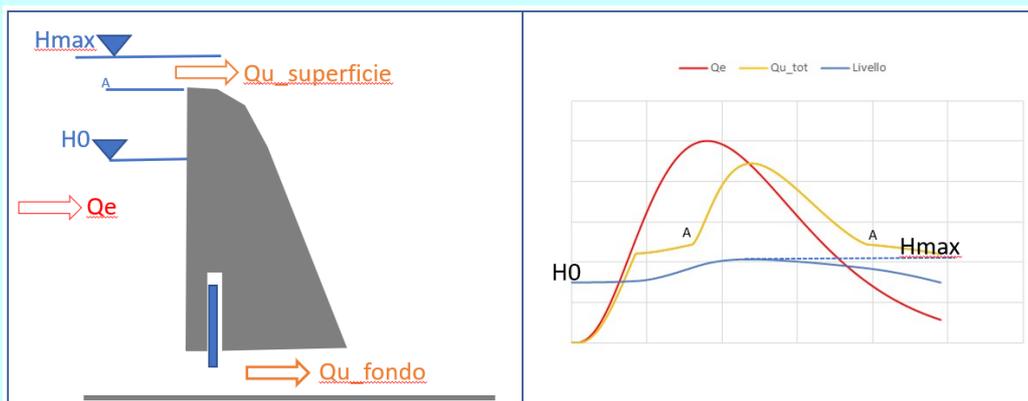


ITCOLD

Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe

Uso dei serbatoi per la laminazione delle piene



Gruppo di Lavoro:

Coordinatore:

Armando Brath

Università di Bologna

Componenti:

Alberto Bonafè

Enel Green Power Italia

Alessandro Cadore

Ismes

Marco Mancini

Politecnico Milano

Maurizio Molari

Regione Lombardia

Paolo Ropele

Regione Autonoma Val d'Aosta

Francesco Sainati

Edison

Francesco Santoro

Direzione Generale Dighe

Stefano Savio

Enel Green Power Italia

Ulteriori collaborazioni:

Andrea Balestra

Lombardi SA

Gruppo di Lavoro ITCOLD "Dighe esistenti e usi multipli"

Michele Buratti

Hydro Dolomiti Energia Srl

Franco Garzon

Hydro Dolomiti Energia Srl

INDICE

1.	Premessa	4
2.	La laminazione. Inquadramento generale	5
2.1	Aspetti idraulici e matematici	5
2.2	Idrogrammi per il calcolo della laminazione	11
3.	Normativa di riferimento.....	12
3.1	La disciplina dei Piani di Laminazione	12
3.2	Natura dei provvedimenti di limitazione di esercizio	15
3.3	Ulteriori riferimenti normativi	16
3.4	Ruoli e responsabilità	19
4.	I Piani di Laminazione	20
4.1	Principi generali	20
4.2	Tipologie di Piani di laminazione.....	23
4.3	Piano di laminazione statico	24
4.1	Alcune note sui Piani di laminazione statici	24
4.2	Piano di laminazione dinamica.....	25
4.3	Le previsioni meteo a supporto dei Piani di Laminazione	26
5.	Metodi speditivi per la stima della capacità di laminazione dei serbatoi	27
5.1	Stima della capacità di laminazione L in una generica sezione.....	28
5.2	Vulnerabilità del territorio a valle	29
5.3	Applicazione al caso lombardo.....	30
6.	Valutazioni economiche sui Piani di laminazione	30
7.	RIFERIMENTI	32
8.	APPENDICE.....	33
8.1	Casi di studio EDISON	33
8.2	Casi di studio CVA.....	36
8.3	Casi di studio Enel Green Power.....	52
8.4	Casi di studio Hydro Dolomiti Energia (Trento)	63

1. Premessa

La presenza su un corso d'acqua di un'opera di sbarramento, in grado di determinare la formazione di un significativo bacino di accumulo a monte (invaso), può produrre importanti modifiche del regime idrometrico a valle dell'opera rispetto all'assetto naturale.

Durante un evento meteorologico, in particolare, l'onda di piena in uscita da un serbatoio risulta differente, anche sensibilmente, dall'idrogramma in ingresso che transiterebbe in alveo a valle dell'opera nella virtuale situazione di assenza dell'opera di sbarramento e quindi dell'invaso. La modifica dell'onda di piena in uscita rispetto al suo assetto naturale va sotto il nome di laminazione della piena.

L'effetto più evidente di tale modifica è l'abbattimento del picco di piena rispetto all'assetto naturale, spesso indicato come laminazione del colmo o semplicemente laminazione; la sua entità dipende da numerosi fattori: la forma dell'idrogramma in ingresso, le caratteristiche dell'invaso (il volume disponibile, la tipologia degli organi di scarico, ...), lo stato dell'invaso al momento dell'arrivo dell'evento di piena, ecc..

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.

Tale approccio è alla base della Direttiva P.C.M. del 27.02.2004, che ha introdotto la disciplina dei Piani di Laminazione, ma pure anche delle numerose limitazioni di esercizio imposte, sia prima che dopo l'emanazione della Direttiva, a numerose dighe esistenti, con provvedimenti di natura amministrativa diversa, ai fini della mitigazione del rischio alluvionale dei territori vallivi.

Il lavoro che segue presenta un inquadramento complessivo del problema, evidenziandone gli aspetti sia teorici che pratici, con lo scopo di trasmettere a tutti gli attori interessati le principali nozioni per implementare le opportune strategie per la più corretta e proficua applicazione dei Piani.

Il Bollettino è organizzato nel modo seguente:

- ✓ il capitolo 2 è dedicato all'inquadramento generale del problema ed agli aspetti strettamente idraulici e matematici della laminazione;
- ✓ il capitolo 3 tratta invece gli aspetti normativi;
- ✓ il capitolo 4 introduce i Piani di Laminazione statici e dinamici;
- ✓ il capitolo 5 riporta alcuni metodi speditivi utili per la valutazione della capacità di laminazione su campioni estesi di serbatoi.

Infine, nell'Appendice si riportano una serie di esempi di Piano di Laminazione relativi a serbatoi dei Gestori che hanno partecipato al Gruppo di Lavoro con una serie di note e osservazioni basate sulla concreta gestione degli stessi.

2. La laminazione. Inquadramento generale

2.1 Aspetti idraulici e matematici

Il legame matematico tra l'onda di piena in ingresso, $Q_e(t)$, quella in uscita, $Q_u(t)$, ed il volume $W(t)$ invasato da un serbatoio al tempo t è dato dalla equazione differenziale, denominata *equazione di continuità*:

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

La (1) esprime il principio di conservazione della massa; essa si può infatti agevolmente ricavare imponendo la condizione di conservazione della massa, ovvero 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 , eguagli la variazione di massa idrica presente nel serbatoio nel medesimo intervallo; il bilancio di massa, assumendo l'ipotesi di liquido incompressibile, si trasforma in una condizione di conservazione dei volumi, quale è appunto la (1).

La portata in uscita dal serbatoio, $Q_u(t)$, viene rilasciata attraverso uno o più organi di scarico. Gli organi di scarico disponibili sono normalmente costituiti da uno o più scarichi posti nella parte inferiore del serbatoio, denominati scarichi di fondo, destinati a consentire il rapido svuotamento dell'invaso ove necessario, e da uno o più scarichi di superficie, che possono trovarsi a quote uguali o inferiori alla *quota massima di regolazione*, ossia quel livello idrico massimo al quale ha inizio, automaticamente, lo sfioro dagli appositi dispositivi. Gli scarichi devono garantire l'esitazione delle portate relative alle piene più intense che il serbatoio è destinato a fronteggiare senza che il livello nel serbatoio possa superare il *livello di massimo invaso*, ove si manifesti il più gravoso evento di piena previsto in progetto (DM 26.06.2014), Fig.1.

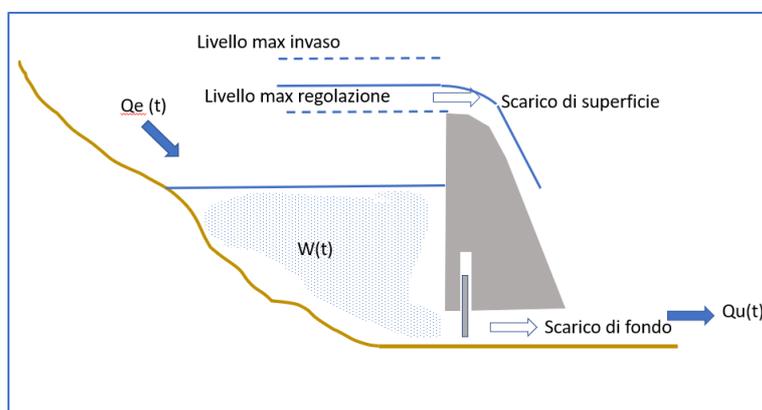


Fig.1 – Schema delle grandezze dell'equazione (1) di continuità

In generale, quindi, la portata uscente al tempo t , $Q_u(t)$, è la somma delle portate esitate da tutti gli scarichi presenti, compresi eventuali prelievi per qualsiasi uso.

Il problema di interesse in questa sede 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. Nella pratica applicativa l'obiettivo è poi quello di ridurre le portate massime esitate, ai fini della protezione dei territori di valle, compatibilmente con tutti i vincoli (idraulici, strutturali, ...) del serbatoio e della diga.

Per risolvere matematicamente il problema posto dall'equazione (1) occorre conoscere innanzitutto la funzione che lega il volume presente nel serbatoio alla quota idrica.

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.

Occorre anche conoscere le leggi di efflusso degli scarichi che esprimono la dipendenza di $Q_u(t)$ dal livello $h(t)$. Tali leggi sono essenzialmente riconducibili a due tipi di comportamento idraulico:

Luci a battente: si tratta di una legge matematica del tipo:

$$Q_{u,b}(t) = C_q \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot (h(t) - h_g)} \quad (3)$$

essendo C_q il coefficiente di efflusso della luce, A l'area della luce stessa (in caso di azionamento della paratoia va considerata la luce libera), $h(t)$ la quota idrica nell'invaso e h_g la quota del baricentro della luce. Tale tipo di legge si applica agli scarichi di fondo, mezzofondo ed alleggerimento. Si applica anche agli scarichi di superficie regolati da paratoie nel caso il bordo inferiore della paratoia, non essendo completamente fuori acqua, ne determini un comportamento a battente.

Luci a stramazzo: si tratta di una legge matematica del tipo

$$Q_{u,l}(t) = C_q \cdot L \cdot (h(t) - h_s) \cdot \sqrt{2g \cdot (h(t) - h_s)} \quad (4)$$

in cui C_q 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. Tale legge si applica a tutte le soglie

libere, alle soglie presidiate da paratoie a ventola ed alle soglie presidiate da paratoie a settore/piane nel momento in cui il bordo inferiore della paratoia fuoriesce dall'acqua.

Da un punto di vista idraulico nelle equazioni (3) e (4) sono da considerare i fenomeni di contrazione della vena liquida, di passaggio dal comportamento a battente a quello libero, di attriti lungo i bordi di gallerie, ecc.. Per la trattazione di questi aspetti si rimanda ai testi specializzati, poiché esulano dagli argomenti trattati nel presente Bollettino.

In questa sede è importante considerare che le leggi di efflusso (denominate anche *curve degli scarichi*) esprimono un legame fra la portata esitata e il livello dell'invaso, oltre eventualmente al grado di apertura dell'organo di intercettazione se presente.

Note queste relazioni è possibile risolvere l'equazione di continuità (1) con apposite, semplici tecniche numeriche, in modo da determinare $Q_u(t)$, noti $Q_e(t)$ e il livello idrico presente nel serbatoio all'istante $t=0$.

Nelle *Fig.2a,b* è mostrato l'andamento qualitativo della laminazione esercitata da un assegnato serbatoio per due onde di piena, a parità di altezza idrica iniziale (e quindi di volume iniziale) presente nel serbatoio medesimo.

La prima onda, in *Fig.2a*, viene esitata interamente attraverso lo scarico di fondo.

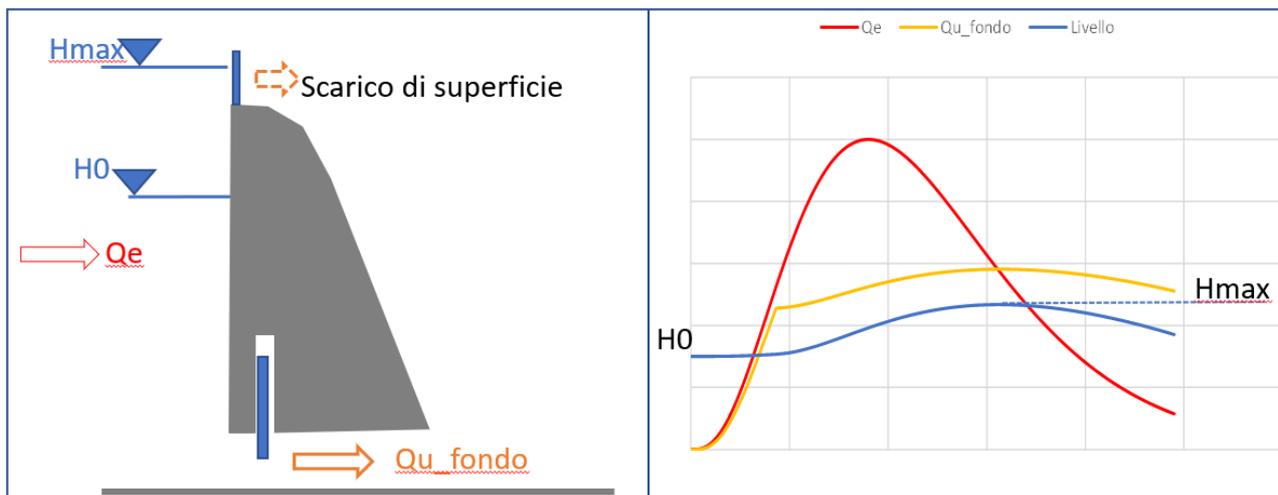


Fig.2a – Laminazione con il solo scarico di fondo

Si nota che l'effetto di laminazione, ossia la riduzione della portata uscente (curva gialla) rispetto alla portata entrante (curva rossa) è notevole. Il volume invasato nel serbatoio, che consente la riduzione del picco dell'onda scaricata, è rappresentato dall'area del grafico compresa fra la curva della portata entrante e quella della portata uscente.

Da osservare anche che il valore di colmo dell'onda uscente ed il livello massimo nell'invaso si verificano nell'istante in cui si ha l'intersezione tra il diagramma delle $Q_e(t)$ e quello delle $Q_u(t)$, ossia l'uguaglianza fra la portata entrante e quella uscente.

La Fig.2a evidenzia anche che lo scarico sotto battente (alleggerimento, mezzofondo o fondo) permette, nella *fase iniziale* della piena, di scaricare una portata variabile senza modificare, o modificando in misura minima, il livello nel serbatoio; quest'ultimo può quindi rimanere costante o quasi, senza invadere il volume destinato alla laminazione. Anche le ventole sugli scarichi di superficie possono consentire analogo comportamento idraulico, ma solo se sono ad azionamento volontario (ad esempio tramite pistoni oleodinamici). *Mantenere costante il livello nel serbatoio il più a lungo possibile salvaguarda il volume di laminazione da utilizzare poi nella parte alta dell'idrogramma entrante.*

È importante notare che durante questa *fase iniziale* non vi è alcuna azione laminativa svolta da parte del serbatoio, poiché la portata esitata è uguale a quella entrante, cosicché in caso di una piena di modesta entità, tale da non determinare criticità idrauliche, il serbatoio risulterebbe del tutto trasparente. Quanto detto è evidenziato dal fatto che la curva rossa e quella gialla delle portate in ingresso e scaricate tendono a sovrapporsi nelle prime fasi della piena.

In Fig.2b, invece, l'onda di piena viene smaltita interamente attraverso lo scarico di superficie ipotizzato come sfioratore libero. Lo scarico di superficie entra in funzione dal momento in cui il livello nell'invaso supera quello della soglia libera.

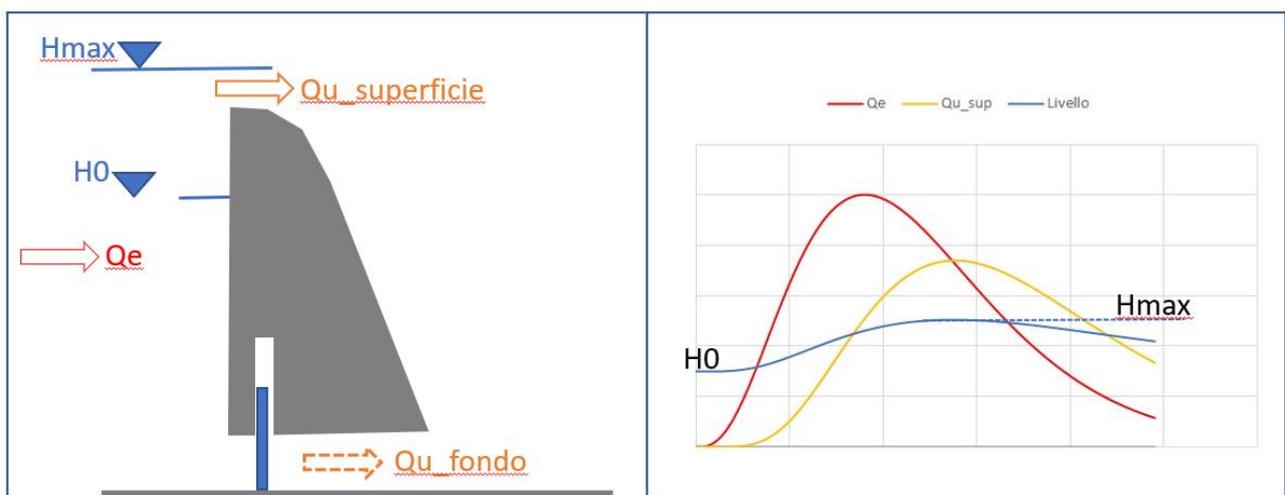


Fig.2b – Laminazione con il solo scarico di superficie

Confrontando i due casi di Fig.2a e 2b possiamo concludere che:

- 1) se ipotizziamo che siano uguali il livello iniziale ed il volume invasato e quindi siano uguali i livelli massimi raggiunti (massimi della curva blu) nelle due figure (come detto, il volume invasato è rappresentato dall'area compresa fra l'idrogramma in ingresso e quello in uscita), la portata massima scaricata nel caso di solo scarico di superficie attivo (Fig.2b) deve essere necessariamente più alta;
- 2) se ipotizziamo che sia uguale la portata massima scaricata nelle due simulazioni (ossia uguali i picchi della curva gialla), il volume invasato nel primo caso di Fig.2a deve essere minore rispetto a quello di Fig.2b, a causa della forma della curva di rilascio dello scarico di fondo. Questo determina, come conseguente benefico, un maggiore volume laminativo residuo disponibile.

Si può anche affermare, in linea generale, che con l'utilizzo dello scarico di fondo (e delle ventole con le limitazioni viste sopra) è possibile preservare il volume libero di laminazione del serbatoio in misura maggiore rispetto a quanto avviene per lo scarico di superficie.

Nella Fig.2c, infine, è mostrato il caso di una laminazione di onda di piena operata con il contributo congiunto degli scarichi di superficie e di fondo. Si osserva che, ovviamente, finché il livello massimo raggiunto non supera la soglia dello scarico di superficie (punto A della Fig. 2c), quest'ultimo rimane inattivo.

Del pari si nota come, dal momento in cui i livelli nell'invaso superano quelli della soglia dello scarico di superficie determinandone l'entrata in funzione, 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 in uscita, 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 fintantoché la soglia di superficie è attiva, e poi, quando il livello torna al di sotto della soglia dello scarico di superficie (secondo punto A), la decrescita delle portate diviene meno rapida.

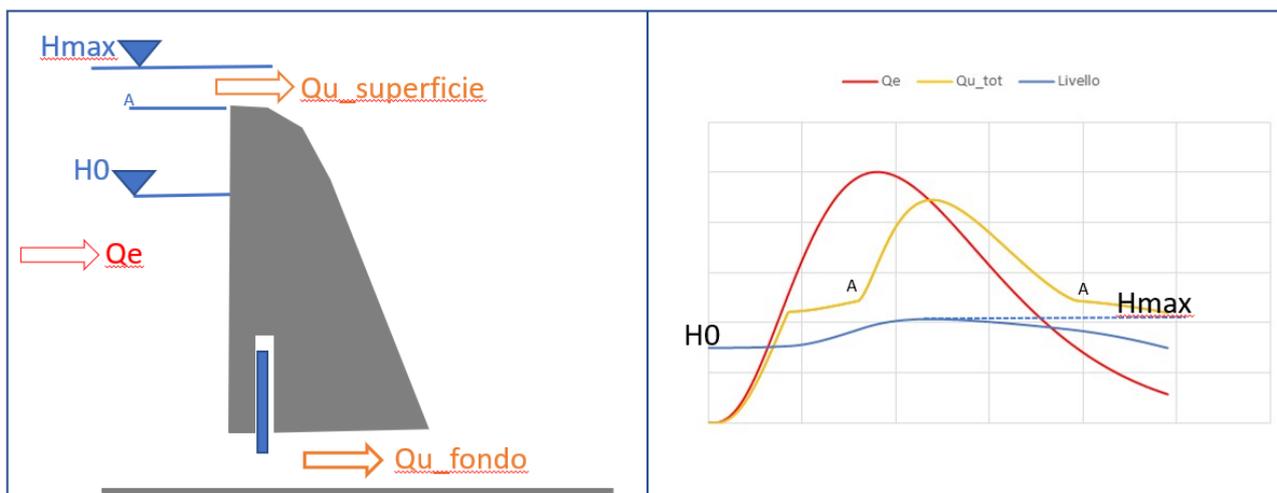


Fig.2c – Laminazione di un'onda di piena con entrambi gli scarichi

Pur dipendendo dalle specifiche caratteristiche di ogni serbatoio e di ogni scarico, è possibile dunque affermare che, in generale ed a parità di capacità idraulica, l'utilizzo dello scarico di fondo consente una maggiore riduzione dei colmi di piena e quindi una migliore laminazione dell'onda entrante.

La Fig.2d mostra invece come, per un assegnato invaso e per il medesimo idrogramma di piena, un minore livello di riempimento iniziale (curva blu più bassa rispetto alla Fig.2c), corrispondendo a una maggiore disponibilità di volume invasabile in corso di evento, consente un abbattimento più accentuato del colmo di piena (curva gialla) rispetto ad una situazione in cui il serbatoio sia maggiormente pieno all'inizio dell'evento.



Fig.2d – Laminazione di una generica onda di piena con un livello inferiore rispetto a quello iniziale di Fig.2c

Ne risulta confermata l'intuitiva convinzione che, a parità di tutte le altre condizioni, un assegnato serbatoio, pur esercitando sempre un effetto laminativo anche a partire da una quota idrica iniziale pari alla *massima regolazione*, ha un effetto di moderazione della piena in ingresso tanto più marcato quanto minore è il volume in esso presente all'inizio dell'evento.

È 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 idrauliche competenti hanno assoggettato l'esercizio di alcune grandi dighe, ai fini della mitigazione del rischio alluvionale a valle delle stesse.

2.2 Idrogrammi per il calcolo della laminazione

Un dato essenziale per la simulazione dell'effetto laminativo esercitato da un serbatoio, oltre alle curve di invaso e degli scarichi viste al paragrafo precedente, è l'idrogramma di piena da utilizzare. A titolo indicativo si possono seguire i seguenti metodi:

- 1) utilizzare gli idrogrammi relativi ad una o diverse piene storiche che abbiano interessato il bacino. Il metodo consente l'indubbio vantaggio di utilizzare idrogrammi reali effettivamente misurati. Per contro, rimane aperta la questione di assegnare un periodo di ritorno all'evento in quanto le massime portate medie sulle varie durate presentano generalmente tempi di ritorno fra loro anche sensibilmente differenti; normalmente si fa riferimento alla stima del tempo di ritorno attribuibile al colmo di piena;
- 2) utilizzare gli idrogrammi di piena sintetici calcolati negli studi idrologici relativi alla diga o per bacini affini a quello in esame, previo riscalaggio di questi ultimi con criteri di similitudine idrologica. Questo metodo presenta il vantaggio di consentire un'agevole attribuzione di un tempo di ritorno all'idrogramma di riferimento utilizzato;
- 3) utilizzare idrogrammi di piena derivanti da ietogrammi sintetici rettangolari di varia durata e tempo di ritorno noto, utilizzando un metodo afflussi-deflussi, allo scopo di determinare ed utilizzare la durata critica di precipitazione, ossia quella che più sollecita il serbatoio. Vale quanto detto per il metodo precedente in merito alla stima del tempo di ritorno dell'evento di riferimento adottato.

A titolo puramente indicativo si riportano nella Fig.3 sottostante gli idrogrammi utilizzati per le simulazioni sulla diga di Beauregard (vedi anche l'Appendice al presente Bollettino) dall'apposito Tavolo tecnico predisposto. In particolare, le curve sono state ottenute utilizzando la durata e la forma dell'idrogramma di piena della diga di Beauregard associato ad un tempo di ritorno pari a 1000 anni

determinato nell'ambito dello studio di idrologia di piena, riproporzionate in maniera tale da rispettare i valori di picco ottenuti con la regionalizzazione delle portate disponibile sul portale istituzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta

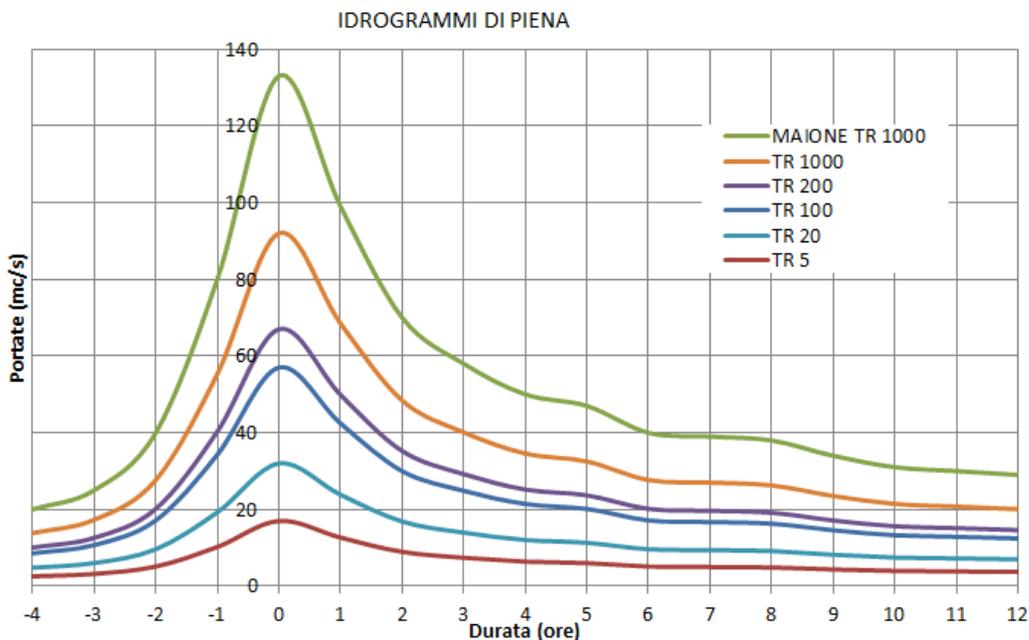


Fig.3 – Idrogrammi di piena utilizzati nell'ambito degli studi per la redazione del PdL di Beauregard (Le curve sono ottenute utilizzando la durata e la forma dell'idrogramma di piena della diga di Beauregard associato ad un tempo di ritorno pari a 1000 anni determinato nel 2007 dal Prof. Ugo Maione nello studio "idrologia di piena" riproporzionate in maniera tale da rispettare i valori di picco ottenuti con la regionalizzazione delle portate disponibile sul portale istituzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta).

Dal grafico di ciascun idrogramma è possibile determinare il volume di piena associato ad ogni tempo di ritorno.

3. Normativa di riferimento

3.1 La disciplina dei Piani di Laminazione

La disciplina dei Piani di Laminazione (PdL) fu introdotta dalla già citata Direttiva P.C.M. 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". Prima dell'emanazione di tale Direttiva, comunque, alcuni importanti aspetti dell'esercizio dei serbatoi durante le piene erano stati già disciplinati, a livello nazionale, dalla Circolare P.C.M.

19.03.1996, n.DSTN/2/7019 *“Disposizioni inerenti l’attività di protezione civile nell’ambito dei bacini in cui siano presenti dighe” (cosiddetta “Direttiva Barberi”)*.

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 (FCEM), 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, perché si debba attivare il sistema di protezione civile e le procedure da porre in atto”*. Nel merito, la Circolare 19.03.1996 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 a 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 P.C.M. 27.02.2004, che fa però salvo il caso in cui una disciplina diversa sia prevista dal *Piano di Laminazione* (di seguito PdL), introdotto dalla Direttiva stessa; infine, essa è stata ripresa nella più recente Direttiva P.C.M. 8.07.2014 *“Indirizzi operativi inerenti all’attività di protezione civile nell’ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe”*.

La Direttiva P.C.M. 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 PdL statici e PdL dinamici.

Sempre in tema di piani di laminazione, è opportuno ricordare alcuni provvedimenti normativi successivi alla citata Direttiva P.C.M. 27.02.2004. 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 esaminati potrebbe esercitare 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. 08.07.2014 *"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_{Amax} , 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.

3.2 Natura dei provvedimenti di limitazione di esercizio

In Italia, vi sono diversi casi in cui, anche prima dell'emanazione della Direttiva P.C.M. del 27.02.04 che ha introdotto i *PdL*, alcune grandi dighe sono state assoggettate, con dispositivi normativi diversi dal PdL, 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 *Tab.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.

Tab.1 – Esempi di dighe assoggettate a limitazione di invaso e origine della limitazione (Brath, 2019)

Casistica (elaborazione su dati DG Dighe):	Dighe (esempio):
Limitazioni da concessione	diga di Santa Giustina, TN
Limitazioni imposte dall'Autorità idraulica	diga di Mignano, Piana degli Albanesi
Limitazioni derivanti da atti di pianificazione di bacino (Piani Stralcio Sicurezza Idraulica, PAI, PSFF)	diga del Corlo (PAI); Pieve di Cadore e Santa Croce (PS SI Piave); Ca' Selva, Ca Zul, Ponte Racli (PS SI Livenza)
Prassi gestionali	diga Mercatale
Piani di laminazione veri e propri ai sensi DPCM 27.02.2004	Ingagna, Ravedis, Occhito, Maccheronis, Bilancino, Corbara

Nel complesso, su un totale di oltre 530 grandi dighe attualmente in esercizio in Italia, ve ne sono circa il 10% del totale, che, a vario titolo, sono assoggettate a limitazioni di esercizio per esigenze di

laminazione. Di queste solo alcune sono assoggettate a limitazioni in forza di un Piano di Laminazione (la maggior parte dei quali approvati solo in questi ultimi anni), mentre per la maggior parte la limitazione deriva da un provvedimento di natura diversa. Il numero dei casi in cui si hanno limitazioni di esercizio derivanti da PdL 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 il tempo trascorso dall'emanazione della Direttiva che istituiva i PdL, i provvedimenti di limitazione di invaso di natura diversa precedentemente esistenti hanno generalmente mantenuto la loro natura, anziché essere assorbiti all'interno di un PdL redatto ai sensi della Direttiva.

Si può quindi affermare che c'è stata una sostanziale difficoltà di recepimento della disciplina sui PdL introdotta dalla Direttiva P.C.M. 27.02.2004 (*Brath, 2019*).

3.3 Ulteriori riferimenti normativi

La Pianificazione dell'emergenza relativa alle dighe è costituita da due distinti strumenti principali:

- 1) il Documento di Protezione Civile (DPC), che stabilisce le condizioni per l'attivazione del sistema di protezione Civile, le comunicazioni e le procedure da attuare;
- 2) il Piano di Emergenza (PED), che definisce le azioni di contrasto ai pericoli connessi con la propagazione di onde di piena dallo sbarramento, determinate da manovre degli scarichi o da ipotetico collasso.

- Il Documento di Protezione Civile

Il DPC stabilisce per ciascuna diga le specifiche condizioni per l'attivazione del sistema di Protezione civile e 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 e rilevanti ai fini della sicurezza della diga e dei territori di valle («rischio diga») e nel caso di attivazione degli scarichi della diga stessa con portate per l'alveo di valle che possono comportare fenomeni di onde di piena e rischio di esondazione («rischio idraulico a valle»).

Il DPC, unitamente agli studi sulla propagazione delle piene artificiali per manovre volontarie degli organi di scarico e per ipotetico collasso dello sbarramento (di cui alla Circolare P.C.M. 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806), costituisce altresì il quadro di riferimento per la redazione del piano di emergenza relativo ai territori che possono essere interessati dagli effetti derivanti dalla presenza della diga. Il "Rischio Diga" è il rischio idraulico indotto dalla diga, conseguente ad eventuali problemi di sicurezza della stessa, ovvero nel caso di eventi, temuti o in atto, coinvolgenti l'impianto di ritenuta o una sua parte e rilevanti ai fini della sicurezza della diga e dei territori di valle.

Il "Rischio Idraulico a valle" è il rischio idraulico non connesso a problemi di sicurezza della diga ma conseguente alle portate scaricate a valle, ancorché ridotte per laminazione, ovvero nel caso di attivazione degli scarichi della diga stessa con portate per l'alveo di valle che possono comportare fenomeni di onda di piena e rischio esondazione.

- *Il rischio idraulico a valle*

La Direttiva P.C.M. 08.07.2014 ha introdotto il concetto di rischio "idraulico a valle": una tipologia di rischio idraulico conseguente alle portate scaricate a valle, ancorché ridotte per laminazione, che possono comportare fenomeni di onda di piena e dare luogo a situazioni di rischio anche per esondazione.

La gestione del rischio idraulico a valle prevede due fasi:

- **Fase di "Preallerta"**: si attiva in condizioni di piena (prevista o in atto), in previsione o comunque all'inizio delle operazioni di scarico (apertura volontaria o automatica), indipendentemente dal valore della Q (o oltre una Q di soglia, se prevista dal DPC). Occorre considerare che eventuali ulteriori immissioni a valle o precipitazioni potrebbero incrementare le portate a valle oltre il valore soglia di Q_{min} .

A seguito della comunicazione del Gestore:

- la Sala Operativa Regionale (SOR) della Protezione Civile regionale informa, se del caso, i Comuni/Enti a valle;
 - le Autorità idrauliche attivano il Servizio di piena.
- **Fase di "Allerta"**: si attiva quando le portate complessivamente scaricate dalla diga, inclusi gli scarichi a soglia libera e le portate turbinate (se rilevanti per entità e luogo di restituzione), superano il valore Q_{min} . Occorre considerare che eventuali ulteriori immissioni a valle o precipitazioni potrebbero incrementare le portate a valle fino a valori maggiori di Q_{Amax} e causare esondazioni.

A seguito della comunicazione del Gestore:

- la SOR regionale informa i Comuni/Enti a valle;
- le autorità idrauliche attivano il Servizio di piena.

- *Piani di emergenza Dighe*

Le Regioni, in raccordo e collaborazione con gli Uffici del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT), le Prefetture-UTG territorialmente interessate, le Amministrazioni locali e i Gestori degli invasi, devono predisporre e approvare un Piano di emergenza Dighe (PED) per ogni diga di competenza, per individuare, in funzione di prefigurati scenari di rischio, azioni coordinate su tutta

l'area di influenza del dam-break, idonee a contrastare le situazioni di rischio connesse con la propagazione di un'onda di piena originata da:

- onde di piena, che a valle delle dighe possono essere conseguenza di manovre degli organi di scarico (rischio «idraulico a valle»);
- problemi di scurezza della diga (rischio «diga»).

I PED devono considerare quanto previsto in:

- DPC di ciascuna diga (approvati da Prefetture);
- PdL, ove esistenti (approvati da Regioni).

Considerando che i PED sono parte integrante della pianificazione di protezione civile regionale e provinciale, i Comuni territorialmente interessati dedicano una sezione specifica al rischio diga nella propria pianificazione di protezione civile comunale.

La gestione delle emergenze connesse con le piene e la pianificazione nei tratti a valle degli invasi devono tenere in considerazione, oltre a quanto previsto dalla Direttiva P.C.M. 08.07.2014, degli atti di pianificazione sul rischio idraulico esistenti a scala di bacino.

- *Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni')*

la Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. '*Direttiva Alluvioni*') istituisce il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) con il quale si mira a costruire un quadro omogeneo a livello dei vari distretti per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche.

Nella pianificazione di avvio, si individua la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, tra cui sono evidenziate le aree maggiormente a rischio ("Aree a Rischio Potenziale Significativo di Alluvioni", APSFR). Il Coordinamento delle attività è stato svolto dalle Autorità di bacino distrettuali che si sono avvalse delle Regioni, fermo restando il ruolo di riferimento dello Stato verso la Comunità europea. Ogni Regione ha individuato misure finalizzate a non incrementare ulteriormente il rischio (misure di prevenzione), a ridurlo laddove è già presente (misure di protezione), a gestirlo in caso di evento (misure di preparazione) e a superarlo a seguito di evento (misure di ricostruzione e valutazione post evento):

- misure di **prevenzione**: sono finalizzate alla riduzione del danno atteso in caso di evento alluvionale, attraverso il divieto di localizzazione di nuovi elementi esposti in aree inondabili, la riduzione degli elementi a rischio presenti, la riduzione del valore e/o della vulnerabilità degli elementi esposti; tra queste misure rientrano quelle finalizzate al miglioramento delle conoscenze che includono studi, modellazioni e progettazioni;

- misure di **protezione**: sono finalizzate alla riduzione delle condizioni di pericolosità, attraverso interventi di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua e/o gestione delle piene, di manutenzione delle opere idrauliche e/o degli alvei. Comprendono arginature, casse di espansione, interventi di mantenimento e ripristino delle pianure alluvionali, sistemazioni idrauliche e forestali, azioni di demolizione e/o modifica delle opere esistenti;
- misure di **preparazione**: sono misure che coinvolgono il sistema di protezione civile attraverso il potenziamento delle capacità di previsione e monitoraggio delle alluvioni, una maggiore collaborazione tra i soggetti responsabili del soccorso alle popolazioni e del governo delle piene, il miglioramento dell'efficacia della pianificazione di emergenza a tutte le scale territoriali, l'aumento della resilienza delle comunità, adottando una strategia di comunicazione del rischio alla cittadinanza, da sviluppare sia attraverso il coinvolgimento e la formazione del volontariato sia attraverso la promozione delle norme di autoprotezione;
- misure di **ritorno alla normalità**: sono misure volte a superare le condizioni di criticità attraverso attività di messa in sicurezza e ripristino.

In sintesi, con la Direttiva alluvioni ed i relativi Piani attuativi, ha trovato conferma la rilevante importanza data alle misure cosiddette di prevenzione non strutturale, accanto alle tradizionali misure di realizzazione di opere strutturali di difesa del suolo; in particolare, il potenziamento della capacità di previsione e monitoraggio delle alluvioni e il miglioramento dell'efficacia della pianificazione di emergenza a tutte le scale territoriali, che sono due ambiti di competenza delle Regioni.

3.4 Ruoli e responsabilità

In tale quadro normativo, molto articolato, sembra comunque delinearsi con sufficiente chiarezza quali sono i compiti assegnati a ciascuna amministrazione pubblica coinvolta:

- **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT)**: vigilanza per la gestione in sicurezza dei manufatti;
- **Prefetture**: approvazione dei DPC delle dighe con i relativi successivi aggiornamenti. Il DPC descrive le caratteristiche principali della diga e dettaglia ulteriori informazioni, tra cui quelle che definiscono l'obbligo per il Gestore di attivare prefissate fasi operative; in considerazione della vetustà di molte dighe, nei casi in cui si avviano lavori di adeguamento, l'aggiornamento di questo documento da parte degli Uffici del MIT, con la conseguente formalizzazione della Prefettura, assume particolare importanza.

- **Gestori degli invasi:** sotto la vigilanza degli Uffici del MIT, assicurare la gestione in sicurezza dei manufatti e attivare le fasi operative previste dalla Direttiva PCM 8 luglio 2014, inviando le comunicazioni previste dal DPC della diga;
- **Regioni:**
 - predisposizione e aggiornamento dei PED, volta ad individuare, in funzione di prefigurati scenari di rischio, azioni coordinate idonee a contrastare le situazioni di rischio connesse con la propagazione di un'onda di piena (sia per ipotetico collasso del manufatto che per manovre degli organi di scarico). L'indice tipico dei contenuti di un PED è il seguente: inquadramento territoriale; Enti coinvolti; sismicità dell'area; fasi di allerta; scenari di rischio di riferimento; modello di intervento; aree di ammassamento; modalità di comunicazione; rubrica; acronimi; riferimenti normativi; allegati.
 - a seguito delle comunicazioni dei Gestori, invio delle comunicazioni verso le Amministrazioni locali, le quali devono attivare le azioni di prevenzione adeguate ad assicurare la pubblica incolumità (contenute e dettagliate nei PED e recepite in modo coerente nei documenti di pianificazione locale di protezione civile);
 - predisposizione e successiva approvazione dei Piani di Laminazione, con il concorso tecnico dei Centri funzionali decentrati, dell'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, della Direzione generale per le dighe del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, d'intesa con i Gestori degli invasi e sotto il coordinamento del Dipartimento della Protezione civile
- **Amministrazioni locali** (Comuni, Province, altre forme di aggregazione):
 - Aggiornamento dei documenti di pianificazione locale di protezione civile, con la definizione delle azioni concrete per mettere in sicurezza la popolazione, a partire dalla individuazione delle aree di ammassamento e ricovero, in modo coerente con quanto riportato nei PED;
 - Collaborazione con Regione per la redazione dei PED.

4. I Piani di Laminazione

4.1 Principi generali

L'obiettivo del PdL di un serbatoio è quello di mitigare il rischio alluvionale a valle dell'invaso, prevedendo procedure atte a ridurre le portate più elevate delle onde di piena (idrogrammi) che, per

la loro entità, potrebbero causare danni al territorio di valle. Al fine di ridurre il rischio idraulico del territorio di valle, si mira pertanto a rilasciare attraverso gli scarichi delle dighe una portata al picco compatibile con quella massima che può transitare nell'alveo di valle senza provocare danni.

Essenziale nella definizione di un PdL è pertanto la definizione della portata massima transitabile (Q_{max}) nell'alveo di valle, che dipende in generale dall'antropizzazione del territorio. Elementi che possono determinare il valore della Q_{max} sono ad esempio la presenza di infrastrutture strategiche (ponti, sponde tracimabili, ecc.) o centri abitati per i quali il transito di una portata superiore a Q_{max} determina situazioni di criticità. Nel caso di alvei alimentati da più di un serbatoio in parallelo, si dovrà tenere conto della sovrapposizione dei colmi.

Per perseguire questo obiettivo, è possibile utilizzare il volume di laminazione disponibile per decapitare il colmo dell'onda di piena, ossia per ridurre le portate che eccedono il limite di pericolosità preassegnato e caratteristico dell'alveo di valle. L'utilizzo del volume di laminazione o di parte di esso per diminuire anche i tratti ascendenti iniziali degli idrogrammi comporta la riduzione del volume di serbatoio utilizzabile successivamente per le portate più pericolose, quelle più elevate, con evidente perdita di beneficio.

Come visto precedentemente, questo tipo di gestione delle piene si ottiene dando la priorità di utilizzo all'arrivo della piena agli scarichi sotto battente (di fondo, mezzofondo e alleggerimento) che permettono, sempre se di adeguate dimensioni, di scaricare una portata variabile senza di fatto modificare (o comunque modificando in misura minima) il livello nel serbatoio, ossia senza impegnare il volume destinato alla laminazione.

L'obiettivo del PdL nella fase iniziale della piena, pertanto, deve essere quello di mantenere pressoché costante il livello nel serbatoio il più a lungo possibile, per salvaguardare il volume di laminazione da utilizzare poi nella parte alta dell'idrogramma in ingresso. Il livello idrico iniziale del serbatoio può coincidere con il livello di massima regolazione o anche con un livello più basso.

Come visto, durante questa prima fase, non si ha alcuna azione laminativa svolta da parte del serbatoio dato che la portata esitata è uguale a quella entrante; di conseguenza, in caso di piena di modesta entità, tali da non determinare criticità idrauliche a valle, il serbatoio risulta del tutto trasparente. Per sfruttare la capacità laminativa del serbatoio anche in caso di piene di minore entità risulta necessario ricorrere a strumenti di previsione meteorologica che possano indicare con sufficiente margine di tempo l'entità, anche in maniera approssimata, dell'evento atteso.

La prima fase della gestione di una piena, caratterizzata dall'obiettivo di mantenere i livelli costanti tramite aperture variabili degli scarichi sotto battente, termina quando si raggiunge una delle due seguenti condizioni:

- 1) si raggiunge una apertura parziale degli organi tale da scaricare a valle la Q_{max} ;

- 2) gli scarichi sotto battente vengono aperti completamente con una portata scaricata minore di Q_{max} .

In genere, la prima condizione tende a verificarsi in serbatoio che presenta scarichi di fondo di elevata capacità di deflusso, come avviene per gli invasi realizzati a scopo di laminazione. Al raggiungimento dello scarico della Q_{max} è necessario iniziare a laminare, ossia limitare la portata scaricata invasando per quanto possibile le portate in afflusso eccedenti questo limite.

In tale situazione, a rigore dovrebbe essere necessario prevedere una progressiva chiusura degli scarichi allo scopo di limitare l'aumento della portata esitata dovuta all'aumento del livello idrico nel serbatoio così da mantenere costante a Q_{max} la portata scaricata.

Si è però visto al paragrafo precedente come la legge di efflusso di queste luci sia tale che la portata scaricata aumenta molto lentamente con l'aumentare del livello, per cui agli effetti pratici la portata può essere mantenuta quasi costante mantenendo costante l'apertura dello (o degli) scarichi di fondo. In tutte le operazioni effettuate sugli scarichi occorre sempre considerare le esigenze di sicurezza dell'invaso di non andare oltre la quota di massimo invasato (*DM 26-6-2014*).

Il secondo caso è invece tipico degli invasi che presentano scarichi di fondo con capacità relativamente limitata come spesso avviene per gli invasi a prevalente uso produttivo (potabile, irriguo o idroelettrico). In questa condizione all'arrivo dell'onda di piena lo scarico di fondo, che nelle condizioni di normale funzionamento è completamente chiuso (a meno di rilasci per il DMV), dovrà essere aperto fino alla completa apertura in modo da mantenere il più possibile costante il livello nell'invaso e mantenuto in questa condizione fino al passaggio del colmo di piena.

La chiusura degli scarichi di fondo avverrà dopo il passaggio del colmo di piena, per non disperdere il volume invasato, utile ai fini produttivi. Nel caso in cui, al crescere del livello di invasato, lo scarico di fondo dovesse invece arrivare a esitare portate superiori a Q_{max} occorrerebbe procedere ad una sua progressiva parzializzazione.

Alla fase di controllo della piena con il solo scarico di fondo appena descritta dovrà necessariamente seguire l'invaso della piena e, se la piena stessa è particolarmente intensa, l'innescò degli scarichi di superficie; le modalità di funzionamento della laminazione saranno variabili a seconda delle caratteristiche idrauliche del serbatoio e degli eventuali organi di regolazione presenti sugli scarichi di superficie.

In sintesi, quindi, gli scarichi di superficie dovrebbero entrare in funzione solo dopo la completa apertura degli scarichi di fondo o dopo il raggiungimento della Q_{max} come portata scaricata da detti scarichi. Anche gli scarichi di superficie devono essere gestiti, se regolabili, cercando di minimizzare la portata scaricata (soprattutto quella al colmo della piena) e quindi cercando di massimizzare

l'invaso utilizzato. La chiusura di eventuali organi mobili dopo il passaggio della piena è naturalmente sempre condizionata dalla presenza di eventuali vincoli sul passo di svaso del serbatoio. È quindi fondamentale l'osservazione che gli scarichi di fondo devono essere aperti gradualmente ma, se possibile, fino alla loro completa apertura al fine di tenere costante il livello e salvaguardare il più a lungo possibile il volume di vaso da utilizzare per la decapitazione della parte più alta dell'idrogramma.

Sulla base di quanto visto poc'anzi e anche al paragrafo precedente, si può affermare che un eventuale ritardo nell'apertura dello scarico di fondo nella parte iniziale dell'onda di piena entrante quando le portate in ingresso sono ancora inferiori a Q_{max} , determina che una parte del volume del serbatoio venga utilizzata per invasare portate entranti di per sé non pericolose a valle. Questo volume di serbatoio, però, viene sottratto per la laminazione delle successive portate maggiori.

Ne consegue che, in assenza di uno strumento di preannuncio delle piene, ai fini della massima efficacia di un PdL non è opportuno intervenire in maniera sistematica per laminare tutti gli idrogrammi in ingresso al serbatoio bensì è opportuno intervenire solo su quelli a minore frequenza di accadimento (le piene maggiori), iniziando da subito le manovre degli organi per salvaguardare il volume di laminazione. Il serbatoio può pertanto essere trasparente (ossia con la portata uscente uguale a quella entrante) per le portate più basse, per le quali non è utile avere laminazione.

La disponibilità di uno strumento previsionale, invece, consente di valutare, almeno in linea di principio e ovviamente con certi margini di errore, l'entità dell'evento in corso distinguendo a priori gli eventi frequenti da quelli rari. Per gli eventi riconosciuti come frequenti in fase di previsione, il piano di laminazione può prevedere l'invaso di volumi idrici già dalle prime fasi dell'evento, in modo da laminare la piena già per valori limitati di portata. Nell'ottica di non dissipare risorsa idrica è inoltre raccomandabile che, in caso di previsioni meteo favorevoli, l'acqua invasata durante l'evento non venga rilasciata nella fase di esaurimento dell'idrogramma in ingresso attraverso gli scarichi per conseguire l'unico obiettivo di raggiungere il preassegnato livello idrico, ma, se possibile, utilizzata.

4.2 Tipologie di Piani di laminazione

Il Piano di Laminazione individua le regole fondamentali con cui devono essere effettuati i rilasci e le eventuali limitazioni di vaso da rispettare per aumentare la capacità laminativa di un serbatoio. La limitazione di vaso può essere permanente durante tutto l'anno o limitata ad un certo periodo, fissata a priori o decisa a seguito di condizioni meteo avverse. A seconda delle modalità applicate si parla di *laminazione statica* o *laminazione dinamica*.

Nel seguito si descrivono le differenze e le implicazioni.

4.3 Piano di laminazione statico

Un PdL si definisce di tipo statico quando il mantenimento di una quota d'invaso minore di quella d'esercizio autorizzata avviene con continuità durante tutto l'anno o su periodi limitati a qualche mese valutati statisticamente critici per il verificarsi di eventi di piena (ad esempio l'autunno). In tali periodi, il maggiore volume sarà costantemente disponibile per recepire le portate provenienti da monte.

Il raggiungimento di questa quota ridotta può avvenire, salvo diverse disposizioni, tramite il normale esercizio dell'invaso, senza necessariamente ricorrere a svasi tramite apertura scarichi. Anche il rientro a questa quota, dopo il passaggio di una piena, può avvenire, sempre salvo diverse disposizioni, tramite il normale esercizio dell'invaso.

Da considerare, naturalmente, eventuali vincoli sulla velocità di svaso dovuti a particolari situazioni geologiche delle sponde del bacino.

L'adozione di un PdL resta, naturalmente, subordinata alle condizioni di esercizio in sicurezza dell'invaso. I volumi disponibili per la laminazione delle piene dovranno tenere conto di eventuali limitazioni di esercizio, ai fini della sicurezza della diga, prescritte dalla Direzione Generale per le dighe.

4.1 Alcune note sui Piani di laminazione statici

La *laminazione statica* è in genere la misura più semplice ed immediata che, senza effettuare interventi strutturali di arginature e/o difese spondali del corso d'acqua, consente di salvaguardare i territori a valle del serbatoio: definito il periodo nel quale statisticamente avvengono i principali eventi di piena, si imposta una limitazione preventiva della quota di invaso.

Può essere applicata a qualunque serbatoio, indipendentemente o meno che la diga sia dotata di adeguati organi profondi di scarico, potendosi esclusivamente procedere all'invaso del volume reso disponibile sino al raggiungimento della sua capacità.

In alcuni casi di PdL (in Appendice si vedranno i casi di Pieve di Cadore e di S. Croce), i volumi idrici dell'evento di piena vengono trattenuti sino al raggiungimento della quota di massima regolazione in prossimità della quale si procede alla graduale apertura degli organi di scarico per contenere l'invaso entro la quota di massimo invaso, secondo la Circolare P.C.M. 19 Marzo 1996 n. DSTN/2/7019 "Direttiva Barberi". Un problema costituito da questo semplice schema è che il volume inizialmente disponibile tende a venire occupato dalla prima parte dell'onda di piena, cosicché al

verificarsi di un secondo evento di piena o al perdurare dell'onda medesima, il serbatoio non ha più a disposizione tutto il volume iniziale e presenta pertanto una ridotta capacità di laminazione. A questo problema si può sopperire con l'ausilio di un modello previsionale che consenta di disporre l'apertura preventiva degli scarichi per mantenere il più possibile un volume di invaso a disposizione in previsione del perdurare dell'evento medesimo o di un successivo picco dell'evento.

Si segnala che, come descritto nel caso dei serbatoi di EGP in Appendice, la limitazione di quota dell'invaso può favorire l'interrimento delle aree prossime alla diga.

Un problema di esercizio da segnalare per gli impianti idroelettrici, è che, per raggiungere il livello idrico limitato con passi di svaso compatibili con l'esercizio in sicurezza del serbatoio, l'impianto collegato alla diga viene di norma gestito in "modalità ad acqua fluente"; ciò non risponde alle esigenze di rete e pertanto l'impianto non partecipa alla borsa dell'energia, con un conseguente danno economico.

Da osservare e sottolineare, inoltre, che per serbatoi di grande dimensione e di modesto bacino sotteso anche il solo volume idrico disponibile fra la quota massima di regolazione e quella di massimo invaso, come nelle definizioni B.1 del DM 26-6-2014, garantisce laminazioni significative dell'onda di piena entrante. E' opportuno quindi che eventuali limitazioni aggiuntive di quota di invaso siano valutate tramite idonee specifiche simulazioni, come descritto nei paragrafi precedenti.

4.2 Piano di laminazione dinamica

Un PdL si dice di tipo dinamico o preventivo quando individua un insieme di azioni che il Gestore adotta in via preventiva, in funzione della previsione del sopraggiungere di un evento meteorologico particolarmente critico, per la gestione dell'invaso e dell'area influenzata dalla presenza dell'invaso stesso, finalizzate ad una più efficace la laminazione dell'evento stesso.

Il suddetto Piano, ai sensi della Direttiva PCM 27/02/2004, prevede, nel tempo reale, l'esecuzione di manovre preventive, da attivare sulla base delle previsioni degli scenari d'evento di piena attesi e/o in atto sull'asta principale, nonché sulla base dello stato dell'invaso e della portata territorialmente sostenibile a valle dello stesso.

Il piano di laminazione può pertanto consentire l'esecuzione di manovre non soggette alla prescrizione generale secondo cui *"le manovre degli organi di scarico siano svolte ... contenendone al massimo l'entità, ... e in condizioni di piena, 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."* (DPCM 08.07.2014).

Condizione per l'implementazione di un PdL dinamico o preventivo è la disponibilità di uno strumento di preannuncio, che permetta di valutare, in funzione delle precipitazioni previste e con idoneo anticipo previsionale, l'evoluzione dell'onda di piena in arrivo e di conseguenza gli andamenti del livello dell'invaso conseguenti al programma delle portate che il Gestore prevede di rilasciare.

Le comunicazioni sono effettuate nel rispetto di quanto previsto dalla Direttiva PCM 08.07.2014 in caso di "rischio idraulico" fase di "allerta". Il Gestore comunica l'attivazione del piano di laminazione alla Protezione civile regionale, all'Autorità idraulica, alla Prefettura ove è ubicata la diga e all'UTD competente, evidenziando la successione temporale delle portate previste in uscita dall'invaso fino alle successive 24 ore. La Regione di competenza procede all'allertamento del servizio di protezione civile, con particolare riguardo alle Amministrazioni comunali interessate, alla/e Provincia/e interessate e a tutte le altre amministrazioni coinvolte, sfruttando gli strumenti ed i riferimenti già in uso per l'allertamento ai sensi della Direttiva PCM 24.02.2004.

Il PdL dinamico o preventivo dovrà pertanto avere i seguenti contenuti essenziali:

- descrizione dello strumento previsionale operativo utilizzato, che dovrà evidenziare i livelli di incertezza per valutare l'effettiva possibilità di laminazione preventiva della piena;
- regole con le quali devono essere effettuati i rilasci da parte del gestore.

4.3 Le previsioni meteo a supporto dei Piani di Laminazione

Un piano di laminazione dinamico generalmente prevede il supporto di uno specifico modello matematico in grado di simulare le portate entranti nell'invaso su un orizzonte temporale da qualche ora a due/tre giorni in avanti al fine di pianificare la sequenza di manovre che il gestore deve effettuare sugli organi di scarico della diga, sui canali di gronda che convogliano le acque nell'invaso e sulle turbine dell'impianto al fine di massimizzare l'effetto di laminazione, ossia ridurre gli scarichi a valle dello sbarramento a valori compatibili con la Q_{Amax}.

Indicativamente i parametri in input ad un modello meteo-idrologico di previsione sono:

- le altezze di precipitazioni e le temperature effettive verificatesi fino al momento di emissione delle previsioni;
- le previsioni di precipitazione e temperature future fino all'orizzonte temporale di interesse;
- dati di stato del bacino imbrifero di monte come, ad esempio, l'innnevamento in termini di Snow Water Equivalent presente, il contenuto idrico dei terreni, la copertura vegetale, etc. Tali grandezze possono essere il risultato di un calcolo modellistico e/o di misure satellitari o al suolo;
- dati di stato dell'invaso (livello, portate scaricate/derivate, ...).

Tipicamente il set di dati meteorologici è il primo anello di una catena modellistica che prosegue con una modellazione idrologica di tipo afflussi-deflussi. La modellazione idrologica a sua volta può alimentare la modellazione idraulica del serbatoio che opera la laminazione attraverso la quale si possono simulare le operazioni sugli scarichi/derivazioni.

Nel caso dei PdL dei serbatoi di Corbara (TR) e Beauregard (AO), i sistemi modellistici di riferimento sono implementati presso un Centro Funzionale Decentrato. I risultati ottenuti vengono condivisi con il Gestore della diga. Maggiori dettagli sono contenuti nelle descrizioni dei Casi di studio riportate in Appendice.

5. Metodi speditivi per la stima della capacità di laminazione dei serbatoi

Nella programmazione e pianificazione di attività istituzionali relative agli invasi, può esservi la necessità di disporre in tempi brevi di valutazioni sulla capacità di laminazione di un campione esteso di serbatoi: tale valutazioni possono conseguentemente consentire di indirizzare quelle analisi rigorose in grado di considerare tutte le specificità di ogni invaso, indispensabili per assumere decisioni finali. Qui di seguito si riporta il metodo utilizzato in regione Lombardia per ottenere una classificazione degli invasi, funzionale all'individuazione delle priorità per la stesura dei piani di laminazione.

Il metodo, oltre a stimare la capacità di laminazione di ogni singolo invaso, prevede anche una stima della vulnerabilità del territorio a valle: viene effettuata così una valutazione generale, che permette di stimare congiuntamente sia la *possibilità* tecnica di effettuare una laminazione sia l'*esigenza* che venga effettuata una laminazione per ridurre il rischio a valle.

In termini matematici, per una generica sezione il metodo proposto dalla Regione Lombardia utilizza un **indice di rischio complessivo R** che permette di effettuare valutazioni sintetiche sulla capacità di laminazione e vulnerabilità a valle degli invasi.

Tale indice è il prodotto della capacità di laminazione (L) disponibile in questa generica sezione per la vulnerabilità (V) dei territori a valle della sezione, ossia:

$$R = L \times V \quad (5)$$

L e V sono indici da calcolare che risultano variabili fra 0 e 1, dove 0 indica l'assenza di disponibilità di laminazione o di elementi vulnerabili a valle mentre 1 indica un'alta capacità di laminazione da parte dei serbatoi di monte o un'alta vulnerabilità dei territori di valle.

In particolare, quindi:

- quando L o V sono nulli, allora $R = 0$: non vi è possibilità ($L=0$) o necessità ($V=0$) di laminazione;
- quando sia L che V sono pari a 1, allora $R = 1$: la laminazione è sia altamente possibile sia altamente necessaria.

Nel seguito si daranno i dettagli di come calcolare i due parametri.

5.1 Stima della capacità di laminazione L in una generica sezione

Si possono utilizzare diversi *indici sintetici* per ottenere una stima immediata della capacità di laminazione L di un vaso o di una generica sezione.

Per permettere un'analisi speditiva, tali indici devono utilizzare un limitato numero di parametri e basarsi su ipotesi semplificative del fenomeno.

Un'opzione proposta in letteratura con queste caratteristiche è porre L uguale all'**indice FARL**, *Flood Attenuation by Reservoirs and Lakes* (Scarrott et al., 1999), che è un indice qualitativo per stimare l'attenuazione dell'onda di piena in una generica sezione di un bacino di area A_C ove siano presenti invasi, ciascuno con superficie liquida pari a A_{Li} e bacino imbrifero pari a A_{Bi} .

L'indice *FARL* si ottiene applicando la seguente formula, che richiede di considerare tutti gli i -esimi invasi (in numero totale di N) a monte dell'invaso stesso:

$$FARL = \prod_{i=1}^N \left(1 - \sqrt{\frac{A_{Li}}{A_{Bi}}} \right)^{\frac{A_{Bi}}{A_C}} \quad (6).$$

Per stimare la capacità di laminazione per un vaso senza ulteriori invasi a monte, vale l'identità $A_B = A_C$, quindi la formula si semplifica come segue:

$$FARL = \left(1 - \sqrt{\frac{A_L}{A_B}} \right) \quad (7).$$

Per una valutazione di L che tenga in maggiore considerazione i parametri idrologici dei bacini a monte delle dighe, si può utilizzare un altro indice, ovvero il *LAM*. Questo risulta da una procedura che confronta il *volume di laminazione* di ciascuna diga, V_{LAM} , con il *volume di piena*, V_{PIENA} , previsto in ingresso all'invaso di *tempo di ritorno* di 200 anni secondo la seguente relazione:

$$LAM = \begin{cases} \sqrt{\frac{V_{LAM}}{V_{PIENA}}} & \text{se } V_{LAM} < V_{PIENA} \\ 1 & \text{se } V_{LAM} \geq V_{PIENA} \end{cases} \quad (8).$$

Per il calcolo dei volumi di piena V_{PIENA} attesi alla sezione si possono utilizzare gli usuali metodi dell'idrologia. Nei metodi indiretti, ad esempio, a partire da una curva di possibilità pluviometrica si determina un idrogramma utilizzando un metodo afflussi-deflussi. Per l'illustrazione di queste metodologie, che esulano dagli scopi della presente trattazione, si rimanda ai testi di idrologia.

Entrambi i due indici LAM e $(1 - FARL)$ variano con continuità tra 0 e 1, in particolare:

- valori prossimi a 0 indicano una capacità di laminazione trascurabile;
- valori prossimi a 1 indicano un'elevata capacità di laminazione.

Uno studio effettuato sugli invasi ubicati nel territorio della Regione Lombardia ha consentito di comparare i risultati ottenibili con i due indici, evidenziando che:

- in termini generali vi è una buona corrispondenza tra i due approcci, per cui solo in alcuni casi specifici non si ottengono risultati comparabili;
- sembra preferibile porre la *capacità di laminazione* L uguale all'indice LAM, in quanto questo metodo, seppure speditivo, appare più completo rispetto all'altro. Solo nei casi in cui non è possibile calcolarlo, si deve necessariamente fare riferimento all'indice sintetico $(1 - FARL)$.

5.2 Vulnerabilità del territorio a valle

Per stimare l'indice di vulnerabilità V del territorio a valle di una generica sezione di ubicazione di un invaso, che compare nella (5), è possibile fare riferimento ai documenti di pianificazione esistenti ed estrarne gli elementi utili per un'analisi specifica.

Nel caso della Regione Lombardia si è fatto riferimento alle mappe della pericolosità e del rischio della *Direttiva Alluvioni*, contenute nel “*Progetto di Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni*”, di cui all'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49/2010, adottato il 22 dicembre 2014 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Po.

Tale Direttiva ha individuato le zone a più elevato *rischio idraulico* (R4), combinando i parametri pericolosità e danno.

Al fine di valutare la vulnerabilità del territorio a valle degli invasi di interesse nazionale presenti in Lombardia, sono stati presi in considerazione esclusivamente gli elementi a rischio R4, utilizzando i dati georeferenziati delle dighe di competenza nazionale ricadenti sul territorio lombardo e le mappe del rischio R4.

La quantificazione del rischio è stata effettuata attraverso un'analisi GIS, estraendo gli elementi a rischio R4 che si trovavano a non più di 20 km (distanza fissata per ipotesi di partenza) dalla diga.

L'**indice di vulnerabilità** V è stato calcolato, dividendo il numero totale di elementi R4 soggiacenti a ciascun invaso per il massimo fra i numeri totali di elementi R4 soggiacenti:

$$V = \frac{\sum n_{R4}}{\max \sum n_{R4}} \quad (9)$$

variando così tra:

- 0: nessun elemento R4 soggiacente all'invaso (vulnerabilità del territorio trascurabile);
- 1: massimo numero di elementi R4 soggiacenti (vulnerabilità massima).

Gli invasi con V maggiore sono quelli per cui eventuali piani di laminazione potrebbero portare i maggiori benefici per il territorio di valle.

5.3 Applicazione al caso lombardo

L'applicazione del metodo sopra riportato ai 76 invasi del caso lombardo ha portato ad un elenco di invasi, ordinati in funzione del valore di *rischio complessivo R* decrescente.

Questo elenco è stato utilizzato come prima indicazione per stabilire la priorità con cui procedere all'adempimento degli obblighi previsti dalla Direttiva P.C.M. 27.02.2004 e dalla Direttiva P.C.M. 08.02.2013.

I primi invasi comprendono i maggiori valori di indice di rischio (R tra 0.40 e 1), suggerendo per questi una valutazione prioritaria sull'opportunità di un piano di laminazione.

Per completezza, si segnala che, per valutare l'adozione di un piano di laminazione sugli invasi lombardi, si è optato per dare la precedenza agli invasi che sono stati realizzati con la funzione primaria di laminazione. Nella fase immediatamente successiva verranno valutati i manufatti di regolazione dei grandi laghi prealpini. Per i restanti invasi, nei quali la funzione di laminazione è secondaria ed è già naturalmente svolta, si è scelto di applicare il metodo sopra descritto per individuare un primo ordine di priorità rimandando tutti i necessari approfondimenti tecnici alle successive fasi, da svolgersi in collaborazione con i singoli gestori degli invasi. In tal modo si è ottemperato alle indicazioni contenute al punto 6 della Direttiva PCM 08/02/2013 e alle conclusioni del Tavolo Tecnico, redatte il 01/04/2015, appositamente costituito presso l'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po.

6. Valutazioni economiche sui Piani di laminazione

(Il paragrafo 6 a cura dell'ing. Andrea Balestra del Gruppo di Lavoro ITCOLD "Dighe esistenti e usi multipli")

La finalità del Piano di Laminazione, come visto in questo Report, è quello del controllo delle alluvioni e quindi della sicurezza dei territori di valle sfruttando la capacità di immagazzinamento dei serbatoi presenti sul territorio di monte, in maniera statica o dinamica. Nel primo caso il volume

idrico riservato alle piene viene garantito in maniera statica ossia indipendentemente dall'effettiva presenza di perturbazioni potenzialmente pericolose. Nel secondo caso della laminazione dinamica, invece, il volume idrico necessario, viene ottenuto con svasi decisi in dipendenza di previsioni meteorologiche che facciano ritenere probabile il manifestarsi di eventi importanti. L'obiettivo è quello di immagazzinare gli afflussi o parte di essi nei serbatoi durante il picco di piena, imponendo operazioni preventive prima del picco di piena quando i volumi di stoccaggio disponibili non sono sufficientemente elevati.

In ogni caso, comunque, la riduzione dei livelli idrici nei serbatoi può sempre avvenire tramite aperture degli scarichi, oppure tramite turbinaggio se sono presenti impianti idroelettrici.

In generale la decisione sui volumi idrici necessari alla laminazione delle piene, siano essi statici o dinamici, richiede l'utilizzo di sofisticati modelli di simulazione meteorologica ed idrologica, sia in fase di definizione del Piano di Laminazione per dimensionare i volumi necessari, che poi in tempo reale (laminazione di tipo dinamico) per la previsione dell'entità degli eventi attesi al serbatoio.

In questo quadro di insieme, accanto al beneficio complessivo per i territori di valle in termini di protezione dall'evento di piena, deve venire sicuramente inserito anche l'interesse particolare del gestore della diga, inteso come il valore economico derivante della riduzione di livello idrico a fini di laminazione.

In altri termini, il problema della laminazione deve venire visto nella sua globalità quando si utilizzano serbatoi ad uso idroelettrico, poiché in questi casi è necessario oltretutto minimizzare, anche compensare la possibile perdita di produzione energetica

Il valore economico può essere calcolato in via indicativa considerando la differenza fra il valore della produzione idroelettrica derivante dall'utilizzo ottimale della risorsa, consentita dalla modulazione del serbatoio, ed il corrispondente valore di produzione "obbligato" ossia in fasce orarie non utilizzate normalmente dagli impianti a serbatoio.

Contribuisce al calcolo del valore economico anche un eventuale svaso eccessivo di un serbatoio cui non seguono i previsti riempimenti da parte dell'onda di piena a causa del grado di probabilità accettato per le previsioni meteorologiche. A tal proposito, se il rischio marginale di alluvione deve essere il più basso possibile, occorre provvedere a significative operazioni preventive ma di conseguenza il serbatoio potrebbe con maggiore probabilità non essere pieno alla fine del periodo, con conseguenti perdite di produzione di energia. Al contrario, l'accettazione di un rischio maggiore

di alte portate a valle richiederebbe operazioni preventive di minor entità e, di conseguenza, un serbatoio probabilmente più pieno alla fine del periodo e minori perdite di produzione di energia¹. La perdita di produzione energetica dovuta alla riduzione preventiva del livello del serbatoio a causa del rischio di alluvioni a valle, se non prevista nel contratto di concessione, dovrebbe essere negoziata con le autorità e, nel caso, compensata sfruttando i vantaggi della protezione garantita dai serbatoi in modo da garantire la realizzazione di un sistema decisionale efficiente^{2,3}.

7. RIFERIMENTI

Brath A., *Laminazione delle piene e sicurezza idraulica dei territori a valle delle dighe. Piani di laminazione: stato di attuazione, criticità e opportunità*. L'Acqua, n.6, 2019.

Circolare P.C.M. 19.03.1996 n.DSTN/2/7019, “Disposizioni inerenti l’attività di protezione civile nell’ambito dei bacini in cui siano presenti dighe” (cosiddetta “Direttiva Barberi”).

D.M. 26.06.2014, “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)”.

Direttiva P.C.M. 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”.

Direttiva P.C.M. 8.02.2013 “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”

Direttiva P.C.M. 08.07.2014, “Indirizzi operativi inerenti all’attività di protezione civile nell’ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe”.

Scarrott R., Reed D., Bayliss A., “Indexing the attenuation effect attributable to reservoirs and lakes”, Flood Estimation Handbook, volume 4–5, Institute of Hydrology, Wallingford (1999).

¹ Javier García Hernández, “Flood management in a complex river basin with a real-time decision support system based on hydrological forecasts”, Editeur : Prof. Dr A. Schleiss, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2011

² Final Project Report , HYDROPOWER EUROPE Coordination Team, PROJECT NUMBER: 826010, Hydropower Europe, POWERING EUROPE IN A SUSTAINABLE WAY WP1-Rp-68, 2020

³ Report on the first wider stakeholder consultation process, Hydropower Europe, POWERING EUROPE IN A SUSTAINABLE WAY, WP2-DIRp-22, 2020.

8. APPENDICE

8.1 Casi di studio EDISON

A cura di Francesco Sainati

Fra le dighe gestite da Edison in cui è presente un piano di laminazione vi sono quelle di Ca' Zul, Ca' Selva, Ponte Racli.

Fra le dighe gestite da Dolomiti Edison Energy in cui è presente un piano di laminazione vi è quella di S. Giustina.

Si tratta nei vari casi di un PdL di tipo statico.

I PdL delle prime tre dighe poste tutte in Provincia di Pordenone sono fra loro simili e sono inseriti all'interno del "Piano stralcio per la Sicurezza Idraulica del bacino del fiume Livenza" che, a partire dal 2003, stabilisce che dal 15 settembre al 30 novembre di ogni anno il livello nei tre serbatoi deve essere mantenuto non superiore a certe quote specifiche per ciascun invaso, salvo il verificarsi di eventi di piena.

L'ubicazione territoriale di queste tre dighe è tale per cui gli scarichi delle dighe di Ca' Zul e Ca' Selva confluiscono nel serbatoio di Ponte Racli determinando così, nel periodo di laminazione statica, un volume invasabile complessivo di oltre 50 milioni di m³.

Poiché i tre Piani sono del tutto simili fra loro si riporta il dettaglio del solo Piano di Ca' Zul.

Per la diga di S.Giustina, invece, il PdL deriva da una deliberazione della Giunta Provinciale relativa alla proroga della Concessione dell'impianto di Taio a cui afferisce la diga di S. Giustina.

I dettagli dei due PdL sono riportati nel seguito.

SCHEDA 1 - Piano di laminazione Diga di Ca' Zul

Concessionario: Edison S.p.A.

Corso d'acqua: torrente Meduna

Comune: Tramonti di Sopra

Provincia: Pordenone

Tipologia di diga: diga a volta a cupola (Ab3)

Altezza della diga (ai sensi della L. 584/1994): 68 m

Volume di invaso (ai sensi della L. 584/1994): $9,8 \times 10^6$ m³

Volume utile di regolazione: $9,4 \times 10^6$ m³ (con invaso a quota 596,00 m s.l.m.)

Quota di massima regolazione: 596,00 m s.l.m.



Fig.A1 – Diga di Ca' Zul

Quota di max invaso: 599,00 m s.l.m.

La diga è dotata di uno scarico di superficie a soglia libera, in corpo diga, di uno scarico di superficie in spalla sinistra regolato da una paratoia a ventola e di uno scarico di fondo presidiato da due paratoie piane disposte in serie.

La laminazione statica è inserita nel “Piano stralcio per la Sicurezza Idraulica del bacino del fiume Livenza” che, a partire dal 2003, stabilisce che dal 15 settembre al 30 novembre di ogni anno il livello nel serbatoio deve essere mantenuto a quota non superiore a 560 m s.l.m., salvo il verificarsi di eventi di piena.

Il Piano Stralcio stabilisce anche che:

“...Le operazioni di svasso controllato del bacino hanno inizio a partire dal primo giorno del mese di settembre, salvo la possibilità da parte del Segretario Generale dell’Autorità di Bacino di posticipare di sette giorni tale termine, nel caso in cui le previsioni meteorologiche non evidenzino alcuna perturbazione di rilievo.

Le operazioni di svasso devono essere eseguite progressivamente mediante manovre ordinarie, previste dai vigenti fogli condizioni e secondo le modalità stabilite a tal fine dalla Segreteria Tecnica dell’Autorità di Bacino di concerto con il competente Registro Italiano Dighe ...” (ora DG Dighe).

“È ammesso un posticipo delle operazioni di svasso controllato non superiore a giorni sette nel caso in cui le previsioni meteorologiche non evidenzino alcuna perturbazione di rilievo nel bacino sotteso”

Durante il periodo di laminazione statica la diga viene mantenuta con gli scarichi di superficie in posizione di completa apertura invasando l’eventuale volume affluente al serbatoio fino alla quota di sfioro pari a 592,50 m s.l.m.. (quota della paratoia a ventola in posizione di massima apertura).

In caso di evento di piena, l’afflusso al serbatoio viene normalmente invasato con lo scarico di fondo chiuso fino al livello di 592.50 m s.l.m. al quale inizia lo sfioro. Al supero di questa quota, hanno inizio le operazioni di apertura dello scarico di fondo con le modalità che si rendono necessarie per la gestione dell’evento di piena. In caso di eventi di piena particolarmente intensi l’apertura delle paratoie dello scarico di fondo viene anticipata.

Al termine dell’evento il livello nel serbatoio viene riportato alla quota stabilita rispettando la velocità massima di 160 cm/giorno.

Nella fase di svasso preventivo e di ripristino della quota di salvaguardia il rilascio a valle della diga non deve superare la portata di 90 m³/s, *“...compatibile con le condizioni di officiosità del torrente Meduna a valle dello sbarramento...”*

Al termine del periodo di laminazione statica deve essere inviato alla Segreteria dell’Autorità di bacino (ora Distretto delle Alpi Orientali) un rapporto riepilogativo della gestione dell’invaso contenente:

- La quota giornaliera del livello di invaso;
- La portata media in ingresso all’invaso;
- La portata media giornaliera turbinata dalla centrale;
- La portata media giornaliera scaricata dagli organi di scarico della diga;

- L'altezza totale di precipitazione giornaliera registrata presso l'invaso.

E per portate in ingresso al serbatoio superiori a 20 m³/s:

- La portata oraria calcolata in ingresso all'invaso;
- La quota oraria del livello di invasore;
- Data, ora e livello di invasore corrispondenti all'istante di apertura e chiusura degli organi di scarico della diga;
- Le portate orarie calcolate scaricate dagli organi di scarico della diga;
- Le portate orarie turbinate dalla centrale;
- Le osservazioni a vista, con cadenza giornaliera, sulla stabilità dei versanti rispetto all'abbassamento del livello di invasore.

SCHEDA 2 - Diga di S. Giustina

Concessionario: Dolomiti Edison Energy S.r.l.

Corso d'acqua: torrente Noce

Comune: Predaia

Provincia: Trento

Tipologia di diga: diga ad arco (Ab1)

Altezza della diga (ai sensi della L. 584/1994): 147,50 m

Volume di invasore (ai sensi della L. 584/1994): 182,8 x 10⁶ m³

Volume utile di regolazione: 171,7 x 10⁶ m³ (con invasore a quota 530,00 m.s.l.m.)

Quota di massima regolazione: 530,00 m s.l.m.

Quota di max invasore: 531,50 m s.l.m.

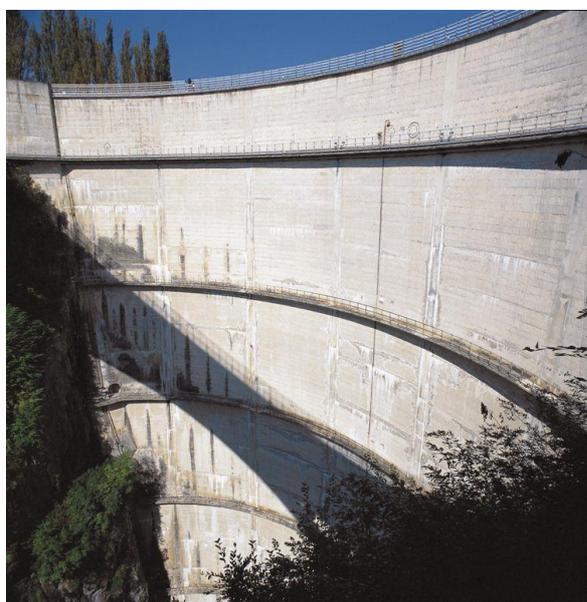


Fig.A2 – Diga di S.Giustina

La diga è dotata di uno scarico di superficie in sponda destra regolato da due paratoie piane in parallelo con soglia a quota 525,00 m s.l.m., uno scarico di mezzofondo presidiato da due paratoie piane disposte in serie e uno scarico di fondo presidiato da due paratoie piane disposta in serie.

La deliberazione della Giunta Provinciale 9 maggio 2008, n.1155, relativa alla proroga della Concessione dell'impianto di Taio (a cui afferisce la diga di S. Giustina), stabilisce l'impegno irrevocabile del rispetto del limite di regolazione dell'invasore a quota 524,00 m s.l.m. con la seguente motivazione:

“Con riferimento alle esigenze di sicurezza si è evidenziata la necessità di assicurare ai fini della laminazione delle piene, la disponibilità di accumulo nel serbatoio di S. Giustina di un volume complessivo di 30 milioni di m³ d'acqua di cui una parte permanentemente libera (20 milioni di m³) ed una parte svasabile (10 milioni di m³) su richiesta della Provincia, senza oneri di indennizzo a carico dell'amministrazione.

Conseguentemente la quota di massima regolazione dovrà essere pari a 524,00 m s.l.m. mentre, su richiesta della Provincia, dovrà ridursi a quota 521,00 m s.l.m.

A seguito di ciò l'evento di piena viene gestito agendo sulle paratoie degli scarichi profondi per non superare la quota prestabilita (inferiore alla quota di soglia dello scarico di superficie).

8.2 Casi di studio CVA

A cura di Paolo Ropele e Franco Collé

SCHEDA 3: Diga di Beauregard

CARATTERISTICHE DELLA DIGA

La diga del Beauregard ha una struttura ad arco di gravità simmetrica e a doppia curvatura, che si appoggia sui due versanti della vallata ed è stata ultimata a metà degli anni Cinquanta con l'impiego di 430.000 mc di calcestruzzo.

Fin dalle prove di collaudo della fine degli anni Cinquanta, la diga ha conosciuto limitazioni d'invaso sempre più restrittive a causa della presenza di una "Deformazione Gravitativa Profonda di Versante", che insisteva sulla sponda sinistra orografica del bacino comprimendone l'arco. Questa tipologia di deformazione non è soggetta ad accelerazioni improvvise. In ogni caso, qualsiasi variazione sarebbe tempestivamente segnalata dalle rilevazioni



Fig.A3 – Diga di Beauregard

quotidiane. La peculiarità è stata rilevata sin dai primi invasi di collaudo (1957–1969), pertanto la diga è stata messa subito in sicurezza riducendo al minimo l'invaso che, a progetto, era di 70.000.000.

Nel 2011 è stato effettuato un intervento di riduzione altimetrica di 52 metri della diga che ha permesso l'adeguamento della struttura stessa. I lavori sono terminati nel 2015.

Nella Tab.A1 le principali caratteristiche della diga.

Tab.A1 – Principali caratteristiche della diga di Beauregard

Comune:	Valgrisenche (AO)
Gestore:	C.V.A. S.p.A. a s.u.
Periodo di costruzione:	anno 1950-1960
Collaudo:	anno 1969
Bacino imbrifero totale:	110 kmq
Capacità utile di invaso:	3.600.000 mc

Quota massimo invaso:	1.710 m slm
Tipologia della struttura:	in origine ad arco gravità in calcestruzzo a doppia curvatura
Altezza dello sbarramento:	80 (in origine 132) m
Lunghezza coronamento:	185 (in origine 394) m
Spessore alla base:	42 m
Spessore al coronamento:	15 (in origine 5) m

LAMINAZIONE DELLA DIGA NELLA SITUAZIONE ATTUALE

I lavori di adeguamento della diga con la riduzione della sua altezza di circa 52 metri e la costruzione di uno scarico di superficie alla quota di 1705 m. slm hanno ridotto notevolmente il volume originario di progetto e di conseguenza la capacità di laminazione dell'invaso. La capacità utile di invaso è passata dai 70.000.000 mc della situazione di progetto ai 3.600.000 mc della situazione attuale.

Questa nuova configurazione ha generato dal 2015 in poi una serie di attivazioni dello scarico di superficie con conseguente rilascio di portate nel tratto di alveo a valle dello sbarramento sia in occasione di eventi di piena che durante le morbide primaverili.



Fig.A4 - Situazione originaria dello sbarramento con indicazione della riduzione di altezza (linea rossa tratteggiata). Altezza pari a 132 m e Volume utile pari a 70.000.000 mc. (ante 2011)



Fig.A5 - Situazione dello sbarramento durante i lavori di riduzione dell'altezza (anni 2011-2015)



Fig.A6 - Situazione attuale dello sbarramento con altezza pari a 80 metri e Volume utile pari a 3.6000.000 mc. (post 2015)

In questi ultimi anni gli uffici regionali (ufficio dighe, centro funzionale, autorità idraulica competente e protezione civile) in concerto con il gestore hanno istituito un tavolo tecnico per la valutazione dell'influenza che può esercitare, sulla formazione e propagazione dell'onda di piena a valle, il volume accumulabile nell'invaso regolato dalla diga. Tale valutazione è stata effettuata, attraverso studi specifici, al fine di predisporre e sperimentare un piano di laminazione funzionale ad una riduzione del rischio idraulico a valle della diga del Beauregard.

IPOTESI 1: PIANO DI LAMINAZIONE STATICO

La prima ipotesi considerata dal Tavolo tecnico è rappresentata da un piano di laminazione statico che presume di lasciare un certo volume di invaso sempre vuoto, disponibile per accogliere un determinato quantitativo d'acqua, evitando così di scaricarlo a valle durante il possibile evento di piena. Esistono numerosi sbarramenti sul territorio nazionale che hanno già adottato questo tipo di piano di laminazione.

Un dato essenziale per potere valutare il volume utile alla laminazione nel caso di una piena improvvisa sono gli idrogrammi di piena. Si riportano di seguito gli idrogrammi di piena considerati⁴ dal Tavolo tecnico:

⁴ Le curve sono ottenute utilizzando la durata e la forma dell'idrogramma di piena della diga di Beauregard associato ad un tempo di ritorno pari a 1000 anni determinato nel 2007 dal Prof. Ugo Maione nello studio "idrologia di piena" riproporzionate in maniera tale da rispettare i valori di picco ottenuti con la regionalizzazione delle portate disponibile sul portale istituzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta.

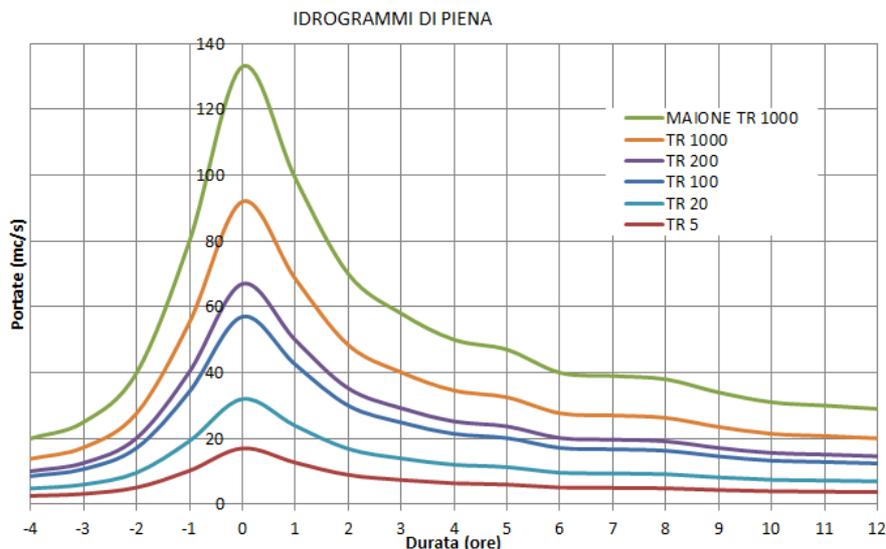


Fig.A7 - Idrogrammi alla diga di Beauregard al variare del tempo di ritorno

Dal grafico di ciascun idrogramma è possibile determinare il volume di piena associato ad ogni tempo di ritorno, corrispondente al volume che è necessario per poter fronteggiare ad un evento alluvionale.

Attraverso la curva livello-invaso di progetto della diga del Beauregard è possibile determinare il “franco statico” (inteso come differenza tra la quota di invaso e la quota di massima regolazione pari a 1705 m slm) che è necessario garantire.

Si riportano nella tabella seguente le quote di invaso alle quali si deve limitare l’esercizio dello sbarramento in maniera tale da poter fronteggiare un evento di piena improvvisa associato ai diversi tempi di ritorno. Come si può vedere dall’analisi dei risultati applicando delle limitazioni di invaso che garantiscono un franco di alcuni metri si riesce a laminare delle piene associate a tempi di ritorno importanti.

Tab.A2 – Quote di invaso alle quali si deve limitare l’esercizio

LIVELLO INVASO m s.l.m.	VOLUME IDROGRAMMA mc/s	TEMPO DI RITORNO anni	FRANCO m	VOLUME DISPONIBILE mc/s
1700,11	2.149.064	1000	4,89	2.149.064
1700,72	1.915.470	500	4,28	1.915.470
1701,64	1.565.078	200	3,36	1.565.078
1702,21	1.331.484	100	2,79	1.331.484
1703,45	747.502	20	1,55	747.502
1704,17	397.111	5	0,83	397.111

A titolo di esempio si riporta il calcolo effettuato nel caso di una piena corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 500 anni (vedi figura seguente). In questo caso il volume dell’idrogramma di piena è pari a quasi 2 milioni di metri cubi. La curva livello-invaso prevede che, per garantire un tale volume di invaso, sia necessario un franco pari a 4,28 metri che corrisponde ad una limitazione della massima quota d’invaso pari a 1700,72 m slm.

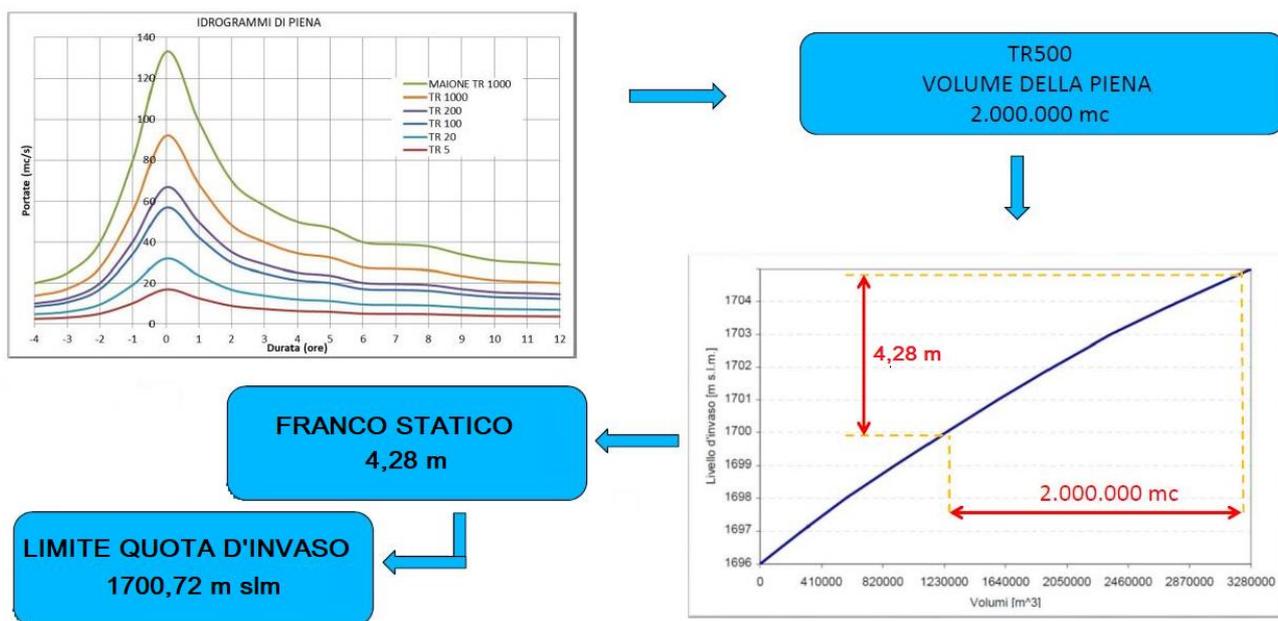


Fig.A8 - Calcolo effettuato nel caso di una piena corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 500 anni

Nella figura seguente si riporta, a titolo esemplificativo, la gestione del livello d'invaso in un anno ordinario come il 2019. Considerando che il livello minimo di esercizio è pari a circa 1696 m slm e che per gran parte dell'anno il livello di invaso è superiore ai 1700 m slm si può concludere che l'applicazione del piano di laminazione statico con la conseguente imposizione delle quote di invaso sopra citate ha sicuramente un impatto negativo limitando fortemente le possibilità produttive, sebbene riesca a laminare completamente eventi di piena con tempi ritorno elevati.

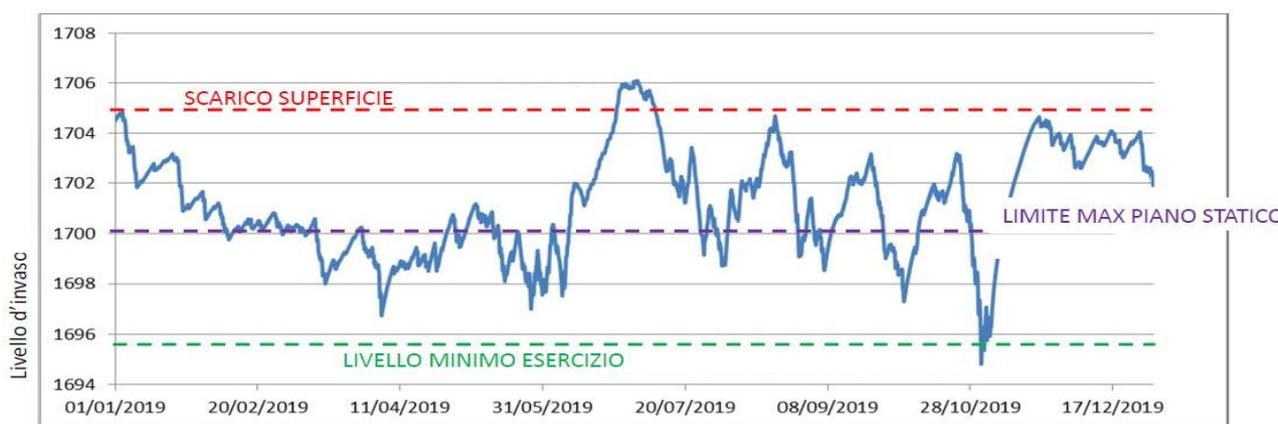


Fig.A9 - Gestione del livello d'invaso in un anno ordinario come il 2019

Il Tavolo tecnico, considerato che in questi ultimi anni di esercizio si sono riscontrati diverse attivazioni dello scarico di superficie nel periodo primaverile, ha deciso di analizzare l'applicazione di un piano statico anche

nel caso di morbide dovute alla fusione nivale. Nello specifico sono state considerate le portate “di morbida”⁵ entranti nell’invaso generato dalla diga del Beauregard nei periodi dal 20 maggio al 20 luglio di ogni anno dall’anno 2000 all’anno 2016. Già da una prima analisi sono emersi dei volumi d’acqua superiori anche rispetto alla massima capacità utile di invasore.

Sulla base di quanto emerso si può affermare che un piano statico non è sufficiente a garantire la laminazione degli eventi di piena che si verificano durante un periodo di morbida. Il piano statico può garantire la laminazione di un evento di piena o di una morbida primaverile di volume contenuto, ma non rappresenta la soluzione ideale in occasione di morbide eccezionali. Proprio per tale motivo si è deciso di analizzare una nuova procedura di laminazione mista.

IPOTESI 2: PIANO DI LAMINAZIONE STATICO/DINAMICO

Questa ipotesi prevede l’attuazione di un piano dinamico che viene attivato imponendo dei limiti d’invasore solo a seguito di emissione di un bollettino di moderata criticità sulla zona di allerta C⁶ da parte del Centro Funzionale regionale. Durante il “periodo di morbida”⁷, viene applicato un ulteriore piano statico atto a garantire un franco di sicurezza aggiuntivo.

La procedura è stata applicata utilizzando i dati osservati dal 2005 al 2019 con i seguenti risultati.

- durante i “periodi di morbida” il piano di laminazione statico, così come già illustrato nel paragrafo precedente, non è sufficiente a contenere tutto il volume d’acqua afferente all’invasore. Tuttavia, in quasi tutte le 15 morbide analizzate si è riscontrata una notevole laminazione della portata di picco (la portata massima scaricata è circa la metà della massima portata entrante in diga) e una riduzione sostanziale delle ore in cui l’alveo a valle dello sbarramento è sottoposto a portate maggiori di 12 mc/s⁸.
- in occasione degli eventi pluviometrici intensi abbiamo riscontrato una scarsa rispondenza tra le allerte del bollettino di criticità regionale e le piene che effettivamente hanno attivato gli scarichi della diga. Come si può vedere dal prospetto di seguito riportato solo nel maggio 2008 entra in funzione il piano di laminazione correttamente. Nel novembre 2008, nel giugno 2010 e nel novembre 2011 si riscontra una “falsa attivazione” del piano ovvero entra in funzione la procedura vincolando il gestore ad una

⁵ Si possiede la portata misurata in entrata all’invasore della Diga di Beauregard solamente degli ultimi anni, pertanto si è resa necessaria la ricostruzione di un idrogramma sintetico basato sulle portate misurate in bacini simili. In particolare sono state utilizzate le portate misurate nel Torrente Savara dal 2000 in poi e del Torrente Dora di Rhemes dal 2006 in poi.

⁶ La zona di allerta C rappresenta l’area di allertamento a livello regionale in cui è ricompreso il bacino idrografico sotteso dalla diga di Beauregard.

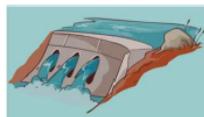
⁷ Si intendono come “morbide” tutti gli eventi non pluviometrici dal 20 maggio al 20 luglio per cui si ha un apporto idrico all’interno dell’invasore di Beauregard superiore a 15 mc/s.

⁸ La portata di 12 mc/s è definita come soglia di attenzione scarico diga, indicatore del probabile approssimarsi di prefigurate esondazioni localizzate nella zona di Darbelley del comune di Valgrisenche.

limitazione d'invaso non necessaria ai fini della laminazione. Nel giugno 2013 invece si evidenzia una più pericolosa "mancata attivazione" del piano.



ALLERTE BOLLETTINO REGIONALE
ALERTE BOULETIN REGIONAL



PIENA IMPORTANTE
CRUE IMPORTANTE

31/05/2008	31/05/2008
03/11/2008	
15/06/2010	
04/11/2011	
	20/06/2013

IPOTESI 3: PIANO DI LAMINAZIONE DINAMICO

In considerazione del fatto che le prime 2 ipotesi di piano di laminazione non forniscono risultati soddisfacenti, il Tavolo tecnico ha deciso sviluppare un piano di tipo dinamico, molto più complesso, implementato specificatamente per il bacino della diga di Beauregard.

Il piano di laminazione dinamico prevede la realizzazione di uno specifico modello matematico in grado di simulare le portate entranti nell'invaso nelle successive 60 ore e di fornire la sequenza di manovre che il gestore deve effettuare sugli organi di scarico della diga, sui canali di gronda che convogliano le acque nell'invaso e sulle turbine dell'impianto al fine di massimizzare l'effetto di laminazione e minimizzare gli scarichi nell'alveo a valle dello sbarramento per contenere gli effetti negativi indotti dal corso d'acqua.

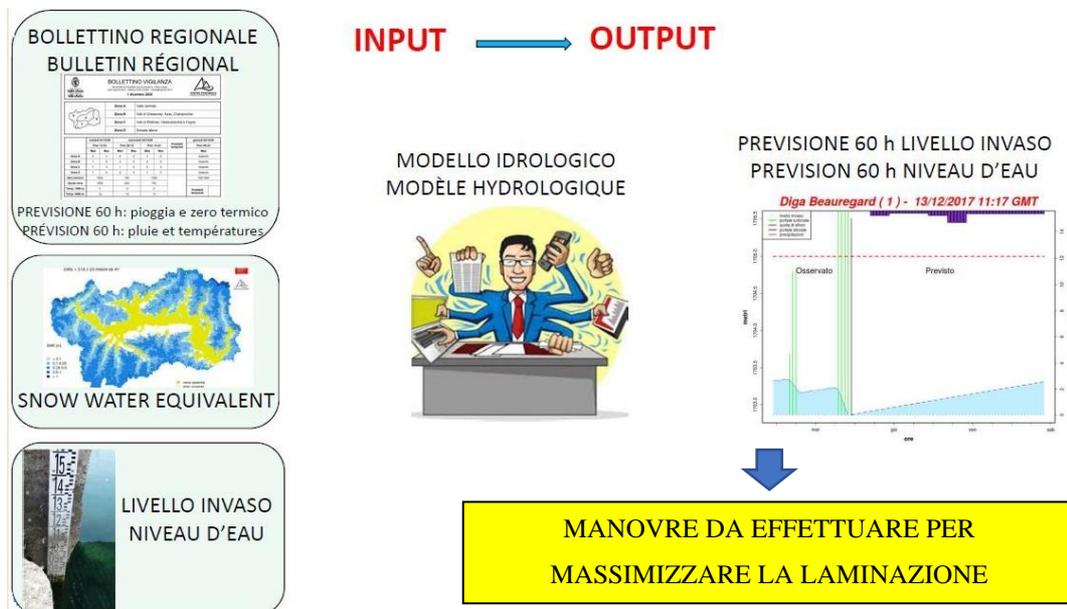
Si riporta di seguito lo schema generale del modello matematico di simulazione che ogni giorno produce una corsa alle ore 12:30.

I parametri in input al modello sono:

- le previsioni di precipitazione, zero termico e limite neve delle successive 60 ore emesse dall'ufficio meteo regionale per la zona di allerta C;
- il quantitativo di Snow Water Equivalent calcolato sul bacino idrografico sotteso dalla diga del Beauregard elaborato a cura dell'Arpa regionale utilizzando le immagini satellitari MODIS;
- il livello di invaso delle precedenti 24 ore dell'invaso della diga;
- le portate turbinate dalla centrale di produzione sita in comune di Avise nelle precedenti 24 ore;

- i dati di temperatura, precipitazione, precipitazione nevosa e umidità degli ultimi 5 giorni nella stazione meteo di Valgrisenche Menthieu⁹.

Il set di dati viene inserito nel modello idrologico¹⁰ che è in grado di simulare le portate entranti nell'invaso nelle successive 60 ore (sia in termini di portata di fusione nivale che in termini di portata proveniente da eventi di precipitazione).



Il modello matematico ricomprende anche un modulo che, fornite le caratteristiche geometriche dell'invaso¹¹ e le caratteristiche degli scarichi della diga¹² di Beauregard, è in grado di simulare la previsione del livello di invaso della diga nelle successive 60 ore.

Il risultato finale fornito dal modello matematico è la configurazione ottimale delle manovre che il gestore deve compiere nelle successive 60 ore (in termini di portate turbinate e di eventuali aperture preventive degli scarichi) al fine di massimizzare la laminazione dell'invaso e minimizzare di conseguenza le portate scaricate nel tratto di alveo a valle della diga, durante un evento pluviometrico intenso o una morbida alluvionale.

Il modello matematico effettua una corsa automatica ogni giorno alle ore 12:30 e, attraverso una piattaforma che è stata predisposta su un portale dedicato, avvisa il gestore e gli enti coinvolti nell'allertamento nel caso di situazioni che richiedono l'attivazione del piano di laminazione.

⁹ La stazione di Valgrisenche Menthieu è gestita dal Centro funzionale regionale ed è situata presso la diga di Valgrisenche in sponda sinistra.

¹⁰ Per la trasformazione afflussi-deflussi è stato implementato e tarato un codice di calcolo che utilizza le formule del metodo SCS-CN.

¹¹ La curva invaso-livello della diga del Beauregard è stata determinata invertendo la curva livello-invaso di progetto e approssimandola ad una curva polinomiale di 5° grado.

¹² L'attivazione dello sfioratore di superficie avviene alla quota di 1705 m slm con delle portate scaricate secondo una curva polinomiale di 4° grado calcolata a partire dai dati forniti dalla relazione generale del 25/05/2009 dell' Ing. Aldo Marcello

Il piano di laminazione, e di conseguenza tutta la sua informatizzazione attraverso la realizzazione del modello matematico, è stato prima calibrato e poi testato su 50 eventi ritenuti significativi¹³ e verificatisi dal 2002 al 2015. Si riporta di seguito l'elenco degli eventi utilizzati in fase di test.

precipitazioni > 65 mm da vigilanza e zt > 2000						portata entrante > 10 mc/s oltre morbida			
		portata reale	evento	portata sfior laminata	iniziale		portata reale	evento	portata sfior laminata
19	15/04/2005	0	no		1701,26				
20	23/04/2005	0	no		1700,96	03/11/2004	0	no	
21	16/05/2005	0	no		1701	16/09/2006	0	no	
22	08/09/2005	0	no		1700	15/09/2015	0	no	
23	19/02/2006	0	no		1703,7	04/09/2011	0	no	
24	24/02/2006	0	no		1704	15/10/2008	13,94	si	6,5
25	03/03/2006	0	no		1704,2				
26	10/05/2006	0	no		1698				
27	08/12/2006	0	no		1701				
28	01/03/2007	0	no		1704				
29	25/05/2007	0	no		1700,5				
1	02/11/2008	0	no		1698				
2	15/12/2008	0	no		1701				
3	01/04/2009	0	no		1698				
4	26/04/2009	0	no		1699,8				
5	04/05/2010	0	no		1699				
6	31/10/2010	0	no		1698				
7	15/11/2010	0	no		1698				
8	15/12/2011	0	no		1701				
9	27/11/2012	0	no		1699				
10	28/04/2013	0	no		1698,5				
11	05/05/2013	0	no		1699				
12	15/05/2013	0	no		1700				
13	22/05/2014	0	no		1701				
14	14/06/2014	0	no		1702,4				
15	28/07/2014	0	no		1700,5				
16	04/11/2014	0	no		1698				
17	09/08/2015	0	no		1699				
18	15/08/2015	0	no		1701,7				

morbide			
anno	portata reale	evento	portata sfior laminata
2001 mor	7,82	si	6,14
2002 mor	8,55	si	5,07
2003 mor	3,06	no	
2004 mor	no	no	
2005 mor	no	no	
2006 mor	no	no	
2007 mor	no	no	
2008 mor	20,95	si	9
2009 mor	2,6	no	
2010 mor	2	no	
2011 mor	0	no	
2012 mor	1	no	
2013 mor	8,5	si	5,9
2014 mor	0	no	
2015 mor	3,8	no	

DAL 2008 PORTATA ENTRANTE BEAUREGARD
FINO AL 2008 1,56 X RHEMES

Dal 2018 al 2022 il sistema è stato sperimentato con successo e utilizzato quotidianamente in via sperimentale per la gestione dell'invaso della diga di Beauregard in accordo con il gestore e gli enti coinvolti nel Tavolo tecnico.

Negli ultimi 2 anni sono state apportate alcune migliorie alla piattaforma web (vedasi di seguito la pagina iniziale) di interfaccia del piano di laminazione anche al fine di ottimizzare le comunicazioni e prevedere l'approssimarsi di una fase di allerta prevista dal Documento di protezione civile (allegato al foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga). La piattaforma permette anche di effettuare alcune simulazioni off-line per valutare e simulare alcune manovre volontarie (movimentazioni degli organi di scarico, portate turbinate, chiusure dei canali di gronda...) diverse da quelle previste dal piano di laminazione in maniera da poterne valutare gli effetti nell'alveo di valle.

¹³ Per l'individuazione degli eventi sono stati considerati: i periodi di morbida di ciascun anno - gli eventi pluviometrici con precipitazioni registrate superiori a 65 mm/12 ore e quota zero termico superiore a 2000 m slm - gli eventi con portata entrante in diga > 10 mc/s che non rientravano nei precedenti parametri.



Si riporta nelle pagine che seguono la bozza del “piano di laminazione” predisposta dal Tavolo tecnico così come sperimentata in questi anni dal 2018 al 2022 utilizzando l’interfaccia web sopra illustrata.

DIGA DI BEAUREGARD IN COMUNE DI VALGRISENCHÉ
BOZZA DEL PIANO DI LAMINAZIONE PREVENTIVO
(Direttive P.C.M. 27/02/2004 e 08/07/2014)

PREMESSA

Il presente Piano di laminazione (di seguito: “Piano”) disciplina l’utilizzo antipiena del serbatoio artificiale di Beauregard in comune di Valgrisenche (AO) (di seguito: “Diga”) in attuazione della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2004 e successive modificazioni, recante “Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile” (di seguito: “Direttiva”), della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri dell’8 febbraio 2013, recante “Indirizzi operativi per l’istituzione dell’Unità di comando e controllo del bacino del fiume Po ai fini del governo delle piene, nonché modifiche e integrazioni alla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2004 e successive modificazioni” (di seguito: “Direttiva Po”), nonché della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri dell’8 luglio 2014 “Indirizzi operativi inerenti l’attività di protezione civile nell’ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe”.

Il Piano è stato predisposto dalla Regione Valle d’Aosta (di seguito: “Regione”) con il concorso tecnico delle Strutture regionali Opere idrauliche, Centro funzionale regionale e del Dipartimento Protezione civile e vigili del fuoco e d’intesa con il gestore della Diga – C.V.A. S.p.a. a s.u. (di seguito: “Gestore”).

Il Piano è stato predisposto tenendo conto degli atti e degli studi di seguito indicati, che hanno consentito di valutare l’influenza che possono esercitare i volumi idrici accumulabili nell’invaso sulla formazione e propagazione dell’onda di piena a valle:

- Foglio Condizioni per l’esercizio e la manutenzione della diga di Beauregard sul torrente Dora di Valgrisenche (di seguito: F.C.E.M.);
- Documento di protezione civile per la diga di Beauregard;
- Progetto esecutivo del nuovo scarico di superficie della diga di Beauregard (anno 2009, a firma dell’ing. Claudio Marcello)
- Studio di fattibilità degli interventi di sistemazione idraulica della Dora di Valgrisenche a valle della diga, sino alla confluenza nella Dora Baltea (anno 2004, Hydrodata S.p.a.)
- Studio sull’idrologia di piena di cui all’ordinanza m. 3530/06 del Commissario delegato (2007, Prof. Ing. Ugo Maione)
- Analisi idraulica delle piene artificiali di cui alla circolare Min. LL.PP. n. 352/87 (anno 2012, Hydrodata S.p.a.)

- Regionalizzazione delle precipitazioni e delle portate e l'implementazione di modellistica idrologica - idraulica per la previsione del rischio idrogeologico (Centro funzionale regionale)

Sulla base di detti atti e studi la Diga è individuata quale invaso effettivamente utile alla laminazione delle piene a livello locale e quindi ad una riduzione del rischio idraulico per i territori immediatamente a valle.

Il Piano disciplina nei casi previsti la regolazione dei deflussi da parte del Gestore ed è trasmesso al Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri, all'Autorità di Bacino del fiume Po, all'U.T.G., ai comuni di Valgrisenche, Arvier e Villeneuve.

Lo scopo del Piano è la definizione delle misure e delle procedure da adottare in caso di piena, prevista o in atto, per la regolazione dei deflussi secondo le Direttive sopra richiamate; dette misure e procedure sono finalizzate prioritariamente, nel rispetto delle previsioni progettuali delle opere, a tutelare la vita, l'integrità fisica, i beni, gli insediamenti, gli animali e l'ambiente dai danni o dal pericolo di danni derivanti da eventi calamitosi di origine naturale o derivanti dall'attività dell'uomo.

Obiettivo del Piano, tenuto anche conto delle ipotesi idrologiche di progetto della Diga, è ridurre il rischio idraulico a valle, nel territorio di Valgrisenche, fino a valori compatibili con le attuali sistemazioni idrauliche, anche per eventi di piena, che potrebbero affluire alla sezione di sbarramento.

L'Amministrazione comunale dovrà in ogni modo verificare che il piano di Protezione civile comunale sia congruente con le disposizioni contenute nel presente piano ed eventualmente adeguarlo.

PIANO DI LAMINAZIONE

La previsione meteo-idrologica viene quotidianamente condivisa tra Regione e Gestore attraverso una procedura operativa concordata tra le parti e pubblicata su uno specifico sistema di condivisione.

Ai fini della laminazione il sistema previsionale produce un output con 4 “segnali” possibili per il successivo periodo di previsione:

0. Situazione ordinaria;
1. Attuazione piano di laminazione – fase 1: previsione di apporti in diga tali da richiedere una portata media di derivazione dalla diga pari ad almeno $5 \text{ m}^3/\text{s}$;
2. Attuazione piano di laminazione – fase 2: previsione di apporti in diga tali da richiedere la massima portata di derivazione dalla diga.
3. Attuazione Piano di laminazione – fase 3 - previsione di apporti in diga tali da richiedere, attraverso l'emissione del “Bollettino analisi rischio idraulico a valle della diga”, la massima portata di derivazione dalla diga, e l'apertura degli scarichi di fondo per un valore pari a quello indicato nel bollettino;

Attuazione Piano di laminazione – Preallerta per rischio idraulico: attuata dal gestore nell'ambito della fase 3 al raggiungimento (in previsione o all'inizio delle operazioni di scarico) di una portata complessivamente scaricata pari o superiore a $9 \text{ m}^3/\text{s}$. In tal caso deve essere mantenuta la massima portata di derivazione dalla diga.

Attuazione Piano di laminazione – Allerta per rischio idraulico: attuata dal gestore nell'ambito della fase 3 al raggiungimento di una portata complessivamente scaricata pari o superiore alla Q_{\min} ($12 \text{ m}^3/\text{s}$). In tal caso provvede a mantenere la massima portata di derivazione dalla diga.

Nel periodo di morbida (maggio – agosto), la “massima portata di derivazione dalla diga” (di cui alle fasi 2 e 3 del piano di laminazione), garantita attraverso la chiusura delle prese sussidiarie (gronde di Miolet, Orfeuille e Planaval), è pari a $15,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nei restanti periodi dell'anno la “massima portata di derivazione dalla diga” è di circa $14 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le manovre richieste dal piano di laminazione non possono comportare il rilascio attraverso lo scarico di fondo di una portata superiore a $12 \text{ m}^3/\text{s}$, in quanto pari al valore di Q_{\min} come definito nel Documento di protezione civile.

L'attivazione delle fasi del piano di laminazione relative al rischio idraulico per il territorio di valle di cui ai successivi articoli 3, 5 e 7 fa riferimento ai segnali contenuti nel sistema previsionale per “l'analisi rischio idraulico a valle delle dighe”, effettuato a cura del Centro funzionale regionale e condiviso col Gestore della Diga e ai dati di monitoraggio acquisiti dal Gestore.

ART. 1

(Programma di laminazione dinamico)

Ai sensi della Direttiva il Piano, tenuto anche conto degli eventi registrati in passato, delle esigenze di utilizzazione idroelettrica della risorsa idrica, delle caratteristiche del bacino idrografico sotteso, della curva livello-invaso del serbatoio (secondo la curva allegata al F.C.E.M.) e dei tempi di svuotamento del serbatoio (secondo la curva allegata al F.C.E.M.), ha carattere di programma dinamico ai sensi della Direttiva, secondo la disciplina di cui agli articoli da 2 a 7.

Le azioni e manovre previste sono state definite in base:

- alle previsioni meteorologiche emanate dal Centro funzionale regionale attraverso il “bollettino di vigilanza”;
- alle caratteristiche degli organi di scarico della diga e dimensionali del serbatoio;
- allo studio di analisi delle diverse regole di gestione con riferimento a scenari di piena sintetici e reali;
- allo sviluppo di un modello idrologico per la previsione delle portate attese in diga, condotto in collaborazione tra Ufficio dighe regionale e Centro funzionale regionale, a seguito del quale è stata elaborata specifica procedura di laminazione;
- alla sperimentazione della procedura per il periodo da maggio 2017 a ottobre 2019;
- all'attuale organizzazione del sistema di protezione civile regionale.

Le operazioni di svasso preventivo, di mantenimento, di ripristino e, in generale, di regolazione dei livelli, sono effettuate dal Gestore sulla base della migliore esperienza tecnico-gestionale maturata nel corso dell'esercizio della Diga,

secondo le disposizioni del Piano o dettate in corso di evento dalla Regione Valle d'Aosta sulla base delle valutazioni dell'Unità di comando e controllo regionale (U.C.C.R.).

I livelli di invaso indicati dal Piano sono ordinariamente raggiunti e mantenuti mediante l'utilizzo principale dell'opera di derivazione e secondariamente dello scarico di fondo.

ART. 2

(Sistema di previsione delle fasi del piano di laminazione)

Quotidianamente, entro le ore 14, il Centro Funzionale regionale emette il "segnale" di previsione valido per il periodo di previsione.

Ai fini dell'attivazione delle fasi del piano di laminazione di cui ai successivi articoli 3, 5 e 7 si fa riferimento ai segnali, di cui alle premesse, contenuti nel sistema di condivisione. Mentre l'attivazione della "preallerta per rischio idraulico" e della "allerta per rischio idraulico" di cui agli artt. 9 e 11 è effettuata direttamente dal Gestore sulla base dei dati di monitoraggio.

ART. 3

(Attuazione piano di laminazione: fase 1)

Qualora la previsione, di cui all'art. 2, effettuata a cura del Centro funzionale regionale, preveda un segnale "1", il Gestore della diga attiva la "fase 1", attraverso il sistema di condivisione, secondo le procedure concordate.

ART. 4

(Svaso in attuazione della fase 1 del piano di laminazione)

Il Gestore, entro 2 ore dal ricevimento della previsione con segnale "1", attiva le procedure e le azioni per:

- effettuare le verifiche preventive previste dallo specifico sistema di condivisione;
- garantire una portata media di derivazione dalla diga pari ad almeno 5 mc/s
- effettuare le comunicazioni previste dallo specifico sistema di condivisione.

ART. 5

(Attuazione piano di laminazione: fase 2)

Qualora la previsione, di cui all'art. 2, effettuata a cura del Centro funzionale regionale, preveda un segnale "2", il Gestore della diga attiva la "fase 2", attraverso il sistema di condivisione, secondo le procedure concordate.

ART. 6

(Svaso in attuazione della fase 2 del piano di laminazione)

Il Gestore, entro 2 ore dal ricevimento della previsione con segnale "2", attiva le procedure e le azioni per:

- effettuare le verifiche preventive previste dallo specifico sistema di condivisione;
- garantire la massima portata di derivazione dalla diga;
- effettuare le comunicazioni previste dallo specifico sistema di condivisione.

ART. 7

(Attuazione piano di laminazione: fase 3)

Qualora la previsione, di cui all'art. 2, preveda un segnale "3", il Centro Funzionale regionale, secondo le modalità vigenti del sistema di allertamento regionale, trasmette il "Bollettino analisi rischio idraulico a valle della diga" al Gestore della diga il quale attiva la "fase 3".

ART. 8

(Svaso in attuazione della fase 3 del piano di laminazione)

Il Gestore, entro 2 ore dal ricevimento del “Bollettino analisi rischio idraulico a valle della diga” con segnale “3”, attiva le procedure per:

- effettuare le verifiche preventive previste dallo specifico sistema di condivisione;
- garantire la massima portata di derivazione dalla diga;
- aprire lo scarico di fondo della quantità prevista dal “Bollettino analisi rischio idraulico a valle della diga”;
- effettuare le comunicazioni previste dallo specifico sistema di condivisione;

Il Gestore, in occasione dell’attivazione dello scarico di superficie attiva le procedure per la progressiva chiusura degli scarichi di fondo.

ART. 9

(Attuazione piano di laminazione: PREALLERTA rischio idraulico)

Qualora le portate scaricate (in previsione o all’inizio delle operazioni di scarico) siano uguali o superiori a 9 mc/s il Gestore della diga attiva la fase di “Preallerta per rischio idraulico”.

ART. 10

(in attuazione della Preallerta rischio idraulico)

In tale situazione il Gestore è tenuto a:

- garantire la massima portata di derivazione dalla diga;
- osservare, per quanto applicabili, gli obblighi previsti per la fase di “Preallerta per rischio idraulico” e “Preallerta per rischio diga” di cui al Documento di Protezione civile (cfr. rispettivamente paragrafi 3.1.2 e 2.1.2)

ART. 11

(Attuazione piano di laminazione: ALLERTA rischio idraulico)

Qualora le portate scaricate siano uguali o superiori a 12 m³/s il Gestore della diga attiva la fase di “Allerta per rischio idraulico”.

ART. 12

(in attuazione della Allerta rischio idraulico)

In tale situazione il Gestore è tenuto a:

- garantire la massima portata di derivazione dalla diga;
- osservare, per quanto applicabili, gli obblighi previsti per la fase di “Allerta per rischio idraulico” di cui al Documento di Protezione civile (cfr. paragrafo 3.2.2).

ART. 13

(Fasi di laminazione della piena)

Il Gestore, in caso di evento di piena conseguente all’attivazione delle situazioni di cui agli articoli 3, 5, 7, 9 e 11 si attiene alle regole ordinarie di laminazione di cui agli articoli 4, 6, 8, 10 e 12.

Il Gestore, sulla base anche dei dati di monitoraggio di cui all’art. 16, può motivatamente proporre all’U.C.C.R., differenti modalità di regolazione dei deflussi finalizzate alla migliore laminazione della piena e gestione della risorsa idrica, fermo restando l’obbligo di attenersi alla regola ordinaria fino a diversa disposizione del Prefetto, sulla base delle valutazioni dell’U.C.C.R..

Sulla base delle valutazioni effettuate dall’U.C.C.R., possono essere imposte al Gestore, in qualsiasi momento, manovre diverse rispetto a quelle previste agli articoli 4, 6, 8, 10 e 12.

ART.15

(Termine dell’evento di laminazione)

Il termine di ciascun evento di laminazione, ai fini del presente Piano, coincide con la concomitante condizione di fase calante della piena e ritorno al segnale “0”.

ART. 16

(Monitoraggio meteo-idrografico e aggiornamenti del Piano)

Le informazioni idrologiche e idrauliche in tempo reale acquisite dal Gestore, integrate con i dati di monitoraggio meteo-idrografico e gli aggiornamenti previsionali dei livelli della diga messi a disposizione dal Centro Funzionale regionale, costituiscono una componente del sistema di supporto alle decisioni del Gestore per la gestione della Diga in caso di piena.

Il Gestore è tenuto a rilevare continuamente le variazioni dei livelli idrometrici dell'invaso e delle portate scaricate a valle diga al fine di attivare le fasi di laminazione ed a mettere a disposizione tali dati, in continuo, secondo un protocollo condiviso, al Centro Funzionale regionale.

Dopo ogni evento di laminazione il Gestore dovrà raccogliere e mettere a disposizione dell'U.C.C.R. tutti i dati idrologici ed idraulici (precipitazioni, livelli di invasore, portate affluite e defluite) nonché le manovre effettuate con lo scarico di fondo per la ricostruzione e caratterizzazione dell'evento, secondo le disposizioni del F.C.E.M., anche ai fini di eventuali proposte di modifica al Piano.

Il Piano, avente in prima applicazione valenza anche sperimentale, sarà oggetto di revisione entro 3 anni dall'entrata in vigore.

ART. 17

(Norme finali)

Ai sensi di quanto previsto dalla Direttiva P.C.M. 8 febbraio 2013, il Documento di protezione civile e il F.C.E.M. della Diga di Beauregard devono intendersi modificati ed integrati con le disposizioni del presente Piano.

8.3 Casi di studio Enel Green Power

A cura di Stefano Savio

Laminazione statica

Di seguito si riportano i punti salienti delle delibere di adozione delle misure di salvaguardia finalizzate all'utilizzo dei serbatoi per la laminazione delle piene del fiume Brenta e Piave in atto dai primi anni 2000 in alcuni serbatoi di Enel Produzione

- *Diga del Corlo*

Dalla Delibera n.2 del 03.03.2004 Allegato 2B dell'Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione.

“... ”

ART. 7 - NORME PER L'USO DEI SERBATOI IDROELETTRICI AI FINI DELLA LAMINAZIONE DELLE PIENE

Allo scopo di perseguire gli obiettivi della sicurezza idraulica dei territori montani e vallivi del bacino del Brenta, sono adottate, nel rispetto delle previsioni del P.A.I., misure finalizzate a mantenere la compatibilità dell'utilizzazione del bacino idroelettrico del Corlo con le esigenze di sicurezza idraulica, di prevenzione del rischio idraulico e di moderazione delle piene del torrente Cison.

- a. Per conseguire le predette finalità nel periodo 15 settembre - 30 novembre, è fondamentale principio di precauzione il mantenimento del livello dell'acqua nel bacino idroelettrico del Corlo a quota non superiore a 252 m s.l.m., salvo il verificarsi durante detto periodo di eventi di piena.
- b. Le eventuali operazioni di svasso controllato del bacino hanno inizio a partire dal 1° settembre, salvo la possibilità, da parte dell'Amministrazione regionale del Veneto, di posticipare di alcuni giorni – non più di sette – tale data nel caso in cui le previsioni meteorologiche non evidenzino alcuna perturbazione di rilievo.
- c. Le operazioni di svasso devono essere eseguite progressivamente mediante manovre ordinarie, previste dal vigente foglio condizioni e secondo le modalità stabilite dall'Amministrazione regionale del Veneto di concerto con il competente Registro Nazionale Dighe.
- d. I soggetti gestori forniscono all'Amministrazione regionale del Veneto tutti i dati necessari per verificare l'efficacia nel tempo delle azioni non strutturali sopra descritte” ...

- *Diga di Pieve di Cadore e Diga di Bastia (lago di S. Croce)*

Dalla Delibera n.2 del 03.03.2004 Allegato 2A, dell'Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione.

“... ”

ART. 7 - NORME PER L'USO DEI SERBATOI IDROELETTRICI AI FINI DELLA LAMINAZIONE DELLE PIENE

1. Allo scopo di perseguire gli obiettivi della sicurezza idraulica dei territori montani e vallivi del bacino del Piave, sono adottate nel rispetto delle previsioni di piano, misure finalizzate a mantenere la compatibilità dell'utilizzazione dei bacini idroelettrici di Pieve di Cadore e di S.Croce con le esigenze di sicurezza idraulica, di prevenzione del rischio idraulico e di moderazione delle piene del fiume Piave.
2. Per conseguire le predette finalità nel periodo 15 settembre - 30 novembre, è fondamentale principio di precauzione il mantenimento del livello dell'acqua nei bacini idroelettrici di Pieve di Cadore e di S. Croce, rispettivamente a quota non superiore a 667 m.s.l.m. e 381 m.s.l.m., salvo il verificarsi durante detto periodo di eventi di piena.
3. Le eventuali operazioni di svasso controllato dei bacini hanno inizio a partire dal 1° settembre, salvo la possibilità da parte dell'Amministrazione regionale del Veneto di posticipare, di alcuni giorni - non più di sette - tale data, nel caso in cui le previsioni meteorologiche non evidenziano alcuna perturbazione di rilievo.

4. Le operazioni di svasso devono essere eseguite progressivamente mediante manovre ordinarie, previste dai vigenti fogli condizioni e secondo le modalità stabilite a tal fine dall'Amministrazione regionale del Veneto di concerto con il competente Registro Italiano Dighe.

5. I soggetti gestori forniscono all'Amministrazione regionale del Veneto tutti i dati necessari per verificare l'efficacia nel tempo delle azioni non strutturali sopra descritte.

Considerazioni critiche sui Piani di Laminazione Statica del Brenta e del Piave

Di seguito alcune considerazioni critiche sui PdL di tipo statico attivi sulle dighe di Enel Produzione. Tali considerazioni sono frutto dell'esperienza maturata nel corso degli anni di esercizio.

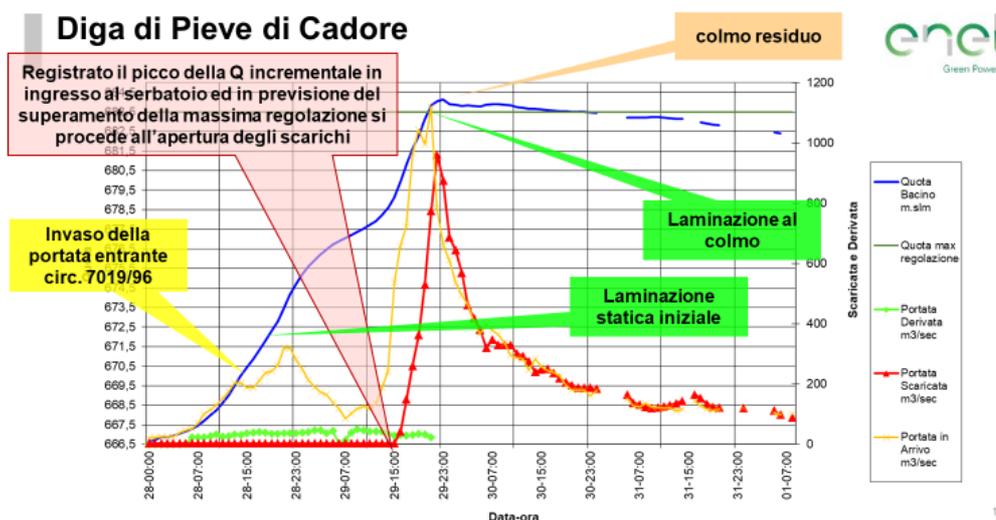
Pregi della laminazione statica

La *laminazione statica* è la misura più efficace ed immediata per la salvaguardia dei territori a valle del serbatoio, non dovendosi operare costosi interventi strutturali di arginature e/o difese spondali del corso d'acqua: viene definito un periodo – tipicamente il periodo autunnale dove statisticamente avvengono i principali eventi di piena – e impostata una limitazione preventiva della quota di invaso.

Al verificarsi dell'evento di piena, questa viene trattenuta, per quanto possibile, nel volume reso disponibile nel serbatoio contenendo gli effetti a valle. In Figura A1 sottostante il grafico della laminazione dell'idrogramma di piena operata dal serbatoio di Pieve di Cadore in occasione della “tempesta VAIA” di fine ottobre 2018.

Può essere applicata a qualunque serbatoio, indipendentemente o meno che la diga sia dotata di adeguati organi profondi di scarico, dovendosi esclusivamente procedere all'invaso del volume reso disponibile sino al raggiungimento della sua capacità.

Nel caso dei serbatoi di Pieve di Cadore, di S.Croce e del Mis, durante l'evento di piena le portate vengono trattenute sino al raggiungimento della quota di massima regolazione in prossimità della quale si procede alla graduale apertura degli organi di scarico per contenere l'invaso entro la quota di massimo invaso, ai sensi della Circolare 19/3/96 n. 7019 “Barberi”.



13

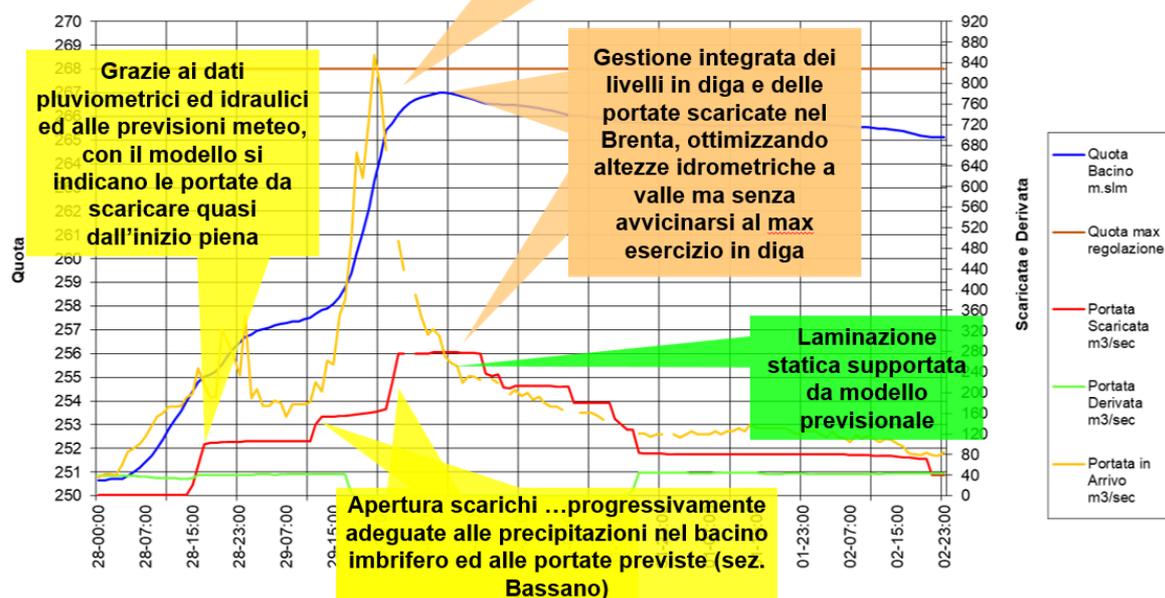
Fig. A9 - Diga di Pieve di Cadore – Laminazione statica operata durante la tempesta VAIA di Ottobre 2018

Difetti della laminazione statica

A fronte della immediatezza della misura, la laminazione statica presenta per il Gestore dell'invaso - e per l'invaso stesso - una serie di problematiche e criticità:

- trovandosi l'invaso, al verificarsi dell'evento di piena, a quota limitata viene notevolmente favorito e incrementato l'interrimento delle aree prossime alla diga;
- per raggiungere il livello di laminazione imposto, con passi di svaso compatibili con l'esercizio in sicurezza del serbatoio, l'impianto viene di norma gestito a "fluente" e quindi non può rispondere alle esigenze di rete e/o partecipare alla borsa dell'energia, con un sensibile danno economico per il gestore;
- non è una misura immediatamente riproducibile: al verificarsi di un secondo evento di piena, nel medesimo periodo, il serbatoio generalmente non si trova più prossimo alla quota di laminazione, ma piuttosto prossimo alla quota di massima regolazione, senza aver più a disposizione il prefissato volume e pertanto con una residua minima capacità di laminazione; diverso il caso in cui alla laminazione statica venga associato un modello previsionale che consenta all'Autorità di disporre dell'apertura preventiva degli scarichi per mantenere il più possibile un volume a disposizione in previsione di un successivo picco dell'evento o del perdurarsi dell'evento medesimo. In Figura A2 seguente il grafico della laminazione operata dal serbatoio del Corlo durante la tempesta VAIA. Nel caso di questo serbatoio, durante l'evento, la laminazione statica è stata supportata anche da un modello previsionale.

Invaso del Corlo



3

Fig. A10 - Diga del Corlo - Laminazione statica supportata da modello previsionale durante la tempesta VAIA di Ottobre 2018

- generalmente la misura viene adottata per invasi progettati per finalità tipicamente *idroelettrico-irriguo*, quindi sostanzialmente per essere gestiti con livelli idrici prossimi alla massima regolazione e dunque con scarichi principali in sommità e modesti scarichi profondi.

Considerando i due bacini del Mis e del Corlo, equivalenti per capacità del serbatoio e volume iniziale disponibile, durante l'evento di Vaia del 2018 è immediato verificare come la disponibilità di un modello previsionale per il Corlo abbia consentito di rendere disponibile un volume residuo di laminazione per un successivo evento (Fig. A11) a maggior garanzia della sicurezza dei territori di valle.

Mis e Corlo a confronto

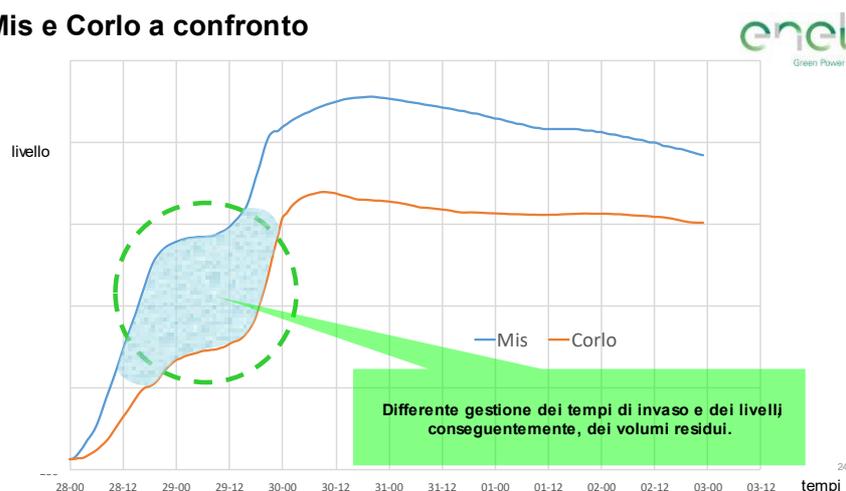


Fig. A11 – Livelli idrici dei laghi del Mis e del Corlo a confronto durante la tempesta VAIA di ottobre 2018

Non solo, ma il modello previsionale ha consentito anche l’ottimizzazione delle portate di scarico: contenute nelle fasi iniziali della piena e quasi azzerate al colmo della piena, come risulta evidente dal confronto delle curve di scarico dei bacini di Pieve e Corlo, sempre durante l’evento Vaia del 2018 (Fig. A4)

Pieve e Corlo a confronto

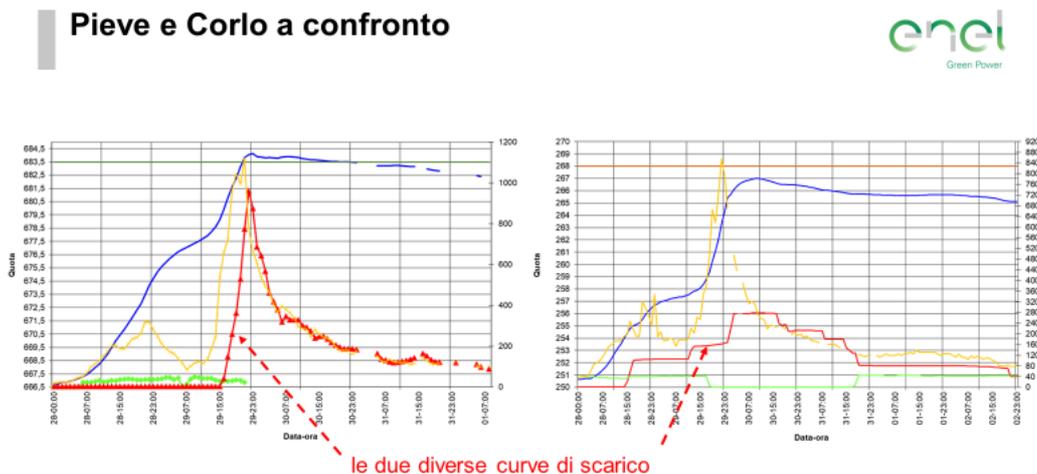


Fig. A12 – Onde di piena scaricate dagli invasi di Pieve di Cadore e dal Corlo durante la tempesta VAIA. È evidente la migliore laminazione operata dal serbatoio del Corlo dovuta all’utilizzo di un modello previsionale

Altri esempi di laminazione

- **Diga di Rochemolles**

I contenuti del PdL di Rochemolles sono riportati nella Tab.A3 seguente:

Tab.A3 – Sintesi del PdL della diga di Rochemolles

Allerta	Quota neve e dati di monitoraggio	Livello INIZIALE idrico diga	Livello TARGET (1)	Cosa deve fare il Gestore	Fase di allerta relativa alla sicurezza della diga (vedi DPC)
Allerta arancione	inferiore a 2000 msm	qualunque		nulla	
Allerta arancione	superiore a 2000 msm *	> 1972,68 m.s.m. (50 cm)	= 1972,68 m.s.m. (50 cm sotto la Quota Massima di Regolazione)	derivazione aperta (3,4 m3/s) o apertura scarichi per egual portata	Preallarme per laminazione
Allerta rossa	inferiore a 2000 msm	qualunque		nulla	
Allerta rossa	superiore a 2000 msm *	> 1972,43 m.s.m. (75 cm sotto la Quota Massima di Regolazione)	1972,43 m.s.m. (75 cm sotto la Quota Massima di Regolazione)	derivazione aperta (3,4 m3/s) o apertura scarichi per egual portata	Allarme per laminazione Preallerta rischio idraulico a valle
Nessuna allerta, ma precipitazione intensa localizzata e concomitanti rilevanti apporti per scioglimento nivale	incremento del livello lago di circa 25 cm/h ** (con qualsiasi portata derivata)	> 1972,68 m.s.m. (50 cm sotto la Quota Massima di Regolazione)	= 1972,68 m.s.m. (50 cm sotto la Quota Massima di Regolazione)	derivazione aperta (3,4 m3/s) E apertura scarichi, fino ad un massimo della Q defluita a valle pari alla Qmin	Laminazione dinamica Preallerta rischio idraulico a valle
Nessuna allerta, ma precipitazione intensa localizzata		prossimo alla Quota Massima di Regolazione (1973,18 msm)	= 1972,68 m.s.m. (50 cm sotto la Quota Massima di Regolazione)	derivazione aperta (3,4 m3/s) E apertura scarichi, fino ad un massimo della Q defluita a valle pari alla Qmin	Laminazione dinamica Preallerta rischio idraulico a valle

* Apporto idrico dello scioglimento nivale non tenuto in considerazione;

** Possibile segnalatore di arrivo di portata poco superiore a duecentennale

(1) Il livello target è da raggiungere entro 12 ore.

Nel piano di laminazione di Rochemolles si specifica che “..in caso di incremento delle portate in arrivo alla diga (fase crescente dell’evento di piena) successivo all’attivazione delle fasi di pre-allarme o allarme, il Gestore manovrerà gli scarichi in maniera tale da non superare la quota di sfioro posta a 1973,18 provvedendo a scaricare, nella fase crescente, una portata minore a quella entrante; nella fase decrescente la portata scaricata non deve superare quella massima scaricata nella fase crescente.”

- Diga di Corbara

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: tra questi territori beneficiari rientra anche la città di Roma.

Da considerare che il PdL di Corbara deve tenere in considerazione anche le condizioni di fiume Paglia che si immette nel Tevere più a valle di Corbara con l’obiettivo di sfalsare i picchi di piena dei due fiumi.

Il PdL relativo a questa diga prevede sia un programma statico che uno di tipo dinamico. Il PdL attuale è il risultato di un processo di revisione di un precedente PdL, maggiormente improntato alla laminazione statica, operato a seguito di una proposta avanzata dal Gestore, basata sullo “*Studio sulle modalità alternative di gestione dell’invaso di Corbara ai fini della laminazione ottimale delle piene del Tevere*”, redatto dal prof. Armando Brath nell’ottobre 2020. La proposta è stata esaminata da un ampio Tavolo tecnico composto dai rappresentanti dei vari soggetti coinvolti (Regione Umbria, Regione Lazio, Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Centrale, Dipartimento della protezione civile, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche, Ufficio Tecnico per le Dighe competente e Gestore).

La descrizione più dettagliata del PdL di Corbara è riportata nel seguito ed è costituita da stralci tratti da “*Aggiornamento del piano di laminazione della diga di Corbara e procedure operative per la gestione delle piene sull’asta del fiume Tevere a valle della diga di Corbara*”, *Bollettino Ufficiale della Regione Lazio n.46 del 31-05-2022*.

“

...

La diga di Corbara è situata nel territorio della Regione Umbria, anche se la sua regolazione produce effetti prevalentemente nel territorio della Regione Lazio. Ciò determina che l’attività tecnica a supporto delle decisioni, ..., debba essere condotta in maniera sinergica e coordinata tra le strutture tecniche di entrambe le Regioni, ciascuna per la parte di propria competenza, oltre che con il gestore dell’invaso, e con il supporto del CFC del DPC, in conformità alla Direttiva P.C.M del 2004, in quanto le attività presentano aspetti sovraregionali.

È necessario quindi definire un criterio operativo in base al quale, con un anticipo definito in base al tempo di preannuncio al quale si ritiene ragionevolmente certa la previsione dell’arrivo di una piena alla sezione di Corbara (da 12 a 48 ore prima) dare inizio alle operazioni di svasso controllato preventivo dalla diga. ... I vincoli presenti, ..., riguardano in particolare la massima portata transitabile a valle e la condizione di non superamento della massima velocità di riduzione dei livelli di invaso in funzione della stabilità delle sponde. Oltre a queste condizioni, sono da considerare la necessità di sfasare i picchi di piena tra Tevere e Paglia, la cui durata tipica della fase ascendente di piena è mediamente di 30 ore, nonché il regime idraulico del Fiume Nera che influenza lo scenario di rischio idraulico del Fiume Tevere immediatamente a valle di Orte.

....

Piano di laminazione 2021

*L’obiettivo del piano di laminazione della diga di Corbara è **minimizzare le portate nei tratti più critici dell’alveo a valle della diga**, tenendo conto delle portate compatibili con l’alveo a valle anche attraverso lo sfasamento della portata di piena del Fiume Paglia rispetto a quella del Fiume Tevere sotteso a Corbara.*

...

Le ipotesi alla base del nuovo Piano...sono le seguenti:

L’invaso di Corbara è utilizzabile per una riduzione efficace delle portate a valle, nell’asta principale del Fiume Tevere, solo per eventi di piena con tempi di ritorno inferiori a 50 anni;

- *l’obiettivo del piano di laminazione della diga di Corbara è minimizzare le portate nei tratti più critici dell’alveo a valle della diga (sia nel tratto fluviale immediatamente a valle della diga, sia in quello immediatamente a valle*

della confluenza del Fiume Tevere con il Fiume Paglia) tenendo conto dei valori di soglia delle portate associate agli scenari di criticità idraulica ed ai relativi effetti sul territorio anche attraverso lo sfasamento della portata di piena del Fiume Paglia rispetto a quella del Fiume Tevere sotteso a Corbara;

- in base a tali scenari di criticità idraulica, il valore della massima portata transitabile nei tratti più critici dell'asta principale viene fissato a 800 m³/s;
- il **piano di laminazione deve prevedere sia un programma di laminazione statico che un programma di laminazione dinamico**, anche in considerazione del possibile verificarsi di successivi picchi di piena;
- **programma di laminazione statico per un volume fino a circa 55 Mm³** compreso tra la quota di massima regolazione (138,0 m s.l.m. e la quota d'invaso pari a 132,00 m s.l.m. (Tabella 1);
- **programma di laminazione dinamico per un volume fino a circa 30 Mm³** che tiene conto delle attività di previsione e monitoraggio svolte dai due CFD e viene attuato dal Gestore secondo le specifiche descritte nelle successive procedure operative (Tabella 1);
- i benefici in termini di laminazione conseguibili aumentano consentendo rilasci anche nella fase crescente di piena di portate superiori alla portata entrante purché compatibili con le portate transitabili nell'alveo a valle dell'invaso;
- per raggiungere il livello statico + dinamico indicato in Tabella 1, la velocità di variazione dei livelli dell'invaso di Corbara, durante le manovre di pre-svaso, deve soddisfare il vincolo di non superare il valore limite, pari a 2,66 m/giorno ... ;
- è necessario disporre della previsione della piena sull'asta principale del Tevere a monte e a valle di Corbara, e di quella alla chiusura del bacino del Paglia che, tenendo conto delle performance dei modelli di previsione ad oggi disponibili, può essere fatta con un tempo di preannuncio variabile da 12 a 48 ore a cui corrisponde incertezza via via crescente;
- condizione per l'operatività degli scarichi di fondo e mezzofondo è che siano compatibili con gli aspetti ambientali definiti dal progetto di gestione dell'invaso (art.114 del D. Lgs. 152/2006).

2.3 Programma di laminazione

Sulla base delle ipotesi precedenti, viene definito il **programma di laminazione della diga di Corbara**, composto da una parte di programma di **laminazione statica** e di una parte di programma di **laminazione dinamica**.

Il programma di **laminazione statica** prevede che il Gestore della diga, a meno di eventi di piena in corso, non può superare nei mesi dell'anno i livelli di invaso riportati in Tabella 1 con tolleranze, comunque di natura temporanea, non superiore a 20 cm. Il programma di **laminazione dinamica** prevede la possibilità che il Gestore renda disponibile un ulteriore volume di laminazione pari a circa 30 Mm³ (Tabella 1). I valori del livello di invaso relativi al programma dinamico riportati in tabella rappresentano la quota finale di riferimento per l'attuazione di tale programma.

Le modalità di attuazione di tali programmi sono definite in dettaglio nella successiva procedura operativa.

3.2 Soglie di criticità idraulica

Per le operazioni di laminazione lungo il tratto di asta principale rilevante sono stati individuati alcuni idrometri significativi, lungo il Fiume Tevere sia a monte che a valle dell'invaso, e lungo il Fiume Paglia, per ognuno dei quali sono state definite le tre soglie di criticità, in termini di livello idrometrico e di portata, laddove sono disponibili le scale di deflusso. Tali soglie sono periodicamente sottoposte a verifica e taratura da parte di ciascuna Regione per il territorio di propria competenza. Alle Regioni spetta il compito di aggiornarle e renderle disponibili alla rete dei Centri Funzionali e ai sistemi informatici dedicati.

Con riferimento alla definizione delle fasi di allerta per rischio idraulico nei territori a valle della diga, nel Documento di Protezione Civile redatto per la diga di Corbara ai sensi della Direttiva P.C.M 8 luglio 2014, ..., vengono definite le seguenti soglie:

$Q_{Amax} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$, la portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica;

$Q_{min} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$, la portata di soglia di attenzione scarico diga che costituisce l'indicatore dell'approssimarsi o manifestarsi di prefigurati scenari di evento (quali ad esempio esondazioni localizzate per situazioni particolari, lavori idraulici, presenza di restringimenti, attraversamenti, opere idrauliche, etc.);

$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, le soglie incrementali al raggiungimento delle quali il gestore è tenuto ad ulteriori comunicazioni.

Coerentemente con quanto riportato nel Piano di Laminazione ..., nel presente documento si fa riferimento alle situazioni in cui si rende necessario avviare azioni di protezione civile, considerando "nel tratto subito a valle della diga una portata pari a circa $800 \text{ m}^3/\text{s}$, e circa $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, compreso il contributo del Fiume Paglia, nel tratto a valle della confluenza tra Tevere e Paglia", quindi cautelativamente **$Q_{Tmax} = 800 \text{ m}^3/\text{s}$** , valore massimo della portata transitabile nell'asta di valle senza comportare criticità significative di Protezione Civile in cui si palesano limitati disagi nelle zone maggiormente a rischio, mentre **Q_{Amax}** è riferita alla sola pertinenza idraulica.

In generale, la portata transitante nell'asta di valle **Q_T** è la somma dell'eventuale contributo della diga **Q_D** , del contributo derivante dai bacini la cui sezione di chiusura è a valle della diga **Q_B** e dal contributo del Fiume Paglia (che può essere rappresentato dalla portata transitante alla sezione di Orvieto Scalo) **Q_P** :

$$Q_T = Q_D + Q_B + Q_P \quad (1)$$

Quindi, il valore di **Q_T** deve essere confrontato con il valore di **Q_{Tmax}** al fine, ove possibile, di gestire e regolare il deflusso proveniente dalla diga **Q_D** intervenendo sull'unico parametro concretamente regolabile nei limiti di quanto riportato nel Piano di Laminazione.

3.3 Gestione ordinaria (programma statico)

La gestione ordinaria dell'invaso è finalizzata a rendere disponibili i volumi utili alla laminazione della piena, e prevede l'attuazione del **Programma di laminazione statico** così come previsto in Tabella 1. Il programma prevede, per periodi dell'anno valutati critici per il verificarsi di eventi di piena, il mantenimento di una quota di invaso minore della quota di massima regolazione.

Nella transizione tra due periodi, il Gestore può raggiungere il livello **statico di riferimento**, nel caso di assenza di previsione di fenomeni di precipitazione significativi, anche ricorrendo a cicli di derivazione attraverso le sole turbine della centrale di Baschi, con tempistica di 5 giorni, con tolleranza di 24 ore. In casi particolari potrà riunirsi la Funzione Tecnico - Scientifica (FTS) (v. § 3.6) per assumere le decisioni del caso.

Al termine di ciascun evento di piena, che coincide con il rientro in condizioni di allerta idraulica codice verde nelle zone di allerta di interesse per entrambe le Regioni (Umbria A- Alto Tevere, Umbria B-Medio Tevere, Umbria F-Chiani Paglia, Lazio B-Bacino Medio Tevere), il Gestore è tenuto a raggiungere il livello "statico" definito nella Tabella 1 entro 15 giorni nel caso di assenza di previsione di fenomeni di precipitazione significativi, e comunque garantendo il raggiungimento della quota 135 m s.l.m., corrispondente ad un volume di laminazione pari a circa 30 Mm^3 , entro 3 giorni, con tolleranza di 24 ore, dal termine di ciascun evento, salvo specifica deroga, non superiore ai 7 giorni, concessa dai CFD della Regione Lazio e della Regione Umbria sulla base di proprie valutazioni, sentito il CFC del DPC.

Tabella 1 - Volumi di laminazione previsti dal programma statico e dal programma dinamico.

	Periodo	Livello statico (m s.l.m.)	Volume di laminazione statico (Mm ³)	Livello statico + dinamico (m s.l.m.)	Volume di laminazione statico + dinamico (Mm ³)
Gennaio	A	132,0	~ 55	128,0	~ 85
Febbraio	A	132,0	~ 55	128,0	~ 85
Marzo	A	132,0	~ 55	128,0	~ 85
Aprile	B	135	~ 30	131	~ 60
Maggio	C	138,0	-	135	~ 30
Giugno	C	138,0	-	135	~ 30
Luglio	C	138,0	-	135	~ 30
Agosto	C	138,0	-	135	~ 30
Settembre	B	135	~ 30	131	~ 60
Ottobre	B	135	~ 30	131	~ 60
Novembre	A	132,0	~ 55	128,0	~ 85
Dicembre	A	132,0	~ 55	128,0	~ 85

...

Come condizione generale, in conformità della Direttiva P.C.M. 8 luglio 2014 e agli studi allegati, durante le manovre di pre-svaso, la portata rilasciata complessivamente dall'invaso QD deve risultare inferiore alla massima portata transitabile a valle $QTmax$, prevedendo un rateo di svaso con il vincolo di non superare il valore limite, pari a 2,66 m/giorno.

Il valore di QD è dato dalla somma di due distinte componenti: la portata in ingresso alla diga QE e la portata di massimo svaso o di "laminazione dinamica", QLD ($QLD = QE - QD$).

Quest'ultima può quindi essere determinata analiticamente dalla relazione (2):

$$QLD \leq (QTmax - QB - QP) - QE \quad (2)$$

Essendo in genere trascurabile il termine QB , la (2) può approssimarsi alla (3):

$$QLD \leq (QTmax - QP) - QE \quad (3)$$

Nel caso di non rispetto della (3), i profili di rilascio devono venire concordati con la Funzione Tecnico-Scientifica (FTS, così come definita al § 3.6).

Nelle operazioni di svaso, il Gestore può utilizzare gli scarichi di fondo e mezzofondo compatibilmente con le indicazioni contenute nel progetto di gestione dell'invaso (art. 114, D. Lgs. 152/2006), adeguatamente aggiornato. In tale fase, in cui si attua la parte dinamica del piano di laminazione, è strategico che l'attività di monitoraggio, che ciascuna CFD svolge ai sensi del D.Lgs n.1/2018 "Codice della protezione civile", si espliciti attraverso uno stretto coordinamento. Tale attività, svolte dalla FTS ha lo scopo di valutare la coerenza tra lo scenario previsto e l'evento in corso ed eventualmente calibrare le azioni da porre in essere.

Le Regioni Umbria e Lazio, insieme al Gestore, condivideranno i dati in loro possesso (modellistica, monitoraggio e valutazione della criticità) utilizzando le piattaforme informatiche che riterranno più funzionali allo scopo.

3.5.2 Fase 2 - Allerta - laminazione

3.5.2.1 Obiettivo:

Mettere in atto le possibili manovre di pre-svaso, nel caso in cui il livello è superiore al livello “statico + dinamico” riportato nella precedente Tabella 1, sulla base dell’emissione di una allerta almeno codice arancione per Rischio idraulico sulle Zone di Allerta A e/o B e/o F della Regione Umbria o sulla base del Bollettino Previsione Criticità Idrauliche del Fiume Tevere.

Regole generali per la laminazione dinamica:

- 1. la possibilità di pre-svasare nella fase crescente di piena portate anche superiori alla portata entrante, purché compatibili con le portate transitabili nell’alveo a valle dell’invaso;*
- 2. la necessità di sfasare i picchi di piena del Fiume Tevere rispetto a quelli del Fiume Paglia (nel caso di **QT** attesa superiore a **QTmax** o nel caso di picchi multipli);*
- 3. utilizzare una velocità di variazione dei livelli dell’invaso di Corbara, durante le manovre di pre svaso, con il vincolo di non superare il valore limite, pari a 2,66 m/giorno;*
- 4. l’utilizzo degli scarichi di mezzofondo solo se strettamente necessario e comunque nel rispetto del progetto di gestione dell’invaso (art.114 del D.Lgs 152/2006);*
- 5. previa autorizzazione della Regione Umbria, legata alla valutazione di eventuali aspetti di carattere ambientale;*
- 6. la possibilità di adottare dei cicli di rilascio giornalieri, opportunamente modulati anche in base agli esiti degli strumenti di ottimizzazione delle manovre attualmente disponibili, nell’imprescindibile osservanza del vincolo riportato al punto 3 di cui sopra, e specificati nella successiva relazione (2).*

....

Con riferimento al Bollettino Previsione Criticità Idrauliche del Fiume Tevere (“Bollettino Tevere”), in relazione alla specificità del nodo idraulico in cui è coinvolta la diga di Corbara, che contiene, a valle della stessa anche l’immissione del Fiume Paglia, possono avere luogo tre distinti scenari, per i quali sarà necessario prevedere specifici profili di intervento:

3.5.2.3.1 Scenario 1 - Piena del Tevere in assenza di piena del Paglia

Se, per almeno un orizzonte temporale di previsione (+12, +24 o +36 ore), si prevede nel “Bollettino Tevere” una criticità almeno codice arancione per la stazione idrometrica di Montemolino (portata di circa 650 m³/s e per le durate tipiche delle piene del Tevere potenzialmente in grado di esaurire il volume di laminazione statica disponibile) e una criticità codice verde per la stazione idrometrica di Orvieto Scalo, il Gestore è tenuto ad attuare uno svaso, nel rispetto della compatibilità con la portata massima transitabile in alveo a valle, di cui alla relazione (2). Tale svaso, potrà essere attuato in autonomia, a meno di un esplicito intervento della FTS che indichi differenti profili di rilascio.

3.5.2.3.2 Scenario 2 - Piena del Tevere e concomitante piena del Paglia

Se, per almeno un orizzonte temporale di previsione (+12, +24 o +36 ore), si prevede Nel “Bollettino Tevere” concomitanza di una criticità almeno codice arancione per la stazione idrometrica di Montemolino sul Tevere e una criticità almeno codice giallo per la stazione idrometrica di Orvieto Scalo sul Paglia o viceversa il Gestore attua uno svaso principalmente finalizzato all’ottenimento dei volumi necessari allo sfasamento temporale dei picchi di piena dei fiumi Tevere e Paglia, nel rispetto della condizione relativa alla massima portata transitabile a valle, di cui alla relazione (2) del § 3.5.

3.5.2.3.3 Scenario 3 - *Piena del Paglia in assenza di piena del Tevere*

Se, per almeno un orizzonte temporale di previsione (+12, +24, +36 ore), si prevede nel “Bollettino Tevere” una criticità almeno codice arancione per la stazione idrometrica di Orvieto Scalo, il Gestore è tenuto ad attuare delle manovre finalizzate ad ottenere i volumi necessari ad invasare il maggior volume possibile allo scopo di non aggravare ulteriormente le condizioni idrauliche dell’alveo di valle.

...”

8.4 *Casi di studio Hydro Dolomiti Energia (Trento)*

A cura di Franco Garzon

La Diga di Stramentizzo sul torrente Avisio, che confluisce nel fiume Adige alle porte di Trento ed è storicamente stato il principale responsabile delle alluvioni della città (le più note quelle del 1882 e del 1966), è gestita mediante un Documento di Protezione Civile che considera e definisce alcune interessanti modalità di laminazione delle piene.

La diga è ad arco a doppia curvatura, alta circa 60 m, con una capacità d’invaso dell’ordine dei 10 Mm³ ed una quota del pelo libero variabile tra i 761 ed i 787 m s. m. di minima e massima regolazione, sino ai 789,50 m s. m. di massimo invaso.

L’impianto ha una potenza nominale media annua di 54.577,47 kW.

La capacità di laminazione della diga è stata studiata sin da dopo la tremenda alluvione del 1966, nella quale l’Adige a Trento aveva una portata di circa 3000 m³/s, dei quali circa 1200 m³/s provenivano dall’Avisio.

Attualmente il Concessionario dell’impianto che fa capo alla diga di Stramentizzo è SF Energy, mentre la gestione della diga è effettuata da Hydro Dolomiti Energia assieme alle altre dighe ex-Enel in provincia Autonoma di Trento. Il Disciplinare di Concessione prevede a) un futuro potenziamento degli scarichi per adattare meglio la diga alla laminazione delle piene del t. Avisio e b) alcune norme gestionali delle piene stesse che si descriveranno in seguito.

Il progetto di potenziamento degli scarichi fu redatto fin dal 2008 dal sottoscritto ed è poi stato affinato dallo Studio Marcello nel 2019, che analizzò varie soluzioni (tunnel di by-pass dell’intero invaso o, in subordine, nuovo scarico di mezzofondo ecc.) in grado di ridurre significativamente le portate a valle della diga, come mostrato ad esempio nella seguente Figura 1 per l’ipotesi di un nuovo scarico di mezzofondo.

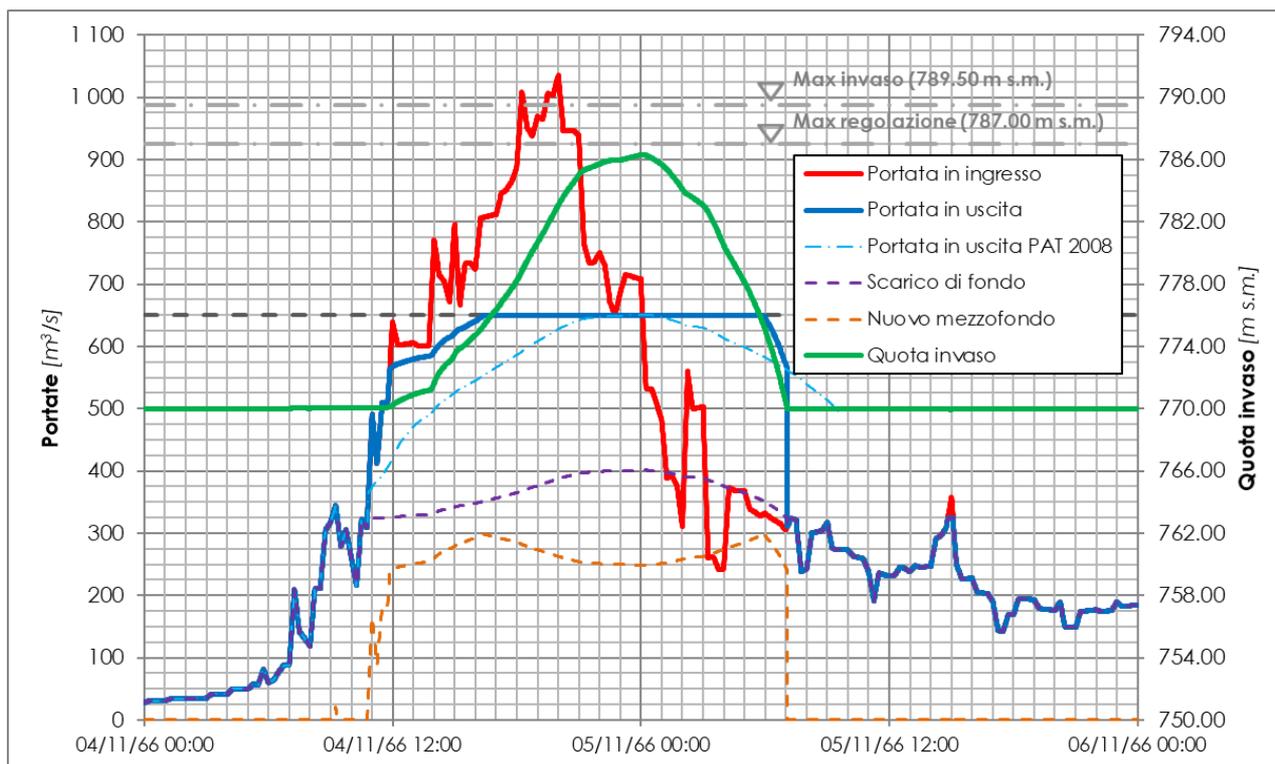


Figura 1: laminazione della piena del 1966 grazie al potenziamento degli scarichi, secondo il Progetto SF Energy 2019; la portata in ingresso (rossa) verrebbe fatta uscire interamente dallo scarico di fondo sino al valore di $500 \text{ m}^3/\text{s}$, svuotando preventivamente il serbatoio alla quota 770 m s. m. ; poi si inizierebbe a scaricare una portata lievemente inferiore a quella in ingresso, accumulando volume nel serbatoio, sino a scaricare $650 \text{ m}^3/\text{s}$, oltre ai quali non si andrebbe per non creare situazioni di rischio a valle, sino alla città di Trento; l'invaso residuo risulta in grado di non far superare alla quota d'invaso (linea verde) quella di massima regolazione (787 m s. m.); la portata massima in entrata (oltre $1000 \text{ m}^3/\text{s}$) risulterebbe laminata quindi per circa $400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Già in occasione della Tempesta Vaia del 2018, la Diga di Stramentizzo diede prova di essere in grado di laminare le piene dell'Avisio in modo efficace ed a beneficio della città di Trento posta a valle; all'arrivo della perturbazione fu eseguito, su richiesta della Protezione Civile locale, uno svaso preventivo di alcuni Mm^3 portando l'invaso dalla quota massima di $787,00 \text{ m s. m.}$ sino alla quota 775 m s. m. (Figura 2). Le onde di piena in arrivo furono due, la prima il 28/10 con colmo di circa $440 \text{ m}^3/\text{s}$ e la seconda il 30/10 con colmo di $550 \text{ m}^3/\text{s}$, la quale riempì il serbatoio oltre la quota di massima regolazione. La portata massima in uscita, però, non superò i $350 \text{ m}^3/\text{s}$ e traslata nel tempo rispetto al colmo, dando "respiro" al fiume Adige (di cui l'Avisio è affluente) nell'attraversamento della città di Trento posta a valle.

La Tempesta Vaia fu simile, come situazione meteorologica, quantità e distribuzione delle piogge e vento fortissimo, alla catastrofica alluvione del 1966 la quale, però, avvenne dopo un periodo molto piovoso, con serbatoi idroelettrici già quasi colmi e con preesistenti accumuli di neve in quota, circostanze che non si verificarono nel 2018.

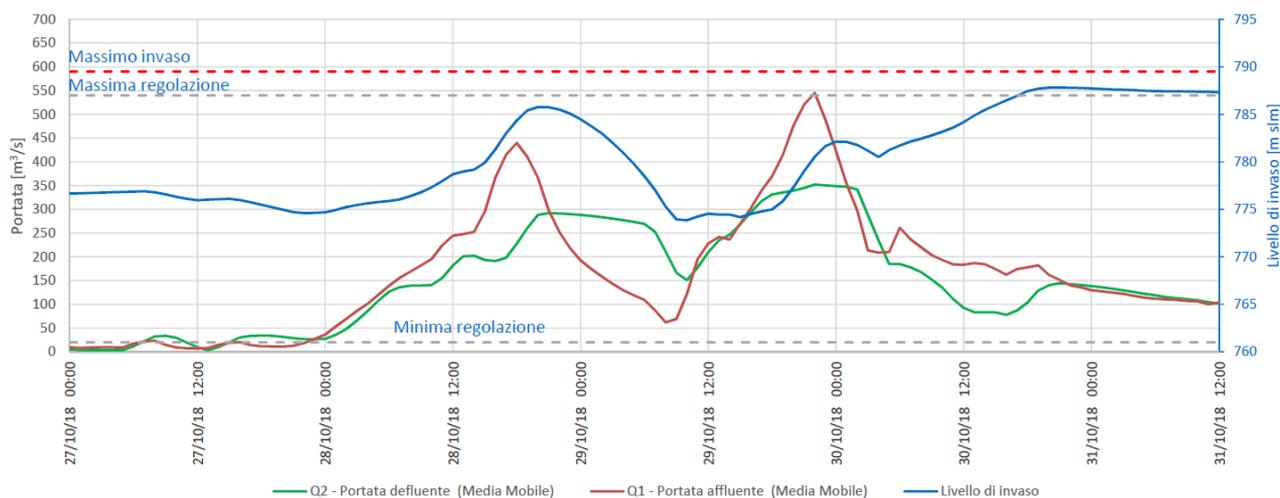


Figura 2: idrogrammi in entrata (rosso) e in uscita(verde) e quota invaso (blu) nell'evento Tempesta Vaia (2018) a Stramentizzo

Per quanto riguarda invece le norme gestionali delle piene contenute nel Disciplinare della diga di Stramentizzo redatto nel 2017, prevedono che, in caso di previsione o presenza di piene, la Provincia Autonoma di Trento possa “... *temporaneamente disporre l’invaso o lo vaso – anche totale – delle acque del serbatoio di Stramentizzo ed adottare ogni altra misura, adeguatamente motivata, per regolare i livelli d’invaso del medesimo serbatoio alla portata dei corsi d’acqua con esso interferenti.*”.

Significativo è che, nello stesso Disciplinare, in considerazione del significativo impegno sia di personale, sia economico, per garantire l’affidabilità delle apparecchiature di manovra e regolazione necessari per gestire gli eventi di piena, si prevede un risarcimento economico per il Concessionario, ovvero “... *i provvedimenti di cui al punto precedente danno luogo da parte della pubblica amministrazione a favore del Concessionario all’esonero dal pagamento dei canoni demaniali e dal riconoscimento dell’energia ex art. 13 del d.PR. del 31 agosto 1972, n. 670, per tutti i periodi interessati dalle attività di Protezione Civile di cui ai punti sopra. Qualora le misure di regolazione dell’invaso di Stramentizzo comportassero, rispetto alla regolazione stabilita nella presente concessione, vincoli di durata complessivamente superiore a sessanta giorni nel corso dell’anno solare, è corrisposto al concessionario, per ciascun giorno successivo al sessantesimo, un indennizzo corrispondente al doppio della misura giornaliera del canone demaniale di concessione*”.

Come ulteriore riconoscimento del significativo valore della capacità di laminazione delle piene svolta dalla diga di Stramentizzo da parte della Protezione Civile territoriale di Trento, la stessa ha recentemente presentato al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti la richiesta di accesso ai fondi del Piano nazionale di interventi infrastrutturali e per la sicurezza nel settore idrico – PNIISSI- per la realizzazione del suddetto tunnel di bypass dell’intero invaso, che ridurrebbe significativamente nel tempo l’ingresso di sedimenti rispetto al solo potenziamento delle attuali capacità dello scarico di fondo e ripristinerebbe la continuità ambientale del ciclo dei sedimenti tra monte e valle diga.