CONSORZIO DEL TICINO MILANO

Prof. Ing. Ugo Majone Dott. Ing. Paolo Mignosa Dott. Ing. Isabella Pallavicini

METODOLOGIA PER LO STUDIO DELL'EFFETTO DI UNA REGOLAZIONE MULTIOBIETTIVO SULL'ANDAMENTO DEI LIVELLI DI PIENA DI UN INVASO

Dipartimento di Ingegneria Idraulica Ambientale e del Rilevamento del Politecnico di Milano Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Parma

Pubblicazione n. 26

XXVIII Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche

12-15 settembre 2000 Genova

Milano, Gennaio 2004



METODOLOGIA PER LO STUDIO DELL'EFFETTO DI UNA REGOLAZIONE MULTIOBIETTIVO SULL'ANDAMENTO DEI LIVELLI DI PIENA DI UN INVASO

Ugo Maionea, Paolo Mignosab e Isabella Pallavicinic

^aDipartimento di Ingegneria Idraulica Ambientale e del Rilevamento, Politecnico di Milano Piazza Leonardo da Vinci, 32 – 20133 MILANO
 ^bDipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Parma Parco Area delle Scienze, 181/A – 43100 PARMA
 ^cOra presso l'Istituto di Ricerca sulle Acque del C.N.R.
 Via Reno, 1 – 00198 ROMA

Sommario

La regolazione di un invaso può alterare anche notevolmente sia l'andamento naturale dei livelli di piena del lago sia il regime delle portate nell'emissario. Molto spesso, a seguito di eventi meteorologici particolarmente intensi, si possono verificare innalzamenti notevoli dei livelli lacuali. Questo problema può assumere importanza notevole per quei casi in cui all'aumento di livello corrispondono danni economici e sociali non trascurabili per le comunità rivierasche. L'entità rilevante dei danni causati in queste circostanze porta alla necessità di determinare quantitativamente l'effetto che l'azione del regolatore può avere sulla loro amplificazione. Il lavoro propone una metodologia per determinare l'effetto quantitativo che una regolazione multiobiettivo di un invaso può avere sull'andamento dei livelli di piena.

Introduzione

La gestione "multiobiettivo" di un invaso richiede spesso di soddisfare esigenze tra loro conflittuali, che implicano azioni opposte da parte del regolatore. Ad esempio nel caso di un invaso destinato ad uso irriguo o industriale, l'azione del regolatore deve prevedere anche il controllo delle piene, in modo che l'aumento della ritenuta iniziale nel serbatoio non provochi sovralzi eccessivi dei livelli lacuali. Un problema di gestione multiobiettivo in genere ha infinite soluzioni ciascuna delle quali soddisfa in senso paretiano gli obiettivi del problema (Tauxe et al., 1980). Esiste dunque un ampio margine di manovra entro il quale il regolatore può intervenire nella gestione del serbatoio. Lo scopo del presente lavoro è determinarne i limiti ed individuare per quale entità di piena essi vengono a coincidere, riducendo così a zero il margine di manovra anzidetto. L'invaso studiato è il lago Maggiore dove il problema è particolarmente sentito (De Marchi, 1950; Campi et al., 1998) e per il quale si dispone di una serie di oltre 50 anni di osservazioni, omogenea per modalità di rilevamento e di registrazione (Zampaglione, 1993). La discussione attorno alle responsabilità della regolazione nell'amplificazione dei fenomeni di piena si è acuita anche in seguito al verificarsi in quest'ultimo decennio di eventi di piena eccezionali (Ambrosetti 1994; Maione e Mignosa, 1995) che hanno causato in alcune occasioni altezze idrometriche molto elevate.

Simulazione dei comportamenti estremi

È stata effettuata una simulazione continua della regolazione su un orizzonte temporale di 54

anni nelle due condizioni estreme di:

- regolazione con paratoie costantemente abbattute (S1);
- regolazione che mantenga, quando possibile, l'invaso al massimo livello di regolazione consentito (S2).

Questi due comportamenti, per quanto non realistici perché non riconducibili ad alcuna politica ottima di gestione, sono tuttavia realizzabili da parte del regolatore. Essi costituiscono i due estremi entro i quali ogni politica di gestione si può muovere (Figura 1) e determinano il minimo e il massimo effetto che una regolazione dei deflussi può produrre sull'andamento naturale dei livelli di piena.

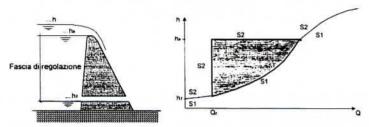


Figura 1: limiti della zona di regolazione nel piano Q-h

Al fine di avere risultati confrontabili con quelli storici si è resa necessaria la ricostruzione delle scale di deflusso storicamente adottate. Le portate di afflusso al lago Q_a infatti non sono direttamente misurate, ma indirettamente calcolate tramite l'equazione di continuità:

$$Q_a = Q_c + \frac{(h_{i+1} - h_i)A(h)}{\Delta t}$$

Sono note le portate erogate Q_e in un intervallo Δt , calcolate per somma delle portate erogate alle utenze e di quelle che proseguono a valle nel fiume Ticino, misurate tramite apposite scale di deflusso. Sono noti inoltre i livelli del lago h, misurati giornalmente all'idrometro di Sesto Calende nonché le superfici lacustri A(h). Nella simulazione S2 si è considerato il limite superiore di regolazione variabile nell'arco dell'anno così come stabilito dal disciplinare di concessione. Si è scelto di effettuare una simulazione continua sui 54 anni perché altrimenti, nella simulazione del comportamento S1, occorrerebbe definire l'istante di inizio di ogni piena ed il corrispondente livello di ritenuta nel serbatoio. Sicuramente la metodologia più corretta e più semplice è costituita proprio dalla simulazione continua di deflusso libero su tutto l'orizzonte temporale considerato.

In Figura 2 sono riportate, a titolo esemplificativo, le dinamiche dei livelli del lago per uno degli anni in esame, relative ai due comportamenti simulati (S1, S2) e a quello storico.

Risulta evidente che il livello storico è sempre contenuto entro la fascia delimitata dalle simulazioni S1 e S2 e come, per piene di notevole entità, i tre comportamenti vengano praticamente a coincidere. Inoltre, per piene di lunga durata e con più picchi consecutivi, caratteristiche di un bacino imbrifero molto esteso come quello del lago Maggiore e quindi con probabilità elevata che si verifichino contributi disomogenei e non contemporanei da parte degli immissari, dopo il primo picco si ha in genere la saturazione della capacità di laminazione dell'invaso e i tre comportamenti vengono a coincidere. Già da un'analisi qualitativa degli andamenti delle piene così simulati si percepisce come l'influenza della regolazione non possa avere un effetto significativo su questo tipo di piene, che sono tra l'altro quelle che provocano danni maggiori alle comunità rivierasche.

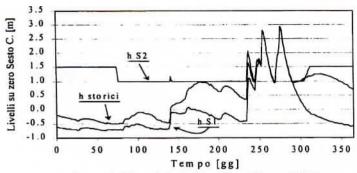


Figura 2: Dinamiche dei livelli per l'anno 1965

Analisi statistica

La quantificazione dell'effetto della regolazione è stata effettuata tramite un'analisi statistica dei massimi livelli verificatisi nei due casi simulati e nella regolazione storica.

Come metodo di selezione del campione si è scelto il metodo dei massimi annuali (Chow, 1998), dato che il numero di anni a disposizione è già sufficientemente esteso.

Si è studiata la distribuzione probabilistica che meglio si adatta ad ognuno dei tre campioni in esame, tramite il test di adattabilità del χ^2 applicato alle più comuni distribuzioni probabilistiche. Il risultato migliore si è avuto per la distribuzione di Gumbel (Figura 3).

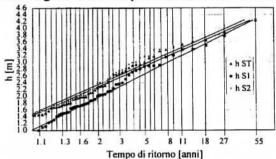


Figura 3: Distribuzioni probabilistiche dei livelli di picco

Risultati

Il grafico di Figura 4 riporta le differenze (sovralzi) delle altezze idrometriche ottenute dalle distribuzioni probabilistiche in corrispondenza dei due comportamenti estremi S1 ed S2 (tracciato T1) e tra il comportamento storico e quello S1 (tracciato T2).

Dall'esame del grafico si possono ricavare importanti informazioni quantitative circa l'effetto della regolazione sull'andamento dei livelli di piena. I punti nei quali i due tracciati T1 e T2 si azzerano rappresentano i tempi di ritorno delle piene per le quali si ha rispettivamente l'annullamento totale dell'effetto di qualsiasi tipo di regolazione e l'annullamento della regolazione storicamente adottata.

Nel caso specifico l'effetto di una qualsiasi regolazione si annulla per un tempo di ritorno pari a poco più di 200 anni, ma si hanno sovralzi di soli 10 cm (per piene dell'ordine dei 4 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende) già in corrispondenza di 60 anni, e sovralzi di 20 cm (per piene dell'ordine di 3.75 m) in corrispondenza di 17 anni. Ciò dimostra che l'influenza della

regolazione sugli andamenti dei livelli di piena non è più significativa già per tempi di ritorno attorno ai 20 anni. Analogamente, l'effetto della regolazione storica si annulla completamente per tempi di ritorno di 76 anni, e si hanno sovralzi di 10 cm per tempi di ritorno di 23 anni (quando il picco di piena è di poco superiore ai 3.75 m).

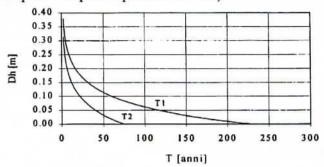


Figura 4: differenze tra livelli massimi

Conclusioni

In questo lavoro viene proposta una metodologia per la determinazione quantitativa che una regolazione multiobiettivo può avere sull'andamento dei livelli di piena di un invaso. La procedura consiste nel simulare in modo continuo su tutto l'orizzonte temporale i due comportamenti estremi di regolazione e paragonarli tra loro, e con la regolazione storica, tramite un'analisi statistica dei livelli massimi. In questo modo si può determinare il tempo di ritorno della piena per la quale si ha rispettivamente l'annullamento totale dell'effetto di qualsiasi tipo di regolazione e l'annullamento dell'effetto della regolazione storicamente adottata. È importante comunque ricordare che non sempre il livello di picco riesce a caratterizzare in modo soddisfacente la piena. Per alcuni tipi di invasi, come quello del lago Maggiore preso in considerazione, sono frequenti piene di lunga durata e con più picchi per le quali si ha ben presto la saturazione della capacità di laminazione dell'invaso. Lo stato dell'invaso antecedente alla piena produce dunque effetti diversi a seconda del tipo di piena entrante. La procedura proposta, proprio perché basata su elaborazioni statistiche, fornisce in ogni caso interessanti indicazioni.

Bibliografia

Ambrosetti et al, La piena del lago Maggiore nell'autunno 1993: un vento di portata secolare. CNR, Istituto Italiano di Idrobiologia, n.45, Verbania Pallanza, 1994.

Campi G., Maione U. e P. Mignosa, Conseguenze di una modifica dell'incile del Lago Maggiore sugli alti livelli lacuali e sulle portate di piena del Ticino emissario. L'ACQUA, n.6, 1998.

Chow, V.T., Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill, N.Y., 1998.

De Marchi, G., Ripercussione della regolazione del lago Maggiore sulle piene del lago e su quelle del Ticino a Sesto Calende. Consorzio del Ticino, n.4, 1950.

Maione, U., e Mignosa P., Il funzionamento idraulico dell'incile del Lago Maggiore - Modello matematico dal Lago allo sbarramento di Porto della Torre e ricostruzione delle piene dell'autunno 1991 e 1993. Consorzio del Ticino n.19, Milano, 1995.

Tauxe, G.W, Mades, D.M., e R.R. Inman, Multiple Objectives in Reservoir Operation. ASCE J. of Water Resources Planning and Management, 106, marzo 1980.

Zampaglione, D., Cinquanta anni di regolazione: note, informazioni ed elaborazioni idrologiche. Consorzio del Ticino, n.18, 1993.

PUBBLICAZIONI DEL CONSORZIO DEL TICINO

1	1940	Prof. Ing. Giulio De Marchi	Sistemazione dello sbocco del Lago Maggiore
2	1943	Prof. Ing. Giulio De Marchi	Determinazione delle portate che la regolazione dei deflussi dal Lago Maggiore renderà disponibili per le utilizzazioni
3	1950	Prof. Ing. Giulio De Marchi	Determinazione dei benefici ritraibili dall'elevamento del limite superiore della trattenuta attiva dall'altezza di + 1,00 m a quella di + 1,50 m sopra lo zero dell'idrometro di Sesto Calende
4	1950	Prof. Ing. Giulio De Marchi	Ripercussioni della regolazione del lago Maggiore sulle piene del lago e su quelle del Ticino a Sesto Calende
5	1950	Prof. Ing. Giulio De Marchi	Variazioni provocate dalla regolazione dei deflussi nelle tenute dei livelli del lago Maggiore
6	1955	Prof. Ing. Giulio De Marchi	Determinazione delle portate che la regolazione del lago Maggiore renderà disponibili per le utilizzazioni. (seconda parte, anni 1945-1954)
7	1961	Consorzio del Ticino	Portate regolate giornaliere derivabili nei periodi irrigui dal 1916 al 1959 calcolate con le modalità del normale esercizio
8	1963	Prof. Ing. Mario Marchetti	Sistemazione dell'alveo del fiume Ticino al Dosso dei Murazzi
9	1964	Prof. Ing. Luigi Gherardelli	Influenza dei serbatoi montani alpini sulla regolazione del lago Maggiore
10	1964	Consorzio del Ticino	Portate autunno-inverno derivabili dal fiume Ticino calcolate con le modalità del normale esercizio dal 1916 al 1964
11	1965	Prof. Ing. Mario Marchetti Dr. Ing. Ugo Raffa	Le portate dell'incile del lago Maggiore in regime libero prima e dopo la sistemazione del suo alveo
12	1965	Prof. Ing. Mario Marchetti Dr. Ing. Ugo Raffa	Le risorgenze nell'alveo del fiume Ticino dalla diga della Miorina al ponte di Turbigo
13	1968	Consorzio del Ticino	La regolazione del lago Maggiore nel primo venticinquennio di esercizio (1943-1967)
14	1973	Prof. Ing. Duilio Citrini	Le piene del lago Maggiore e del Ticino emissario nel primo trentennio di regolazione
15	1981	Prof. Ing. Duilio Citrini Prof. Ing. Giuseppe Cozzo	Influenza dei serbatoi alpini sulla regolazione del lago Maggiore
16	1982	Prof. Ing. Duilio Citrini Prof. Ing. Giuseppe Cozzo	Influenze delle modalità di regolazione del lago Maggiore nei riguardi delle portate erogabili e dei livelli di piena
17	1986	Prof. Ing. Piero Maria Pellò Dr. Ing. Giulio Roncoroni	Informazioni relative all'evento di piena del lago Maggiore dell'aprile-maggio 1986 con analisi degli effetti, nella circostan- za, di ipotetici interventi tendenti a ridurre le esondazioni
18	1993	Prof. Ing. Domenico Zampaglione	Cinquanta anni di regolazione
19	1995	Prof. Ing. Ugo Maione Prof. Ing. Paolo Mignosa	Il funzionamento idraulico dell'incile del lago Maggiore: Modello matematico dal Lago allo sbarramento di Porto della Torre e ricostruzione delle piene dell'autunno 1991 e 1993
20	1997	Prof. Ing. Ugo Maione Prof. Ing. Paolo Mignosa	Conseguenze di una modifica dell'incile del Lago Maggiore sugli alti livelli lacuali e sulle portate di piena del Ticino emissario
21	1999	Ugo Maione, Doriana Bellani Michele Buffo, Silvano Ravera, Cecilia Mosca, Nicola Quaranta, Fabrizio Merati	Ricerca sul DMV "Deflusso Minimo Vitale" del fiume Ticino dalla diga della Miorina alla confluenza con il Po.
22	2000	Michele Cattaneo, Ugo Maione, Paolo Mignosa, Massimo Tomirotti	L'evento di piena dell'ottobre 2000 sul Bacino del Ticino
23	2004	Prof. Ing. Ugo Majone Prof. Ing. Paolo Mignosa	Effetti sulle piene del Verbano e del Ticino provocati da un aumento della capacità di deflusso all'incile
24	2004	Prof. Ing. Paolo Mignosa	Il controllo delle piene del lago e del ticino
25	2004	Prof. Ing. Ugo Majone Dott. Ing. Isabella Pallavicini	Impostazione di un controllore fuzzy per la regolazione ottima multiobiettivo di un invaso
26	2004	Prof. Ing. Ugo Majone Dott. Ing. Paolo Mignosa Dott. Ing. Isabella Pallavicini	Metodologia per lo studio dell'effetto di una regolazione multiobiettivo sull'andamento dei livelli di piena di un invaso