

Francesco Santoro<sup>(a\*)</sup>, Alberto Bonafè<sup>(b\*)</sup>, Armando Brath<sup>(c\*)</sup>, Pierluigi Claps<sup>(d\*)</sup>, Davis Feliziani<sup>(b)</sup>, Marina Maestri<sup>(e\*)</sup>, Francesca Pianigiani<sup>(f\*)</sup>, Francesca Piras<sup>(g\*)</sup>, Ludovica Ruggeri<sup>(b)</sup>, Francesco Sainati<sup>(h\*)</sup>

## RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI MASSIMI ANNUI ALLE SEZIONI DELLE DIGHE

## RECONSTRUCTION OF MAXIMUM ANNUAL HYDROGRAPHS AT DAM SECTIONS

*Nel 2018, a 15 anni da una prima Circolare e dopo una parziale e poco efficiente applicazione della procedura, la Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche (DGD) ha disposto per i concessionari/gestori l'obbligo di ricostruire il più significativo evento idrologico annuo. Dal recepimento della Circolare, si vorrebbe ottenere nell'arco di alcuni anni un database di dati idrologici affidabili: con questa aspettativa è stato costituito da ITCOLD un apposito Gruppo di Lavoro, coordinato da DGD, con l'obiettivo di fornire indicazioni riguardo le modalità di ricostruzione degli idrogrammi di piena oltreché di giungere alla definizione di criteri per l'esenzione da tale obbligo laddove si riscontrino pratiche impossibilità a ricostruire dati idrologici affidabili. Nel seguito vengono presentati i risultati di questo Gruppo di Lavoro.*

**Parole chiave:** Idrogramma massimo annuo, Delaminazione.

*In 2018, 15 years after the first Circular and after a partial and inefficient application of the procedure, the "Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche" (DGD) required dam concessionaires/operators to reconstruct the most significant annual hydrological event. By the adoption of the Circular, it is expected that a database of reliable hydrological data will be obtained within a few years. With this expectation, ITCOLD established a special Working Group, coordinated by DGD, with the aim of providing indications on the methods for reconstructing flood hydrographs, as well as defining criteria for exemption from this obligation when it is impossible to reconstruct reliable hydrological data. The results of this Working Group are presented below.*

**Keywords:** Annual Maximum Hydrograph, Delamination.

### 1. INTRODUZIONE

Con le Circolari SDI/7128 del 31/10/2000 e SDI/8111 del 5/12/2000, la Direzione Generale per le Dighe e le infrastrutture idriche, all'epoca Servizio Nazionale dighe e nel seguito DGD, stabilì le misure da adottare in caso di piena, richiedendo particolare attenzione alla ricostruzione degli idrogrammi di ingresso agli invasi delle dighe. Dopo oltre 15 anni di applicazione delle procedure, in un periodo caratterizzato da eventi alluvionali frequenti e importanti, la DGD ha ritenuto necessario procedere ad una revisione della stessa alla luce dell'esperienza acquisita e della constatazione della sua parziale ed inefficace applicazione. Pertanto, con la Circolare n.3356 del 13.02.2018, la DGD, mossa dalla necessità di migliorare la conoscenza idrologica ed idraulica delle dighe italiane, ha disposto per i concessionari/gestori l'obbligo di ricostruire il più significativo evento idrologico annuo, nonché uno o più eventi significativi del quinquennio precedente. Dal recepimento della Circolare, si vorrebbe ottenere nell'arco di

(\*)Componenti Gruppo di Lavoro ITCOLD; (a)Coordinatore GdL, Direzione Generale per le Dighe; (b)Enel Green Power; (c)Università di Bologna; (d)Politecnico di Torino; (e)Alperia; (f)Direzione Generale per le Dighe; (g)ENAS; (h)Edison.

alcuni anni un database di dati idrologici affidabili che andrebbe ad integrare i database del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale passati nelle competenze delle Regioni.

Dopo un anno dall'entrata in vigore della Circolare, la DGD ha promosso un tavolo tecnico il 20 settembre 2019 con i principali Concessionari/Gestori al fine di migliorare la procedura ed i relativi dati idrologici trasmessi. Il tavolo tecnico ha permesso di fare un primo bilancio e di raccogliere ogni valida indicazione di miglioramento e ottimizzazione della procedura e dai dati trasmessi dai gestori/concessionari.

Ad oggi, l'esperienza maturata in quest'ultimo triennio di raccolta dati, dimostra tuttavia che per diverse sezioni di sbarramento, la ricostruzione delle portate può essere affetta da errori dovuti alla tolleranza della misura del livello (a causa del moto ondoso o anche solo della precisione nella misura) o alle incertezze nella misura di portate allacciate, oltretutto all'uso di curve di scarico non sempre adeguatamente tarate, in particolar modo per gli scarichi presidiati da paratoie, che rende poco affidabile e talvolta inutilizzabile il valore ricostruito alle dighe di interesse.

ITCOLD ha pertanto istituito un Gruppo di lavoro avente come oggetto la ricostruzione degli idrogrammi massimi annuali, con l'obiettivo di aumentare il database delle portate massime annuali con dati idrologici affidabili, come concordato dagli operatori e dall'Autorità. Nel marzo 2023, il Gruppo di lavoro ha presentato i risultati del proprio lavoro e ha emesso un bollettino (*ITCOLD, 2023*) in cui vengono fornite indicazioni su come ricostruire l'idrogramma di piena per il massimo annuale e definiti i criteri per l'esenzione dall'obbligo di ricostruire l'evento idrologico massimo annuale nei casi in cui risulta impossibile ricostruire dati idrologici affidabili.

## 2. CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI MASSIMI ANNUI

L'equazione alla base della ricostruzione degli idrogrammi espressa in forma differenziale è la seguente

$$Q_{in} - Q_{out} = dV/dt \quad (1)$$

Per impostare e risolvere correttamente l'equazione di bilancio è necessario:

- identificare lo schema di impianto ed i termini idraulici che compongono l'equazione;
- scegliere il passo di delaminazione;
- risolvere l'equazione (1) alle differenze finite;

### 2.1 Schema idraulico generico di impianto

Un generico schema di serbatoio è illustrato nella *Figura 1* sottostante ove la generica diga A di cui si vuole ricostruire l'idrogramma è ipoteticamente connessa con altri due bacini limitrofi attraverso delle condotte in ingresso e/o in uscita. Il serbatoio, inoltre, presenta due ipotetici serbatoi, uno a monte ed uno a valle. Nello schema è presente anche una centrale idroelettrica.

I termini che entrano nell'equazione di bilancio sono:

- $Q_{in,nat}$ , la portata naturale affluente all'invaso A che rappresenta l'idrogramma da determinare;
- $Q_{in,i}$ , ossia le generiche portate affluenti provenienti da prese o bacini allacciati e che riversano portate all'interno del bacino A;
- $Q_{out-in,der}$ , la portata pompata (eventuale) dall'impianto idroelettrico di valle.

$Q_{out}$  = totale della portata uscente all'istante t.

In *Figura 1* le portate uscenti sono rappresentate da:

- $Q_{out,spill}$ , portata scaricata dall'insieme degli organi di scarico;
- $Q_{out-in,der}$ , portata derivata. Nel caso di impianto di pompaggio la portata può essere considerata in uscita o in entrata, a seconda del verso idraulico dell'impianto;
- $Q_{out,i}$ , portata derivata verso un altro serbatoio tramite canale, galleria o condotta.

V = volume dell'invaso al tempo t.

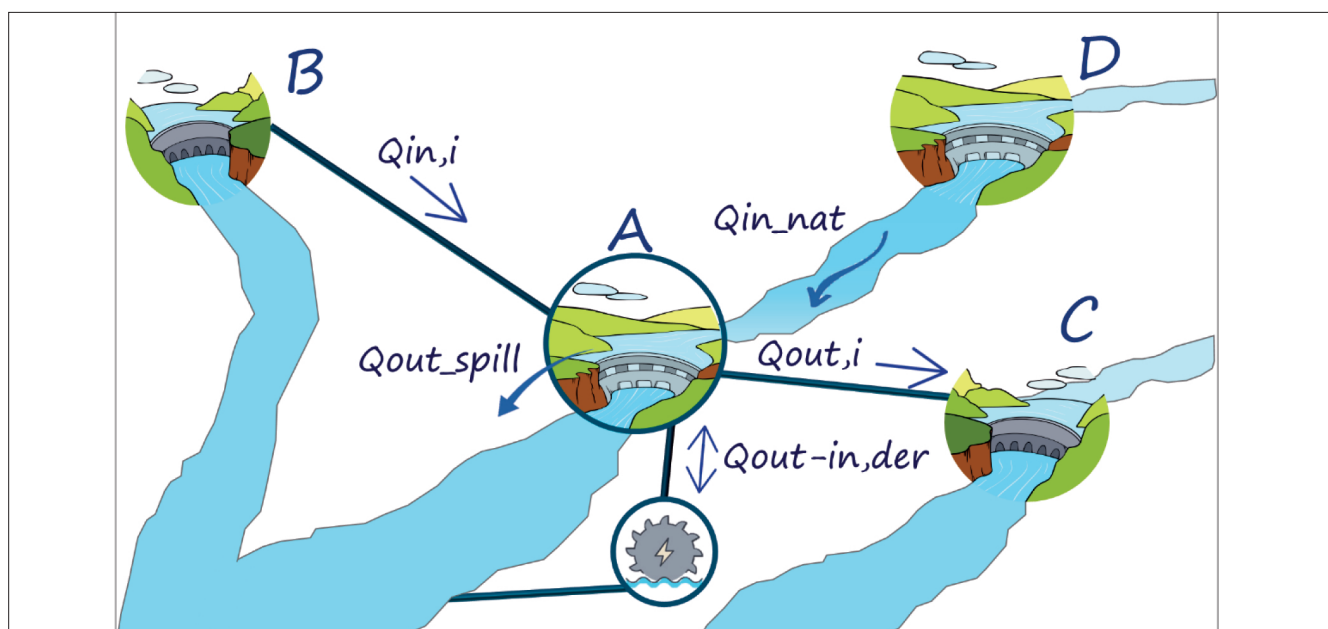


Figura 1 - Schema idraulico generico per un impianto. L'obiettivo è la ricostruzione dell'idrogramma massimo annuo  $Q_{in,nat}$  affluente all'invaso della diga A. Sono indicati i termini dell'equazione di bilancio.

## 2.2 Risoluzione dell'equazione di bilancio alle differenze finite

Per la ricostruzione degli idrogrammi (de-laminazione) a partire dalle misure in sito l'equazione (1) si usa nella forma alle differenze finite

$$\left( \overline{Q_{in,nat}} + \sum \overline{Q_{in,t}} \right) - \sum \overline{Q_{out}} = \Delta V / \Delta t \quad (2)$$

Esplicitata diventa:

$$\overline{Q_{in,nat}} = \sum \overline{Q_{out}} - \sum \overline{Q_{in,t}} + \Delta V / \Delta t \quad (3)$$

Dove  $\Delta t$  rappresenta il passo di de-laminazione tipicamente variabile da qualche minuto a qualche ora. Il tempo di de-laminazione può essere assunto anche pari a 24 ore. Il segno “—” sopra i simboli sta a significare che le portate devono essere considerate dei valori medi nell'intervallo  $\Delta t$  e non valori istantanei.

Il termine  $\Delta V$  è la variazione di volume dell'invaso fra due passi di de-laminazione consecutivi. Una fonte di errore nel calcolo di  $\Delta V$  è dovuta alle imprecisioni e alle tolleranze nella stima dei livelli idrici dell'invaso. Nel caso che le misure dei livelli siano riportati nei database di raccolta dei dati diga con tolleranze di uno o più centimetri può essere necessaria una preliminare operazione di filtraggio (anche ad esempio con media mobile) operata sui livelli in modo da eliminare eventuali salti di natura non fisica-idrologica.

Il rapporto  $\Delta V / \Delta t$  è denominato *portata incrementale* durante l'intervallo  $\Delta t$  ed è attribuita all'istante di tempo  $t$ , pur essendo calcolata su un intervallo di tempo  $\Delta t$ . È quindi convenzionale attribuire ad un certo istante  $t$  il  $\Delta V$ , calcolato facendo la differenza di volume rispetto al passo precedente

$$\Delta V(t) = V(t) - V(t-1)$$

O rispetto al passo successivo:

$$\Delta V(t) = V(t+1) - V(t)$$

Nel primo caso la portata incrementale  $\Delta V/\Delta t$  attribuita all'orario  $t$  è quella media nell'intervallo di tempo  $\Delta t$  appena trascorso, nel secondo caso la portata incrementale  $\Delta V(t)/\Delta t$  è quella media nell'intervallo di tempo  $\Delta t$  successivo.

Naturalmente la convenzione adottata dovrà essere applicata a tutti calcoli successivi.

I termini  $Q_{in}$  e  $Q_{out}$  invece, rappresentano rispettivamente le portate *medie* entranti e uscenti nell'intervallo di tempo  $\Delta t$  e saranno calcolate facendo una media delle portate registrate o calcolate sull'intervallo di tempo considerato.

E' importante sottolineare che la portata  $Q_{in,nat}$  ricostruita tramite l'equazione (2) alle differenze finite fornisce l'idrogramma naturale che affluisce all'interno del serbatoio A della *Figura 1*. Non si tiene conto in questo calcolo delle portate naturali immagazzinate, addotte o derivate dal serbatoio B soprastante che, se di notevoli dimensioni, potrebbe rendere di fatto non naturali e quindi idrologicamente poco significative le portate ricostruite in A. La presenza di un grosso serbatoio a monte che modifica in maniera sostanziale l'idrologia del serbatoio di interesse può costituire motivo di esenzione dalla ricostruzione degli idrogrammi per il serbatoio di valle. Lo stesso discorso sulla possibile scarsa significatività idrologica si può applicare agli idrogrammi ricostruiti per il serbatoio C posto a valle di A.

### 2.3 Criteri per la scelta del passo di delaminazione $\Delta t$

Indicativamente, considerando la dimensione media dei bacini sottesi dalle dighe, si suggerisce di scegliere un  $\Delta t$  pari preferibilmente a 30 minuti o a 1 ora.

Tuttavia, per i serbatoi di maggiori dimensioni in relazione alla superficie del bacino imbrifero, indipendentemente dal tempo di corrivazione del bacino anche la scelta di un  $\Delta t$  di un'ora può dare luogo ad anomale oscillazioni nel grafico dell'idrogramma ricostruito dovuti alle imprecisioni e alle tolleranze nelle misure di livello e nelle successive errate stime del termine incrementale. Per non ricorrere alla pratica della media mobile effettuata sulle portate ricostruite con  $\Delta t$  troppo piccoli, si consiglia di adottare dei passi di de-laminazione di durata maggiore, anche di diverse ore. Potranno essere adottate anche  $\Delta t$  di 24 ore. È evidente che le portate ricostruite con un ipotetico  $\Delta t$  di 6 ore (ad esempio) devono essere considerate "portate medie di durata 6 ore". Le successive elaborazioni idrologiche per calcolare i valori di portata per tutte le altre durate di interesse (ad esempio il colmo) potranno utilizzare le usuali metodologie idrologiche che legano la portata media alla durata.

## 3. FILE EXCEL PER IL CALCOLO DELL'IDROGRAMMA MASSIMO ANNUO

Per agevolare il calcolo degli idrogrammi massimi annuali, è stato preparato un template Excel scaricabile liberamente (*Fig. 2*) dal sito di ITCOLD (<https://www.itcold.it/wpsysfiles/wp-content/uploads/2023/03/PRESENTAZIONI-RAPPORTO-FINALE-Foglio-di-Calcolo-idrogrammi-di-piena.zip>) per la ricostruzione degli eventi. Il file consente una facile ricostruzione degli eventi, in particolare quando le misurazioni di portata sono manuali e quindi spesso hanno intervalli di tempo di acquisizione variabili.



Figura 2 - Header del file Excel.

## 4. CRITERI DI ESENZIONE DALLA RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI MASSIMI ANNUI

Un valore di portata ricavato da un idrogramma ricostruito si può ritenere idrologicamente non utilizzabile se:

- presenta valori fisicamente non ammissibili. Il problema può essere dovuto ad anomalie nell'idrogramma stesso, causate da oscillazioni nella ricostruzione per cause puramente numeriche. Le oscillazioni possono essere indotte da errori, imprecisioni o tolleranze nelle misure dei livelli o dalle ca-

ratteristiche degli scarichi. Questo tipo di problema si presenta tipicamente per il valore di portata al colmo,  $Q_c$ , e tende a ridursi all'aumentare della durata considerata per il calcolo della portata media,  $Q_{d,max}$ ;

- b) presenta valori di portata fortemente influenzati dalle ipotesi circa le componenti dell'equazione di bilancio. Tali ipotesi possono determinare sovrastime o sottostime degli idrogrammi. Tipico è il caso di un bacino allacciato all'invaso tramite un canale non monitorato. Questo problema causa errori sistematici nella stima delle portate;
- c) presenta valori di portata fortemente influenzati dalla presenza di serbatoi a monte con bacini sottesi di dimensioni significative rispetto a quello di interesse e quindi risulta *non naturale*. Questa situazione è causa di errori sistematici nella stima delle portate

Un valore di portata ricavato da un idrogramma ricostruito, pur essendo affidabile, si può ritenere idrologicamente sovrabbondante se:

- nella regione sono presenti altri invasi vicini o sezioni idrometrografiche gestite da Enti pubblici (Arpa, ...) che sottendano bacini con caratteristiche di evidente similarità con quello di interesse.

Per aiutare i gestori/concessionari ad individuare quelle situazioni che potrebbero inficiare la validità degli idrogrammi di piena, si descrivono nel seguito dei criteri che permettono di valutare eventuali richieste di esenzione dall'applicazione della Circolare n.3356 del 13.02.2018.

I criteri di esenzione individuati sono i seguenti:

1. ***Dighe con limitatissimo bacino.*** In genere si tratta di dighe con bacino imbrifero limitato ( $<10 \div 20$  km<sup>2</sup>) e di un rapporto relativamente elevato tra superficie del lago e del bacino imbrifero, per le quali la ricostruzione degli idrogrammi è in genere fortemente condizionata dalla misura del livello idrico, in particolare dalla sua tolleranza e precisione, che, soprattutto per tempi di de-laminazione limitati, induce oscillazioni dell'idrogramma tali da rendere inaffidabili i valori di  $Q_c$ . Per superare il problema per questa tipologia di dighe è possibile valutare l'ipotesi di adottare un passo di de-laminazione di 24 ore o comunque giornaliero.
2. ***dighe con presenza di by-pass delle piene.*** La presenza di un by-pass a monte, se non monitorato, non consente di ricostruire l'andamento naturale dell'onda di piena nella sezione di interesse;
3. ***opere secondarie afferenti allo stesso bacino di dighe già monitorate.*** Si tratta di invasi che presentano più di una diga di chiusura e per i quali l'eventuale ricostruzione degli idrogrammi può essere effettuata per uno solo degli sbarramenti;
4. ***dighe in serie ad altre dighe o limitrofe a sezioni idrometrografiche di o ad altre dighe già monitorate.*** Qualora le caratteristiche dei bacini sottesi in stazioni o dighe limitrofe (non in serie) possono essere considerate del tutto analoghe a quello del bacino di interesse, l'idrogramma ricostruito potrebbe risultare ridondante, disponendosi dell'idrogramma riferito alla diga o sezione idrometrografica vicina, specie se già dotate di lunghe serie storiche. Per quanto riguarda le dighe in serie, a titolo indicativo due dighe si ritengono tali se sono disposte sulla stessa asta fluviale e la differenza tra i bacini imbriferi sottesi è tale da risultare trascurabile. Parimenti possono essere esentate dighe che presentano a monte idrometrografi pubblici ufficiali di Arpa relativi a bacini imbriferi con piccole variazioni nelle superfici. Eventuali idrometrografi a valle andranno valutati in base alla naturalità dei deflussi misurati;
5. ***dighe allacciate ad altre dighe aventi grandi volumi di vaso, estensione di bacino superiore a quello proprio diretto o con conformazione dell'impianto tale da rendere particolarmente difficoltosa e poco realistica la ricostruzione dell'onda di piena.*** Spesso i bacini allacciati ed i relativi contributi non sono monitorati, o lo sono in maniera approssimativa, e possono dare dei contributi in

condizioni di piena confrontabili con quelli del bacino proprio. Contributi importanti non naturali possono venire anche dai rilasci della diga di monte se questa presenta un'elevata capacità di laminazione. La conseguenza comune di questi casi è che gli idrogrammi ricostruiti non presentano caratteri di naturalità e/o le portate calcolate all'invaso risultano molto imprecise.

È importante sottolineare che tali criteri non determinano un automatismo nell'ottenimento dell'esenzione, in quanto sarà a cura della DGD l'esame ed eventualmente l'accoglimento delle richieste. Tuttavia, essendo tali criteri frutto di un lavoro condiviso tra gestori\concessionari, mondo accademico e DGD, rappresentano comunque degli utili riferimenti per il gestore per richiedere l'esenzione e per DGD per acconsentire a tale richiesta.

## 5. CONCLUSIONI

Il gruppo di lavoro istituito da ITCOLD per affrontare la questione della ricostruzione degli eventi di piena massimi annui presso le dighe ha riunito rappresentanti dell'Autorità, dei concessionari delle dighe e dell'Università con l'obiettivo di raggiungere un risultato condiviso. A marzo, il gruppo ha presentato i risultati del suo lavoro in un webinar dedicato, proponendo criteri per valutare l'affidabilità dell'idrogramma ricostruito presso le dighe e fornendo linee guida più precise per la ricostruzione dell'evento. A supporto della ricostruzione degli idrogrammi è stato anche predisposto un file di lavoro per assistere i responsabili nello svolgimento di questa attività. Le Linee Guida predisposte dal Gruppo di Lavoro sono liberamente scaricabili dal sito di ITCOLD.

---

## RIFERIMENTI BIBLOGRAFICI

AA.VV., 2023. *Linee guida per la ricostruzione degli idrogrammi di piena massimi annui*, ITCOLD.