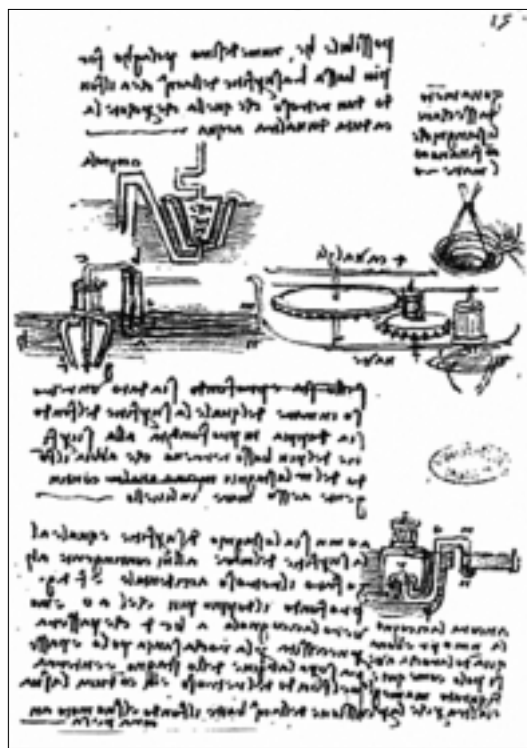


Figure 8 - Studio di Leonardo da Vinci di pompa centrifuga per drenare acqua dalle paludi.

¹ Malgrado il principio di conservazione dell'energia fosse formulato da Joule nel 1843, ciò nonostante, come si può rilevare da una semplice ricerca su WEB, ancora oggi si possono trovare proposte di fundraising per lo sviluppo di macchine a moto perpetuo, alcune assai simili ai modelli rinascimentali.

Tale dispositivo, inusuale rispetto ai canoni odierni, che per certi aspetti si avvicina ad una idrovora assiale, può essere analizzato con gli stessi strumenti di calcolo e simulazione impiegati nello studio delle pompe centrifughe. Partendo da una schematizzazione semplificata del dispositivo, le cui dimensioni espresse in braccia fiorentine sono contenute negli appunti a noi tramandati, è possibile stimarne le prestazioni attraverso idonei programmi di calcolo. La *Figura 9* illustra i dati di partenza ed alcuni risultati ottenuti dalle simulazioni che sono state condotte².

Va considerato che i richiamati appunti si soffermano soprattutto all'aspetto concettuale con cui Leonardo intendeva risolvere il problema del prosciugamento delle paludi "giovamento da seccar stagni, che confinano col mare", prestando quindi una meno attenzione a componenti accessorie ma essenziali, come lo scarico a mare e un dispositivo anti riflusso nella presa in palude. Manca in sostanza una vera ingegnerizzazione della macchina, necessaria qualora fosse stata effettivamente realizzata, questa sorta di "incompletezza", che caratterizza diversi lavori di Leonardo, è stata del resto fatta rilevare da alcuni storici della scienza (*Finch*, 1960). Nel caso specifico va aggiunto che Leonardo aveva sì ricevuto incarichi per studiare le modalità di bonifica di aree paludose, come nel 1503 la Val di Chiana (*Cresti*, 1987) e nel 1514 le Paludi Pontine (*Farago*, 1999), ma in entrambi i casi l'intervento si era limitato ad una preliminare indagine planimetrica.

4.2 Sviluppi successivi della pompa centrifuga

Dobbiamo attendere il XVII secolo per riscontrare prime compiute proposte di dispositivi di sollevamento utilizzando la forza centrifuga, non più semplici intuizioni ma premessa per futuri sviluppi industriali. Ecco allora il primo brevetto di pompa centrifuga illustrato nella *Figura 10* (*Florjancic*, 2000), depositato nell'anno 1689 dallo scienziato francese Denis Papin (1647-1713), matematico e fisico francese la cui notorietà è legata soprattutto alle sperimentazioni sulle macchine a vapore.

Una curiosa applicazione di sistemi di sollevamento utilizzando la forza centrifuga sviluppati in questo periodo fa riferimento ad un ingegnere militare francese, Bernard Forest de Bélidor (1698-1761). Nella sua opera *Architecture hydraulique* l'autore illustra un dispositivo molto simile a quello concepito a suo tempo da Leonardo da Vinci. Tale dispositivo risalente al 1732 ed assai curato sul piano estetico, come si può evincere dalla *Figura 11*, veniva utilizzato per regolare il livello delle vasche nei giardini della Reggia di Versailles.

Sino alla metà del XVIII secolo lo sviluppo di questi dispositivi ha fatto riferimento soprattutto ad approcci empirico-sperimentali. Per disporre di una prima formalizzazione fisico-matematica del funzionamento della pompa centrifuga occorre attendere il 1754, quando il matematico e fisico svizzero Leonardo Eulero (1707-1783) per mezzo delle c.d. equazioni di Eulero, sarà in grado di quantificare le interazioni fra il fluido e le componenti fisse e mobili della pompa.

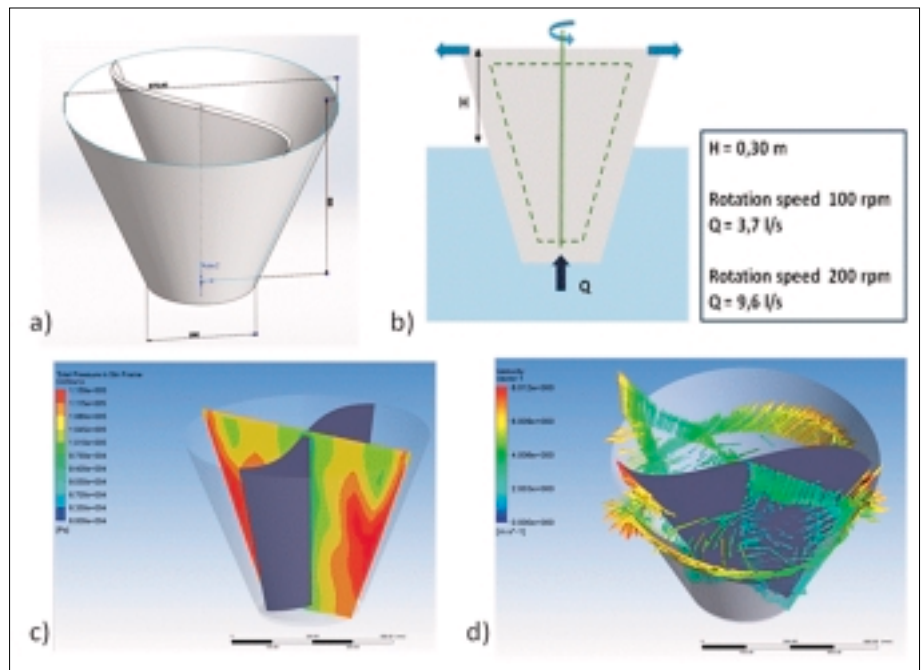


Figura 9 - Simulazione della pompa di Leonardo (dati e disegni di CAPRARI SPA 2019). a) Modello geometrico; b) Dati di calcolo; c) Campo di pressione; d) Campo di velocità.

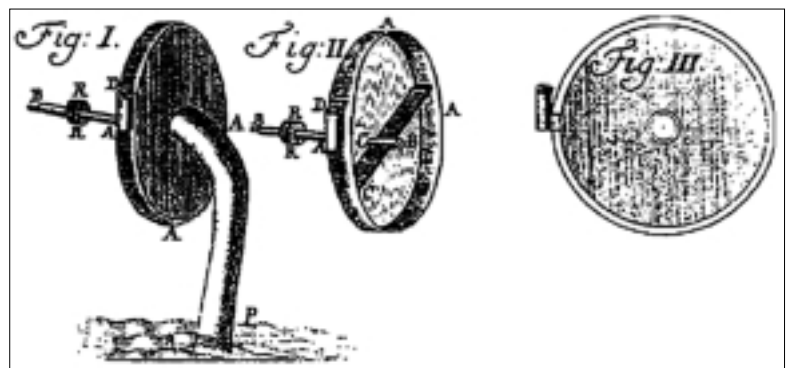


Figure 10 - Disegno della pompa di Papin (1689).

² Si è fatto ricorso a Ansys CFX, noto software utilizzato per la simulazione di turbomacchine.

La forma teorica della pompa centrifuga per come oggi la conosciamo, risale alla fine del XIX secolo; diversi sono studiosi e tecnici che hanno contribuito a questi perfezionamenti, fra i quali si ricorda il fisico nord-irlandese Osborn Reynolds noto per i suoi contributi alla fluidodinamica. In ogni caso l'introduzione di sagome più efficienti e, all'inizio del XX secolo lo sviluppo del motore elettrico a corrente alternata – ad oggi la motorizzazione più performante ed efficiente per l'azionamento di tale pompa – hanno consentito l'estensione della pompa centrifuga a tutti i settori e per tutte le applicazioni civili e industriali. Ad oggi grazie anche ai processi innovativi che hanno accompagnato e tutt'ora ne accompagnano lo sviluppo e l'impiego, si può affermare che la pompa centrifuga per la sua intrinseca affidabilità e versatilità d'uso si è imposta come il dispositivo di sollevamento idrico più diffuso al mondo.

5. CONCLUSIONI

I sistemi di sollevamento dell'acqua hanno rappresentato e tutt'ora rappresentano uno dei campi di applicazione dell'ingegno umano nel quale il perfezionamento e l'innovazione tecnologica si può considerare un processo in continua evoluzione. L'ideazione di queste macchine e le loro molteplici applicazioni partono da molto lontano e lo sviluppo avvenuto nel periodo rinascimentale, anche attraverso i fondamentali contributi di ideatori-scienziati come Leonardo da Vinci hanno creato le condizioni affinché questi dispositivi adeguatamente studiati e perfezionati fossero in grado di soddisfare le crescenti esigenze idriche di una società umana i cui componenti si avviano, entro il 2050, a raggiungere i dieci miliardi.

Si ringraziano l'ing Lauro Antipodi e Franco Strozzi di CAPRARI SPA per il contributo tecnico /sperimentale fornito.

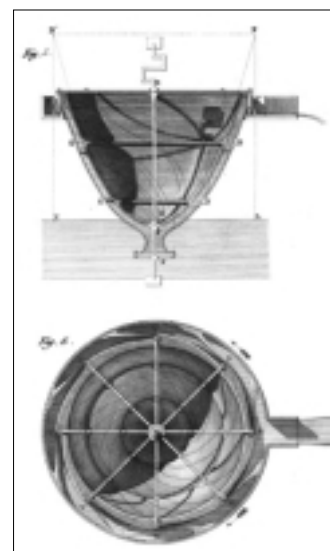


Figure 11 - Pompa descritta da Belidor (1732).

BIBLIOGRAFIA

- Barbaresi L. A., 2011. *Progettazione ed evoluzione delle macchine nell'antica Roma: Macchine idrauliche operatrici*, Aracne Ed., Roma
- Buccaro A., 2011. *Leonardo. Il Codice Corazza*. Hoepli, Milano.
- Capurro R., 2014. *Leonardo: studi sull'acqua*. De Agostini Ed., Novara.
- Cremanti S., 2005. *Leonardo Da Vinci Artista Scienziato Inventore*. Giunti Editore, Prato.
- Cresti C., 1987. *La Toscana dei Lorena, politica del territorio e architettura*. Ed. Banca Toscana.
- Drusiani et al., 2019. *Contribution of the Renaissance in the development of water-lifting machines* 5th IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations, September 10-13 Dead Sea (JO).
- Farago C., 1999. *Leonardo Da Vinci, Selected Scholarship: Leonardo's projects, c. 1500-1519*. Garland Publ. New York & London.
- Finch J.K., 1960. *The story of engineering*. Doubleday Anchor Books New York, USA.
- Florjancic D., 2000. *Future of the pump Industry*. Proceedings of the 17th International Pump Users Symposium, Texas A&M University, Houston, Texas USA.
- Goldemberg J., 2012. *Energy: what everyone needs to know*. Oxford Univ.Press N.Y. USA.
- Koetsier T., Ceccarelli M., 2012. *Explorations in the History of Machines and Mechanisms: Proceedings of HMM2012*. Springer Science & Business Media.
- Hill D.R., 1993. *Islamic science and engineering*. Edinburgh University Press, GB.
- Jenkins A., 2013. *The mechanical career of Councillor Orffyreus, confidence man*. Am.J.Phys. 81, UT USA.
- Popplow M., J. Renn J., 2002. *Storia della scienza*. Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma
- Skinner S. 2014. *Hydraulic Fluid Power - A Historical Timeline*. Lulu Press Inc, Barking, U.K.
- Shulman C., 2017. *A Tale of Three Thirsty Cities: The Innovative Water Supply Systems of Toledo, London and Paris in the Second Half of the Sixteenth Century* Brill Edit. Leida, NL.
- Suh H.A., 2009. *Leonardo's Notebooks* Black Dog & Leventhal Publ. New York, USA.
- Testaferrata E., 2006. *Leonardo da Vinci. Il disegno artistico e il disegno tecnico nel Rinascimento italiano* Polistampa Firenze.
- Theriault M., 2001. *Great Maritime Inventions 1833-1950* Goose Lane Editions, Fredericton, NB Canada.

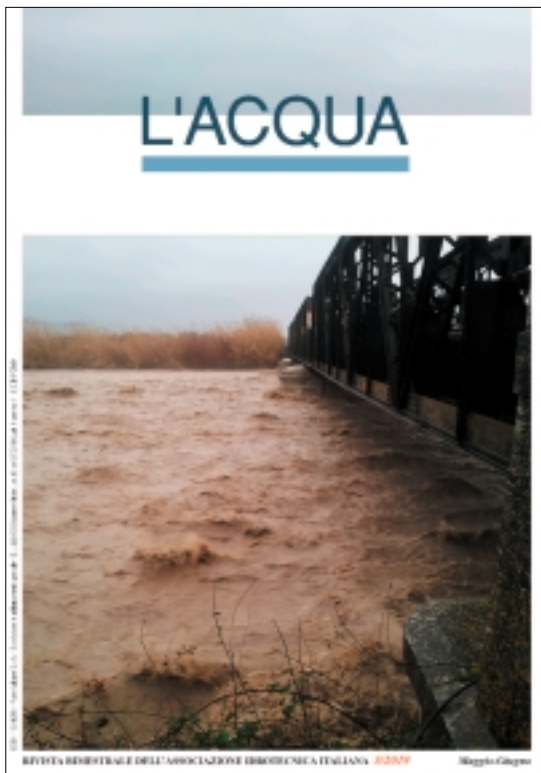
Testi di riferimento

<i>Codice di Madrid di Leonardo da Vinci</i>	1589
<i>Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli</i>	1588
<i>Nuovo teatro di machine et edificii di Vittorio Zonca</i>	1607
<i>Recueil d'Ouvrages Curieux de Mathématique et de Mécanique, ou description du Cabinet de Monsieur Grollier de Servière</i>	1689
<i>Architecture hydraulique, ou l'Art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différens besoins de la vie di Bernard Forest de Bélidor</i>	1737
<i>Opere di Galileo Galilei tomo terzo</i>	1744

La Redazione ripropone la Discussione pubblicata sul n. 5-2019 che conteneva refusi nel P. S. e se ne scusa con l'Autore ed i Lettori.

UNA RIVISTA VIVA, UN RUOLO SEMPRE PIÙ INCISIVO A LIVELY JOURNAL, AN INCISIVE ROLE

Massimo Veltri*



Leggo, proprio il 14 agosto, il n. 3 della Rivista: sia per la ricorrenza rispetto al crollo del ponte Morandi l'anno scorso sia per i contenuti, e taluni in specie, che trovo particolarmente stimolanti mi rivolgo al Presidente e Direttore Brath perché voglia render pubbliche alcune mie brevi considerazioni e, se possibile, farle sue.

Contributi come quello di Ruggiero Jappelli (*Ruderi, macerie, polvere e tracce di antiche costruzioni*: ricordo l'iscrizione a Susa, antica capitale dell'Impero Persiano: E si disperde nelle spire del tempo ...), immancabili, preziosi, insostituibili, oltre a *Le cattedrali dell'acqua* di Umberto Niceforo, mi rimandano alla mente la querelle che ci tenne impegnati per anni -non è esagerato dire così- sull'identità della Rivista, sul suo ruolo, sulla sua sostenibilità economica. E constatare oggi quanto le note e gli scritti in essa compresi acquistano sempre più un significato alto, denso, non contingente per un verso mi confortano e per altro mi stimolano. Non so se sia particolarmente elegante o politically uncorrected autocelebrarsi, ma francamente non me ne curo, e invece mi spiego meglio: fare comunità, rintracciare e rinsaldare ragioni di uno stare insieme, condividere valori e paradigmi sembra esser diventata missione, se non impossibile, giorno dopo giorno sempre più ardua, quasi nemmeno più perseguita, specialmente se è riferita ad ambiti e comparti dell'esercizio critico,

delle professioni liberali, di attività intellettuali, del bene comune. Si assiste, quasi fosse una deriva immanente e irreversibile, a una atomizzazione accelerata frutto di un individualismo egoista quanto timoroso e impotente.

Noi, molti di noi diciamo meglio, ci siamo formati in altre cornici, con altri sfondi e pareti: soffriamo nel constatare, quasi da inermi e comunque ciascuno di noi rinvoltolato nel suo particolare certamente nobile ma solipsistico, lo stato delle condizioni del vivere civile e della nostra collocazione nella società. Per utilizzare un termine non saprei più dire onestamente se completamente o solo parzialmente desueto qual è 'classe dirigente' continuo a interrogarmi se lo siamo, se lo siamo ancora e se stiamo facendo tutto il possibile-collegialmente, s'intende e non individualmente.

E allora, non fosse altro che per fugare nebbie, opacità o dubbi, caro Presidente, carissimo Armando, forse un brain storming o se vuoi una riflessione oppure anche un dibattito sulla Rivista-scegli tu-perché chi voglia possa offrire il proprio contributo alla definizione di un nostro ruolo, più presente e incisivo di quanto non lo sia già adesso, ritengo debba essere preso in considerazione.

P. S.: *I recentissimi fatti (leggo le bozze il diciannove novembre) che hanno drammaticamente interessato gran parte del territorio nazionale, in particolare Venezia e Matera, tutti collegati all'acqua, alla sicurezza, al 'che fare' rendono ancora più attuale e purtroppo più stringente le righe scritte tre mesi or sono, quasi a dimostrare implacabilmente come e in qual misura i processi e le dinamiche delle 'nostre' materie si rincorrono, incalzano e ci spingono ad agire.*

*Già Presidente A.I.I.

IL MITO DELLA CERTEZZA

THE PERSISTENT DELUSION OF CERTAINTY

Ruggiero Jappelli*

Le professioni abilitano, più o meno esplicitamente, alla *previsione* a breve e/o a lungo termine; questa abilità si esercita in modi e con mezzi diversi, secondo il settore di attività del professionista: accademici, amministratori, architetti, avvocati, economisti, gestori, ingegneri, magistrati, medici, meteorologi, urbanisti, ... prefigurano, progettano, proiettano, pianificano, promettono e/o azzardano scenari per il futuro. Questi professionisti, che la comunità ha abilitato alla previsione, sono indicati genericamente *tecnici*, come nell'espressione *governo dei tecnici*.

Se si escludono i praticanti profezie e qualche altro che si professi infallibile, tutti questi tecnici sono consapevoli dei limiti della loro capacità di antivedere, in armonia con consolidati principi scientifici (cfr. *L'Acqua* 2-3, 2015 p. 149-150); la fallibilità deriva da limiti della conoscenza umana e/o soggettiva e da vincoli imposti alla *soluzione* del problema contingente (cfr. *L'Acqua* 5, 2017, p. 67). Questa consapevolezza si constata con particolare evidenza nei professionisti che alla competenza associano saggezza in quelle situazioni caratterizzate da accentuata *complessità* (cfr. *L'Acqua* 3, 2016, pp.59-60), che richiedono l'adozione di raffinate strategie.

Un *tecnico*, chiamato a progettare, per esempio, una discarica di rifiuti urbani, scelto il sito, dovrà esercitare la sua capacità di previsione nella stima della vita utile di quel deposito e del suo accrescimento nel tempo; ma quella durata e quel ritmo di accrescimento sono legati a decisioni in itinere sulla disponibilità del sito e al tipo di futuro trattamento che incide a sua volta sulla raccolta che si impone all'utente.

In contrasto con quanto i tecnici possono garantire, la *gente*, definita come la gran parte di coloro che non sono professionisti, ma che a questi ultimi affida la soluzione dei problemi, chiede *certezza*. Questa insistente e comprensibile domanda si traduce nella generale richiesta di sicurezza e di permanenza di soluzioni. Tipica è la pressante richiesta ai magistrati di certezza dei tempi di evoluzione di complicati processi giudiziari; ai medici si domanda ansiosamente la durata di una fastidiosa malattia; ai discenti l'immediata risposta alle domande proposte in un esame; ai docenti la completa *education* di un discente in un tempo predeterminato; e simili. Alcune domande, pur umanamente comprensibili, sono improponibili sul piano logico, come quella di un naufrago che, approdato su una sperduta isola, pretenda di trovarvi un buon ristorante per rifocillarsi o del passeggero che durante una tempesta rimproveri al comandante di un aereo il mancato atterraggio nell'aeroporto originariamente previsto.

Esiste però una superiore classe di professionisti, per definizione *non tecnici*, dispieganti competenze per così dire *trasversali*, che dalla medesima *gente* la martellante domanda di certezza vengono di volta in volta abilitati a soddisfare; questi professionisti *trasversali* sono anche chiamati a stabilire priorità nell'esaudimento di quelle domande. Gli operatori di questa classe, lungi dallo sposare le ragioni dei *tecnici*, rispondono curiosamente promettendo *certezza* nell'*incertezza*.

Questa fiducia nell'antivedere viene propinata con la convinzione che i tecnici sappiano affrontare e risolvere un problema complesso in tempi *certi* e nel modo convenzionale; essa traspare da frequenti dichiarazioni – spesso veri *proclami di certezza* – come sulla prossima scomparsa della povertà, sulla pronta sconfitta degli evasori fiscali, sulla sicurezza del transito su un manufatto stradale, sull'eterna durata di una nuova costruzione; non di rado si trasforma in un ricatto, come nella recente *non firmo* (un decreto), *finché l'Italia non è sicura*.

Senza nulla togliere di umano a queste perentorie dichiarazioni, molto efficaci e attese nella retorica¹, è importante osservare che molte disillusioni, incomprensioni e/o conflitti tra la *gente* e i professionisti di questa *varietà* hanno origine da esternazioni di *certezza* che i *tecnici* non possono condividere né tantomeno soddisfare (cfr. *L'Acqua* 3, 2014, p. 44).

Lo scabroso tema, che si propone per la discussione, concerne l'angoscioso dilemma, antico come l'uomo, se da parte di quella categoria di professionisti prescelti dalla *gente* al superiore compito e nel comune interesse, sia preferibile rispondere alla pressante domanda di certezza con dichiarazioni rispettose della realtà oppure con esternazioni che mirino a soddisfare le umane aspettative, come quella di un medico che decida di non rivelare al paziente un male non ancora curabile (cfr. il tema della responsabilità etica, *L'Acqua* 2, 2017).

*Già nelle Università di Napoli, Palermo e Roma Tor Vergata.

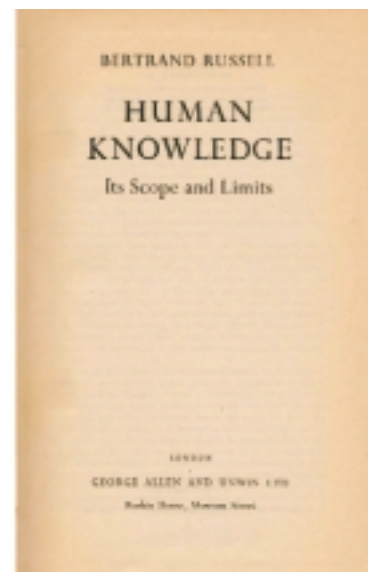
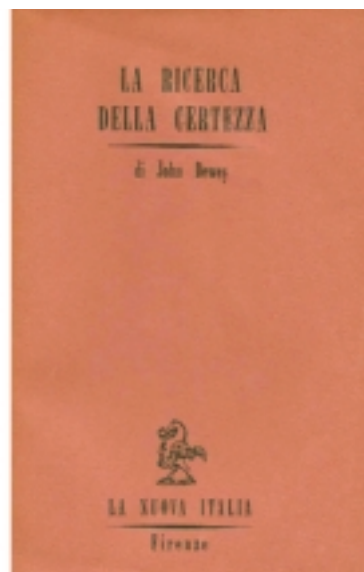
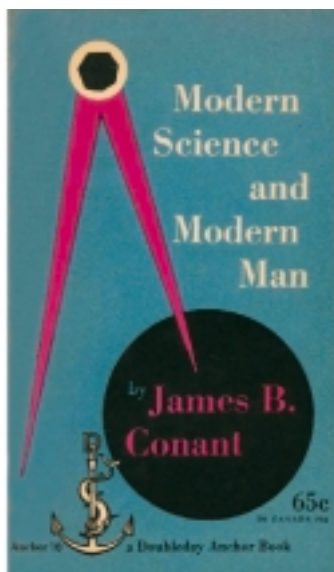
¹ Cfr. il noto Gettysburg address "we here highly resolve that these dead shall not have died in vain ..." (Abramo Lincoln, 19 novembre 1863).

Un importante dilemma correlato al precedente riguarda il quesito se il professionista che asseconda quella perdonabile domanda di certezza sia intimamente convinto della veridicità di quanto dichiara o se quell'affermazione sia dettata da opportunità, come sarebbe ogni garanzia di sicurezza di una costruzione in un sito sismico o in un'area inondabile; non altrimenti si dimostra vana ogni generica predeterminazione della durata degli accertamenti necessari per dare esito ad un complicato processo giudiziario nel rispetto dei diritti delle parti.

Dinanzi a problemi complessi o che diventino tali al trascorrere del tempo, specie quando toccano temi di ampio respiro e di lontana risoluzione, la superiore classe di professionisti non tecnici, che ha il difficile compito di esaudire quelle domande ed istituire priorità nelle risposte, farebbe bene a ragguagliare le cose non al *perfetto*, ma al *vero*, sradicando nella gente illusorie certezze.

La soluzione dei problemi complessi sia affidata a coraggiosi gestori, capaci e saggi, abilitati a sterzare, frenare, accelerare, interrompere il processo e perfino arretrare, se necessario e/o conveniente, secondo le circostanze, pronti sempre a ricominciare il cammino imboccando un tracciato alternativo con ipotesi diverse da quelle originarie.

L'esperienza insegna che troppo spesso ogni imperiosa richiesta di *impeachment* di un gestore, dal quale si prenda la risoluzione di un problema complesso con metodi convenzionali, non trova ragionevole giustificazione.



... l'uomo vive in un mondo di pericoli e cerca sicurezza... l'incertezza è mal sopportata ... non ama il disagio che accompagna il dubbio ... l'esposizione al pericolo alimenta una prepotente domanda di sicurezza che conduce al dogmatismo, alla cieca fiducia nell'autorità, all'intolleranza, al fanatismo, ... (J. Dewey, 1929).

...knowledge is not so precise a concept as is commonly thought... instead of saying I know this, we ought to say I more or less know something more or less like this ... what is said at first, is liable to require emendation later ... if you say "let us suppose so – and – so and see what comes out of the supposition", uneducated people will tend either to believe what you suppose, or to think that you are wasting your time... what philosophy should dissipate is certainty, whether of knowledge or of ignorance ... (B. Russel, 1956).

... the public is largely informed through statements by politicians only partially aware of their own distortions of the facts, certainly unconscious of the degree of uncertainty of their predictions... (J. B. Conant, 1952).

... venendo innanzi nella cognizione pratica della vita l'uomo rimette ogni giorno di quella severità per la quale i giovani, sempre cercando perfezione, e aspettando trovarne, e misurando tutte le cose a quell'idea della medesima che hanno nell'animo, sono sì difficili a perdonare i difetti, ed a concedere stime alle virtù scarse e manchevoli ed ai pregi di poco momento che occorrono loro negli uomini. Poi vedendo come tutto è imperfetto, e persuadendosi che non v'è meglio al mondo di quel poco buono che essi disprezzano, e che quasi nessuna cosa o persona è stimabile veramente, a poco a poco, cangiata misura, e ragguagliando ciò che viene loro avanti, non più al perfetto, ma al vero, si assuefanno a perdonare liberamente, e a fare stima di ogni virtù mediocre, di ogni ombra di valore, di ogni piccola facoltà che trovano. ... (G. Leopardi).



La cronaca del febbraio 2017 riportò con toni drammatici la notizia del possibile *crollò di una diga* negli Stati Uniti d'America. Considerato che i dati riferiti a questa grande opera dai moderni mezzi di comunicazione rapida non sembrano del tutto affidabili nella terminologia e nei numeri, la Redazione ritiene utile integrare notizie e considerazioni già offerte ai lettori da Alberto Bonafè et al. (cfr. *L'Acqua*, 6-2018 pp.73-81) con una sintetica descrizione della diga, quale risulta da una fonte attendibile. Questa è certamente il volume *Development of Dam Engineering in the United States* curato da autorevoli membri della *United States Committee on Large Dams* (USCOLD) della *International Commission on Large Dams* (ICOLD) in occasione del 16° Congress on Large Dams (San Francisco, 1988) e pubblicato dalla Pergamon Press. A questa fonte si attenne R. Jappelli che inviò in Redazione il presente scritto subito dopo l'incidente.

La Redazione

NOTIZIE SULLA DIGA OROVILLE

di R. Jappelli*

La diga in argomento prende il nome dalla vicina cittadina *Oroville* ed è ubicata ai margini occidentali della Sierra Nevada, circa 85 miglia a nord di Sacramento, California (cfr. *L'Acqua*, 1, 2015, p. 82).

Gli studi intorno a questa grande costruzione idraulica, che sbarrò il corso del F. Feather, risalgono al 1920 e si conclusero solo nel 1949. La costruzione fu ultimata nel 1962 dal California State Department of National Resources, che ne è l'attuale gestore.

Il volume idrico mediamente affluente alla sezione di sbarramento da un bacino imbrifero di quasi 10.000 km² è di oltre quattro miliardi di m³ all'anno, all'incirca pari alla capacità del serbatoio, che utilizza l'acqua per produzione idroelettrica (c.a 600 MW), per approvvigionamento idropotabile, laminazione delle piene ed anche per scopi ricreativi.

La diga è di terra zonata; ha un volume di oltre 60 x 10⁶ m³, una lunghezza al coronamento di 1700 m e un'altezza di 226 m, massima raggiunta in USA da opere di questo tipo. Il rilevato è fondato su una formazione lapidea di origine vulcanica costituita essenzialmente di anfiboliti. All'epoca della costruzione la zona era classificata sismicamente inattiva. Il materiale adoperato per la costruzione del rilevato è di origine alluvionale e detritica (cfr. *L'Acqua*, 4-2019, pp. 17-26); ha una composizione assortita che copre tutto l'arco granulometrico dall'argilla ai blocchi con differenti gradazioni nelle varie zone del corpo diga. Il nucleo inclinato è fondato su un blocco di conglomerato cementizio. Alla descrizione si unisce una Tavola del corso di geotecnica (R. Jappelli, 1977-78), nella quale la Oroville figura accanto alle sezioni di importanti dighe costruite in altre parti del mondo.

Lo sfioratore è ubicato in sponda destra; la soglia è presidiata da otto

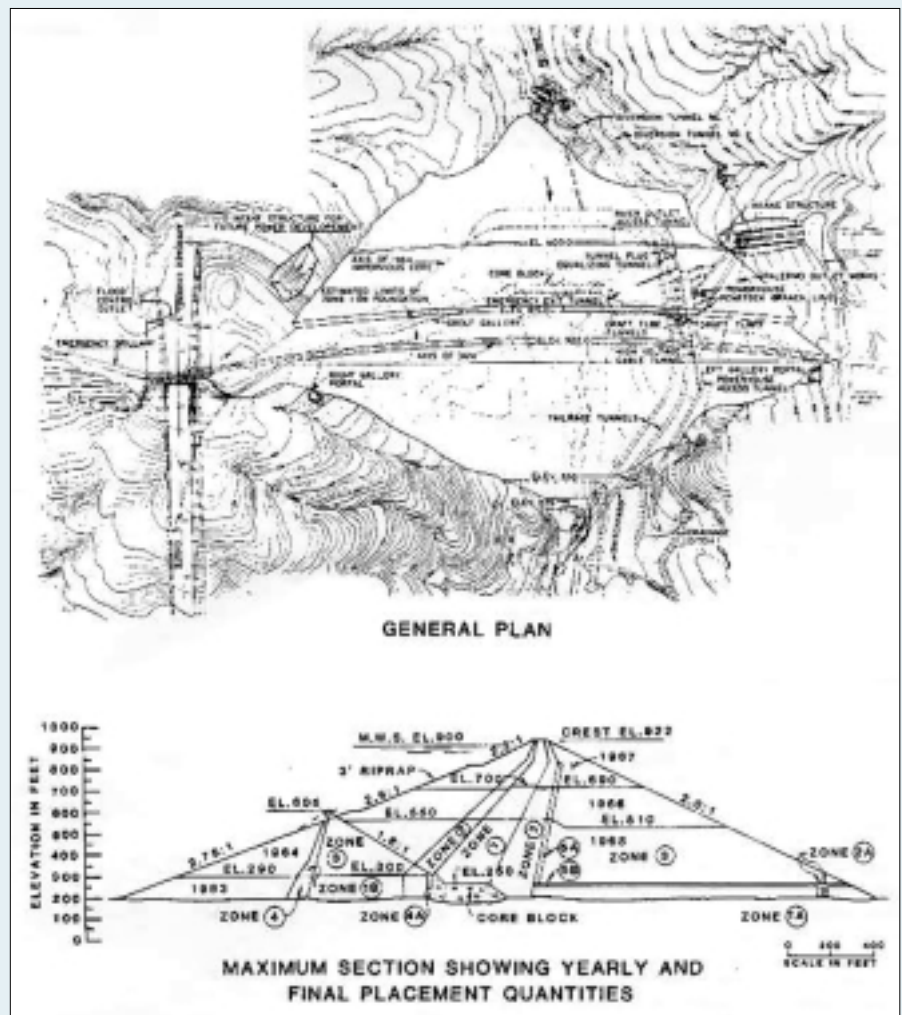
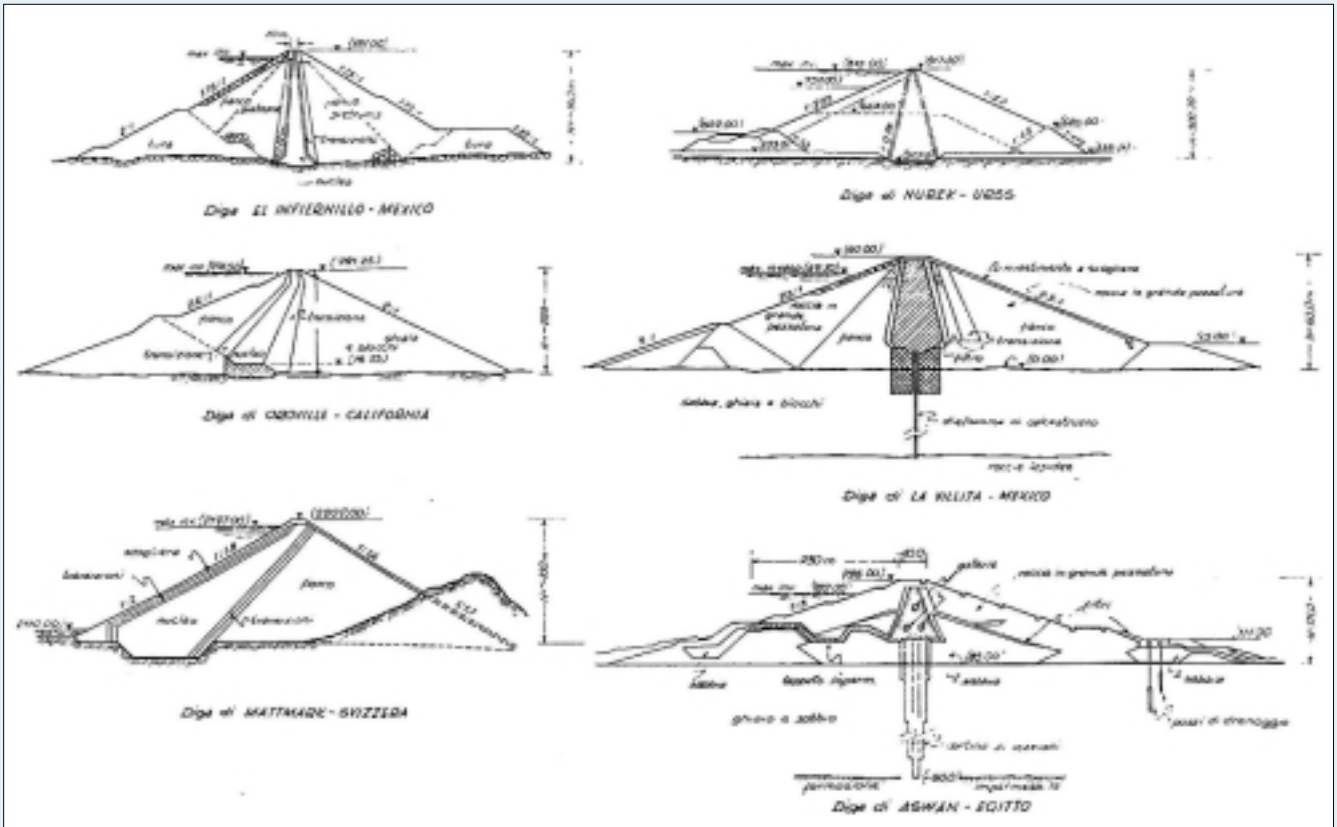


Figura 1 - Planimetria e sezione della Diga Oroville.

*Già nelle Università di Napoli, Palermo e Roma Tor Vergata.

Tavola I - Sezioni tipo di importanti dighe di materiali sciolti



paratoie metalliche. L'acqua viene restituita al fiume con un canale rivestito di conglomerato cementizio della lunghezza di quasi 1 km, appoggiato sul versante roccioso. Esiste anche uno scarico di superficie di emergenza, questo a soglia libera. La portata massima registrata in arrivo al serbatoio durante l'esercizio fino al 1988 è stata di 7530 m³/s, all'incirca pari alla portata che può evacuarsi dallo scarico di superficie.

Il documento redatto da USCOLD nel 1988 segnala il buon comportamento dell'opera, ma non manca di elencare tre *incidents*¹. Il primo riguarda il blocco di fondazione del nucleo che al termine dei lavori ha reso necessario un intervento con iniezioni nella roccia al contatto con il nucleo.

Il secondo evento concerne il terremoto del 1975 (Magn. 5,7) che rivelò l'esistenza di una faglia attiva nel sito; il sisma si manifestò con una accelerazione di 0,1 g alla base della diga; gli spostamenti massimi registrati furono: in punti interni al rilevato 0,08 ft in direzione orizzontale verso valle; al coronamento 0,5 ft in direzione orizzontale verso monte; cedimento 0,03 ft. L'ispezione non rivelò altro. Successivamente, la diga fu verificata sotto l'azione sismica di un MCE 6,5 con un picco di accelerazione al sito 0,6 g con esito soddisfacente.

Il terzo evento inatteso fu l'improvvisa anomala risposta, rilevata nel 1978, di numerosi piezometri installati nel rilevato per la misura delle pressioni interstiziali. L'anomalia fu attribuita a difettoso comportamento degli apparecchi di misura, che, tuttavia, non si ritenne necessario sostituire.

Le seguenti notizie concernenti il dissesto converrà riferire correttamente alla situazione (tipo, caratteristiche, dimensioni e stato dell'opera), quale si desume dal citato documento, dal quale è tratta la descrizione di cui sopra. Dalle notizie diffuse dalla rete internet, in particolare dal rapporto stilato da Ian Hope² il 17 marzo 2017, si trasero le prime informazioni sull'incidente (febbraio 2017) del quale, i mezzi di comunicazione hanno dato notizia. Nell'ampio bacino imbrifero, in parte ricoperto da un manto nevoso, esistono altri serbatoi che hanno contribuito

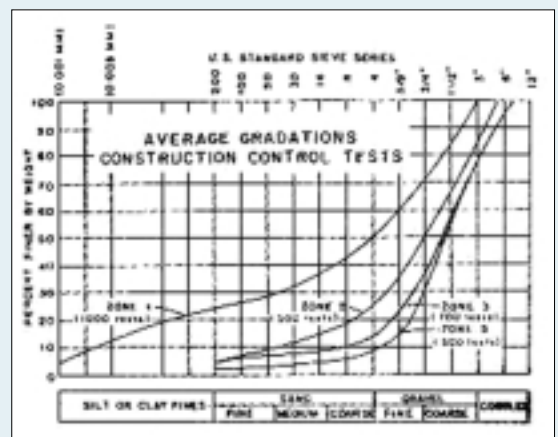


Figura 2 - Gradations of Embankment Materials.

¹Incident: an occurrence or event (un semplice fatto, accadimento, episodio); si differenzia dall'accident: an undesirable or unfortunate happening (un fatto inatteso, che in italiano si indica incidente).

²Ian Hope BSc MA CEng FICE, Dams and Reservoirs Manager, Severn Trent Water.

... IN BREVE



alla laminazione di una piena causata dalla concomitanza di un'eccezionale precipitazione e dallo scioglimento delle nevi. Il fenomeno è avvenuto dopo una prolungata siccità della quale la California periodicamente soffre (v. *L'Acqua* 1, 2015 p. 82); il serbatoio non aveva raggiunto il massimo livello da oltre un decennio.

Il dissesto ha interessato gli scarichi; il rilevato diga non ha subito danni.

Le foto diffuse via internet mostrano che in una sezione del canale di scarico la corrente ha asportato il rivestimento di lastre di conglomerato cementizio, che sembra privo di armatura e di ancoraggio al terreno. Dallo sfioratore di emergenza non rivestito l'acqua si è riversata sul pendio e lo ha inciso profondamente, trascinando a valle detriti che hanno ostruito in parte l'alveo del fiume al piede del rilevato diga. Questa ostruzione ha impedito temporaneamente di avviare il vuotamento del serbatoio attraverso le turbine installate nella centrale.



Figura 3 - Scarico della Diga Oroville.

La corrente idrica proveniente dallo scarico di emergenza ha attraversato la strada di accesso al coronamento da destra, distruggendola, ma l'accesso era ancora possibile dalla spalla sinistra della diga.

La distruzione dello scarico di emergenza, che nella pratica USA è spesso precario, era *atteso*, perché, invece di dare a quest'opera un assetto definitivo, si preferì la soluzione di ripristinarne di tanto in tanto l'efficienza.

Fortunatamente, l'incidente occorso il 7 febbraio del 2017 alla più importante diga della California non ha avuto conseguenze fatali per la popolazione, che ha dovuto solo soffrire un temporaneo sgombero (quasi 200.000 persone); della vicenda, tuttavia, si sono comprensibilmente riempiti periodici e quotidiani con accesi dibattiti che perdurano. Gli argomenti riguardano soprattutto il ruolo e la competenza del Gestore, ma si sono estesi, più in generale, alla sicurezza delle dighe; nello Stato della California, che ospita oltre 600 grandi dighe, queste opere hanno raggiunto – come in alcune nostre regioni – mediamente il mezzo secolo di vita, limite temporale, oltre il quale secondo l'ICOLD l'opera supera lo stato limite di servizio.

Il dibattito verte in particolare sull'esigenza di interventi di riabilitazione, specie sulle opere di scarico che furono proporzionate in un'epoca nella quale gli indizi del cambiamento climatico non ancora si avvertivano. L'opinione pubblica chiede insistentemente allo Stato una ridefinizione del ruolo della vigilanza, ma anche una revisione dei criteri di progettazione e verifica sulla base di scenari che contemplino la concomitanza di eventi critici senza trascurare i frequenti incendi ai quali seguono rovinose colate di fango; queste invadono i serbatoi e ostruiscono gli organi di scarico. Né mancano pressanti richieste per una più severa legislazione sul tema, come accade sempre dopo incidenti.

Per rendersi conto dei termini del dibattito e sufficiente scorrere alcuni titoli di articoli comparsi sugli organi di informazione e sulla stampa scientifica: *Broken California Dam, Is a Sign of Emergency to Come* (*Scientific American*, February 2017); *California Dam Crisis Good have been Averted* (*Scientific American*, February 2017); *Lessons from the Oroville Dam* (*Science*, March 2017); *Giant Model Mimix Damaged Dam Spillway* (*Scientific American*, June 2017); *It's crucial to upgrade America's Water Infrastructure* (*Scientific American*, August 2017); *Human Error Played Role in Oroville Dam Spillway Failure, Report Finds* (*Los Angeles Times*, January 2017); *California Law Makers Boost Dam Checks After Near Disaster* (*The New York Times*, February 2018); ...

Lo scarico di superficie della diga Oroville è stato ripristinato con una spesa di 500 milioni di dollari; ma restano da sostenere ben più importanti oneri per il risarcimento di danni a terzi.

E' vero che di una maggiore sicurezza l'opera si sarebbe potuta dotare incrementando i margini in fase progettuale con un più generoso proporzionamento e sopportandone i relativi oneri, come è buona pratica nel nostro Paese, dove vige un severissimo Regolamento alla cui osservanza è preposta una competente Direzione Generale Dighe del Ministero Infrastrutture. Agli ingegneri idraulici e geotecnici americani, che al progresso della conoscenza nelle grandi costruzioni idrauliche, specie in tema di sicurezza sismica, hanno contribuito con studi ed iniziative di grande importanza, è doveroso, tuttavia, riconoscere la capacità di trarre sempre nuovi insegnamenti dagli incidenti; Questi restano, come già in occasione della grande piena del Mississippi nella città di New Orleans, la fonte più sicura alla quale affidarsi di fronte all'incertezza idrologica per aggiustare criteri progettuali e costruttivi, seguendo la via indicata già molti secoli or sono dal nostro massimo poeta:

*Da questa istanza può deliberarti
esperienza, se giammai la provi,
ch'esser suol fonte a' rivi di vostr'arti
(Dante, Par., II, 94-96).*



NOTIZIARIO A.I.I. ASSOCIAZIONE IDROTECNICA ITALIANA

Via di Santa Teresa, 23 - 00198 Roma - Tel. 06.8845064 - E-mail: segreteria@idrotecnicaitaliana.it

Presidente onorario

Ugo Majone

Presidente

Armando Brath

Vice Presidenti

Beatrice Majone

Andrea Mangano

Segretario generale

Roberto Zocchi

Consiglieri

Salvatore Alecci, Gennaro Bianco, Vincenzo Bixio, Francesco Bosco, Giancarlo Chiaia, Cornelia Cocos, Carlo Collivignarelli, Vito Antonio Copertino, Giovanni de Marinis, Renato Drusiani, Mario Fossati, Giuseppe Frega, Andrea Gambi, Massimo Gargano, Giuseppe Giordano, Maurizio Giugni, Ruggiero Jappelli, Giorgio Martino, Anna Maria Martuccelli, Catello Masullo, Mario Rosario Mazzola, Carlo Messina, Maria Gerarda Mocella, Nicola Montaldo, Rossella Monti, Michele Mossa, Francesco Napolitano, Matteo Nicolini, Patrizia Piro, Giovanni Ruggeri.

Soci sostenitori

PLATINUM



GOLD



SILVER





SEZIONI A.I.I. ASSOCIAZIONE IDROTECNICA ITALIANA

SEZIONE	Indirizzo	Presidente
CALABRIA	c/o Dipartimento di Ingegneria Civile Università della Calabria Ponte P. Bucci - cubo 42b - 87036 Arcavacata di Rende (CS)	<i>Giuseppe Frega</i> frega@dds.unical.it sez.calabria@idrotecnicaitaliana.it
CAMPANIA	c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale - Università degli Studi di Napoli Via Claudio, 21 - 80125 Napoli	<i>Maurizio Giugni</i> giugni@unina.it sez.campania@idrotecnicaitaliana.it
FRIULI-VENEZIA GIULIA	c/o Consorzio di Bonifica Pianura Friulana Viale Europa Unita, 141 - 33100 Udine	<i>Matteo Nicolini</i> matteo.nicolini@uniud.it sez.friuli@idrotecnicaitaliana.it
ITALIA CENTRALE	c/o Associazione Idrotecnica Italiana Via di S. Teresa, 23 - 00198 Roma	<i>Giorgio Martino</i> giorgio.martino56@gmail.com sez.italiacentrale@idrotecnicaitaliana.it
LIGURIA PIEMONTE VALLE D'AOSTA	c/o DIATI Politecnico C.so Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino	<i>Gennaro Bianco</i> gennaro.bianco@polito.it sez.lig-piem-aosta@idrotecnicaitaliana.it
LUCANA	c/o Scuola di Ingegneria dell'Università degli Studi della Basilicata V.le dell'Ateneo Lucano, 10 - 85100 Potenza	<i>Vito Antonio Copertino</i> vito.telesca@unibas.it sez.lucana@idrotecnicaitaliana.it
PADANA	c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università degli Studi di Bologna V.le Risorgimento, 2 - 40136 Bologna	<i>Armando Brath</i> armando.brath@unibo.it sez.padana@idrotecnicaitaliana.it
PUGLIESE	c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio e Chimica, Politecnico di Bari Via E. Orabona, 4 - 70125 Bari	<i>Giancarlo Chiaia</i> g.chiaia@poliba.it sez.pugliese@idrotecnicaitaliana.it
SARDEGNA	c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale ed Architettura Università degli Studi di Cagliari Via Marengo, 3 - 09123 Cagliari	<i>Nicola Montaldo</i> nmontaldo@unica.it sez.sardegna@idrotecnicaitaliana.it
SICILIA OCCIDENTALE	c/o Dipartimento di Ingegneria Università degli Studi di Palermo V.le delle Scienze (Parco d'Orléans) Edif. 8 - 90128 Palermo	<i>Giuseppe Giordano</i> giuseppe.giordano@unipa.it sez.siciliaocc@idrotecnicaitaliana.it
SICILIA ORIENTALE	c/o Sez. Ing. Idraulica e Sanitaria - Ambientale Dip. Ing. Civile e Ambientale - Università degli Studi di Catania V.le Andrea Doria, 6 - 95125 Catania	<i>Salvatore Alecci</i> aii.siciliaorientale@libero.it sez.siciliaor@idrotecnicaitaliana.it
VENETA	c/o Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale DICEA - Università degli Studi di Padova Via Loredan, 20 - 35131 Padova	<i>Vincenzo Bixio</i> vincenzo.bixio@dicea.unipd.it sez.veneta@idrotecnicaitaliana.it



ISCRIZIONE SOCI SOSTENITORI 2019-2020

Il Socio Sostenitore avrà diritto ad una serie di benefit in base al tipo di iscrizione scelto.

SOCIO PLATINUM

- Accesso Online fino a 10 utenti
- Rivista L'Acqua in formato cartaceo e in PDF
- Archivio Edizioni precedenti
- Consultazione Biblioteca in sede
- Sconti per convegni fino a 10 partecipanti
- Banner sul sito nella pagina dedicata ai Soci Sostenitori
- Logo sulla Rivista L'ACQUA nella pagina dedicata ai Soci Sostenitori
- Pubblicazione articoli sul magazine *lacquaonline*
- Pubblicazione di articoli tecnici sulla Rivista L'ACQUA (previo referaggio)
- 1 pagina pubblicitaria su 6 numeri della Rivista L'ACQUA
- 6 redazionali sulla Rivista L'ACQUA
- Supporto organizzativo per un Convegno specifico
- Sponsorizzazione di tutti gli eventi organizzati dall'A.I.I.

Quota minima 15.000,00 €

SOCIO GOLD

- Accesso Online fino a 10 utenti
- Rivista L'Acqua in formato cartaceo e in PDF
- Archivio Edizioni precedenti
- Consultazione Biblioteca in sede
- Sconti per convegni fino a 10 partecipanti
- Banner sul sito nella pagina dedicata ai Soci Sostenitori
- Logo sulla Rivista L'ACQUA nella pagina dedicata ai Soci Sostenitori
- Pubblicazione articoli sul magazine *lacquaonline*
- Pubblicazione di articoli tecnici sulla Rivista L'ACQUA (previo referaggio)
- 1 pagina pubblicitaria su 3 numeri della Rivista L'ACQUA
- 1 redazionale sulla Rivista L'ACQUA
- Sponsorizzazione di un evento organizzato dall'A.I.I.

Quota minima 5.000,00 €

SOCIO SILVER

- Accesso Online fino a 10 utenti
- Rivista L'ACQUA in formato cartaceo e in PDF
- Archivio Edizioni precedenti
- Consultazione Biblioteca in sede
- Sconti per convegni fino a 10 partecipanti
- Banner sul sito nella pagina dedicata ai Soci Sostenitori
- Logo sulla Rivista L'ACQUA nella pagina dedicata ai Soci Sostenitori
- Pubblicazione articoli sul magazine *lacquaonline*
- Pubblicazione di articoli tecnici sulla Rivista L'ACQUA (previo referaggio)
- Sconto della quota associativa per la sponsorizzazione di un evento organizzato dall'A.I.I.

Quota minima 1.000,00 €

Qualora non avessero già provveduto, si invitano i Soci ad aggiornare i propri dati sulla pagina del profilo dal sito www.idrotecnicaitaliana.it



ISCRIZIONE SOCI ORDINARI 2019-2020

Socio Collettivo

310,00 €

- Accesso Online fino a 3 utenti
- Rivista L'ACQUA in formato cartaceo e in PDF
- Archivio Edizioni precedenti
- Consultazione Biblioteca in sede
- Sconti per convegni fino a 3 partecipanti

Socio Individuale

120,00 €

- Accesso Online
- Rivista L'ACQUA in formato cartaceo e in PDF
- Archivio Edizioni precedenti
- Consultazione Biblioteca in sede
- Sconti per convegni

Socio Giovane (Laureando)

35,00 €

- Accesso Online
- Rivista L'ACQUA in PDF
- Archivio Edizioni precedenti
- Consultazione Biblioteca in sede
- Sconti per convegni

Si ricorda che solo i Soci in regola con i pagamenti potranno ricevere la copia cartacea della Rivista e scaricare il relativo PDF dal sito.

ISCRIZIONE ABBONATI 2019-2020

Abbonamento Annuale 150,00 €

- Rivista L'Acqua in formato cartaceo e in PDF

Gli Abbonati sono invitati a comunicare il proprio indirizzo **email** a: segreteria@idrotecnicaitaliana.it

MODALITÀ DI PAGAMENTO

Il pagamento va effettuato all'ordine di: Associazione Idrotecnica Italiana, Via di Santa Teresa, 23 - 00198 Roma

Bonifico Bancario c/c bancario n. 000004894978 presso la UNICREDIT BANCA, Ag. Roma Piave Coordinate Bancarie IBAN: IT 65 E 02008 05172 000004894978 Codice BIC SWIFT: UNCRITM1B62

Paypal dal sito www.idrotecnicaitaliana.it



SEZIONE ITALIA CENTRALE

Visita alla Fondazione delle FF. SS.

Roma, 22 novembre 2019

Il 22 novembre 2019 la Sezione Italia Centrale dell'A.I.I. ha organizzato una visita tecnico-culturale alla Fondazione delle Ferrovie dello Stato nella sede centrale di Villa Patrizi in Piazza della Croce Rossa a Roma.

L'evento, al quale hanno partecipato oltre 20 ingegneri, è stato reso possibile grazie alla disponibilità della Fondazione delle Ferrovie dello Stato, ente costituito allo scopo di preservare e valorizzare l'immenso patrimonio storico delle ferrovie: documenti, immagini, filmati, treni d'epoca etc., al fine di trasmettere alle generazioni future la grande storia dei progressi tecnici e dei primati della ferrovia italiana.

Il patrimonio storico gestito dalla Fondazione, diviso in varie sedi, si compone di:

- archivi storici ricchi di immagini, filmati, disegni, documenti originali;
- una grande Biblioteca con oltre 50 mila volumi;
- 200 rotabili storici restaurati e funzionanti;
- 600 chilometri di linee ferroviarie dismesse ed oggi riattivate e destinate al turismo culturale
- due grandi musei ferroviari: il Museo Nazionale Ferroviario di Pietrarsa, nei pressi di Napoli, e il Museo Ferroviario di Trieste Campo Marzio.

Dopo una breve presentazione del Presidente della Sezione, Giorgio Martino, e l'introduzione alla visita del Consigliere, Cornelia Cocos, l'ing. Riccardo Tarelli delle Ferrovie dello Stato ha descritto i luoghi dell'esposizione ed ha citato gli aneddoti e le storie più significative per rappresentare il grande valore tecnico dell'ingegneria ferroviaria italiana che assieme al grande valore del capitale umano ha consentito, soprattutto nei momenti di difficoltà, il superamento di situazioni critiche e la garanzia della continuità del servizio.

Si è poi proceduto alla visita della grande biblioteca dove sono raccolti, tra l'altro, i profili plano-altimetrici delle principali linee delle ferrovie italiane e le piante di alcuni nodi ferroviari, i disegni dei rotabili, gli orari ferroviari, gli articoli di stampa che hanno punteggiato la storia e l'evoluzione delle infrastrutture ferroviarie ed il superamento delle fasi più critiche attraversate a seguito di eventi naturali e accidentali.

Tra gli oggetti esposti ci sono anche le prime uniformi dei capi treno e la prima uniforme per le donne.

Si è proseguito con la visita alla biblioteca, alla parte documentale, alla sala del CdA - fedelmente ricostruita -.

Grande fascino ha destato l'esposizione degli strumenti audiovisivi, degli archivi fotografici e dei filmati.

Infine, è stato proiettato il cinegiornale del 4 novembre dell'anno 1966 dedicato interamente alla grande alluvione di quel giorno a Firenze e nel resto d'Italia. Sono state illustrate, non senza emozione per i partecipanti, le misure adottate per il superamento dell'emergenza in tempi record, circa 20 giorni. Superamento dovuto anche agli incredibili sforzi di tutto il personale ferroviario dell'epoca sia durante gli eventi disastrosi che in fase di intervento d'emergenza e di ricostruzione.



il disegno



dell'acqua

PROGETTI E DOCUMENTI DI OPERE IDRAULICHE
IN SICILIA ORIENTALE (XVII-XX SECOLO)

- ◇ presentazione: 10 gennaio 2020 ore 16:30
Coro di notte - ex Monastero dei Benedettini - piazza Dante 32, Catania

UNA MOSTRA IN TRE SEZIONI:

- ◇ progetti, carte, immagini, stampe, testimonianze letterarie e popolari
Cucine dei Benedettini - ex Monastero dei Benedettini - via Biblioteca 13, Catania
dal 10 gennaio al 7 febbraio 2020 - dal lunedì al venerdì 9:30-13:00 e 15:30-18:00
- ◇ libri, carte, fotografie
Biblioteche Riunite Civica e A. Ursino Recupero - via Biblioteca 13, Catania
dal 15 novembre 2019 al 4 gennaio 2020 - dal lunedì al venerdì 9:00-13:00 - sabato 9:00-11:00
- ◇ documenti, manoscritti, progetti, cianografie
Archivio di Stato di Catania - via Vittorio Emanuele II 146, Catania
dal 14 dicembre 2019 al 8 febbraio 2020 - dal lunedì al venerdì, 9:00-18:00 - sabato 9:00-11:00

organizzazione



ASSOCIAZIONE
IDROTECNICI ITALIANI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI CATANIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI CATANIA



Ministero
per i beni e le
attività culturali
e per il turismo
ARCHIVIO DI STATO
DI CATANIA



BIBLIOTECHE RIUNITE
"CIVICA E A. URSINO RECUPERO"

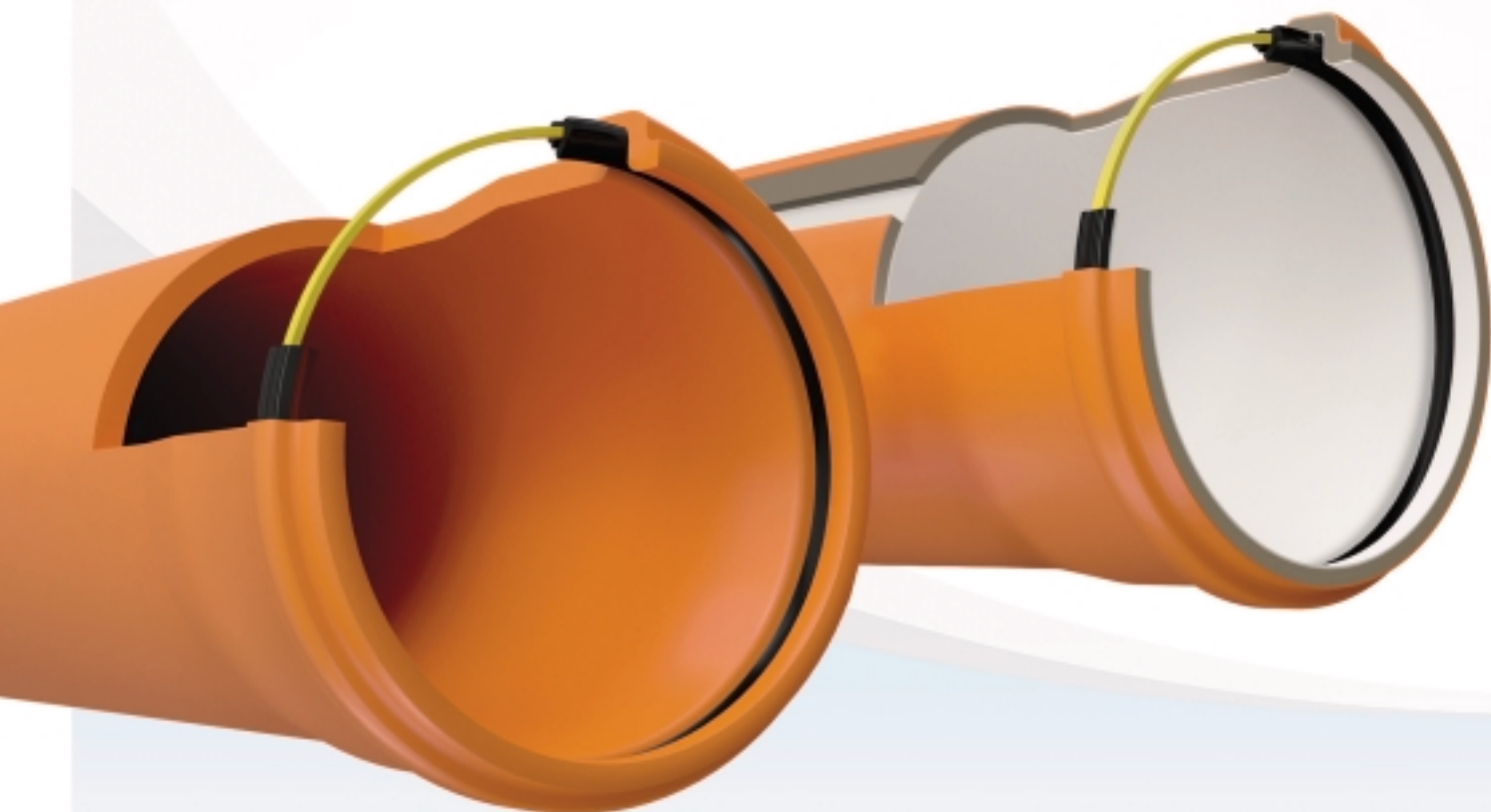
con il patrocinio di



REGIONE SICILIANA

IDEE IN EVOLUZIONE

triPPlo+[®]



monoPipe+[®]

RICCINI prosegue lo sviluppo dei propri sistemi di tubazioni in polipropilene alto modulo PPHM per reti fognarie: nasce **MonoPIPE+**, evoluzione in monostrato del progetto **TriPPlo+** che completa e diversifica l'offerta **RICCINI** nella gamma dei Tubi Fognatura in PPHM per Alte Prestazioni.

MonoPIPE+ è installabile a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ed è dotato del sistema di giunzione ad alta tenuta che caratterizza il resto della gamma, con guarnizioni elastomeriche pre-inserite ed orientate secondo la direzione del flusso, dotate di anello rigido anti-sfilamento.



L'ACQUA OLTRE L'ACQUA

 **Romagna Acque**
Società delle Fonti^{S.p.A.}