

## **ANALISI DEL PIANO DI LAMINAZIONE** **E SIMULAZIONE DEL BILANCIO IDRICO DELL'INVASO DI BILANCINO (FI)**

**Autrice:** Giuliana Compagni

### **SCOPO**

Questo elaborato nasce innanzitutto dalla volontà di Publiacqua S.p.A., gestore del servizio idrico del Medio Valdarno e in particolare della Diga di Bilancino (FI), di capire come riuscire a non compromettere la principale funzione del proprio invaso, ovvero quella di approvvigionamento idropotabile, a fronte di un nuovo Piano di Laminazione imposto dalla Regione Toscana, conseguente ad eventi particolarmente gravosi dal punto di vista del rischio idraulico per i territori a valle della diga.

In effetti, da una parte l'invaso di Bilancino riveste il ruolo di principale fonte da cui attingere risorsa idrica soprattutto nella stagione estiva, a vantaggio della città di Firenze, del suo comprensorio e di parte delle province di Prato, Pistoia e Arezzo. Dall'altra, allo stesso invaso è stata forzatamente assegnata una funzione riduttiva dei picchi di piena in arrivo dal suo bacino di monte, più di quanto non sia già possibile in via naturale, al fine di mitigare il rischio di alluvione in particolar modo per l'abitato di Sagginale (FI), localizzato in un punto critico del Fiume Sieve circa 14 km a valle dagli scarichi della diga.

Per adempiere a quest'ultimo obiettivo, la Regione Toscana ha pensato di dover stabilire una serie di regole, restrittive rispetto alla precedente situazione di sfruttamento dell'invaso, che hanno imposto limitazioni di livello tali da liberare un volume aggiuntivo per la laminazione delle piene (oltre quello già previsto tra la quota di massimo invaso, ovvero 254.50 m s.l.m., e quella di massima regolazione, cioè 252 m s.l.m.). A partire dal mese di approvazione del Piano (ottobre 2017), la Regione ha concesso 3 anni durante i quali tutte le parti firmatarie hanno avuto la possibilità di svolgere indagini e approfondimenti, per vedere quale potesse essere l'entità degli impatti del Piano sui loro interessi ed eventualmente richiedere modifiche all'impianto del Piano stesso in un secondo momento.

È proprio all'interno di questo "periodo di prova" che ha trovato spazio l'analisi sviluppata in sede di tesi di laurea. Innanzitutto, sono stati studiati i dati storici e i vincoli gestionali applicati in passato da Publiacqua S.p.A. per una ricostruzione del bilancio d'invaso; dopodiché, è stato simulato un nuovo comportamento d'invaso, con la stessa equazione di bilancio di massa, le stesse pratiche innestate da Publiacqua, ma con le nuove regole del Piano di Laminazione.

Per quanto riguarda i temi di particolare interesse segnalati nel Bando di Gara ITCOLD, tramite l'elaborato sono stati sviluppati i seguenti argomenti.

- **Protezione dalle piene** (interazione diga e territorio);
- **Impatto sociale della diga**, dal momento che il Piano di Laminazione è stato imposto su una diga da 70 milioni di m<sup>3</sup> primariamente per la tutela di un piccolo centro abitato (Sagginale, meno di 1000 abitanti);
- **Mobilità degli organi di intercettazione**: il volume d'invaso viene regolato tramite la paratoia mobile in adiacenza allo scaricatore fisso di superficie, la cui configurazione di movimentazione diventa quindi il "fulcro" dell'analisi storica e previsionale oggetto della tesi.

### **PROGRAMMA DI SVILUPPO E DURATA**

Il lavoro di tesi si è sviluppato complessivamente dall'inizio di Maggio 2018 fino all'inizio di Febbraio 2019, con discussione in data 07/02/2019 presso la Scuola di Ingegneria e Architettura di Alma Mater Studiorum – Università di Bologna (CdL Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio). Nei primi due mesi, è stato necessario esaminare i documenti caratteristici d'invaso; la fase successiva (fino a Novembre – Dicembre 2018) ha riguardato la raccolta dei dati storici d'impianto e lo studio del bilancio d'invaso nei suoi 20 anni di attività; infine, fino a fine Gennaio 2019 si è svolta un'articolata fase di modellazione, sia dei dati a disposizione sia di quanto ricavato dall'analisi storica (ad esempio volumi evaporati dal lago), per poter fornire a Publiacqua S.p.A. un quadro previsionale per il futuro.

## SOMMARIO

### **CAPITOLO 1 – Diga di Bilancino: Inquadramento generale dell'opera**

In primo luogo, sono stati radunati tutti quei documenti che descrivessero le caratteristiche tecniche della diga e del bacino del Fiume Sieve, che aiutassero a comprendere il loro funzionamento e il contesto nel quale si trovano (anche tramite confronto diretto coi tecnici in diga), che prescrivessero regole fondamentali nella gestione delle dighe. A titolo di esempio, si citano innanzitutto lo Stralcio di Piano di Laminazione imposto da Regione Toscana, il Foglio di Condizioni di Esercizio e Manutenzione, la Relazione Idrologica di Progetto e di Aggiornamento, le concessioni idropotabili ed idroelettriche (centrale che sfrutta la risorsa derivata dall'invaso e destinata, dopo molti km, al prelievo acquedottistico).

### **CAPITOLO 2 – Il Piano di Laminazione**

Dedicando particolare attenzione allo Stralcio di Piano di Laminazione prescritto dalla Regione Toscana, sono stati analizzati in modo dettagliato i ragionamenti alla base della sua redazione e cosa questi abbiano implicato per i gestori della diga. La principale variazione gestionale ha riguardato la quota di mantenimento della paratoia mobile presso lo scarico di superficie, che a questo punto passa dalla quota di massima regolazione (252 m s.l.m.) a 250-251 m s.l.m. in via continuativa, per diversi mesi dell'anno. Di seguito vengono riportate le configurazioni di laminazione statica e dinamica definite da Regione Toscana.

<b>Ottobre - Gennaio</b>	Quota della paratoia: <b>250 m s.l.m.</b> Fasi di allerta meteo ( <b>arancione</b> o <b>rossa</b> ): <b>252 m s.l.m.</b>
<b>Febbraio - Marzo</b>	Quota della paratoia: <b>251 m s.l.m.</b> Fasi di allerta meteo ( <b>arancione</b> o <b>rossa</b> ): <b>252 m s.l.m.</b>
<b>Aprile - Settembre</b>	Quota della paratoia: <b>252 m s.l.m.</b> 6 ore prima dell'allerta meteo ( <b>arancione reticolo principale</b> ): <b>251.5 m s.l.m.</b> 6 ore prima dell'allerta meteo ( <b>rossa</b> ): <b>251 m s.l.m.</b>

Allo stesso tempo, tramite la regolazione della stessa paratoia è necessario assicurare il rispetto dei seguenti limiti (massimi o minimi) di portata, in alveo a valle diga oppure in corrispondenza dello sbarramento.

<b><math>Q_{amax} =</math> <b>200 m<sup>3</sup>/s</b></b>	<b>Portata massima transitabile nell'alveo del Fiume Sieve</b> , a valle dell'invaso di Bilancino per 23 km (fino alla località di Ponte a Vicchio)
<b><math>Q_{max,diga} =</math> <b>150 m<sup>3</sup>/s</b></b>	<b>Portata massima teoricamente esitabile dalla diga</b> , considerando che le portate di piena provenienti da Bilancino e dal Torrente Carza possano verificarsi contemporaneamente
<b><math>Q_{u,max} =</math> <b>128 m<sup>3</sup>/s</b></b>	<b>Portata massima realmente esitabile dalla diga</b> , potendo utilizzare la paratoia a ventola e lo scarico di esaurimento
<b><math>Q_{DMV} =</math> <b>0.6 m<sup>3</sup>/s</b></b>	<b>Deflusso minimo vitale</b> lungo tutta l'asta del Fiume Sieve

### **CAPITOLO 3 – Ricostruzione storica del bilancio d'invaso**

In questa terza fase, sono stati valutati tutti i contributi idrici in ingresso e in uscita dall'invaso di Bilancino, per poter impostare un'equazione di bilancio di massa idrica.

Trascurando i contributi dell'acqua che si infiltra nel sottosuolo e degli scarichi di fondo e di esaurimento (utilizzati solo in fase di collaudo), a valle di una lunga e laboriosa raccolta dati sono stati valutati i seguenti contributi a scala giornaliera in termini di bilancio di massa.

$$\Delta V(t) = V_e(t) - (V_{evap}(t) + V_{filtr}(t) + V_{pot}(t) + V_{paratoia}(t) + V_{soglia}(t) + V_{deriv}(t)) \quad \text{con}$$

- Volumi invasati all'interno del serbatoio  $\Delta V$ , a partire dai livelli misurati e dalla curva di invaso ( $h, V$ );
- Volumi evaporati dalla superficie dell'invaso  $V_{evap}$ , a partire dal corrispondente tasso di evaporazione idrica calcolato tramite l'Equazione di Penman;
- Volumi filtranti attraverso il corpo diga  $V_{filtr}$ , calcolati a valle di un procedimento di *curve fitting* con software Matlab;
- Volumi prelevati direttamente dall'invaso  $V_{pot}$ , per essere potabilizzati e forniti alle località prossime all'invaso;
- Volumi derivati dalla torre di presa  $V_{deriv}$ , restituiti al Fiume Sieve e destinati alla potabilizzazione presso gli impianti fiorentini dell'Anconella e di Mantignano;
- Volumi sfiorati dallo scarico di superficie, composto di una paratoia mobile ( $V_{paratoia}$ ) e di una soglia fissa ( $V_{soglia}$ );
- Infine, volumi in ingresso al serbatoio dal bacino di monte  $V_e$ , ricavati conoscendo tutti gli altri termini dell'equazione.



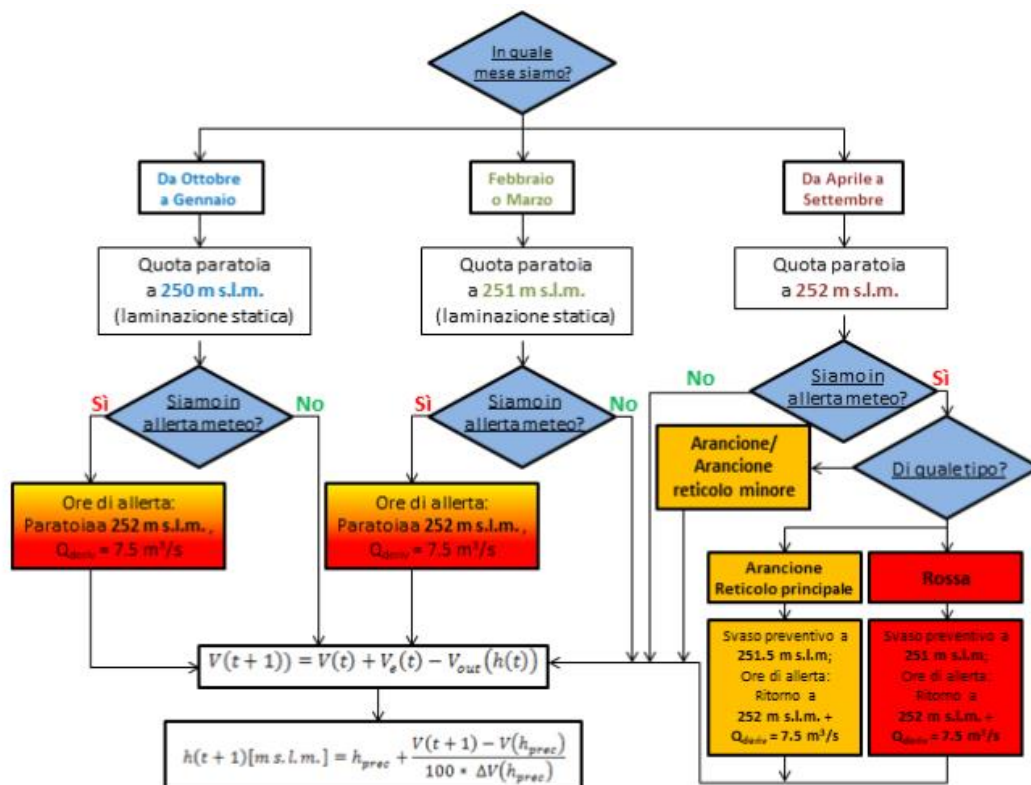
#### CAPITOLO 4 – Applicazione del Piano di Laminazione al bilancio d'invaso

Una volta ricostruito il funzionamento dell'invaso dal punto di vista fisico, sono state applicate al bilancio idrico le regole del Piano di Laminazione, per portare alla luce quali sarebbero stati i possibili effetti sull'andamento dei livelli d'invaso, se questo fosse stato gestito nei suoi anni di attività (1998 – 2018) come prescritto attualmente.

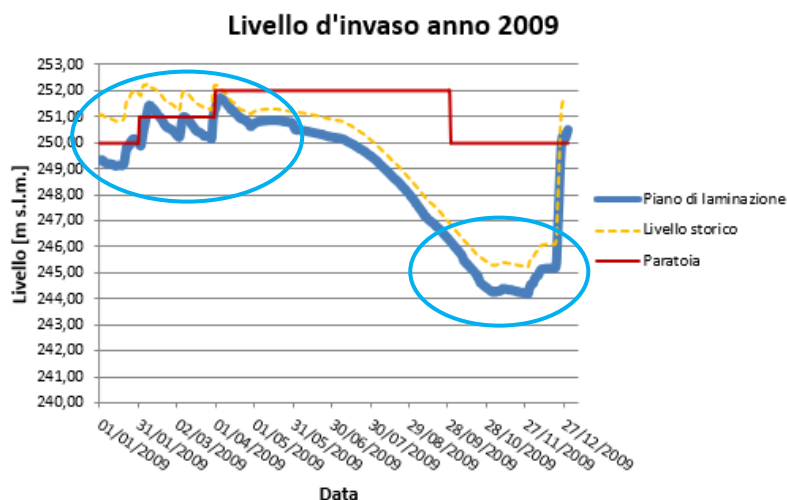
A monte di questa fase, è stata fondamentale una seconda raccolta di informazioni, con particolare riguardo alle allerte meteorologiche, elemento determinante dello schema imposto dal Piano di Laminazione. Si è trattato quindi di trasferire su Excel ogni tipo di informazione concernente allerte arancioni o rosse, di tipo idrologico – idraulico, che abbiano interessato la zona Mugello – Val di Sieve negli anni di attività dell'invaso (1998 – 2018). Di seguito viene riportato un esempio di tali bollettini, in una delle sue vesti più recenti.



Una volta raccolte queste informazioni legate alla reale situazione meteorologica verificatasi negli anni 1998 – 2018, è stato possibile implementare il seguente schema logico di movimentazione della paratoia, dettato dalle regole del Piano di Laminazione, e arrivare a un nuovo bilancio di invaso grazie all'utilizzo del software Matlab.

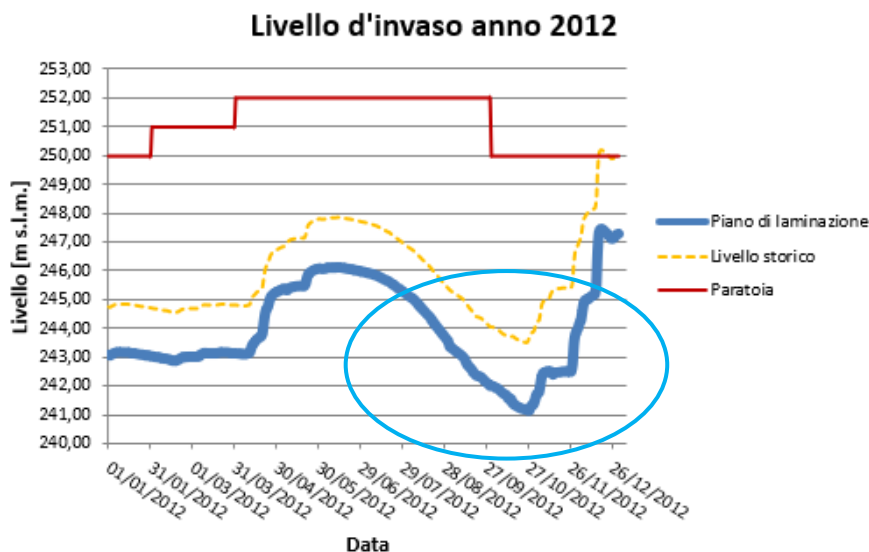


Sono stati prodotti principalmente grafici utili a mostrare quali fossero i risultati in termini di livelli simulati sotto le ipotesi del Piano, confrontati con quelli storici: a questi corrispondono volumi persi a causa del minor livello della paratoia mobile da mantenere per sei mesi all'anno e vincoli idraulici che insistono sul Fiume Sieve a valle diga (e non solo). Di seguito, si riporta l'esempio del grafico dell'anno 2009, nel quale si può evidenziare come i volumi sfiorati in fase tardo – invernale sarebbero stati di minore entità con le nuove regole; tuttavia, i volumi mantenuti all'interno dell'invaso in autunno sarebbero stati molto minori, compensati solo da un eventuale rapido incremento delle piogge all'inizio dell'inverno.



Per quanto riguarda i vincoli idraulici da rispettare in corrispondenza dello sbarramento e a valle diga, non si sono riscontrati particolari problemi nel rispetto dei limiti massimi imposti in alveo. Al contrario, il vincolo sul deflusso minimo vitale talvolta non è stato rispettato, principalmente

a causa di qualche situazione di scarsità idrica, ad esempio com'è successo realmente nel 2012. In quell'anno, la derivazione nei mesi estivi, quindi il deflusso minimo vitale rilasciato a valle della centrale idroelettrica, è stato ridotto a 0.45 m<sup>3</sup>/s.



## CONCLUSIONI

Commentando quanto ottenuto tramite modellazione, è stato possibile giungere alle seguenti conclusioni.

- A causa dell'implementazione delle regole del Piano di Laminazione, si è verificata una discrepanza tra livello storico e livello simulato, i quali spesso variano nel tempo allo stesso modo ma si distanziano di 1 – 2 m a causa dell'imposizione della quota inferiore della paratoia in un periodo precedente, non permettendo il mantenimento della risorsa idrica.
- È stato necessario tener conto del fatto che, con tali livelli ribassati durante l'anno, le crisi idriche che si potrebbero verificare verrebbero ancor più accentuate, perciò a Publiacqua è stata proposta una rivalutazione delle modalità stagionali di derivazione della risorsa idrica, sebbene questa regola sia ad oggi solo indicativa.
- I vincoli idraulici che insistono sulla Sieve, sia per preservare la sicurezza idraulica dei territori di valle sia dal punto di vista del mantenimento dell'ecosistema, vengono ampiamente rispettati; in realtà, è capitato negli anni che il gestore d'invaso scaricasse un deflusso minimo vitale inferiore a quello consentito, ma probabilmente per questioni di scarsità di risorsa idrica invasata.
- Tramite il modello, non è stato possibile riprodurre l'ipotesi di svasi preventivi imposti in via autonoma dalla Sala Operativa di Protezione Civile della Città Metropolitana di Firenze, non conoscendo a priori il livello a cui bisogna scendere con lo svaso. Questa situazione potrebbe eventualmente capitare nel caso in cui fosse prevista una situazione meteorologica particolarmente gravosa nel periodo estivo, presumibilmente a invasato abbastanza pieno.
- Inoltre, non è stato possibile nemmeno simulare situazioni di allerte meteo ravvicinate, molto temute da Publiacqua a causa dei ridotti tempi di azione sulla paratoia e sulla condotta di derivazione: infatti, le allerte meteo annotate per gli anni di attività d'invaso presentavano situazioni gravose dal punto di vista meteorologico di più giorni consecutivi o comunque con più di 24 ore di distanza tra un'allerta e la successiva.

I risultati ottenuti si sono rivelati un solido punto di partenza nella valutazione di come si possa migliorare la gestione d'invaso, per i due scopi congiunti e spesso in contrasto dell'approvvigionamento idropotabile e della laminazione delle piene. I provvedimenti da mettere in atto per apportare cambiamenti al sistema di gestione dell'invaso e delle risorse idriche sono stati poi a totale appannaggio dei tecnici Publiacqua.