CONSORZIO DEL TICINO

STUDI PER LA REGOLAZIONE DEL LAGO MAGGIORE E PER LA UTILIZZAZIONE DELLE ACQUE DEL FIUME TICINO

4

RIPERCUSSIONI DELLA REGOLAZIONE DEL LAGO MAGGIORE SULLE PIENE DEL LAGO E SU QUELLE DEL TICINO A SESTO CALENDE

RELAZIONE DEL PROF. GIULIO DE MARCHI

MILANO
1950

INDICE

PRESENTAZIONE . . . . . pag. 7

INTRODUZIONE . . . . . » 9

CAPITOLO I - Scale delle portate dello sbocco lacuale

1 - *Premessa* . . . . . » 13

2 - *Scala attuale* . . . . . » 15

3 - *Scala dello sblocco fluviale completamente sistemato* . . . . . » 20

CAPITOLO II - Le piene del Lago Maggiore

1 - *Notizie generali sulle massime piene del lago* . . . . . » 23

2 - *Le piene dal 1868 al 1944* . . . . . » 26

CAPITOLO III - Determinazione degli effetti di una ritenuta iniziale sul decorso delle piene

1 - *Richiami di idraulica fluviale - Canone di Lombardini* . . . . . » 35

2 - *Formule risolutive per il calcolo degli effetti idraulici di una ritenuta iniziale* . . . . . » 37

3 - *Applicazione pratica delle formule risolutive: valori numerici delle costanti e precisazione delle condizioni iniziali per il caso della regolazione del lago Maggiore* . . . . . » 44

CAPITOLO IV - Risultati del calcolo e loro analisi - Applicazione delle formule risolutive per la determinazione delle ripercussioni della regolazione sulle piene del lago Maggiore e del Ticino . . . . . » 59

CAPITOLO V - Riassunto e conclusioni . . . . . » 79

PRESENTAZIONE

Le ripercussioni che la regolazione del Lago Maggiore avrebbe potuto determinare sulle piene del lago e su quelle del Ticino, hanno formato materia di discussioni dotte e in qualche momento vivacissime per lungo tempo, da quando i classici studi del Lombardini per la prima volta fissarono i caposaldi della idraulica lacuale e lasciarono intravedere i vantaggi ritraibili da una regolazione dei loro deflussi.

Ma la grande piena del 1868 venne a richiamare brutalmente l'attenzione di tecnici e studiosi, e con le sue catastrofiche conseguenze suscitò preoccupazioni ed apprensioni di vasti strati della popolazione.

Solo ora noi possiamo dire che quella piena fu un evento assolutamente eccezionale, giacchè eventi di entità uguale o soltanto paragonabile non si ripeterono più nei successivi ottant'anni, e non si erano nemmeno verificati nei due secoli precedenti.

Essa in ogni modo scoraggiò le prime timide iniziative e ritardò indubbiamente di qualche decennio la risoluzione del problema della regolazione.

Ora che la regolazione è in atto, si può dire a ragion veduta che apprensioni e preoccupazioni furono certamente sproporzionate alla realtà dei fatti. Tuttavia il Consorzio del Ticino ha ritenuto necessario che il problema venisse esaminato a fondo e una volta per sempre.

L'indagine che forma oggetto del presente fascicolo — il 4° della serie degli « Studi per la regolazione del Lago Maggiore e per la utilizzazione delle acque del Ticino » — *viene a dimostrare con la eloquenza delle cifre che in effetto la regolazione del lago non avrebbe ripercussioni di sorta sopra eventi catastrofici come fu quello del 1868: qualora avesse trovato la regolazione in atto, i livelli e le portate di colmo, e il decorso generale di quella piena per tutti gli stati più alti, cioè per livelli lacuali superiori ai 4 metri sullo zero di Sesto, sarebbero stati gli stessi che si verificarono nel 1868, con differenze appena apprezzabili.*

Le ripercussioni della regolazione sono in effetto circoscritte alle piene minori e particolarmente a quelle di rapida formazione, che ricorrono soltanto nei mesi estivi.

Il prof. De Marchi è arrivato a definirle sicuramente nella loro entità e nelle loro caratteristiche sulla base dell'esame di tutte le piene verificatesi finora a partire da quella del 1868; il Consorzio osa ritenere che i risultati esposti valgano a dissipare definitivamente le apprensioni che ancora potessero eventualmente sussistere.

L'indagine ha posto pure in evidenza che anche nelle piene minori gli effetti della regolazione si mantengono di limitata entità, e tali resterebbero anche nella eventualità che il limite superiore della trattenuta attiva venisse elevato di 0,50 m e cioè, a 1,50 m sullo zero di Sesto.

L'aumento della trattenuta del quale nel fascicolo 3° sono stati valutati i vantaggi, potrebbe quindi essere attuato senza preoccupazioni nei riguardi delle piene del lago e di quelle del fiume.

Lo studio compiuto dal prof. De Marchi — al quale il Consorzio rivolge espressioni di vivo ringraziamento per le chiare e convincenti risultanze — porta a concludere che l'aumento della trattenuta del quale nel fascicolo 3° sono stati valutati i vantaggi, potrebbe quindi essere attuato senza preoccupazioni nei riguardi delle piene del lago e di quelle del fiume.

Milano, Luglio 1950.

ANSELMO RAMPONI
Presidente Consorzio del Ticino

INTRODUZIONE

Intendimento della presente indagine è quello di valutare le ripercussioni che l'esercizio della regolazione del lago Maggiore potrà avere sulle piene del lago e su quelle del fiume.

Tali ripercussioni costituiscono sempre uno degli aspetti piú delicati del problema della regolazione dei laghi. Nel caso del lago Maggiore la eccezionale piena del 1868, evento unico nel periodo ormai plurisecolare della storia conosciuta di quel lago, e le due meno gravi ma pur sempre mponenti, che ad essa seguirono poco piú tardi, nel 1872, erano venute a dare singolare peso alle preoccupazioni suscitate dai primi progetti di regolazione del lago, le quali avevano trovato un autorevole assertore nel Lombardini. Ma il primo obbiettivo esame della questione fu compiuto soltanto nel 1923, e si deve al compianto prof. G. Fantoli, che aveva portato trent'anni prima un contributo fondamentale all'idraulica dei laghi.

Nella relazione al progetto che servì di base per la concessione dell'opera di sbarramento del Ticino alla Miorina il prof. Fantoli inserí uno studio, che egli presentò come preliminare, esprimendo l'intenzione di farlo seguire da trattazione piú estesa, la quale però non vide mai la luce. In quello studio sono considerate tutte le piene avvenute fra il 1868 e il 1922, le quali raggiunsero o superarono i 3 m sullo zero dell'idrometro di Sesto Calende, ma sono esaminate particolareggiatamente soltanto le tre ricordate sopra, quella del 1868 e le due del 1872. Esso, inoltre, è condotto con riguardo all'insieme delle opere inizialmente previste per la regolazione del lago, compreso quel condotto laterale sussidiario, che all'atto pratico non è stato costruito. Le note prove su modello, eseguite nell'Istituto di Idraulica del Politecnico di Milano (1) avevano dimostrato infatti che la sistemazione dell'alveo fluviale a monte e a valle della diga mobile, occorrente per rendere lo sbocco lacuale atto alla erogazione di 200 m^3/sec a lago completamente svasato (livello a Sesto all'altezza — 0,50 m), avrebbero aumentato la capacità di deflusso

(1) G. De Marchi: *Sistemazione dello sbocco del Lago Maggiore* - Ricerca sperimentale ecc. - Pubbl. n. 1 del Consorzio del Ticino - Milano 1940.

dello sbocco medesimo in misura assai superiore a quella prevista nel progetto, e tale da comprendere anche il contributo che il progetto assegnava al canale. Dobbiamo pure aggiungere che tale canale avrebbe comunque esercitato un'azione affatto secondaria sul decorso delle maggiori piene.

La presente indagine considera sia la situazione dello sbocco lacuale creatasi dopo la costruzione della diga di regolazione, sia quella che si determinerebbe in futuro, qualora venissero eseguiti lo spianamento della soglia della Miorina, a valle della diga, previsto nel progetto approvato, e lo sbancamento alla soglia dei Murazzi, nella misura dimostrata necessaria dalle esperienze. Essa, inoltre, fa riferimento a tutte indistintamente le piene verificate dal 1868 ad oggi, che portarono il livello liquido a Sesto almeno a 2 m sullo zero.

Un primo capitolo è dedicato alla determinazione delle capacità di deflusso dello sbocco lacuale, sia nella sua condizione attuale, sia nelle previste condizioni future. La capacità attuale può essere definita concretamente, fino ad altezze dell'ordine di 2 m sullo zero, in base a numerose misure di portata eseguite negli ultimi anni, posteriormente alla costruzione della diga, dalla Sezione Idrografica Lombarda. Le sole indicazioni positive sulla capacità futura sono quelle fornite dalle prove sul modello sperimentato nell'Istituto di Idraulica milanese, le quali arrivarono poco oltre l'altezza di 1 m sullo zero di Sesto. Siccome i massimi livelli raggiunti a questo idrometro durante le maggiori piene hanno di gran lunga superato i due limiti anzidetti, giungendo una volta, nell'evento catastrofico del 1868, fino al valore di 6,94 m e superando diverse volte i 4 m nell'ultimo secolo, è stato necessario estrapolare le due scale: operazione delicata per la mancanza di sicuri termini di riferimento, ma senza importanti riflessi pratici nei rapporti dell'indagine intrapresa, perchè l'intendimento di questa è essenzialmente comparativo. Essa infatti è sopratutto intesa a porre in evidenza le differenze fra il regime *naturale* del lago durante le piene, qual'era prima della costruzione della diga mobile alla Miorina, il regime regolato attuale, che sussiste nelle presenti condizioni dello sbocco lacuale, e il regime regolato futuro, che si stabilirebbe dopo l'esecuzione della divisata sistemazione dell'alveo fluviale, da Sesto alla rapida della Miorina.

Forma oggetto del capitolo II l'esame di tutte le piene del lago, delle quali si conserva notizia, particolarmente di tutte quelle verificate da quando il lago è oggetto di osservazioni sistematiche. L'insieme degli elementi raccolti permette di tracciare un quadro che riteniamo abbastanza completo del regime naturale delle piene del lago, e individua cosí il primo dei termini del paragone che l'indagine si è proposta di istituire.

La definizione del secondo termine, e cioè del decorso che le stesse piene avrebbero avuto se il lago fosse stato regolato, deve appoggiarsi a fondamentali nozioni di idraulica lacuale. La materia ha formato oggetto di una classica trattazione per parte del prof. Fantoli nella monografia *Il regime idraulico dei laghi* (1); essa consente di stabilire semplici formule risolutive, le quali permettono di tradurre

(1) U. Hoepli, Milano 1897.

rapidamente in cifre espressive gli effetti della regolazione sui livelli del lago e sulle portate dell'emissario. Abbiamo ritenuto opportuno un sintetico richiamo di quelle nozioni, a giustificazione delle formule dedotte e sistematicamente applicate (Cap. III).

Nella seconda parte dello stesso Cap. III sono dedotti e discussi i valori numerici che occorre assegnare per il caso del lago Maggiore a coefficienti e costanti delle formule, e sono precisate le modalità di esercizio della regolazione, che abbiamo ritenuto di dover sottoporre a particolare esame per stabilire il quadro completo delle possibilità offerte dalla regolazione.

Nel capitolo IV si procede alla concreta determinazione delle varie ripercussioni che la regolazione — condotta secondo le diverse modalità precisate in precedenza — avrebbe esercitato su tutte le piene del lago che ne portarono il livello almeno all'altezza + 2,00 m a Sesto, dal 1868 ad oggi. I computi sono stati condotti sia ammettendo il limite superiore della trattenuta attiva fissato a + 1,00 m sullo zero di Sesto, come previsto dal progetto approvato, sia ritenendo tale limite elevato all'altezza + 1,50 m che la diga mobile consentirebbe di raggiungere. Sono inoltre esaminate tanto la situazione attuale dell'incile, alla quale compete una scala di portate che praticamente coincide con quella mantenutasi in vigore fino al 1936, quanto la situazione che si creerebbe qualora l'alveo fluviale subisse la sistemazione occorrente a consentire la erogazione di 200 m^3/sec con il livello — 0,50 a Sesto.

Dall'insieme dei fatti analizzati le ripercussioni che ritenuta iniziale e sistemazione dell'alveo possono avere sul decorso delle piene e le variazioni conseguenti nei livelli di colmo del lago e nelle massime portate del fiume risultano molto chiaramente precisate nei loro caratteri qualitativi e nella loro entità numerica.

Il Cap. V, dopo un sommario richiamo delle successive fasi dell' indagine, espone le conclusioni di carattere pratico che, nel pensiero del sottoscritto, se ne debbono trarre, in ispecie nei riguardi dei lavori che ancora resterebbero da compiere per la sistemazione dello sbocco lacuale.

A tutto lo svolgimento della presente indagine, come già a quello delle precedenti, dirette a valutare le portate rese disponibili dalla regolazione, ha attivamente partecipato il mio collaboratore prof. ing. Duilio Citrini, al quale si debbono in ispecie in grandissima parte i laboriosi calcoli numerici che essa ha comportato.

Capitolo I

SCALE DELLE PORTATE DELLO SBOCCO LACUALE

1 - Premessa

Le scale delle quali occorreva disporre per lo sviluppo dei calcoli che ci siamo proposti sono:

a) quella vigente attualmente, quando la diga mobile della Miorina è completamente abbattuta e l'efflusso è completamente libero attraverso l' edificio di regolazione;

b) quella che dovrebbe entrare in vigore in avvenire, quando lo sbocco lacuale avesse subíto quella sistemazione che le note prove su modello hanno dimostrato necessaria per conferirgli la capacità di deflusso prevista nel piano di massima iniziale (almeno 200 m^3/ sec per il livello —0,50 all'idrometro di Sesto).

Per ambedue le scale interessano unicamente i tratti superiori, a partire dall'altezza + 1,00 a Sesto, che nel piano di massima approvato e attuato segna il limite della trattenuta attiva, giacché a partire da questa altezza la diga mobile dovrà a norma di quel piano essere completamente abbattuta, in modo da liberare totalmente lo sbocco lacuale. Occorre però ricordare che il campo di escursione dei livelli a Sesto si estende assai al di sopra di detto limite, arrivando fino al massimo di 6,94 m sopra lo zero (evento eccezionalissimo del 1868).

Per quanto riguarda la scala attuale, poichè la costruzione della diga mobile non ha apportato modificazioni di rilievo alla configurazione generale del tronco iniziale del Ticino, il cui alveo finora ha subíto soltanto modesti ritocchi nella immediata vicinanza dell'opera, era facile prevedere che tale scala non dovesse scostarsi di molto da quella vigente in precedenza, quando l'incile trovavasi ancora completamente libero, nelle condizioni naturali. Questa presunzione ha trovato piena conferma nelle numerose misure della portata del fiume che la Sezione Idrografica milanese ha eseguito negli ultimi tre anni, posteriormente alla entrata in funzione della diga mobile, all'altezza di Golasecca, circa 1 km a valle della Miorina.

Esse sono state eseguite in condizioni di diga completamente abbattuta, o

quasi, e spinte fino alla massima altezza di 2,12 m a Sesto, per la quale si è trovata la portata di 1020 m³/sec. È stato constatato che, a seguito della costruzione della diga, la capacità di deflusso dello sbocco lacuale ha subìto un modesto incremento rispetto ai valori che erano stati riscontrati per essa negli anni immediatamente antecedenti, e che erano stati esposti e illustrati nella speciale relazione del direttore della Sezione idrografica di Milano, ing. Merla, inserita nella precedente pubbl. 2 del Consorzio (1). Le numerose misure eseguite dal Servizio Idrografico fra il 1923 e il 1939 avevano messo in luce che fino al 1936 la scala di deflusso del Ticino all'idrometro di Sesto, per livelli non superiori a circa + 1,50 sopra lo zero, coincideva praticamente con quella denominata per tradizione di Cipolletti-Fantoli, perchè determinata inizialmente dal Cipolletti fra il 1880 e il 1890, e successivamente rettificata (nel suo tratto superiore) dal Fantoli. Una visibile diminuzione della capacità di deflusso si era poi resa manifesta, nel triennio susseguente, dal 1937 al 1939, nelle proporzioni del 6 %-9 % rispetto ai valori mantenuti per il lungo periodo antecedente. Dopo la costruzione della diga, a norma delle misure di Golasecca, la capacità di deflusso dello sbocco lacuale ha praticamente ripreso i valori che aveva mantenuti fino al 1936, presentando quindi un lieve incremento rispetto al comportamento del triennio 37-39. Le modeste alterazioni comportate dalla costruzione dell'opera sarebbero quindi appena bastate a compensare le diminuzioni che la capacità di deflusso aveva subìto in tale triennio.

Fino ad altezze dell'ordine di 1,50 m sopra lo zero la scala attuale si identifica con quella Cipolletti-Fantoli. Oltre quella altezza, fra le due si determina un distacco, e la scala Cipolletti-Fantoli fornisce valori in difetto rispetto a quelli delle misure. Queste però, per le condizioni attuali, arrivano — come dicemmo — solo fino all'altezza 2,12 m, mentre antecedentemente alla costruzione della diga erano state spinte fino a quella di 2,80 m, fermandosi, in un caso e nell'altro, ad altezze molto inferiori ai massimi livelli raggiunti dal lago. Per questi livelli mancava quindi, e manca tuttora, una base sperimentale sicura per la determinazione delle corrispondenti portate.

Di elementi anche meno definiti si dispone per individuare la scala delle portate dello sbocco lacuale sistemato, che dovrebbe sostituire la precedente, qualora venissero effettuati lo spianamento dell'alveo a valle della diga e gli ampi sbancamenti riconosciuti indispensabili alla soglia dei Murazzi, per rendere possibile l'erogazione di 200 m³/sec a lago completamente svasato. I soli dati concreti ai quali ci si può appoggiare sono costituiti, infatti, dai risultati delle prove sul modello sperimentato nel Laboratorio di Idraulica del Politecnico milanese. Tale modello era stato allestito per riconoscere il funzionamento dell'incile nel campo della trattenuta attiva; nelle prove non fu superata perciò l'altezza + 1,20 a

---

(1) *Determinazione delle portate che la regolazione dei deflussi dal lago Maggiore renderà disponibili per le utilizzazioni.* Appendice 2ª, Milano 1946.

Sesto, sicché della scala futura può ritenersi fondatamente individuato solo il tratto che raggiunge, o di poco supera, questa altezza.

Su quali basi dovevasi procedere alle estrapolazioni delle due scale? Non oseremmo dire che il problema ammettesse soluzioni esenti da critica e che tale sia quella da noi prescelta. Non riteniamo però di dovercene molto preoccupare per la ragione già detta che la presente indagine non è intesa a definire nella loro precisa entità numerica i valori che la portata del fiume poté raggiungere nelle diverse piene, bensí e soltanto a mettere in evidenza le variazioni che portate e livelli di ogni piena avrebbero subìto qualora l'efflusso dal lago, anziché essere libero, fosse stato regolato. In vista delle finalità puramente comparative le modalità della estrapolazione perdono quasi ogni importanza di fronte alla necessità di stabilire in modo omogeneo i termini del confronto, e renderli sicuramente paragonabili fra loro.

Abbiamo tuttavia procurato di conferire alle estrapolazioni tutta l'attendibilità compatibile con la natura del problema, procedendo come è detto appresso.

2 - Scala attuale

Una prima indicazione circa il possibile andamento della scala per altezze superiori a quelle raggiunte dalle misure poteva essere fornita dalla ricordata scala Cipolletti-Fantoli, che, come abbiamo detto dianzi, ne rispecchia con sufficiente fedeltà l'andamento all'incirca fino a + 1,50 m sullo zero di Sesto. Per il massimo livello storicamente osservato di 6,94 m, questa scala fornirebbe il valore di 4267 m^3/sec, che dovrebbe quindi rappresentare — se l'applicazione fosse attendibile — la massima portata finora defluita a Sesto.

Senonché questo valore è decisamente inferiore a quello di 5000 m^3/sec accettato quasi generalmente da molti anni — diremmo, dalla pubblicazione avvenuta nel 1897, della classica monografia del Fantoli — e si deve anche ritenere con ogni probabilità inferiore a quello che si potrebbe verificare ora, nelle attuali condizioni dell'incile, se quel livello dovesse essere ancora raggiunto. Infatti, come già abbiamo rilevato, la scala attuale (v. fig. 1) si distacca abbastanza nettamente da quella Cipolletti-Fantoli a partire dall'altezza di + 1,50 (o poco meno), e poi per un lungo tratto corre pressoché parallela ad essa, ma spostata verso il basso di circa 17 cm: sicché la sua estrapolazione, per h = 6,94 m, darebbe luogo senza alcun dubbio a piú di 4267 m^3/sec.

Sta di fatto, d'altro canto, che due misure, delle quali abbiamo trovato una vaga notizia nella relazione degli ingegneri Schiavoni e Salmoiraghi (1) al pro-

---

(1) Soc. Italiana per Condotte d'acqua: *Chiusura d'invaso nell'emissario del lago Maggiore a Sesto Calende* — Milano 1902. In una nota a pag. 81 si legge « Della piena del 1868 si conoscono due sole misure: una indiretta dell'ing. Eugenio Villoresi, il quale si appoggiò ad altezze d'acqua, sezioni e pendenze da lui stesso rilevate prima, durante e dopo la piena e avrebbe ottenuto la portata di 4544

getto, redatto nel 1902 dalla Soc. Condotte d'Acqua, dell'opera di regolazione del lago, avrebbero portato al valore di 4544 m³/sec: e che a valori decisamente piú elevati sono pervenute tutte le valutazioni che erano state compiute in precedenza, dal Lombardini, dal Possenti e infine dal Fantoli.

Il Lombardini ci ha lasciato due successive valutazioni. La prima è contenuta in quella nota memoria del 1869 (2) nella quale egli diede un interessante quadro dell'eccezionalissimo evento dell'anno precedente; ivi, appoggiandosi alla sua « prima scala » [riportata nella nota (1)] egli era arrivato, con un ragionamento sul quale dovremo tornare fra breve, anzichè a 4543 m³/sec, al valore di 4830 m³/sec. Della seconda valutazione ci ha dato sommaria notizia nella « *Guida allo studio dell'idrologia fluviale e dell'idraulica pratica* » (3) pubblicata un anno piú tardi. Vi si legge (n. 336) che avendo avuto occasione « *di rettificare i dati delle altezze effettive del lago e di alterazioni avvenute nel fondo del suo emissario* », il Lombardini era stato indotto ad aumentare il risultato precedente portandolo a 5400 m³/sec: però la memoria non offre alcuna precisazione del procedimento attraverso il quale era stato ottenuto questo numero.

Nella monografia « *Il regime idraulico dei laghi* » il Fantoli, richiamate tutte le valutazioni precedenti, si fermò sul valore tondo di 5000 m³/sec che a suo parere doveva essere accettato come un punto da ritenere sicuro nella scala dell'incile lacuale. Ma le argomentazioni attraverso le quali il Lombardini e piú tardi il Fantoli furono indotti a ritenere insufficienti i valori che le rispettive scale fornivano per $h = 6{,}94$ m lasciano perplessi.

Il Lombardini, infatti, era giunto al suo primo valore (4830 m³/sec) mediante una semplice estrapolazione della scala dell'incile che egli stesso aveva stabilita qualche anno prima (4) valendosi, come egli scrive, « delle sezioni dell'emissario e del profilo del suo pelo d'acqua in vari stati dalla magra alla piena ». Nel suo calcolo però egli aveva ritenuto necessario « rettificare le altezze delle acque osservate all'idrometro di Sesto Calende, in quanto quelle di magra soltanto collimano col pelo d'acqua orizzontale del lago, mentre per le successive altezze vi è fra queste e Sesto Calende una sensibile cadente, che va progressivamente crescendo ». Egli ne concluse, quindi, che a partire da quegli stati lacuali per i quali la cadente fra lago e Sesto si rende apprezzabile, nella equazione della scala fossero da introdurre, in luogo delle altezze h lette a Sesto, i livelli contemporanei

---

m³/sec: un'altra diretta, eseguita dall'ing. Trabucchi e dal Genio Militare residente a Pavia, la quale avrebbe convalidato le risultanze della misura Villoresi ». Mancando ogni altro chiarimento, non sapremmo dire in che sia consistita la misura « diretta » dell'ing. Trabucchi, né abbiamo alcun elemento per renderci conto della attendibilità del risultato. Può soltanto essere utile notare che il risultato coincide con quello al quale porterebbe l'applicazione della « prima scala Lombardini » $q = 223\ (h + 0{,}52)^{3/2}$ che per $h = 6{,}94$ m fornirebbe appunto 4543 m³/sec. Sarà puramente fortuita tale coincidenza?

(2) *Sulla piena dei fiumi dell'Alta Italia e particolarmente su quella dei fiumi e laghi della Lombardia nell'autunno 1868.* Il Politecnico. anno 1869, pag. 273.

(3) Milano, Tipografia e Litografia degli Ingegneri, 1870.

(4) *Sui progetti intesi ad estendere l'irrigazione della pianura nella Valle del Po* - Milano 1862.

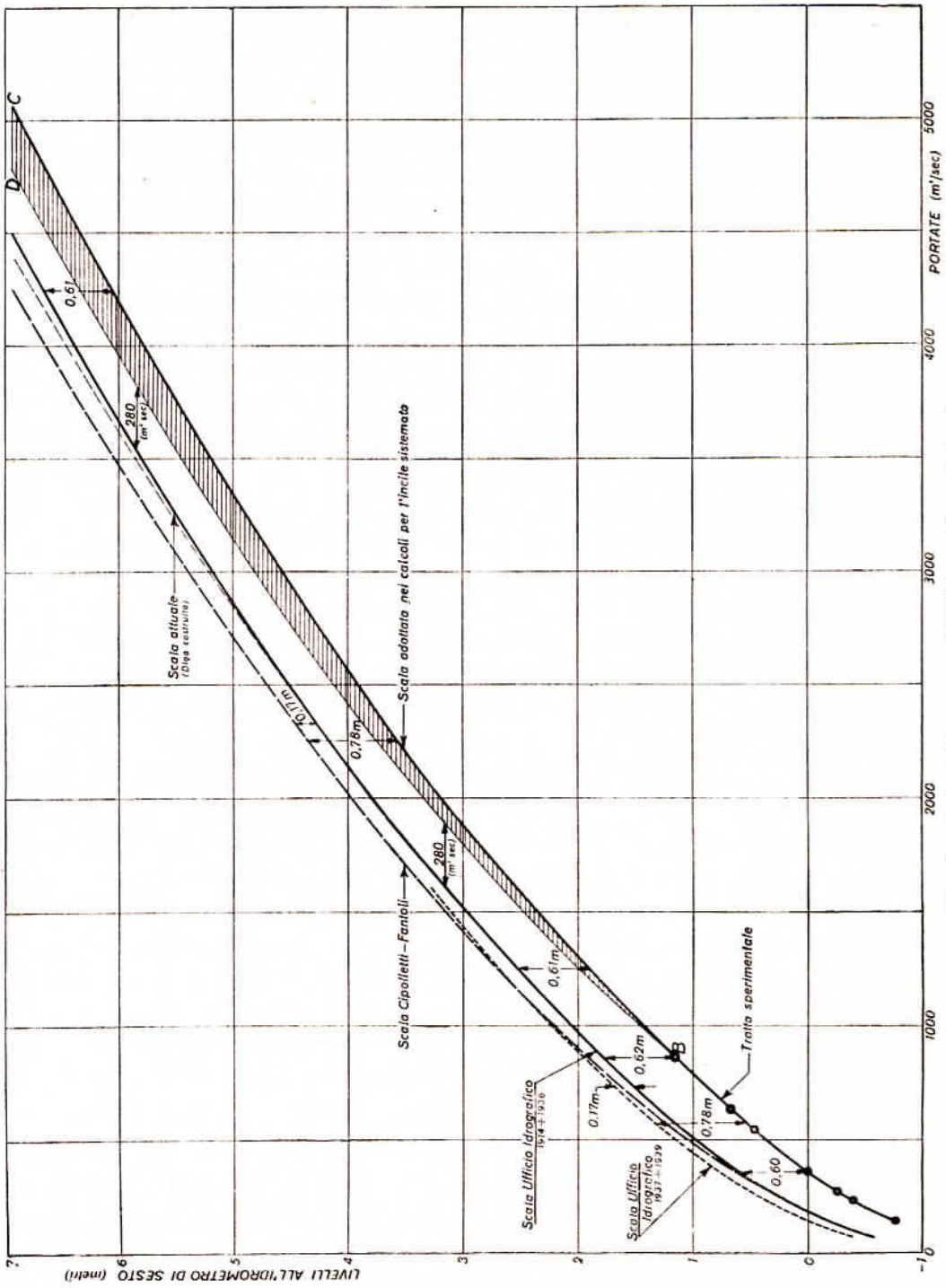

Fig. 1. - Scale delle portate del Ticino a Sesto Calende.

del lago, che per chiarezza indicheremo con H. Con tale ipotesi, che allo stato delle cose poteva essere ammissibile — sulla quale in ogni modo non ci è possibile di formulare alcun giudizio, giacché non sappiamo come precisamente il Lombardini fosse arrivato a definire la equazione della propria scala — per determinare il valore della portata di colmo della piena del 1868 egli introdusse, nella equazione riportata nella nota di pag. prec., il massimo livello osservato ad Arona (7,25 m sullo zero di Sesto), anziché la massima altezza 6,94 m letta a Sesto durante la piena. Così egli pervenne al valore di 4830 m³/sec che abbiamo sopra ricordato e che fu poi accettato dal Possenti (1): e lo ritenne piú attendibile di quello di 4543 m³/sec che la stessa equazione forniva invece per $h = 6{,}94$ m. L'anno successivo però, come già ricordammo, egli aumentò ulteriormente la portata di colmo a 5400 m³/sec.

Il concetto di Lombardini, che nella scala dell'emissario fossero da introdurre i livelli H del lago anziché le altezze h lette a Sesto, fu accettato e fatto proprio dal Fantoli. Questi procedette ad una piú accurata valutazione dei dislivelli $(H\text{-}h)$ che durante le piene si possono stabilire fra i peli contemporanei del lago e di Sesto. Riferendosi alle medie delle letture contemporanee a diversi idrometri lacuali, riconobbe che quei dislivelli erano assai piú grandi di quelli assunti dal Lombardini, raggiungendo il valore di 0,60 m (anziché 0,31 m) in corrispondenza del colmo della piena del 1868, e concluse quindi che nella equazione della scala dell'emissario fosse da introdurre il valore $H = 6{,}94 + 0{,}60 = 7{,}54$ m, per ottenere la portata defluita nel momento di colmo. L'equazione della scala Cipolletti, da lui precedentemente rettificata, gli fornì così il valore di 4811 m³/sec, praticamente coincidente con quello che il Lombardini aveva ottenuto dalla propria scala con $H = 7{,}25$ m.

Senonché, ove si faccia caso alla genesi della scala Cipolletti-Fantoli, non può restare dubbio che le altezze da introdurre nella relativa equazione per il calcolo delle portate effluenti dal lago debbono essere le h lette a Sesto, e non quelle H del lago. La detta scala, infatti, è il risultato di una fondata elaborazione critica delle misure compiute dal Cipolletti e dalle quali questi aveva dedotto una sua « scala numerica », valevole fino all'altezza di 3,50 m a Sesto. Quelle misure non erano molto numerose, ma erano state eseguite con grande cura, e i risultati successivi ne confermarono l'attendibilità. Per le portate piú elevate (fino al massimo di 560 m³/sec) il Cipolletti si era valso della traversa del Panperduto, senza però mettere in conto l'effetto della velocità di arrivo. Il Fantoli valutò invece correttamente questo effetto sulla base delle allora recentissime esperienze di Bazin e arrivò cosí alle sue rettifiche. In particolare la portata di 1600 m³/sec, che secondo la scala numerica Cipolletti dovrebbe corrispondere all'altezza 3,50, fu da lui elevata a 1702 m³/sec.

Ma le altezze alle quali il Cipolletti aveva riferito la scala numerica erano unicamente quelle lette all'idrometro di Sesto: unicamente queste debbono quindi

---

(1) Carlo Possenti: *Sulla regolazione del Lago Maggiore e del suo emissario* - Firenze 1870.

essere introdotte nella equazione data da Fantoli per la scala Cipolletti rettificata. Siccome ambedue valgono fino all'altezza 3,50 m, per la quale il divario fra livello del lago e lettura a Sesto, che comincia a rendersi apprezzabile già per $h = 2$ m, ha assunto il rilevante valore di 21 cm, non può sussistere dubbio circa l'altezza da introdurre nell'equazione della scala rettificata per calcolare le portate spettanti agli stati lacuali piú elevati. Essa non può che essere l'altezza letta a Sesto. E allora la portata verificatasi in corrispondenza del colmo della piena del 1868, a norma di questa scala, non potrebbe che essere quella di 4267 m³/sec, che l'equazione fornisce per $h = 6{,}94$ m.

Il valore di 5000 m³/sec che da mezzo secolo viene invece accettato quasi unanimemente per quella portata, deriva sostanzialmente (1) da un arrotondamento di quello di 4811 m³/sec, al quale il Fantoli era pervenuto introducendo nella equazione della scala rettificata il valore di $h = 7{,}54$ m. Da quanto siamo venuti dicendo appare chiaro che l'arrotondamento sarebbe, se mai, da applicare al valore di 4267 m³/sec, che la stessa scala fornisce per $h = 6{,}94$ m, con che si arriverebbe a una portata dell'ordine di 4500 m³/sec, vicina assai a quella che avrebbero fornito le due sole misure delle quali si abbia qualche notizia, per quanto sommaria.

Riteniamo per tutto questo che la massima portata raggiunta dal Ticino durante lo storico evento del 1868 sia da valutare intorno a 4500 m³/sec, anziché intorno a 5000 m³/sec come si era per consuetudine oramai antica ammesso sin qui.

Fissato questo punto, abbiamo assunto a rappresentare la capacità di deflusso dello sbocco lacuale la curva che si vede tracciata nella fig. 1; essa segue nel suo ramo inferiore la scala determinata dal Servizio Idrografico per gli anni dal 1923 al 1936, e poi procede verso l'alto, fino a passare per il punto di coordinate $h = 6{,}94$ m e $q = 4500$ m³/sec.

Questa è la scala di cui abbiamo fatto uso per l'analisi di tutte le piene verificatesi dal 1868 ad oggi. La sua attendibilità è certamente buona per il tratto inferiore, coperto da misure dirette fino ad altezze di circa 3 m. Per altezze superiori l'attendibilità diminuisce. Importa però notare che il tratto piú alto, sul quale può aver peso l'avere ridotto a 4500 m³/sec il valore della portata di colmo della piena del 1868, interessa unicamente lo studio di questa medesima piena. Infatti il massimo livello raggiunto posteriormente dal lago, dal 1869 ad oggi, è quello di 4,44 m a Sesto verificatosi nell'autunno 1872. Per tale altezza lo scostamento fra il valore fornito dalla scala Cipolletti-Fantoli e quello che fornisce la curva da noi assunta risulta di soli 100 m³/sec sopra 2300, e riveste quindi una importanza affatto trascurabile.

La scala medesima non potrebbe — notiamo — essere applicata alle piene

---

(1) v. *Regime idraulico dei laghi* - pagg. 145, 146.

antecedenti al 1868, perché quella di tale anno modificò le condizioni della soglia della Miorina, determinandone un sensibile abbassamento (valutato dal Cipolletti nel suo valore medio intorno a 27 cm: dal Possenti intorno a 33).

3 - Scala dello sbocco fluviale completamente sistemato

Il tratto di questa scala che è stato individuato sperimentalmente, nelle prove di laboratorio, interessa le altezze a Sesto comprese fra —0,50 e +1,20 m, alle quali corrispondono le portate rispettivamente di 200 e 890 m³/sec: per le stesse altezze la scala Cipolletti-Fantoli fornirebbe invece 67 e 560 m³/sec.

Il confronto fra la situazione attuale dell'incile e quella che si creerebbe dopo l'esecuzione della prevista sistemazione trova evidenza nei valori delle altezze occorrenti a Sesto, nell'una e nell'altra situazione, per dare sfogo a pari valori della portata. Si desume dal grafico che la portata di 360 m³/sec, la quale defluirebbe nell'alveo sistemato con l'altezza zero a Sesto, nelle condizioni attuali richiederebbe invece l'altezza +0,60 m; mentre la portata di 890 m³/sec, per la quale nell'alveo sistemato occorrerebbe l'altezza +1,20 m, nelle condizioni attuali defluirebbe solo con quella di 1,82 m. Entro questo intervallo di altezze, la scala dell'emissario sistemato si può quindi praticamente ricavare da quella vigente attualmente, abbassandola parallelamente all'asse delle ordinate, di un tratto pari in media a 61 cm. Nel medesimo intervallo, la sistemazione dell'incile, che è destinata a conferire ad esso la capacità di deflusso di 200 m³/sec per h = —0,50 m, sarebbe equiparabile, agli effetti idraulici, ad un abbassamento medio dell'alveo fluviale della detta quantità di 61 cm.

Qualora i lavori occorrenti per la sistemazione dell'incile, anziché essere circoscritti alle soglie dei Murazzi e della Miorina, interessassero in pari misura l'intero tronco fluviale dal lago a Porto della Torre, lungo il quale con due rapide successive e con un salto di circa 6 m il fiume si apre la via attraverso l'apparato morenico che delimita a mezzogiorno lo specchio del lago, i loro effetti idraulici potrebbero essere messi in conto senza difficoltà per tutti i livelli mediante un semplice abbassamento di 61 cm della scala attuale, dalle minime alle massime portate. La scala dell'incile sistemato verrebbe allora rappresentata dalla curva BC (fig. 1) ricavata appunto con questa operazione da quella assunta per l'alveo attuale. A pari livelli a Sesto, la sistemazione darebbe luogo ad incrementi delle portate erogabili dal lago progressivamente crescenti, da 260 m³/sec per h = 1,00 m, a 360 m³/sec per h = 3,00 m, a circa 650 m³/sec per h = 6,94 m.

Ma gli spianamenti del fondo e gli sbancamenti da eseguire per conferire all'incile la prevista capacità di deflusso sono limitati a un tratto relativamente breve, poco piú di un decimo del lungo corridoio attraverso il quale il fiume sbocca nella pianura. È evidente che, col crescere del livello e della portata, gli effetti di essi si dovrebbero rendere progressivamente piú piccoli di quelli di un abbassamento generale dell'alveo per l'intero tronco, perchè si farebbe progressivamen-

te piú marcata l'azione dei lunghi tratti che la sistemazione non avrebbe in alcun modo modificati, e quella delle sponde che i lavori non verrebbero ad alterare, salvo nelle immediate vicinanze della diga.

La effettiva misura degli incrementi, che la capacità di deflusso dell'incile fluviale dovrebbe subire a seguito della sistemazione, sfugge ad ogni valutazione precisa: né sarebbe forse prezzo dell'opera di affrontare calcoli siffatti. Basta, riteniamo, considerare che, rispetto alla scala adottata per la situazione attuale, gli incrementi ora detti, mentre sarebbero certo inferiori a quelli che comporterebbe l'andamento BC della scala futura (fig. 1) per altezze maggiori di 1,20 m, dovrebbero risultare inevitabilmente superiori al valore di 280 m^3/sec, che a norma delle prove sul modello si dovrebbe verificare per la medesima altezza. La scala dell'alveo sistemato dovrebbe quindi trovarsi a destra della curva BD, dedotta da quella attualmente in vigore aumentandone tutte le ascisse di una quantità costante, pari appunto a 280 m^3/sec: e sarebbe quindi compresa entro la striscia (tratteggiata orizzontalmente in figura) che è delimitata dalle due curve BC e BD. L'ampiezza orizzontale di questa striscia, che è nulla per $h = 1{,}20$, cresce poi progressivamente, diventando di 90 m^3/sec circa (su 1880) per $h = 3{,}00$ m, di 185 m^3/sec (su 2560) per $h = 4{,}00$ m, di 375 m^3/sec (su 4500) per $h = 6{,}94$ m.

Nei calcoli si è assunta a rappresentare la scala dell'incile sistemato la curva BC, che delimita a destra la striscia anzidetta.

Con tale scelta la futura capacità di deflusso dell'incile con ogni probabilità è stata lievemente sopravalutata. Ma la sopravalutazione, che riteniamo si mantenga in limiti ristretti anche per le massime portate, ha effetti indubbiamente molto limitati sui risultati, particolarmente su quelli relativi alle piene posteriori al 1868, che non superarono 4,44 m a Sesto.

Capitolo II

LE PIENE DEL LAGO MAGGIORE

1 - Notizie generali sulle massime piene del lago

Debbo alla cortesia dell'ing. Mariani, Ispettore Gen. del Genio Civile per il Po, la comunicazione della serie delle altezze raggiunte a Sesto Calende dai colmi di tutte le piene verificate dal 1829 ad oggi, che superarono i 3 m sullo zero: le loro portate, se per tutto il periodo si fosse mantenuta la validità della scala attuale, avrebbero superato i 1500 m^3/sec. Tali altezze si vedono raccolte nella tab. I di pag. seguente, nella quale sono pure indicati l'anno ed il mese nei quali esse sono state osservate.

La serie dei valori non è omogenea perchè, come già abbiamo avuto occasione di dire, l'eccezionale evento del 1868 provocò una marcata erosione della soglia della Miorina, modificando in misura apprezzabile la scala dell'incile lacuale. Tale modificazione sarebbe equiparabile — come pure abbiamo detto — ad un abbassamento generale del fondo dell'ordine di 30 cm. Non è noto come e quando, durante il decorso della piena, sia avvenuta quella erosione; sicché le stesse letture relative a quello storico evento non si possono ritenere omogenee fra loro. Le letture della prima fase di essa rispondono ad una situazione certamente diversa da quella nella quale l'incile si trovò nella fase finale.

Ad ogni modo, se per il momento si astrae dalle modificazioni intervenute nel 1868 e anche da quelle di minore importanza, che certamente seguirono prima e dopo di tale epoca (un esempio ne è fornito dalle variazioni riscontrate fra la scala vigente fino al 1936 e quella definita dalle misure eseguite nel triennio susseguente), le piene che raggiunsero o superarono i 3 m a Sesto nel corso dei 106 anni dal 1840 al 1945 risultano complessivamente in numero di 32 (in media circa una ogni 3,3 anni) e sono distribuite come segue fra i vari mesi dell'anno:

maggio	4	casi,	con	massimo	4,44 (1872)
giugno	5	»	»	»	4,35 (1855)
luglio	1	»	»	»	3,04 (1940)
agosto	2	»	»	»	3,47 (1900)

settembre	3	casi,	con massimo	3,85 (1860)
ottobre	10	»	»	6,94 (1868)
novembre	7	»	»	4,77 (1840)

I quattro metri furono superati soltanto nel bimestre maggio-giugno (4 casi) nella primavera, e in quello ottobre-novembre (6 casi) nell'autunno. I tre metri non furono raggiunti mai nei cinque mesi da dicembre ad aprile. Nel corso dei sette mesi rimanenti si contarono 9 piene primaverili, con colmi fino a oltre i 3 m, 6 piene estive (da luglio a settembre) e 17 piene autunnali.

Tab. I

Piene	Colmi delle altezze del Lago a Sesto Calende m	Piene	Colmi delle altezze del Lago a Sesto Calende m
1829	4,28	1882 Settembre	3,12
1834	4,43	1886 Novembre	3,14
1840 Novembre	4,77	1889 Ottobre	3,62
1843 Giugno	3,80	1892 Ottobre	3,20
1846 Maggio	4,21	1896 Novembre	3,50
1846 Ottobre	4,37	1900 Agosto	3,47
1848 Giugno	3,48	1906 Novembre	3,00
1851 Ottobre	3,65	1907 Ottobre	4,35
1854 Giugno	3,15	1917 Maggio	3,34
1855 Giugno	4,35	1918 Giugno	3,58
1855 Ottobre	3,30	1920 Settembre	3,78
1856 Ottobre	3,72	1926 Maggio	3,52
1857 Ottobre	4,00	1926 Novembre	3,67
1860 Settembre	3,85	1928 Novembre	3,95
1868 Ottobre	6,94	1939 Agosto	3,42
1872 Maggio	4,44	1940 Luglio	3,04
1872 Ottobre	4,00	1942 Novembre	3,39

Il bimestre ottobre-novembre si presenta in sostanza come il periodo piú critico dell'anno, in rapporto alla frequenza e all'entità delle piene, anche se si astrae dall'evento del 1868 che certamente, per la sua assoluta eccezionalità, fa parte a sè.

Questa eccezionalità è chiaramente dimostrata dalle poche notizie che si possiedono intorno alle piene intervenute antecedentemente al 1829, prima che si iniziassero le letture sistematiche dei livelli del lago. Il Lombardini e gli altri autori italiani [Possenti, Pestalozza (1)] che si sono occupati del lago Maggiore ne ricordano una sola, paragonabile a quella del 1868, ed è la piena dell'ottobre 1705, che avrebbe portato il livello a Sesto all'altezza di 6,16 m sopra lo zero dell'idrometro attuale, restando però di circa 80 cm al di sotto dell'altra.

La piena del 1705 è ricordata anche negli « Annuari » del Servizio Idrografico Svizzero che fino al 1929 pubblicarono i massimi livelli storici osservati al-

(1) Carlo Possenti: *Sulla regolazione del Lago Maggiore e del suo emissario* - Firenze 1870. A. Pestalozza: *Notizie sul bacino idrografico del Verbano.* - Il Politecnico, 1891.

l'idrometro di Locarno (1); l'altezza ivi raggiunta in quell'occasione vi si trova indicata in 6,66 m sullo zero, e risulta in buon accordo con l'altezza segnalata a Sesto (giacché fra le due letture si riscontra in media una differenza di 50 cm).

Negli stessi « Annuari » si vedono citate le seguenti altre piene rilevanti:

anno 1640 con 6,46 m (circa 5,95 m a Sesto)
» 1755 » 5,41 m (» 4,90 m » »)
» 1777 » 6,23 m (» 5,70 m » »)

Infine, nella citata relazione degli ingegneri Schiavoni e Salmoiraghi abbiamo trovato notizia di una piena che nel 1792 avrebbe portato il livello a Sesto a 4,80 m sullo zero.

Si tratta nell'insieme di indicazioni affatto saltuarie, delle quali non sapremmo giudicare l'attendibilità. Esse presentano tuttavia un loro concreto interesse in quanto consentono, riteniamo, di individuare tutti gli eventi di carattere veramente eccezionale che si sono verificati nel corso degli ultimi tre secoli e che, appunto per tale loro carattere e per la sommersione conseguente di zone estese e dei numerosi centri abitati distribuiti lungo le gronde lacuali, non potevano mancare di colpire la fantasia dei contemporanei e di essere tramandati alla memoria delle successive generazioni. Ci sentiamo quindi autorizzati a ritenere che nei tre secoli il livello a Sesto abbia raggiunto e superato due sole volte i 6 m sullo zero, e quattro i 5 m. Che se poi si volesse tener conto della erosione della soglia della Miorina, intervenuta durante la piena del 1868, si dovrebbe pensare che nelle attuali condizioni dell'incile i 6 m sarebbero stati superati una sola volta nei tre secoli, mentre resterebbe di 4 (in media un caso ogni 75 anni) la frequenza delle piene che avrebbero raggiunto i 5 m.

I dati ora richiamati non sembrano sufficienti per definire la frequenza con la quale durante i tre secoli furono superati i 4 m. Ma al riguardo è già significativo il fatto che nel corso degli ultimi 116 anni, ai quali si riferisce la Tab. I, questa altezza fu raggiunta o superata complessivamente dieci volte soltanto, con la media frequenza di 9 casi per secolo. Ed è pure interessante notare che la frequenza dei colmi di 4 m o superiori risulta assai piú bassa per il periodo posteriore al 1868, durante il quale le condizioni dell'incile non subirono modificazioni di particolare rilievo. Essa si riduce infatti, per tale periodo, a 3 casi soltanto in 77 anni (in media 4 casi al secolo). Nei quarant'anni precedenti i casi analoghi sarebbero risultati invece in numero di 7: e rimarrebbero ancora quattro se, ritenendo di 30 cm l'abbassamento della soglia Miorina provocato dalla piena del 1868, per le piene antecedenti si facesse riferimento ai soli colmi che su-

---

(1) SERVIZIO FEDERALE DELLE ACQUE: *Annuari idrografici della Svizzera*: v. ad es. il volume per l'anno 1928, p. 24. In tali volumi è segnata per la piena del 1868 la altezza di 7,84 m, che supera di 90 cm quella corrispondente di Sesto, mentre la differenza tra gli altri colmi ricordati da ambedue gli idrometri si aggira intorno ai 50 cm.

perarono i 4,30 m sullo zero di Sesto. Sembrerebbe quindi che, anche indipendentemente da tale abbassamento, dopo il 1868 si sia verificata una diminuzione nella frequenza delle grandi piene del lago.

2 - Le piene dal 1868 al 1944

Abbiamo ritenuto opportuno sottoporre queste piene ad una analisi piú diretta, perché dal 1868 in poi il materiale idrometrico risulta piú omogeneo, attesa la maggior regolarità del servizio di raccolta, e perché le condizioni dell'incile non hanno subito apprezzabili modificazioni da quell'anno fino alla costruzione della diga.

A tal fine abbiamo anzitutto provveduto a individuare, nelle effemeridi idrometriche di Sesto, tutte le intumescenze le quali elevarono il pelo liquido almeno fino all'altezza di 2 m sopra lo zero, e quindi la portata almeno fino al corrispondente valore di 975 m^3/sec. Queste intumescenze sono risultate in numero di 67 (in media poco meno di una all'anno), distribuite però fra 42 anni soltanto: giacché in 35 anni del periodo i 2 m non furono mai raggiunti. Esse sono elencate nella Tab. II, ove per ogni piena si vedono indicati il massimo livello h_m raggiunto, la portata q_m corrispondente a norma della scala da noi assunta, la data del colmo e cosí pure altezza h_o e data dell'inizio della piena (esporremo nel Capitolo III il criterio con il quale caso per caso furono stabiliti l'inizio della piena e

ELENCO E CARATTERISTICHE DELLE PIENE CHE HANNO RAGGIUNTO O SUPERATO L'ALTEZZA + 2,00 m A SESTO FRA IL 1868 E IL 1944

Tab. II

N.	Anno	DATA		h_o	h_m	q_m
		inizio	colmo	m	m	m^3/sec
1	1868	19/IX	29/IX	0,89	4,53	2500
2	1868	19/IX	4/X	0,89	6,94	4500
3	1869	6/V	9/V	0,85	2,70	1350
4	1872	19/V	23/VI	0,52	4,44	2435
5	1872	4/X	7/X	0,13	3,18	1625
6	1872	4/X	23/X	0,13	4,00	2135
7	1873	8/X	15/X	0,29	2,72	1360
8	1878	27/XI	30/XI	0,63	2,01	980
9	1879	23/V	2/VI	1,10	2,85	1435
10	1880	6/X	9/X	0,49	2,96	1495
11	1882	13/IX	17/IX	0,34	3,10	1575
12	1885	25/IX	29/IX	0,39	2,63	1310
13	1885	15/X	17/X	0,93	2,49	1235
14	1886	19/X	12/XI	0,02	3,14	1600
15	1889	9/X	13/X	— 0,04	2,73	1365
16	1889	9/X	30/X	— 0,04	3,62	1885
17	1890	30/VIII	1/IX	0,90	2,59	1290
18	1890	22/IX	26/IX	0,70	2,50	1235
19	1891	20/X	23/X	0,97	3,31	1135
20	1892	30/IX	15/X	0,25	3,20	1635
21	1893	30/IX	2/X	0,98	2,01	980

Segue Tab. II

N.	Anno	DATA		h_o	h_m	q_m
		inizio	colmo	m	m	m³/sec
22	1896	10/X	24/X	0,90	3,05	1550
23	1896	10/X	1/XI	0,90	3,47	1795
24	1897	3/IX	20/IX	1,07	2,80	1405
25	1898	22/VI	27/VI	1,46	2,54	1260
26	1900	23/VIII	25/VIII	0,28	2,83	1425
27	1900	23/VIII	28/VIII	0,28	3,47	1795
28	1901	14/VI	17/VI	1,37	2,65	1320
29	1905	19/IX	23/IX	0,66	2,47	1220
30	1906	6/XI	9/XI	0,40	2,99	1515
31	1907	31/X	11/XI	0,41	2,91	1470
32	1907	31/X	18/XI	0,41	4,25	2300
33	1908	21/V	25/V	0,92	2,30	1130
34	1911	4/X	8/X	0,38	2,12	1035
35	1913	5/X	10/X	0,63	2,42	1195
36	1913	28/X	31/X	0,68	2,26	1110
37	1914	22/VII	24/VII	0,98	2,10	1025
38	1914	29/X	1/XI	0,21	2,09	1020
39	1917	5/V	22/V	0,68	2,49	1230
40	1917	5/V	31/V	0,68	3,34	1715
41	1918	15/VI	19/VI	0,94	3,58	1860
42	1919	28/IX	2/X	0,21	2,00	975
43	1920	19/IX	25/IX	0,20	3,78	1990
44	1923	26/V	1/VI	0,68	2,41	1190
45	1923	22/X	29/X	0,40	2,55	1265
46	1924	13/VIII	17/VIII	0,43	2,01	980
47	1924	23/IX	26/IX	0,31	2,80	1405
48	1925	21/IX	25/IX	0,31	2,41	1190
49	1926	14/V	17/V	0,82	3,52	1820
50	1926	30/X	3/XI	— 0,08	2,37	1170
51	1926	30/X	22/XI	— 0,08	3,63	1890
52	1927	22/IX	26/IX	0,42	2,29	1125
53	1928	20/X	29/X	0,00	3,52	1820
54	1928	20/X	2/XI	0,00	3,93	2085
55	1932	20/VI	22/VI	1,06	2,24	1100
56	1932	19/IX	1/X	0,03	2,46	1215
57	1933	20/VI	23/VI	0,36	2,54	1260
58	1934	3/VIII	5/VIII	0,33	2,00	975
59	1935	25/VIII	30/VIII	0,44	2,37	1170
60	1935	2/X	6/X	0,48	2,62	1300
61	1935	8/XI	18/XI	0,70	2,80	1405
62	1939	4/VIII	7/VIII	1,17	3,42	1760
63	1940	22/VI	26/VI	0,95	2,18	1065
64	1940	6/VII	9/VII	1,35	3,04	1540
66	1942	21/IX	29/IX	— 0,08	2,55	1265
67	1942	26/X	2/XI	0,25	3,39	1745

l'altezza idrometrica relativa). Dobbiamo precisare poi che il prospetto comprende i colmi principali di tutte le intumescenze lacuali che portarono il livello oltre i 2 m, e anche quelli fra i colmi secondari chiaramente individuati, che precedettero di qualche giorno almeno il colmo principale. Cosí, della grande piena del 1868 si vedono citati sia il colmo principale, verificatosi il 4 ottobre, sia l'antecedente colmo secondario, verificato il 29 settembre, nel quale il lago si era elevato all'altezza di 4,53 m sullo zero, che poi non fu nemmeno essa mai piú raggiunta nel corso dei seguenti 76 anni. I colmi che appartengono ad una

stessa intumescenza risultano facilmente riconoscibili nel prospetto, per il fatto di avere in comune la data e il livello iniziali.

È intuitivo, infatti, e lo confermeranno i calcoli del Cap. III, che gli effetti di una ritenuta iniziale debbono andare piú o meno rapidamente esaurendosi nel tempo. Se una piena trova il lago a livello superiore di quello che si sarebbe verificato nel regime naturale, le ripercussioni sul colmo saranno tanto piú rilevanti, quanto piú rapidamente il colmo sarà stato raggiunto, e risulteranno invece di scarso rilievo negli eventi a decorso molto lento e graduale, nei quali, come di regola accade ogni qual volta il livello sale a quote molto elevate, il colmo interviene a distanza di 10 o 15 giorni dall'inizio.

Dalla Tabella II sono stati desunti i due diagrammi segnati con linee grosse nelle figg. 9 e 10 (regime naturale, pag. 65), i quali forniscono un quadro assai espressivo delle possibilità di piena del lago e del suo emissario nelle condizioni naturali dell'incile. Nel diagramma di fig. 9 si vedono ordinati per grandezze decrescenti i 67 valori della portata di colmo della tabella (si è omesso quello piú elevato, del 4-10-1868, perché la sua inclusione avrebbe imposto per le portate una eccessiva riduzione della scala del disegno); nel diagramma di fig. 10 sono ordinati in modo analogo i 67 valori dei corrispondenti livelli. Ritenendo, al solito, che l'esperienza del passato consenta di delineare le probabilità future, l'ispezione dei due diagrammi dice che nel regime naturale del lago la portata di colmo di 2000 m^3/sec e il livello di colmo di 4 m a Sesto avevano la probabilità di verificarsi 5 volte in 77 anni, cioè da 6 a 7 volte in un secolo; e che all'incirca doppia era la probabilità che fossero raggiunte la portata di 1750 m^3/sec e il corrispondente livello di 3,5 m sullo zero.

Il quadro offerto dalla statistica dei colmi, di livello e di portata, si completa se si prendono in considerazione le durate, o permanenze, complessive dei singoli livelli e delle singole portate per l'insieme delle piene del 77ennio: vogliamo dire, per ogni livello, o per ogni portata, il numero dei giorni per i quali esso fu raggiunto o superato, complessivamente per tutte le piene predette.

Tali durate furono anzitutto stabilite per le singole piene, facendo riferimento, per i livelli, alle altezze di due in due centimetri a partire da 3 metri sullo zero di Sesto; e per le portate, ai valori di 5 in 5 m^3/sec a partire da 1500 m^3/sec. Sommati i valori cosí ottenuti per tutte le piene del 77ennio, se ne dedussero le durate complessive in giorni che servirono per il tracciamento delle curve segnate con linee grosse continue nelle due figure 11 e 12 (pag. 69 e 70).

La fig. 12 riguarda il campo fra l'altezza di 3 e quella di 5 m sullo zero di Sesto (che fu superata soltanto durante le piena del 1868): essa dimostra che l'altezza di 4 m fu superata o raggiunta complessivamente per 19 giorni, nel corso del lungo periodo esaminato, e che per un numero poco piú che doppio di giorni il lago si mantenne ad altezze superiori a 3,50 m. La durata complessiva dell'altezza 3,00 m risulta, infine, di 111 giorni: corrispondente all'incirca a 1 su 250. Può essere utile notare che, se si facesse astrazione dall'eccezionalissimo anno 1868, limitando l'esame al susseguente 76ennio, la durata dell'altezza 4,5 si annulle-

rebbe, quella dell'altezza 4,0 si ridurrebbe a 6 giorni soltanto, e quella dell'altezza 3,50 a 29 giorni.

Nella fig. 11 è considerato il campo delle portate da 1500 a 2500 m³/sec; alle portate di 2500, 2250, 2000 e 1750 m³/sec corrispondono le durate rispettivamente di 8, 15, 24 e 52 giorni nel 77ennio: escluso il 1868, esse si riducono rispettivamente a 0, 2, 10, 38 giorni. Per la portata di 1500 m³/sec il diagramma fornisce la durata di 116 giorni, e quindi la frequenza di 1 su 242 giorni.

Ai fini del problema che ci occupa assumono pure notevole interesse le figure 2 e 2 bis nelle quali sono raccolti i diagrammi cronologici delle portate del Ticino e dei livelli osservati a Sesto per quelle fra le piene elencate nella Tabella II (12 in tutto), che hanno dato luogo a fenomeni di maggior rilievo, o per l'entità dei colmi raggiunti o per la rapidità con la quale furono raggiunti. Delimitando in ogni figura superiormente la zona del piano di rappresentazione che contiene tutti i diagrammi, si è ottenuta una curva la quale viene a definire con le ordinate dei suoi punti gli eventi massimi (massime altezze in fig. 2 bis, massime portate in fig. 2) che sulla base della esperienza degli ultimi 77 anni erano da ritenere raggiungibili a Sesto nei tempi rappresentati dalle rispettive ascisse. Tali tempi, notiamo, si intendono contati dal giorno assunto a segnare l'inizio della piena (che, come specificheremo al Cap. III è, caso per caso, il giorno nel quale, ammesso il lago regolato, sarebbe stato necessario procedere al totale abbattimento della diga mobile). Dalle figure sono stati dedotti i valori dei massimi (di livello e di portata) prevedibili, che riportiamo qui di seguito:

dopo	1 giorno:	1,80 m	870	m³/sec
»	2 giorni:	2,65 m	1410	»
»	3 »	3,52 m	1820	»
»	4 »	3,60 m	1870	»
»	6 »	3,80 m	2000	»
»	9 »	4,50 m	2480	»
»	14 »	6,94 m	4500	»

Le figure, inoltre, dànno chiara evidenza alla assoluta eccezionalità dell'evento del 1868, il quale si eleva decisamente e di gran lunga al di sopra di tutti gli altri verificati nel lungo periodo esaminato. Se da esso si prescindesse, gli ultimi due valori precedenti sarebbero da ridurre, quello di 9 giorni al di sotto di 4 m, quello di 14 a circa 4,2 m.

Comunque, l'esame delle piene intervenute negli ultimi 77 anni autorizza a ritenere che nel regime naturale del lago occorressero piú di 6 giorni per raggiungere i 4 m sullo zero di Sesto e i 2000 m³/sec, e che nelle condizioni in cui trovavasi l'incile lacuale prima della costruzione della diga, anche siffatte eventualità rientrassero nel campo dei fatti assolutamente eccezionali. Siccome, poi, la costruzione medesima, da sola, non ha sensibilmente modificato la capacità di deflusso, la conclusione precedente potrebbe essere estesa anche alla situazione at-

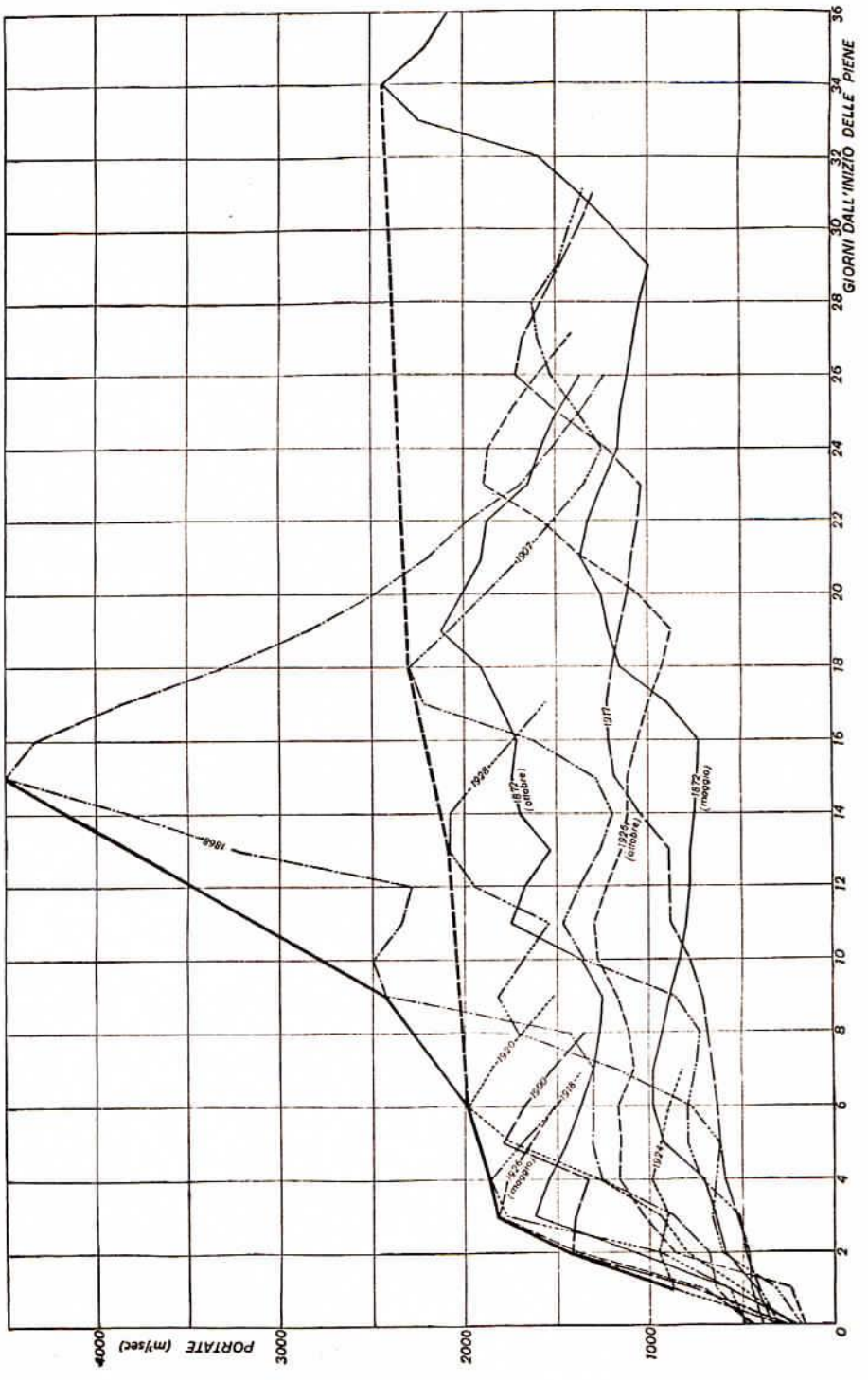

Fig. 2. - Diagrammi cronologici delle portate per le piene più rilevanti.

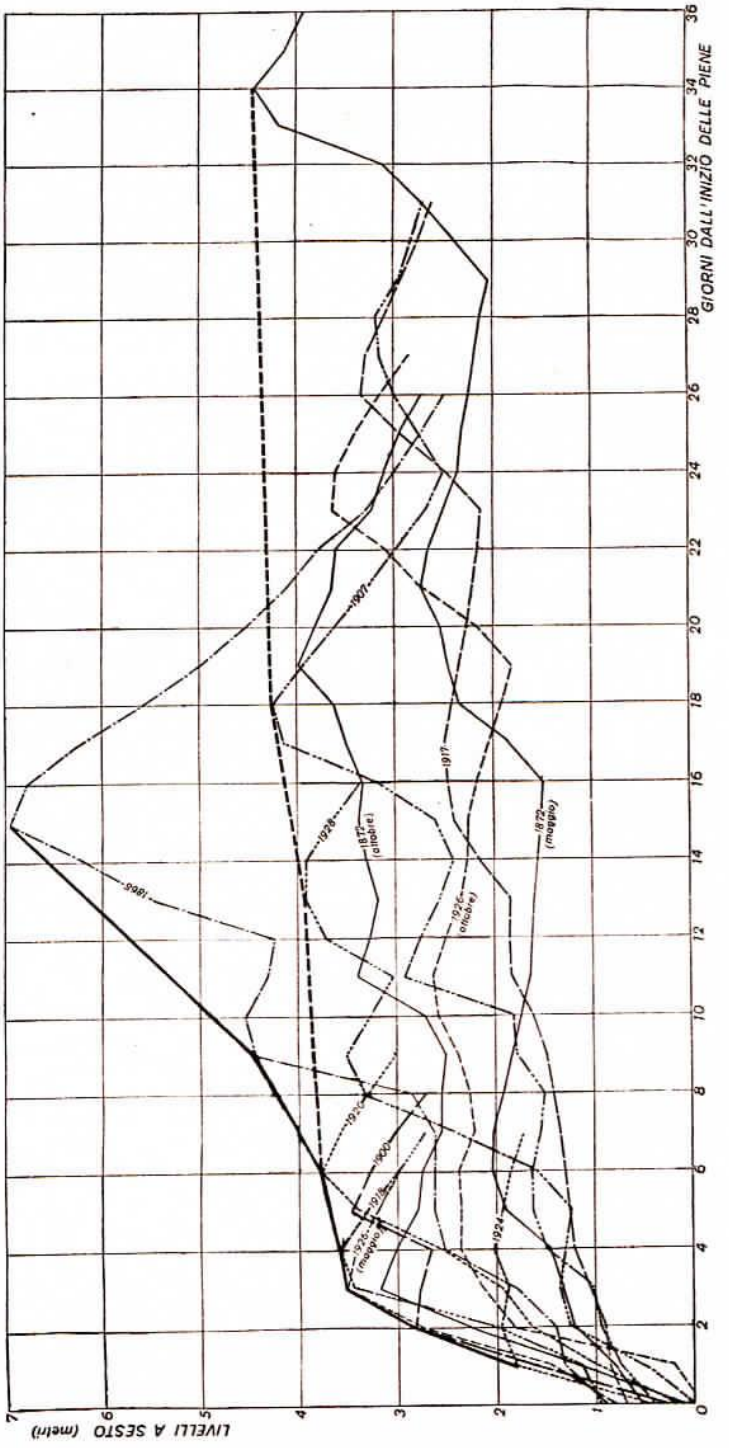

Fig. 2 bis - Diagrammi cronologici dei livelli per le piene più rilevanti.

tuale dell'incile, se si astraesse dalla possibilità che le piene trovassero il lago a livelli diversi da quelli che sarebbero esistiti in mancanza di ogni regolazione.

Valutare le ripercussioni della regolazione, nelle presenti condizioni dell'incile, significa semplicemente riconoscere le conseguenze che la ritenuta iniziale, nelle entità per essa probabili e prevedibili per le diverse epoche dell'anno, avrebbe esercitato sul decorso di tutte le piene verificate nel periodo considerato, ed elencate in Tab. II.

Se, invece, si volessero stabilire le ripercussioni che la regolazione potrebbe avere sulle piene a incile completamente sistemato (dopo lo spianamento della soglia della Miorina e lo sbancamento a quella dei Murazzi) occorrerebbe anche tener conto dell'aumento che la sistemazione comporterebbe nella capacità di deflusso rispetto alle condizioni attuali.

Tutti questi problemi sono suscettibili di trattazione e soluzione relativamente semplici e rapide con i metodi dell'idraulica lacuale: di tali metodi perciò, e delle formule risolutive che se ne ricavano, abbiamo ritenuto opportuno un apposito sommario richiamo; esso forma argomento dei primi paragrafi del seguente Cap. III.

Ma prima di chiudere l'esame delle piene giova cercare di definire in modo piú preciso quando comincia e quando finisce il lungo periodo di magra da dicembre ad aprile, durante il quale esse mancano e il lago non supera i 2 m.

Per stabilirne l'inizio basta considerare le date di inizio di tutte le piene che hanno avuto i loro colmi in novembre. Dalla Tab. II le piene di novembre risultano complessivamente in numero di 12; di esse una superò i 4 m e sei superarono i 3 m. Però nella loro grande maggioranza (9 su 12) queste piene cominciarono in ottobre, in ispecie tutte quelle che superarono i 3 m. Delle 3 piene che ebbero il loro inizio in novembre nessuna arrivò a tale altezza (il massimo fu raggiunto da quella del 1906, che salí a 2,99 m). La constatazione è importante nei riguardi dell'esercizio della regolazione; poichè, infatti, questa comporta che all'inizio della piena la diga venga completamente abbattuta, tutti gli eventi, durante i quali il lago superò i 3 m a Sesto nel mese di novembre, avrebbero trovato l'incile completamente libero già all'inizio di tal mese. Quelli che si pronunciarono piú tardi, e che avrebbero trovato la diga parzialmente chiusa, non raggiunsero quell'altezza.

È chiaro, quindi, che dal primo giorno di novembre potrebbe rendersi ammissibile, qualora apparisse opportuno, un incremento dell'altezza limite della trattenuta attiva, rispetto ai valori adottati per l'ottobre.

Quanto al mese di maggio, la Tab. II elenca in tutto quattro piene, le quali ebbero il colmo in tal mese; di esse una sola (anno 1926) superò i 3 m, raggiungendo il colmo di 3,52 m il 17, mentre il suo inizio cadde il 14. Piú presto, e cioè rispettivamente il 5 e il 6, caddero gli inizi di due altre piene, le quali ebbero colmi assai inferiori. In maggio, inoltre, ebbero inizio 3 piene, che raggiunsero il colmo in giugno: in ispecie si iniziò il 19 maggio quella del 1872, che alla fine di giugno raggiunse i 4,44 m. Da queste constatazioni sembra lecito concludere che, se il

mese di maggio venisse iniziato in condizioni di ritenuta, con diga parzialmente chiusa, questa ritenuta, qualunque ne fosse il valore, potrebbe essere mantenuta ancora per la prima decade del mese: perchè solo a partire dalla seconda decade si sono pronunciate piene rilevanti.

Il periodo durante il quale la possibilità di piene non deve destare preoccupazioni nei rapporti dell'esercizio della regolazione, e sarebbe quindi ammissibile — qualora fosse riconosciuto opportuno — l'elevamento della trattenuta attiva, può quindi essere limitato tra il 20 novembre e il 10 maggio: ma i primi incrementi sarebbero ammissibili già dal 1 novembre.

Capitolo III

DETERMINAZIONE DEGLI EFFETTI DI UNA RITENUTA INIZIALE SUL DECORSO DELLE PIENE - FORMULE RISOLUTIVE

1 - Richiami di idraulica fluviale - Canone di Lombardini

È problema fondamentale dell'idraulica lacuale quello di definire le relazioni che intercedono fra le vicende delle portate di afflusso, che pervengono al lago dai corsi immissari e dalle gronde, e le vicende del livello lacuale e delle portate defluenti dall'emissario. Quando il lago non è regolato, nell'emissario defluisce in ogni istante la portata che compete alla configurazione dello sbocco e al livello del lago. La regolazione consente di disciplinare le erogazioni, adattandole alle esigenze dell'impiego pratico delle acque dell'emissario e rendendole indipendenti dai contemporanei livelli del lago. Però la disciplina dei deflussi è consentita soltanto entro i limiti della trattenuta attiva, e cioè per livelli inferiori ad un certo valore, che nel caso del lago Maggiore non supera attualmente l'altezza $+1{,}00$ metri sullo zero dell'idrometro di Sesto. Oltre il detto livello l'edificio regolatore non può che essere totalmente aperto e l'emissario eroga tutta la portata della quale è capace a norma della scala di portata dell'incile regolato.

In qualunque caso, tra portate di afflusso, portate di deflusso e livelli del lago intercede la relazione, generalmente nota sotto il nome di « canone del Lombardini »:

$$1) \qquad a = q + S\frac{dh}{dt}$$

ove è indicato:

con a la portata di afflusso *efficace* al lago, rappresentata dalla somma delle portate degli immissari e dei contributi eventuali delle gronde e di precipitazioni dirette sullo specchio liquido, depurata dalla evaporazione dal medesimo specchio e dagli eventuali disperdimenti dal fondo;

con q la contemporanea portata di deflusso dal lago attraverso l'incile;

con S l'area dello specchio lacuale;

con h il livello della superficie libera (1).

(1) Nella 1) è implicitamente ammesso che lo specchio liquido sia e si mantenga orizzontale: si astrae così, oltre che dai fatti ondosi e dagli eventuali temporanei dislivelli prodotti da fatti meteorici,

Nei laghi non regolati la portata q è funzione unicamente del livello h a norma della scala $q(h)$ delle portate dello sbocco lacuale. Se la costruzione dell'opera di regolazione non ha modificato la capacità di deflusso dell'incile, la stessa scala $q(h)$ è applicabile anche al lago regolato, ma unicamente per i livelli superiori al limite della trattenuta attiva, per i quali l'edificio di regolazione deve essere totalmente aperto. Se, invece, l'incile ha subíto una sistemazione che ne abbia modificata la capacità di deflusso, alla scala $q(h)$ valevole per il regime naturale occorre sostituire quella $q'(h)$ dell'incile sistemato.

Anche l'area S dello specchio liquido aumenta in generale con la h, a norma della « scala di espansione lacuale »; abbiamo riportato nell'Appendice 1 alla Relazione 1945 la scala di espansione lacuale del Lago Maggiore (1).

Individuate che siano le due scale (delle portate dell'emissario e della superficie del lago), quando è assegnata la legge secondo la quale le portate di afflusso variano col tempo, la 1) permette di determinare quella secondo la quale variano col tempo portate di deflusso e livelli e, viceversa, data questa ultima permette di dedurne la prima.

Siccome però le funzioni $q(h)$, $S(h)$ e $a(t)$ o $q(t)$ non sono in generale abbastanza semplici perchè la 1) risulti integrabile, nelle applicazioni pratiche occorre sostituire le differenze finite ai differenziali e scrivere il canone di Lombardini nella forma:

1') $$a = q + S\frac{\Delta h}{\Delta t}$$

nella quale appunto esso è stato applicato dallo stesso Lombardini. È ovvio che a sta allora a rappresentare la portata media d'afflusso nell'intervallo di tempo Δt (in generale 24 ore), durante il quale lo specchio liquido si è spostato di Δh.

Della 1) (o della 1') noi ci siamo valsi per lo studio del problema di valutare le ripercussioni dell'eventuale ritenuta iniziale sul decorso di tutte le piene verificate dal 1868 in poi. A tale fine essa è stata impiegata:

a) in primo tempo, per dedurre dalla successione delle letture all'idrometro di Sesto durante ogni piena la successione delle corrispondenti portate di afflusso efficace al lago: per $q(h)$ si introdusse, allora, la scala dell'incile nelle condizioni naturali;

b) in secondo tempo, per passare dalla detta successione $a(t)$ degli afflussi al lago a quelle $h'(t)$ e $q'(t)$ dei livelli e delle portate, che si sarebbero verificati nel lago e nel fiume, qualora la regolazione fosse stata in atto.

Mettere in conto la regolazione comportava, in primo luogo, ammettere l'esistenza di una ritenuta iniziale, in conseguenza della quale il lago, all'inizio della

---

dalle oscillazioni di massa che vanno sotto il nome di *sesse*. Le h e le q debbono essere intese come medie dei valori del livello e della portata in intervalli abbastanza ampi perché si rendano trascurabili gli effetti delle sesse.

(1) FANTOLI, op. cit., pag. 76.

piena, anzichè trovarsi al livello h_o effettivamente verificato nella realtà, si fosse trovato al livello $h'_0 > h_0$, comportato da un plausibile esercizio di essa: in secondo luogo, introdurre la scala dell'incile regolato, in luogo di quella dello sbocco libero. A questo proposito occorreva però considerare sia la situazione attuale, sia quella che si determinerebbe in futuro, qualora avesse corso la prevista sistemazione del tronco iniziale del fiume. Alla prima situazione era da applicare, per quanto si è visto al Cap. I, la stessa scala delle portate $q(h)$, che vigeva prima della costruzione dell'opera: alla seconda occorreva applicare invece la scala $q'(h)$ dell'alveo sistemato, la quale, come notammo, in prima approssimazione si può ricavare dalla precedente $q(h)$ mediante un semplice abbassamento della curva che la rappresenta, di un segmento pari a circa 61 cm.

Il problema che ci siamo proposti di risolvere si è ridotto cosí, in concreto, a quello di determinare per le due situazioni le ripercussioni dell'eventuale ritenuta iniziale $h'_o - h_o$, sul decorso di ognuna delle piene del lago e del fiume.

Diremo piú avanti con quale criterio si è provveduto ad assumere i valori della ritenuta iniziale $h'_o - h_o$, che di regola verrà indicata col simbolo δ, da adottare per le singole piene. Prima converrà stabilire le formule risolutive, approssimate ma di sicura attendibilità, che si deducono dalla 1), e che furono sistematicamente applicate per la risoluzione del problema.

2 - Formule risolutive per il calcolo degli effetti idraulici di una ritenuta iniziale

L'equazione di Lombardini è immediatamente integrabile se si fanno le seguenti ipotesi semplificatrici:

a) che l'area S dello specchio liquido si possa ritenere costante: l'ipotesi è ammissibile nel caso del lago Maggiore, nel quale la variazione di S, fra l'altezza 1,00 sullo zero di Sesto e la massima finora raggiunta (+ 6,94) è del 16% (1);

b) che la scala delle portate dell'incile sia funzione lineare dei livelli h. Questa ipotesi non è mai rigorosamente verificata, e non lo è nemmeno nel caso del Ticino. Tuttavia, come ha riconosciuto Fantoli, può essere in generale accolta per gli emissari lacuali: l'andamento delle curve di portata tracciate nella fig. 1 sta, d'altra parte, a dimostrare che esse possono essere sostituite con buona approssimazione da segmenti di retta entro campi abbastanza ampi di valori dell'altezza, ad es. a partire da $h = 1$ m, fino ad $h = 4$ m ed oltre.

Nonostante le limitazioni che queste ipotesi comportano, l'integrazione dà luogo ad uno schema espressivo dei possibili processi reali, il quale ne ripete assai bene gli aspetti qualitativi e vale pure a riprodurne con notevole fedeltà i piú im-

(1) V. appendice 1ª alla citata pubbl. 2 del Consorzio del Ticino (pag. 76).

portanti aspetti quantitativi, come dimostrerà il confronto con le risultanze di calcoli per differenze finite condotti con la 1').

Scritta adunque l'equazione della scala dell'emissario nella forma:

$$q = \alpha + \beta h \qquad 2)$$

la 1) si riduce alla forma:

$$a = q + \frac{S}{\beta}\frac{dq}{dt} \qquad 1'')$$

della quale è ben noto l'integrale generale.

Particolarmente interessante (1) è considerare il caso che la portata di afflusso a sia rappresentabile — almeno nell'intervallo di tempo dall'inizio al colmo dell'onda di piena — a mezzo di una funzione sinoidale del tempo della forma $a = A_m \operatorname{sen} \omega t$ (dove i tempi, quindi, si intendono contati dall'istante nel quale $a = A_m$). Se allora si pone:

$$q^* = A_m + q_m \operatorname{sen} (\omega t - \varphi) \qquad 3)$$

con

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{\omega S}{\beta} \quad , \quad q_m = a_m \cos \varphi = \frac{a_m}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2 S^2}{\beta^2}}}$$

l'integrale della 1'') si riduce notoriamente alla forma molto semplice:

$$q = q^* + (q_0 - q^*_0)\, e^{-\beta t/S} \qquad 4)$$

avendo indicato con l'indice zero i valori che q e q^* assumono nell'istante $t = 0$ (in particolare $q^*_0 = A_m - q_m \operatorname{sen} \varphi$).

A norma della 4), la portata di deflusso conseguente alla immissione della portata a di afflusso nel lago risulta formata da due parti. La prima q^* è, al pari di a, funzione sinoidale del tempo, dotata di pari periodo, e rappresenta le vicende secondo le quali q prenderebbe a variare dopo un tempo infinito: per questo motivo la si può chiamare « *portata del regime stabilito* ». La seconda parte è costituita dalla differenza $q_0 - q^*_0$ fra i valori che nell'istante iniziale assumono la portata effettiva q e quella q^* del regime stabilito, moltiplicata per $e^{-\beta t/S}$; essa decresce quindi asintoticamente col tempo, e tanto piú rapidamente quanto piú elevato è il rapporto β/S, che ne misura il decremento logaritmico.

Ma la validità della 4) non è limitata al caso che l'afflusso a sia funzione sinoidale del tempo. Poichè la legge $a(t)$ si può sempre rappresentare mediante un certo numero di termini della serie di Fourier, la 4) sussiste in generale, qualunque sia la dipendenza di a da t, purchè venga caso per caso convenientemente assunta l'espressione della portata q^* del regime stabilito. E cioè la portata risulta sempre la somma di una certa « portata del regime stabilito » e di un termine decrescente asintoticamente col tempo.

Dalla stessa 4), tenuta presente la scala 2) delle portate, si desume poi imme-

---

(1) V. Fantoli, op. cit., pag. 185 e segg. e anche G. De Marchi: *Il regime idraulico del lago di Garda* - (Venezia 1919) pag. 36 e segg.

diatamente la legge di variazione dei livelli lacuali rispetto al tempo, che assume la forma analoga:

$$h = h^* + (h_0 - h^*_0)\ e^{-\beta t/S} \qquad 5)$$

avendo denotato (per il caso di variazione sinoidale di a con t) con:

$$h^* = H_m + h_m \operatorname{sen}(\omega t - \varphi) \qquad 6)$$

i livelli del regime stabilito (detto H_m il livello corrispondente al deflusso di A_m, e $h_m = q_m/\beta$ la semiescursione massima del livello del regime stabilito intorno ad H_m).

In forma poco diversa da quella nella quale le abbiamo trascritte ora, le relazioni precedenti sono state stabilite per la prima volta dal Fantoli nella monografia del 1897.

Vediamo come esse si possano applicare alle due situazioni che ci interessano.

Caso 1° — *L'opera di regolazione non ha modificato la scala dell'incile.* — Allorchè, come è il caso del Ticino nella presente situazione dello sbocco lacuale, la costruzione dell'opera di regolazione non ha apprezzabilmente modificato la capacità di deflusso dello sbocco, le relazioni precedenti consentono di valutare molto facilmente le ripercussioni di una ritenuta iniziale sul decorso di una piena attraverso il lago. Da esse, infatti, quando all'incile regolato è applicabile la stessa scala valevole per il regime naturale, è facile dedurre come sarebbero andati variando i livelli h del lago e le portate q dell'emissario, qualora al pronunciarsi della piena il lago si fosse trovato in istato di ritenuta, e cioè, anzichè essere al livello h_0 del regime naturale, fosse stato ad un livello piú elevato $h_0' = h_0 + \delta$. Tale livello h'_0, quando supera h_0 e quindi δ è positivo, evidentemente non può che coincidere col limite superiore della trattenuta attiva (il quale, come diremo, potrà anche variare da un'epoca all'altra dell'anno, in relazione con le modalità stabilite per l'esercizio della regolazione). Appena, per l'aumento della portata di afflusso, il livello del lago regolato tendesse a oltrepassare il valore h'_0, dovrebbe essere avviata l'apertura della diga proseguendo la manovra fino a completa liberazione — se necessario — dello sbocco lacuale. A partire da questo momento entrerebbe in vigore la scala $q(h)$, e la portata di deflusso assumerebbe il valore q'_0 spettantele a norma di tale scala per l'altezza h'_0. Dal medesimo momento sarà applicabile anche la 5), nella quale h^* sarebbe tuttavia rappresentato dalla 6) perché la scala delle portate resta sempre la 2), mentre in luogo di h_0 si dovrebbe porre $h'_0 = h_0 + \delta$.

Detto quindi h' il nuovo livello al quale il lago verrebbe a trovarsi nel regime regolato in un istante generico, si avrà per la 5):

$$h' = h^* + (h'_0 - h^*_0)\ e^{-\beta t/S} \qquad 5')$$

e lo scostamento fra h' e il livello h che si sarebbe verificato nello stesso istante in

mancanza di ogni ritenuta (se, cioè, il livello iniziale fosse stato h_0, anzichè $h_0+\delta$) risulterà:

$$h' - h = (h'_0 - h_0)\ e^{-\beta t/S}, \qquad 7)$$

dove $h'_0 - h_0$ è appunto la ritenuta iniziale δ.

In modo analogo sarà:

$$q' - q = (q'_0 - q_0)\ e^{-\beta t/S}, \qquad 7')$$

o anche, essendo $q'_0 = \alpha + \beta h'_0 = q_0 + \beta\delta$:

$$q' - q = \beta\delta\ e^{-\beta t/S}. \qquad 7'')$$

La 7) e la 7'') individuano il sopraelevamento $h' - h$ del livello e l'incremento $q' - q$ della portata che si avrebbero in un istante generico, in conseguenza della ritenuta δ iniziale. Esse dimostrano che tanto il sopraelevamento quanto l'incremento si attenuano asintoticamente col tempo col decremento logaritmico β/S.

Il rapporto β/S fra il coefficiente β della scala lineare di portata dell'emissario e l'area dello specchio lacuale si presenta quindi come una caratteristica idraulica del lago. Esamineremo al numero seguente i valori che a tale rapporto debbono essere assegnati per il lago Maggiore.

Caso 2° — *L'opera di regolazione e la sistemazione d'alveo hanno modificato sensibilmente la capacità di deflusso dello sbocco lacuale.* — Le formule risolutive 7) e 7''), che non sarebbero applicabili come tali al caso di generica modificazione della scala dell'emissario, diventano di agevole uso quando la modificazione è equiparabile a quella prodotta da un generale abbassamento del fondo e delle sponde; il che, come abbiamo visto, accadrebbe appunto molto prossimamente nel caso del Ticino, qualora si effettuassero le note sistemazioni alla Miorina e ai Murazzi. Allora, nei rapporti analitici, la modificazione si traduce unicamente in una variazione della costante α della espressione lineare della scala, la quale, a lavori di sistemazione compiuti, assume un nuovo valore α' piú grande, mentre restano invariati il coefficiente β, e quindi il decremento logaritmico β/S.

Se quindi, per chiarezza, indichiamo con q'' le portate del particolare regime regolato, invece della 2) varrà la:

$$q'' = \alpha' + \beta h \qquad 2')$$

ma la successione delle portate q'' sarà ancora fornita dalla 4) [giacchè ω e ϕ dipendono solo da β, e non da α, e quindi le portate q''^* del regime stabilito per l'alveo sistemato sono tuttavia espresse dalla 3)], salvo la introduzione del valore $q''^*_0 = \alpha' + \beta(h_0 + \delta) = q'_0 + (\alpha' - \alpha)$, fornito dalla stessa 2') per l'altezza iniziale $h''_0 = h_0 + \delta$ in luogo di quello q'_0, che per la medesima altezza $h_0 + \delta$ sarebbe fornito dalla 2).

Si ottiene quindi:

$$q'' = q^* + (q_0 - q^*_0)\ e^{-\beta t/S},$$

mentre, se la sistemazione dell'incile non fosse avvenuta, la portata sarebbe stata, a parità di ritenuta iniziale:

$$q' = q^{\circ} + (q'_0 - q^{\circ}_0)\ e^{-\beta t/S}$$

avendo indicato sempre con q'_0 la portata corrispondente all'altezza $h_0 + \delta$ a norma della scala precedente (1).

Fra le portate q'' e q' di due regimi regolati (con e senza sistemazione d'alveo) spettanti ad uno stesso istante sussisterà quindi la differenza:

$$q'' - q' = (q''_0 - q'_0)\ e^{-\beta t/S} \qquad 8)$$

onde, essendo

$$q''_0 - q'_0 = \alpha' - \alpha,$$

o anche, indicato con Δ l'abbassamento del fondo al quale è equiparabile la variazione nella capacità di deflusso dovuta alla sistemazione dell'incile:

$$q''_0 - q'_0 = \beta\Delta\ ,$$

risulterà in definitiva:

$$q'' - q' = \beta\Delta\ e^{-\beta t/S}\ , \qquad 8')$$

La differenza fra i livelli h'' ed h', ai quali si sarebbe trovato lo specchio del lago in pari istanti, rispettivamente nell'uno e nell'altro regime, risulta di conseguenza:

$$h'' - h' = \Delta\, e^{-\beta t/S} - \Delta = -\Delta(1 - e^{-\beta t/S}) \qquad 9)$$

Sicchè nell'insieme la sistemazione considerata determinerebbe — rispetto ai valori che si sarebbero verificati nella precedente situazione dell'alveo — un incremento delle portate di deflusso, il quale si andrebbe attenuando asintoticamente col tempo, col decremento logaritmico β/S, e un abbassamento dei livelli lacuali, che partendo da zero tenderebbe invece asintoticamente al valore permanente Δ.

Dalle 8') e 9) si deducono poi in modo ovvio, tenute presenti le 7) e 7''), gli scostamenti tra i valori q'' ed h'', del regime regolato nell'alveo sistemato, e i valori corrispondenti q ed h che si sarebbero verificati in pari istanti prima della sistemazione, nel regime naturale, cioè in mancanza di qualunque trattenuta.

Si ricava:

$$q'' - q = \beta\,(\Delta + \delta)\ e^{-\beta t/S} \qquad 10)$$

$$h'' - h = -\Delta + (\Delta + \delta)\ e^{-\beta t/S} \qquad 11)$$

Quindi la sistemazione dell'alveo sarebbe equiparabile: nei rapporti delle portate dell'emissario, ad un aumento della ritenuta pari all'abbassamento medio Δ

---

(1) In forma poco diversa, queste formule si trovano già nell'opera di G. Fantoli: *Il lago di Como e l'Adda emissario* (Milano 1921).

del fondo, che ne traduce gli effetti idraulici sulla capacità di deflusso dell'incile; nei rapporti dei livelli del lago, ad una riduzione costante dei sopraelevamenti che sarebbero prodotti dalla ritenuta $\Delta + \delta$, pari al valore del detto abbassamento medio Δ.

Interessa notare in particolare che, a norma della 11), gli effetti della ritenuta sui livelli del lago si ridurrebbero a zero dopo il tempo $t_1 = [S \ln (1 + \delta/\Delta)]/\beta$. Nel caso del lago Maggiore, con il valore $\Delta = 61$ cm, che, come vedemmo, tradurrebbe negli effetti idraulici la prevista sistemazione d'alveo, e per i possibili valori della ritenuta iniziale δ, t risulterebbe sempre di pochi giorni. Quindi la ritenuta medesima potrebbe determinare degli incrementi di qualche rilievo nei livelli del lago unicamente in caso di piene di formazione molto rapida, nelle quali il colmo fosse raggiunto in un tempo anche piú breve, di 2 o 3 giorni al massimo. I colmi delle piene di maggior durata risulterebbero sempre abbassati, qualunque fosse l'entità dei livelli raggiunti.

La 10) dimostra invece che la sistemazione dell'alveo darebbe luogo sempre ad un incremento delle portate di deflusso, e che l'incremento della portata di colmo risulterebbe tanto piú rilevante quanto piú rapidamente il colmo venisse raggiunto.

Le varie relazioni ora stabilite, da 7) a 11), hanno il grande pregio di consentire la valutazione rapida degli effetti sia di una ritenuta iniziale, sia di una sistemazione d'alveo — come è quella che occorrerebbe eseguire allo sbocco del Ticino — rendendo superfluo il ricorso alla 1'), che è sempre di applicazione laboriosa, al pari di tutti i procedimenti per differenze finite. Il confronto fra i risultati ottenuti dalla applicazione della 1'') e quelli forniti dalle relazioni predette ci darà modo di riconoscere l'attendibilità notevole, e piú che sufficiente in pratica, di queste ultime, nonostante le ipotesi semplificatrici sulle quali esse si appoggiano, e in particolare quella dell'andamento lineare della scala delle portate.

Notevole conseguenza delle formule risolutive stabilite è che l'attenuazione degli effetti di una ritenuta iniziale procede in modo indipendente dalle vicende dei livelli e delle portate del regime, naturale o regolato, al quale quella ritenuta viene sovrapposta. Vogliamo dire che i residui di quella ritenuta, che ancora sopravvivono a una qualunque distanza di tempo dall'abbattimento della diga (e dalla entrata in vigore della scala delle portate dell'incile), dipendono soltanto dal tempo trascorso, mentre sono indipendenti dalle modalità e dai caratteri delle variazioni intervenute durante quel tempo nel livello del lago, dalla rapidità di esse e dal loro segno. I diagrammi dei livelli, o delle portate, del regime regolato si ricavano quindi da quelli dei livelli e delle portate del regime naturale, semplicemente sovrapponendovi la funzione del tempo rappresentata dalla 7) o dalla 11), oppure quella rappresentata dalla 7'') o dalla 10), le quali sono di semplice ed ovvia determinazione, una volta individuato il valore da assegnare a β/S.

L'applicazione pratica delle formule istituite nel precedente paragrafo richiede l'opportuna precisazione degli elementi che seguono.

Valore numerico da assegnare al decremento logaritmico β/S. — Le formule presuppongono la possibilità di una attendibile rappresentazione della scala delle portate dell'emissario mediante una relazione lineare, e quindi β costante: e presuppongono pure che l'area S della superficie lacuale sia indipendente dal livello h dello specchio liquido. Nella realtà i valori di β e di S aumentano ambedue con h, ma β aumenta piú rapidamente di S, cosicchè il loro rapporto risulta funzione crescente di h. Fra i valori che esso assume occorre sceglierne uno che risulti appropriato a fornire risultati attendibili.

Inizio della piena. — Nelle formule i tempi t si ammettono contati dall'istante assunto a segnare l'inizio della piena, nel quale il livello presenta il valore h_0 nel regime naturale, e il valore $h_0+\delta$ in quello regolato, ritenendo che nel medesimo istante venga completamente abbattuta la diga ed entri in vigore la scala delle portate dell'emissario. Occorre a tal fine precisare con quale criterio sia da individuare nel diagramma cronologico delle letture all'idrometro di Sesto il punto destinato a segnare con la sua ascissa l'inizio della piena (origine dei tempi) e con l'ordinata il valore h_0, avendo presente che l'abbattimento della diga non può essere istantaneo, perchè non lo consentirebbe l'opera in sè, e sopratutto perchè l'immissione brusca delle elevate portate corrispondenti alle piú alte ritenute potrebbe dare luogo a inconvenienti lungo il corso del Ticino.

Ritenuta iniziale δ — Essa dipende evidentemente dal valore assunto per il limite della trattenuta attiva: limite che in linea generale potrebbe variare nel corso dell'anno, da un mese all'altro. Se, infatti, l'esercizio della regolazione comporta in ogni caso che il lago venga invasato fino al livello della massima trattenuta attiva, stabilito nel piano approvato [attualmente, quindi, + 1,00 m a Sesto: in futuro, se fosse accolta la proposta del Consorzio, + 1,50 all'inizio sia della stagione irrigua estiva (seconda metà di giugno) sia della stagione invernale (metà di novembre)], non sussiste a priori la necessità di estendere la medesima facoltà a tutti i mesi intermedi: e sembra che in particolare potrebbero essere fissati per la trattenuta attiva dei limiti piú bassi tanto in agosto e settembre, verso la chiusura della stagione irrigua, quanto in marzo e aprile, dopo l'immancabile magra invernale. L'abbassamento del limite di trattenuta riuscirebbe di sicuro vantaggio nei rapporti delle piene che avessero a pronunciarsi nei detti mesi, e dovrebbe perciò essere adottato, nella misura compatibile con le esigenze della buona utilizzazione delle acque del Ticino.

Può essere utile ricordare che con analogo criterio il Sen. Fantoli aveva a suo tempo (1) stabilito le basi per la regolazione del Lago di Como.

Le limitazioni della trattenuta non rivestono un particolare interesse per la stagione invernale e per l'aprile, durante i quali, come vedemmo, il livello del lago non ha mai raggiunto i 2 m sullo zero di Sesto: ma potrebbe diventare importante per i mesi di agosto e settembre, nei quali non sono mancate piene rilevanti, talora

---

(1) G. Fantoli: *Il lago di Como e l'Adda emissario nella condizione idraulica odierna e nella divisata regolazione del deflusso ecc.*, - Milano 1921.

caratterizzate da particolare rapidità di formazione. Occorre, in ogni modo, riconoscere se, e con quale criterio, convenga attuarle nel periodo da maggio a novembre, facendo opportunamente variare il livello limite, oltre il quale la diga deve essere totalmente abbattuta per lasciar libero lo sbocco del lago.

3 - Valori numerici e criteri pratici per l'uso delle formule risolutive

Valore del decremento logaritmico β/S. — Nel campo di escursione delle altezze a Sesto da + 1,00 a + 6,94 m sullo zero, il coefficiente angolare β della tangente alla scala delle portate, vigente per le attuali condizioni dell'incile, va progressivamente crescendo da circa 400 m^3/sec m a circa 900 m^3/sec m. Poichè l'area della superficie lacuale aumenta corrispondentemente da 212 a 246 km^2, il rapporto β/S varierebbe di conseguenza fra $1{,}9 \times 10^{-6}$ sec^{-1} e $3{,}6 \times 10^{-6}$ sec^{-1}.

Molto piú modeste risultano però le variazioni di β/S se, astraendo dall'evento unico del 1868, si considera soltanto il campo di escursione dei livelli corrispondenti agli stati di piena verificati dopo tale anno: campo che parte dall'altezza di + 2,00 all'incirca e non va oltre quella di 4,44 m a Sesto. Si trova allora per $h = 4{,}50$ m, $\beta = 740$ m^3/sec m, e $S = 232$ km^2, onde $\beta/S = 3{,}2 \times 10^{-6}$ sec^{-1}; mentre per $h = 2{,}00$ m risulta $\beta/S = 2{,}57 \times 10^{-6}$ sec^{-1}. Esprimendo il tempo in giorni, come torna piú comodo per ricerche di questo genere, si ricava quindi:

$$\text{per } h = 2{,}00 \text{ m} \qquad \beta/S = 0{,}22 \text{ (giorni)}^{-1},$$
$$\text{per } h = 4{,}50 \text{ m} \qquad \beta/S = 0{,}28 \text{ (giorni)}^{-1}.$$

Data la differenza relativamente limitata dei due valori è chiaro che in questo campo è certamente ammissibile adottare per β/S un valore medio costante; una simile ipotesi non dovrebbe avere ripercussioni sensibili sui risultati, dai quali non si potrebbe, d'altro canto, pretendere una assoluta precisione, attesa l'incertezza della scala delle portate, che solo per il tratto inferiore si appoggia a misure dirette, e anche in questo tratto è soggetta a variare col tempo (come accadde, ad es., dopo il 1936). L'ipotesi comporta, per contro, una semplificazione importantissima dei calcoli diretti a stabilire gli incrementi del livello conseguenti ad una ritenuta iniziale, in quanto consente di sostituire ai laboriosi svolgimenti per differenze finite, che occorrerebbe ripetere per ogni piena, la semplice applicazione delle formule risolutive del paragrafo precedente.

Tuttavia abbiamo ritenuto opportuno di procedere a controllare l'approssimazione dei risultati ponendoli a confronto con quelli forniti dal predetto calcolo per differenze finite: come prevedibile, le constatazioni che esporremo piú avanti sono risultate soddisfacenti, e costituiscono una convincente dimostrazione della attendibilità del procedimento seguito.

La scelta del valore costante da adottare per β/S avrebbe potuto operarsi direttamente sulla curva delle portate (o su quella dei rapporti β/S) ricercando la retta che entro il campo sopra accennato dei valori di h la seguisse con i minimi scostamenti. Però abbiamo preferito ricorrere ad un metodo, meno diretto ma in-

dubbiamente piú attendibile, e basato sull'esame di talune piene, col quale si tenne conto, oltre che della variazione di β, anche di quella di S rispetto ad h. Furono scelte due piene a decorso lento e graduale, le quali avessero raggiunto colmi molto elevati, e due altre caratterizzate invece da grande rapidità delle variazioni di livello. La prima coppia comprese le due piene del settembre-ottobre 1868 e dell'ottobre 1872, nelle quali furono raggiunti i due colmi piú elevati del 77ennio; costituirono la seconda le piene dell'agosto 1900 e del settembre 1920 che, senza aver segnato altezze paragonabili a quelle delle due precedenti, si distinsero per eccezionale rapidità di formazione, in conseguenza di che i colmi seguirono a soli tre giorni dall'inizio.

Si è proceduto nel modo seguente: a mezzo della equazione di Lombardini, applicata con procedimento per differenze finite nella forma 1'), e tenute presenti le due scale, delle portate e delle espansioni lacuali, per ognuna delle piene anzidette si desunse dalla successione nota dei livelli letti a Sesto la corrispondente successione degli afflussi al lago [per le prime due piene questa successione si trovava già calcolata nella relazione tecnica Fantoli (1), ma i valori dovettero essere leggermente modificati in relazione ai ritocchi apportati alla scala delle portate dell'emissario]. Indi, sempre in base all'equazione di Lombardini e sempre con procedimento per differenze finite, sono state calcolate le successioni dei livelli e delle portate che si sarebbero verificate nel regime *attuale* (diga costruita, ma scala di deflusso praticamente immutata), rispettivamente per le due condizioni di invaso iniziale a quota + 1,00 m e a quota + 1,50 sullo zero di Sesto; però l'ipotesi di ritenuta + 1,50 fatta per questo calcolo, non risponderebbe alla realtà per la piena del 1872 e per quella del 1868, perchè l'esercizio della regolazione — e gli scopi medesimi di questa — non comporterebbe livelli d'invaso cosí elevati in maggio e in settembre; e potrebbe non comportare nemmeno la ritenuta + 1,00 per le due piene autunnali del 1868 e del 1872. Nello svolgimento dei calcoli si è ammessa, inoltre, l'osservanza delle norme, che specificheremo piú avanti, fissate dal Consorzio per le modalità di apertura della diga mobile: ma si riconobbe, come diremo, esserne del tutto trascurabile l'azione sull'andamento della piena, per poco che questa duri. I risultati sono stati raccolti in tabelle; nella Tabella III riportiamo, a titolo di esempio, quelli relativi alla piena del 1868.

Queste tabelle contengono anche le successioni dei valori h''-h' delle differenze fra i livelli h'' che si sarebbero verificati giorno per giorno nel regime regolato, ammessa la ritenuta iniziale all'altezza di + 1,50 m sullo zero di Sesto, e i livelli corrispondenti h' per la ritenuta iniziale + 1,00: il valore iniziale della differenza in parola essendo ovviamente $h''_0 - h'_0 = 0{,}50$ m per tutti i casi. Dalle tabelle si è desunto quindi il modo secondo cui, per ognuna delle quattro piene considerate, si sarebbe estinto il dislivello iniziale di 0,5 m.

---

(1) Consorzio del Ticino: *Progetto per l'ulteriore utilizzazione irrigua e industriale del fiume Ticino mediante la regolazione del Lago Maggiore. Relaz. tecn. del Prof. Ing. G. Fantoli* - Milano 1924, pagg. 100 e seg.

Tab. III

DATA	Regime naturale		Regime regolato attuale				
			Ritenuta + 1,00		Ritenuta + 1,50		Differenze
	h m	q m³/sec	h'	q'	h''	q''	$(h''—h')$
19 Settembre	0,89	465	1,000	510	1,500	725	0,500
20 »	1,31	640	1,401	685	1,810	875	0,409
21 »	1,40	680	1,472	715	1,805	870	0,333
22 »	1,80	870	1,857	900	2,125	1025	0,268
23 »	2,54	1260	2,584	1280	2,798	1400	0,214
24 »	2,63	1310	2,666	1325	2,833	1425	0,167
25 »	2,62	1300	2,650	1325	2,778	1395	0,128
26 »	2,61	1295	2,630	1310	2,731	1375	0,101
27 »	2,83	1425	2,860	1440	2,934	1470	0,074
28 »	4,43	2425	4,453	2440	4,513	2500	0,060
29 »	4,53	2500	4,547	2500	4,585	2550	0,038
30 »	4,31	2345	4,327	2350	4,347	2375	0,020
1 Ottobre	4,23	2285	4,245	2295	4,256	2300	0,011
2 »	5,47	3225	5,481	3230	5,489	3240	0,008
3 »	6,16	3800	6,169	3805	6,173	3810	0,004
4 »	6,94	4500	6,947	4500	6,949	4700	0,002
5 »	6,78	4350	6,787	4350	6,786	4350	— 0,001
6 »	6,26	3890	6,266	3890	6,266	3900	0
7 »	5,58	3310	5,586	3310	5,583	3310	— 0,003
8 »	5,00	2850	5,006		5,003		— 0,003
9 »	4,52	2490					

Ma, ammesse verificate le ipotesi che hanno portato alla istituzione delle formule risolutive del paragrafo precedente, la legge di estinzione del medesimo dislivello dovrebbe essere rappresentata anche dalla 7), posto nel secondo membro $h''_0–h'_0$. Si avrebbe quindi

$$h'' - h' = (h''_0 - h'_0)\ e^{-\beta t/S} = 0{,}5\ e^{-\beta t/S}$$

che è l'equazione di una retta, qualora si assumano come ascisse i tempi, e come ordinate i valori dei logaritmi naturali dei rapporti $(h''—h')/(h''_0—h'_0) = 2(h''—h')$. Il coefficiente angolare di questa retta varrebbe precisamente $—\beta/S$.

Nella fig. 3 si vedono riportati appunto, per le quattro piene, in ascisse i giorni decorsi dall'inizio (è bene notare che per la presente particolare ricerca la scelta del giorno d' inizio non ha importanza), come ordinate i valori di $\ln 2(h'' — h')$, desunti dalle tabelle. Sono distinti con diversi segni i punti relativi alle diverse piene. La figura dimostra con evidenza che, fatta per il momento astrazione dai livelli piú alti della piena del 1868, i punti sono assai chiaramente disposti lungo altrettante rette, pressocchè parallele: il che significa che, nel campo di escursione dei valori di h interessato dalle piene normali, fino almeno a 4-4,50 m sullo zero di Sesto, per β/S può assumersi per ogni piena un valore costante, senza pericolo di incorrere in rilevanti errori. Dal disegno sono stati desunti, per le diverse piene, i seguenti valori del coefficiente angolare:

settembre - ottobre 1868 — 0,258 giorni^{-1} (fino a circa 4,5 m sullo zero)
ottobre 1872 — 0,247 giorni^{-1}

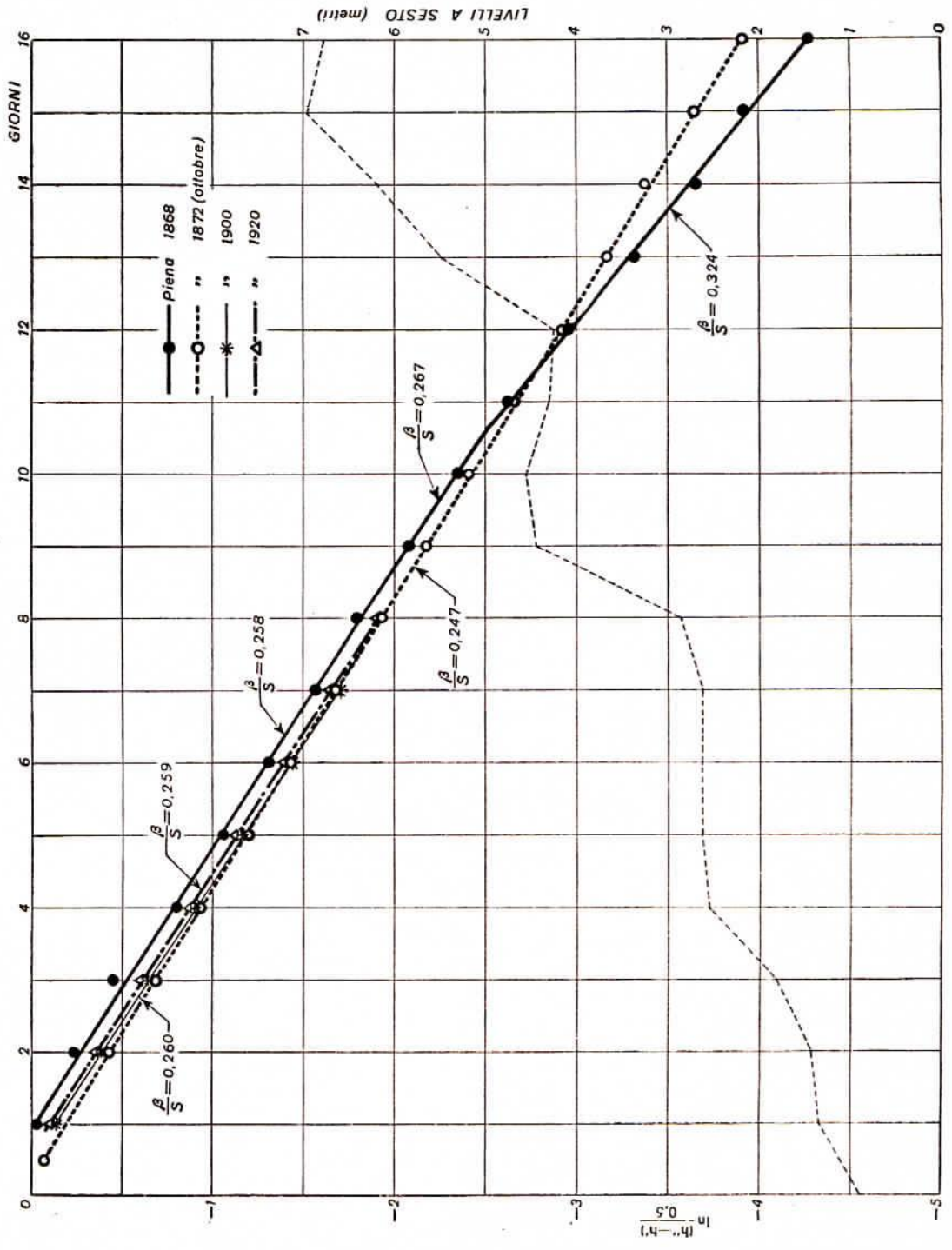
LIVELLI A SESTO (metri)
GIORNI
Piena 1868
" 1872 (ottobre)
" 1900
" 1920
$\frac{\beta}{S}=0,260$
$\frac{\beta}{S}=0,259$
$\frac{\beta}{S}=0,258$
$\frac{\beta}{S}=0,247$
$\frac{\beta}{S}=0,267$
$\frac{\beta}{S}=0,324$

Fig. 3.

agosto	1900	— 0,260	giorni^{-1}
settembre	1920	— 0,259	giorni^{-1}

Contentandoci di due cifre significative, abbiamo assunto $\beta/S = 0{,}25$ giorni^{-1}: valore intermedio fra quelli estremi di 0,22 e di 0,28, che aveva fornito l'ispezione della curva delle portate fra le altezze + 2,00 e + 4,50.

I punti forniti dalla piena del 1868, che sono sensibilmente disposti lungo la retta di coefficiente angolare —0,258, riguardano i primi dieci giorni all'incirca: al termine di essi, lo si riconosce dalla Tab. III e dal diagramma cronologico riportato con sottile linea a tratti nella stessa fig. 3, sia nel regime naturale sia in quello regolato la piena avrebbe raggiunto e superato, per entrambe le situazioni dell'invaso iniziale, i 4,5 m a Sesto, mantenendosi poi al di sopra di tale livello per tutti i sei giorni successivi, che trovano rappresentazione nella figura. Si deve pertanto concludere che il valore $\beta/S = 0{,}25$ può adottarsi con buona approssimazione fino a livelli dell'ordine di 4,5 m.

Per livelli superiori si dispone soltanto dei dati forniti dalla piena del 1868: i punti ad essa relativi per $t > 10$ giorni, i quali si riferiscono ad altezze comprese fra 4,5 e 7 m, risultano essi pure distribuiti abbastanza sensibilmente sopra segmenti di rette, che però sono distinte dalla precedente, alle quali competono coefficienti angolari assai maggiori (in valore assoluto). Questi punti non presentano particolare interesse, perchè sotto il limite di 4,5 m si sono mantenute tutte le piene verificatesi dopo il 1868, e l'altezza di 4,5 m fu raggiunta da quella del 1868 solo al nono giorno dall'inizio, quando il sopraelevamento residuo, dovuto alla eventuale ritenuta, sarebbe stato ridotto secondo le formule a 5 centesimi soltanto del valore iniziale (e secondo la tabella III a soli 6 cm su 50) risultando praticamente innocuo, e quindi trascurabile.

Nel campo delle altezze fra 2,00 e 4,50 m, nel quale per il decremento logaritmico si può assumere il medio valore predetto di 0,25 (giorni)$^{-1}$, l'attenuazione progressiva della eventuale ritenuta iniziale procede come appare dal prospetto seguente:

Valori di $e^{-\beta t/S}$

t giorni	$\frac{\beta}{S} t$	$e^{-\beta t/S}$	t giorni	$\frac{\beta}{S} t$	$e^{-\beta t/S}$
0	0,00	1,000	8	2,00	0,135
1	0,25	0,779	9	2,25	0,105
2	0,50	0,607	10	2,50	0,082
3	0,75	0,472	11	2,75	0,064
4	1,00	0,368	12	3,00	0,050
5	1,25	0,287	13	3,25	0,039
6	1,50	0,223	14	3,50	0,030
7	1,75	0,174	15	3,75	0,024

Quindi alla ritenuta iniziale di 1 m farebbe seguito dopo 5 giorni un sopraelevamento del pelo lacuale di 0,29 m, rispetto al livello che la piena avrebbe determinato se lo sbocco fosse stato libero: dopo 10 giorni il sopraelevamento sarebbe ridotto a 8 cm, e dopo 15 a 2 soltanto. Ove si consideri che — come vedremo — la ritenuta iniziale potrebbe solo eccezionalmente raggiungere il valore di 1 m, qualora il limite superiore della trattenuta attiva fosse stabilito a 1 m sullo zero di Sesto, e altrettanto eccezionalmente potrebbe raggiungere 1,50 m qualora il limite predetto venisse aumentato di 50 cm, si deve concludere che per quanto concerne i possibili sopraelevamenti del livello del lago, l'esame in linea di massima può essere circoscritto a un numero limitato di giorni dall'inizio di ogni piena, da 10 a 12 giorni al piú, trascorsi i quali le ripercussioni sarebbero sempre ridotte a entità trascurabile, qualunque fosse stata la ritenuta iniziale. Se, in particolare, si ritenesse di poter limitare l'esame ai sopraelevamenti maggiori di 10 cm, in quanto da quelli inferiori non può derivare alcun peggioramento apprezzabile della situazione idraulica delle gronde, basterebbe considerare le piene che raggiungono il colmo in non piú di 9 giorni, ove il limite superiore anzidetto fosse stato stabilito a 1 m; o in non piú di 11 giorni se il limite venisse portato a 1,5 m.

Gli aumenti delle portate conseguenti alle variazioni del livello potrebbero essere calcolati con la 7''): ma è piú comodo dedurli direttamente dalla scala delle portate. Vogliamo notare che all'incremento di 10 cm nel livello corrisponderebbe per la portata del fiume, un incremento variabile da 40 a 58 m^3/sec, nel campo delle altezze fra 1,00 e 4,50 m: incrementi di questo genere possono certamente essere trascurati (se non altro perchè certamente sono contenuti nel campo di inevitabile incertezza della scala delle portate) appena si considerino portate superiori ai 1000 m^3/sec.

Se si passa a considerare il regime regolato che si stabilirebbe dopo la sistemazione dell'alveo, entrano in vigore, in luogo delle 7) e 7''), le 10) e 11). A norma della 11), già lo dicemmo, i sopraelevamenti di livello sono inferiori a quelli che si verificherebbero nelle attuali condizioni dell'incile, della quantità $\Delta\,(1-e^{-\beta t/S})$, e si annullano quindi dopo il tempo $t_1 = \frac{S}{\beta} \ln\,(1+\frac{\delta}{\Delta})$, dove, ricordiamo, δ è la ritenuta iniziale, Δ l'abbassamento della soglia al quale è equiparabile nei suoi effetti idraulici la divisata sistemazione dell'incile. Abbiamo visto che Δ ha il valore di 61 cm: se, a titolo di riferimento si pone $\delta = 1$ m, si ricava per t_1 un valore di poco inferiore ai 4 giorni, sicchè il sopraelevamento del livello di colmo si potrebbe presentare soltanto per quelle piene nelle quali il livello medesimo fosse stato raggiunto alla piú lunga entro il terzo giorno dall'inizio, e anche per esse risulterebbe sempre piccolo. Invece salirebbe in generale a valori elevati l'incremento corrispondente della portata del fiume: infatti, se si pone $t = 3$ giorni, mentre la 11) fornisce $h''-h = -0{,}61 + 1{,}61\,e^{-0{,}75} = 0{,}16$ m soltanto, la 10), assunto il valore $\beta = 500$ m^3/sec m fornirebbe $q''-q = 500 \times 1{,}61\,e^{-0{,}75} = 380$ m^3/sec.

Dovendosi ripetere numerosissime volte calcoli di questo genere si è provve-

duto a renderli piú solleciti mediante la preventiva preparazione di una tabella contenente i valori dell'espressione $ke^{-0,25t}$ per k variabile di 10 in 10 cm da 0,10 a 1,5 m e per tutti i valori interi di t, da 1 a 20 giorni.

Per dare un'idea concreta della attendibilità dei risultati ricavabili dall'applicazione delle formule risolutive, per diverse piene abbiamo posto a confronto la successione dei livelli giornalieri del lago regolato, che esse consentono ovviamente di dedurre da quelle dei livelli osservati, con la successione stabilita invece

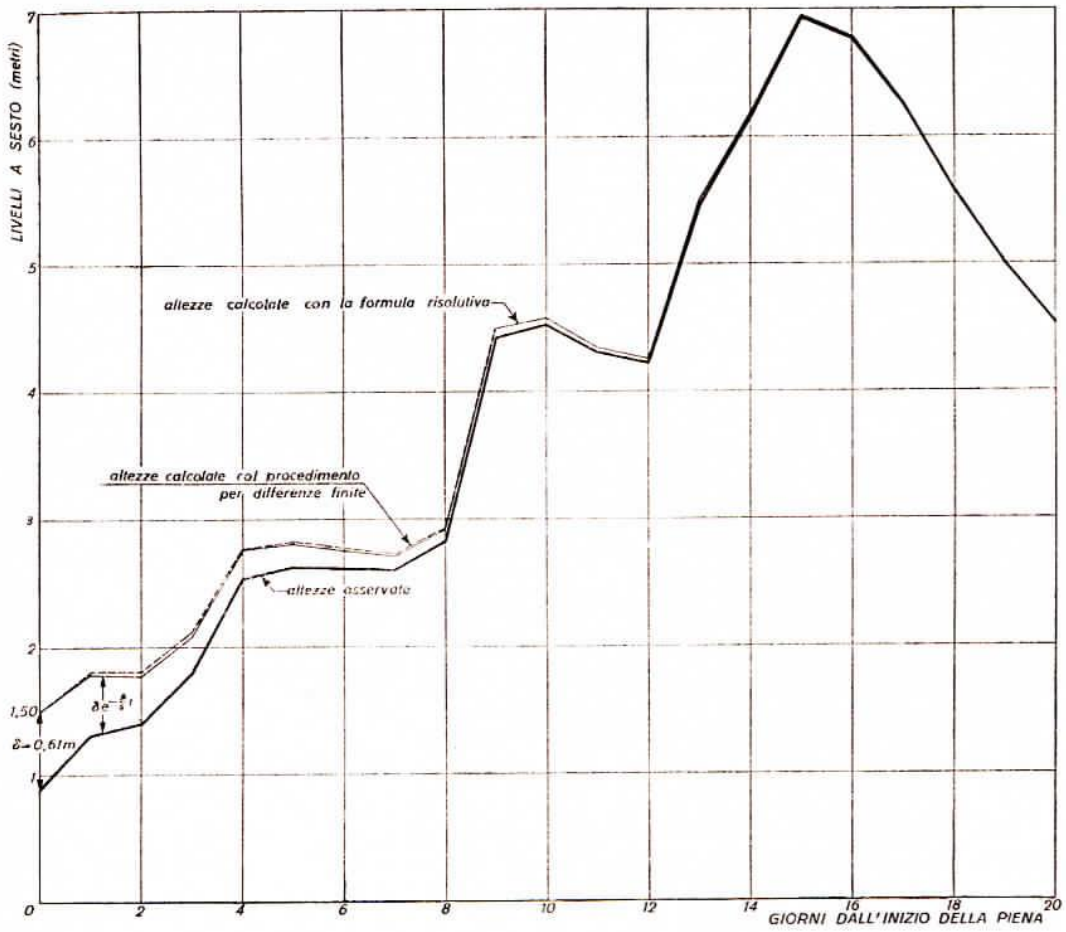

Fig. 4. - Effetto della ritenuta a + 1,50 m sulla piena del 1868. Confronto fra i valori ottenuti con la formula risolutiva e quelli calcolati per differenze finite.

a mezzo del procedimento per differenze finite. Il confronto è stato ripetuto per le quattro piene che già avevano servito per determinare il valore di β/S, e per conferire rilievo alle eventuali differenze, abbiamo ammesso che ogni piena tro-

vasse il lago invasato a quota 1,50 m. Riportiamo nelle figg. 4 e 4 bis soltanto i valori ottenuti per le due piene del 1868 e del settembre 1920: si vede che l'appli-

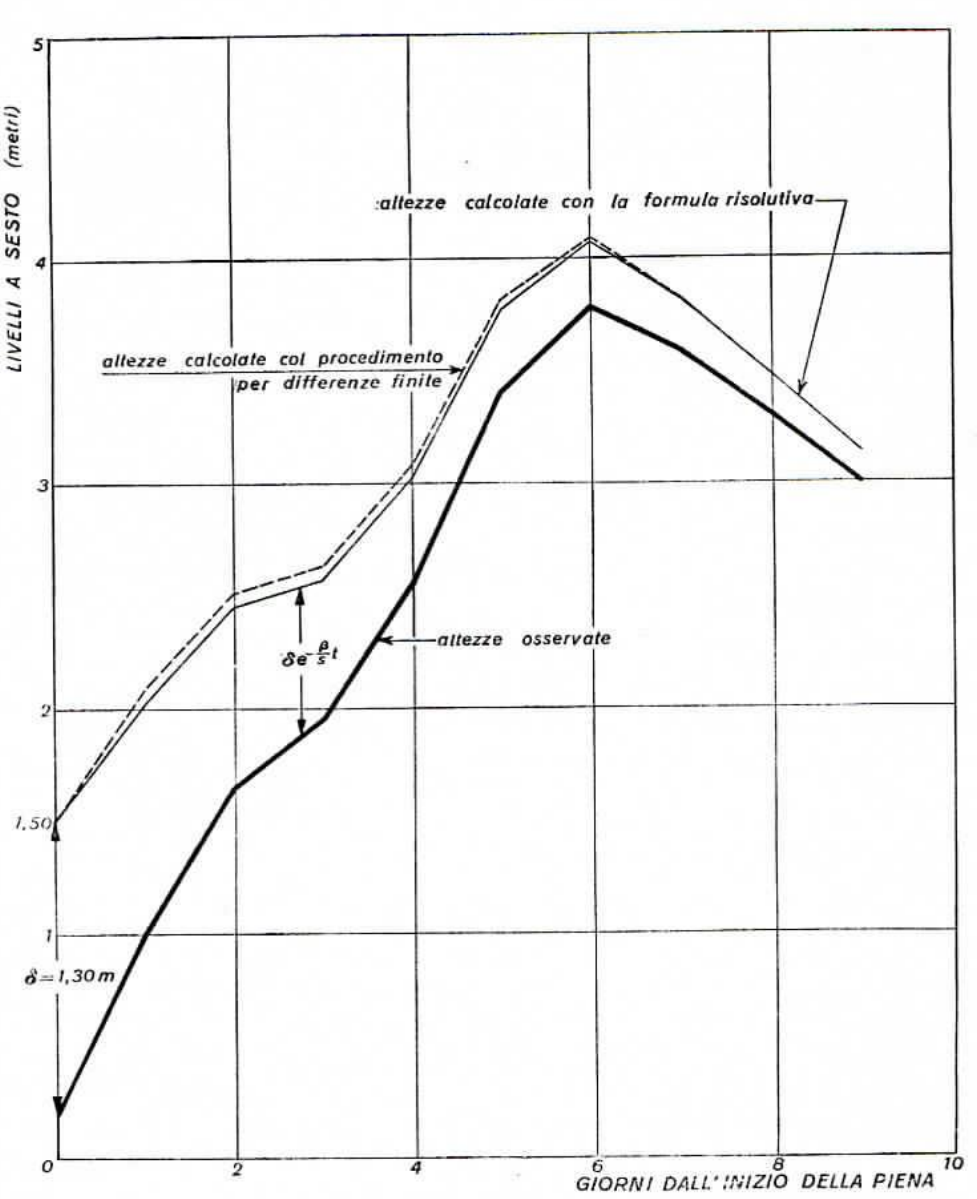

Fig. 4 bis. - Effetto della ritenuta + 1,50 sulla piena del 1920.

cazione delle formule dà luogo sempre — come era prevedibile, data la genesi loro — a valori in lieve difetto; però le differenze hanno importanza costantemente limitata e praticamente si annullano appena ci si approssima all'altezza

+ 4,00 a Sesto. Nell'insieme le figure forniscono una decisiva conferma dell'applicabilità delle formule, in ispecie per le piene che raggiungono o superano tale altezza.

Determinazione dell'inizio delle piene. — È norma fondamentale per l'uso della diga mobile che il livello del lago non abbia a oltrepassare il limite stabilito per la trattenuta attiva, se non dopo l'abbattimento totale della diga, in maniera che, per i livelli superiori al detto limite, lo sbocco lacuale abbia in ogni caso a trovarsi completamente libero. Questa norma permette di individuare, per ogni piena della quale si conosca la successione giornaliera dei livelli naturali, il termine estremo (nei nostri calcoli, l'ultimo giorno) entro il quale la diga si sarebbe dovuta abbattere, affinchè la norma risultasse rispettata: se l'apertura fosse avvenuta piú tardi, la diga sarebbe stata inevitabilmente tracimata.

E invero, siano, con i simboli ormai consueti, $h(t)$ la successione delle altezze a Sesto nel regime naturale, $q(t)$ quella delle corrispondenti portate, che si ammettono legate alle h dalla scala lineare $q = \alpha + \beta h$. Nel regime regolato, fino a che la diga non è interamente abbattuta, il livello h' del lago non può superare il limite superiore H della trattenuta attiva. L'ipotesi piú sfavorevole è che la piena trovi il lago completamente invasato e che la ritenuta presenti giorno per giorno il valore $\delta = H - h$. L'apertura completa della diga farebbe assumere alla portata di deflusso il valore:

$$q' = \alpha + \beta (h + \delta) = q + \beta\delta \ .$$

Questa portata, affinchè la tracimazione sia esclusa, deve almeno uguagliare quella che contemporaneamente affluisce al lago:

$$a' = q + S \frac{dh}{dt} \ ,$$

sicchè l'apertura della diga deve avvenire quando:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\beta}{S} \delta = 0{,}25\,\delta \ .$$

Sostituendo ai differenziali le differenze finite e posto $\Delta t = 1$ giorno, la precedente viene a dire che lo sbocco lacuale deve essere liberato quando la ritenuta assume un valore δ corrispondente al quadruplo dell'incremento Δh intervenuto nel livello h (del regime naturale) nelle precedenti ventiquattr'ore. Il momento si individua facilmente con la costruzione grafica della fig. 5. Dal diagramma cronologico dei livelli giornalieri h del regime naturale si è ricavato quello degli incrementi Δh del livello da un giorno al successivo, e i valori di $4\,\Delta h$ sono stati detratti dal livello di ritenuta H, ottenendo la curva sottile. Essa taglia il diagramma $h(t)$ in un punto, che con la sua ascissa individua il termine estremo per l'abbattimento della diga (1).

(1) Allo stesso risultato è pervenuto il prof. Citrini ragionando come segue: qualora l'apertura della diga avvenisse nel giorno in cui la ritenuta è δ, la differenza fra i livelli h' del regime regolato e

Se l'abbattimento avvenisse prima, la portata di afflusso non sarebbe sufficiente a compensare quella defluente attraverso l'incile, e il lago si svaserebbe, fino a che il bilancio fra le due si fosse stabilito.

Il giorno individuato col procedimento ora esposto è stato assunto a indicare l'inizio della piena: cosí, in particolare, sono stati determinati i giorni di inizio

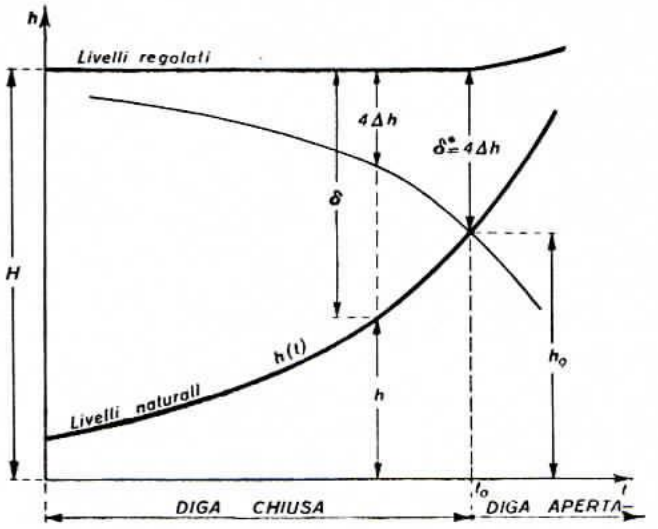

Fig. 5.

delle singole piene che si vedono riportati nella Tab. II. Per quanto riguarda le altezze iniziali segnate nella stessa tabella, giova precisare che, per ovvie ragioni di omogeneità, si è assunto come limite della trattenuta attiva il valore + 1,00 m a Sesto per tutte le piene elencate, anche per quelle che effettivamente — secondo plausibili modalità di esercizio della regolazione — avrebbero trovato il lago a livelli piú bassi.

Limite della trattenuta attiva. — Il limite superiore della trattenuta attiva è fissato notoriamente nel piano approvato per la regolazione del lago all'altezza + 1,00 m a Sesto, e — se fosse accolta la richiesta del Consorzio — dovrebbe essere elevato a + 1,50 m. Ma non vi è ragione di considerare tale limite come un

---

quelli h del regime naturale andrebbe decrescendo, a partire da quel giorno, con la legge esponenziale, e il decremento della prima giornata (assunto il giorno come unità di tempo) sarebbe dato da:

$$-\frac{d}{dt}\left(\delta\, e^{-\frac{\beta t}{S}}\right)_{t=o} = \frac{\beta}{S}\,\delta$$

Siccome questo decremento deve essere bilanciato dal contemporaneo incremento dh/dt del livello del lago, si ritrova la formula del testo.

termine da mantenere costante per l'intero corso dell'anno. L'esercizio della regolazione comporta infatti l'esaurimento almeno parziale della riserva lacuale due volte l'anno, verso la fine della stagione estiva e verso la fine di quella invernale.

È chiaro che a quelle epoche — salvo il caso che fossero intervenute piene nei giorni o nelle settimane antecedenti — il lago verrebbe di regola a trovarsi in condizioni di svaso piú o meno completo; il limite superiore della trattenuta attiva potrebbe quindi essere abbassato, senza danno per l'utilizzazione delle acque del fiume, e col vantaggio di rendere piú agevole lo scarico delle eventuali piene.

Il detto abbassamento però riveste diverso interesse per la stagione estiva e per quella invernale: nella seconda le piene mancano totalmente, e nei loro rapporti il limite superiore della trattenuta attiva potrebbe anche senza preoccupazioni essere mantenuto costantemente all'altezza + 1,00 m (0 + 1,50). Invece nei mesi di agosto e settembre, nei quali piene rilevanti ricorrono con relativa frequenza, contrassegnate in qualche caso da eccezionale rapidità di formazione, si rende necessario considerare la possibilità e la convenienza di abbassare il limite della trattenuta attiva nella massima misura compatibile con le esigenze della utilizzazione delle acque del fiume.

Ci è parso opportuno di fissare l'attenzione, anziché sopra una particolare riduzione, che si sarebbe dovuta scegliere arbitrariamente fra tutte quelle possibili, su riduzioni di varie entità, al fine di individuare tutte le possibilità e ritrarne gli elementi per una fondata scelta della soluzione da adottare.

Abbiamo supposto quindi:

a) che, fissato il limite superiore della trattenuta attiva all'altezza + 1,00 m a Sesto, nel periodo dal 1° Agosto al 30 Settembre il limite effettivo di ritenuta venisse gradualmente e progressivamente abbassato al di sotto di tale altezza, fino a ridursi al minimo valore al 30 Settembre. Per questo minimo abbiamo anzitutto preso in considerazione il valore di 0,30 m sullo zero di Sesto, al di sotto del quale non riteniamo sarebbe comunque il caso di scendere, per non ridurre eccessivamente le disponibilità della successiva stagione autunnale. Ma esaminammo anche le eventualità che il minimo in parola venisse elevato a 0,50, a 0,75 m, e infine che la trattenuta attiva fosse mantenuta per tutta la stagione estiva all'altezza + 1,00 m.

Sono stati cosí individuati i diagrammi cronologici dei livelli di massima ritenuta, che in fig. 6 si vedono rappresentati con linee continue e distinti con i numeri 1 2 3 e 4. (Il diagramma 1 comporterebbe, ad esempio, che la diga venisse completamente abbattuta al 15 settembre, qualora il livello superasse l'altezza + 0,45 m, e al 30 Settembre se superasse l'altezza + 0,30 m).

b) che, elevato il limite superiore della trattenuta attiva all'altezza + 1,50 m, tale limite possa però essere raggiunto e mantenuto solo nei due periodi relativamente brevi nei quali di regola avviene la formazione dell'invaso, cioè: nella stagione estiva, dal 1° giugno al 15 luglio; nella stagione autunnale dopo il 15 novembre, in modo da prevenire l'eventualità che le grandi piene autunnali (le quali

si iniziano sempre in ottobre) abbiano a trovare il lago a quota superiore a 1 m. Fra il 16 e il 31 luglio il limite della trattenuta si dovrebbe ridurre progressivamente da 1,50 a 1,00 m, e invece dal 1° al 15 novembre dovrebbe essere elevato progressivamente da + 1,00 a + 1,50 m; il tutto in conformità del diagramma che in fig. 6 si vede segnato a tratti (quindi al 15 luglio la diga non dovrebbe

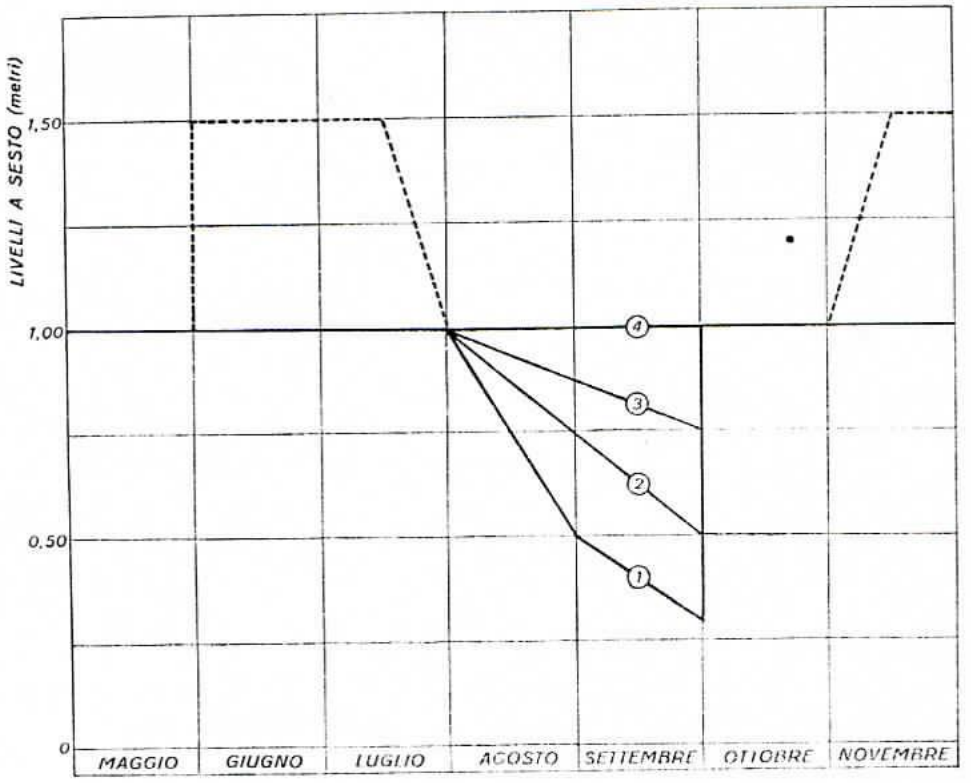

Fig. 6. - Diagrammi cronologici dei livelli di massima ritenuta.

essere abbattuta se non quando il livello superasse 1,50 m sullo zero di Sesto: e al 25 luglio l'abbattimento dovrebbe avvenire invece appena fosse superata l'altezza + 1,30 m).

È chiaro che, per ognuna delle ipotesi definite dai diagrammi della fig. 6, assume diverso valore quella ritenuta δ iniziale che per ogni piena è destinata ad esaurirsi asintoticamente col tempo dopo l'abbattimento della diga mobile, e muta anche il momento nel quale l'abbattimento dovrebbe avvenire (e che si assume a segnare l'inizio della piena).

Infine, poiché variare la massima trattenuta ammissibile al 30 settembre significa variare l'invaso col quale si inizia la stagione autunnale, occorreva anche verificare se e quali ripercussioni tali variazioni potessero avere sull'esercizio autunnale e invernale della regolazione e sulle portate utili di tali stagioni. Tali ri-

percussioni sono evidentemente di minore importanza e sono circoscritte ai primi giorni e alle prime settimane di ottobre, per tutti gli anni — e sono quasi la totalità — nei quali le pioggie autunnali portano il livello del regime naturale oltre l'altezza + 1,00 m (o rispettivamente + 1,50 m), e nel regime regolato si renderebbe necessario l'abbattimento totale della diga: perché, avvenuta che sia la completa ricostruzione dell'invaso, il regime delle erogazioni successive si rende del tutto indipendente dallo stato idrometrico al 30 settembre. Le ripercussioni interesserebbero invece intervalli di tempo molto piú lunghi, e praticamente tutta la stagione invernale, nelle rare annate contrassegnate dalla mancanza delle pioggie autunnali; le quali furono due sole in tutto dal 1914 al 1947, il 1921 e il recentissimo 1946. È fuori di dubbio che in anni critici cosí fatti sarebbe sempre utile che al 30 settembre il lago si trovasse completamente invasato, ma è anche certo che la mancanza delle pioggie autunnali, come fatto certamente eccezionale, non può costituire la base per la scelta di una direttiva di esercizio da valere poi per tutti gli anni. La scelta deve, bensí, essere riportata alla situazione piú frequente che è quella delle annate nelle quali avviene la ricostituzione autunnale dell'invaso.

Modalità di apertura della diga. —Secondo le comunicazioni fatte dal Consorzio del Ticino, l'apertura della diga procede sempre in modo graduale, essendo prescritto che l'aumento orario della portata del fiume non superi i 30 m^3/sec fino che non siano raggiunti i 500 m^3/sec, e non oltrepassi i 50 m^3/sec da quel momento fino al completo abbattimento della diga. Di conseguenza, se per fissare le idee si assume la seguente situazione iniziale: erogazione di 120 m^3/sec attraverso la diga solo in piccola parte abbattuta, livello all'altezza + 1,00 m, per la quale nelle condizioni attuali l'incile libero può erogare al massimo 510 m^3/sec, l'apertura completa dello sbarramento richiederebbe poco piú di 14 ore. Invece quando fosse stata eseguita la sistemazione dell'alveo, la quale eleverebbe a 790 m^3/sec la portata erogabile con l'altezza + 1,00 m, il tempo occorrente per l'apertura della diga salirebbe oltre le 18 ore.

Durate corrispondentemente piú elevate occorrerebbero se la ritenuta fosse portata a + 1,50 m. Comunque, nell'esercizio pratico della regolazione, per ogni particolare valore della ritenuta è necessario sempre un certo tempo perchè la portata raggiunga il valore di cui l'alveo è capace, e questo tempo è tanto piú lungo, quanto piú è bassa la preesistente erogazione regolata ed è elevata la trattenuta esistente all'inizio della manovra di apertura. Nelle condizioni attuali dell'incile questo tempo si può in media ritenere dell'ordine di una mezza giornata, se il limite della trattenuta attiva è segnato all'altezza + 1,00 m, e aumenta di qualche ora, se il limite fosse portato all'altezza + 1,50 m.

È ovvio però che il Consorzio non aspetta per iniziare l'apertura dello sbocco lacuale il momento nel quale essa si imponga come improrogabile: l'avvia bensí con un conveniente anticipo, appena le segnalazioni dal bacino imbrifero annuncino il probabile sopravvenire di una piena, in modo che la diga venga a trovarsi completamente abbattuta quando il livello del lago effettivamente comincia

ad elevarsi. Di conseguenza, il volume liquido erogato durante la manovra di apertura, essendo sottratto in anticipo al lago, non entra nel bilancio della piena. La sua importanza è affatto secondaria per le piene che raggiungono il colmo dopo parecchi giorni, e potrebbe riuscire non trascurabile soltanto nei rapporti delle intumescenze a fronte molto ripido. Nei computi che esporremo, per ovvie considerazioni di semplicità se ne è fatta sistematica astrazione, ammettendo implicitamente che l'apertura della diga avvenisse istantaneamente, nel giorno individuato col procedimento esposto sopra. Ma ci siamo ritenuti autorizzati a procedere cosí, perché il volume trascurato in pratica sarebbe sottratto alla piena. I valori da noi calcolati per i livelli e le portate di colmo delle piene del regime regolato (e sostanzialmente per quelle con fronte molto ripido) risultano quindi, se mai, in lieve eccesso rispetto a quelli che effettivamente si sarebbero potuti verificare nella realtà.

Capitolo IV

RISULTATI DEL CALCOLO E LORO ANALISI APPLICAZIONE DELLE FORMULE RISOLUTIVE ALLA DETERMINAZIONE DELLE RIPERCUSSIONI DELLA REGOLAZIONE SULLE PIENE DEL LAGO MAGGIORE E DEL TICINO

1 - Applicate con le norme esposte al n. 3 del precedente capitolo, le formule risolutive stabilite al n. 2 dello stesso capitolo danno il modo di determinare molto rapidamente i valori che livelli e portate di colmo avrebbero assunto nel regime regolato per tutte le 67 piene della Tab. II, che nel periodo dal 1868 ad oggi raggiunsero o superarono i 2 m a Sesto, e per ognuno dei diagrammi cronologici dell'altezza di trattenuta attiva, riprodotti nella fig. 6.

Il calcolo è stato condotto anzitutto con riferimento al diagramma 1, che comporta l'abbassamento massimo del limite di trattenuta, fino all'altezza + 0,30 m, al 30 settembre. Per questo diagramma furono subito considerate tanto l'eventualità che il limite superiore della trattenuta attiva non superasse l'altezza + 1,00 m a Sesto, quanto quella che nei mesi di giugno e luglio e in novembre esso venisse elevato a +1,50 m, con le modalità specificate nel Capitolo precedente.

In secondo tempo si è proceduto a determinare le variazioni che occorrerebbe apportare ai risultati del calcolo precedente qualora l'abbassamento massimo predetto venisse successivamente ridotto a 0,50 m (diagramma 2), a 0,25 (diagramma 3) e infine a zero (diagramma 4): e corrispondentemente il limite della trattenuta per il 30 settembre venisse elevato a + 0,50, a + 0,75 e a + 1,00 m sullo zero di Sesto.

2 - Si è cominciato dal considerare il regime regolato attuale, nel quale resta ancora in vigore la scala delle portate dell'emissario, che si era mantenuta valida fino al 1936: e per tale regime il calcolo è stato ripetuto ponendo il limite massimo di trattenuta sia all'altezza + 1,00 m a Sesto, sia a quella + 1,50 m, limitatamente sempre ai due periodi estivo ed autunnale, che risultano dal diagramma della fig. 6.

I risultati si vedono esposti nella Tab. IV, ove per ogni piena sono indicati il valore $h'_0 = h_0 + \delta$ assunto per l'altezza iniziale e quello della corrispondente trat-

tenuta (a norma del diagramma 1 della fig. 6), i valori calcolati per il livello h'_m e per la portata q'_m di colmo, e le variazioni $h'_m - h_m$ e $q'_m - q_m$ dell'uno e dell'altra rispetto ai corrispondenti valori h_m e q_m contenuti nella Tab. II per il regime naturale. Sono scritti in corsivo i livelli di colmo che superano almeno di 20 cm quelli relativi al regime naturale, e le portate di colmo che superano almeno di 100 m³/sec quelle del regime naturale.

Dobbiamo notare che nella maggior parte dei casi il colmo del regime attuale regolato cade nello stesso giorno nel quale si è verificato il colmo del regime naturale: però in talune piene con decorso molto rapido, nelle quali il colmo fu raggiunto in tre o quattro giorni soltanto, e nelle quali il maggior incremento si concentrò nei primi giorni (esempio, la piena n. 15 del 1889), il colmo del regime regolato anticipa di un giorno.

In questi casi, molto facilmente individuabili (1), i valori riportati in tabella furono determinati applicando le formule all'altezza del giorno precedente quello del colmo del regime naturale.

Il calcolo è stato poi ripetuto per il regime regolato futuro, che si stabilirebbe qualora avesse attuazione la nota sistemazione dello sbocco lacuale. Poiché restavano immutati i livelli h'_0 di ritenuta iniziale, assunti per il regime regolato attuale, tutto si riduceva a tener conto della variazione della scala delle portate, la quale variazione, come vedemmo, è equiparabile ad un abbassamento Δ del fondo fluviale pari a 61 cm. Siccome con questa ipotesi si assume come scala delle portate del regime futuro la curva che limita a destra la zona segnata a tratteggio nella figura 1, risultano leggermente sottovalutati i livelli di colmo e sopravalutate, al contrario, le portate. Ma si tratta di differenze molto lievi, di minima importanza rispetto ai valori numerici dei risultati, e non tali certamente da giustificare la esecuzione dei laboriosi calcoli per differenze finite, che sarebbero stati necessari se si fosse adottata una diversa scala delle portate (la quale cioè, non fosse ricavabile da quella del regime naturale a mezzo di una semplice traslazione parallela all'asse delle h). I risultati sono raccolti nella Tab. V.

I valori delle tabelle bastano di per sé a dare numerica evidenza alle ripercussioni che la regolazione del lago, nelle varie ipotesi considerate circa il suo esercizio, avrebbe avuto sul decorso delle piene verificate dal 1868 ad oggi.

Essi dànno luogo intanto alle prime constatazioni seguenti:

a) ammesso il limite massimo della trattenuta attiva all'altezza + 1,00 m di Sesto, soltanto per 20 dei 67 eventi considerati nella Tab. IV la ritenuta iniziale sarebbe stata non inferiore a 50 cm. È fra questi venti casi che vanno ricercati

---

(1) Dette h_m e t_m altezza del colmo e giorno nel quale esso fu raggiunto, $h_1 < h_m$ l'altezza del giorno antecedente t_{m-1}, il colmo del regime regolato anticipa su quello del regime naturale quando:

$$h_m - h_1 < \delta_m \left(e^{-\beta S} - 1 \right) = 0{,}283\, \delta_m$$

essendo δ_m il valore al quale è ridotto δ nel giorno antecedente al colmo del regime naturale.

quelli per i quali nel regime regolato attuale si sarebbero potute verificare delle sfavorevoli variazioni nei valori di colmo dei livelli del lago e delle portate del fiume. Siccome però l'incremento residuo della ritenuta iniziale di 50 cm dopo sette giorni è ridotto a 10 cm soltanto, e — per quanto si vide al Cap. II — almeno sette giorni occorrono perché, in circostanze eccezionali, il livello del lago raggiunga nel regime naturale i 4 m sullo zero, è facile comprendere che solo ritenute assai superiori ai 50 cm avrebbero potuto provocare incrementi preoccupanti delle piene che raggiunsero o superarono i 4 m. Poiché nel lungo periodo esaminato non ricorre esempio di piene siffatte, si comprende pure che nelle attuali condizioni dell'incile lacuale la regolazione non avrebbe esercitato una influenza di rilievo sui colmi delle piene piú importanti. Ciò che la tabella conferma chiaramente.

Occorre pure considerare che i venti casi con ritenuta iniziale superiore ai 50 cm vanno ridotti in realtà a 17 soltanto, perché fra essi sei sono doppi; sono costituiti, cioè, da colmi successivi di una stessa piena. La massima ritenuta iniziale si sarebbe verificata con 1,08 m per la piena dell'ottobre 1926.

Se si ammette, poi, che il limite massimo della trattenuta attiva venga elevato a 1,5 m a Sesto (dal 1° giugno al 15 luglio e dopo il 15 novembre) il numero delle piene per le quali la ritenuta iniziale avrebbe superato i 50 cm sale a 21, e la massima ritenuta iniziale si verificherebbe per la piena del giugno 1936, con 1,14 m;

b) incremento dei valori di colmo: la Tab. IV dimostra che, nelle attuali condizioni dell'incile e con la massima trattenuta all'altezza + 1,00 m, in nove casi soltanto il livello massimo si sarebbe elevato di almeno 20 cm al di sopra del valore raggiunto nel regime naturale, e in undici casi soltanto la portata massima avrebbe superato di almeno 100 m^3/sec il valore corrispondente del regime naturale. Il massimo incremento si sarebbe verificato per il primo colmo della piena dell'ottobre 1872, con 41 cm e 240 m^3/sec.

Se invece la massima trattenuta fosse stata fissata all'altezza + 1,50 m, il numero dei colmi per i quali il livello sarebbe aumentato di 20 cm almeno sale a quattordici, e diventa di quindici quello dei colmi di portata aumentati almeno di 100 m^3/sec; i massimi incrementi salgono a 54 cm e 305 m^3/sec;

c) nella situazione dell'incile, che si determinerebbe a sistemazione attuata dell'alveo a monte e a valle della diga, il quadro delle ripercussioni della regolazione muta sostanzialmente, come evidente conseguenza della modificazione della scala delle portate dell'emissario. Infatti per la trattenuta massima + 1,00 m, i livelli di colmo risultano *abbassati* almeno di 20 cm rispetto ai valori corrispondenti del regime naturale in 53 casi su 67, mentre le portate di colmo sono aumentate di almeno 100 m^3/sec in 46 casi su 67. Per la trattenuta massima + 1,50 m i colmi abbassati di almeno 20 cm sono poco meno numerosi, 46 su 67, mentre in 8 casi essi sono aumentati e in un caso l'aumento supera i 20 cm: per contro le portate di colmo risultano tutte piú grandi, e in 46 casi su 67 il loro incremento non è inferiore a 100 m^3/sec.

Siccome l'incremento dei livelli di colmo è l'evidente indizio di un peggioramento delle condizioni del lago, e l'aumento delle portate di colmo significa invece un peggioramento delle condizioni del fiume, le constatazioni ora sinteticamente esposte dimostrano che nelle presenti condizioni dell'incile la regolazione comporterebbe delle variazioni di limitata entità nel decorso delle piene e che tali variazioni si tradurrebbero in un peggioramento, che i dati riportati valgono già a far ritenere non grave, sia delle condizioni del fiume sia di quelle del lago. Qualora invece venisse effettuata la prevista sistemazione dell'incile, le condizioni del

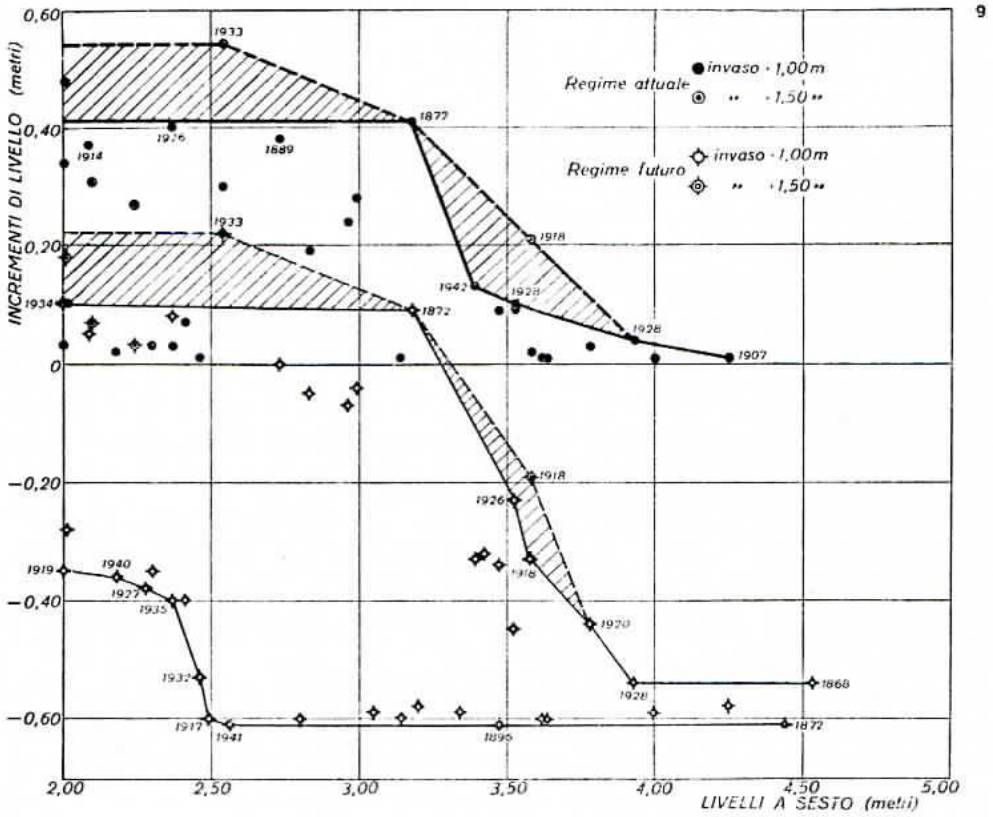

Fig. 7. - Incrementi dei livelli di colmo delle piene del periodo 1868-1944, che sarebbero stati determinati dalla regolazione del lago.

lago si troverebbero marcatamente migliorate, ma a tale miglioramento si contrapporrebbe un deciso, innegabile peggioramento delle condizioni del fiume.

Dai dati delle due tabelle emerge inoltre chiaramente che l'elevamento del limite superiore della trattenuta attiva da + 1,00 m a + 1,50 m sullo zero di Sesto dal 1° giugno al 15 luglio e dopo il 15 novembre non comporterebbe variazioni di particolare rilievo né per l'una né per l'altra situazione; né questa constatazione può recar meraviglia, appena si rifletta che tale elevamento verrebbe a interessare soltanto due brevi periodi dell'anno, nei quali il lago si trova già naturalmente

LIVELLI E PORTATE DI COLMO NEL REGIME ATTUALE PER TUTTE LE PIENE CHE RAGGIUNSERO O SUPERARONO 2 m A SESTO DAL 1868 AL 1944

Tab. IV

N.	ANNO	Data		Ritenuta + 1,00 m.						Ritenuta + 1,50 m.					
		inizio	colmo	$h_m + \delta$ m	δ m	h'_m m	$h'_m - h_m$ m	q'_m m³/sec	$q'_m - q_m$ m³/sec	$h'_m + \delta$ m	δ m	h'_m m	$h'_m - h_m$ m	q'_m m³/sec	$q'_m - q_m$ m³/sec
1	1868	19/IX	29/IX	0,89	0,00	4,53	0,00	2500	0	0,89	0,00	4,53	0,00	2500	0
2	1868	19/IX	4/X	0,89	0,00	6,94	0,00	4500	0	0,89	0,00	6,94	0,00	4500	0
3	1869	6/V	9/V	1,00	0,15	2,77	0,07	1390	40	1,00	0,15	2,77	0,07	1390	40
4	1872	19/V	23/VI	1,00	0,48	4,44	0,00	2435	0	1,00	0,48	4,44	0,00	2435	0
5	1872	4/X	7/X	1,00	0,87	*3,59*	0,41	*1865*	240	1,00	0,87	*3,59*	0,41	*1865*	240
6	1872	4/X	23/X	1,00	0,87	4,01	0,01	2140	5	1,00	0,87	4,01	0,01	2140	5
7	1873	8/X	15/X	1,00	0,71	2,84	0,12	1425	65	1,00	0,71	2,84	0,12	1425	65
8	1878	27/XI	30/XI	1,00	0,37	2,19	0,18	1075	95	1,50	0,87	*2,49*	0,48	*1230*	250
9	1879	23/V	2/VI	1,10	0,00	2,85	0,00	1435	0	1,10	0,00	2,85	0,00	1435	0
10	1880	6/X	9/I	1,00	0,51	*3,20*	0,24	*1635*	140	1,00	0,51	*3,20*	0,24	*1635*	140
11	1882	13/IX	17/IX	0,40	0,06	3,12	0,02	1590	15	0,40	0,06	3,12	0,02	1590	15
12	1885	25/IX	29/IX	0,39	0,00	2,63	0.00	1310	0	0,39	0,00	2,63	0,00	1310	0
13	1885	15/X	17/X	1,00	0,07	2,53	0,04	1255	20	1,00	0,07	2,53	0,04	1255	20
14	1886	19/X	12/XI	1,00	0,98	3,15	0,01	1605	5	1,00	0,98	3,15	0,01	1605	5
15	1889	9/X	13/X	1,00	1,04	*3,11*	0,38	*1585*	220	1,00	1,04	*3,11*	0,38	*1585*	220
16	1889	9/X	30/X	1.00	1,04	3,63	0,01	1895	10	1,00	1,04	3,63	0,01	1895	10
17	1890	30/VIII	1/IX	0,90	0,00	2,59	0,00	1290	0	0,90	0,00	2,59	0,00	1290	0
18	1890	22/IX	26/IX	0,70	0,00	2,50	0,00	1235	0	0,70	0,00	2,50	0,00	1235	0
19	1891	20/X	23/X	1,00	0,03	2,33	0,02	1145	10	1,00	0,03	2,33	0,02	1145	10
20	1892	30/IX	15/X	0,30	0,05	3,20	0,00	1635	0	0,30	0,05	3,20	0,00	1635	0
21	1893	30/IX	2/X	0,98	0.00	2,01	0,00	980	0	0,98	0,00	2,01	0,00	980	0
22	1896	10/X	24/X	1,00	0,10	3,05	0,00	1550	0	1,00	0,10	3,05	0,00	1550	0
23	1896	10/X	1/XI	1,00	0,10	3,47	0,00	1795	0	1,00	0,10	3,47	0,00	1795	0
24	1897	3/IX	20/IX	1,07	0,00	2,80	0,00	1405	0	1,07	0,00	2,80	0,00	1405	0
25	1898	22/VI	27/VI	1,46	0,00	2,54	0,00	1260	0	1,50	0,04	2,55	0,01	1265	5
26	1900	23/VIII	25/VIII	0,60	0,32	3,02	0,19	*1530*	105	0,60	0,32	3,02	0,19	*1530*	105
27	1900	23/VIII	28/VIII	0,60	0,32	3,56	0,09	1850	55	0,60	0,32	3,56	0,09	1850	55
28	1901	14/VI	17/VI	1,37	0,00	2,65	0,00	1320	0	1,50	0,13	2,71	0,06	1355	35
29	1905	19/IX	23/IX	0,66	0,00	2,47	0,00	1220	0	0,66	0,00	2,47	0,00	1220	0
30	1906	6/XI	9/XI	1,00	0,60	*3,27*	0,28	*1675*	160	1,00	0,60	*3,27*	0,28	*1675*	160
31	1907	31/X	11/XI	1,00	0,59	2,95	0,04	1490	20	1,00	0,59	2,95	0,04	1490	20
32	1907	31/X	18/XI	1,00	0,59	4,26	0,01	2310	10	1,00	0,59	4,26	0,01	2310	10
33	1908	21/V	25/V	1,00	0,08	2,33	0,03	1145	15	1,00	0,08	2,33	0,03	1145	15
34	1911	4/X	8/X	1,00	0,62	*2,35*	0,23	*1155*	120	1,00	0,62	*2,35*	0,23	*1155*	120
35	1913	5/X	10/X	1,00	0,37	2,53	0,11	1255	60	1,00	0,37	2,53	0,11	1255	60
36	1913	28/X	31/X	1,00	0,32	2,41	0,15	1190	80	1,00	0,32	2,41	0,15	1190	80
37	1914	22/VII	24/VII	1,00	0,02	2,11	0,01	1030	5	1,50	0,52	*2,41*	0,31	*1190*	165
38	1914	29/X	1/XI	1,00	0,79	*2,46*	0,37	*1215*	195	1,00	0,79	*2,46*	0,37	*1215*	195
39	1917	5/V	22/V	1,00	0,32	2,49	0,00	1230	0	1,00	0,32	2,49	0,00	1230	0
40	1917	5/V	31/V	1,00	0,32	3,34	0,00	1715	0	1,00	0,32	3,34	0,00	1715	0
41	1918	15/VI	19/VI	1,00	0,06	3,60	0,02	1875	15	1,50	0,56	*3,79*	0,21	*1995*	135
42	1919	28/IX	2/X	0,30	0,09	2,03	0,03	990	15	0,30	0,09	2,03	0,03	990	15
43	1920	19/IX	25/IX	0,35	0,15	3,81	0,03	2005	15	0,35	0,15	3,81	0,03	2005	15
44	1923	26/V	1/VI	1,00	0,32	2,48	0,07	1225	35	1,00	0,32	2,48	0,07	1225	35
45	1923	22/X	29/X	1,00	0,60	2,65	0,10	1320	55	1,00	0,60	2,65	0,10	1320	55
46	1924	13/VIII	17/VIII	0,70	0,27	2,11	0,10	1030	50	0,70	0,27	2,11	0,10	1030	50
47	1924	23/IX	26/IX	0,35	0,04	2,82	0,02	1415	10	0,35	0,04	2,82	0,02	1415	10
48	1925	21/IX	25/IX	0,35	0,04	2,43	0,02	1200	10	0,35	0,04	2,43	0,02	1200	10
49	1926	14/V	17/V	1,00	0,18	3,61	0,09	1880	60	1,00	0,18	3,61	0,09	1880	60
50	1926	30/X	3/XI	1,00	1,08	*2,77*	0,40	*1390*	220	1,00	1,08	*2,77*	0,40	*1390*	220
51	1926	30/X	22/XI	1,00	1,08	3,64	0,01	1895	5	1,00	1,08	3,64	0,01	1895	5
52	1927	22/IX	26/IX	0,42	0,00	2,29	0,00	1125	0	0,42	0,00	2,29	0,00	1125	0
53	1928	20/X	29/X	1,00	1,00	3,62	0,10	1885	65	1,00	1,00	3,62	0,10	1885	65
54	1928	20/X	2/XI	1,00	1,00	3,97	0,04	2115	30	1,00	1,00	3,97	0,04	2115	30
55	1932	20/VI	22/VI	1,06	0,00	2,24	0,00	1100	0	1,50	0,44	*2,51*	0,27	*1245*	145
56	1932	19/IX	1/X	0,35	0,32	2,47	0,01	1225	10	0,35	0,32	2,47	0,01	1225	10
57	1933	20/VI	23/VI	1,00	0,64	*2,84*	0,30	*1425*	165	1,50	1,14	*3,08*	0,54	*1565*	305
58	1934	3/VIII	5/VIII	0,90	0,57	*2,34*	0,34	*1150*	175	0,90	0,57	*2,34*	0 34	*1150*	175
59	1935	25/VIII	30/VIII	0,55	0,11	2,40	0,03	1185	15	0,55	0,11	2,40	0,03	1185	15
60	1935	2/X	6/X	1,00	0,52	2,81	0,19	*1410*	110	1,00	0,52	2,81	0,19	*1410*	110
61	1935	8/XI	18/XI	1,00	0,30	2,82	0,02	1415	10	1,00	0,30	2,82	0,02	1415	10
62	1939	4/VIII	7/VIII	1,17	0,00	3,42	0,00	1760	0	1,17	0,00	3,42	0,00	1760	0
63	1940	22/VI	26/VI	1,00	0,05	2,20	0,02	1075	10	1,50	0,55	*2,38*	0,20	*1175*	110
64	1940	6/VII	9/VII	1,35	0,00	3,04	0,00	1540	0	1,50	0,15	3,11	0,07	1585	45
65	1941	18/V	14/VI	1,00	0,13	2,57	0,00	1275	0	1,00	0,13	2,57	0,00	1275	0
66	1942	21/XI	29/IX	0,35	0,43	2,61	0,06	1300	35	0,35	0,43	2,61	0,06	1300	35
67	1942	26/X	2/XI	1,00	0,75	3,52	0,13	1825	80	1,00	0,75	3,52	0,13	1825	80

LIVELLI E PORTATE DI COLMO NEL REGIME REGOLATO FUTURO PER TUTTE LE PIENE CHE RAGGIUNSERO O SUPERARONO 2 m A SESTO DAL 1868 AL 1944

Tab. V

N.	ANNO	Data		Ritenuta + 1,00 m						Ritenuta + 1,50 m					
		inizio	colmo	$h_o + \delta$ m	δ m	h''_m m	$h''_m - h_m$ m	q''_m m³/sec	$q''_m - q$ m³/sec	$h_o + \delta$ m	δ m	h''_m m	$h''_m - h_m$ m	q''_m m³/sec	$q''_m - q_m$ m³/sec
1	1868	19/IX	29/IX	0,89	0,00	3,99	—0,54	2565	65	0,89	0,00	3,99	—0,54	2565	65
2	1868	19/IX	4/X	0,89	0,00	6,35	—0,59	4515	15	0,89	0,00	6,35	—0,59	4515	15
3	1869	6/V	9/V	1,00	0,15	2,46	—0,24	*1560*	210	1,00	0,15	2,46	—0,24	*1560*	210
4	1872	19/V	23/VI	1,00	0,48	3,83	—0,61	2435	0	1,00	0,48	3,83	—0,61	2435	0
5	1872	4/X	7/X	1,00	0,87	3,27	+0,09	*2055*	430	1,00	0,87	3,27	+0,09	*2055*	430
6	1872	4/X	23/X	1,00	0,87	3,41	—0,59	2150	15	1,00	0,87	3,41	—0,59	2150	15
7	1873	8/X	15/X	1,00	0,71	2,35	—0,37	*1500*	140	1,00	0,71	2,35	—0,37	*1500*	140
8	1878	27/XI	30/XI	1,00	0,37	1,89	—0,12	*1245*	265	1,50	0,87	2,19	+0,18	*1410*	430
9	1879	23/V	2/VI	1,10	0,00	2,30	—0,55	1470	35	1,10	0,00	2,30	—0,55	1470	35
10	1880	6/X	9/X	1,00	0,51	2,89	—0,07	*1815*	320	1,00	0,51	2,89	—0,07	*1815*	320
11	1882	13/IX	17/IX	0,40	0,06	2,74	—0,36	*1720*	145	0,40	0,06	2,74	—0,36	*1720*	145
12	1885	25/IX	29/IX	0,39	0,00	2,25	—0,38	*1445*	135	0,39	0,00	2,25	—0,38	*1445*	135
13	1885	15/X	17/X	1,00	0,07	2,30	—0,19	*1470*	235	1,00	0,07	2,30	—0,19	*1470*	235
14	1886	19/X	12/XI	1,00	0,98	2,54	—0,60	1605	5	1,00	0,98	2,54	—0,60	1605	5
15	1889	9/X	13/X	1,00	1,04	2,73	0,00	*1720*	355	1,00	1,04	2,73	0,00	*1720*	355
16	1889	9/X	30/X	1,00	1,04	3,02	—0,60	1895	10	1,00	1,04	3,02	—0,60	1895	10
17	1890	30/VIII	1/IX	0,90	0,00	2,25	—0,34	*1445*	155	0,90	0,00	2,25	—0,34	*1445*	155
18	1890	22/IX	26/IX	0,70	0,00	2,12	—0,38	*1370*	135	0,70	0,00	2,12	—0,38	*1370*	135
19	1891	20/X	23/X	1,00	0,03	2,02	—0,29	*1315*	180	1,00	0,03	2,02	—0,29	*1315*	180
20	1892	30/IX	15/X	0,30	0,05	2,62	—0,58	1655	20	0,30	0,05	2,62	—0,58	1655	20
21	1893	30/IX	2/X	0,98	0,00	1,77	—0,24	*1180*	200	0,98	0,00	1,77	—0,24	*1180*	200
22	1896	10/X	24/X	1,00	0,10	2,46	—0,59	1560	10	1,00	0,10	2,46	—0,59	1560	10
23	1896	10/X	1/XI	1,00	0,10	2,86	—0,61	1795	0	1,00	0,10	2,86	—0,61	1795	0
24	1897	3/IX	20/IX	1,07	0,00	2,20	—0,60	1415	10	1,07	0,00	2,20	—0,60	1415	10
25	1898	22/VI	27/VI	1,46	0,00	2,11	—0,43	*1365*	105	1,50	0,04	2,12	—0,42	*1370*	110
26	1900	23/VIII	25/VIII	0,60	0,32	2,78	—0,05	*1745*	320	0,60	0,32	2,78	—0,05	*1745*	320
27	1900	23/VIII	28/VIII	0,60	0,32	3,13	—0,34	*1960*	165	0,60	0,32	3,13	—0,34	*1960*	165
28	1901	14/VI	17/VI	1,37	0,00	2,33	—0,32	*1490*	170	1,50	0,13	2,39	—0,26	*1520*	200
29	1905	19/IX	23/IX	0,66	0,00	2,09	—0,38	*1355*	135	0,66	0,00	2,09	—0,38	*1355*	135
30	1906	6/XI	9/XI	1,00	0,60	2,95	—0,04	*1850*	335	1,00	0,60	2,95	—0,04	*1850*	335
31	1907	31/X	11/XI	1,00	0,59	2,38	—0,53	1515	45	1,00	0,59	2,38	—0,53	1515	45
32	1907	31/X	18/XI	1,00	0,59	3,67	—0,58	2325	25	1,00	0,59	3,67	—0,58	2325	25
33	1908	21/V	25/V	1,00	0,08	1,95	—0,35	*1275*	145	1,00	0,08	1,95	—0,35	*1275*	145
34	1911	4/X	8/X	1,00	0,62	1,97	—0,15	*1285*	250	1,00	0,62	1,97	—0,15	*1285*	250
35	1913	5/X	10/X	1,00	0,37	2,10	—0,32	*1360*	165	1,00	0,37	2,10	—0,32	*1360*	165
36	1913	28/X	31/X	1,00	0,32	2,09	—0,17	*1355*	245	1,00	0,32	2,09	—0,17	*1355*	245
37	1914	22/VII	24/VII	1,00	0,02	1,87	—0,23	*1235*	210	1,50	0,52	2,17	+0,07	*1400*	375
38	1914	29/X	1/XI	1,00	0,79	2,14	+0,05	*1380*	360	1,00	0,79	2,14	+0,05	*1380*	360
39	1917	5/V	22/V	1,00	0,32	1,89	—0,60	1245	15	1,00	0,32	1,89	—0,60	1245	15
40	1917	5/V	31/V	1,00	0,32	2,75	—0,59	1730	15	1,00	0,32	2,75	—0,59	1730	15
41	1918	15/VI	19/VI	1,00	0,06	3,22	—0,36	*2020*	160	1,50	0,56	3,41	—0,17	*2150*	290
42	1919	28/IX	2/X	0,30	0,09	1,65	—0,35	*1115*	140	0,30	0,09	1,65	—0,35	*1115*	140
43	1920	19/IX	25/IX	0,35	0,15	3,34	—0,44	*2100*	110	0,35	0,15	3,34	—0,44	*2100*	110
44	1923	26/V	1/VI	1,00	0,32	2,01	—0,40	*1310*	120	1,00	0,32	2,01	—0,40	*1310*	120
45	1923	22/X	29/X	1,00	0,60	2,15	—0,40	*1385*	120	1,00	0,60	2,15	—0,40	*1385*	120
46	1924	13/VIII	17/VIII	0,70	0,27	1,73	—0,28	*1160*	180	0,70	0,27	1,73	—0,28	*1160*	180
47	1924	23/IX	26/IX	0,35	0,04	2,50	—0,30	*1585*	180	0,35	0,04	2,50	—0,30	*1585*	180
48	1925	21/IX	25/IX	0,35	0,04	2,05	—0,36	*1335*	145	0,35	0,04	2,05	—0,36	*1335*	145
49	1926	14/V	17/V	1,00	0,18	3,29	—0,23	*2070*	250	1,00	0,18	3,29	—0,23	*2070*	250
50	1926	30/X	3/XI	1,00	1,08	2,45	+0,08	*1555*	385	1,00	1,08	2,45	+0,08	*1555*	385
51	1926	30/X	22/XI	1,00	1,08	3,03	—0,60	1895	5	1,00	1,08	3,03	—0,60	1895	5
52	1927	22/IX	26/IX	0,42	0,00	1,91	—0,38	*1255*	130	0,42	0,00	1,91	—0,38	*1255*	130
53	1928	20/X	29/X	1,00	1,00	3,07	—0,45	*1925*	105	1,00	1,00	3,07	—0,45	*1925*	105
54	1928	20/X	2/XI	1,00	1,00	3,39	—0,54	2135	50	1,00	1,00	3,39	—0,54	2135	50
55	1932	20/VI	22/VI	1,06	0,00	2,00	—0,24	*1305*	205	1,50	0,44	2,27	+0,03	*1455*	355
56	1932	19/IX	1/X	0,35	0,32	1,90	—0,56	1250	35	0,35	0,32	1,90	—0,56	1250	35
57	1933	20/VI	23/VI	1,00	0,64	2,52	—0,02	*1595*	335	1,50	1,14	*2,76*	+0,22	*1735*	475
58	1934	3/VIII	5/VIII	0,90	0,57	2,10	+0,10	*1360*	385	0,90	0,57	2,10	+0,10	*1360*	385
59	1935	25/VIII	30/VIII	0,55	0,11	1,97	—0,40	*1290*	120	0,55	0,11	1,97	—0,40	*1290*	120
60	1935	2/X	6/X	1,00	0,52	2,43	—0,19	*1545*	245	1,00	0,52	2,43	—0,19	*1545*	245
61	1935	8/XI	18/XI	1,00	0,30	2,27	—0,53	1455	50	1,00	0,30	2,27	—0,53	1455	50
62	1939	4/VIII	7/VIII	1,17	0,00	3,10	—0,32	*1945*	185	1,17	0,00	3,10	—0,32	*1945*	185
63	1940	22/VI	26/VI	1,00	0,05	1,82	—0,36	*1210*	145	1,50	0,55	2,00	—0,18	*1305*	240
64	1940	6/VII	9/VII	1,35	0,00	2,72	—0,32	*1710*	170	1,50	0,15	2,87	—0,17	*1800*	260
65	1941	18/V	14/VI	1,00	0,13	1,96	—0,61	1275	0	1,00	0,13	1,96	—0,61	1275	0
66	1942	21/IX	29/IX	0,35	0,43	2,08	—0,47	1350	85	0,35	0,43	2,08	—0,47	1350	85
67	1942	26/X	2/XI	1,00	0,75	3,06	—0,33	*1920*	175	1,00	0,75	3,06	—0,33	*1920*	175

invasato dalle piene di fine primavera e autunnali, e nei quali perciò in generale la ritenuta iniziale o è limitata o manca completamente.

Le varie constatazioni ora esposte trovano una evidente dimostrazione nelle due figure 7 e 8. Nella prima le variazioni — positive e negative — di ogni livello di colmo dovute alla regolazione, e rispetto al corrispondente livello di colmo del regime naturale, sono riportate in funzione del medesimi livelli di colmo (del regime naturale) assunti come ascisse (1).

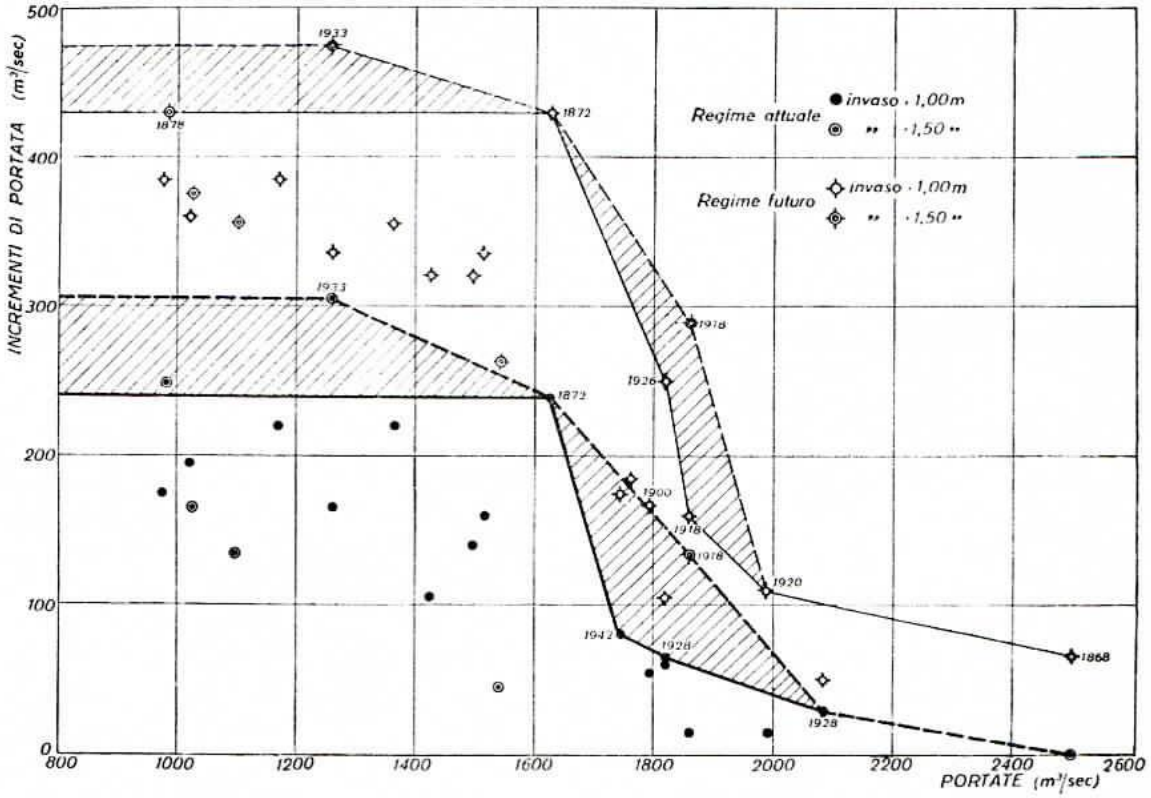

Fig. 8. - Incrementi delle portate di colmo delle piene del periodo 1868-1944, che sarebbero stati determinati dalla regolazione del lago.

La fig. 8 è stata tracciata in modo analogo, ma con riguardo alle portate; cioè gli incrementi delle portate di colmo sono stati riportati in funzione delle medesime portate di colmo, assunte come ascisse.

Nelle figure sono posti in rilievo con linee continue e a tratti i limiti superiori delle zone del piano, nelle quali cadono i punti ottenuti per le due diverse situa-

(1) Nelle figure sono stati segnati, per non togliere chiarezza, solo i punti ritenuti piú significativi.

zioni dell'incile (situazione attuale e situazione futura) e per i due schemi di regolazione con massima trattenuta all'altezza + 1,00 m e all'altezza + 1,50 m. Da esse emergono molto chiaramente diversi fatti che meglio precisano le constatazioni precedenti:

a) nel regime attuale, gli incrementi dei livelli di colmo, che al massimo raggiungono i 40 cm o poco piú per colmi non superiori a 3÷3,20 (ma per la grande maggioranza degli eventi, sono assai piú piccoli), per i colmi piú elevati si riducono marcatamente, non oltrepassando i 10 cm per colmi dell'ordine di 3,5 m, e annullandosi praticamente per quelli superiori ai 4 m.

Analoghi caratteri denotano gli incrementi delle portate di colmo, che raggiungono i 250 m^3/sec in pochi eventi eccezionali, ma sempre per valori delle portate inferiori ai 1700 m^3/sec, mentre si riducono rapidamente a pochissimi metri cubi per i colmi superiori.

L'elevamento della massima trattenuta attiva da 1,00 m a + 1,50 m non ha ripercussioni di grande rilievo sugli incrementi di altezza (in un solo caso l'incremento sale fino a 48 cm, ma rispetto a un livello di soli 2,49 m);

b) per il regime futuro, le variazioni di altezza sono in grandissima parte negative. Dei pochi incrementi, solo uno (piena dell'ottobre 1872, 1° colmo) raggiunge i 9 cm, con trattenuta max + 1,00 m e un altro sale a 22 cm con trattenuta max + 1,50 m. Ad essi si contrappongono le numerosissime depressioni, che in diversi casi raggiungono e superano i 60 cm. Le variazioni di portata sono tutte positive, e vanno oltre i 400 m^3/sec con trattenuta max + 1,00 m: aumentando a + 1,50 m la trattenuta, in un caso l'incremento raggiunge i 475 m^3/sec. Ma un certo numero di piene (4 in tutto) le quali nel regime naturale avrebbero avuto colmi fra i 1600 e i 1900 m^3/sec avrebbero visto aumentare la portata di colmo oltre i 2000 m^3/sec. Anche per il regime futuro resta però il fatto che a partire da portate di colmo dell'ordine di 2000 m^3/sec gli incrementi della portata diventano di minima entità, dell'ordine di pochi centesimi, e si annullano praticamente quando si arriva ai 2500 m^3/sec.

Però le conseguenze e le ripercussioni della regolazione sulle piene non possono ritenersi rispecchiate unicamente dal numero dei colmi di piena che ne risulterebbero variati, in piú o in meno, e dalla misura delle variazioni provocate. Importanza e significato di un certo incremento, poniamo, della portata risultano assai diversi a seconda del valore al quale l'incremento va riferito: essi sono trascurabili se riguardano la portata di 1000 m^3/sec, che trova facile e sicuro sfogo lungo l'intero corso del Ticino fino al Po, e potrebbero invece riuscire preoccupanti se la portata fosse di 2000 m^3/sec, cioè prossima alla massima che l'alveo del fiume è atto a contenere a monte di Pavia.

Abbiamo perciò ritenuto necessario di analizzare piú a fondo e sotto vari aspetti le variazioni che — sulla base del materiale raccolto — la regolazione determinerebbe nel regime del lago e in quello del fiume durante le piene.

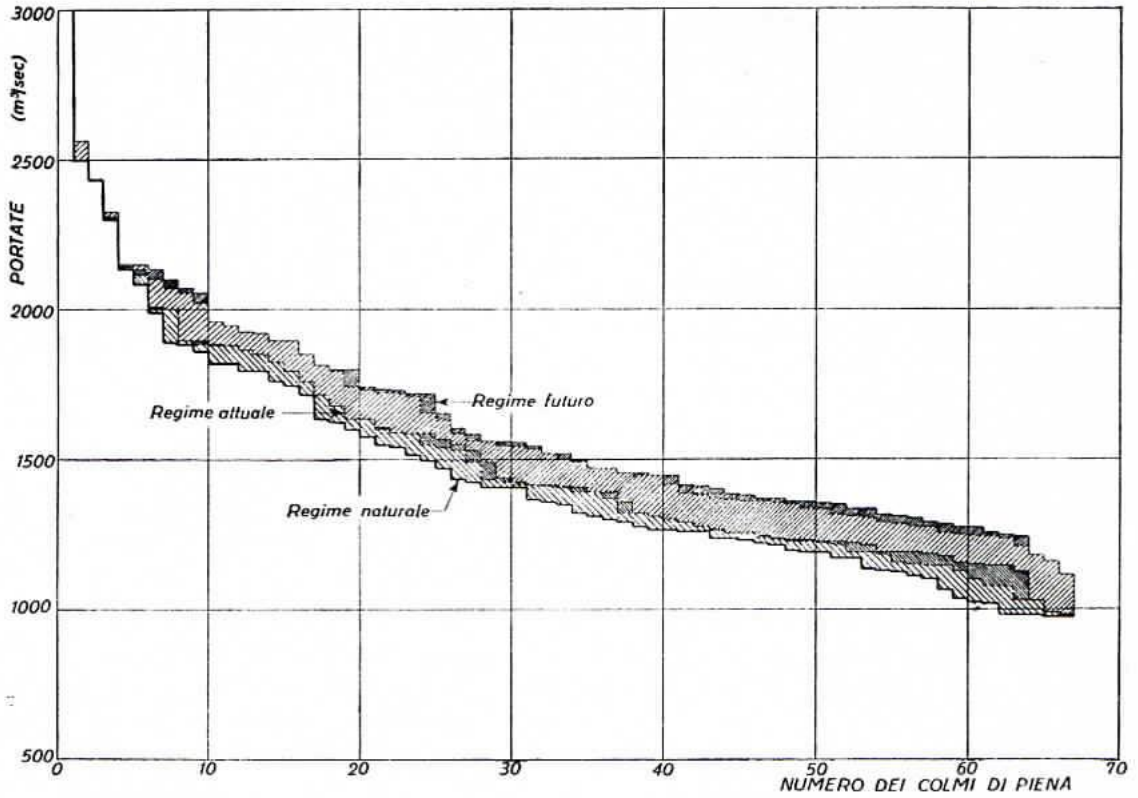

Fig. 9. - Colmi di piena del Ticino a Sesto Calende, dal 1868 al 1944: valori delle portate, in ordine di grandezza decrescente.

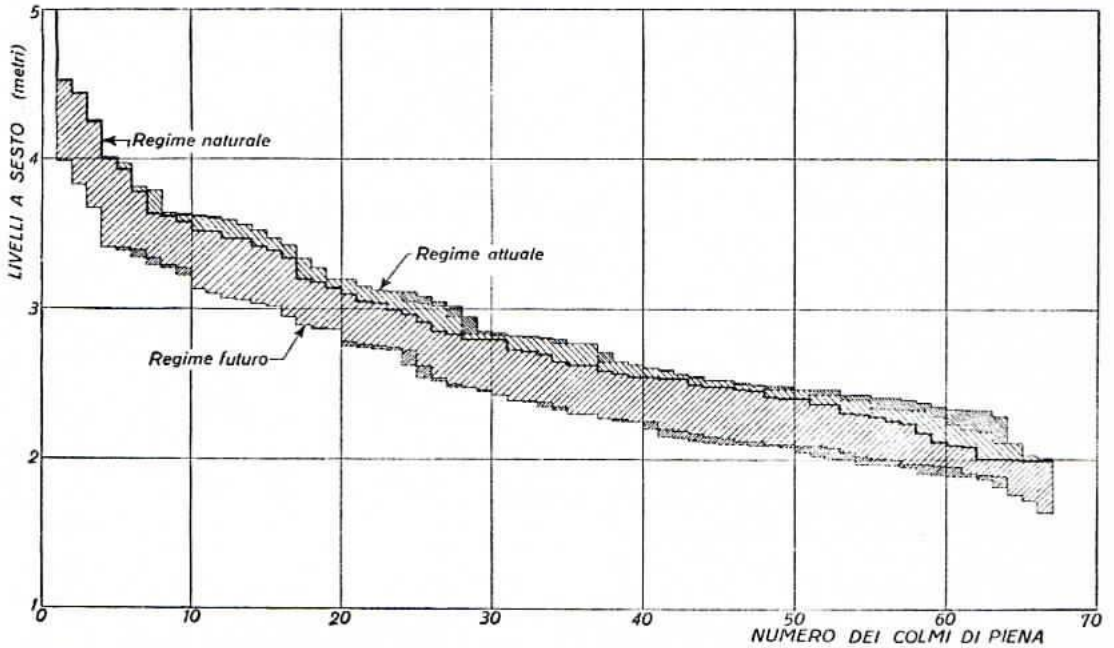

Fig. 10. - Colmi di piena del Ticino a Sesto Calende dal 1868 al 1944: massimi livelli, in ordine di grandezza decrescente.

3 - Una prima elaborazione è stata condotta ordinando (figg. 9 e 10) per grandezze decrescenti i valori dei livelli e quelli delle portate di colmo raccolti nella Tab. IV per la situazione attuale dell'incile, e nella Tab. V per la prevista situazione futura.

La fig. 10 riguarda i livelli di colmo: il diagramma a tratto grosso del regime naturale vi appare disposto tra quelli del regime regolato attuale (rispettivamente con trattenuta massima + 1,00 m e + 1,50 m), che sono ambedue superiori ad esso, e quelli del regime regolato futuro (con le medesime trattenute + 1,00 m e + 1,50 m), che sono ambedue inferiori. Però le differenze fra il regime naturale e quello regolato attuale appaiono molto modeste, e si annullano completamente intorno ai 3,80 m: sicchè la regolazione, come viene attualmente condotta, determina dei sopraelevamenti modesti delle piene di *pari frequenza*, rispetto al regime naturale, e non esercita alcuna influenza su quelle che raggiungono o superano i 4 m. Gli scostamenti fra il diagramma del regime naturale e quello del regime regolato futuro, tutti negativi, sono assai piú rilevanti, dell'ordine di 50÷60 cm *in meno* per tutte le piene elencate: anche per quelle piú elevate, compresa quella eccezionalissima dell'ottobre 1868. Cosí risulterebbero eliminati tutti i colmi che avevano raggiunto o superato i 4 m salvo soltanto quelli del 1868.

Se poi si fa caso all'altezza di 3 m sullo zero di Sesto, che nel regime naturale è stata raggiunta (v. diagramma con linea grossa) da 23 piene nel corso del settantasettennio esaminato, si riconosce che nel regime regolato attuale essa sarebbe stata verificata e superata da 27 piene, con limite di trattenuta + 1,00 m, e da 28 con limite + 1,50 m: e invece sarebbe stata raggiunta soltanto da 16 piene, nel regime regolato futuro, qualunque fosse stato il limite superiore della trattenuta attiva. Con la stessa frequenza di 23 colmi in settantasette anni si sarebbe verificato, nel regime regolato attuale, il colmo di 3,11 m circa: e nel regime regolato futuro quello di 2,72 m con trattenuta + 1,00 m e di 2,74 m con trattenuta + 1,50 m.

Giova considerare che le figure 9 e 10 sono atte soltanto a fornire significative indicazioni di carattere statistico, circa la frequenza dei colmi verificabili nei singoli regimi, mentre non dànno luogo ad alcuna deduzione nei riguardi delle variazioni subite dalle singole piene. Per dare un esempio, la piena del novembre 1906, che ebbe il colmo a 2,99 m, e rappresenta nel diagramma del regime naturale il 23° caso, nel regime attuale avrebbe raggiunto il colmo di 3,27 m, che rappresenta il 19° caso nel diagramma di tale regime, e nel regime regolato futuro si sarebbe ridotta a 2,95 m, 17° caso del medesimo regime. Il 23° caso è rappresentato nel primo regime dal livello 3,11 m, nel secondo da quello di 2,72 m.

Dalla fig. 10 sono stati dedotti i valori dei due prospetti *a)* e *b)* che, riteniamo, valgono ad agevolarne l'interpretazione:

Prospetto a

Altezza di colmo maggiore o uguale a metri	NUMERO DEI CASI				
	del regime naturale	del regime regolato			
		attuale		futuro	
		+ 1,00	+ 1,50	+ 1,00	+ 1,50
4,00	5	5	5	1	1
3,50	12	15	15	4	4
3,00	23	27	28	16	16
2,50	44	47	48	27	27

Prospetto b

Numero dei casi nel 77ennio	LIVELLI DI COLMO IN METRI				
	nel regime naturale	nel regime regolato			
		attuale		futuro	
		+ 1,00	+ 1,50	+ 1,00	+ 1,50
5	4.00	4,01	4,01	3,41	3,41
10	3,58	3,62	3,63	3,22	3,27
20	3,14	3,20	3,20	2,86	2,86
40	2,55	2,63	2,63	2,25	2,25

La fig. 9 riguarda le portate di colmo. Il diagramma del regime naturale (linea grossa) soggiace nettamente agli altri: il che sta a dire che, comunque condotta, la regolazione determinerebbe a *pari frequenza* un incremento nei colmi di piena del fiume. Tale incremento, però, è nullo o trascurabile per i primi 5 casi, le cui ordinate oltrepassano i 2100 m^3/sec, e si rende manifesto soltanto per le portate inferiori, cioè per i colmi che furono raggiunti piú di 5 volte nel corso del periodo esaminato.

Nei rapporti pratici, l'attenzione deve essere rivolta sopratutto alle piene dell'ordine di 2000 m^3/sec, per le quali comincia a rendersi difficile la situazione dell'alveo fluviale presso Pavia. Il numero di queste piene, che è di 7 nel regime naturale (inclusa quella del 1920 di 1990 m^3/sec) si sarebbe mantenuto inalterato nel regime attuale con trattenuta massima + 1,00 m; sarebbe aumentato a 8 se, con tale regime, la trattenuta massima fosse stata elevata a 1,50 m; salirebbe a 10 nel regime regolato futuro. La sistemazione dell'incile aumenterebbe quindi di 3 il numero dei colmi superiori ai 2000 m^3/sec, con un incremento delle portate rispettive compreso fra 150 e 200 m^3/sec.

Dalla figura 9 sono stati rilevati i numeri dei prospetti *c*) e *d*) che ne chiariscono il significato:

Prospetto c

Portata di colmo maggiore o uguale a m³/sec	NUMERO DEI CASI				
	del regime naturale	del regime regolato			
		attuale		futuro	
		+ 1,00	+ 1,50	+ 1,00	+ 1,50
2250	4	4	4	4	4
2000	7	7	8	10	10
1750	15	17	17	19	20
1500	24	27	28	34	35

Prospetto d

Numero dei casi	PORTATE DI COLMO IN m³/sec				
	regime naturale	regime regolato			
		attuale		futuro	
		+ 1,00	+ 1,50	+ 1,00	+ 1,50
5	2135	2140	2140	2150	2150
10	1860	1885	1895	2020	2055
20	1600	1635	1635	1740	1800
40	1265	1310	1310	1445	1445

4 - Un'altra elaborazione è stata rivolta a esaminare le durate o permanenze complessive delle singole portate e dei singoli livelli per l'insieme delle piene del 77ennio e per ognuno dei regimi di regolazione considerati.

In conformità delle direttive seguite nel Cap. II, per quanto concerne le portate l'esame è stato circoscritto ai valori superiori a quello di 1500 m³/sec che, a norma della Tab. II, fu raggiunto da 24 delle piene elencate. Per ognuna di queste si sono stabilite, deducendole dai relativi diagrammi cronologici delle portate (del loro tracciamento faremo parola piú avanti), le durate, o permanenze, espresse in giorni, dei singoli valori di 5 in 5 m³/sec, a partire da 1500 m³/sec fino al colmo, cioè i numeri dei giorni per i quali ognuno di questi valori è stato raggiunto, o superato, durante la piena. Sommate tali durate per tutte le piene del 77ennio si sono ottenuti i valori complessivi per ogni portata i quali hanno servito per tracciare i diagrammi della fig. 11. Ogni ascissa vi sta ovviamente a indicare il numero dei giorni per i quali, nel corso dei 77 anni, la portata del Ticino raggiunse, o superò, il valore rappresentato dalla corrispondente ordinata.

La fig. 11 offre evidente conferma del fatto che la regolazione, comunque condotta, non influirebbe gran che su quelle parti delle piene piú rilevanti, alle quali spettano portate dell'ordine di 2200 m³/sec o superiori: perchè al di sopra di questo valore tutti i diagrammi vengono praticamente a confondersi in una curva unica. La portata di 2200 m³/sec si è presentata complessivamente 17 giorni circa nel 77ennio, ad opera (v. fig. 9) di 4 piene soltanto.

Le differenze fra i vari diagrammi si rendono invece manifeste per le portate inferiori: cosí, quella di 2000 m³/sec, che nel regime naturale fu raggiunta o

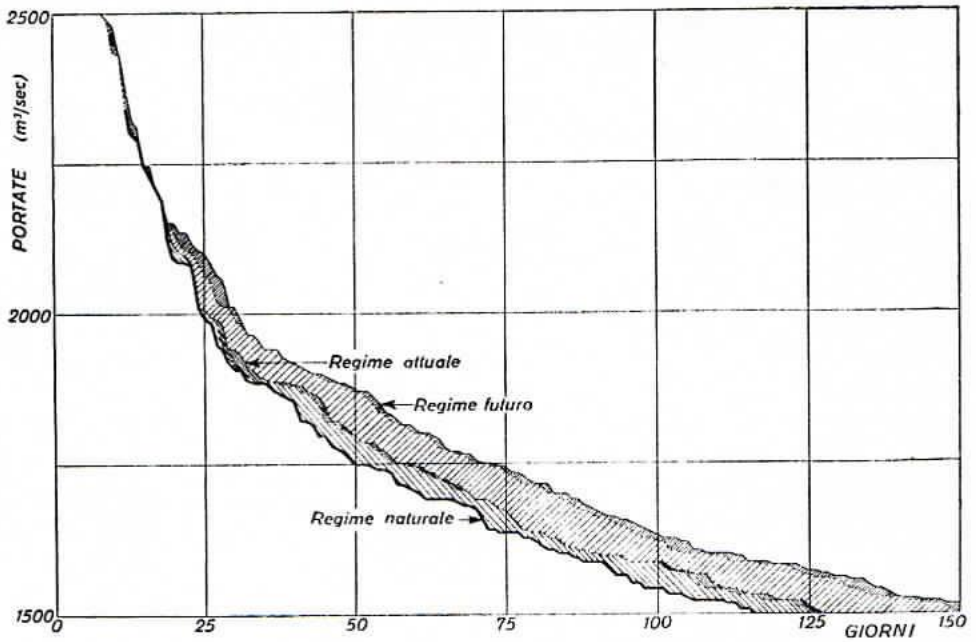

Fig. 11. - Permanenze delle portate superiori a 1500 m³/sec per il settantasettennio 1868-1944.

superata complessivamente per 24 giorni, nel regime attuale si sarebbe mantenuta solo 1 giorno di piú; con l'incile sistemato si sarebbe mantenuta per 29 giorni, con trattenuta + 1,00 m, e per 31 con trattenuta + 1,50 m. Per contro, la portata con durata complessiva di 25 giorni nel 77ennio, che nel regime naturale fu di 1990 m³/sec, nel regime regolato attuale sarebbe salita a 2005 m³/sec, e nel regime regolato futuro avrebbe raggiunto 2065 m³/sec con trattenuta massima + 1,00 m, e 2100 m³/sec con trattenuta massima + 1,50 m.

Le differenze si accentuano per le portate piú basse. Ad es. per 1800 m³/sec la fig. 11 fornisce i seguenti valori: regime naturale 44 giorni, regime regolato attuale 49 giorni con trattenuta massima + 1,00 m e 49,5 con trattenuta massima + 1,50 m; regime regolato futuro 61 giorni con trattenuta massima + 1,00 m e 62 con trattenuta massima + 1,50 m.

Altri valori numerici sono raccolti nei prospetti *e*) ed *f*) desunti dai diagrammi:

Prospetto e

con portate maggiori di m³/sec	NUMERO DEI GIORNI				
	regime naturale	regime regolato			
		attuale		futuro	
		+ 1,00	+ 1,50	+ 1,00	+ 1,50
2250	15	15	15	15	15
2000	24	25	25	29	30
1750	52	58	59	72	73
1500	116	126	127	148	152

Prospetto f

numero dei giorni	PORTATE MAGGIORI DI m³/sec				
	regime naturale	regime regolato			
		attuale		futuro	
		+ 1,00	+ 1,50	+ 1,00	+1,50
15	2245	2245	2245	2245	2245
20	2090	2110	2110	2135	2150
30	1905	1910	1940	1990	2010
50	1750	1795	1795	1870	1875
75	1635	1670	1670	1735	1745

Minime, e praticamente trascurabili, risultano nell'insieme le variazioni conseguenti all'elevamento della trattenuta massima da + 1,00 m a + 1,50 m.

Nei rapporti dei livelli, sono state prese in considerazione tutte le piene — in numero di 24 — che raggiunsero o superarono i 3 m a Sesto: per ognuna di esse si dedussero dai relativi diagrammi cronologici delle letture giornaliere le durate, o permanenze, in giorni delle singole altezze, di 2 in 2 cm a partire appunto da 3 m. Sommate tali durate singole, ne sono stati poi stabiliti per ogni altezza i valori complessivi del 77ennio e con essi sono stati tracciati i diagrammi della figura 12 che riguardano il campo fra l'altezza di 3 m e quella di 5 m. La figura dimostra che, mentre le permanenze del regime regolato attuale — sia con la ritenuta massima + 1,00 m sia con quella + 1,50 m — differiscono di quantità minime da quelle del regime naturale (48 giorni invece di 43 per l'altezza 3,50 m, 110 in-

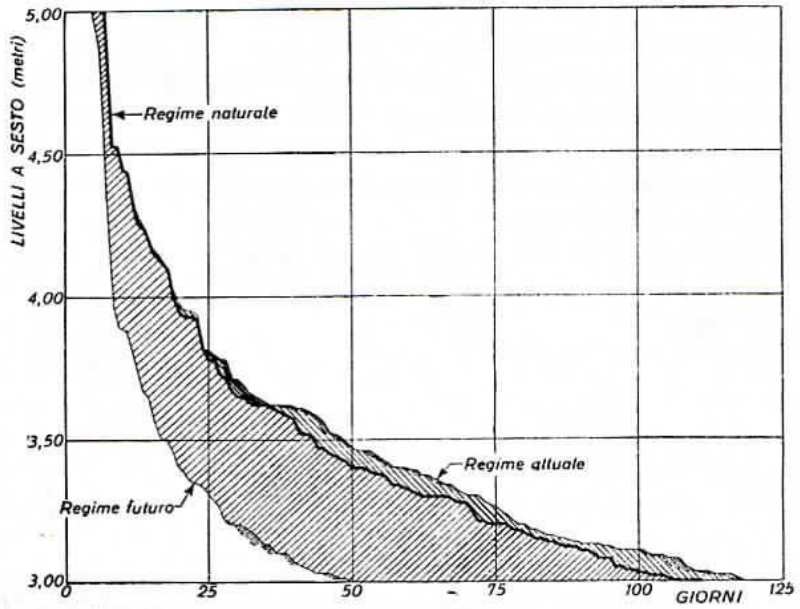

Fig. 12. - Permanenze dei livelli a Sesto superiori a 3,00 m, per il settantasettennio 1868-1944.

vece di 111 per quella di 3 m, e 19 per quella di 4 m) le permanenze ottenute nella ipotesi di sbocco sistemato sono senza confronto piú brevi, meno della metà di quelle del regime naturale: 8 giorni soltanto per l'altezza + 4,00 m invece di 19; 17 invece di 43 per quella + 3,50 m, 49 invece di 111 per quella + 3,00 m.

Queste constatazioni trovano conferma nei numeri dei seguenti prospetti *g*) ed *h*) desunti dai diagrammi:

Prospetto g

Altezze a Sesto maggiori o uguali a m	NUMERO DEI GIORNI				
	regime naturale	regime regolato			
		attuale		futuro	
		+ 1,00	+ 1,50	+ 1,00	+ 1,50
3,00	111	116	119	48	49
3,40	52	58	59	20	20
3,80	29	30	30	12	12
4,20	14	14	14	8	8
4,60	8	8	8	7	7

Prospetto h

Numero dei giorni	ALTEZZE IN METRI RAGGIUNTE O SUPERATE				
	regime naturale	regime regolato			
		attuale		futuro	
		+ 1,00	+ 1,50	+ 1,00	+ 1,50
15	4,17	4,17	4,17	3,60	3,60
20	3,94	3,97	3,97	3,40	3,40
30	3,65	3,66	3,71	3,18	3,20
50	3,40	3,47	3,47	—	3,00
75	3,20	3,26	3,26	—	—

Nell'insieme appare chiaro che la regolazione del lago non eserciterebbe una influenza di pratico rilievo sulla permanenza dei livelli superiori a 3 m, fino a che lo sbocco lacuale restasse nelle condizioni attuali: la sistemazione dell'incile darebbe luogo invece a marcate riduzioni delle permanenze, particolarmente sensibili per le altezze inferiori a 4 m.

5 - Per completare il quadro delle ripercussioni della regolazione sulle piene abbiamo provveduto a riconoscere come essa porterebbe a modificare i massimi valori che sulla base dell'esperienza del 77ennio 1868-1944, il livello del lago e la portata del fiume potevano raggiungere dopo uno, due, tre, ecc. giorni dall'inizio della piena nel regime naturale. Per questo regime (v. Cap. II) tali valori furono dedotti dai diagrammi cronologici delle figure 2 e 2 bis (che — ricordiamo — erano stati tracciati ammettendo, per ovvie ragioni di omogeneità, che in tutti i casi la piena trovasse il lago all'altezza + 1,00 m), mediante il tracciamento delle curve delimitanti superiormente la zona del piano di rappresentazione occupata

da tali diagrammi, e si vedono riportati a pag. 29. Essi definiscono in modo molto espressivo le possibilità del regime naturale.

Le possibilità dei vari regimi regolati esaminati erano da individuare in modo analogo, sulla base dei diagrammi cronologici dei livelli e delle portate per le piene piú caratteristiche e per i vari regimi.

A tal uopo bisognò anzitutto determinare, a mezzo delle formule risolutive del Cap. III, i valori giornalieri dei livelli e delle portate per tutti quelli fra gli

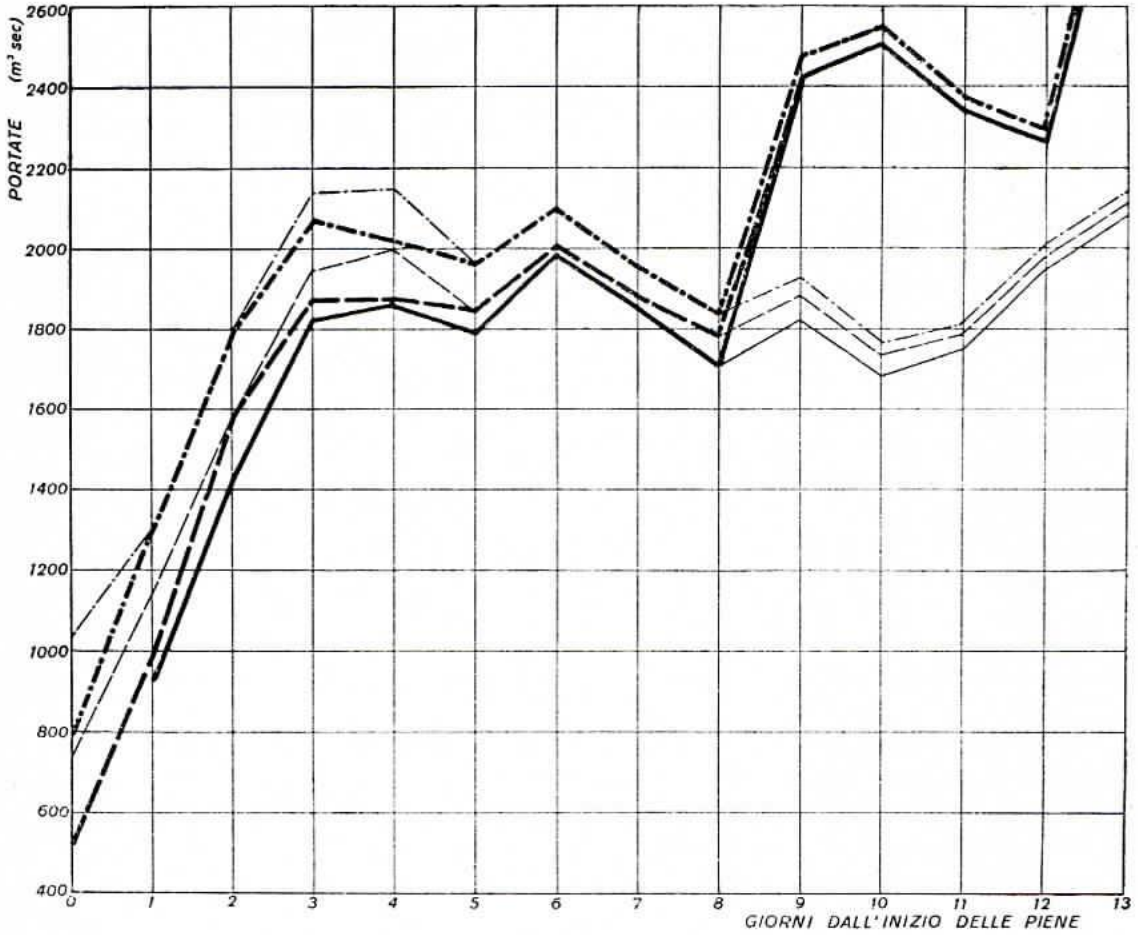

Fig. 13. - Massimi valori delle portate raggiungibili dopo uno, due, tre, ... giorni dall'inizio della piena (apertura della diga).
[Le spezzate a tratti grossi riguardano la trattenuta + 1,00 m, quelle a tratti sottili la trattenuta + 1,50 m per il regime attuale: le spezzate a tratti e punti si riferiscono al regime regolato futuro].

eventi elencati nella Tab. II che avevano determinato delle variazioni rapide o notevoli del livello e della portata.

L'attenzione si concentrò sugli eventi che avevano raggiunto, almeno in qualcuno dei regimi considerati, i 1500 m³/sec; le piene da esaminare sono risul-

tate complessivamente in numero di 31 e i valori stabiliti sono stati riportati in una tabella, che qui non riteniamo necessario riprodurre.

Da questa tabella sono stati desunti, sia per le portate, sia per i livelli, i valori piú elevati che nel corso dell'intero 77ennio sarebbero stati raggiunti dopo 1, 2, 3 ecc. giorni dall'inizio: tali valori si vedono riportati nei diagrammi delle fig. 13 e 14. La prima riguarda le portate del Ticino, la seconda i livelli a Sesto: su ogni figura la spezzata a tratto grosso riproduce la curva limite delle figg. 2 e 2-bis, la quale

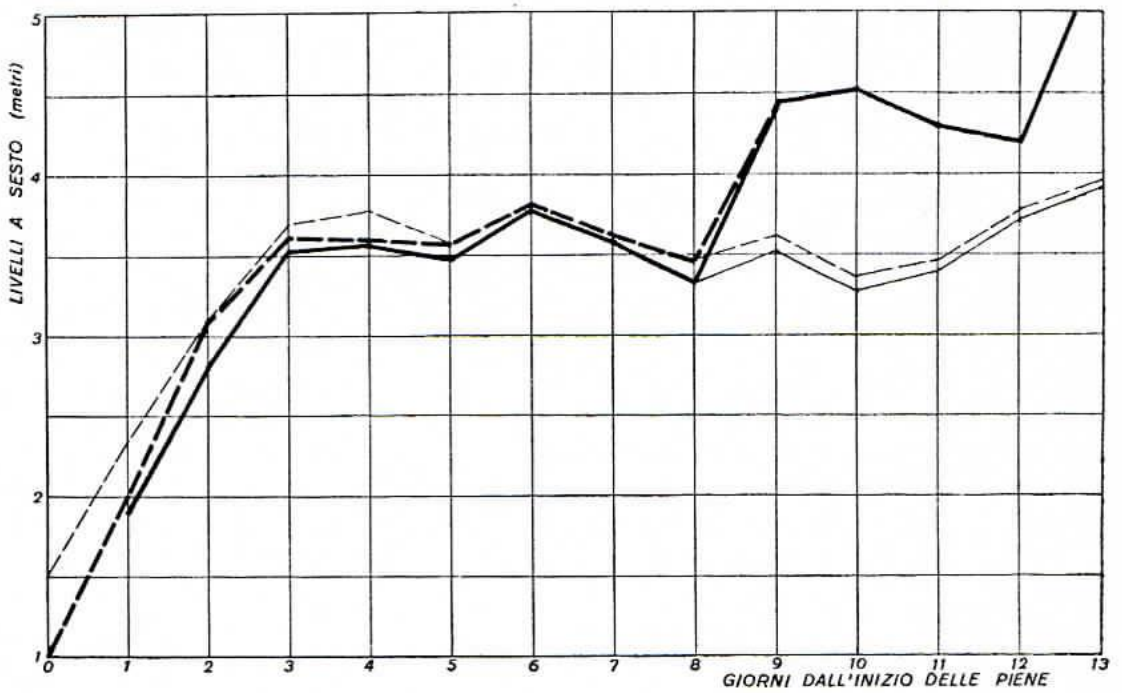

Fig. 14. - Massimi livelli raggiungibili dopo uno, due, tre ... giorni dall'inizio della piena.

[La spezzata a tratti grossi riguarda la trattenuta + 1,00 m; quella a tratti sottili la trattenuta + 1,50].

segna le possibilità del regime naturale; le spezzate a tratti e a tratti e punti segnano invece le possibilità individuate rispettivamente per il regime regolato attuale e per quello futuro.

Per quanto riguarda i livelli, bastava evidentemente considerare il regime regolato attuale, giacchè la divisata sistemazione dell'incile determinerebbe un generale abbassamento delle piene. Sono appunto i piú elevati livelli raggiungibili a Sesto nel regime regolato attuale, rispettivamente uno, due, tre, ecc. giorni dopo l'apertura della diga della Miorina, che si vedono riportati nella fig. 14, per l'uno e l'altro valore della massima trattenuta attiva. Per differenza se ne deducono immediatamente i sopraelevamenti che ne seguirebbero rispetto al regime naturale: essi raggiungono al 1° giorno i 50 cm (ma solo con limite di trattenuta + 1,50 m),

ma si riducono a 30 al secondo e a meno di 10 al terzo: oltre il terzo giorno le deduzioni diventano incerte, perchè la curva definita dalle piene degli anni posteriori al 1868 non tenderebbe a salire, mentre invece un incremento si renderebbe manifesto se si mettesse in conto l'evento di quell'anno, il quale, col suo colmo secondario, portò ai livelli di 4,43 m e di 4,53 m rispettivamente nove e dieci giorni dopo l'inizio. Tali livelli però non sarebbero stati praticamente influenzati dalla ritenuta iniziale. L'influenza della ritenuta iniziale, a + 1,00 m o a + 1,50 m, appare circoscritta ai primi due giorni: poi non risulta piú apprezzabile nell'insieme dei dati esaminati.

Nei rapporti delle portate occorreva considerare ambedue i regimi, attuale e futuro: e i due diagrammi a tratto continuo della fig. 13 pongono appunto in evidenza le massime possibilità che si presenterebbero con l'uno e con l'altro nei rapporti delle portate verificabili dopo uno, due, tre, ecc. giorni dall'inizio delle piene. Le spezzate tracciate con linea continua segnano le possibilità del regime naturale: quelle a tratto ad essa sovrastanti di poco, le possibilità del regime regolato attuale: infine, le linee a tratto e punto, le possibilità del regime regolato futuro.

La figura dimostra che per la situazione attuale dell'incile la curva di possibilità relativa al valore + 1,00 m della trattenuta massima segue con scostamenti di modesta entità (non superiori a 60 m^3/sec) quella del regime naturale. La curva relativa alla trattenuta massima + 1,50 m se ne scosta di poco. L'aumento massimo della portata prevedibile 2 giorni dopo l'apertura della diga non supera comunque i 120 m^3/sec; e quello dopo tre giorni è all'incirca equivalente. Nella futura situazione dell'incile gli incrementi risulterebbero assai piú rilevanti: di circa 400 m^3/sec dopo un giorno; di oltre 300 m^3/sec dopo tre giorni. Di conseguenza la portata di 2000 m^3/sec, che nel regime naturale non poteva essere raggiunta prima che cinque giorni fossero trascorsi dall'inizio della piena, e che nelle attuali condizioni dello sbocco lacuale si potrebbe verificare anche al quarto giorno, nel regime regolato futuro potrebbe intervenire già fra il secondo e il terzo giorno.

In conclusione, mentre nel regime regolato attuale il decorso delle piene, nel lago e nel fiume, non risulterebbe modificato in misura rilevante rispetto alle condizioni del regime naturale, il regime regolato futuro non solo comporterebbe un incremento rilevante delle portate di colmo, e un certo aumento delle durate delle portate piú elevate, ma determinerebbe anche un rilevante incremento nella rapidità di formazione delle piene dell'emissario; talchè in eventi eccezionali (aventi la probabilità di verificarsi una volta in 77 anni) il tempo occorrente per raggiungere i 2000 m^3/sec si potrebbe ridurre alla metà, da cinque giorni a due e mezzo.

6 - Definite le conseguenze della regolazione per il caso che il limite superiore della trattenuta attiva variasse nel corso dell'anno in conformità del diagramma 1 di fig. 6, raggiungendo rispettivamente i massimi + 1,00 m o + 1,50 metri nei mesi di giugno e luglio e in agosto, a completare l'indagine restavano da esaminare le variazioni che determinerebbe la sostituzione del diagramma 1 col diagramma 2 della stessa fig. 6 o coi diagrammi 3 e 4, a norma dei quali il limite

superiore della trattenuta, alla fine di settembre, sarebbe portato rispettivamente all'altezza + 0,50 m o a quella + 0,75 m, o sarebbe mantenuto per tutta la stagione estiva all'altezza + 1,00 m.

A tal fine abbiamo ritenuto sufficiente prendere in considerazione quelle soltanto fra le piene elencate nella Tab. II, che, avendo avuto inizio nel bimestre agosto-settembre, con i diagrammi 2, 3 e 4 avrebbero trovato nel lago degli stati d'invaso superiori a quelli comportati dal diagramma 1, che sono stati messi nei calcoli precedenti. Non occorreva evidentemente occuparsi delle piene che, come quella del 1868, già nel regime naturale trovarono il lago invasato fino a livelli poco inferiori all'altezza + 1,00 m a Sesto, la quale nel bimestre non dovrebbe essere oltrepassata — in regime di ritenuta — con alcuno degli schemi presi in considerazione.

Le piene in parola sono risultate complessivamente in numero di 16 e sono distinte con numero d'ordine e anno nella prima colonna della Tab. VI, che riassume i risultati ottenuti per ognuno dei tre diagrammi 2, 3, 4.

Al solito sono state stampate in corsivo le altezze di colmo che superano almeno di 20 cm e le portate di colmo che superano di almeno 100 m^3/sec i valori corrispondenti del regime naturale: inoltre sono stampati in grassetto i valori delle altezze e delle portate di colmo che superano delle stesse quantità quelli stabiliti in base al diagramma 1.

Per dare maggiore evidenza alle variazioni che comporterebbe l'applicazione dei vari diagrammi, nella Tab. VII sono state riportate le differenze tra le altezze e le portate di colmo dei due regimi regolati e i valori corrispondenti del regime naturale.

Nei rapporti pratici rivestono il maggior interesse le due piene del 1900 (2° colmo) e del 1920 che hanno determinato i colmi piú elevati, prossimi o superiori a 3,5 m. Il colmo della prima, che nel regime naturale fu di 3,47 m, nel regime regolato attuale sarebbe salito a 3,56 m col diagramma 1, a 3,62 m col diagramma 2, a 3,65 m col diagramma 3, e infine a 3,67 m se il limite superiore fosse stato mantenuto per l'intera stagione all'altezza + 1,00 m; la portata di colmo sarebbe aumentata da 1795 m^3/sec a 1850, a 1885, a 1905 e a 1920 m^3/sec. Nel regime regolato futuro le portate di colmo sarebbero state di 1960, di 2000, di 2020 e di 2035 m^3/ sec, superiori in media di oltre 100 m^3/sec alle precedenti. Per la piena del 1920 gli incrementi sarebbero stati un poco minori: ma da 1990 m^3/sec, colmo del regime naturale, si sarebbe saliti sempre oltre i 2000. Nel regime regolato attuale l'incremento non avrebbe oltrepassato i 115 m^3/sec col diagramma 4: nel regime regolato futuro sarebbe risultato all'incirca doppio.

Incrementi piú rilevanti si sarebbero verificati per talune piene di minore importanza. Cosí il primo colmo della piena del 1900 sarebbe aumentato successivamente da 1425 m^3/sec del regime naturale, a 1530 col diagramma 1, a 1605 col diagramma 2, a 1635 col diagramma 3 e a 1675 col diagramma 4. Variazioni dello stesso ordine si sarebbero avute per la piena all'incirca equivalente del 1924.

LIVELLI E PORTATE DI COLMO CONSEGUENTI AI DIFFERENTI INVASI INIZIALI SECONDO I DIAGRAMMI 2, 3, 4

Tab. VI

N.	Anno	Diagramma 2					Diagramma 3					Diagramma 4				
		$h_0+\delta$ m	h'_m m	q'_m m^3/sec	h''_m m	q''_m m^3/sec	$h_0+\delta$ m	h'_m m	q'_m m^3/sec	h''_m m	q''_m m^3/sec	$h_0+\delta$ m	h'_m m	q'_m m^3/sec	h''_m m	q''_m m^3/sec
11	1882	0,64	3,21	1640	2,83	*1775*	0,82	3,28	1680	2,90	**1820**	1,00	**3,34**	**1715**	2,96	**1855**
12	1885	0,54	2,69	1345	2,31	*1475*	0,77	2,77	1390	2,39	*1520*	1,00	**2,85**	**1435**	2,47	**1565**
18	1890	0,70	2,50	1235	2,12	*1370*	0,78	2,53	1255	2,15	*1385*	1,00	2,61	1295	2,23	*1430*
20	1892	0,50	3,21	1640	2,63	1660	0,75	3,21	1640	2,63	1660	1,00	3,22	1645	2,64	1665
26	1900	0,81	*3,15*	*1605*	2,91	*1825*	0,90	*3,21*	**1635**	2,97	**1855**	1,00	**3,27**	**1675**	**3,03**	**1900**
27	1900	0,81	3,62	1885	3,19	*2000*	0,90	3,65	*1905*	3,22	*2020*	1,00	*3,67*	*1920*	3,24	*2035*
29	1905	0,66	2,47	1220	2,09	*1355*	0,80	2,52	1245	2.14	*1380*	1,00	2,59	1290	2,21	*1420*
42	1919	0,52	2,11	1030	1,73	*1160*	0,76	*2,20*	*1075*	1,82	*1205*	1,00	**2,29**	**1125**	1,91	**1255**
43	1920	0,59	3,86	2040	3,39	*2135*	0,80	3,91	2075	3,44	*2165*	1.00	3,96	*2105*	3,49	**2200**
46	1924	0,89	2,18	1065	1,80	*1195*	0,95	2,20	1075	1,82	*1205*	1,00	*2,22*	*1090*	1,84	*1215*
47	1924	0,55	2,91	1470	2,59	*1635*	0,78	**3,02**	**1530**	2,70	**1700**	1,00	**3,13**	**1595**	2,83	**1775**
48	1925	0,57	2,51	1245	2,13	*1375*	0,79	2,59	1285	2,21	*1420*	1,00	**2,66**	**1325**	2,28	**1460**
52	1927	0,56	2,34	1150	1,96	*1280*	0,78	2,42	1190	2,04	*1325*	1,00	**2,51**	**1245**	2,13	**1375**
56	1932	0,59	2,48	1225	1,91	1255	0,80	2,49	1230	1,92	1260	1,00	2,51	1245	1,94	1270
59	1935	0,79	2,47	1220	2,04	*1325*	0,89	2,50	1235	2,07	*1345*	1,00	2,53	1255	2,10	*1360*
66	1942	0,57	2,64	1315	2,11	*1365*	0,79	2,67	1335	2,14	*1380*	1,00	2,70	1350	2,17	*1400*

NB. h'_m e q'_m indicano il livello e la portata di colmo per il regime attuale, h''_m e q''_m quelli per il regime futuro

VARIAZIONI DI LIVELLI E PORTATE DI COLMO DEL REGIME REGOLATO E RSIPETTO AL REGIME NATURALE

Tab. VII

N.	Anno	Diagramma 2					Diagramma 3					Diagramma 4				
		δ m	$h'_m - h_m$ m	$q'_m - q_m$ m^3/sec	$h''_m - h_m$ m	$q''_m - q_m$ m^3/sec	δ m	$h'_m - h_m$ m	$q'_m - q_m$ m^3/sec	$h''_m - h_m$ m	$q''_m - q_m$ m^3/sec	δ m	$h'_m - h_m$ m	$q'_m - q_m$ m^3/sec	$h''_m - h_m$ m	$q''_m - q_m$ m^3/sec
11	1882	0,30	0,11	65	— 0,27	200	0,48	0,18	105	— 0,20	245	0,66	0,24	140	— 0,14	280
12	1885	0,15	0,06	35	— 0,32	165	0,38	0,14	80	— 0,24	210	0,61	0,22	125	— 0,16	255
18	1890	0,00	0,00	0	— 0,38	135	0,08	0,03	20	— 0,35	150	0,30	0,11	60	— 0,27	195
20	1892	0,25	0,01	5	— 0,57	25	0,50	0,01	5	— 0,57	25	0,75	0,02	10	— 0,56	30
26	1900	0,53	0,32	180	+ 0,08	400	0,62	0,38	210	+ 0,14	430	0,72	0,44	250	+ 0,20	475
27	1900	0,53	0,15	90	— 0,28	205	0,62	0,18	110	— 0,25	225	0,72	0,20	125	— 0,23	240
29	1905	0,00	0,00	0	— 0,38	135	0,14	0,05	25	— 0,33	160	0,34	0,12	70	— 0,26	200
42	1919	0,31	0,11	55	— 0,27	185	0,55	0,20	100	— 0,18	240	0,79	0,29	150	— 0,09	280
43	1920	0,39	0,08	50	— 0,39	145	0,60	0,13	85	— 0,34	175	0,80	0,18	115	— 0,29	210
46	1924	0,46	0,17	85	— 0,21	215	0,52	0,19	95	— 0,19	225	0,57	0,21	110	— 0,17	235
47	1924	0,24	0,11	65	— 0,21	220	0,47	0,22	125	— 0,10	295	0,69	0,33	190	+ 0,03	370
48	1925	0,26	0,10	55	— 0,28	185	0,48	0,18	95	— 0,20	230	0,69	0,27	135	— 0,13	270
52	1927	0,14	0,05	25	— 0,33	155	0,36	0,13	65	— 0,25	200	0,58	0,22	120	— 0,16	250
56	1932	0,56	0,02	10	— 0,55	40	0,77	0,03	15	— 0,54	45	0,97	0,05	30	— 0,52	55
59	1935	0,35	0,10	50	— 0,33	155	0,55	0,13	65	— 0,30	175	0,56	0,16	85	— 0,27	190
66	1942	0,65	0,09	50	— 0,44	100	0,87	0,12	70	— 0,41	115	1,08	0,15	85	— 0,38	135

Capitolo V

RIASSUNTO E CONCLUSIONI

1 - L'indagine che siamo venuti esponendo ha preso le mosse dall'esame della scala delle portate dell'incile lacuale nelle condizioni naturali, preesistenti alla costruzione della diga di regolazione, delle modificazioni che la scala ha subito dopo tale costruzione, e di quelle che dovrebbe ulteriormente subire qualora venissero effettuate le previste sistemazioni dell'alveo del fiume, a monte e a valle della diga.

Si è constatato:

che la scala da applicare per le attuali condizioni dell'incile non differisce praticamente da quella che era stata in vigore fino al 1936, e nel suo ramo inferiore viene praticamente a coincidere con la nota scala Cipolletti-Fantoli. L'estrapolazione di essa fino alla massima altezza storicamente raggiunta a Sesto, di 6,94 m sullo zero, ha portato a stabilire in 4500 m^3/sec il valore che la portata presumibilmente avrebbe raggiunto per tale altezza (l'estrapolazione della scala Cipolletti-Fantoli fornirebbe per la medesima altezza 4270 m^3/sec);

che la scala da applicare per le previste future condizioni dell'incile, con approssimazione che riteniamo sufficiente si può ricavare da quella vigente attualmente mediante una semplice traslazione della curva relativa, di 61 cm, parallelamente all'asse delle altezze. Questo comporta un incremento della capacità di deflusso dell'incile lacuale, rispetto ai valori attuali, che da 270 m^3/sec per l'altezza + 1,00 m sullo zero dell'idrometro, sale a 650 m^3/sec per quella di 6,94 m. La portata che l'incile sarebbe atto a scaricare per tale altezza ammonterebbe quindi a 5150 m^3/sec.

Sarebbe vano tacere che le estrapolazioni effettuate, dovendo essere spinte fino ad altezze molto superiori a quelle effettivamente coperte da misure, non sono esenti da elementi d'incertezza. I valori indicati per le portate massime debbono perciò essere accettati essenzialmente come indici del loro probabile ordine di grandezza. Ma le incertezze non hanno praticamente peso sui risultati finali dell'indagine, atteso che questa non si propone di arrivare a determinare nella loro

precisa entità numerica i valori delle massime portate e dei massimi livelli di piena per le diverse condizioni dell'incile, bensí ha l'intendimento, puramente comparativo, di valutare le variazioni che i detti elementi subirebbero nel passaggio dal regime naturale all'uno o all'altro tipo di regime regolato, e di quelle che seguirebbero all'eventuale elevamento del limite superiore della trattenuta attiva da + 1,00 a + 1,50 m sullo zero di Sesto. Basta a quel fine che siano omogenei e paragonabili i diversi termini del confronto.

Individuati i valori effettivi o ragionevolmente presumibili della capacità di deflusso dello sbocco lacuale, si è passati (Cap. II) all'analisi di tutte le piene delle quali si possiede positiva notizia. Si è riconosciuto il carattere affatto eccezionale dell'evento del 1868, che superò decisamente tutti quelli dei quali conservi ricordo la storia degli ultimi tre secoli, e si è stabilito che già i colmi superiori ai 4 m sono rari, essendo intervenuti dopo quell'anno con la frequenza di quattro o cinque casi per secolo. Questi colmi sono, inoltre, di formazione relativamente lenta, giacchè non furono mai raggiunti in meno di sei o sette giorni dal primo inizio della piena. L'esame statistico di tutte le piene verificate dal 1868 ad oggi ha portato a constatare che — anche nelle eventualità piú catastrofiche — occorrono almeno due giorni perchè il livello a Sesto raggiunga i 3 m, ne occorrono quattro perchè vada oltre i 3,5 m, e da sei a sette per arrivare a 4 m.

Altre constatazioni che merita ricordare riguardano la distribuzione delle piene nel corso dell'anno. Si è riconosciuto che il lago non ha mai raggiunto l'altezza di 2 m nel corso dei cinque mesi da dicembre ad aprile e che tutte le piene durante le quali il livello a Sesto superò i 3 m hanno avuto inizio nel periodo che va dal 10 maggio alla fine di ottobre. I colmi piú elevati si verificarono nel bimestre maggio-giugno, o in quello ottobre-novembre, con netta prevalenza del secondo per il numero delle piene e per l'entità dei livelli raggiunti.

Fissati tutti questi punti, l'indagine ha affrontato il problema di valutare le ripercussioni che la regolazione avrebbe avuto sulle piene verificate nel periodo dal 1868 in poi, piene che la disponibilità di scale sufficientemente attendibili e di letture idrometriche del pari attendibili consentono di definire con adeguata precisione. Tali ripercussioni erano da determinare caso per caso in base al fatto che, nel regime regolato, le piene avrebbero trovato il lago, anzichè a quel livello che esistette in realtà e fu letto all'idrometro di Sesto, ad un livello diverso e tanto piú alto, quanto maggiore sarebbe dovuta essere la ritenuta del momento. Qualora, come accadrebbe nelle attuali condizioni dell'incile lacuale, la capacità di deflusso dello sbocco non differisse apprezzabilmente da quella preesistente dell'incile naturale, la successione dei livelli del lago susseguenti all'abbattimento della diga, nel corso di ogni piena, risulterebbe tutta superiore a quella dei livelli verificati nel regime naturale, e le differenze fra i primi e i secondi andrebbero progressivamente attenuandosi, fino ad annullarsi in un tempo teoricamente infinito. Qualora invece i divisati lavori di sistemazione avessero aumentato nella misura prevista la capacità di deflusso dello sbocco lacuale, le differenze fra i livelli dei due regimi andrebbero diminuendo col tempo fino a ridursi a zero e poi cambiar se-

gno, mentre le portate del regime regolato risulterebbero tutte maggiori di quelle effettivamente verificate nei medesimi giorni, quando l'incile era nelle condizioni naturali.

Nei primi due paragrafi del Cap. III abbiamo mostrato come l'idraulica lacuale — attraverso qualche ipotesi semplificatrice, che però non altera i caratteri del fenomeno nè va a detrimento dell'attendibilità dei risultati — dia il modo di sintetizzare a mezzo di semplici formule risolutive di applicabilità immediata, le ripercussioni della trattenuta iniziale sui livelli e sulle portate durante la piena. Le ipotesi semplificatrici in parola riguardano il tipo della scala delle portate, che entro il campo di escursione dei livelli di piena si suppone rappresentabile mediante una funzione lineare delle altezze, e la costanza rispetto all'altezza dell'area dello specchio lacuale (o per lo meno del rapporto β/S). La loro pratica attendibilità ha avuto persuasive conferme.

A norma delle formule stabilite, una ritenuta iniziale δ si esaurisce con legge esponenziale e decremento logaritmico β/S; nel caso del lago Maggiore essa si riduce a meno di un decimo del valore iniziale dopo dieci giorni, a pochissimi centesimi dopo quindici. Le sue ripercussioni sui livelli del lago, ammessa immutata la capacità di deflusso dello sbocco, sono quindi circoscritte ai primi giorni della piena, e diventano praticamente trascurabili nei rapporti dei colmi delle piene a lento decorso, che siano raggiunti oltre dieci giorni dopo l'inizio. Esse, in particolare, sarebbero risultate trascurabili sui livelli di colmo sia dell'evento unico del 1868, sia di quello del 1872 che immediatamente lo segue nella graduatoria. La loro importanza sui colmi può riuscire notevole soltanto nei rapporti delle piene molto rapide, le quali arrivino a colmi elevati in pochissimi giorni, come è accaduto talvolta in passato, specie nella stagione estiva.

L'applicazione delle formule risolutive ammette la conoscenza dell'*inizio* della piena. Questo inizio si è convenientemente riportato al giorno nel quale, a norma dei caposaldi che reggono l'esercizio della regolazione, la diga mobile avrebbe dovuto essere abbattuta.

Abbiamo esposto nel 3° paragrafo del Cap. III come si è proceduto a individuare caso per caso tal giorno, e abbiamo anche stabilito gli elementi occorrenti per la applicazione delle formule risolutive al caso del lago Maggiore e ai vari regimi di regolazione che potrebbero trovare attuazione per tale lago.

Il Cap. IV è dedicato alla esposizione dei risultati di tale applicazione a tutte le piene verificate dal 1868 al 1944: essi dànno luogo a una serie di constatazioni, che possono essere sintetizzate come segue:

a) *Regime regolato attuale:*

La regolazione, comunque condotta, avrebbe esercitato una influenza apprezzabile soltanto sui colmi delle piene che non raggiunsero i 4 m sullo zero. Per queste piene essa si sarebbe tradotta, a parità di frequenza dell'evento, nell'incremento di 20 cm dei livelli e di 100 m^3/sec nelle portate di colmo: oppure, nell'aumento da dodici a quindici, del numero dei colmi non inferiori a 3,5 m, e da ven-

titre a ventisette, del numero di quelli non inferiori a 3 m. Gli incrementi massimi risultano dell'ordine di 40 cm per i livelli, e di 230 m³/sec per le portate, ma limitatamente ai livelli di colmo non superiori a circa 3,7 m, e alle portate dell'ordine di 1700 m³/sec. Per livelli e portate di colmo superiori, gli incrementi si riducono rapidamente a valori piccoli che diventano decisamente trascurabili per le altezze superiori a 4 m, e per le portate superiori ai 2000 m³/sec.

L'elevamento del limite superiore della trattenuta attiva da + 1,00 a + 1,50 metri sullo zero di Sesto non ha effetti di rilievo: nei rapporti delle piene esso potrebbe quindi essere attuato senza preoccupazioni di sorta.

Confermano questi punti altri due ordini di constatazioni, l'una riguardante i giorni di permanenza dei livelli fra i tre e i quattro metri, che sarebbero anche giorni di sommersione di tutte le zone di gronda situate a quote inferiori ai corrispondenti livelli dello specchio lacuale; l'altra riguardante l'incremento dei massimi livelli che il lago potrebbe raggiungere rispettivamente dopo uno, due, tre, ecc. giorni dall'inizio delle piene. Risulta infatti che sarebbe rimasto inalterato il numero dei giorni (15 in tutto, nel corso del settantasettennio 1868-1944) per il quale la portata avrebbe superato i 2250 m³/sec (altezza circa 4 m); mentre sarebbe aumentato di due, da 24 a 26, quello dei giorni con portate superiori ai 2000 m³/sec, e di 6 quello dei giorni con portata superiore ai 1750 m³/sec. E risulta pure che la regolazione provocherebbe il sopraelevamento dei livelli massimi raggiungibili dal lago e delle portate massime verificabili nel fiume nei primi giorni di piena, di quantità che sono abbastanza rapidamente decrescenti col tempo e che perdono quasi ogni importanza già al quinto giorno. La regolazione non ha influenza sulle piene che arrivano ai 4 m appunto perchè i relativi colmi non sono mai raggiunti prima di sei giorni.

b) *Regime regolato futuro* (dopo l'esecuzione dei previsti lavori di sistemazione dello sbocco lacuale).

La regolazione determinerebbe — a parità di frequenza — un abbassamento dei livelli di colmo dell'ordine in media di 50-60 cm, e un incremento della portata di colmo, dell'ordine in media di 150 m³/sec.

In particolare, sarebbe aumentato a dieci, per il 77ennio consueto, il numero dei colmi superiori ai 2000 m³/sec, che nel regime naturale era stato di 7, e da 24 salirebbe a 30 il numero complessivo dei giorni durante i quali la stessa portata di 2000 m³/sec si sarebbe mantenuta nel corso di quel 77ennio, mentre si sarebbero ridotte alla metà, e meno, le permanenze dei livelli compresi fra 3 e 5 m sullo zero di Sesto.

Sono però di maggior rilievo gli incrementi massimi della portata, che arrivano a 430 m³/sec, con trattenuta massima non superiore a + 1,00 m, e salgono a 475 m³/sec per trattenuta massima + 1,50 m.

Gli incrementi di questa entità interessano soltanto le portate non superiori ai 1700÷1800 m³/sec; ad essi si deve però l'aumento del numero dei colmi che avrebbero decisamente superato i 2000 m³/sec rispetto al regime naturale.

È pure notevole la modificazione della curva delle massime possibilità di por-

tata, dall'inizio di ogni piena; giacchè segna, al termine del primo giorno, l'incremento massimo di 400 m³/sec, e al termine del terzo giorno quello di 300 da circa 1700 a circa 2000 m³/sec. Il minimo tempo occorrente per raggiungere tale portata è quindi ridotto alla metà di quello verificato per il regime naturale.

2 - Delle constatazione che abbiamo rapidamente riassunto la piú importante è indubbiamente quella riguardante le ripercussioni che sul decorso delle piene eserciterebbe la sistemazione dell'alveo fluviale a monte e a valle della diga della Miorina. Esse, abbiamo visto, si tradurrebbero in un netto peggioramento della situazione del fiume, dovuto particolarmente all'aumento del numero delle piene che, superando i 2000 m³/sec, potrebbero creare difficoltà nel Ticino a monte di Pavia, e per contrapposto in un miglioramento non meno netto della situazione del lago.

Le modificazioni provocate attualmente nel regime delle piene dall'esercizio della diga mobile sono risultate assai piú modeste e sono costituite da un peggioramento sia delle condizioni del fiume, sia di quelle del lago, che non sembra preoccupante e che è lecito ritenere praticamente equivalente per l'uno e per l'altro.

Di fronte a questa constatazione si impone, a nostro parere, la necessità di riesaminare il problema della sistemazione dell'alveo nel quadro generale della regolazione del lago.

Lo scopo di quella sistemazione, giova ricordare, sarebbe quello di aumentare in opportuna misura la capacità di deflusso dello sbocco lacuale: gli sbancamenti progettati alla soglia dei Murazzi sono stati definiti attraverso le note prove su modello, con l'intendimento di rendere possibile la erogazione della portata di 200 m³/sec anche a lago completamente svasato, vale a dire depresso fino all'altezza —0,50 m a Sesto: e ciò in ottemperanza di uno dei caposaldi del piano a suo tempo approvato per la regolazione del lago. La portata che poteva defluire con la detta altezza —0,50 m nelle condizioni naturali dell'incile era di soli 70 m³/sec: i ritocchi locali, connessi con la costruzione della diga, l'hanno recentemente fatta salire a 95 m³/sec. Attualmente la erogazione di 200 m³/sec può avvenire soltanto a partire dall'altezza di +0,07 m.

L'opportunità di un conveniente incremento della capacità di deflusso dell'incile per i livelli piú depressi del lago sembra fuori di discussione: l'esercizio della regolazione risulta indubbiamente tanto piú agevole, quanto maggiore è il campo entro il quale le erogazioni possono essere esattamente commisurate al fabbisogno delle utenze. Ma ci si deve domandare se sia proprio necessario aumentare la capacità di deflusso fino a 200 m³/sec per l'altezza —0,50 m, o se eventualmente per livelli cosí depressi non potrebbe bastare una portata minore, la quale richiederebbe una sistemazione piú modesta, con piú limitate ripercussioni sui colmi di piena.

Giova considerare, a questo proposito, che la portata di 200 m³/sec è assai superiore alla massima competenza riconosciuta alle utenze in atto per la stagione invernale, ed è superiore anche alla massima erogazione prevista per tale stagione

nei vari schemi di regolazione che furono esaminati in altra sede (1) e che darebbero luogo al completo sfruttamento delle disponibilità del fiume.

Ora è soprattutto nella stagione invernale, e piú precisamente al termine di essa, che potrebbe essere raggiunto in qualche annata lo svaso completo del lago: mentre assai piú raramente tale eventualità potrebbe ricorrere verso la fine della stagione estiva, nella prima e nella terza decade di settembre. Anche in tali epoche però la erogazione normale, secondo gli schemi esaminati, non supererebbe i 190 m^3/sec costituenti la competenza delle utenze in atto.

La capacità di deflusso di 200 m^3/sec si presenta quindi, almeno nella maggioranza dei casi, come esuberante rispetto alle necessità delle utilizzazioni nei periodi nei quali potrebbe avvenire lo svaso del lago.

Ma anche indipendentemente da questa circostanza, sta di fatto che, qualora il lago fosse depresso all'altezza —0,50 m, e quindi fosse completamente esaurita la riserva liquida in esso accumulata, non sarebbe certamente il caso di erogarne portate dell'ordine di 200 m^3/sec, superiori di 5 o 6 volte a quelle affluenti dal bacino nei periodi di magra. Un oculato esercizio dell'opera di regolazione, comporta bensí che le erogazioni vengano cautamente disciplinate, e progressivamente ridotte con il procedere e l'accentuarsi dello svaso del lago, in modo da procrastinarne al massimo il vuotamento completo: eventualità che dovrebbe ricorrere soltanto in via d'eccezione nelle annate di estrema siccità.

Non crediamo, perciò, che si possa parlare di necessità tecnica o idraulica di elevare fino a 200 m^3/sec la capacità di deflusso del Ticino per l'altezza —0,50 m a Sesto. Pensiamo al contrario che, se è fuori di discussione la necessità di poter attuare le massime erogazioni utili nel campo delle altezze superiori allo zero di Sesto, e anche per altezze di poco inferiori, tale necessità non ricorra piú quando si scende a quattro o cinque decimetri sotto lo zero.

Per stati lacuali cosí depressi la capacità di deflusso potrebbe, cioè, ridursi senza danno a valori inferiori ai 200 m^3/sec: e forse potrebbe essere utile che mancasse pure la possibilità di erogare portate troppo elevate, le quali determinassero un esaurimento troppo rapido del volume ancora accumulato nel lago.

---

(1) V. la citata Pubbl. 2 del Consorzio del Ticino: la massima erogazione ivi prevista per i mesi da gennaio a marzo non supera i 160 m^3/sec.