# **CONSORZIO DEL TICINO**

per l'opera regolatrice del LAGO MAGGIORE costituito con RDL 1595 del 14/06/1928 Ente Pubblico ai sensi della Legge 20/3/1975 n. 70 20121 MILANO C.so P.ta Nuova 18 - Tel. 02/6555489-654994

# INFORMAZIONI RELATIVE ALL'EVENTO DI PIENA DEL LAGO MAGGIORE DELL'APRILE-MAGGIO 1986 CON ANALISI DEGLI EFFETTI, NELLA CIRCOSTANZA, DI IPOTETICI INTERVENTI TENDENTI A RIDURRE LE ESONDAZIONI

(Pubblicazione n. 17)

Piero Maria PELLÒ e Giulio RONCORONI

Milano, novembre 1986



Lo sbarramento di regolazione alla Miorina.

Nell'intento di ritrarre il maggiore possibile beneficio dalle acque del Lago Maggiore (Verbano), che alimentano cospicue utenze irrigue ed idroelettriche lungo l'emissario fiume Ticino, nel 1938-43 vennero costruite le opere per la regolazione a serbatoio del lago stesso.

Esse sono ubicate sul Ticino poco a valle del suo incile, a circa 3 km. da Sesto Calende, e comprendono lo sbarramento di regolazione, ed opere accessorie.

Lo sbarramento, disposto attraverso l'alveo del fiume in corrispondenza di una soglia naturale, detta rapida della Miorina, ha una lunghezza di 200 m ed è attuato con 120 portine metalliche del tipo Chanoine completamente abbattibili.

Tali portine, incernierate sulla platea di fondo, possono assumere differenti posizioni per la ritenuta delle acque, essendo a tale scopo manovrate da due carri a comando idrodinamico, i quali scorrono lungo il ponte metallico di manovra che attraversa il fiume sostenuto da tre pile in alveo. Quando tutte le portine sono abbattute l'alveo risulta completamente libero per il deflusso delle acque, come era in natura, salvo le tre pile di limitato spessore.

Con la manovra anzidetta si regolano opportunamente le portate defluenti dal Lago Maggiore, al fine di trattenere nel lago stesso — che funziona così da serbatoio — le acque sovrabbondanti che senza la regolazione defluirebbero inutilizzate lungo il Ticino: tali acque restano nel lago a costituire riserva, per essere successivamente utilizzate nei periodi di portate naturali insufficienti a soddisfare le occorrenze delle derivazioni dal fiume.

Il Lago Maggiore è dominato da un vasto bacino inbrifero (circa 6600 km², di cui metà in territorio svizzero), che alimenta il lago stesso con gli affluenti Toce, Maggia-Melezza, Ticino prelacuale, Verzasca, Tresa ed altri minori, i quali vi adducono anche le acque dei laghi di Lugano, Varese, Orta, Comabbio, Monate, Mergozzo; inoltre nel bacino imbrifero esistono numerosi serbatoi per impianti idroelettrici, di rilevante capacità complessiva.

Lo specchio lacuale ha la superficie media di 210 km²; pertanto ad ogni centimetro di variazione del livello corrisponde il volume di 2.100.000 m³.

Le variazioni del livello del lago che dipendono dalla regolazione sono contenute entro i limiti definiti da norme Ministeriali: dalla quota (-0,50 m) alla quota (+1,00 m) dell'idrometro di Sesto Calende, con una escursione totale di 1,50 m alla quale corrisponde il volume di 315 milioni di m³. Da diversi anni il limite superiore dell'invaso nella stagione invernale viene consentito fino a quota (+1,50 m) il che permette di trattenere nel lago altri 105 milioni di m³ di acqua, limitatamente a tale stagione.

Per il 1986, in via sperimentale, a seguito di concertazioni nell'ambito della Commissione mista italo-svizzera costituita per discutere i problemi della regolazione delle acque del lago Maggiore, è stata prevista la possibilità di sopraelevare il livello del lago Maggiore nel periodo estivo, da metà giugno a fine agosto, inizialmente di 10 centimentri, per costituire una riserva atta a meglio soddisfare le esigenze irrigue del Novarese e del Milanese; è stata inoltre decisa una riduzione del livello del lago di 20 centimetri da inizio settembre ai primi di novembre per meglio fronteggiare eventuali piene autunnali e quindi ridurre le esondazioni lungo le sponde del lago Maggiore. Si tratta di prime sperimentazioni che potranno consentire ulteriori decisioni e positivi effetti contemperando le diverse esigenze.

Gli invasi si effettuano normalmente in corrispondenza delle piogge — in primavera e in autunno — e, inoltre, nel mese di giugno con gli imponenti apporti dello scioglimento delle nevi.

L'utilizzazione dei volumi accumulati nel lago avviene nei periodi primaverile-estivo e autunno-invernale: in tali periodi stagionali, per il complesso delle utenze si erogano, rispettivamente. 210 – 240 m³/s e 140 + 150 m³/s.

# INFORMAZIONI RELATIVE ALL'EVENTO DI PIENA DEL LAGO MAGGIORE DELL'APRILE - MAGGIO 1986 CON ANALISI DEGLI EFFETTI, NELLA CIRCOSTANZA, DI IPOTETICI INTERVENTI TENDENTI A RIDURRE LE ESONDAZIONI.

Piero Maria PELLO' (\*) e Giulio RONCORONI (\*\*)

#### 1. Premessa

L'evento di piena dell'aprile-maggio 1986 è stato caratterizzato non tanto da una particolare rilevanza in termini di livello massimo raggiunto dal lago Maggiore (3,17 m rispetto allo «zero» dell'idrometro di Sesto Calende, posto a quota 193,016 m s.l.m.) (¹) e neppure, conseguentemente, da valori eccezionali di portate nell'emissario Ticino (1676 m³/s) (²) e (³) bensí da una prolungata permanenza del lago a livelli superiori o prossimi ai 2 m (dal 23 aprile al 24 maggio) - e quindi da elevate portate nell'emissario Ticino - per circa un mese.

Tale circostanza, che ha suscitato comprensibili interrogativi dei rivieraschi (talvolta espressi in forme non del tutto obiettive e corrette!), può costituire una opportuna occasione sia per riepilogare le cause dell'evento, sia per illustrare la sua dinamica e sia, infine, per analizzarne alternative di evoluzione in presenza di ipotetici interventi atti a contenere gli effetti in termini di esondazioni.

Con la presente esposizione, che - volutamente - è stata sviluppata in forma ampiamente accessibile, si intende inoltre fornire una sintetica, ma organica, informazione sulla tematica in termini generali anche al fine di evidenziare gli aspetti, le problematiche ed i limiti di ipotizzabili interventi: il valutare la portata e gli effetti dei medesimi con riferimento ad un recente e significativo evento - vivo nella memoria di molti abitanti del territorio lacuale e fluviale - può agevolare la comprensione, anche in termini quantitativi, della fenomenologia in argomento.

# 2. Il quadro stagionale idro-meteorologico

Il bacino del Verbano (in analogia all'ampio settore a sud delle Alpi) è stato caratterizzato da un clima particolarmente siccitoso nel periodo dalla fine di agosto 1985 alla fine di gennaio 1986.

I grafici contenuti nella figura 1 riportano, per gli ultimi dieci anni, l'andamento cumulato degli afflussi al lago per i cinque mesi in esame (da settembre a gennaio): in autunno ed all'inizio dell'inverno, quando ormai è finito lo scioglimento delle nevi in montagna ed è ancora cauto il programma di utilizzo degli impianti idroelettrici di accumulo alpini, i precitati afflussi sono un sicuro parametro per le precipitazioni piovose.

Come si vede il periodo settembre 1985 - gennaio 1986, con 1256 milioni di m³ di afflusso, ha fatto registrare il valore integrato più basso di tutto il decennio in esame.

<sup>(\*)</sup> Prof. ing. Piero Maria Pellò, Presidente del Consorzio del Ticino.

<sup>(\*\*)</sup> Dr. ing. Giulio Roncoroni, Coordinatore tecnico del Consorzio del Ticino.

# LAGO MAGGIORE

# DA SETTEMBRE A GENNAIO

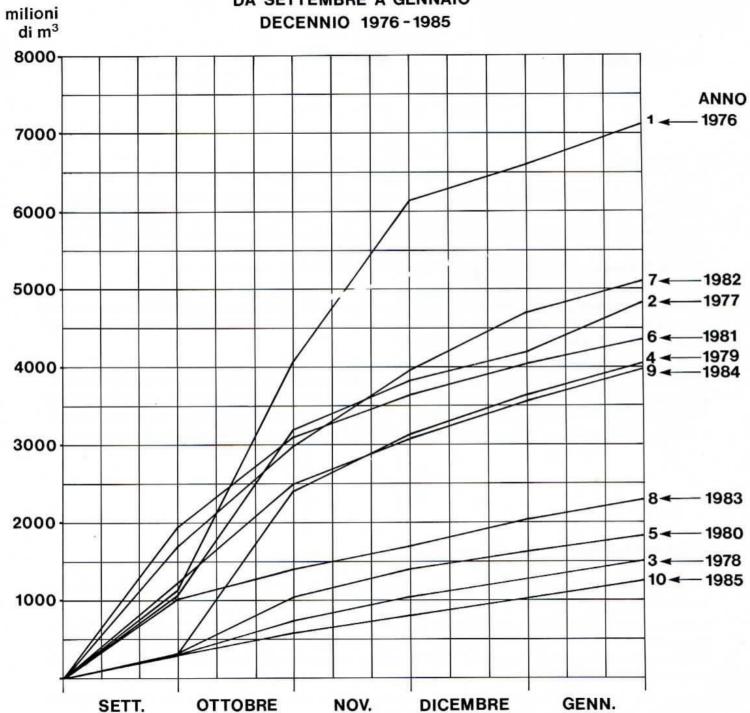


Fig. 1: Lago Maggiore - afflussi progressivi mensili da settembre a gennaio 1976 - 1985.

Tab. 1 - STATO DELLE NEVI NEL BACINO DEL TOCE

nel mese di dicembre 1985

| 0. 1. 1. 1                            |         | Altezza del manto nevoso al giorno (in metri) |      |                 |  |  |
|---------------------------------------|---------|---|------|-----------------|--|--|
| Stazioni di misura - Altitudine       |         | 10  | 20   | ultimo del meso |  |  |
| Camposecco                            | m. 2308 | 0,14  | 0,22 | 0,18            |  |  |
| Cingino                               | m. 2281 | 0,45  | 0,28 | 0,30            |  |  |
| Vannino                               | m. 2175 | 0,40  | 0,32 | 0,36            |  |  |
| Toggia                                | m. 2160 | 0,40  | 0,32 | 0,42            |  |  |
| Codelago                              | m. 1875 | 0,38  | 0,23 | 0,29            |  |  |
| Devero                                | m. 1640 | 0,26  | 0,22 | 0,27            |  |  |
| Alpe Cavalli                          | m. 1510 | 0,28  | 0,20 | 0,25            |  |  |
| Campliccioli                          | m. 1310 | 0,15  | 0,08 | 0,13            |  |  |
| somma delle altezze di neve misurate  |         |   |      |                 |  |  |
| nelle otto stazioni di cui sopra      |         | 2,46  | 1,87 | 2,20            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1984 |         |   |      | 5,17            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1983 |         |   |      | 5,34            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1982 |         |   |      | 8,10            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1981 |         |   |      | 15,17           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1980 |         |   |      | 1,22            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1979 |         |   |      | 12,28           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1978 |         |   |      | 4,67            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1977 |         |   |      | 4,39            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1976 |         |   |      | 11,15           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1975 |         |   |      | 6,46            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1974 |         |   |      | 5,81            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1973 |         |   |      | 12,32           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1972 |         |   |      | 6,61            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1971 |         |   |      | 7,75            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1970 |         |   |      | 11,26           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1969 |         |   |      | 5,34            |  |  |

Una conferma del particolare periodo siccitoso si ha dai dati riportati nella tabella 1 delle nevi del dicembre relative a otto stazioni di misura situate nel territorio italiano (valle del fiume Toce e suoi affluenti), in stazioni comprese fra 1.300 e 2.300 m s.l.m., che evidenzia la particolare scarsità del manto nevoso a fine dicembre 1985; considerando il periodo successivo al 1969 solo nel 1980 è ricorsa una analoga carenza di precipitazioni nevose. Le abbondanti nevicate degli ultimi giorni del mese di gennaio hanno rovesciato la situazione; anzi, con le intense nevicate del mese di aprile, è stato raggiunto il massimo per il quindicennio in esame come risulta da quanto riportato nella tab.2.

Al fine di meglio inquadrare l'evento di piena dell'aprile-maggio 1986 è opportuno richiamare qualche informazione sull'evoluzione meteorologica verificatasi nell'aprile 1986 [9].

Le precipitazioni di aprile sono cadute in tre periodi ben distinti, interrotti ogni volta soltanto da due o tre giorni secchi. In tutti e tre i casi la distribuzione della pressione, una depressione sulle isole Britanniche e un anticiclone

Tab. 2 - STATO DELLE NEVI NEL BACINO DEL TOCE

nel mese di aprile 1986

|  | 222     | Altezza del manto nevoso al giorno (in metri) |       |                 |  |  |
|--|---------|---|-------|-----------------|--|--|
| Stazioni di misura - Altitudi  | ne      | 10  | 20    | ultimo del mese |  |  |
| Camposecco   | m. 2308 | 3,45  | 2,95  | 4,60            |  |  |
| Cingino  | m. 2281 | 3,50  | 3,20  | 4,50            |  |  |
| Vannino  | m. 2175 | 3,60  | 3,20  | 4,20            |  |  |
| Toggia   | m. 2160 | 3,30  | 3,42  | 4,10            |  |  |
| Codelago   | m. 1875 | 3,40  | 2,91  | 4,02            |  |  |
| Devero   | m. 1640 | 2,48  | 2,00  | 2,70            |  |  |
| Alpe Cavalli   | m. 1510 | 1,47  | 1,38  | 1,50            |  |  |
| Campliccioli   | m. 1310 | 1,10  | 1,29  | 1,05            |  |  |
| somma delle altezze di neve misurate   | e       |   |       |                 |  |  |
| nelle otto stazioni di cui sopra   |         | 22,30   | 20,35 | 26,67           |  |  |
| IDEM alle state dell'anno 10   | 0.5     |   |       | 6,93            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 196<br>IDEM, alla stessa data dell'anno 196 |         |   |       | 9,36            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 13,23           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 6,42            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 7,65            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 10,39           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 10,01           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 14,18           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 7,07            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 12,25           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 10,93           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 7,38            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 14,08           |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 9,22            |  |  |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 19  |         |   |       | 11,54           |  |  |

sul Mediterraneo orientale, ha fatto sí che attraverso l'Europa Centrale si stabilisse una fascia perturbata quasi stazionaria. Con la predetta configurazione da sud affluisce aria mite di provenienza subtropicale, in quest'occasione particolarmente umida, la quale si scontra con aria fredda diretta verso meridione e proveniente da latitudini polari. A dipendenza della forza dei centri di pressione, e in parte anche a causa della presenza delle Alpi, una simile linea di convergenza può sussistere per piú giorni, provocando precipitazioni anche continue, fino a quando, sul vicino Atlantico, non si riforma un anticiclone che indebolisce la depressione sull'Europa del Nord. Nelle pause passeggere avute in aprile, l'influsso anticiclonico è risultato oltremodo debole e di corta durata. Durante le prime due fasi di precipitazioni l'aria affluita da nord è stata molto fredda e, il giorno 12, le nevicate hanno raggiunto la pianura, mentre il 18 sono ancora scese fino a circa 600 metri. Nella terza fase la temperatura è stata generalmente piú alta e il limite delle nevicate si è stabilito tra 1200 e 1700 metri. La coltre nevosa, ancora abbondantemente presente sopra 1000 metri, si è cosí inzuppata di acqua, diventando molto instabile.

Le precipitazioni nel bacino del Verbano hanno raggiunto quantità impressionanti, mai registrate in primavera, e persino superiori ai massimi mensili assoluti (normalmente osservati in settembre o in ottobre).

Sono significative, in proposito, le risultanze riportate nelle figure 2 e 3.

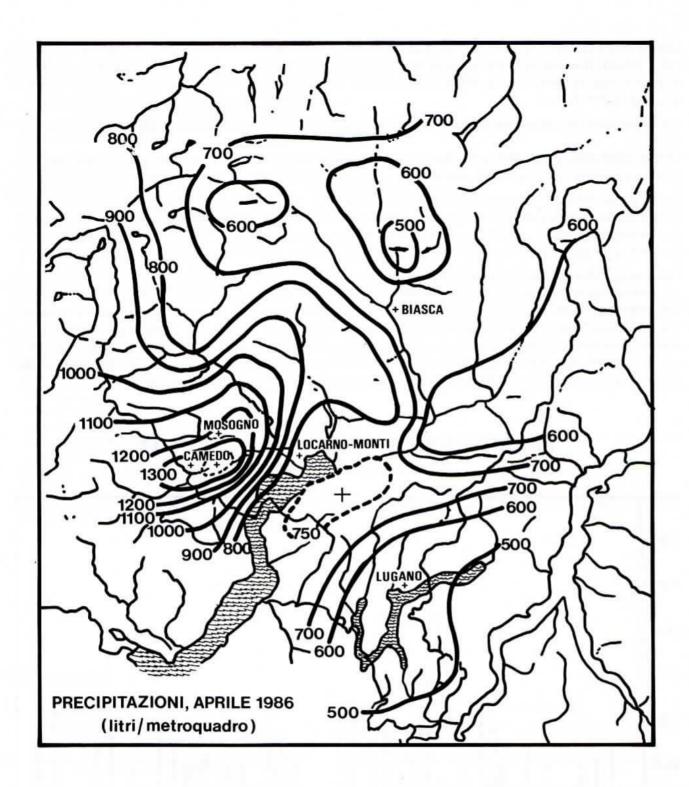


Fig. 2: Distribuzione delle precipitazioni in Ticino durante il mese di aprile 1986 in litri/metroquadrato. Le regioni più piovose risultano le Centovalli, la valle Onsernone e la bassa valle Maggia con più di 1000 litri. Il massimo assoluto è stato misurato a Palagnedra (1392 l/m², dati OFIMA). (Fonte: Osservatorio Ticinese dell'Ist. Svizzero di Meteorologia).

Oltre a ciò, il 12 aprile, la neve ha ancora fatto la sua apparizione fino a basse quote con quantitativi sensibili (15 ÷ 20 cm). Nevicate tardive in aprile avvengono a intervalli di 5-10 anni, ma, da quando esistono le registrazioni meteorologiche (grosso modo dall'inizio del secolo), in aprile a basse quote non si è mai misurata una simile quantità di neve fresca.

Si ritiene opportuno riportare le seguenti considerazioni dell'Osservatorio Ticinese dell'Istituto Svizzero di Meteorologia:

«Negli ultimi anni, a intervalli ravvicinati, hanno avuto luogo eventi estremi molto marcati (alluvione del 1978, piogge torrenziali nel 1983 e 1984, temperature minime estreme nel 1985 e 1986, massime nel 1983, e cosí via).

La domanda che molti si pongono è se questi eventi possano significare l'inizio di un cambiamento del clima. In base agli avvenimenti degli ultimi anni, sia da noi che in altre parti del mondo, la risposta è tutt'altro che semplice e definitiva. Il clima è infatti in continuo cambiamento con variazioni in lento avvicendamento sull'arco di generazioni o di secoli. Periodi più freddi o più umidi si alternano a periodi più secchi o più caldi.

Oggigiorno, nello stato attuale delle ricerche e delle conoscenze in questo campo, si ritiene che, globalmente, l'atmosfera subisca un lento ma costante riscaldamento. Più difficile, se non addirittura impossibile, è invece prevedere le conseguenze che un simile riscaldamento può avere sul tempo di una regione limitata, quale per esempio il sud delle Alpi. Bisogna però prendere atto del fatto che è la prima volta nella storia dell'umanità che l'uomo, tramite le sue attività, provoca degli influssi diretti e misurabili sul clima. Le immissioni, non soltanto di sostanze palesemente nocive, ma anche di calore o di gas di per sè innocui (biossido di carbonio per esempio), hanno raggiunto delle quantità tali da interferire con l'evoluzione e le oscillazioni naturali del clima» [9].

# PRECIPITAZIONI NEI MESI DI APRILE

a Locarno, dal 1900 al 1986

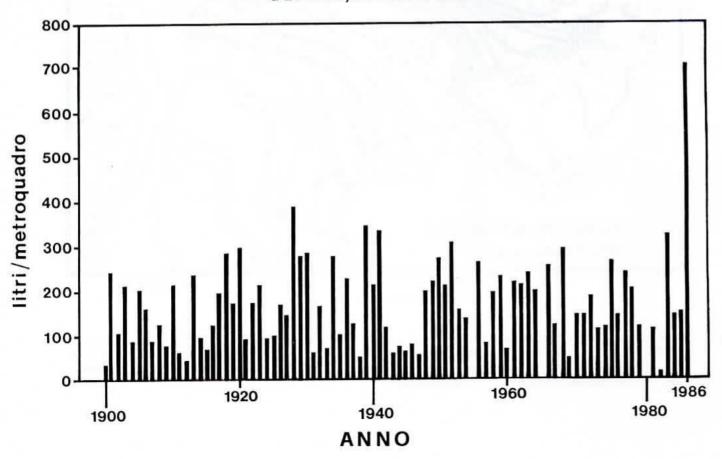


Fig. 3: Precipitazioni mensili medie in aprile a Locarno, dal 1900 al 1986. (Fonte: osservatorio Ticinese dell'Ist. Svizzero di meteorologia).

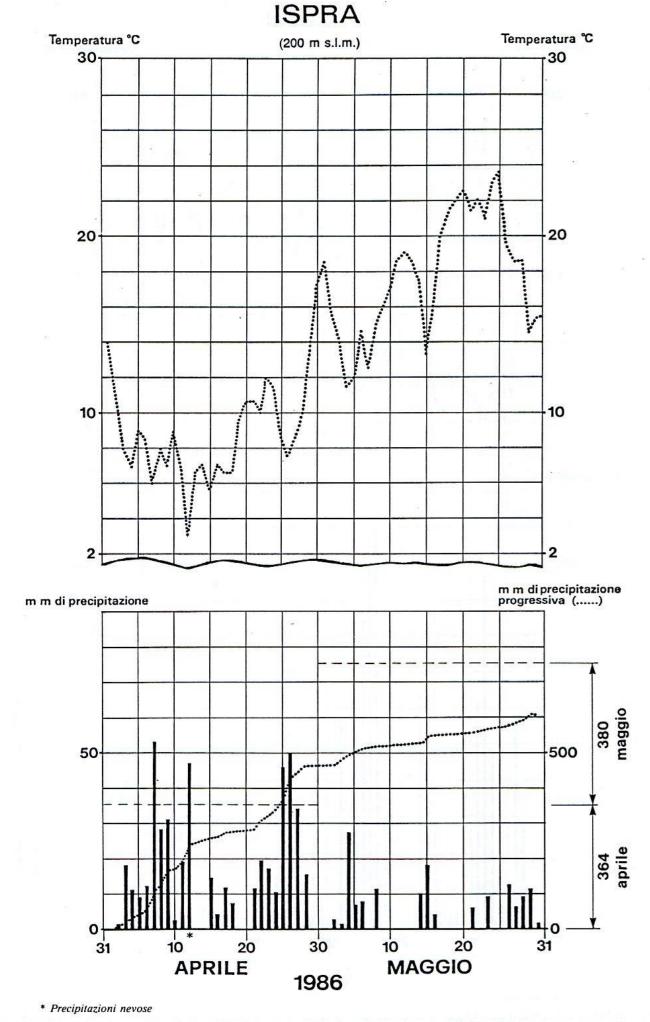


Fig. 4: Precipitazioni (giornaliere e progressive) e temperature (medie giornaliere) rilevate a ISPRA.



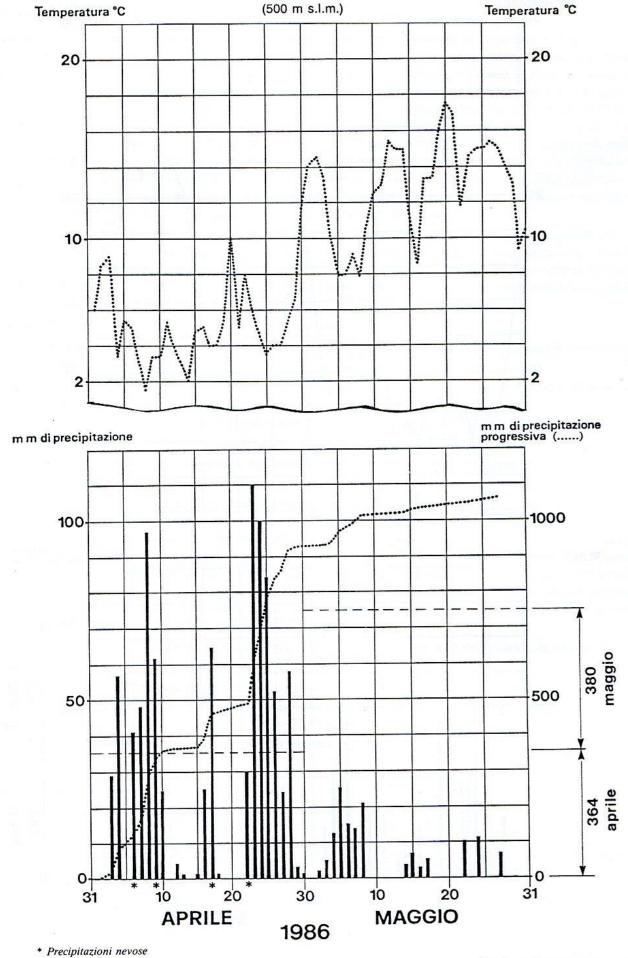
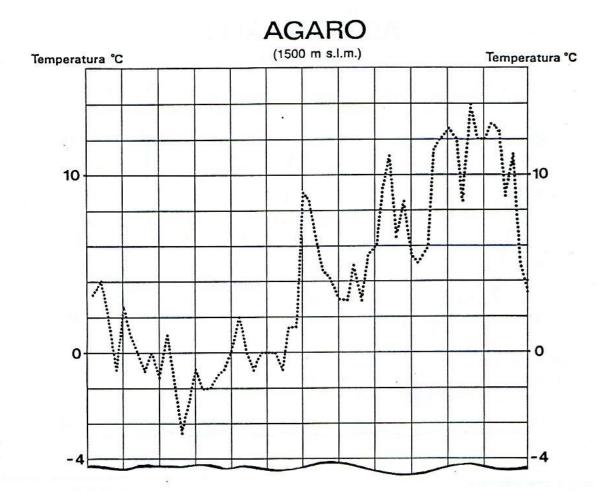


Fig. 5: Precipitazioni (giornaliere e progressive) e temperature (medie giornaliere) rilevate a VARZO.



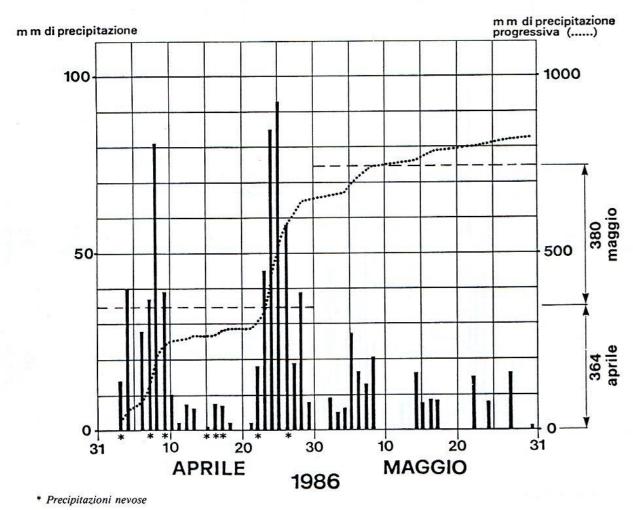
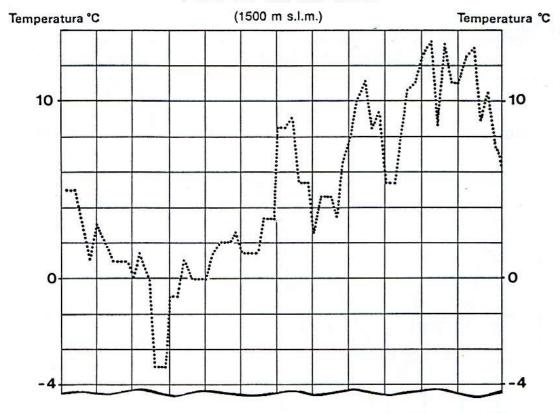


Fig. 6: Precipitazioni (giornaliere e progressive) e temperature (medie giornaliere) rilevate a AGARO.

# ALPE CAVALLI



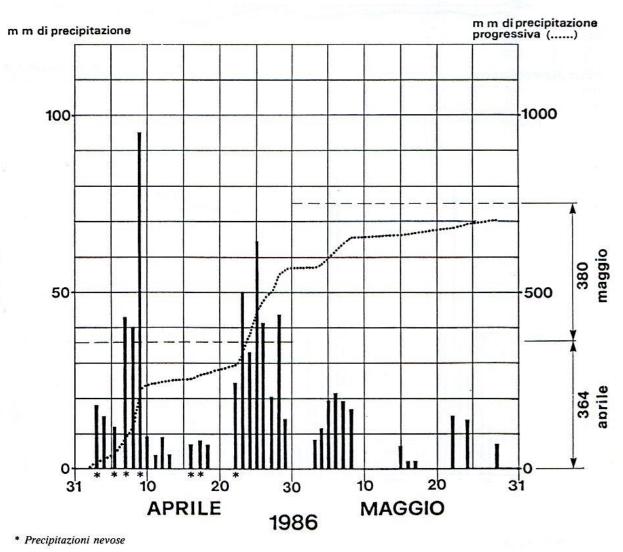


Fig. 7: Precipitazioni (giornaliere e progressive) e temperature (medie giornaliere) rilevate a ALPE CAVALLI.

Al fine di quantificare le precipitazioni, giornaliere e progressive, dei mesi di aprile e maggio 1986 sono state scelte, per la parte italiana del bacino del Verbano, quattro stazioni di rilevamenti, significative di diversi settori per ubicazione e quota altimetrica, come segue:

ISPRA - quota 200 m s.l.m. sulle sponde del lago Maggiore;

VARZO - quota 500 m s.l.m. in fondo alla Val Divedro;

AGARO - quota 1500 m s.l.m. nella zona dell'alpe Devero, alle pendici del Cervandone;

ALPE CAVALLI - quota 1500 m s.l.m. nella zona del pizzo di Andolla, sulla testata della Val Antrona.

Da tali stazioni sono stati ottenuti i rilievi di precipitazioni e di temperatura.

I grafici riportati dalle figure 4,5,6, e 7 riportano le precipitazioni giornaliere (espresse in mm, da leggere sulla scala di sinistra) e progressive (sempre espresse in mm e da leggere sulla scala di destra) e, nella parte superiore, le temperature medie dei singoli giorni.

I rilievi di aprile sono caratterizzati da valori prossimi a quelli relativi alla parte svizzera del bacino, riportati in fig. 2, e ciò conferma il fatto che l'intero bacino del Verbano è stato oggetto delle eccezionali precipitazioni menzionate.

Nella parte inferiore dei precitati diagrammi sono state tracciate due linee orizzontali che esprimono i valori degli afflussi al lago, per i mesi di aprile e maggio, in litri al metro quadro, anziché in m³, come se tutte le precipitazioni avvenute nell'intero bacino fossero integralmente affluite al lago, senza nessuna perdita per assorbimento del terreno e variazioni del manto nevoso.

Tenuto conto che i volumi d'acqua affluiti nel lago Maggiore durante il mese di aprile sono stati pari 2.406 milioni di m<sup>3</sup> e quelli del mese di maggio sono risultati pari a 2.509 milioni di m<sup>3</sup> e ricordando che la superficie del bacino imbrifero sotteso alla traversa di Golasecca è di 6.600 km<sup>2</sup>, l'equivalente di tali afflussi, espresso in mm, risulta:

| aprile            | 365 mm |  |
|-------------------|--------|--|
| maggio            | 380 mm |  |
| e cioè in totale: | 745 mm |  |

L'acqua piovuta in aprile, in particolare in base a quanto rilevato nelle predette quattro stazioni, è risultata ben superiore rispetto a quella affluita al lago e ciò sia per l'effetto dell'assorbimento del terreno e sia, soprattutto, per il fatto che parte notevole delle precipitazioni - al di sopra di circa 1500 m s.l.m. - è avvenuta sotto forma di neve che si è accumulata, stanti le contenute temperature ambientali.

Nel mese di maggio si è verificato l'inverso per l'evidente effetto degli apporti da scioglimento del manto nevoso la cui consistenza alla fine di aprile aveva un valore record (vedasi tab. 2), quasi doppio del massimo registrato nei precedenti 16 anni (dal 1970 al 1985); di ciò si ha conferma dall'esame della tab. 3, riportante la consistenza del manto nevoso a fine maggio, che evidenzia - per effetto dell'avvenuto scioglimento - valori nettamente ridotti rispetto ai precedenti di fine aprile, allineati sulla media di anni precedenti.

Dalla considerazione dei grafici delle temperature, in particolare per i rilievi in quota (Agaro e Alpe Cavalli) si ha una ulteriore conferma degli accumuli di neve in aprile e dello scioglimento in maggio. Tale eccezionale accumulo in aprile, con contestuali basse temperature, è la causa prima dei rilevanti afflussi al lago di maggio e quindi della sua atipica permanenza, per molti giorni, a livelli dell'ordine dei 2 m sopra lo «zero» dell'idrometro di Sesto Calende, come risulta dalla fig. 10 del successivo par. 3.

Per un immediato confronto degli afflussi al lago verificatisi in questi ultimi anni, nella tabella 4 è presentato un quadro sintetico, ma molto eloquente, che evidenzia:

- l'evento record di afflussi al lago dell'aprile 1986: 2406 Mm<sup>3</sup> a fronte del massimo precedente di 1120 Mm<sup>3</sup>, verificatosi nel 1981
- l'evento record di afflussi al lago del bimestre aprile-maggio 1986: 4915 Mm<sup>3</sup> a fronte del massimo precedente di 3935 Mm<sup>3</sup>, verificatosi nel 1977.

# 3. La dinamica del lago Maggiore nell'aprile - maggio 1986

#### 3.1 DESCRIZIONE DELL'EVENTO

Elementi caratteristici di ogni evento idrologico che interessi un lago sono gli afflussi, i deflussi e gli accumuli, intesi quali differenze progressive tra gli afflussi ed i deflussi in un determinato periodo, cui è direttamente correlato il livello del pelo libero.

I deflussi dal lago Maggiore in regime libero (cioè in assenza di regolazione ad opera dello sbarramento della Miorina, quindi con paratoie completamente abbattute) sono funzione del livello del lago secondo la correlazione riportata in fig. 8.

Tale correlazione è stata determinata mediante rilievi, che vengono effettuati in modo temporalmente ricorrente, delle distribuzioni di velocità in opportune sezioni dell'emissario.

I grafici riportati nelle fig. 9 e 10 illustrano la dinamica delle diverse grandezze idrologiche, dinanzi menzionate, per il lago Maggiore nel periodo aprile - maggio 1986.

Tab. 3 - STATO DELLE NEVI NEL BACINO DEL TOCE

nel mese di maggio 1986

|                                       |                 | Altezza del    | manto nevoso al gio                     | orno (in metri) |
|---------------------------------------|-----------------|----------------|---|-----------------|
| Stazioni di misura - Altitudine       | -M-14 (1972)    | 10             | 20                                      | ultimo del mese |
| Camposecco                            | m. 2308         | 3,35           | 2,85                                    | 1,88            |
| Cingino                               | m. 2281         | 3,40           | 2,10                                    | 1,38            |
| Vannino                               | m. 2175         | 3,15           | 2,45                                    | 1,72            |
| Toggia                                | m. 2160         | 3,35           | 2,50                                    | 1,80            |
| Codelago                              | m. 1875         | 2,85           | 2,49                                    | 1,78            |
| Devero                                | m. 1640         | 2,25           | 1,55                                    | _               |
| Alpe Cavalli                          | m. 1510         | 0,92           | 0,32                                    |                 |
| Campliccioli                          | m. 1310         | 0,71           | 0,25                                    | <del>-</del>    |
| somma delle altezze di neve misurate  | - Water Control | Base Callegina | 2 - 11-                                 | 1 12 12 1       |
| nelle otto stazioni di cui sopra      |                 | 19,98          | 14,51                                   | 8,65            |
|                                       |                 |                | 1 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - | te garrente mil |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1985 |                 |                |   | 5,74            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1984 |                 |                |   | 10,85           |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1983 |                 |                |   | 11,35           |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1982 |                 |                |   | 2,44            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1981 |                 |                |   | 3,00            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1980 |                 |                |   | 6,64            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1979 |                 |                |   | 3,54            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1978 |                 |                |   | 9,97            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1977 |                 |                |   | 10,28           |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1976 |                 |                |   | 0,42            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1975 |                 |                | AV 68                                   | 7,50            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1974 |                 |                |   | 4,43            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1973 |                 |                |   | 0,86            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1972 |                 |                |   | 6,45            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1971 |                 |                |   | 3,00            |
| IDEM, alla stessa data dell'anno 1970 |                 |                |   | 5,50            |

A partire dal giorno 7 aprile 1986, in concomitanza con l'inizio di un significativo evento di pioggia, le paratoie dello sbarramento della Miorina venivano prontamente e completamente aperte e in tale stato sono rimaste sino al 9 giugno; si evidenzia che la rapidità e la tempestività della manovra mentre da un lato ha contenuto il sovralzo del lago dall'altro ha posto problemi alle opere mobili in alveo («filarole»), atte ad alimentare le derivazioni, secondo quanto richiamato nell'appendice «C».

Per effetto di tale pronta manovra il lago si incrementò limitatamente nei giorni successivi sino al 10 aprile, pervenendo a quota 1,59 m, per poi ridiscendere a quota 1,00 m in data 22 aprile. A partire dal 23 aprile iniziò la risalita del lago per effetto delle rilevanti precipitazioni - dapprima particolarmente intense nella parte ossolana e svizzera del bacino e, successivamente, nei giorni 25 e 26 aprile - generalizzate all'intero territorio. Il lago raggiunse cosí il livello massimo di 3,17 m (contro i 3,51 m che avrebbe raggiunto in assenza delle opere di abbassamento del dosso dei Murazzi effettuate dal Consorzio del Ticino negli anni 1954-1963). Il massimo afflusso, pari a 262 milioni di m³ (3028 m³/s), si verificò il 25 aprile e il massimo deflusso, di 143 milioni di m³ (1650 m³/s) tra il 27 e il 28 del mese.

Tra il 22 aprile (data di ridiscesa del livello a 1 m) e il giorno 27 (massimo livello di 3,17 m) il lago accumulò circa 456 milioni di m<sup>3</sup>.

Nelle tabelle 5 e 6 sono riportati gli andamenti simulati della piena se il lago fosse stato rispettivamente a quota 0,00 e - 0,50 m il giorno 21 aprile: si rileva che, nonostante la notevole differenza iniziale, i livelli massimi di piena non avrebbero subito rilevanti riduzioni (di 16 cm nella prima ipotesi e di 35 nella seconda).

A partire dal 28 aprile il livello del lago si ridusse abbastanza rapidamente (circa 15 cm al giorno) pervenendo, in data 5 maggio, intono ai 2,20 m, cioè a un livello sostanzialmente tollerabile.

A partire da tale quota il livello scese più lentamente, con marginali oscillazioni intorno a 2,00 m, permanendo sino al 26 maggio al di sopra di 1,90 m per il già illustrato effetto dei rilevanti afflussi connessi al disgelo di eccezionali nevicate.

Sulle pendici delle Alpi, che scendono verso il bacino del lago Maggiore, sono stati costruiti - nell'arco temporale dal 1911 al 1971 - serbatoi idroelettrici per una capacità totale lorda di oltre 600 milioni di m³ (circa 170 milioni in territorio italiano e 430 in territorio svizzero) secondo la ripartizione altimetrica riportata nella tabella 7 e i dettagli specificati nell'appendice A; in relazione alle possibili influenze derivanti dalla gestione dei medesimi sui livelli di piena del lago Maggiore ed ai fini di successive considerazioni, si ritiene opportuno completare la panoramica riportando, in tab. 8, l'andamento degli invasi verificatesi nei mesi di aprile e maggio 1986; purtroppo non è stato possibile ottenere le predette informazioni scomposte per i singoli bacini; dall'esame delle risultanze riportate nella tabella 8 si evince che durante il trascorso evento di piena i serbatoi montani non hanno offerto, sostanzialmente, alcun contributo di smorzamento o «laminazione» della piena.

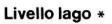
#### 3.2 COMPARAZIONI CON I TRE ANTECEDENTI EVENTI DI PIENA

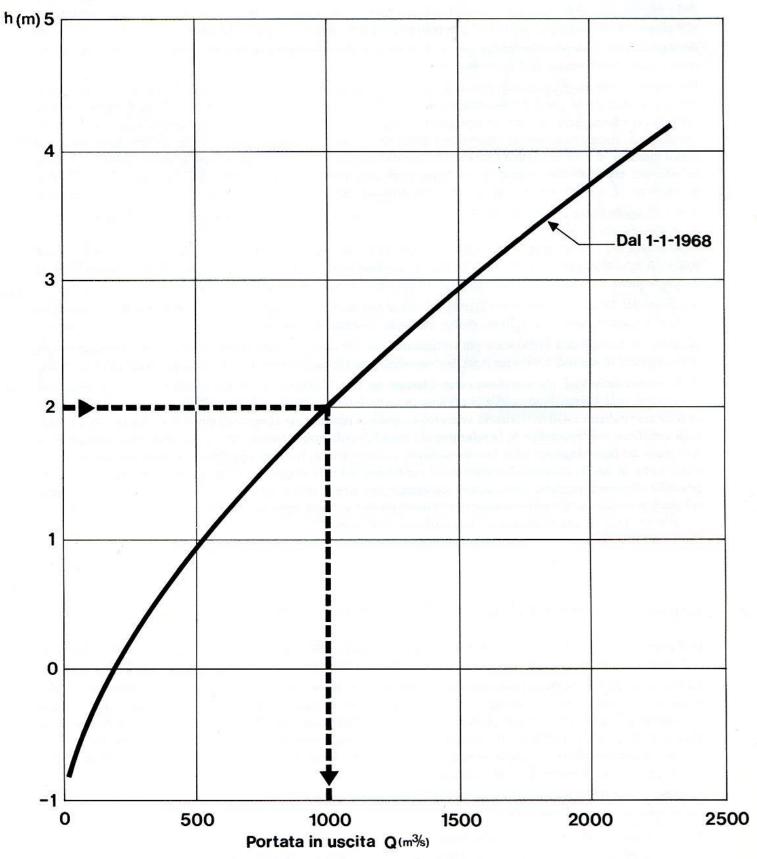
Può essere utile raffrontare l'accadimento dell'aprile - maggio 1986 con l'evoluzione di alcuni altri eventi di piena (4), in particolare di quelli immediatamente antecedenti, della primavera 1983 e degli autunni 1981 e 1979.

Le figure 11,12 e 13 riportano la dinamica dei predetti eventi; la loro considerazione consente interessanti deduzioni generali e, innanzitutto, la constatazione che la rapidità con la quale aumentano gli afflussi è maggiore in autunno rispetto alla primavera (piogge più violente e nessun effetto laminante dei serbatoi di montagna perché vicini al massimo invaso); a tale fenomeno si accompagna anche una diminuzione veloce della esondazione, non appena cessano le precipitazioni, in quanto non si ha l'effetto dello scioglimento primaverile della neve, che si protrae per alcune decine di giorni fino ad esaurimento.

La tabella 9 riepiloga, per facilitare il confronto, gli elementi salienti dei quattro precitati eventi di piena ed evidenzia le seguenti ulteriori circostanze:

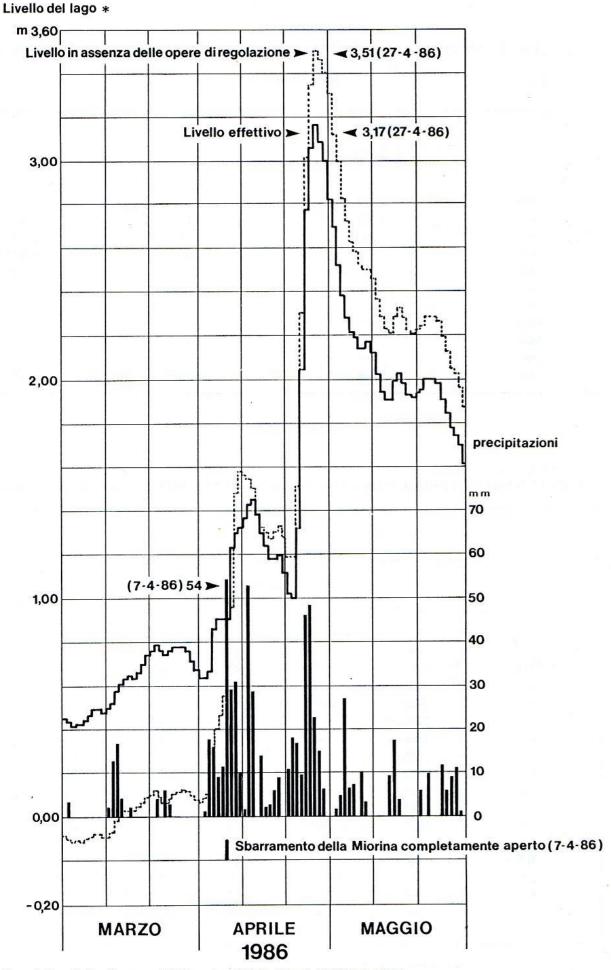
I gli afflussi totali primaverili sono superiori (del 30 ÷ 40%) rispetto a quelli autunnali ma, per quanto già detto, piú «diluiti nel tempo»; per essi sussiste inoltre una buona correlazione di dipendenza con il manto nevoso, pur avendo una preminente influenza l'evento delle precipitazioni temporalmente contestuali. Ad esempio l'indice del manto nevoso di cui alle stazioni indicate nella tab. 2 aveva il valore 13,23 (prossimo ai massimi del periodo 1970 ÷ 1985) alla fine dell'aprile 1983 (evento di piena n° 3) ed ammontava a 26.67 al 30.04.1986;





<sup>\*</sup> Altezze idrometriche riferite allo «zero» dell'idrometro di Sesto Calende (193,016 m s.l.m.)

Fig. 8: Scala delle portate effluenti sul Ticino con riferimento all'idrometro di Sesto Calende.



<sup>\*</sup> Altezze idrometriche riferite allo «zero» dell'idrometro di Sesto Calende (193,016 m s.l.m.)

Fig. 9: Livelli del lago Maggiore e precipitazioni rilevate dal C.N.R. a Ispra.

Tab. 4 - AFFLUSSI AL LAGO MAGGIORE DURANTE I MESI DI APRILE-MAGGIO Serie storica 1976 - 1986

| Anno | Aprile        | Maggio        | Totale        |
|------|---------------|---------------|---------------|
|      | milioni di m³ | milioni di m³ | milioni di m³ |
| 1976 | 444           | 596           | 1.040         |
| 1977 | 1.008         | 2.927         | 3.935         |
| 1978 | 892           | 1.655         | 2.547         |
| 1979 | 625           | 1.047         | 1.672         |
| 1980 | 487           | 836           | 1.523         |
| 1981 | 1.120         | 1.402         | 2.522         |
| 1982 | 484           | 901           | 1.385         |
| 1983 | 895           | 2.795         | 3.688         |
| 1984 | 622           | 1.706         | 2.328         |
| 1985 | 795           | 1.628         | 2.423         |
| 1986 | 2.406         | 2.509         | 4.915         |

Tab. 5 - ANDAMENTO DELLA PIENA 21.4 - 10.5.86 COL LAGO SIMULATO A QUOTA m 0,00 IL 21.4.86

| Data | QA   | Qa-Qd          | ΔН             | Hsim   | Q⊅   | Heff |
|------|------|----------------|----------------|--------|------|------|
| Ш    | m³/s | m³/s           | cm             | m      | m³/s | m    |
| 21.4 |      |                |                | 0,00   | 241  | 1,02 |
| 22.4 | 497  | + 256          | +11            | 0,11   | 269  | 1,00 |
| 23.4 | 1386 | +1117          | +46            | 0,57   | 397  | 1,32 |
| 24.4 | 2598 | + 2201         | +91            | 1,48   | 747  | 2,04 |
| 25.4 | 3028 | + 2281         | + 94           | 2,42   | 1228 | 2,78 |
| 26.4 | 2202 | + 974          | +40            | 2,82   | 1461 | 3,06 |
| 27.4 | 1909 | + 448          | + 19           | [3,01] | 1576 | 3,17 |
| 28.4 | 1456 | <b>— 120</b>   | — 5            | 2,96   | 1546 | 3,09 |
| 29.4 | 1352 | — 194          | — 8            | 2,88   | 1497 | 2,99 |
| 30.4 | 1126 | <b>— 371</b>   | —15            | 2,73   | 1408 | 2,83 |
| 1.5  | 1085 | <b>— 323</b> · | —13            | 2,60   | 1331 | 2,69 |
| 2.5  | 1022 | <b>— 309</b>   | <del>-13</del> | 2,47   | 1257 | 2,53 |
| 3.5  | 911  | — 346          | —14            | 2,33   | 1178 | 2,39 |
| 4.5  | 940  | — 238          | —10            | 2,23   | 1123 | 2,22 |
| 5.5  | 966  | — 157          | <b>—</b> 6     | 2,17   | 1090 | 2,20 |
| 6.5  | 1062 | <b>— 28</b>    | <b>— 1</b>     | 2,16   | 1085 | 2,14 |
| 7.5  | 944  | — 141          | <b>—</b> 6     | 2,10   | 1054 | 2,14 |
| 8.5  | 1073 | + 19           | + 1            | 2,11   | 1059 | 2,18 |

N.B. - Per il significato dei simboli vedere pag. 32

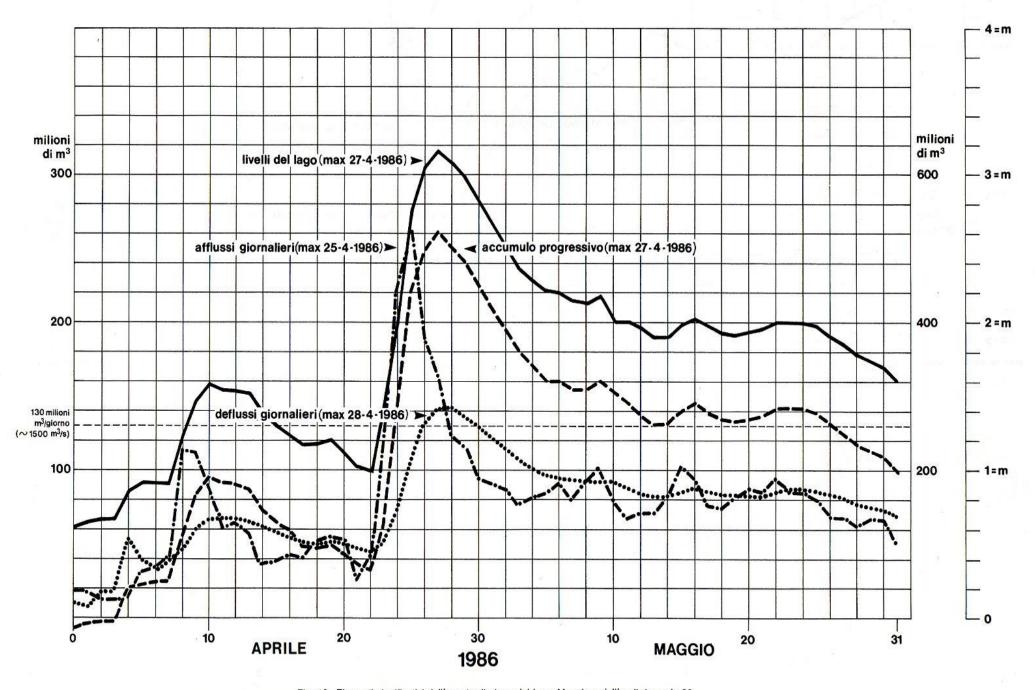


Fig. 10: Elementi significativi dell'evento di piena del Lago Maggiore dell'aprile/maggio 86.

Tab. 6 - ANDAMENTO DELLA PIENA 21.4 - 10.5.86 COL LAGO SIMULATO A QUOTA m -0,50 IL 21.4.86

| Data        | QA   | Qa-Qd        | ΔН         | Hsim   | QD   | Heff |
|-------------|------|--------------|------------|--------|------|------|
| e dia see o | m³/s | m³/s         | cm         | m      | m³/s | m    |
| 21.4        |      |              |            | -0,50  | 132  | 1,02 |
| 22.4        | 497  | + 365        | + 15       | -0,35  | 162  | 1,00 |
| 23.4        | 1386 | + 1224       | + 50       | +0,15  | 279  | 1,32 |
| 24.4        | 2598 | +2319        | + 95       | +1,10  | 582  | 2,04 |
| 25.4        | 3028 | + 2446       | +101       | +2,11  | 1059 | 2,78 |
| 26.4        | 2202 | +1143        | + 47       | + 2,58 | 1320 | 3,06 |
| 27.4        | 1909 | + 589        | + 24       | +2,82  | 1461 | 3,17 |
| 28.4        | 1456 | <b>—</b> 5   |            | +2,82  | 1461 | 3,09 |
| 29.4        | 1352 | — 109        | — 5        | + 2,77 | 1431 | 2,99 |
| 30.4        | 1126 | — 305        | —12        | +2,65  | 1361 | 2,83 |
| 1.5         | 1085 | — 276        | -11        | +2,54  | 1297 | 2,69 |
| 2.5         | 1022 | — 275        | —11        | +2,43  | 1234 | 2,53 |
| 3.5         | 911  | <b>—</b> 323 | —13        | +2,30  | 1161 | 2,39 |
| 4.5         | 940  | — 221        | <b>—</b> 9 | +2,21  | 1112 | 2,29 |
| 5.5         | 966  | — 146        | — 6        | +2,15  | 1080 | 2,22 |
| 6.5         | 1062 | — 18         | — 1        | +2,14  | 1073 | 2,20 |
| 7.5         | 944  | — 129        | <b>—</b> 5 | +2,09  | 1049 | 2,14 |
| 8.5         | 1073 | + 24         | + 1        | +2,10  | 1054 | 2,14 |
| 9.5         | 1182 | + 128        | + 5        | +2,15  | 1080 | 2,18 |
| 10.5        | 934  | — 146        | <b>—</b> 6 | +2,09  | 1049 | 2,12 |

N.B. - Per il significato dei simboli vedere pag. 32

Tab. 7 - RIPARTIZIONE DEGLI INVASI MASSIMI DEI BACINI IDROELETTRICI GRAVITANTI SUL LAGO MAGGIORE

| Intervallo di altitudine | Sette | ore italiano               | Sette | ore svizzero               | Totale |                           |  |
|--------------------------|-------|----------------------------|-------|----------------------------|--------|---------------------------|--|
| del coronamento          | n.    | invasi in<br>milioni di m³ | n.    | invasi in<br>milioni di m³ | n.     | invasi in<br>milioni di m |  |
| 200 ÷ 500 m s.l.m.       | 1     | 1,00                       | 2     | 109,8                      | 3      | 110,80                    |  |
| 501 ÷ 800 m s.l.m.       | -     |                            | 8     |                            | _      | _                         |  |
| 801 ÷ 1100 m s.l.m.      | 2     | 1 5,72                     | 1     | 4,1                        | 3      | 19,82                     |  |
| 1101 ÷ 1400 m s.l.m.     | 1     | 8,94                       | _     | _                          | 1      | 8,94                      |  |
| 1401 ÷ 1700 m s.l.m.     | 2     | 28,21                      | 3     | 155,3                      | 5      | 183,51                    |  |
| 1701 ÷ 2000 m s.l.m.     | 3     | 37,25                      | 5     | 65,4                       | 8      | 102,65                    |  |
| oltre 2000 m s.l.m.      | 9     | 84,61                      | 5     | 97,1                       | 14     | 181,71                    |  |
| Totali                   | 18    | 175,73                     | 16    | 431,7                      | 34     | 607,43                    |  |

Tab. 8 - ANDAMENTO DEGLI INVASI DEI SERBATOI IDROELETTRICI NEL PERIODO DAL 31 MARZO AL 2 GIUGNO 1986

| Data                | Settore in    | taliano       | Settore s                   | vizzero  |
|---------------------|---------------|---------------|-----------------------------|----------|
| 1986                | milioni di m³ | % del massimo | del massimo milioni di m³ % |          |
| 31.3                | 32,5          | 19            | 61                          | 14       |
| 7.4                 | 30,4          | 18            | 61                          | 14       |
| _ 14.4              | 29,5          | 17            | 57                          | 13       |
| $1 \overline{21.4}$ | 26,6          | 15,5          | 46                          | 7 - 71 7 |
| 1 28.4              | 28,8          | 17            | 53                          | 121      |
| 5.5                 | 31,4          | 18            |                             | 13,5     |
| 12.5                | 33,3          | 19,6          | 65                          | 15       |
| 19.5                | 43,3          | 25,5          | 84                          | 19,5     |
| 26.5                | 66,3          | 39            | 106                         | 24,6     |
| 2.6                 | 73,3          | 43            | 133                         | 31       |

II i livelli massimi del lago raggiungono durante le piene primaverili valori in genere inferiori a quelli degli eventi autunnali, ma permangono di più, sempre per il fatto della maggiore diluizione degli afflussi. Si riportano, ad esempio, i valori raggiunti in alcune piene degli anni passati:

1951 - maggio: quota massima 2,73 m 1951 - novembre: quota massima 3,83 m 1953 - ottobre: quota massima 2,82 m 1960 - settembre: quota massima 3,24 m 1963 - novembre: quota massima 3,45 m 1965 - ottobre: quota massima 3,03 m 1968 - novembre: quota massima 3,68 m 1976 - ottobre: quota massima 2,90 m 1977 - maggio: quota massima 3,53 m 1977 - ottobre: quota massima 3,47 m 1979 - ottobre: quota massima 3,61 m 1981 - settembre: quota massima 3,88 m 1983 - maggio: quota massima 3,37 m

III i volumi di afflussi che determinano esondazioni oltre i 2,40 m sopra lo zero dell'idrometro di Sesto Calende (cioè con apprezzabili conseguenze per il territorio) sono dell'ordine di grandezza di 1500 ÷ 2000 milioni di m<sup>3</sup> e fanno sentire i loro effetti per circa 7 + 10 giorni.

Tab. 9 - RIEPILOGO DI ELEMENTI SIGNIFICATIVI DI EVENTI DI PIENA DAL 1979 IN POI

| Evento di piena |                      | Evento di piena  Afflussi al lago milioni di m³ (1) |                            |                 | N. giorni con livello lago superiore a m: |      |      |      |      |
|-----------------|----------------------|---|----------------------------|-----------------|---|------|------|------|------|
| n.              | periodo              | totali  | max. giornaliero<br>(data) | m<br>(data)     | 2,20                                      | 2,40 | 2,60 | 2,80 | 3,00 |
| 1               | 15 ÷ 23 ott. 79      | 1396  | 358 (15 ott. 79)           | 3,61 (17 ott.)  | 8   | 7    | 6    | 5    | 4    |
| 2               | 24 sett. ÷ 4 ott. 81 | 1535  | 304 (28 sett. 81)          | 3,88 (28 sett.) | 11  | 9    | 6    | 5    | 5    |
| 3               | 16 ÷ 29 maggio 83    | 1957  | 307 (16 maggio)            | 3,37 (23 mag.)  | 13  | 12   | 10   | 8    | 7    |
| 4               | 24 apr. ÷ 10 mag. 86 | 2055  | 261 (25 aprile)            | 3,17 (27 apr.)  | 11  | 8    | 7    | 5    | 3    |

(1) a partire dal livello 2,00 m sopra lo «zero» dell'idrometro di Sesto Calende e sino al ritorno a tale valore.

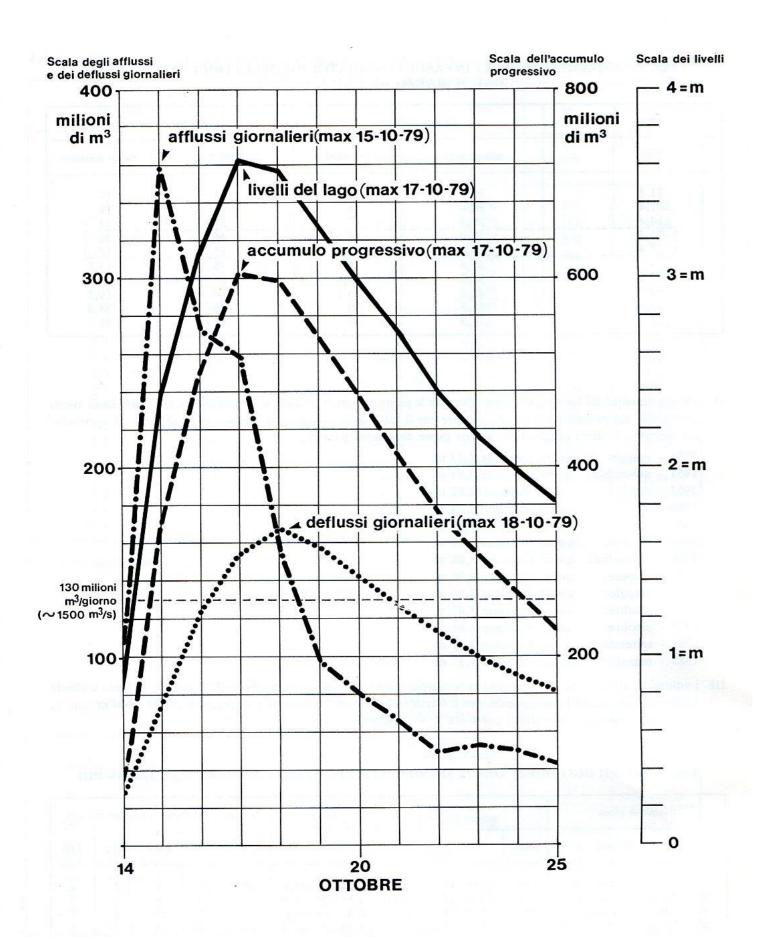


Fig. 11: Evento di piena dell'autunno 1979.

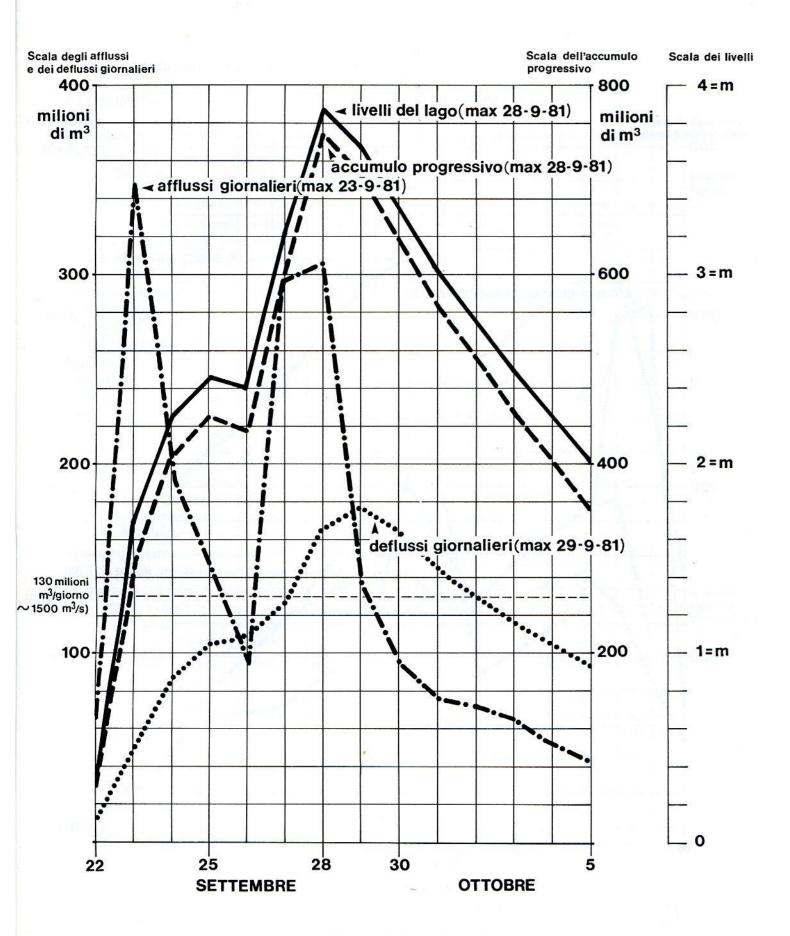


Fig. 12: Evento di piena dell'autunno 1981.

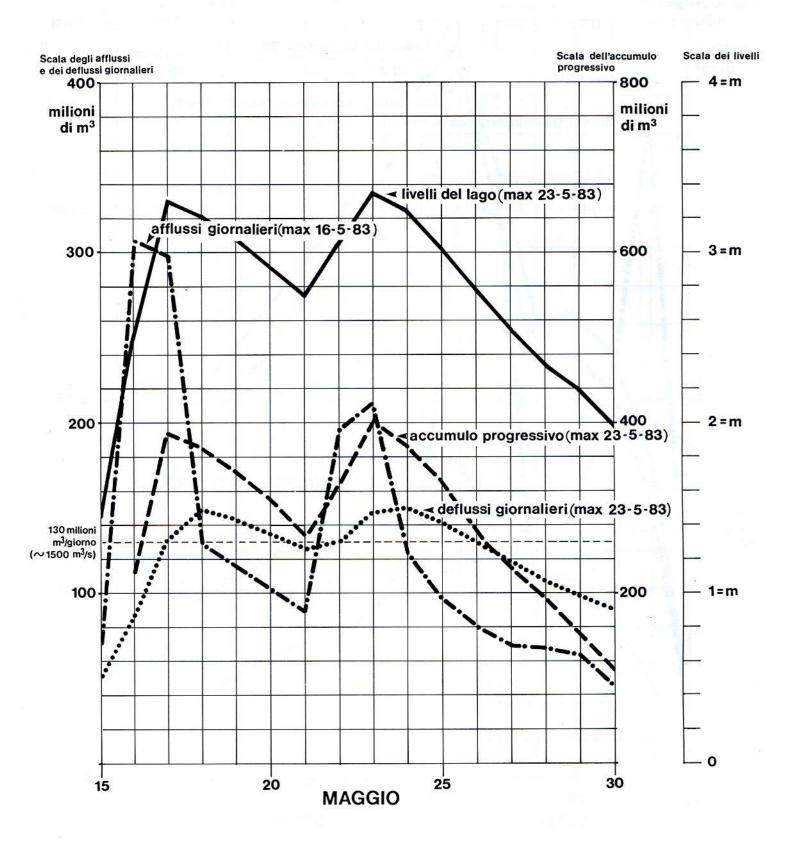


Fig. 13 Evento di piena della primavera 1983.

#### 4. Il tema della riduzione delle esondazioni

#### 4.1 DEFINIZIONE DEL SISTEMA E DEI «CONFLITTI» TRA I SUOI COMPONENTI

E' noto che la gestione, e il relativo controllo, dei sistemi realizzanti generici processi si ispira ai seguenti principi (esposti in ordine di priorità):

- sicurezza, consistente nella tutela o salvaguardia del sistema stesso e degli altri coinvolti;
- soddisfacimento delle esigenze per cui è previsto il sistema;
- economicità, intesa come minimizzazione dei costi a parità di esigenze o come massimizzazione degli effetti utili.
- E' altresí noto che i momenti fondamentali di un sistema di supervisione e controllo consistono:
- a) nella conoscenza fisica del sistema controllato in modo aggiornato per eventuali modificazioni;
- b) nella conoscenza del suo comportamento in dipendenza di diverse evenienze e azioni sul medesimo;
- c) nella predizione di eventi e conseguente predisposizione di assetti ed azioni;
- d) nella conoscenza, in tempo reale, dello stato (cioè di parametri significativi) e della tendenza delle sue variabili indipendenti;
- e) nelle azioni di controllo (in eventi normali e in quelli eccezionali);
- f) nella consuntivizzazione ed elaborazione degli accadimenti.

Nel caso in esame il sistema è costituito da:

- un grande bacino imbrifero (di «monte»), avente l'estensione di circa 6600 km² (di cui 3230 km² in Italia e 3370 km² nella Confederazioane Svizzera), ricadente in due diversi Stati (cioè in due sistemi politici), in cui sono presenti sottosistemi imbriferi ed idroelettrici (capacità totale degli invasi idroelettrici pari a 607 milioni di m³ in 34 serbatoi a diversa quota), ripartiti come illustrato nella appendice A;
- un lago (il Maggiore) avente la funzione di raccolta degli afflussi (naturali diretti e naturali regolati dai bacini di monte), di accumulo e di convogliamento in un unico emissario;
- una zona di valle (il confine è logicamente rappresentato dallo sbarramento artificiale regolabile e abbattibile della «Miorina»), in cui scorre l'emissario (fiume Ticino, che si sviluppa per circa 90 km sino alla confluenza con il Po), interessata da canali artificiali alimentati dal bacino di monte (direttamente o tramite l'emissario) con finalità irrigue ed energetiche.

Sussistono pertanto in linea di principio (...ed anche reale!) molteplici motivi di «conflitto» tra singoli sottosistemi; i principali possono essere cosi riassunti [2], [3]:

- I tra bacini di monte e bacini di valle:
  - i bacini e i laghi di monte (Lugano, Orta, Mergozzo, ecc.) tendono a mantenersi in condizioni ottimali (per evitare allagamenti transitori, per il turismo, per la navigazione, per scarichi da depurazioni, ecc.) riversando sul lago Maggiore le conseguenze;
  - gli abitanti rivieraschi del lago Maggiore ambiscono una riduzione delle esondazioni mediante maggiori deflussi nel fiume Ticino;
  - il territorio a valle dello sbarramento, per molteplici motivi (anche in relazione alla attuazione di Parchi naturali lungo entrambe le sponde del Ticino), è interessato a contenere elevati afflussi dal lago Maggiore, in particolare per evitare erosioni spondali (con rischi per manufatti e modificazioni per il territorio) e allagamenti con pregiudizi per zone con insediamenti ed agricole;
- II tra sistemi idroelettrici e il restante territorio: gli impianti idroelettrici, in particolare quelli a monte del lago Maggiore, vantano e sostengono la indipendenza della loro logica di gestione da altre esigenze di valle;
- III tra sistemi irrigui e gli invasi di monte: le reti irrigue di valle tendono a privilegiare le loro (invero non marginali nell'interesse collettivo) esigenze nei confronti della gestione degli accumuli di monte.

La predetta conflittualità è regolata:

- da preesistenze storico orografiche: ad esempio il fatto che lo sbarramento della Miorina, con l'abbassamento di monte - al dosso dei Murazzi - non ha peggiorato (anzi, in molti eventi, lo ha migliorato) lo stato di monte; non può legittimare ulteriori interventi artificiali pregiudizievoli per il sottosistema di valle;
- da «convenzioni», quali le concessioni idroelettriche, suscettibili (almeno alla loro scadenza) di modifiche per volontà politica con effetti di tipo economico-energetici;

 da rapporti di «buon vicinato», tra monte e valle e tra nazioni coinvolte, in vista di contemperare le diverse esigenze entro prefissati vincoli politici-economici e ciò mediante scelte pertinenti la gestione dell'esistente e la realizzazione di nuove opere.

È nel contesto dello scenario, sia pur sinteticamente, sopra richiamato che devono essere analizzati ipotetici interventi migliorativi. In questo paragrafo si tratterà delle possibili (in linea di principio) direttrici di azione tendenti a ridurre le esondazioni, mentre nel successivo si svilupperanno considerazioni relative alla opportunità di realizzare un organico sistema di supervisione dell'intero bacino mediante telerilevamento di grandezze idrologiche e l'utilizzo di previsioni meteorologiche.

#### 4.2 GLI INTERVENTI (TEORICAMENTE) IPOTIZZABILI

Le azioni atte a contenere l'entità delle esondazioni (non ad eliminarle!) si basano sulle seguenti direttrici attuabili e gestibili sia congiuntamente che disgiuntamente:

- variazione della caratteristica di deflusso dal lago mediante opere atte ad incrementare la sezione con o senza abbassamento della soglia;
- diversa gestione di bacini esistenti a monte e/o realizzazione di altri a fini di laminazione.

In ordine alla prima eventualità può essere opportuno riferirsi, a titolo esemplificativo, ad una alternativa prospettata dai rappresentanti della Commissione svizzera nel gruppo di lavoro misto italo-svizzero per studi sulla regolazione del lago Maggiore.

La fig. 14 riporta tale proposta che è caratterizzata da un incremento della capacità di deflusso dal lago di 300 m³/s a partire dalla altezza di 1,00 m sopra lo zero dell'idrometro di Sesto Calende e sino al raggiungimento di 1600 m³/s, cioè del livello di circa 2,50 m rispetto al predetto riferimento.

A partire da tale quota è ipotizzato il mantenimento, della portata di 1600 m³/s mediante graduale manovra di riduzione delle maggiori sezioni di efflusso, in modo da riportarsi alla attuale scala di deflusso. In buona sostanza l'ipotesi prevede la possibilità di anticipare, aumentandolo, lo svaso dal lago fino al raggiungimento di una portata nell'emissario di 1600 m³/s, assunta come limite ritenuto sopportabile dal territorio di valle (lungo il fiume Ticino), realizzando cosí vantaggi per entrambi i sistemi (di monte e di valle), per poi tornare alla attuale situazione per livelli del lago superiori ai 3 m.

Sulla base di tale ipotesi si è proceduto a determinare la dinamica degli efflussi e dei livelli per i quattro eventi di piena già considerati; la fig. 15 riporta l'evoluzione del livello (linee a punti) nell'ipotesi menzionata posta a confronto con l'andamento effettivo del livello (linee a tratto continuo).

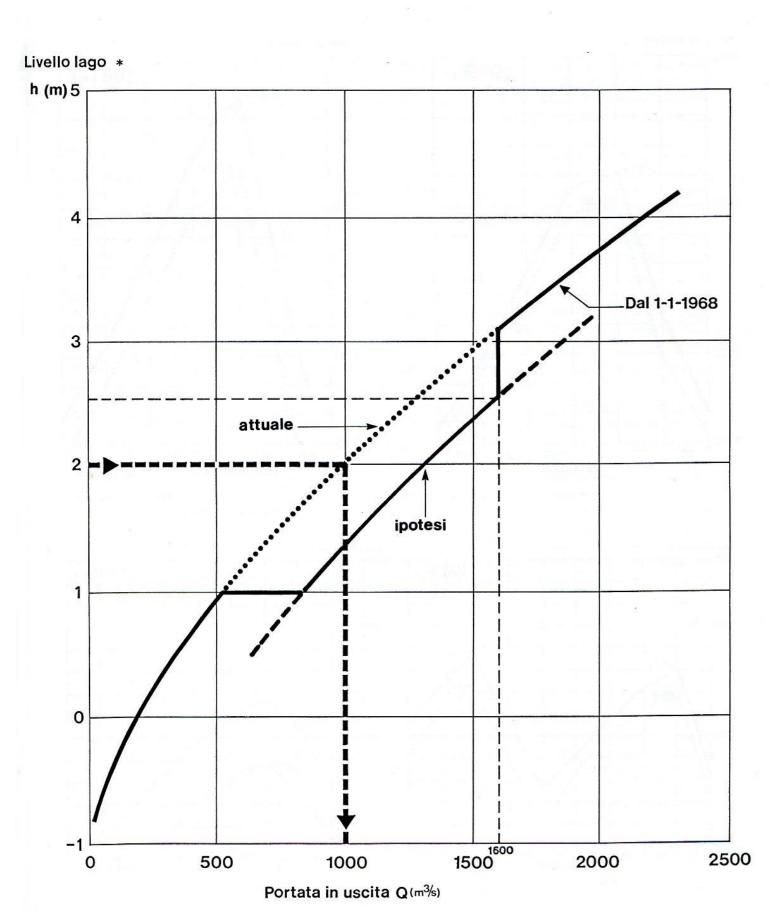
Nella tabella 10 (righe B) sono riepilogati gli elementi salienti dei calcoli sviluppati per i quattro eventi oggetto della precedente tab. 9, di cui sono trascritte le risultanze effettive nelle righe «A».

La comparazione degli elementi corrispondenti tra lo stato attuale (righe «A») e l'ipotesi formulata (righe «B») evidenzia che la prospettata modifica degli efflussi:

- I riduce in modo non rilevante il picco massimo del livello del lago (di 29 cm, da 3,17 m a 2,88 m, nel recente evento dell'aprile-maggio 1986);
- II riduce in modo marginale il numero di giorni con pelo libero del lago al di sopra di 2,40 m (nella predetta circostanza di due giorni, da 8 a 6);
- III determina vantaggi solo in termini di più brevi tempi di ritorno del livello del lago al di sotto dei 2,00 m; con riferimento agli accadimenti dell'aprile maggio 1986 si sarebbe ritornati a quota di 1,50 m (sullo zero dell'idrometro di Sesto Calende) al 10 maggio anziché al 1 giugno 1986.

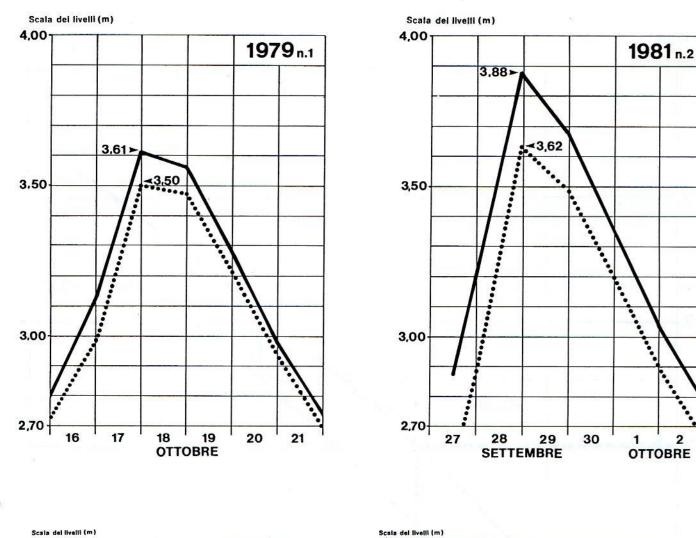
Da quanto sopra esposto si evince la limitata efficacia migliorativa di opere che appaiono essere caratterizzate da rilevanti investimenti e non facili soluzioni attuative.

Può essere quindi opportuno un tentativo, di primo approccio stanti le notevoli problematiche economiche e di compatibilità con altre esigenze (energetiche, di reperimento dei siti per ipotetici realizzandi bacini di laminazione), atto a valutare gli effetti di una diversa gestione (solo nei periodi di probabili eventi di piena) dei già richiamati bacini esistenti a livelli superiori al lago Maggiore e della eventuale complementare realizzazione di nuovi con scopi di laminazione.



\* Altezze idrometriche riferite allo «zero» dell'idrometro di Sesto Calende (193,016 m s.l.m.).

Fig. 14: Ipotesi di variazione della curva di deflusso del lago Maggiore: l'attuale campo indicato con •••• è previsto sostituito con la funzione rappresentata dalla linea a tratto continuo riportata a destra.



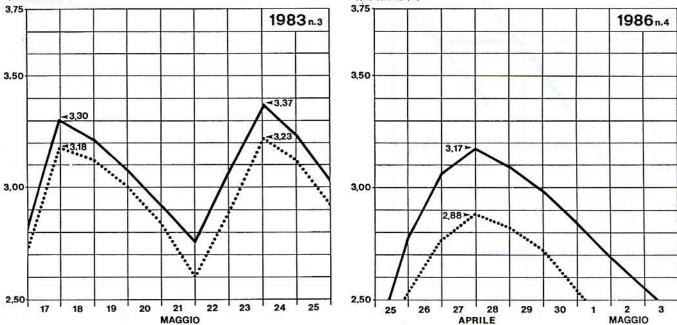


Fig. 15: Recenti eventi di piena: confronto della evoluzione degli effettivi livelli (linee a tratto continuo) con quelli simulati (indicati con linea punteggiata) secondo l'ipotesi di variazione della curva di deflusso riportata in fig. 14.

Tab. 10 - RIEPILOGO DI GRANDEZZE SIGNIFICATIVE, EFFETTIVE E SIMULATE, PER GLI EVENTI DI PIENA DEGLI ANNI 1979, 1981, 1983 E 1986

|    | N. e                    | vento, epoca e   |        | issi al lago<br>oni di m³) | Livello max.    | N. gio | rni con l | ivello lago | superio | re a m |
|----|-------------------------|--|--------|----------------------------|-----------------|--------|-----------|-------------|---------|--------|
|    |                         | tione considerata  | Totali | max. giornaliero<br>data   | (data)          | 2,20   | 2,40      | 2,60        | 2,80    | 3,00   |
| 1A | •                       | attuale curva<br>di deflusso   | 1396   | 358 (15/10)                | 3,61<br>(17/10) | 8      | 7         | 6           | 5       | 4      |
| 1B | 15-23 ottobre 1979      | deflusso aumentato<br>secondo l'ipotesi<br>della fig. 14                 | 1396   | 358 (15/10)                | 3,50<br>(17/10) | 7      | 6         | 5           | 5       | 3      |
| 1C | 15-23 ot                | deflusso aumentato<br>e utilizzo di<br>ipotetici serbatoi<br>di accumulo | 1396   | 328 (15/10)                | 3,30<br>(17/10) | 6      | 5         | 4           | 4       | 2      |
| 2A | 1981                    | attuale curva<br>di deflusso   | 1535   | 304 (28/09)                | 3,88<br>(28/09) | 11     | 9         | 6           | 5       | 5      |
| 2B | 4 ottobre 1981          | deflusso aumentato<br>secondo l'ipotesi<br>della fig. 14                 | 1535   | 304 (28/09)                | 3,62<br>(28/09) | 8      | 6         | 5           | 5       | 3      |
| 2C | 24 settembre -          | deflusso aumentato<br>e utilizzo di<br>ipotetici serbatoi<br>di accumulo | 1535   | 275 (28/09)                | 3,50<br>(28/09) | 6      | 4         | 4           | 4       | 2      |
| 3A | 3                       | attuale curva<br>di deflusso   | 1957   | 307 (16/05)                | 3,37<br>(23/05) | 13     | 12        | 10          | 8       | 7      |
| 3B | maggio 1983             | deflusso aumentato<br>secondo l'ipotesi<br>della fig. 14                 | 1957   | 307 (16/05)                | 3,23<br>(23/05) | 11     | 10        | 10          | 8       | 5      |
| 3C | 16-29 m                 | deflusso aumentato<br>e utilizzo di<br>ipotetici serbatoi<br>di accumulo | 1957   | 269 (17/05)                | 3,03<br>(17/05) | 11     | 7         | 4           | 2       | 1      |
| 4A | 9861                    | attuale curva<br>di deflusso   | 2055   | 261 (25/04)                | 3,17<br>(27/04) | 11     | 8         | 7           | 5       | 3      |
| 4B | aprile - 10 maggio 1986 | deflusso aumentato<br>secondo l'ipotesi<br>della fig. 14                 | 2055   | 261 (25/04)                | 2,88<br>(27/04) | 7      | 6         | 4           | 2       | -      |
| 4C | 24 aprile - 10          | deflusso aumentato<br>e utilizzo di<br>ipotetici serbatoi<br>di accumulo | 2055   | 231 (25/04)                | 2,67<br>(26/04) | 5      | 4         | 2           |         |        |

Si sottolinea, innanzitutto, che per gli eventi di piena trascorsi (ed anche in generale) non è stato possibile, sino ad ora, al Consorzio del Ticino di ottenere organiche e dettagliate informazioni sulla dinamica della gestione dei singoli bacini italiani e svizzeri, in particolare per le portate giornalmente scaricate.

È questo un elemento importante che forma oggetto delle considerazioni del successivo par. 5.

In tale situazione, al fine di evidenziare i possibili effetti di una coordinata gestione di bacini di monte, non sussiste possibilità diversa da quella di ipotizzare una generica (ma ragionevole!) capacità di accumulo ubicata e gestibile in modo appropriato per contenere le esondazioni del lago e, conseguentemente, le piene nell'emissario Ticino. In quest'ottica appare congruente la supposizione di disporre di una capacità di «manovra» di circa 200 milioni di m³ (da raffrontare con quella di 600 milioni di m³ dei già menzionati serbatoi idroelettrici e con quella di 24 milioni di m³ corrispondente ad una variazione di livello del lago di Lugano di 50 cm).

Nell'ipotesi di disponibilità della predetta capacità di accumulo, si è proceduto a simulare la ottimizzazione della sua gestione, assumendo il contestuale incremento dei deflussi di cui alla fig. 14, in occasione dei quattro eventi di piena già analizzati. I risultati, in termini di effetti sul livello massimo del lago e sulla durata dei livelli significativi già presi in esame, sono riportati nella tabella 10 alle righe «C». Le risultanze evidenziano discreti, ma non risolutivi, vantaggi in termini di riduzione dell'entità delle esondazioni, sia per i livelli che per la durata. Nella simulazione è stato ipotizzato che la capacità aggiuntiva di 200 milioni di m³ venga riempita e vuotata durante il periodo della piena: di conseguenza i valori totali degli afflussi rimangono invariati.

È stata anche effettuata un'altra simulazione intesa a determinare le capacità, a monte del lago Maggiore, necessarie per limitare l'esondazione del lago a quota +2,50 m sopra lo zero dell'idrometro di Sesto Calende, che corrisponde ad una sommersione di mezzo metro oltre il limite demaniale.

Per i quattro eventi di piena, già considerati, sono stati valutati necessari:

- accumuli di 360 milioni di m³ per la piena autunno '79;
- accumuli di 410 milioni di m³ per la piena autunno '81;
- accumuli di 418 milioni di m³ per la piena primavera '83;
- accumuli di 260 milioni di m³ per la piena primavera '86.

Si tratta quindi di imponenti valori di accumulo da raccogliere — per evidenti esigenze di impluvio — in opportune localizzazioni distribuite sul territorio a quote altimetriche inferiori agli 800 ÷ 1000 m (preferibilmente intorno ai 300 ÷ 500 m s.l.m.); il contributo degli esistenti bacini idroelettrici non può che essere modesto in quanto — come evidenziato dalla tab. 7 — le presenti capacità al di sotto degli 800 m s.l.m. ammontano a circa 110 milioni di m³ e sono concentrate nel territorio svizzero. Si evidenzia inoltre la sostanziale difficoltà orografica per il reperimento di nuovi siti, ubicati in posizione opportuna rispetto al lago, idonei per realizzare ulteriori bacini di accumulo.

Con un'altra simulazione, relativa all'evento di piena della primavera 1986 è stato valutato:

- a) il colmo di piena qualora all'inizio della risalita rapida (21 aprile 86) il lago si fosse trovato a quota 0,00 m rispetto allo zero dell'idrometro di Sesto Calende, anziché a quota +1,02 m come di fatto accaduto;
- b) il tempo di anticipo per l'abbattimento delle paratoie, per raggiungere la quota di circa 0,00 m al 21 aprile nell'ipotesi di deflussi incrementati secondo la fig. 14 anche per quote inferiori a 1 m.

I risultati di questa simulazione sono raccolti nelle tabelle 11 e 12; il lago sarebbe pervenuto a 2,63 metri, in assenza di disponibilità di capacità di accumulo a monte; in presenza delle ipotizzate capacità a monte di 200 milioni di m³ si sarebbe potuto contenere il livello massimo del lago a 2,20 m sullo zero dell'idrometro di Sesto Calende, cioè ad un valore accettabile. Si evidenzia che per attuare tali eventualità si sarebbe dovuto abbattere le paratoie il 31/3, cioè con 20 giorni di anticipo rispetto ad un ipotetico evento difficile da prevedere.

Per non trovarsi col lago vuoto all'inizio della stagione irrigua di primavera-estate, quando maggiori sono le necessità d'acqua per l'irrigazione, si dovrebbe disporre di un servizio di previsioni metereologiche capace di dare informazioni puntuali su territori relativamente piccoli con un anticipo di almeno tre settimane; l'affidabilità di tali previsioni deve essere a tutta prova per garantire riserve d'acqua per coprire vasti territori irrigui in pianura. Si rammenta che l'ipotesi fatta prevede una bocca emissaria con una capacità di deflusso aumentata di circa 300 m<sup>3</sup>/s rispetto alla situazione attuale e la disponibilità di una capacità di accumulo, a monte del lago Maggiore pari a 200 milioni di m<sup>3</sup>.

La realizzazione di tutte queste condizioni appare scontrarsi con difficoltà attuative e previsionali di grande rilevanza sia per vincoli territoriali ed aspetti di impatto ambientale, sia per impossibilità di previsioni metereologiche a largo anticipo.

Tab. 11 - SIMULAZIONE DELL'EVENTO DI PIENA 21 APRILE - 10 MAGGIO 1986 SECONDO L'IPOTESI DI DEFLUSSO DELLA FIG. 14 E CON GESTIONE DI CAPACITÀ DI ACCUMULO A MONTE DI 200 M m³

| Data | Heff | Afflussi | QA           | Qar            | Qar-Qm       | ΔΗ         | Hsim  | QD   | Qм   |
|------|------|----------|--------------|----------------|--------------|------------|-------|------|------|
| -10  | m    | ×106m³   | m³/s         | m³/s           | m³/s         | cm         | m     | m³/s | m³/s |
| 21.4 | 1,02 | 1 - I -  | 88- <u>-</u> | - (10) <u></u> | _            |            | +0,00 | 241  | 541  |
| 22.4 | 1,00 | 42,941   | 497          | 497            | — 44         | _ 2        | -0,02 | 236  | 536  |
| 23.4 | 1,32 | 119,750  | 1386         | 1386           | + 850        | + 35       | +0,33 | 327  | 627  |
| 24.4 | 2,04 | 224,554  | 2599         | 2599           | +1972        | +81        | +1,14 | 598  | 898  |
| 25.4 | 2,78 | 261,619  | 3028         | 2678           | +1780        | +73        | +1,87 | 935  | 1235 |
| 26.4 | 3,06 | 190,253  | 2202         | 1852           | <b>— 617</b> | + 25       | +2,12 | 1064 | 1364 |
| 27.4 | 3,17 | 164,938  | 1909         | 1559           | + 195        | + 8        | +2,20 | 1106 | 1406 |
| 28.4 | 3.09 | 125.885  | 1457         | 1107           | — 299        | -12        | +2,08 | 1044 | 1344 |
| 29.4 | 2,99 | 116,813  | 1352         | 1002           | — 342        | -14        | +1,94 | 971  | 1271 |
| 30.4 | 2,83 | 97,286   | 1126         | 776            | — 495        | -20        | +1,74 | 870  | 1170 |
| 1.5  | 2,69 | 93,744   | 1085         | 1085           | <b>—</b> 85  | <b>—</b> 3 | +1,71 | 855  | 1155 |
| 2.5  | 2,53 | 88,301   | 1022         | 1022           | <b>— 133</b> | <b>—</b> 5 | +1,66 | 831  | 1131 |
| 3.5  | 2,39 | 78,710   | 911          | 911            | <b>— 220</b> | <b>-</b> 9 | +1,57 | 788  | 1088 |
| 4.5  | 2,29 | 81,216   | 940          | 940            | — 149        | <b>—</b> 6 | +1,51 | 761  | 1061 |
| 5.5  | 2,22 | 83,462   | 966          | 1316           | <b>— 255</b> | +10        | +1,61 | 807  | 1107 |
| 6.5  | 2,20 | 91,843   | 1063         | 1413           | + 306        | +13        | +1,74 | 870  | 1170 |
| 7.5  | 2,14 | 81,561   | 944          | 1294           | + 124        | + 5        | +1,79 | 895  | 1195 |
| 8.5  | 2,14 | 92,707   | 1073         | 1423           | + 228        | + 9        | +1,88 | 940  | 1240 |
| 9.5  | 2,18 | 102,125  | 1182         | 1532           | + 292        | +12        | +2,00 | 1002 | 1302 |
| 10.5 | 2,12 | 80,697   | 934          | 1284           | <b>— 18</b>  | <b>— 1</b> | +1,99 | 997  | 1297 |

N.B. - Per il significato dei simboli vedere pag. 32

Tab. 12 - SIMULAZIONE DELLA GESTIONE DEI DEFLUSSI EVIDENZIANTE IL GIORNO (31.3) DI ANTICIPO PER LA MANOVRA ALLO SBARRAMENTO PER OTTENERE LA QUOTA DI CIRCA m 0,00 AL 21 APRILE 1986

| Data |      | Hell | QA   | Qa-Qm | ΔН         | Hsim | QD   | Qм   |
|------|------|------|------|-------|------------|------|------|------|
|      |      | m    | m³/s | m³/s  | cm         | m    | m³/s | m³/: |
| 31.3 | 143  | 0,68 | 82   | -     |            | 0,68 | 431  |      |
| 1.4  |      | 0,64 | 108  | -623  | -25        | 0,42 | 353  | 653  |
| 2.4  |      | 0,65 | 215  | -438  | —18        | 0,24 | 303  | 603  |
| 3.4  | 0.01 | 0,67 | 213  | -390  | —16        | 0,08 | 261  | 561  |
| 4.4  |      | 0,87 | 655  | + 94  | — 4        | 0,12 | 271  | 571  |
| 5.4  |      | 0,91 | 461  | -110  | <b>—</b> 4 | 0,08 | 261  | 561  |
| 6.4  |      | 0,91 | 404  | -157  | <b>-</b> 6 | 0,02 | 246  | 546  |
| 7.4  |      | 0,91 | 493  | — 53  | <b>—</b> 2 | 0,00 | 241  | 541  |
| 8.4  |      | 1,23 | 1350 | -809  | + 33       | 0,33 | 327  | 627  |
| 9.4  |      | 1,48 | 1299 | +672  | + 28 ·     | 0,61 | 409  | 709  |
| 10.4 |      | 1,59 | 1039 | + 330 | +14        | 0,75 | 454  | 754  |
| 11.4 |      | 1,56 | 717  | — 37  | <b>—</b> 1 | 0,74 | 450  | 750  |
| 12.4 |      | 1,55 | 757  | + 7   | _          | 0,74 | 450  | 750  |
| 13.4 |      | 1,51 | 672  | — 78  | <b>—</b> 3 | 0,71 | 440  | 740  |
| 14.4 |      | 1,39 | 441  | -299  | —12        | 0,59 | 403  | 703  |
| 15.4 |      | 1,30 | 467  | -236  | -10        | 0,49 | 373  | 673  |
| 16.4 |      | 1,24 | 507  | -166  | <b>—</b> 7 | 0,42 | 353  | 653  |
| 17.4 | 100  | 1,18 | 481  | -172  | <b>—</b> 7 | 0,35 | 333  | 633  |
| 18.4 |      | 1,18 | 615  | — 18  | <b>—</b> 1 | 0,54 | 330  | 630  |
| 19.4 |      | 1,20 | 667  | + 37  | + 1        | 0,35 | 333  | 633  |
| 20.4 |      | 1,12 | 412  | -221  | <b>— 9</b> | 0,26 | 308  | 608  |
| 21.4 | - 1  | 1,02 | 327  | -281  | —12        | 0,14 | 276  | 676  |

N.B. - Per il significato dei simboli vedere pag. 32

### 5. Il programma di telerilevamento e di elaborazione di dati idrologici

All'inizio del precedente paragrafo 4.1. sono stati evidenziati i fondamentali aspetti della conoscenza dello stato e della evoluzione di un sistema per il suo controllo. Numerosi Autori, vedasi /3/, /4/, /5/, /6/, /7/ e /8/, hanno sviluppato considerazioni e riferito studi ed esperienze sull'importante argomento del telerilevamento e della elaborazione automatica di dati idrologici per la supervisione di un sistema lacuale e, in questo contesto, sono state fatte simulazioni con particolare riferimento al lago Maggiore.

In proposito è bene evidenziare che l'attuazione di un siffatto sistema di supervisione (per il quale è stato costituito, nell'aprile 1986, dalla Commissione mista italo-svizzera per i problemi della regolazione del lago Maggiore, uno specifico gruppo tecnico di studio) (5) rappresenta un momento fondamentale per attuare, in modo evolutivo, adeguamenti nelle regole di gestione; una rete di organiche acquisizioni di grandezze idrologiche quali:

- afflussi nel lago Maggiore dai principali fiumi e da altre immissioni (in particolare di bacini idroelettrici);
- precipitazioni, neve al suolo, temperatura, pressione, umidità, ecc;
- livello nei laghi e bacini idroelettrici superiori e relativi afflussi,

nonché la loro elaborazione e la simulazione di eventi e di evoluzioni, anche in base a previsioni metereologiche, costituisce uno strumento particolarmente utile per migliorare la logica di gestione.

Appare opportuno sottolineare, preliminarmente, che dall'ipotizzato sistema di controllo possono derivare vantaggi che, pur non essendo risolutivi delle problematiche degli eventi di piena (soprattutto per quelli di rilevante entità), appaiono interessanti le seguenti angolazioni:

- del preannuncio in tempo reale delle piene (vedasi /2/, /4/, /5/ e /6/) al fine di permettere il tempestivo sgombero delle strutture mobili e l'apprestamento di sommari, ma importantissimi, interventi;
- del suggerimento dei valori ottimali di ritenuta e di rilascio dei bacini di monte regolabili;
- delle analisi metodologiche del sistema al fine di individuare le possibili attuazioni modificatrici ottimali sia in termini di struttura (variazioni del deflusso, capacità di ritenuta a monte) sia per le modalità di esercizio.

In termini generali, l'approfondimento della conoscenza e dell'informazione è di per se stesso appagante e, conseguentemente, giustifica un investimento di risorse (nella fattispecie contenuto in poche centinaia di milioni di lire) (6); in termini di effetti è doveroso puntualizzare quanto segue:

- in presenza di eventi straordinari di piena l'ipotizzato sistema informativo, predittivo e simulativo, potrà produrre solo limitati marginali effetti utili se dissociato da interventi modificativi per lo stato fisico del sistema (variazioni nel deflusso, costituzione di nuove capacità di accumulo e gestione delle esistenti tipicamente bacini idroelettrici- in modo non finalizzato durante eventi eccezionali temporalmente circoscritti ad ottimizzazioni economiche specifiche bensí a quella generale, con possibili «compensazioni» economiche tra le diverse parti coinvolte);
- in presenza di eventi di contenuta portata (tipicamente fenomeni temporaleschi estivi) potranno essere eliminate o fortemente ridotte conseguenze dannose;
- a livello stagionale potranno essere meglio previste e contemperate le esigenze idroelettriche ed irrigue (agricole) con vantaggi per i singoli operatori e per la collettività (vedasi, in proposito /2/ e /3/).

Ai fini della realizzazione del sopra accennato sistema di acquisizione di dati idrologici è, ovviamente, essenziale una unità di intenti delle diverse componenti coinvolte, sia a livello di nazioni (il bacino gravitante sul lago Maggiore ricade in entità pressoché paritetica in Italia e nella Svizzera), sia a livello di operatori, in particolare idroelettrici italiani e svizzeri. Non sono da sottovalutare le difficoltà che, in proposito, appaiono attualmente sussistere per l'ottenimento di informazioni in modo organico e tempestivo.

# 6. Conclusioni

- La panoramica esposta evidenzia una tematica complessa, comunque meritevole di attenzioni e di decisioni. Gli aspetti del problema sono sia di tipo tecnico (variazioni della curva di deflusso, realizzazione di capacità di ritenuta a monte, individuazione delle regole ottimali di gestione dei bacini di monte e dell'opera di ritenuta) sia di tipo politico. A questo secondo gruppo appartengono, in particolare, le determinazioni connesse al livello di «sacrificio» sopportabile dal territorio ed alla sua ripartizione tra monte e valle in base ad ipotizzabili probabilità di ricorrenze e di entità di eventi di piena. In questa sfera rientrano altresi decisioni di compromessi di tipo ambientale, sempre coinvolgenti la tematica dei conflitti «monte» e «valle»; in particolare un aumento della capacità di deflusso dal lago Maggiore, con l'acquisizione di ulteriori vantaggi rispetto alla preesistenza storica per il territorio di monte, determinerebbe una revisione della situazione di valle in termini di investimenti per opere sistemative e protettive in alveo del Ticino con possibili interferenze di tipo naturale - paesaggistico, e ciò anche per quanto concerne la problematica delle «filarole» di derivazione richiamata nella appendice «C».

Nel contesto delle accennate problematiche si evidenzia che il Consorzio del Ticino è un Ente pubblico addetto alla gestione delle opere di regolazione e, in questo ruolo, può promuovere e proporre, di concerto con l'Autorità idraulica di bacino (il Magistrato per il Po), iniziative atte ad aprire nuovi orizzonti. Appare tuttavia essenziale che le Autorità politiche - centrali, regionali e locali - individuino preliminarmente le direttrici ispiratrici dei diversi approfondimenti al fine di evitare dispersioni di risorse.

In proposito il tema è schematicamente riconducibile ai seguenti punti:

### I. decisioni di principio connesse a modificazioni, ritenute teoricamente ammissibili, nel territorio per interventi riduttivi degli eventi di piena:

I.a mediante aumento della capacità di deflusso (con probabili opere di sistemazioni in alveo, anche a valle della soglia);

1.b mediante studio della possibilità di realizzazione di ulteriori capacità di accumulo a monte (con nuovi invasi) e della opportunità di intervenire nella gestione di bacini idroelettrici esistenti;

#### II. individuazione dell'ordine di grandezza dei limiti di intervento, in termini economici.

Le definizioni relative al punto II sono evidentemente da correlare ai vantaggi ottenibili per effetto di minori esondazioni; in proposito potrebbe essere interessante promuovere un rigoroso aggiornato studio - muovendo dai risultati di precedenti indagini - da condursi in base ad una predeterminata metodologia, atto a determinare i vantaggi ritraibili da minori esondazioni in funzione del livello del lago e della portata di piena nel Ticino. Tale studio dovrebbe essere basato su analisi valutative degli effetti negativi attualmente ricorrenti, ripartite per ogni Comune di monte e di valle e per ogni stagione (primavera, estate, autunno); per le analisi di valle particolarmente proficua può risultare una attività di coordinamento nelle indagini a cura degli organi tecnici dei Parchi naturali lombardo e piemontese mentre per quelle sulle sponde lacuali può essere opportuno un intervento diretto dei competenti Assessorati regionali italiani e delle Autorità cantonali dello Stato del Ticino.

È inoltre auspicato il contributo, soprattutto in termini di metodologia e di analisi dei risultati, di Istituti universitari e del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

In base alle risultanze dell'ipotizzato predetto studio potranno essere successivamente sviluppati, in sede tecnica, gli aspetti e le alternative di fattibilità, al fine di proporre le possibili soluzioni evidenziandone limiti e prerogative. In tale contesto potrà essere valutata anche l'opportunità di opere spondali lacuali (argini di contenimento) per

i punti più esposti, che probabilmente sono più facilmente realizzabili e di diretta efficacia.

Milano, novembre 1986

#### SIMBOLI USATI NELLE TABELLE

QA = portata efficace di afflusso al lago (m<sup>3</sup>/s).

QAR = portata efficace di afflusso al lago, ridotta per effetto di ipotetiche capacità aggiuntive (m³/s).

QD = portata efficace di deflusso dal lago secondo l'attuale scala (m<sup>3</sup>/s).

QM = portata efficace in deflusso con ipotetico aumento derivante da diversa caratteristica di deflusso della soglia del lago (m³/s).

Heff = livello effettivo del lago (espresso in m) riferito allo 0 dell'idrometro di Sesto Calende (193,016 m s.l.m.).

 $\Delta H$  = variazione del livello del lago, espressa in cm.

H<sub>sim</sub> = livello simulato del lago, espresso in m, riferito allo zero dell'idrometro di Sesto Calende (193,016 m s.l.m.).

Q = portata corrispondente al livello massimo di regolazione (m<sup>3</sup>/s).

Qm = portata media annua.

#### NOTE

- (1) Negli ultimi anni le piene più significative hanno raggiunto rispettivamente le quote di:

   3,61 m sopra lo zero di Sesto Calende il giorno 17 ottobre 1979.
   3,88 m sopra lo zero di Sesto Calende il giorno 28 settembre 1981.

  - 3,37 m sopra lo zero di Sesto Calende il giorno 23 maggio 1983.
  - 3,17 m sopra lo zero di Sesto Calende il giorno 27 aprile 1986.

Altre piene significative, che hanno formato oggetto di studio da parte del Consorzio del Ticino, con la pubblicazione n. 16 dei Proff. Duilio Citrini e Giuseppe

- (2) Il valore massimo di 1676 m<sup>3</sup>/s cui corrisponde sulla scala delle portate una altezza di 3,17 m sopra lo zero di Sesto Calende si è verificato a cavallo dei giorni 27 - 28 aprile 1986.
- (3) Valori di portate massime nel fiume Ticino a Sesto Calende in occasione di alcune piene recenti:
  - novembre 1968 portata massima 2005 m3/s
  - 1977 portata massima 1905 m3/s - maggio
  - 1979 portata massima 1866 m3/s ottobre
  - ottobre 1979 portata massima 1958 m3/s
  - settembre 1981 portata massima 2139 m3/s
  - 1983 portata massima 1802 m3/s maggio 1986 portata massima 1676 m3/s.
- (4) Si considera evento di piena il periodo che inizia con il raggiungimento della quota di 2 m per il livello del lago e che si protrae, sulla coda della piena, fino al ritorno a valori della quota attorno a +2 m.
- (5) COMPOSIZIONE DEL GRUPPO TECNICO DI STUDIO:

Prof. Dott. Ing. PIERO MARIA PELLO', Presidente del Consorzio del Ticino

- Operatore di Collegamento

Ing. CLAUDIO PERVANGHER, Ingegnere della Sezione della Economia delle acque del Cantone Ticino - BELLINZONA

- Membri

Dott. Ing. BRUNO BOLOGNINO, Dirigente Associazione Irrigazione Est Sesia - Direttore dei lavori per la costruzione ed installazione dei due nuovi carri manovra del lago Maggiore

Dott. Ing. LUIGI CIARMATORI, Ingegnere presso il Magistrato per il Po

Ing. MAX FISCHER, Ingegnere presso il Servizio Idrologico Federale - BERNA -

Ing. JEAN PYTHON, Ingegnere presso l'Ufficcio Federale dell'economia delle acque - BERNA -

Dott. Ing. UGO RAFFA, Direttore del Consorzio dell'Adda

Segretario

Dott. Ing. GIULIO RONCORONI, Coordinatore tecnico del Consorzio del Ticino

(6) Si evidenzia, inoltre, che l'ipotizzato sistema verrebbe a colmare una lacuna, in termini di tempestive informazioni, che si è creata con la riduzione intervenuta, nell'ultimo decennio, nell'attività del Servizio Idrografico [4] e ad integrare il reticolo di informazioni e di intervento del territorio previsto dalle Regioni Lombardia e Piemonte.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- U. RAFFA «Sulla possibilità di ridurre i livelli di piena del Lago Maggiore» Note del giugno 1986, riportate nell'appendice B.
- G. FRONZA, G. GUARISO, E. LANIADO «Produzione agricola ed idroelettrica in un comprensorio: un applicazione dell'analisi costi-benefici», [2] Atti della 8ª Conferenza italiana di scienze regionali - Venezia, 10-12 novembre 1982.
- G. GUARISIO, E. LANIADO, S. RINALDI «The management of Lake Maggiore: conflict analysis and the price of noncooperation», OR Spektrum [3] Springer-Verlag (1985) 7: 101 - 109.
- G. GUARISIO, S. RINALDI «Un sistema informativo distribuito per la gestione delle risorse idriche del bacino del Po (Progetto BAPO)», Ricerca [4] Operativa - F. Angeli Editore, Milano - n. 15, 1980.
- S. RINALDI e altri «Modelli matematici per la pianificazione e la gestione delle risorse idriche» Atti del Convegno sulla Programmazione per la difesa del suolo e la tutela delle sue risorse. I piani di bacino idrografico. Amministrazione Provinciale di Modena 28 e 29 giugno 1979. [5]
- [6] S. RINALDI - «Alcuni risultati sulla gestione delle acque del Lago Maggiore» - Atti del Convegno di idraulica padana, Magistrato per il Po, Parma 19-21
- [7] U. RAFFA - «La rete di telemisure dei consorzi dell'Adda e dell'Oglio» - Atti del 2º Convegno di idraulica padana, Magistrato per il Po, Parma, 15-16 giugno 1984.
- [8] CIARMATORI - «Sistema compiuterizzato per la raccolta, l'elaborazione e la trasmissione di dati idrologici nel compartimento del Magistrato per il Po», Rassegna dei Lavori Pubblici - estratto dal n. 9 - Settembre 1980.
- F. SPINEDI «Aprile sotto l'acqua e la neve», Notizie pubblicate dall'Osservatorio Ticinese dell'Istituto Svizzero di Meteorologia.
- S. BARATTI «Le filarole del Ticino», Note dell'estate 1986 riportate nell'appendice «C».

# APPENDICE «A»

# SERBATOI IDROELETTRICI A MONTE DEL LAGO MAGGIORE

| ITALIANI       | INVASO (milioni m³) | QUOTA m s.l.m. |
|----------------|---------------------|----------------|
| Creva          | 1,00                | 225            |
| Delio          | 10,25               | 908            |
| Antrona        | 5,47                | 1081           |
| Campliccioli   | 8,94                | 1293           |
| Alpe Cavalli   | 8,35                | 1470           |
| Agaro          | 19,86               | 1522           |
| Morasco        | 18,40               | 1763           |
| Larecchio      | 2,84                | 1810           |
| Codelago       | 16,01               | 1884           |
| Vannino        | 9,76                | 2153           |
| Toggia         | 15,65               | 2156           |
| Kastel         | 9,35                | 2197           |
| Cingino        | 4,67                | 2215           |
| Avino          | 6,37                | 2223           |
| Camposecco     | 5,88                | 2310           |
| Obersee        | 1,22                | 2319           |
| Busin          | 3,47                | 2370           |
| Sabbioni       | 28,24               | 2412           |
| Sabbioni       |                     | 2412           |
| (n. 18 bacini) | 175,73              |                |
|                |                     |                |
|                |                     |                |
| SVIZZERI       | INVASO (milioni m³) | QUOTA m s.l.m. |
| Vogorno        | 105,00              | 473            |
| Palagnedra     | 4,80                | 486            |
| Malvaglia      | 4,10                | 990            |
| Sambuco        | 63,00               | 1480           |
| Luzzone        | 86,30               | 1590           |
| Isola          | 6,00                | 1610           |
| Chironico      | 1,50                | 1769           |
| Tremorgio      | 9,20                | 1830           |
| Ritom          | 47,00               | 1850           |
| Zot            | 1,20                | 1940           |
| Robiei         | 6,50                | 1940           |
| Lucendro       | 25,00               | 2134           |
| Sella          | 9,10                | 2256           |
| Cavagnoli      | 27,90               | 2310           |
| Naret          | 31,00               | 2310           |
| Sfundau        | 4,10                | 2310           |
| (n. 16 bacini) | 431,70              |                |

#### APPENDICE «B»

#### SULLA POSSIBILITÀ DI RIDURRE I LIVELLI DI PIENA DEL LAGO MAGGIORE

(Dr. Ing. Ugo Raffa)

Per ottenere la concessione della regolazione dei grandi laghi lombardi ed usufruire delle importanti risorse a fini irrigui ed idroelettrici, era necessario dimostrare che non vi sarebbe stato peggioramento dei livelli di piena del lago e del fiume.

Poiché i due interessi erano in contrasto tra loro, il limite al miglioramento dei livelli del lago era posto dalla condizione di non peggiorare le piene del fiume.

Lo sforzo del progettista è stato, pertanto, quello di aumentare i deflussi iniziali di piena (per poter spillare di più il lago a livelli bassi) mantenendo però pressoché inalterate le portate al colmo delle maggiori piene.

E' interessante notare come questo problema è stato risolto nei diversi laghi, tenendo presente le diverse situazioni idrologiche ed il momento storico della costruzione delle traverse all'incile. Si osservino i dati della tabella seguente.

| LAGO     | Anno di<br>ultimazione<br>delle traverse | Livello max<br>di<br>regolazione<br>m | FIUME  | Max piena<br>storica<br>m <sub>3</sub> /s | Portata corrispondente al livello max di regolazione Q | Portata<br>media<br>annua<br>normale<br>Qm | Rapporto<br>Q/Qm |
|----------|--|---------------------------------------|--------|---|--|--|------------------|
| MAGGIORE | 1942                                     | 1,00 ÷ 1,50                           | TICINO | 4500 ÷ 5000                               | 542 ÷ 756(*)   | 291  | 1,9 ÷ 2,6(*)     |
| DI COMO  | 1945                                     | 1.20                                  | ADDA   | 895                                       | 518  | 158  | 3.3              |
| D'ISEO   | 1932                                     | 1.10                                  | OGLIO  | 414                                       | 269  | 59   | 4.6.             |
| D'IDRO   | 1920                                     | 10                                    | CHIESE | 250                                       | >100   | 20   | >5               |
| DI GARDA | 1954                                     | 1.35                                  | MINCIO | 163                                       | >300   | 57   | >5               |

<sup>(\*)</sup> I due valori corrispondono, rispettivamente, alle quote di m 1,00 e m 1,50 sopra lo «zero» dell'idrometro di Sesto Calende.

I dati rendono evidente che, nel progettare le opere, si è avuto riguardo soprattutto all'entità delle piene; la traversa di Idro, che è stata costruita per prima, presenta caratteristiche diametralmente opposte a quelle della Miorina. Nel primo caso, però, si doveva smaltire una piena massima dell'ordine di 250 m³/s; nel secondo caso ci si trovava di fronte ad una piena storica di 5000 m³/s.

La prima tende a trasferire a valle la piena degli afflussi, riducendo al minimo l'effetto moderatore del lago; la seconda è stata realizzata in modo da lasciare pressoché inalterata la curva dei deflussi di piena.

Il primo criterio ha guidato anche il progettista del manufatto di Peschiera, che ha profondamente modificato l'incile del lago di Garda.

Considerazioni di carattere locale hanno determinato la scelta di progetto nei laghi di Como e d'Iseo.

Per valutare il grado di efficienza della bocca emissaria (cioè la possibilità di smaltimento delle piene) è stato riportato in tabella il rapporto tra la portata che defluisce, a sbarramento aperto, con il livello max. di regolazione (Q) e la portata media normale (Qm). Come era prevedibile, la traversa della Miorina presenta i valori più bassi.

Nel caso del lago Maggiore non poteva essere dimenticato il problema costituito dalla zona di Borgo Ticino a Pavia. Individuata la possibilità di aumentare l'efficienza della bocca emissaria mediante l'abbassamento del Dosso dei Murazzi, il Consorzio del Ticino ha affidato al Politecnico di Milano ed al prof. De Marchi le prove su modello e l'indagine idrologica conseguente.

I risultati erano che lo scavo del Dosso dei Murazzi (95.000 m³) avrebbe consentito di aumentare considerevolmente le portate di magra, con un aumento percentuale più ridotto per i livelli elevati (incremento della portata del fiume al colmo, dell'ordine in media di 150 m³/sec).

I lavori del Dosso Murazzi vennero solo in parte eseguiti (scavo di 47.000 m³). Da essi risulta un aumento di portata della bocca emissaria che, dal 56% per gli stati di magra (H = -0.40) si riduce al 17% per il livello di m 1.00 ed all'11% per il livello di m 1.50.

#### APPENDICE «C»

#### LE «FILAROLE» DEL TICINO

(Prof. Dr. Ing. Sergio Baratti)

In ordine alle manovre di apertura dello sbarramento della Miorina, regolante i deflussi dal lago Maggiore nel Ticino, occorre peraltro considerare che una regolazione del lago più tempestiva comporta anche manovre di svaso più celeri che determinano nel Ticino sublacuale variazioni di portata più frequenti, più rapide e di maggior entità; una tale regolazione risulta attualmente in forte contrasto con le esigenze delle antiche derivazioni di sponda destra del fiume (Naviglio Langosco, Naviglio Sforzesco e Roggia Magna Castellana ecc.) le cui prese d'acqua vengono ancora attivate — per antica prassi sancita dagli «atti di concessione» — mediante la costruzione delle cosiddette «filarole» o «pietraie», che consistono in modesti sbarramenti dell'alveo realizzati ammucchiando semplicemente gli stessi ciottoli del fiume e destinati ad ottenere, in assenza di una soglia fissa, il necessario innalzamento della quota idrica e la deviazione del filone attivo della corrente verso l'incile della derivazione.

Per sua natura, la «filarola» è soggetta a facili rotture non solo al sopraggiungere di onde di piena ma anche al verificarsi di repentini aumenti di portata («colpi d'acqua»); alla rottura della filarola consegue una pressoché totale disattivazione della derivazione.

La ricostruzione di una filarola travolta dalla corrente è un'operazione difficile e costosa, che si protrae inevitabilmente per un numero di giorni spesso incompatibile con le esigenze idriche delle utilizzazioni in atto, soprattutto per quanto attiene l'irrigazione.

È evidente pertanto, in vista di attuare manovre di svaso più rapide e di maggior entità, l'indispensabilità di realizzare la preventiva trasformazione delle esistenti «filarole» in traverse fisse, opportunamente studiate, al fine di venire incontro, nel migliore dei modi, anche alle esigenze delle altre utilizzazioni oggi presenti sul fiume (stabilizzazione dell'alveo, conca di navigazione, scala di risalita dei pesci ecc.).

Nella situazione attuale manovre celeri risultano gravemente pregiudizievoli per la continuità delle derivazioni la cui importanza ai fini irrigui è di evidente notorietà.

#### ESTRATTO DELLO STATUTO APPROVATO CON R.D. 13/09/1938 N. 6840

#### Capo I - Scopi e limiti del Consorzio

Art. 1

Il Consorzio del Ticino, che è stato istituito col R.D. 14 Giugno 1928 - VI, n. 1595, convertito nella legge 20 dicembre 1928 - VII, n. 3228, e successivamente modificato col R.D.L. 12 Luglio 1938 - XVI, n. 1297, convertito nella legge 16 gennaio 1939 N. 410, provvede alla costruzione, alla manutenzione e all'esercizio dell'opera regolatrice del Lago Maggiore, nonché a coordinare e disciplinare l'esercizio delle utilizzazioni dell'acqua disponibile nell'interesse generale.

In base a distinte gestioni e sotto l'osservanza delle relative leggi speciali, il Consorzio può chiedere a termini delle vigenti disposizioni, concessioni inerenti alla difesa delle sponde del lago e dell'emissario e delle zone riviera-sche soggette a piene; alla navigazione; alla tutela e all'incremento della pesca; alle sistemazioni idraulico-forestali; alla migliore e integrale utilizzazione delle acque nell'interesse dei consorziati ed a vantaggio dell'agricoltura e dell'industria a condizione che l'utilizzazione stessa sia compatibile con quella richiesta dall'Amministrazione dei canali demaniali d'irrigazione.

Ai fini della tutela della pescosità delle acque il Consorzio vigila perché nelle derivazioni già esistenti ed in quelle che potranno essere concesse in avvenire, siano osservate le norme contenute negli art. 9 e 10 del T.U. approvato con R.D. 8 ottobre 1931, n. 1604.

Il Consorzio ha sede in Milano.

#### Composizione degli Organi del Consorzio:

1. - Presidente

PROF. DR. ING. PIERO MARIA PELLÒ

nominato con D.P.R. 10/1/1985

2. - Comitato di Presidenza

PROF. DR. ING. PIERO MARIA PELLÒ DR. ING. ROCCO LARAIA PROF. DR. ING. SERGIO BARATTI

DR. DOMENICO SINISCALCHI Vacante DR. ING. FRANCO COFFANO GEOM. ANGELO POLITI DR. ING. CARLO TORRI TARELLI

3. - Consiglio di Amministrazione

PROF. DR. ING. PIERO MARIA PELLÒ PROF. DR. ING. SERGIO BARATTI

DR. ING. FEDERICO BAROZZI
AVV. LUCIANO BINELLI
DR. ING. FRANCO COFFANO
GEOM. CARLO CUNEO
DR. ING. RINO GABELLI
DR. FERMO GREPPI
DR. ING. ROCCO LARAIA
GEOM. ANGELO POLITI
Vacante
DR. DOMENICO SINISCALCHI
DR. ING. CARLO TORRI TARELLI

4. - Collegio Revisori dei Conti

DR. MATTEO MASIELLO DR. VITTORIO GIORDANO RAG. AMBROGIO GROMME

5. - Principali Utenti del Consorzio

ENEL ASSOCIAZIONE IRRIGAZIONE EST SESIA CONSORZIO VILLORESI ROGGIA MOLINARA DI OLEGGIO Presidente

Rappresentante Min. LL.PP.
Rappresentante Comitato Prom. Costituendo Cons. Irr. Alto
Agro Novarese,
Rappresentante Min. Agricoltura e Foreste

Rappresentante Min. Finanze

Rappresentante Utenti Irrigui sponda lombarda Rappresentante Ente Nazionale Risi Rappresentante Utenti Industriali (Enel)

Presidente

Rappresentante Comitato Prom. Costituendo Cons. Irr. Alto Agro Novarese,

Rappresentante Utenti Industriali (Enel)

Rappresentante Canali Demaniali sponda piemontese

Rappresentante Utenti sponda lombarda Rappresentante Utenti sponda piemontese

Rappresentante Min. LL.PP.

Rappresentante Utenti sponda piemontese

Rappresentante Min. LL.PP.
Rappresentante Ente Nazionale Risi
Rappresentante Min. Finanze

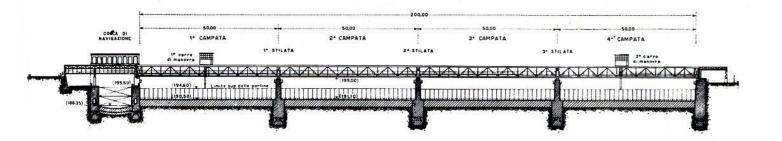
Rappresentante Min. Agricoltura e Foreste Rappresentante Utenti Industriali (Enel)

Presidente, Rappresentante Min. Tesoro Rappresentante Min. LL.PP. Rappresentante Utenti

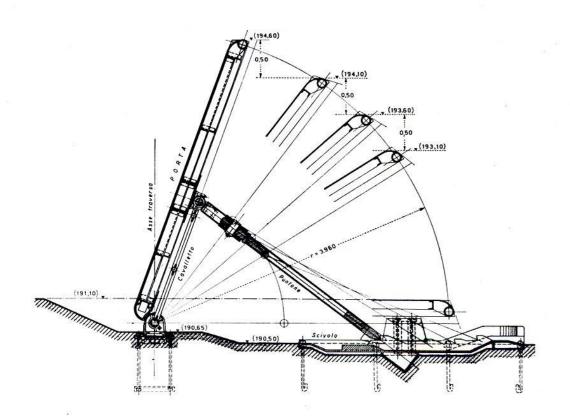
Sponda sinistra lombarda e destra piemontese Sponda destra piemontese Sponda sinistra lombarda Sponda destra piemontese

# TRAVERSA MOBILE DI SBARRAMENTO

# SEZIONE TRASVERSALE DEL FIUME TICINO IN CORRISPONDENZA DELLA TRAVERSA



### PORTA TIPO CHANOINE



# PUBBLICAZIONI DEL CONSORZIO DEL TICINO

| N. | ANNO | AUTORI  | TITOLO  |
|----|------|---|---|
| 1  | 1940 | Prof. Ing. Giulio De Marchi                               | «Sistemazione dello sbocco del Lago Maggiore»   |
| 2  | 1943 | Prof. Ing. Giulio De Marchi                               | «Determinazione delle portate che la regolazione dei deflussi dal<br>Lago Maggiore renderà disponibili per le utilizzazioni».   |
| 3  | 1950 | Prof. Ing. Giulio De Marchi                               | «Determinazione dei benefici ritraibili dall'elevamento del limite superiore della trattenuta attiva dall'altezza di $+1,00$ m a quella di $+1,50$ m sopra lo zero dell'idrometro di Sesto Calende» |
| 4  | 1950 | Prof. Ing. Giulio De Marchi                               | «Ripercussioni della regolazione del lago Maggiore sulle piene del lago e su quelle del Ticino a Sesto Calende»   |
| 5  | 1950 | Prof. Ing. Giulio De Marchi                               | «Variazioni provocate dalla regolazione dei deflussi nelle tenute dei livelli del lago Maggiore»  |
| 6  | 1955 | Prof. Ing. Giulio De Marchi                               | «Determinazione delle portate che la regolazione del lago Maggiore renderà disponibili per le utilizzazioni. (seconda parte, anni 1945-1954)»   |
| 7  | 1961 | Consorzio del Ticino                                      | «Portate regolate giornaliere derivabili nei periodi irrigui dal 1916<br>al 1959 calcolate con le modalità del normale esercizio»   |
| 8  | 1963 | Prof. Ing. Mario Marchetti                                | «Sistemazione dell'alveo del fiume Ticino al Dosso dei Murazzi»   |
| 9  | 1964 | Prof. Ing. Luigi Gherardelli                              | «Influenza dei serbatoi montani alpini sulla regolazione del lago Maggiore».  |
| 10 | 1964 | Consorzio del Ticino                                      | «Portate autunno-invernali derivabili dal fiume Ticino calcolate con le modalità del normale esercizio dal 1916 al 1964»  |
| 11 | 1964 | Prof. Ing. Mario Marchetti                                | «Le portate dell'incile del lago Maggiore in regime libero prima<br>e dopo la sistemazione del suo alveo»   |
| 12 | 1965 | Prof. Ing. Mario Marchetti<br>Dr. Ing. Ugo Raffa          | «Le risorgenze nell'alveo del fiume Ticino dalla diga della Miorina al ponte di Turbigo»  |
| 13 | 1968 | Consorzio del Ticino                                      | «La regolazione del lago Maggiore nel primo venticinquennio di esercizio (1943-1967)»   |
| 14 | 1973 | Prof. Ing. Duilio Citrini                                 | «Le piene del lago Maggiore e del Ticino emissario nel primo tren-<br>tennio di regolazione»  |
| 15 | 1981 | Prof. Ing. Duilio Citrini<br>Prof. Ing. Giuseppe Cozzo    | «Influenza dei serbatoi alpini sulla regolazione del lago Maggiore»   |
| 16 | 1982 | Prof. Ing. Duilio Citrini<br>Prof. Ing. Giuseppe Cozzo    | «Influenze delle modalità di regolazione del lago Maggiore nei ri-<br>guardi delle portate erogabili e dei livelli di piena»  |
| 17 | 1986 | Prof. Ing. Piero Maria Pellò<br>Dr. Ing. Giulio Roncoroni | «Informazioni relative all'evento di piena del lago Maggiore<br>dell'aprile-maggio 1986 con analisi degli effetti, nella circostanza,<br>di ipotetici interventi tendenti a ridurre le esondazioni» |