CONSORZIO DEL TICINO

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

1

# SISTEMAZIONE DELLO SBOCCO DEL LAGO MAGGIORE

RICERCA SPERIMENTALE SU MODELLO ESEGUITA DA L'ISTITUTO DI IDRAULICA DEL R. POLITECNICO DI MILANO

*RELAZIONE DEL PROF. GIULIO DE MARCHI*

CONSORZIO DEL TICINO

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

# SISTEMAZIONE DELLO SBOCCO DEL LAGO MAGGIORE

RICERCA SPERIMENTALE SU MODELLO ESEGUITA DA L'ISTITUTO DI IDRAULICA DEL R. POLITECNICO DI MILANO

*RELAZIONE DEL PROF. GIULIO DE MARCHI*

MILANO
STAMPATO COI TIPI DEL BERTIERI
1940-XIX

# PRESENTAZIONE

*Il problema della regolazione del Lago Maggiore per molti anni ha formato oggetto di numerosi studi e di animate discussioni, alle quali hanno preso parte taluni dei tecnici nostri più rinomati.*

*La soluzione definitivamente prescelta dai supremi organi dello Stato e che trovasi attualmente in corso di avanzata esecuzione, porta il suggello del compianto Sen. Gaudenzio Fantoli, illustre scienziato e benemerito membro del Consiglio d'Amministrazione del Consorzio del Ticino.*

*Ma lo stesso Fantoli, allorchè il Consorzio dette inizio alle opere, suggerì che le particolarità idrauliche dei lavori da eseguire per la sistemazione dello sbocco lacuale venissero esaminate preventivamente in via sperimentale sopra un modello in piccola scala, e suggerì pure che il compito di svolgere tale ricerca venisse affidato all'Istituto di Idraulica del R. Politecnico di Milano.*

*Il Consorzio, nel convincimento che solo una serie di sistematiche prove avrebbe consentito di fissare basi sicure e definitive, dette corso alle indagini proposte.*

*Le esperienze, che hanno richiesto circa due anni, sono state condotte sotto la direzione del prof. Giulio De Marchi, che in una particolareggiata relazione ha esposto le indagini compiute e ne ha illustrato le risultanze. Al prof.*

*De Marchi rivolgo un vivo ringraziamento per l'importante contributo portato al raggiungimento delle finalità che il Consorzio persegue.*
*Il Consorzio ha deciso di pubblicare tale relazione in quanto il problema idraulico era stato a lungo vivamente discusso e le prove compiute sull'apposito modello hanno portato un* chiarimento definitivo di tutti i punti dibattuti: *era quindi evidente l'opportunità che i risultati, nella loro persuasiva evidenza, avessero una conveniente diffusione.*
*Ma il Consorzio ha ritenuto anche che la ricerca compiuta costituisse il migliore omaggio alla memoria del Fantoli, che, alla regolazione del Lago Maggiore, ha indissolubilmente legato il proprio nome di scienziato.*
*Le chiare e convincenti risultanze che emergono dalla relazione De Marchi precludono la via ad ulteriori disamine e dànno al Consorzio direttiva sicura sulla linea da seguire per il compimento della grande opera voluta dal* DUCE *e per l'armonico coordinamento delle nuove utilizzazioni che la regolazione del Lago Maggiore renderà possibile.*

*Milano, 15 novembre 1940/XIX*

SILENO FABBRI
PRESIDENTE DEL CONSORZIO DEL TICINO

# INDICE


PREMESSE

1. Intendimento delle prove e loro piano di insieme .. .. .. .. .. .. .. .. .. pag. 3
2. Richiamo del problema; opere previste per la soluzione. Materiale di studio posto a disposizione .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 4

PARTE PRIMA

*Allestimento del modello e adattamento della scabrezza fino alla esatta riproduzione del regime naturale di deflusso*

1. Dimensionamento del modello .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 9
2. Allestimento del modello .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 13
3. Elementi caratteristici per la definizione del regime attuale dell'alveo .. .. .. .. 16
4. Scabrezza del modello. Sua realizzazione (Prove della serie A).. .. .. .. .. .. .. 18
5. Scale delle portate a Sesto Calende .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 26

PARTE SECONDA

*Spianamento della soglia della Miorina; apertura totale e parziale della savenella per la navigazione (Prove della serie B)*

1. Piano d'insieme delle prove della serie B.. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 29
2. Prove preliminari: situazione B 1 .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 34
3. Effetti dello spianamento alla Miorina: situazione B 2, B 3, B 4 .. .. .. .. .. .. 36
4. Progressivo riempimento della savenella di navigazione .. .. .. .. .. .. .. .. .. 43

PARTE TERZA

*Sbancamenti in corrispondenza del dosso dei Murazzi (Prove della serie C)*

1. Intendimenti e concetto informatore .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 45
2. Situazione C 1 .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 48
3. Situazione C 2 .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 49
4. Situazione C 3 .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 53
5. Situazione C 4 .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 54

## PARTE QUARTA

*Funzionamento della traversa parzialmente abbattuta (Prove della serie D)*

1. Intendimenti e limiti delle prove della serie D.. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. pag. 57
2. Modalità esecutive delle prove.. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 59
3. Risultati .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 60

## PARTE QUINTA

*Prove complementari (Serie E e F)*

1. Intendimenti delle prove.. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 69
2. Determinazione della capacità di deflusso che conferirà all'incile fluviale sistemato a norma della situazione C 4 l'apertura parziale o totale della savenella di navigazione (Prove della serie E) .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 71
3. L'influenza del livello di valle sul funzionamento della traversa in regime di consegna utile.. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 73

RIASSUNTO E CONCLUSIONI .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 83

TAVOLE .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 95

# SISTEMAZIONE
# DELLO SBOCCO DEL
# LAGO MAGGIORE

# PREMESSE

## 1. Intendimento delle prove e loro piano di insieme

Su proposta del compianto Sen. Fantoli, questo Istituto di Idraulica veniva incaricato dal Consorzio del Ticino nella primavera del 1939–XVII di riconoscere mediante prove su modello il comportamento idraulico delle opere previste per la regolazione del Lago Maggiore, in corrispondenza della stretta della Miorina e nel tronco fluviale di Ticino a monte della stretta.

Le prove dovevano in prima linea fornire indicazioni circa gli effetti idraulici del previsto lieve abbassamento della soglia della Miorina, e dello sbancamento da effettuare in corrispondenza della stretta, secondo il piano di massima del Sen. Fantoli. Esse dovevano parimenti portare a stabilire l'entità degli sbancamenti da eseguire al dosso detto dei Murazzi e sul tronco fluviale tra i Murazzi e la Miorina, al fine di assicurare la erogabilità dal lago, anche in condizioni di minimo invaso, delle portate previste nel piano della regolazione.

Altri scopi dell'indagine erano quelli di riconoscere l'influenza che, sempre al fine predetto, avrebbe presumibilmente esercitata l'apertura della savenella, con tirante massimo per natanti di 600 tonnellate, destinata ad assicurare la continuità della via navigabile all'uscita dal lago, e di dare indicazioni circa il funzionamento idraulico e le possibili modalità di esercizio della diga mobile e delle opere annesse (conca, canale sussidiario).

La ricerca si è svolta per successive fasi, ed ha compreso:

*a*) allestimento del modello del tratto fluviale interessato, nel suo assetto naturale e con gli opportuni dispositivi per la alimentazione, per la misura delle portate immesse e per la esatta lettura dei livelli, e progressivo adattamento della superficie dell'alveo riprodotto, mediante successive modificazioni della

scabrezza fino a riprodurre con sufficiente precisione i profili liquidi osservati nel fiume per differenti portate. Questo lavoro richiese diversi mesi; solo quando esso fu portato a termine potè affrontarsi la parte veramente conclusiva dell'indagine, come appresso:

*b*) riconoscimento degli effetti idraulici dell'ampliamento e sbancamento della stretta della Miorina.

*c*) riconoscimento degli effetti idraulici dell'escavo della via navigabile;

*d*) determinazione dell'entità degli sbancamenti da effettuare al dosso dei Murazzi, e nel tratto fluviale a valle, indipendentemente dall'escavo della via navigabile;

*e*) prove dirette a riconoscere il funzionamento delle opere coll'alveo sistemato.

La esecuzione della complessa indagine occupò tutto il periodo che va dalla primavera del 1939 al settembre 1940.

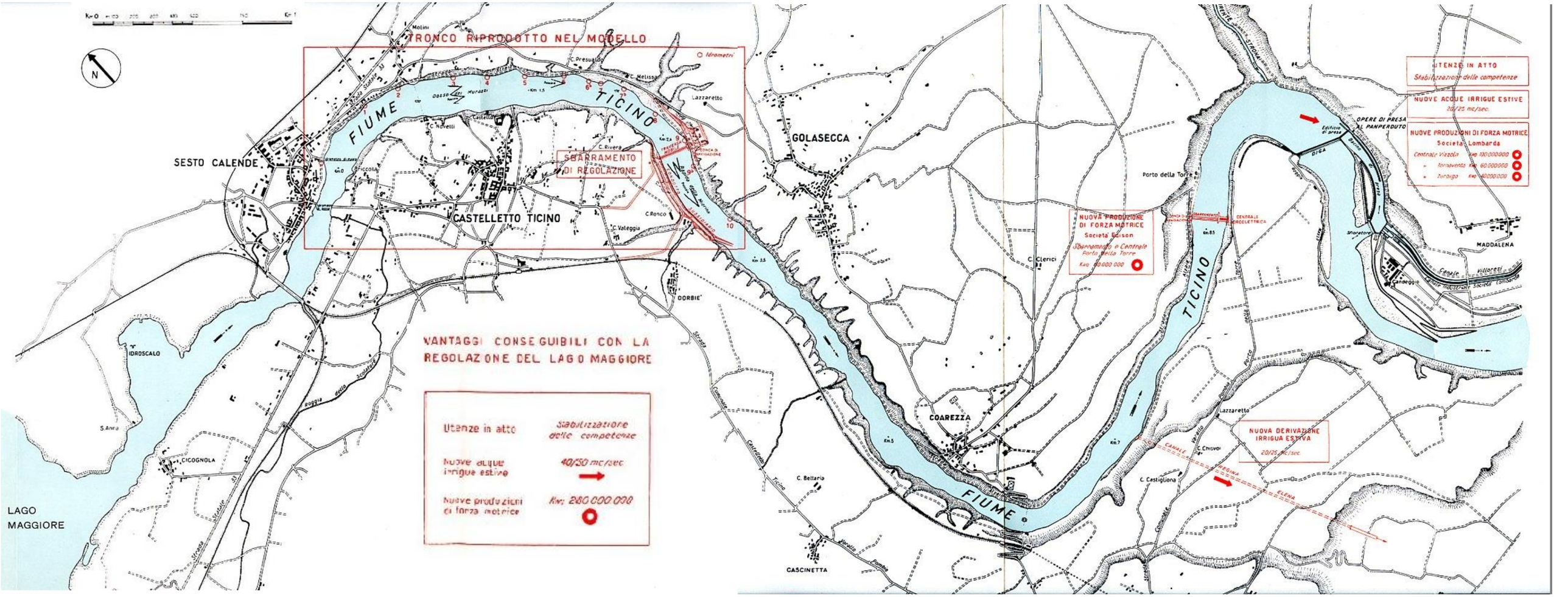
Esponiamo nella presente relazione le modalità e i risultati della ricerca. Senza essere del tutto nuova dal punto di vista concettuale, essa ha presentato indubbi caratteri di novità nella sua pratica attuazione ed è comunque, per quanto ci risulta, il primo esempio italiano di risoluzione mediante modello di un problema di correzione fluviale.

## 2. Richiamo del problema; opere previste per la soluzione. Materiale di studio posto a disposizione

Ai fini della migliore interpretazione della indagine e dei suoi risultati sarà opportuno dare un breve cenno della morfologia e delle condizioni idrauliche del tronco del Ticino in esame, prima che in esso venissero intrapresi i lavori contemplati dal piano generale della regolazione, e in pari tempo richiamare a grandi linee la natura e l'entità dei lavori stessi.

Per chiarezza d'esposizione faremo riferimento, nel corso di questa breve descrizione, alla planimetria generale riprodotta in fig. 1 (tav. fuori testo) ed al profilo longitudinale del fondo medio del letto del fiume, che forma oggetto della fig. 2.

La semplice ispezione di queste figure indica chiaramente come, allo stato attuale (meglio sarebbe dire prima dell'inizio dei lavori attualmente già in corso


TRONCO RIPRODOTTO NEL MODELLO
SBARRAMENTO DI REGOLAZIONE
FIUME TICINO
SESTO CALENDE
CASTELLETTO TICINO
GOLASECCA
COAREZZA
CASCINETTA
DORBIE'
IDROSCALO
CICOGNOLA
LAGO MAGGIORE
MADDALENA
Porto della Torre
C. Clerici
C. Castigliona
C. Chisvoi
Lazzaretto
C. Bellaria
C. Novelli
C. Rivera
C. Ronco
C. Valeggia
C. Presualdo
C. Melissa
Molini
Briccola
S. Anna
Idrometri
Utenze in atto
Stabilizzazione delle competenze
Nuove acque irrigue estive
40/50 mc/sec
Nuove produzioni di forza motrice
Km: 280.000.000
NUOVA PRODUZIONE DI FORZA MOTRICE
Società Edison
Sbarramento e Centrale Porto della Torre
Kw 80.000.000
NUOVA DERIVAZIONE IRRIGUA ESTIVA
20/25 mc/sec
UTENZE IN ATTO
Stabilizzazione delle competenze
NUOVE ACQUE IRRIGUE ESTIVE
20/25 mc/sec.
NUOVE PRODUZIONI DI FORZA MOTRICE
Società Lombarda
Centrale Vizzola Kw 100.000.000
Tornavento Kw 60.000.000
Turbigo Kw 40.000.000
OPERE DI PRESA AL PANPERDUTO
Edificio di presa
Canale Villoresi
Canale Industriale Società Lombarda
Canale Regina Elena
Strada Statale 33
Strada Comunale
Roggia dello Scolatore
Strada Comunale Castelletto Ticino
Varallo Pombia
Canale Regina Elena
Varallo Pombia
Porto della Torre
Strada Alzaia
Strada Comunale
Strada Comunale
Dosso dei Murazzi
Km 1,5
Km 3,5
Km 5
Km 7
Km 8,5
Km 9
Km 10
Km 0
Km 1
N

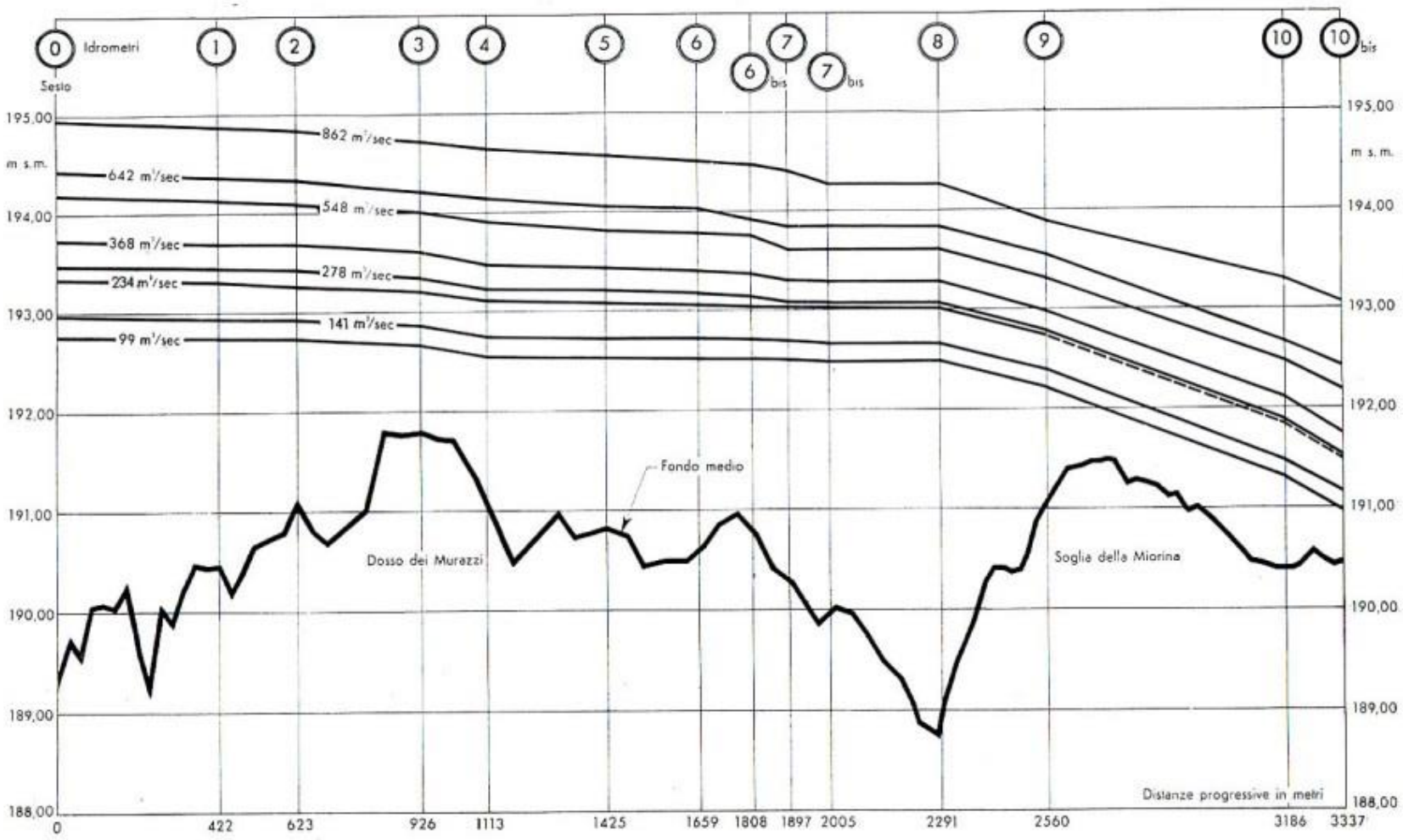



Figura 2. Profilo longitudinale del fondo medio del Ticino, da Sesto alla rapida della Miorina, e otto profili del pelo liquido fluviale rilevati dal Servizio Idrografico

d'esecuzione), il fondo del tronco fluviale che ci interessa presenti due rilievi fondamentali. Il primo, detto dosso dei Murazzi, sorge a circa 1 km a valle dell'idrometro di magra di Sesto Calende ed occupa quasi per intero la sezione fluviale, addossandosi specialmente alla sponda destra. Il secondo, anche più importante, si trova a circa 2 km a valle del precedente, ed è costituito dalla cosidetta soglia della Miorina: « vera storica soglia regolatrice del lago » come la definì il Sen. Fantoli, perchè negli stati lacuali medi e alti la rapida che immediatamente la segue sottrae il deflusso dal lago alle influenze da valle. Quando però il lago è in condizioni di forte svaso, la efficienza dell'emissario viene ad essere prevalentemente governata dal dosso dei Murazzi, a valle del quale viene allora a pronunciarsi una breve rapida, presto sommersa al crescere della portata. Per completare il quadro diremo ancora come, in sponda sinistra, poco a monte della soglia della Miorina, si addentrino profondamente nel fiume i due delta torrentizi, che sono ben visibili nella figura 1; essi restringono l'alveo e, malgrado il fondale originatosi conseguentemente presso l'altra sponda, dànno luogo a perdite di carico localizzate di qualche entità, che si traducono in una più sensibile caduta del pelo liquido.
E accenneremo infine all'esistenza di tre serie di pescaie, rispettivamente sul dosso dei Murazzi, di fronte a C. Presualdo e sulla rapida della Miorina; queste sono costituite da palificate, alle quali la corrente e l'opera dell'uomo sono venute man mano addossando mucchi di pietrame e rami d'albero, cosicchè attualmente rappresentano un ostacolo considerevole al deflusso.

Veniamo ora alle opere previste dal progetto della regolazione del Lago Maggiore. Premesso che le quote sono riprese dalla relazione Fantoli e riferite, come in detta relazione, al piano *convenzionale* passante a m 193,016 sotto lo zero di Sesto Calende, il progetto comprende:

*a*) Spianamento della cresta della soglia della Miorina e costruzione di una traversa mobile con luce libera di m 200, costituita da 120 paratoie abbattibili tipo Chanoine, platea muraria radente a quota 191.20 s.l.m.

*b*) Sistemazione dell'alveo a valle della traversa stessa (ed anche per qualche breve tratto a monte) sopra una larghezza di 150 m e secondo un piano inclinato di 0,5 per mille, a partire dall'unghia della platea anzidetta, alla

quota 191,20, e con asportazione di mq 40 in media dalla sezione attuale.

*c*) Costruzione di un condotto sussidiario in sponda destra destinato soprattutto alla integrazione delle erogazioni utili estive fino al limite di 200 mc/sec, e di una conca di navigazione con sezione commisurata a natanti da 600 tonnellate, presso la sponda sinistra.

*d*) Rettifica del dosso dei Murazzi mediante spianamento sopra una larghezza di m 180, e fino ad una quota da stabilire, comunque inferiore a metri 191,30 circa.

*e*) Abolizione di tutte le pescaie.

Per lo svolgimento dell'indagine sono stati posti a nostra disposizione i seguenti elementi topografici e idrografici:

*a*) 107 sezioni fluviali quotate, distribuite lungo il tronco fluviale di 3,5 km, e relativa triangolazione di riferimento;

*b*) il profilo longitudinale del fondo medio del tronco medesimo e gli otto profili longitudinali del pelo liquido fluviale segnati sulla fig. 2. Questi profili che per brevità chiameremo *profili S. I.* sono stati rilevati dal Servizio Idrografico (ing. Baronio) nel periodo 1922–25, per otto diversi stati lacuali, fra metri 192,746 e m 194,941 s.l.m. (sopra il citato piano convenzionale, a metri 193,016 sotto lo zero dell'idrometro di Sesto), mediante contemporanee letture di livelli compiute a 14 idrometri appositamente situati nelle 14 sezioni fluviali che sono indicate nella planimetria di figura 1.

Per quanto riguarda le portate, basterà dire che per l'idrometro di Sesto si possedeva la notissima scala stabilita da Cipolletti [1]) ancora nel 1887 e poi rettificata da Fantoli nel 1895. In base a tale scala agli otto profili anzidetti vengono a corrispondere le portate della seguente tabellina:

| PROFILI | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altezze sullo zero di Sesto (m) | -0,27 | -0,055 | 0,31 | 0,445 | 0,70 | 1,16 | 1,40 | 1,925 |
| Portate (mc/sec) . . . . . | 99 | 141 | 234 | 278 | 368 | 548 | 642 | 862 |

La scala Cipolletti trovasi tracciata nelle figure 14, 19 e 22; essa, come diremo, servì per stabilire caso per caso le portate immesse nel modello per le prove.

[1]) Vedi: Fantoli, *Sul regime idraulico dei laghi*, pag. 133.

Dobbiamo notare però che negli ultimi anni la Sezione Idrografica di Milano ha proceduto ad una nuova numerosa serie di misure, le quali hanno fornito valori un poco inferiori a quelli che, a parità di altezza, fornirebbe la scala Cipolletti; non solo, ma hanno posto in evidenza l'intervento di variazioni non del tutto trascurabili da un anno all'altro.

Delle nuove misure della Sezione Idrografica abbiamo avuto notizia a ricerca già avanzata, quando oramai era stata adottata la scala Cipolletti: di esse però potemmo tener conto nell'esame dei risultati. Facendo caso alle misure eseguite negli anni 1935–37, è stata tracciata l'altra scala pure riportata nei disegni anzidetti; essa si confonde quasi con quella Cipolletti per le altezze a Sesto inferiori a 194,00.

# Parte I

*Allestimento del modello e adattamento della scabrezza fino alla esatta riproduzione del regime naturale di deflusso*

## 1. Dimensionamento del modello

L'esame preliminare del problema sperimentale permise tosto di riconoscere che il modello non avrebbe potuto trovare pratica attuazione se non in scale deformate: vogliamo dire, adottando due differenti scale di riduzione, rispettivamente per le dimensioni orizzontali e per quelle verticali.
In effetto, le dimensioni orizzontali venivano ad essere vincolate evidentemente a quelle del laboratorio, entro il quale il modello doveva essere collocato, e dove, dato che il tronco fluviale arriva quasi a 3 km, non era possibile adottare una scala superiore a 1/100. Pure con tale scala il modello venne ad occupare l'intera larghezza dell'ambiente, superando per la lunghezza i 30 metri. Se la stessa scala fosse stata mantenuta anche per le dimensioni verticali, le differenze di livello da misurare nel modello si sarebbero ridotte a pochi millimetri o a frazioni di millimetro, perchè i dislivelli tra Sesto Calende e la Miorina sono nel regime attuale al massimo di qualche decimetro, e si ridurranno a valori ancora minori nel regime futuro e nei periodi di consegna utile. Questi valori erano troppo piccoli perchè le letture potessero dare risultati attendibili: non solo, ma in condizioni di minima ritenuta le profondità si sarebbero ridotte in qualche tratto a valori molto bassi, per i quali il regime di movimento sarebbe con molta probabilità diventato regolare (non turbolento). È noto che, quando ciò accade, tra modello e originale la similitudine non è più verificabile, per i modelli di correnti a superficie libera.

Non si poteva, d'altra parte, pensare nemmeno ad aumentare eccessivamente il rapporto di riduzione delle dimensioni verticali, perchè sarebbe risultata eccessiva la deformazione del modello rispetto all'originale, e perchè le velocità sarebbero salite a valori troppo alti: dopo qualche tentativo, si scelse pertanto il rapporto:

$$\zeta = \frac{b}{H} = 1:20 = 5\,\lambda$$

essendo $\lambda = \frac{l}{L} = 1:100$ il rapporto di riduzione delle dimensioni orizzontali.
Con questo, le pendenze longitudinali del terreno e del pelo liquido risultarono riprodotte nel modello nel rapporto:

$$\frac{j}{J} = \frac{\zeta}{\lambda} = 5$$

mentre il rapporto di riduzione delle aree delle sezioni trasversali (verticali) della corrente risultava a sua volta:

$$\frac{a}{A} = \frac{lb}{LH} = \zeta\,\lambda = 5\,\lambda^2 = \frac{1}{2000}.$$

Quanto alle velocità, in conformità della regola di Froude, esse vengono riprodotte in proporzione delle radici quadrate dei dislivelli, cioè:

$$\frac{v}{V} = \left(\frac{b}{H}\right)^{1/2} = \zeta^{1/2} = \frac{1}{4.47}.$$

Il rapporto di riduzione delle portate risultò così:

$$\frac{q}{Q} = \frac{av}{AV} = \lambda\,\zeta^{3/2} = \frac{1}{8944},$$

I due valori prescelti, $\lambda = 1:100$ e $\zeta = 1:20$, presentavano, dal punto di vista della pratica esecuzione delle prove, il vantaggio che l'intero campo delle portate da prendere in considerazione (da 100 a 900 mc/sec) poteva essere coperto con la prestazione di una sola delle pompe installate nel laboratorio, giacchè la portata utile di ogni pompa ammonta a 100 l/sec e corrisponde a circa 900 mc/sec.
Fissate le scale, occorreva risolvere il problema particolarmente delicato di graduare la scabrezza dell'alveo nel modello, in modo da ottenere una situazione equiparabile a quella dell'alveo naturale; il risultato è stato ottenuto per via sperimentale, mediante successivi adattamenti, come sarà esposto nel paragrafo

4. Saranno utili intanto le seguenti considerazioni.

Siano $r$ ed $R$ i raggi idraulici di due sezioni trasversali omologhe, nel modello e nel fiume: in vista dell'elevato valore del rapporto fra larghezza e profondità di una generica sezione liquida trasversale, si può ritenere, con sufficiente approssimazione, $\frac{r}{R} = \frac{b}{H} = \zeta$.

Le perdite di carico specifiche (per unità di peso ed unità di percorso) sono d'altra parte riprodotte nel rapporto $\zeta\lambda$: detti quindi $\chi_m$ e $\chi_o$ i valori che spettano al coefficiente di Chézy $\left(\chi = \frac{V}{\sqrt{RJ}}\right)$ rispettivamente per il modello e per il fiume, si deve avere:

$$\frac{j}{J} = \frac{\zeta}{\lambda} = \frac{\delta}{\Delta} = \frac{v^2}{\chi_m^2 r} : \frac{V^2}{\chi_o^2 R}$$

e poichè la regola di Froude comporta, in particolare: $\frac{v^2}{r} = \frac{V^2}{R}$, si trae:

$$\frac{\chi_m}{\chi_o} = \sqrt{\frac{\lambda}{\zeta}} = \frac{1}{\sqrt{5}}.$$

Se, in particolare, per il coefficiente di Chézy si adotta l'espressione di Kutter, si ricava:

$$\frac{100}{1 + \frac{m_m}{\sqrt{r}}} = \frac{100}{\sqrt{5}\left(1 + \frac{m_o}{\sqrt{R}}\right)}$$

cioè, tenendo presente che $\frac{r}{R} = \zeta$:

$$m_m = (\sqrt{5} - 1)\sqrt{r} + m_o \sqrt{5}\,\zeta$$

ossia:

$$m_m = 1{,}23\sqrt{r} + \frac{m_o}{2} = 1{,}23\sqrt{\zeta R} + \frac{m_o}{2}.$$

Notiamo a titolo di orientamento che per il Ticino, se si assumessero il raggio medio di 2 m e il valore 2 dell'indice di scabrezza, il modello dell'alveo dovrebbe presentare la scabrezza corrispondente al valore 1,39 dell'indice di Kutter: cioè una scabrezza piuttosto elevata. Ma la relazione scritta dimostra altresì che il valore di $m$ dipende da quello del raggio medio, e quindi dovrebbe a rigore variare da sezione a sezione al variare di questo, e variare pure, per una stessa sezione, con lo stato idrometrico del fiume. Cioè l'alveo riprodotto non dovrebbe presentare una scabrezza uniforme, se tale dovesse essere quella dell'alveo fluviale.

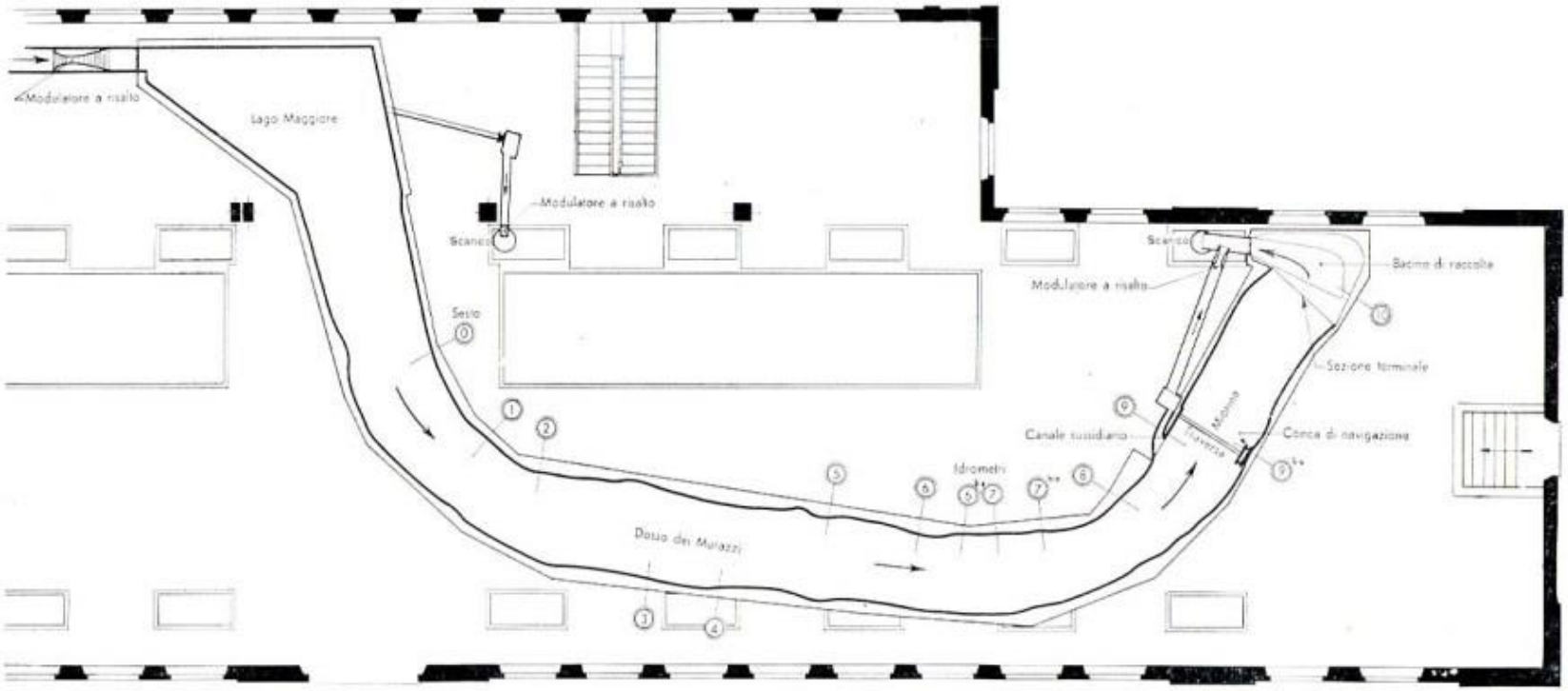



Figura 3. Planimetria generale del modello, con la situazione di esso entro il Laboratorio

Queste incongruenze – che pure varranno a dar ragione di talune constatazioni – sarebbero eliminate qualora si adottasse per $\chi$ la espressione di Gauckler ($\chi = C R^{1/6}$): essa fornisce infatti:

$$\frac{c}{C} = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{1}{\zeta}\right)^{1/6} = \frac{20^{1/6}}{2{,}23} = 0{,}74.$$

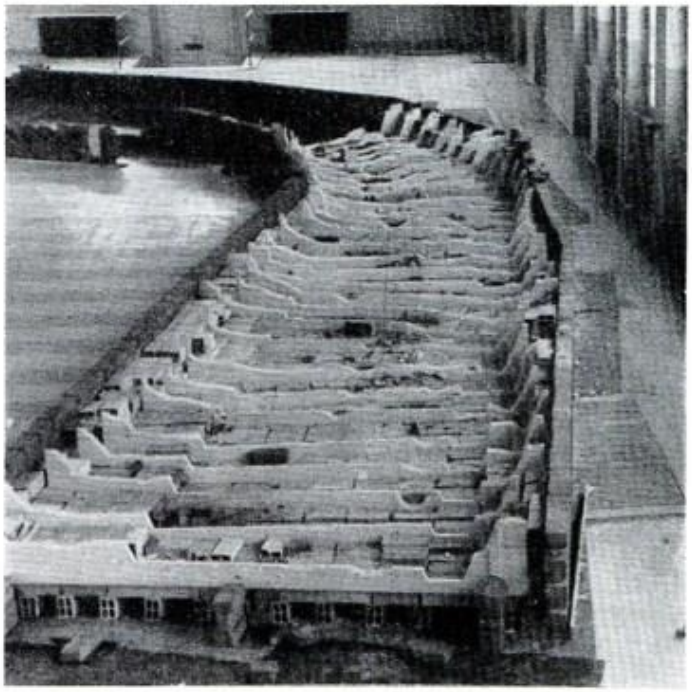


Figura 4. Modello in costruzione: le sagome delle sezioni sono collocate a posto, e si è appena iniziato il riempimento degli spazi fra l'una e l'altra. (vedi a destra l'intaglio preparato per la via navigabile)

## 2. Allestimento del modello

Il modello allestito (vedi fig. 3) riproduce il tronco del Ticino a valle del ponte di Sesto Calende, per lo sviluppo di circa 3 km, fino a comprendere la soglia naturale della Miorina e un primo tratto della successiva rapida. A monte è stata disposta un'ampia vasca di alimentazione, ove la velocità era assai piccola e il movimento si svolgeva quindi in condizione assimilabile a quella che si presenta nel tratto terminale del lago.

Per ragioni di ingombro, nel modello sono state invertite fra di loro la sponda destra e la sinistra, così da farlo corrispondere all'immagine speculare dell'originale, rispetto ad un generico piano verticale: fatto, questo, che non può evidentemente avere influenza alcuna sull'andamento e sui risultati della ricerca.

La costruzione del plastico è avvenuta sulla base di 65 delle sezioni trasversali del fiume fornite dal Consorzio del Ticino (circa 20 per km). Esse furono riprodotte mediante sagome in legno e messe a posto planimetricamente con riferimento alla triangolazione, pure comunicata dal Consorzio, la quale era stata preventivamente riportata sul pavimento del laboratorio; al colloca-

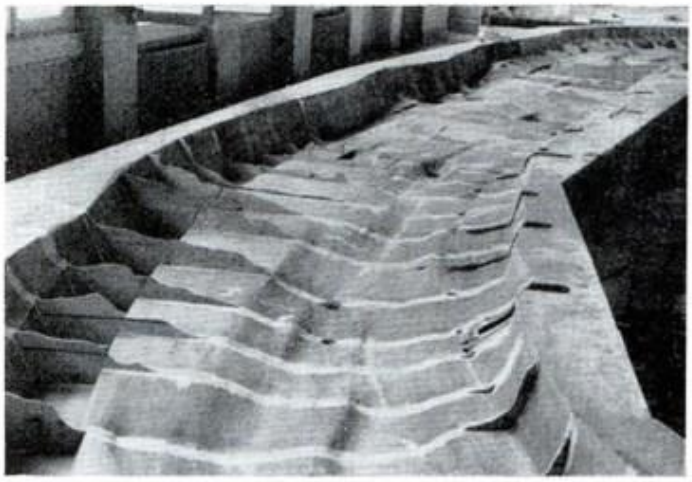


Figura 5a. Modello in costruzione: il riempimento degli spazi fra le sagome delle sezioni è pressochè ultimato (vedi a destra le fessure per le prese degli idrometri; a sinistra la via navigabile, non ancora riempita)

mento altimetrico si procedette con l'aiuto di un livello a cannocchiale. Fra sagoma e sagoma fu sistemato, inferiormente, un riempimento di mattoni forati, indi un sottofondo di ghiaia; sopra questo fu disposto infine lo strato del calcestruzzo destinato a riprodurre l'alveo. Le fotografie delle figure 4, 5 a) e 5 b) rappresentano il modello in costruzione.

La superficie del calcestruzzo fu rivestita con intonaco lisciato in malta di cemento, con l'intendimento di realizzare poi, in secondo tempo e per gradi successivi, la scabrezza occorrente a riprodurre nel modello i profili fluviali rilevati nel fiume per diversi stati idrometrici. Il rivestimento e la successiva intonacatura non furono però estesi all'intero alveo definito dalle sezioni riprodotte dalle sagome: per rendere più agevole l'attuazione dei successivi e previsti sbancamenti, ai Murazzi e alla Miorina, nei tronchi corrispondenti furono bensì predisposti dei piani di discontinuità, ottenuti mediante interposizione di fogli di carta.

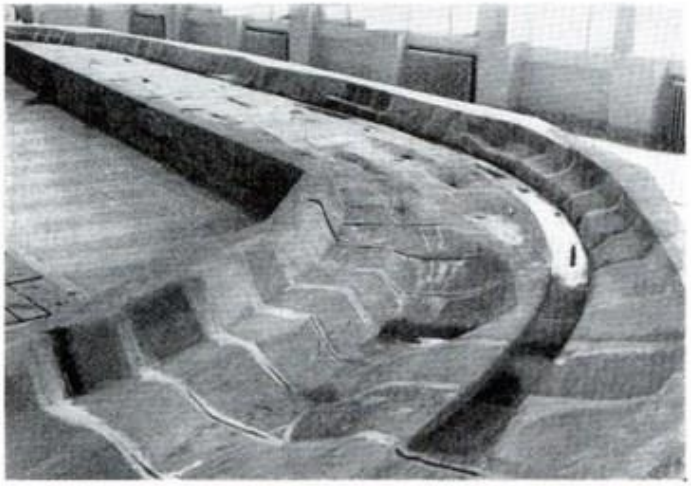


Figura 5b. Modello quasi ultimato: la superficie interna è coperta con intonaco lisciato. La via navigabile non è ancora riempita

Sempre con lo stesso intendimento, nelle sagome di legno furono ritagliati i profili della via di naviga-

zione (che si scorgono chiaramente nella figura 4); questa venne lasciata completamente sgombra dal getto di calcestruzzo, e venne invece riempita di sabbia, sulla quale si dispose una leggera copertina di cemento in modo da riprodurre il presente andamento del terreno.

La profondità della savenella, della quale era stato così reso possibile il successivo escavo, fu stabilita col criterio di assicurare il tirante di 3 m anche con la minima ritenuta a Sesto; il fondo di essa fu quindi disposto a quota 189,50 a monte dei Murazzi e a quota 189 (platea dell'ingresso della conca) alla Miorina.

Per il rilevamento dei livelli liquidi, nelle sezioni dei dieci idrometri che avevano servito per il rilevamento degli otto profili liquidi comunicatici, si disposero delle prese di pressione, in forma di fessure, che si possono vedere ad esempio nella figura 5 a, comunicanti con grossi vasi piezometrici di vetro (fig. 6) posti all'esterno del modello; la lettura del livello liquido nei vasi veniva eseguita mediante asta micrometrica a nonio. Il collegamento altimetrico dei singoli piezometri fra di loro e col modello fu compiuto sbarrando l'alveo a valle e riempiendolo di acqua, così da stabilirvi un piano idrostatico.

Per la misura delle portate sperimentali, a monte della vasca di alimentazione rappresentante il lago fu sistemato un modulatore

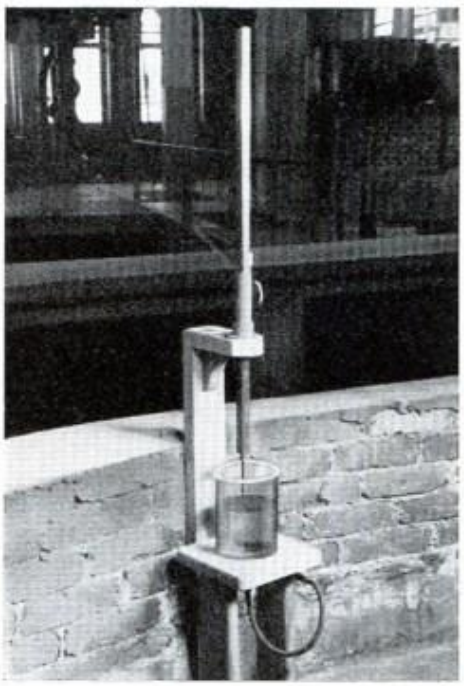


Figura 6. Idrometro per il rilevamento del profilo liquido

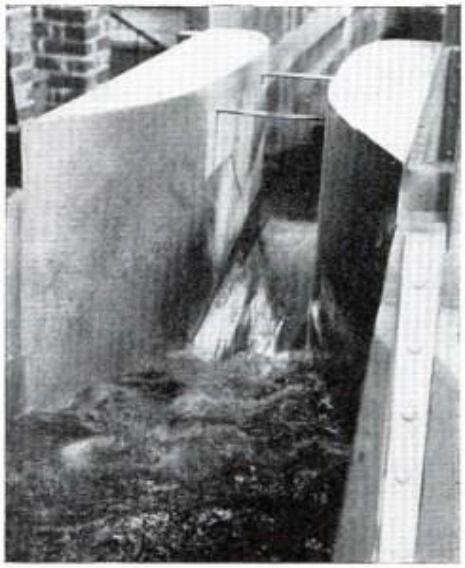
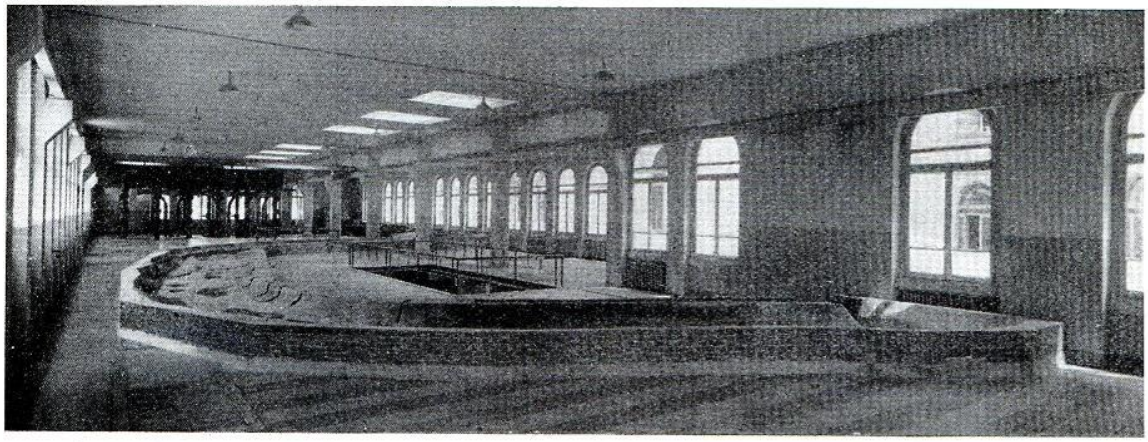


Figura 7. Modulatore a risalto, per la misura della portata immessa nel modello



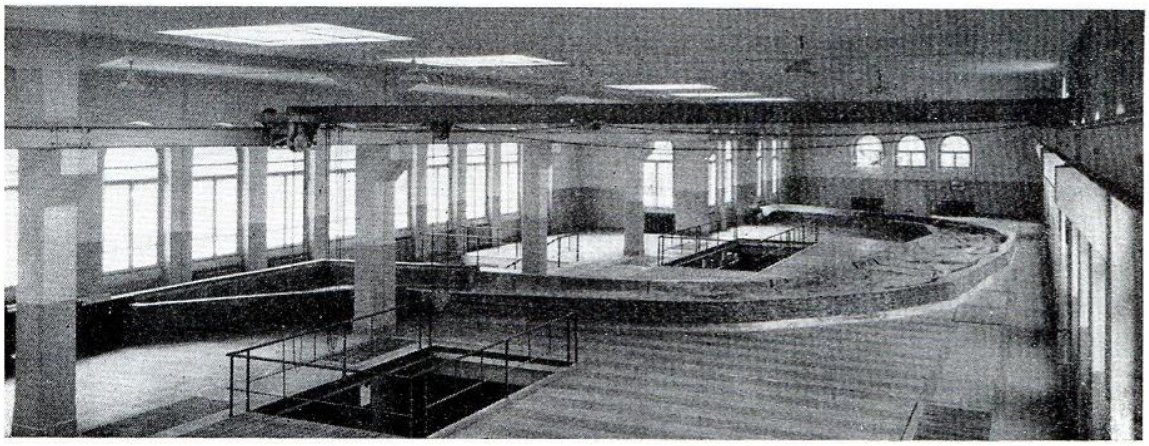


Figure 8 e 9. Vedute d'insieme del modello, appena ultimato e ancora liscio (giugno 1939)

a risalto, appositamente costruito (vedi fig. 7) e munito di vaso idrometrico con asta a nonio.

L'insieme del modello e dell'installazione sono visibili nelle fotografie 8 e 9.

### 3. Elementi caratteristici per la definizione del regime attuale dell'alveo

Come si è detto, nel conferire l'incarico di eseguire la presente ricerca, il Consorzio del Ticino aveva comunicato a questo Istituto otto profili idrometrici rilevati dalla Sezione Idrografica di Milano negli anni 1922–25 lungo il tronco

fluviale in esame, dall'idrometro di Sesto fino a valle della rapida della Miorina, per otto differenti stati lacuali, da un massimo di m 1,925 sullo zero dell'idrometro (m 194,941 s.l.m.) a un minimo di m −0,27 (m 192,746 s.l.m.).

I *profili S. I.* e la scala Cipolletti, sono stati da noi assunti come termini di riferimento per la sistemazione del modello nei riguardi della scabrezza. Vogliamo dire che la scabrezza dei vari tratti del modello è stata progressivamente modificata e intensificata, fino a realizzare in esso dei profili liquidi i quali seguissero più da vicino che fosse possibile quelli rilevati nel fiume per le corrispondenti portate stabilite con la scala Cipolletti.

Questo scopo, notiamo, non poteva essere raggiunto in modo del tutto esatto per l'intero gruppo dei profili S. I.; e ciò, sia a causa della deformazione conseguente alla adozione di una scala delle altezze cinque volte maggiore che per le dimensioni planimetriche, sia anche per il fatto che le resistenze non sono riprodotte nel modello in modo esattamente conforme alla legge di Froude. Per tale motivo, quando anche si fosse riusciti, mediante opportuna sistemazione della scabrezza del modello, a riprodurre esattamente il più basso dei profili rilevati, relativo alla minore delle portate, il modello stesso sarebbe risultato troppo poco scabro per le portate maggiori. All'inconveniente era soltanto possibile porre rimedio parziale, ma non sufficiente certo, procurando di rendere molto scabre le parti più elevate delle sponde e introducendo, in corrispondenza delle esistenti pescaie, degli ostacoli i quali interessassero soprattutto le portate più alte.

A questo proposito occorre notare, tuttavia, che nemmeno la situazione dell'alveo fluviale è costante e immutabile nel tempo. Al contrario, le misure recentemente compiute dalla Sezione Idrografica di Milano, delle quali abbiamo parlato nelle Premesse (n. 2) hanno confermato che, come era da prevedere, essa va soggetta a variazioni pressochè continue, sia per opera della corrente, sia e più in conseguenza dei ritocchi frequentemente apportati alle pescaie. Così è ben probabile che gli stessi profili fluviali S. I. non si riferiscano ad una situazione dell'alveo identica per tutti, se non altro perchè furono rilevati in epoche diverse dell'anno, quando è diverso lo sviluppo della vegetazione acquatica; ed è pressochè certo che essi non riproducono esattamente la situazione attuale.

In considerazione di quanto ora esposto, l'attenzione è stata fissata in modo

particolare sulle portate tra 200 e 300 mc/sec, le quali rappresentano i valori delle consegne utili, nei periodi di trattenuta attiva, e perciò rivestono il maggior interesse ai fini del funzionamento dell'incile lacuale a regolazione attuata.
Le prove non furono estese a tutte le otto portate e ai corrispondenti otto profili, ma furono limitate alle sole sette più alte: si escluse quella di 99 mc/sec, sia perchè essa dava luogo nel modello ad una corrente di profondità eccessivamente limitata, per la quale la applicabilità della legge di similitudine diventava dubbia, e sia per il fatto che, a regolazione attuata, le erogazioni dal lago non dovrebbero ridursi se non in condizioni affatto eccezionali a valori così bassi.
Nel primo gruppo delle prove per la determinazione della scabrezza, delle quali parleremo ora, fu esclusa anche la portata più elevata, di 862 mc/sec.
Diremo infine, prima di iniziare la esposizione delle esperienze e dei loro risultati, che i valori numerici osservati saranno tutti riportati immediatamente alla scala dell'originale.
Cioè nel testo e nei grafici tutte le altezze lette agli idrometri del modello saranno, al pari di quelle osservate sul fiume, espresse in metri sopra il piano orizzontale convenzionale dal quale sono contate le quote liquide a Sesto; e le portate saranno espresse unicamente in mc/sec.

### 4. Scabrezza del modello. Sua realizzazione (Prove della serie A)

Le prove dirette a conferire al modello attraverso successivi adattamenti la necessaria scabrezza formano una serie a sè, che si è chiamata *Serie A*: esse vennero condotte nel modo seguente.
Nel modello veniva immessa, per ogni prova, la portata fluviale di uno dei profili S. I. e il valore di questa portata veniva raggiunto mediante la manovra della apposita saracinesca alla presa, saracinesca che era stata preventivamente tarata; si controllava però che l'idrometro del modulatore a risalto segnasse l'altezza corrispondente, a norma della relativa scala.
Dopo ciò, si portava il livello all'idrometro 9 (subito a monte della soglia della Miorina) al valore corrispondente a quello osservato nel fiume per la portata omologa, ostruendo parzialmente l'alveo a mezzo di ostacoli regolabili, disposti

un paio di metri a valle della sezione dell'erigenda traversa. L'operazione richiedeva cura e pazienza, essendo necessario accertarsi che il livello a Sesto fosse arrivato a regime: per il che occorrevano sempre diversi minuti.
Occorre notare che, prima di iniziare le prove sistematiche, si era dovuto procedere, nel modello, alla rimozione di qualche rilievo troppo pronunciato in corrispondenza del dosso della Miorina, perchè si era notato che il modello stesso, costruito riproducendo fedelmente le sezioni fluviali comunicate, non risultava atto a dare sfogo alle portate più basse, con i livelli corrispondenti a quelli osservati agli idrometri del fiume. Riteniamo che tale mancata corrispondenza fosse da ascrivere al fatto che a valle della soglia della Miorina i rilievi di fondo, per quanto accurati, non avevano una densità sufficiente a fornire una rappresentazione abbastanza minuta della plastica fluviale, che in quel tratto è resa assai complessa e irregolare dalle pescaie, fra le quali si sono accumulati numerosi e grossi massi.
Ottenuto all'idrometro 9 il livello richiesto, la lettura di tutti gli altri idrometri a monte fino a quello di Sesto permetteva di tracciare il profilo longitudinale del pelo libero. Questo profilo veniva posto a confronto con quello corrispondentemente osservato sul Ticino.
Le varie operazioni ora descritte sono state di regola ripetute per tutte, o per talune delle sei portate da 141 a 642 mc/sec relative ai sei profili S. I.
Le prime prove preliminari diedero luogo a constatare che i profili rilevati sul modello soggiacevano nettamente a quelli corrispondentemente rilevati sul fiume, dai quali essi divergevano a partire dallo stesso idrometro 9. Questo, ovviamente, significava che nel modello dell'alveo l'intonaco iniziale di cemento lisciato presentava, come già si sapeva, una scabrezza insufficiente: sicchè il modello offriva alla corrente una azione resistente notevolmente inferiore a quella presentata dall'alveo del fiume.
L'andamento dei primi profili sperimentali mise anche in evidenza la necessità di riprodurre senz'altro la pescaia esistente presso C. Presualdo, immediatamente a monte della curva del fiume compresa fra i Murazzi e la Miorina.
Si procedette quindi ad una prima intensificazione della scabrezza del modello fissando al fondo, mediante cemento, dei sassolini di forma arrotondata e diametro medio intorno a 2 cm, disposti in modo piuttosto uniforme, con mutue

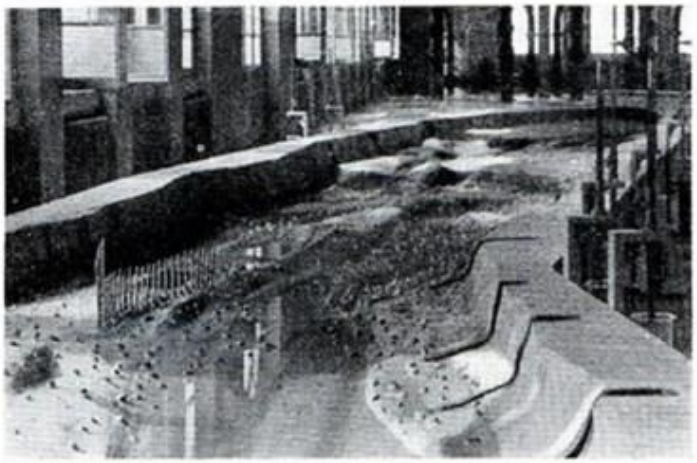


Figura 16. Prima intensificazione della scabrezza e riproduzione della pescaia presso C. Presualdo

distanze dell'ordine di 12–15 cm. Si cominciò dal tronco compreso fra gli idrometri 7 bis e 8, a partire dal quale, e verso monte, si erano riscontrate le prime differenze apprezzabili fra profili fluviali e profili di modello, e si risalì poscia progressivamente verso monte. Nello stesso tratto si provvide alla riproduzione della pescaia di C. Presualdo, la quale inizialmente fu costituita da una semplice fila di bastoncini di legno rotondi, lunghi circa 15 cm, con diametro 6–7 mm, infitti verticalmente a distanza di circa 4 cm l'uno dall'altro.

La situazione del modello a questo punto è visibile nella fotografia di fig. 10: essa fu denominata *situazione A 1*, in quanto fu la prima delle situazioni sottoposte ad esame sistematico per arrivare alla assegnazione della scabrezza del modello. Per la situazione A 1 furono tuttavia rilevati solo i profili relativi alle due portate di 141 e 234 mc/sec.

Tutti i profili rilevati sul modello sono stati tracciati, riunendo in separati disegni quelli relativi ad una stessa portata e ad una stessa serie di misure. Per ovvie ragioni di spesa, non era possibile riprodurre nella presente pubblicazione la successione completa dei numerosissimi disegni così preparati e si dovette per ogni serie limitare la riproduzione a quelli relativi alle portate più significative e ad alcune tipiche situazioni dell'alveo.

Per la presente serie A nelle tavole I e II sono considerate solo le portate di 141, 234, 368 e 548 mc/sec e per ogni portata sono stati riprodotti solo i profili relativi ad una scabrezza superiore a quella della situazione A 1. La linea sottile continua rappresenta sulle stesse figure i profili S. I. osservati nel fiume per le stesse portate.

Non si è ritenuto necessario riprodurre i profili della situazione A 1 perchè il

confronto con quelli S. I. aveva posto subito in evidenza che il modello era tuttora troppo poco scabro. Infatti, per ogni portata, i due profili, rilevato e osservato, erano bensì praticamente sovrapposti a valle dell'idrometro 7 bis (tanto che in queste prime prove tale tronco venne lasciato nelle sue condizioni originarie, con intonaco lasciato), ma a monte si scostavano in misura progressiva, e il distacco diventava particolarmente pronunciato a monte dell'idrometro 4, denotando la esistenza in questo tratto di fiume di una forte perdita di carico localizzata, che ritenemmo di dover attribuire, almeno in gran parte, alle pescaie esistenti sul dosso dei Murazzi. Anche queste pescaie, aventi complessivamente la forma di un W, colle punte rivolte verso valle, furono allora riprodotte nel modello nel modo precedentemente descritto per quella di C. Presualdo (vedi fotografia di fig. 11). Tuttavia l'effetto non fu molto sensibile, almeno per le due portate minori.

Abbiamo chiamato *situazione A 2* quella del modello in questo momento. Il relativo funzionamento fu rilevato successivamente per le sei portate da 141 a 642 mc/sec. Dei sei profili così tracciati si possono vedere nelle due tavole I e II, segnati con linee a tratto e tre punti quelli riguardanti le portate di 141, 234, 368 e 548 mc/sec. Dall'esame dei sei profili apparve chiaro che, come era facile prevedere, il modello era meno scabro per le grandi che per le piccole portate: infatti, gli scostamenti fra i profili sperimentali e quelli S. I. risultarono tanto più pronunciati quanto maggiore era la portata, e aumentavano con questa in modo abbastanza regolare.

A partire da questo momento, al fine di accelerare la definitiva sistemazione del modello, l'accertamento degli effetti delle modificazioni successivamente apportate all'alveo venne, per diverse prove, condotto con riferimento alla sola portata di 234 mc/sec, che è certo vicina alla massima consegna utile estiva.

Non ci pare inutile un breve accenno ai successivi tentativi, più che in vista dell'interesse singolo, che è sostanzialmente secondario, al fine di dare una idea della entità del lavoro resosi necessario per arrivare ad una sufficiente riproduzione delle caratteristiche idrauliche del tronco fluviale.

Così, discreti miglioramenti locali nell'andamento del profilo liquido si ottennero sia intrecciando rami flessibili alle palificate delle pescaie, sia accumulando del ghiaietto al loro piede, in vista del fatto che dette pescaie vengono di con-

tinuo ostruite artificialmente e vengono, inoltre, a operare una notevole azione di trattenuta sul materiale trasportato in superficie (rami d'albero e materiale galleggiante in genere).

Dimostrandosi però sempre la necessità di accrescere anche le resistenze continue, si provvide a fissare al fondo con malta liquida di cemento, in aggiunta ai sassolini, uno strato di granuli di sabbia viva, con dimensioni medie di 3–4 mm (vedi fig. 11). Anche questa applicazione fu condotta per gradi, da valle verso monte, a partire dalla sezione dell'idrometro 7 bis.

Figura 11. Intensificazione della scabrezza e riproduzione delle pescaie sul dosso dei Murazzi

La *situazione A 3* è appunto quella del modello reso scabro come ora detto per tutto il tronco compreso fra gli idrometri 2 e 7 bis. L'effetto del provvedimento rimase circoscritto a un tratto a monte dell'idrometro 4, ed anche qui si manifestò in misura molto modesta.

Risultati più soddisfacenti non furono ottenuti nemmeno spargendo sul fondo, già sistemato come si è detto, del pietrisco più grosso di frantoio (dimensioni medie 5–8 mm) il quale rimaneva in luogo senza che occorresse fissarlo, per effetto del proprio peso e dell'azione resistente esercitata dalla scabrezza base. Con uno strato pressochè continuo del detto pietrisco, di spessore che arrivava a 1 cm, fu coperto quasi tutto il fondo, specialmente nelle parti elevate, dove per le ragioni dette la scabrezza doveva avere maggiore efficacia (*situazione A 4*). Il risultato si è dimostrato nell'insieme assai scarso, tanto più che l'aumento di resistenza rispetto allo stato precedente era parzialmente imputabile alla diminuzione di sezione liquida dovuta allo strato di pietrisco. Si riconobbe, poi, che ulteriori aggiunte di pietrisco avevano efficacia sempre minore, perchè in un certo senso tendevano a regolarizzare gli strati precedenti, riducendone la scabrezza.

Si decise quindi di cambiar strada: asportato tutto il pietrisco sciolto e ripristi-

nate le condizioni della situazione A 3, si fissarono al fondo in ordine sparso, alla mutua distanza di 8–10 cm in media, dei frantumi di mattoni forati, con dimensioni approssimate di 0,5 × 2 × 4 cm, disposti con la dimensione maggiore verticale e la più piccola faccia nel senso normale alla corrente, in modo che la diminuzione di area complessiva delle sezioni trasversali risultasse di entità poco rilevante (vedi figure 12 e 13). Dopo le prime prove, la nuova scabrezza artificiale fu estesa a tutto il tronco compreso fra gli idrometri 3 e 6, e intensificata un poco nelle zone di quel tronco ove l'alveo raggiunge le quote maggiori (*situazione* A 5). Attesa la migliore rispondenza del provvedimento, le prove per questa situazione furono ripetute, oltrechè per 234 mc/sec, per le portate di 141 e 548 mc/sec (linee continue sottili nelle tavole I e II). I nuovi profili, pur non raggiungendo ancora quelli osservati nel fiume, sono però assai vicini ad essi e nettamente superiori a quelli rilevati per tutte le situazioni precedenti. La stessa scabrezza venne allora estesa al tronco fra gli idrometri 2 e 3: in pari tempo, poichè il profilo relativo alla portata di 548 mc/sec dimostrava essere ancora insufficiente la resistenza per le grosse

Figura 12. Definitiva sistemazione della scabrezza dell'alveo, e delle pescaie ai Murazzi

Figura 13. Acqua in moto nell'alveo definitivamente sistemato ai Murazzi

portate, si aggiunsero altri rami alle parti elevate delle pescaie (*situazione* A 6). I rilievi relativi a questa situazione furono ripetuti per le sei portate da 141 a 642 mc/sec: per le due portate minori i profili (linee a due tratti e molti punti) si spingono già qualche centimetro più in alto (nella scala dell'originale) di quelli osservati sul fiume, in un breve tronco a monte del dosso dei Murazzi, mentre per le altre portate sono ancora tutti più bassi.

Nell'insieme, ridotto alla situazione A 6 il modello si dimostrava ancora troppo poco scabro a valle dei Murazzi, specialmente nella zona prossima alla pescaia di C. Presualdo. Si estese allora anche a valle il sistema di frantumi di mattoni forati, al tronco fra gli idrometri 6 e 7 bis (*situazione* A 7). Con ciò il nuovo tipo di scabrezza artificiale venne a coprire tutto il tronco fluviale che nella situazione precedente A 3 era stato ricoperto con pietrisco minuto, fissato con malta di cemento. Rilevati i profili per le sei portate anzidette, essi denotarono un miglioramento sensibile per quelle di 278 mc/sec e superiori; per 141 mc/sec ci fu pure un miglioramento netto a valle dei Murazzi, ma si ebbe anche un peggioramento a monte, nel senso che il profilo rilevato nel modello venne a risultare più elevato di quello fluviale; lo stesso fatto si verificò con la portata di 234 mc/sec per quasi tutto il tronco fluviale.

Tuttavia, le situazioni A 5 e A 6 erano nell'insieme ambedue abbastanza soddisfacenti: le prove ulteriori furono quindi altrettanti tentativi, solo parzialmente riusciti, di ottenere ancora qualche miglioramento, intensificando la resistenza in alcune parti, attenuandola in altre. Poichè con le portate maggiori l'alveo non si dimostrava ancora abbastanza scabro fra gli idrometri 1 e 3, sul fondo di questo tronco si dispose una rete metallica con maglie quadrate di 2 mm; ma il provvedimento dimostrò scarsa efficacia.

Miglior risultato ebbe, invece, sempre per queste portate, l'infittimento dei frantumi di mattone nel tronco fra gli idrometri 4 e 5 e un poco a valle dello stesso 5 (*situazione* A 8). Dai profili rilevati per le sei portate in queste nuove condizioni apparve evidente che il modello, secondo il previsto, era ancora meno scabro dell'originale per le forti portate, mentre era decisamente più scabro per le piccole: si è già fatto notare come questo inconveniente dipendesse dall'alterazione delle scale e presentasse poche probabilità di essere interamente eliminato.

Si provò tuttavia a spostare verso l'alto i rami intrecciati alle palificate delle pescaie, in modo che, pur costituendo un ostacolo al deflusso delle portate maggiori, dalle quali venivano sommersi, essi lasciassero scorrere liberamente al di sotto le portate minori (*situazione A 9*). Il provvedimento diede discreti risultati: i profili liquidi sono tracciati sulle tavole con linea grossa continua.
Nella seguente tabellina riportiamo i valori dei massimi scostamenti e degli scostamenti medi (medie dei valori assoluti riscontrati ai vari idrometri) tra i profili S. I. osservati sul fiume e quelli desunti dal modello per questa situazione A 9:

| Portate mc/sec . . . . . | 141 | 234 | 278 | 368 | 548 | 642 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scostamenti massimi (in cm, al vero) | −4,1 | +5,2 | −5,0 | −7,1 | −9,4 | −7,4 |
| Scostamenti medi (in cm, al vero) . . | 1,8 | 1,8 | 2,6 | 2,9 | 3,1 | 2,8 |

Giunti a questo punto, non sembrò il caso di procedere ad ulteriori tentativi di perfezionare la rispondenza fra modello e originale; in effetto gli scostamenti residui non presentavano più alcuna importanza pratica e non ne avevano nemmeno dal punto di vista concettuale, giacchè, come abbiamo notato ripetutamente, lo stesso regime fluviale non è del tutto stabile, e nemmeno risulta definito con approssimazione sicuramente maggiore di quella raggiunta nelle prove.
Si provvide soltanto ad estendere anche al tronco compreso fra l' idrometro 7 bis e la soglia della Miorina la scabrezza che era stata applicata a tutto il tratto a monte: e ciò per le seguenti ragioni.
Nel tronco predetto, come già si disse, si erano riscontrati fin dalle prime prove dei profili liquidi praticamente coincidenti con quelli S. I. rilevati sul fiume; e per questo motivo l'intonaco del tronco era stato lasciato nelle originarie condizioni, mentre a monte si era venuta costituendo gradatamente la marcatissima scabrezza ultimamente descritta.
Ma è ovvio che una così importante differenza di scabrezza fra due tronchi contigui del letto fluviale non poteva rispondere alla reale condizione del fiume, nel quale lo stato del fondo è pressochè uniforme: ed è chiaro pure che la coincidenza notata a valle dell'idrometro 7 bis tra i vari profili rilevati, compresi quelli sul modello ancora liscio, e i profili fluviali, doveva attribuirsi unica-

mente ai notevoli fondali, i quali attenuano l'influenza della scabrezza dell'alveo, fino a renderla inapprezzabile. E infatti, cosparso il fondo del tratto in parola con graniglia, fissata con malta fluida, e attuatavi poi senz'altro la scabrezza artificiale della situazione A 9 con frammenti di mattoni forati, i profili liquidi non subirono che variazioni di minimo rilievo.
L'estensione della scabrezza non sarebbe stata necessaria se i fondali predetti avessero dovuto mantenere anche nelle prove successive, sull'alveo sistemato, la notevole entità presentata in quelle finora descritte. Ma l'attuazione della prevista sistemazione della soglia della Miorina era certamente destinata a deprimere in notevole misura il pelo liquido a monte e a ridurre i fondali a valori per i quali la scabrezza sarebbe venuta ad esercitare una influenza non trascurabile. Di qui la necessità di conferire a questo tronco la scabrezza occorrente per renderlo atto a riprodurre il comportamento del fiume anche nelle nuove future condizioni.

### 5. Scale delle portate a Sesto Calende

I risultati man mano ottenuti nel corso delle prove che siamo venuti descrivendo trovano una sintesi chiara ed evidente nelle scale delle portate all'idrometro di magra di Sesto Calende. Queste scale si vedono tracciate nella figura 14 con gli stessi segni usati per indicare, nelle tavole I e II, i corrispondenti profili liquidi, rilevati per le singole situazioni esaminate.
Non crediamo inutile far presente, ancora una volta, che tutte queste scale sono state ottenute lasciando invariate le attuali condizioni di deflusso alla Miorina, come sono definite dalla scala attuale delle portate all'idrometro 9.
Nella figura 14 la scala relativa all'ultima situazione sperimentale A 9 è stata segnata con linea grossa continua; mentre le due linee sottili (continua e a lunghi tratti) corrispondono alla scala Cipolletti e a quella desunta dalle misure compiute dal Servizio Idrografico negli anni 1935–37.
Il confronto fra queste due scale e quella fornita dal modello dà un'idea del grado di approssimazione raggiunto nella riproduzione delle caratteristiche idrauliche del tronco fluviale. La corrispondenza fra modello e fiume è sicuramente soddisfacente per tutto il campo delle portate di consegna utile, da 100

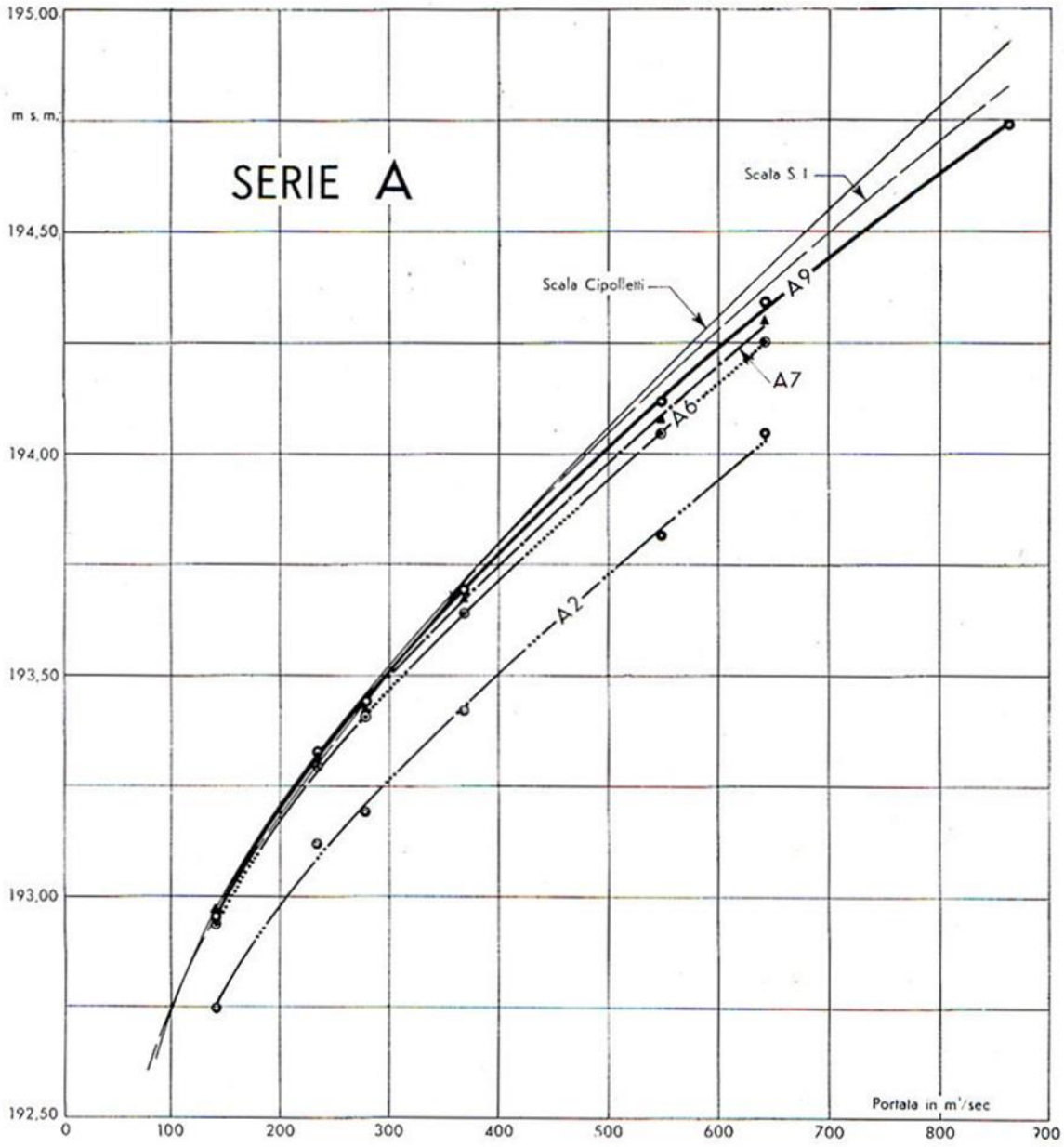



Figura 14. Scale di portata all'idrometro di Sesto, per le più significative situazioni sottoposte a prova nella Serie A. (Per le caratteristiche delle diverse situazioni, vedere le tavole I e II)

a 300 mc/sec, nel quale gli scostamenti fra le portate fornite dalle tre scale a parità di altezza a Sesto risultano di poco superiori all'1%. Gli scostamenti rispetto alla scala Cipolletti raggiungono il 2,5% circa, soltanto a partire da portate dell'ordine di 400 mc/sec: ma si mantengono entro limiti più ristretti per rapporto alla scala del S. I. che per tali portate è certo più attendibile.

# Parte II

*Spianamento della soglia della Miorina; apertura totale e parziale della savenella per la navigazione (Prove della serie B)*

## 1. Piano d'insieme delle prove della serie B

Messo a punto il modello a monte della Miorina nei riguardi della scabrezza, potè essere iniziata l'indagine delle conseguenze idrauliche della divisata sistemazione dell'alveo fluviale. La esposizione dei risultati formerà oggetto di questa Parte II e della successiva Parte III.

Si cominciò naturalmente col riprodurre nel modello le opere attualmente in corso di esecuzione alla soglia della Miorina, e le correzioni dell'alveo previste subito a valle di questa.

Dopo un primo adeguato spianamento del fondo in corrispondenza della stretta, si pose in opera nella sezione 48 (vedi fig. 15) la platea fissa della erigenda traversa abbattibile, formandola con una tavola di larice, lunga 2 m (200 m nell'opera). La quota della soglia fu fissata, come in progetto, a m 191,20, e all'estremità a monte fu applicato il previsto piccolo dente d'appoggio per le panconate mobili, a quota 191,35.

A valle della platea, in conformità dei concetti fissati nella relazione Fantoli, si operò lo spianamento dell'alveo fluviale sopra la prevista larghezza di m 150, asportando tutto il materiale situato al di sopra di un piano inclinato, scendente verso valle con la pendenza di 50 cm per km a partire da quota 191,20 nelle immediate vicinanze della platea. Notiamo che alla detta pendenza corrisponde nel modello quella del 2,5 per mille, in considerazione della deformazione conseguente alla scelta di due scale differenti per le dimensioni orizzontali e per le

altezze. Il lavoro fu limitato alla asportazione delle materie sovrastanti al piano di sbancamento, senza riempire le parti depresse sotto tale piano, e la superficie spianata venne resa scabra come il resto dell'alveo (situazione A 9).

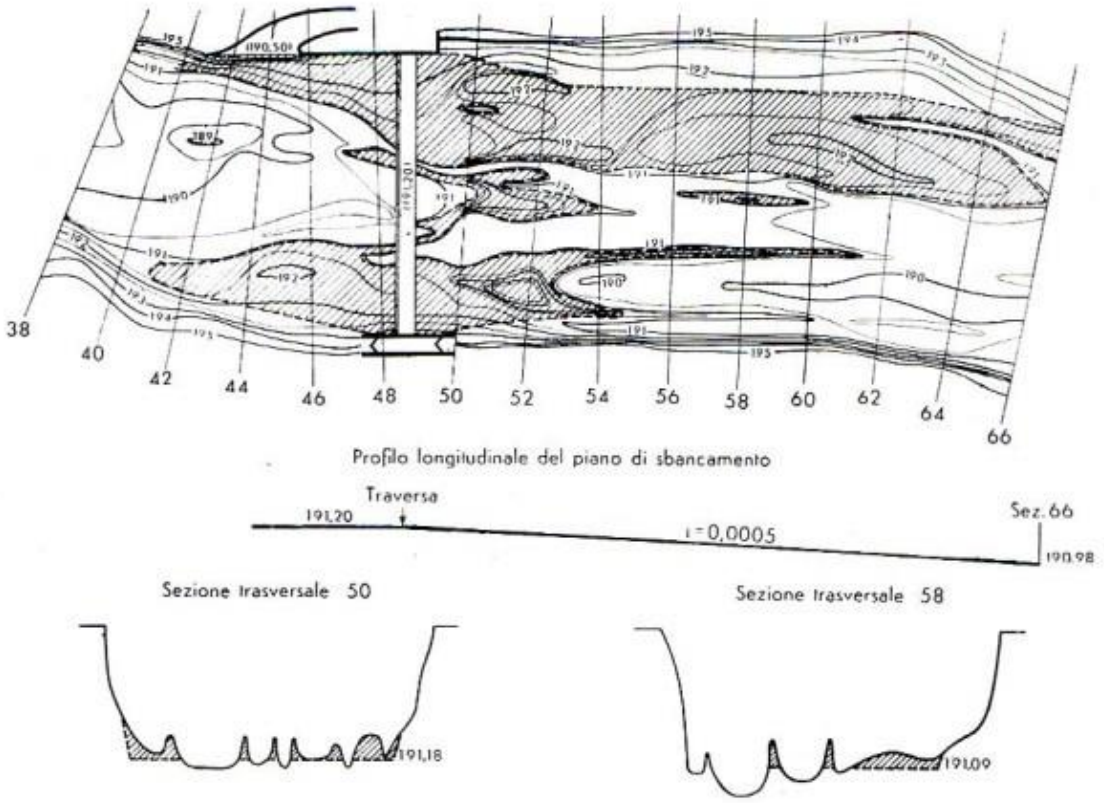



Figura 15. Sbancamenti eseguiti alla soglia della Miorina (il tratteggio indica le zone interessate dallo sbancamento)

Parziali sbancamenti fino alla quota 191,20 furono eseguiti anche a monte della traversa, di fronte all'imbocco del canale sussidiario e su tutta la larghezza del fiume. In effetto i materiali di fondo che trovansi attualmente a monte della traversa e a quote superiori a quella 191,20 della platea verranno con ogni probabilità asportati dalla corrente o, se l'asportazione non avesse ad intervenire, dovranno essere tolti al fine di assicurare il regolare afflusso delle acque verso la traversa stessa.

Anche in queste zone sbancate si ricostituì la scabrezza corrispondente alla situazione A 9, malgrado sia presumibile che in esse, almeno per un certo tempo,

il fondo fluviale resterà più liscio di quanto non sia allo stato attuale. Lo sbancamento compiuto è rappresentato nella figura 15: il volume del materiale complessivamente asportato è stato valutato a circa mc 16.500 in base a un computo sommario condotto sul piano quotato desunto dalle sezioni trasversali. Si provvide anche a riprodurre l'imbocco del canale sussidiario, segnato nel progetto esecutivo in sponda destra (quindi, per il modello, in sponda sinistra); questo imbocco fu costruito in legno, sagomandolo secondo i disegni comunicatici dal Consorzio e applicandovi una paratoia che poi fu tenuta chiusa per gran parte delle prove. Alla paratoia seguiva un breve tratto di canale, che versava in una canaletta fornita di un misuratore a risalto. La lunghezza del tratto anzidetto di canale sussidario era sufficiente perchè il movimento dell'acqua vi risultasse assimilabile a quello che si svolgerebbe nell'originale in regime di deflusso libero, cioè non rigurgitato da valle (salvo gli effetti della deformazione della sezione trasversale in conseguenza delle diverse scale delle larghezze e delle altezze).

Figura 16. Veduta dell'alveo alla Miorina dopo lo spianamento della soglia (la traversa è chiusa; in sinistra imbocco del condotto laterale, in destra conca; nel fondo, idrometro 10, con pozzetto di calma, per le letture del livello)

Presso l'altra sponda venne riprodotta, a fianco della platea e sempre in legno, la conca di navigazione, che risultò pure deformata, come il resto del modello. Notiamo però che nei riguardi della conca ci si limitò nella presente indagine a riconoscere l'entità della portata alla quale, in caso di necessità, essa potrebbe dare sfogo. L'esame sperimentale della conformazione da assegnare all'imbocco – esame che pure potrà rivestire notevole interesse, in rapporto alla condizione che verrebbe a crearsi a monte della conca, quando essa fosse chiamata a funzionare a traversa completamente abbattuta – avrebbe richiesto un modello in scala più

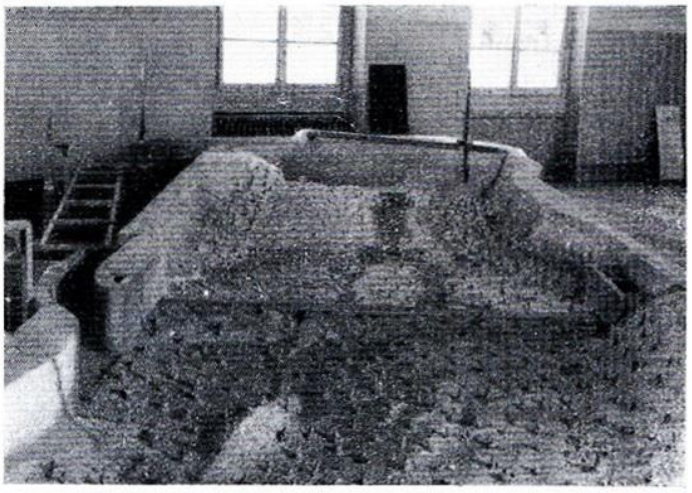


Figura 17. Alveo alla Miorina, come in figura 16, ma con traversa asportata

grande e possibilmente non deformato.

È da notare altresì che, rispetto al disegno comunicatoci, dal quale è stato ritratto il modello della conca, la larghezza di questa è stata successivamente aumentata di 2 metri (da 10 a 12 m).

La traversa attualmente in costruzione comprende anche due esili pile intermedie, a sostegno della passerella destinata a portare il carrello per la manovra delle ventole. Queste pile, aggiunte in un secondo tempo, non erano ancora segnate sui disegni che ci hanno servito per la costruzione del modello. Siccome però la loro aggiunta ridurrà solo in minima misura (del 4% circa) la luce libera complessiva, che è di 200 m, e la loro presenza non potrà avere ripercussioni apprezzabili sul movimento della corrente, non ci è parso necessario di modificare il modello per applicarvele.

Il complesso delle modificazioni apportate al modello dell'alveo in prossimità della soglia della Miorina è messo in evidenza anche dalle fotografie delle figure 16 e 17 nella prima delle quali si vede la traversa chiusa. Furono infatti fin dall'inizio predisposte anche le parti mobili che dovevano poi servire per le prove relative alle condizioni di traversa parzialmente aperta: prove che esporremo nella Parte IV.

Le prove della presente serie B e quelle della successiva serie C furono effettuate tutte ammettendo la traversa completamente abbattuta: in realtà nel modello essa venne asportata.

Infine, contemporaneamente alla esecuzione delle ora esposte modificazioni alla Miorina si procedette anche all'apertura della savenella di navigazione (vedi fig. 18) nel tronco a monte, secondo il tracciato e con le dimensioni già predi-

sposte, come dicemmo, nelle sagome di legno; il volume scavato per l'apertura della savenella è stato valutato in circa 185.000 mc.

Sarà opportuna una parola di chiarimento circa le ragioni per le quali l'escavo della savenella fu sottoposto a prova fin dall'inizio delle esperienze, prima di qualunque lavoro al dosso dei Murazzi. La necessità di assicurare un tirante non inferiore a 3 m anche negli stati più depressi del lago, e per l'intero tronco fluviale a monte della Miorina, comporterà in effetto l'esecuzione di una profonda incisione nel dosso in parola, la quale sarà destinata a recare sostanziale miglioramento nella capacità di deflusso del tronco. Parve opportuno procedere, in via preliminare, a riconoscere l'entità del miglioramento conseguibile per tale via, al fine di trarne norma nel condurre le indagini relative ai lavori da fare ai Murazzi.

Senonchè, l'apertura della savenella di navigazione, pure essendo indispensabile ai fini della divisata linea di grande navigazione Milano–Lago Maggiore, e anche ai fini più modesti della messa in valore delle opere di navigazione già eseguite sui canali laterali al Ticino, non è compresa fra i lavori attualmente in corso, e nemmeno rientra fra i compiti del Consorzio: il quale deve soltanto provvedere a lavori ed opere direttamente destinati ad aumentare nella prevista misura la capacità di deflusso del tronco fluviale. Era, quindi, necessario stabilire altresì le modificazioni da apportare a tale tronco, al fine di migliorarlo nei limiti previsti dal piano della regolazione, indipendentemente dalla esistenza della via predetta.

Per questo motivo alle prove che, come ora diremo, furono eseguite con savenella completamente aperta, se ne fecero seguire altre, con savenella progressivamente riempita, fino

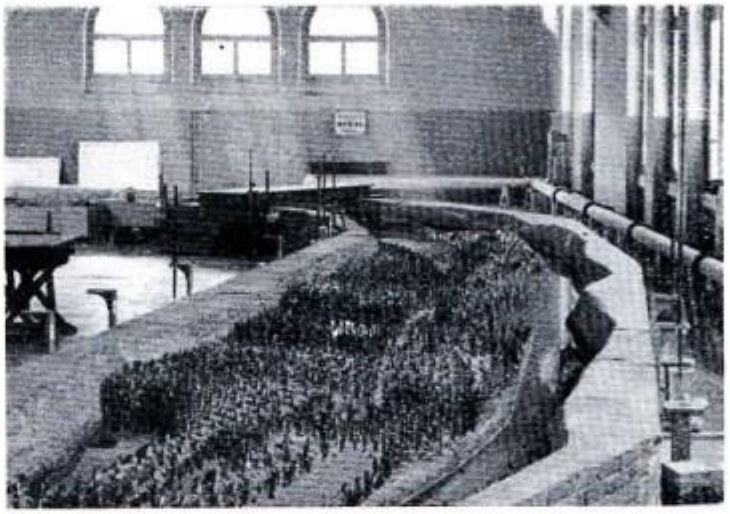


Figura 18. Visione d'insieme dell'alveo, nelle condizioni esaminate nelle prove B 1, B 2 e B 3 (con savenella completamente aperta)

alla ricostituzione dell'alveo attuale. Con ciò si ebbe modo di riconoscere anche il funzionamento dell'alveo, nelle condizioni che verranno create dal semplice sbancamento alla Miorina e dalle opere connesse.

Le modificazioni nelle modalità di funzionamento idraulico e nella capacità di portata del Ticino fluviale, successivamente apportate dai vari provvedimenti esaminati in questa serie B di prove, furono caso per caso riconosciute ponendo a confronto i profili liquidi rilevati per le singole situazioni sperimentate, con quelli che erano stati raccolti per le stesse portate nelle prove terminali della precedente serie A, operando sul modello posto nella *Situazione A 9*. Vogliamo dire che questa *Situazione A 9* è stata adottata come situazione base, atta a definire le condizioni attuali dell'alveo.
Poichè la apertura della savenella era stata preordinata già all'atto della costruzione del modello dell'alveo, preparando i necessari intagli nelle sagome di legno, per attuarla bastò rompere la leggera copertina di cemento e asportare la sabbia di riempimento.
Popo dopo il primo inizio delle prove delle serie furono tolte tutte le pescaie, sia quelle sul dosso dei Murazzi, sia quella di C. Presualdo, perchè la loro abolizione sarà, e tale si dimostrò nelle esperienze, parte integrante di qualunque sistemazione. Così, il materiale che ora esamineremo si riferisce tutto a pescaie abolite.

## 2. Prove preliminari: situazione B 1

Il primo gruppo delle prove della serie B è stato diretto a riconoscere gli effetti idraulici della apertura della via navigabile e della abolizione delle pescaie sul regime di deflusso del tronco fluviale tra Sesto e la Miorina.
A tale scopo le prove del gruppo vennero condotte, come già quelle della serie A, riproducendo alla Miorina, all'idrometro 9, i livelli attuali per le singole portate. Precisamente, per ognuna delle sette portate già molte volte citate, da 141 a 862 mc/sec, si rilevarono i profili che assumeva il pelo liquido, quando all'idrometro 9 (Miorina) il livello veniva stabilito alla quota osservata nel fiume per la stessa portata. Questi profili furono tracciati con linee a lunghi tratti (situazione B 1) in una nuova serie di disegni dei quali riportiamo qui, nelle ta-

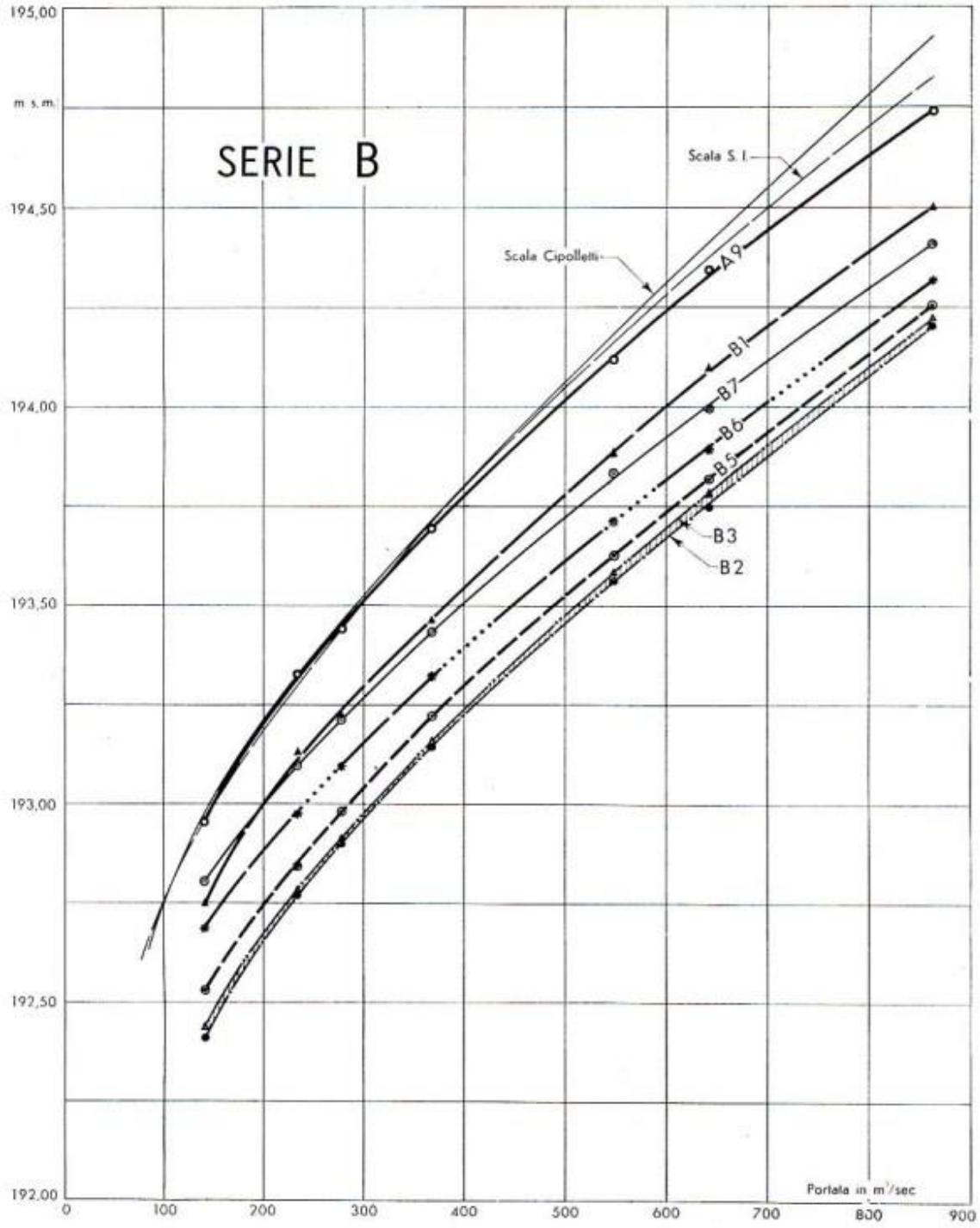



Figura 19. Scale di portata all'idrometro di Sesto, per le diverse situazioni della serie B. (Per le caratteristiche delle diverse situazioni vedere le tavole III e IV)

vole III e IV, quelli che riguardano le portate di 141 e 234 mc/sec; sugli stessi disegni sono stati tracciati con linea grossa continua i profili che erano stati corrispondentemente rilevati per la situazione A 9; profili che per noi rappresentano, come si è detto, le condizioni idrauliche naturali.
Il confronto fra le due serie di profili pone in evidenza le ripercussioni che avrebbero, sul regime di deflusso del tronco, sia l'aumento delle sezioni liquide, dovuto allo scavo della savenella di navigazione, sia l'abolizione delle pescaie, nell'ipotesi che soglia e stretta della Miorina rimanessero inalterate.
Tali ripercussioni trovano una evidente e sintetica dimostrazione nella modificazione subìta dalla scala delle portate all'idrometro di Sesto Calende: questa scala è stata tracciata nella figura 19 con linea a lunghi tratti, mentre vi sono state riprodotte con linea continua grossa la scala che si era ottenuta per la situazione A 9 (riproduzione dell'alveo attuale) e con linee sottili (continua e a lunghi tratti) le scale Cipolletti e del S. I.
Il beneficio conseguente ai provvedimenti esaminati si dimostra dell'entità pressochè costante di circa 20 cm per tutto il campo di portate preso in considerazione: cioè la erogazione di una data portata dal lago, se la soglia della Miorina fosse lasciata intatta, avverrebbe con una quota all'idrometro di Sesto 20 cm più bassa di quella che occorre attualmente.

### 3. Effetti dello spianamento alla Miorina: situazioni B 2, B 3, B 4

Per lo stato del modello queste situazioni non differiscono dalla B 1: soltanto, l'esame è stato esteso fino a comprendere la soglia della Miorina, e non si è arrestato a monte di essa.

a) *Riferimento idrometrico.* Per poter definire su basi concrete i detti effetti occorreva fissare le condizioni idrometriche da stabilire caso per caso, cioè per le singole portate, a valle della soglia stessa.
È chiaro infatti che, essendosi proceduto allo spianamento della soglia e all'ampliamento della stretta della Miorina, l'idrometro 9, al quale, come a termine di riferimento mantenutosi inalterato, sono state riportate tutte le prove precedenti, doveva essere sostituito in tale sua funzione da un altro situato a valle, e mantenutosi del pari inalterato.

A questo proposito gioverà osservare quanto segue. Il problema sottoposto a questo Istituto riguarda la sistemazione del tronco fluviale da Sesto alla rapida della Miorina inclusa, tale tronco essendo considerato come a sè stante, cioè a prescindere dalle modificazioni che al regime di esso potranno derivare dall'impianto di Porto della Torre.

Il piano generale tracciato dal Sen. Fantoli e approvato dagli uffici statali competenti fissa, d'altra parte, in m 191,35 la massima ritenuta a Porto della Torre nei periodi di consegna utile, con portata fluviale che a norma del piano generale medesimo non dovrebbe superare – al massimo – i 240 mc/sec. Fino a che ritenuta a Porto della Torre ed erogazione dal lago restassero contenute entro tali limiti, potrebbe essere sicuramente escluso che la ritenuta a Porto della Torre arrivasse ad influenzare in modo comunque apprezzabile il deflusso a monte della Miorina. Se, cioè, la utilizzazione a valle dovesse essere effettuata rispettando esattamente le linee direttrici approvate, il deflusso sulla diga mobile risulterebbe sempre libero, cioè non influenzato da valle, come se l'impianto di Porto della Torre non esistesse.

Le prove della serie B e C, e anche quelle della serie D sono state condotte sulla base di questa ipotesi: a tal fine si è provveduto a riprodurre a valle della traversa le condizioni idrometriche attuali. Naturalmente si ebbe cura che tale riproduzione avvenisse in una sezione sufficientemente distante, perchè risultasse esclusa ogni ripercussione della correzione della soglia. A tal fine, come nuovo termine di riferimento sono state assunte, in luogo delle indicazioni fornite per le singole portate dall'idrometro 9, quelle fornite dall'idrometro 10, che è posto alla fine della rapida, subito a monte della soglia naturale che precede la successiva rapida della Cagaratta. Vogliamo dire che il rilievo dei profili liquidi venne fatto, caso per caso, cioè per ogni portata, dopo aver procurato di riprodurre nel modello l'altezza osservata per quella portata all'idrometro 10.

Tutto questo precisato in linea di massima, la definizione e la riproduzione nel modello delle attuali condizioni *naturali* apparivano ostacolate dal fatto che nel modello stesso l'idrometro 10 cade circa 85 cm a valle della sezione terminale del plastico fluviale, entro il bacino finale di raccolta (vedi fig. 3 e fotografia di fig. 16).

È ovvio che in tali condizioni non era possibile riprodurre nel modello esatta-

mente le letture al corrispondente idrometro del fiume. E invero, data la piccola velocità dell'acqua nel bacino finale, la pendenza del pelo liquido in esso era certamente molto inferiore a quella nel tronco fluviale corrispondente, occupato dal tratto inferiore dalla rapida della Miorina. Qualora, pertanto, si fossero stabilite all'idrometro 10 del modello (vedi lo schema di fig. 20) le stesse quote del pelo d'acqua rilevate all'idrometro fluviale, si sarebbero avute, in corrispondenza della sezione terminale *m m* del modello, delle quote d'acqua inferiori a quelle ivi verificatesi in realtà, e nel tronco fra tale sezione e la traversa mobile, delle pendenze motrici e delle velocità più elevate. Le più basse quote liquide terminali avrebbero quindi determinato, per il tronco a monte della Miorina, una depressione generale dei profili liquidi sperimentali in confronto di quelli effettivamente verificabili, in pari condizioni, nel fiume. Tale depressione sarebbe certo andata attenuandosi da valle verso monte, ma non fino a rendersi inapprezzabile a Sesto.

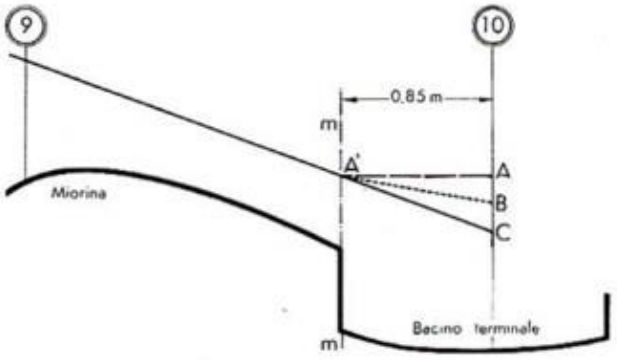


Figura 20

Occorreva, perciò, aumentare in congrua misura le quote liquide all'idrometro 10 del modello; nella impossibilità di addivenire ad una rigorosa valutazione della entità di tale aumento, si procedette a ripetere le prove sulla base delle due diverse ipotesi seguenti, l'una delle quali portò certamente a sopravalutarlo e l'altra, con ogni probabilità, a sottovalutarlo:

1) che nel tratto di fiume compreso fra l'ultima sezione riprodotta nel modello e l'idrometro 10 l'abbassamento del profilo liquido si potesse ritenere trascurabile; in tale ipotesi, all'idrometro 10 del modello il pelo liquido doveva essere portato (vedi fig. 20) al livello A' da esso presumibilmente raggiunto nella sezione fluviale corrispondente a quellaterminale *m m* del plastico. Tale livello non era stato letto in occasione del rilevamento dei profili S. I.; però, con la certezza di arrivare a valori in eccesso rispetto a quelli reali, esso fu dedotto dai profili stessi, con semplice interpolazione lineare fra i livelli M e C letti ai due

idrometri 9 e 10. All'idrometro 10 il pelo liquido venne quindi portato al livello del punto A.

2) che nel tratto in parola l'abbassamento ora detto equivalesse alla metà AB del valore AC ritraibile dai profili (vedi fig. 20): il pelo liquido all'idrometro 10 venne allora portato al livello B.

Le due ipotesi hanno portato ad assegnare all'idrometro 10 del modello (collocato nel bacino) rispettivamente l'una o l'altra delle due seguenti scale di deflusso:

QUOTE ALL'IDROMETRO 10 DEL MODELLO IN m s. m.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Portata mc/sec | 141 | Ipotesi 1 | 191,64 | Ipotesi 2 | 191,56 |
| Portata mc/sec | 234 | | 191,97 | | 191,89 |
| Portata mc/sec | 278 | | 192,03 | | 191,95 |
| Portata mc/sec | 368 | | 192,25 | | 192,17 |
| Portata mc/sec | 548 | | 192,61 | | 192,54 |
| Portata mc/sec | 642 | | 192,81 | | 192,73 |
| Portata mc/sec | 862 | | 193,40 | | 193,34 |

Come abbiamo notato, la prima portò certo ad assegnare alla quota liquida nella sezione terminale del modello dei livelli superiori a quelli che si sarebbero verificati se nel modello fossero state completamente riprodotte le condizioni reali, e quindi diede luogo a profili liquidi tutti più alti; è bene probabile invece che la seconda portasse all'opposto risultato. È quindi da ritenere che per ogni portata il profilo esatto fosse compreso fra i due rilevati nel modello. Siccome le differenze fra le altezze all'idrometro 10 ricavate nelle due ipotesi non hanno superato gli 8 cm, è fuori di dubbio che a Sesto le loro ripercussioni dovettero essere di importanza affatto trascurabile.

Nella figura 21 sono tracciate la scala *naturale* delle portate all'idrometro 10 (linea sottile), e quella stabilita sulla base dell'ipotesi 1, che è stata poi applicata nella maggior parte dei casi, come diremo.

b) *Esecuzione delle prove e loro risultati.* Fissate le due anzidette scale, gli effetti combinati dello spianamento della Miorina e dell'apertura della via navigabile (oltrechè, s'intende, dell'abolizione delle pescaie) vennero successivamente riconosciuti con riferimento all'una e all'altra scala, operando natural-

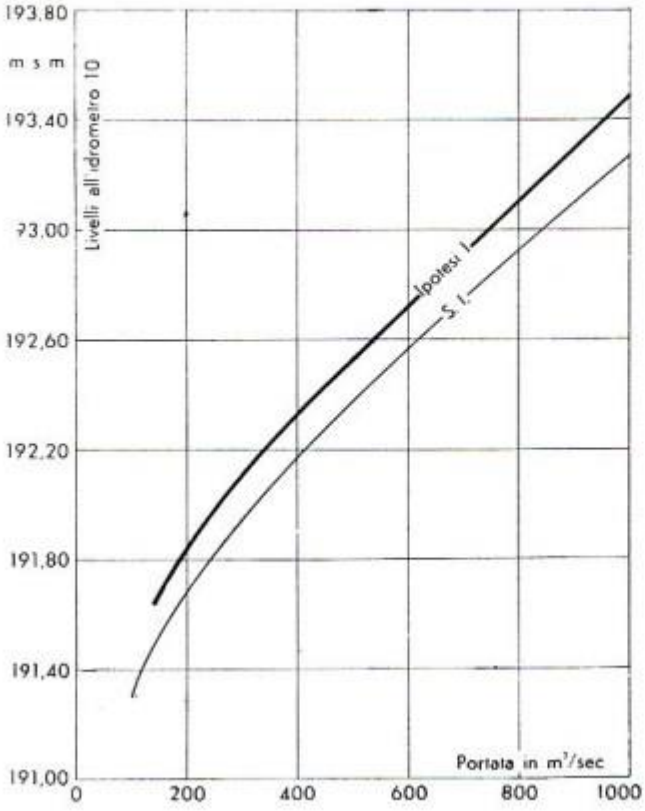



Figura 21. Scale di portata all'idrometro 10, a valle della traversa (linea sottile: scala naturale; linea grossa: scala stabilita in base all'ipotesi 1)

mente nelle condizioni di traversa completamente abbattuta (nel modello le parti mobili erano tutte asportate) e conca di navigazione e condotto sussidiario ambedue chiusi.

Alle singole prove si procedette come segue: immessa nel modello una delle sette portate già più volte considerate (misurata al solito al modulatore a risalto posto a monte del modello), si faceva in modo, regolando opportunamente lo scarico dell'acqua nel bacino terminale, che all'idrometro 10 si verificasse la quota d'acqua corrispondente a tale portata, prima secondo l'ipotesi 1) e poi, in una prova successiva, secondo l'ipotesi 2). Ottenuta la detta altezza, si leggevano i diversi idrometri lungo il modello da Sesto alla Miorina.

Si ricavarono così due serie di profili liquidi, dei quali si vedono riprodotti nelle tavole III e IV quelli relativi alle portate di 141 e di 234 mc/sec: ivi sono tracciati con linea a tratto e punto quelli stabiliti per la ipotesi 2), situazione B 2, e con linea a tratto e due punti quelli per la ipotesi 1), situazione B 3.

In ogni disegno abbiamo posto in evidenza la striscia compresa tra i predetti due profili in quanto, per le ragioni già dette, il profilo che effettivamente si realizzerebbe nelle condizioni considerate risulterebbe certo compreso entro tale striscia. Lo spessore di essa, sempre piccolo, va gradatamente attenuandosi mentre si procede verso monte, tanto da diventare quasi insignificante in corrispondenza dell'idrometro di Sesto Calende. Risulta quindi ben limitata, e praticamente senza importanza, l'incertezza circa la situazione che verrebbe in realtà a stabi-

lirsi nel fiume, in rapporto alla portata erogabile dal lago.
L'esame dell'insieme dei profili rilevati e il confronto fra essi e i precedenti, stabiliti per la situazione A 9 che corrisponde all'attuale assetto dell'alveo, dimostrano chiaramente la notevole efficacia dell'allargamento e dello spianamento della soglia della Miorina. Infatti, in corrispondenza dell'idrometro 9, subito a monte della soglia, il pelo liquido ha denotato abbassamenti compresi tra 55 cm e 75 cm, a seconda della portata, rispetto a quelli ottenuti in precedenza, dalle prove per la situazione A 9, e più elevati per le portate minori. Gli abbassamenti andavano attenuandosi verso monte e l'attenuazione era più sentita per le portate minori; ma a Sesto Calende essi risultavano ancora dell'ordine di 50–60 cm, per portate non superiori a 500 mc/sec.
A questa rilevante depressione dei livelli rilevati corrispondeva un incremento generale delle pendenze del pelo liquido rispetto ai valori avverantisi in pari condizioni nello stato attuale dell'alveo. Tale incremento, che interviene malgrado l'apertura della via navigabile, si spiega tenendo presente la notevole riduzione della profondità della corrente sulla maggior parte della sezione fluviale, e il conseguente incremento della velocità, che esalta gli effetti della scabrezza.
Dalle altezze idrometriche osservate all'idrometro di Sesto Calende sono state desunte, per le due situazioni B 2 e B 3, le scale di deflusso relative all'idrometro stesso. Esse si vedono tracciate nella figura 19, con gli stessi segni adottati per i corrispondenti profili, e in modo analogo è stata posta in evidenza la zona compresa fra esse.
Appare manifesto dai profili e dalle scale il guadagno notevole conseguibile, agli effetti della capacità di deflusso del tronco iniziale del Ticino, mediante la sistemazione della rapida della Miorina, e indipendentemente dai contributi che potrebbero fornire la conca di navigazione e il canale sussidiario. Ma appare altresì chiaro che la erogazione dal lago della portata di 200 mc/sec, base del piano di regolazione, richiede ancora all'idrometro di Sesto una quota di pelo d'acqua non inferiore a m 192,65 s.l.m. e quindi superiore di oltre 15 cm alla minima (m 192,50) per la quale, a norma del piano medesimo, dovrebbe essere ancora possibile derivare la detta portata. La portata derivabile con il livello 192,50 a Sesto si eleva, d'altro canto, a 160 mc/sec soltanto.
L'insieme dei provvedimenti sottoposti a prova non risulta quindi sufficiente

a consentire la completa attuazione del piano.
A questa prima e in certo senso decisiva constatazione occorre aggiungere che nel tronco fra gli idrometri 2 e 5, il quale comprende il dosso dei Murazzi, il grosso della corrente si incanalava, in proporzioni più rilevanti per le portate minori, entro la savenella, ove assumeva velocità assai elevate, dell'ordine di diversi decimetri al secondo, alle quali nel fiume corrisponderebbero velocità intorno ai due metri al secondo. Velocità di quest'ordine non sarebbero da ritenere ammissibili, per un doppio ordine di motivi: perchè ostacolerebbero gravemente l'esercizio della navigazione e perchè, attesa la natura sciolta del materiale di fondo, diventerebbe estremamente aleatoria la conservazione dei fondali.

c) *Canale sussidiario.* Per quanto il precedente risultato fosse già di per sè risolutivo, si è ritenuto opportuno procedere a qualche riconoscimento degli effetti ricavabili dall'apertura del canale sussidiario (*situazione B 4*).
Le prove relative furono limitate alla portata di 141 mc/sec. Immessa tale portata nel modello a canale chiuso, si regolava il livello all'idrometro 10 fino a raggiungere la quota stabilita per la stessa portata nella situazione B 3; si apriva quindi il canale facendolo funzionare a deflusso libero. La portata erogata da esso era allora la massima compatibile con la sua sezione, e con il livello fluviale di fronte all'imbocco.
Si constatò che di fronte all'idrometro 9, posto come è noto all'incirca in corrispondenza dell'imbocco, il pelo liquido si deprimeva di 20 cm circa rispetto al livello preesistente, cioè a canale chiuso (situazione B 3): l'abbassamento però si riduceva a poco più di 6 cm all'idrometro di Sesto Calende.
Modesto risultò quindi il contributo che la apertura del canale sussidiario potrebbe portare all'aumento della capacità d'erogazione dal lago nella condizione della prova, che è fra le più critiche, data la corrispondente bassa quota dello specchio lacuale (192,43 a Sesto). Di fronte a tale constatazione non si è ritenuto di estendere le prove B 4 alle portate maggiori.

## 4. Progressivo riempimento della savenella di navigazione

Le prove ora descritte avevano posta in evidenza la assoluta necessità di procedere comunque – cioè anche nel caso che venisse subito aperta la savenella di navigazione – ad un congruo spianamento del dosso dei Murazzi, perchè in caso contrario non potrebbe essere assicurata la erogazione delle massime consegne utili dal lago in condizioni di massimo svaso. L'indagine doveva quindi essere rivolta a riconoscere e precisare i lavori di sbancamento da effettuare ai Murazzi ed eventualmente in altri tratti dell'alveo a monte della Miorina.
Prima, tuttavia, di arrivare a tale studio, che esporremo nella Parte III della presente relazione, abbiamo eseguito quegli ulteriori riconoscimenti dei quali si parlò sopra, circa la dipendenza della portata erogabile dal lago dalla profondità della savenella di navigazione.
Le prove descritte sopra erano state condotte con la profondità di 3 m sotto il pelo liquido più basso prevedibile. Il Sen. Fantoli accenna nella sua relazione, e le sue indicazioni sono state confermate dal Consorzio del Ticino, che sotto una crosta superficiale di spessore molto modesto di materiale coerente e tenace, l'alveo fluviale risulterebbe costituito da un banco di materiale assai minuto e facilmente erodibile. In tali condizioni, nell'escavo della savenella dovrebbe assegnarsi alle sponde una inclinazione limitatissima, con evidente aumento del complessivo volume da asportare; e solo una manutenzione continua ed onerosa potrebbe assicurarne poi la permanente efficienza.
Appunto in considerazione di tutto ciò, ci è parso utile riconoscere i diversi gradi di efficienza che, dal punto di vista idraulico, avrebbero offerto savenelle aventi lo stesso tracciato della precedente, ma profondità più limitate.
A tal fine furono sottoposte a prova due diverse situazioni, con savenella avente il fondo sopraelevato rispettivamente di 1 m (situazione B 5) e di 2 m (situazione B 6) rispetto a quello della situazione B 3 (con tirante minimo di 3 m). Le due situazioni furono realizzate riempiendo lo scavo iniziale prima con uno strato di ghiaietto di 5 cm e poi con un secondo strato di pari spessore, per i tratti dove la profondità della savenella sotto l'alveo naturale superava i 10 cm (2 metri): negli altri tratti venne semplicemente ripristinato l'andamento attuale del terreno. (È necessario notare che nei successivi riempimenti di sem-

plice ghiaietto il fondo del canale veniva a presentare una scabrezza un po' minore di quella che esso avrebbe in realtà).
Infine la savenella fu totalmente riempita, anche nei tratti nei quali la sua profondità superava i 2 metri, e l'alveo fu riportato alle condizioni iniziali, antecedenti all'apertura della via navigabile (situazione B 7). Per tutto il resto, si mantenne invariata la disposizione delle ultime prove descritte (canale sussidiario e conca chiusi, traversa mobile asportata, pescaie abolite). Le prove vennero ripetute per le sette portate da 141 a 862 mc/sec, stabilendo per ognuna di esse il livello all'idrometro 10 alla stessa quota che era stata adottata per le prove B 3.

Nelle tavole III e IV si vedono tracciati i profili rilevati per le portate di 141 e 234 mc/sec, rispettivamente con linea a piccoli tratti (canale riempito per un metro, situazione B 5) e con linea a due tratti e sette punti (canale riempito per due metri, situazione B 6). Al solito gli stessi segni sono stati adottati per le relative scale di deflusso a Sesto Calende che si vedono tracciate nella fig. 19.
L'esame dei profili e delle scale dà luogo innanzi tutto a constatare che nei riflessi della scala di deflusso dell'idrometro di Sesto l'influenza dell'apertura della via navigabile, notevole per i livelli più bassi, diminuisce coll'elevarsi del livello lacuale e quindi della portata; fatto questo che si spiega in modo ovvio, tenendo presente che la savenella porta alla sezione bagnata del fiume un incremento relativo tanto più sentito quanto minore è la profondità media della corrente.
In secondo luogo – e questo ci sembra più importante nei riflessi pratici – l'efficacia dello scavo degli strati successivi, dello spessore di un metro, fino al raggiungimento della profondità massima di 3 m, decresce sensibilmente dal primo, più alto, al terzo più basso. Il decremento dipende almeno in parte dal fatto che decresce pure, con la profondità, la larghezza dello strato: tuttavia la constatazione vale anche a dimostrare che nei riguardi della capacità di deflusso del fiume conviene dare la preferenza agli sbancamenti estesi in superficie, piuttosto che a quelli più profondi, ma limitati ad una parte sola del letto. Data la natura dell'alveo, il primo indirizzo offrirebbe anche il vantaggio di ridurre le alee connesse a prevedibili fatti erosivi.

# Parte III

*Sbancamenti in corrispondenza del dosso dei Murazzi*
*(Prove della serie C)*

## 1. Intendimenti e concetto informatore

Le prove descritte nella Parte II hanno posto in evidenza il fatto, del resto già noto, che la sistemazione dell'alveo, attualmente in corso di esecuzione in corrispondenza della soglia della Miorina, non basterà a conferire all'incile fluviale le caratteristiche previste nel piano della regolazione: cioè l'attitudine ad erogare dal lago la portata base di 200 mc/sec in condizioni di massimo svaso, con quota idrometrica di m 192,50 s.l.m. all'idrometro di Sesto Calende. Infatti, anche quando fosse stata aperta completamente la savenella di navigazione (della quale per ora non è prevista la esecuzione) con le dimensioni e il tirante richiesti per il transito dei natanti di 600 tonnellate, la detta portata potrebbe essere derivata solo a partire dalla quota di m 192,65 all'idrometro di Sesto. Pur così ridotto, l'alveo offrirebbe dunque resistenze ancora eccessive al moto della corrente, tali resistenze essendo in gran parte imputabili al dosso dei Murazzi e alla rapida che ne è la necessaria conseguenza immediatamente a valle. Perdite di carico localizzate non trascurabili, per quanto d'entità non rilevante, si manifestavano però anche nel breve tronco fluviale compreso fra gli idrometri 6 e 7, dove l'alveo subisce una strozzatura, dovuta alla presenza di un delta torrentizio originato da un modesto affluente di sinistra. Anche a questo tratto andrebbe pertanto rivolta l'attenzione, qualora i provvedimenti adottabili ai Murazzi si dimostrassero da soli insufficienti al raggiungimento dello scopo prefissato.

Era evidente in ogni modo la necessità di sottoporre anzitutto ad esame la efficacia di sbancamenti in corrispondenza del dosso dei Murazzi, giuste le previsioni del piano della regolazione. La relazione del Sen. Fantoli non offre al riguardo se non delle indicazioni di massima, che si riducono sostanzialmente a segnalazioni direttive: perchè la entità precisa degli scavi da compiere doveva, nel pensiero del Sen. Fantoli, quando nel 1923 Egli attese alla redazione del piano, essere progressivamente raggiunta, a ragion veduta, in un primo periodo di esercizio, attraverso la constatazione degli effetti raggiunti con scavi successivi. Fu anche e soprattutto con lo scopo di abbreviare il detto periodo di avviamento che dallo stesso Sen. Fantoli vennero suggerite fino dal 1938 le presenti esperienze.

In questa Parte III riferiremo sui risultati delle prove compiute per stabilire la possibile sistemazione del dosso dei Murazzi.

La realizzazione pratica degli sbancamenti nel modello fu agevolata dal fatto che, come si è detto nella Parte I, durante la costruzione di esso era stato predisposto un piano generale di discontinuità nel getto del calcestruzzo in corrispondenza della quota 190,50; facile risultò quindi riportare, di volta in volta, al di sopra di tale piano quelle parti d'alveo che non dovessero essere rimosse, a norma delle particolari situazioni studiate.

Il piano di massima prevedeva, come punto di partenza, lo sbancamento dei Murazzi sopra una larghezza di m 180 e con fondo a quota 191,30; si trattava quindi di lavori prevalentemente estesi in superficie e interessanti invece una modestissima profondità. Questo concetto presentava vantaggi non indifferenti, innanzi tutto in rapporto alla natura del letto fluviale che, come già detto, sotto una crosta tenace di spessore non forte, presenta un banco di materiale sciolto e facilmente erodibile; in secondo luogo, in vista del fatto, posto in evidenza dalle precedenti prove, che nei riflessi idraulici l'efficacia specifica degli scavi si attenua sensibilmente col crescere della loro profondità. Però era già considerata nel piano, e fu confermata dai calcoli eseguiti dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel 1933 (vedi relazione annessa al parere emesso dalla Assemblea Generale nella adunanza del luglio 1933), la eventualità di dover effettuare sbancamenti assai più abbondanti, fino a interessare quote inferiori a 191. L'esame della sezione fluviale mise, d'altra parte, in luce

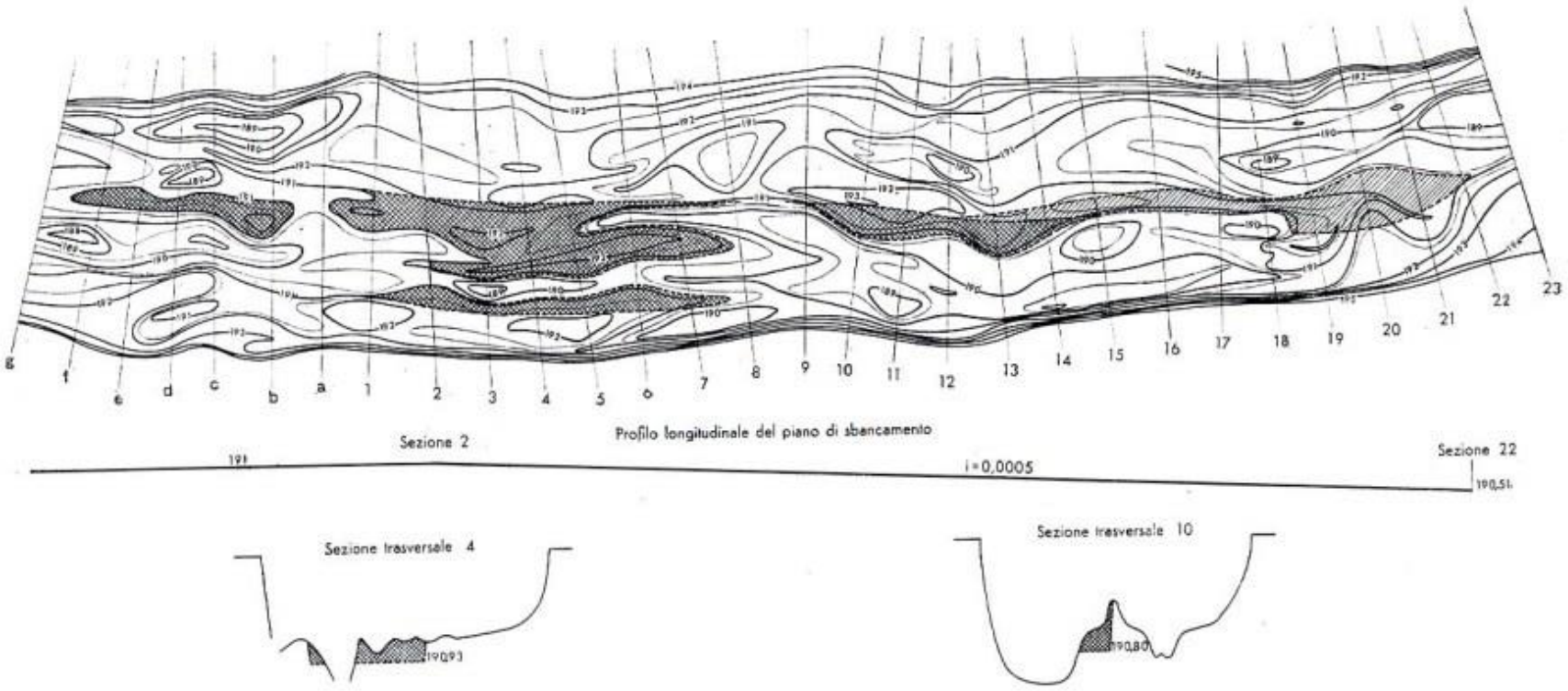



Figura 22. Primi sbancamenti ai Murazzi.

Situazione $C_1$: zona a doppio tratteggio. - Situazione $C_2$: zona a doppio e semplice tratteggio

l'opportunità di limitare la larghezza dello sbancamento, onde evitare di interessare le ripe al di sopra del livello delle acque ordinarie; le prove vennero quindi iniziate a partire dalla quota 191 e dalla larghezza di m 100 soltanto, provvedendo poi ad aumentare progressivamente e successivamente profondità e larghezza dell'escavo.
Le prove furono condotte tutte con traversa completamente abbattuta e ripetute per le diverse situazioni che ora descriveremo.

## 2. Situazione C 1

L'entità dello sbancamento relativo appare chiara dalla planimetria a curve di livello del tronco d'alveo fluviale, riportata nella figura 22 (zona a tratteggio incrociato): trattasi di uno sbancamento pressochè diritto per la larghezza continua di m 100, che attraversa longitudinalmente l'intero dosso dei Murazzi, estendendosi al tratto fluviale compreso fra la sezione g e la sezione 16, per la lunghezza di 1 km circa. L'andamento planimetrico è stato adattato al terreno col criterio di rendere minima la entità dello scavo. Per quanto riguarda la profondità, mentre a monte della sezione 2 il fondo veniva sistemato sulla predetta larghezza di m 100 secondo un piano orizzontale a quota 191,00, a valle della sezione stessa lo si sistemava secondo un piano inclinato, con la inclinazione di 0,5 ‰ nel senso del moto (2,5 ‰ nel modello) fino a raggiungere, in corrispondenza della sezione 16, la quota 190,65 (secondo il profilo riportato nella figura 22).
Naturalmente ci si limitò ad asportare il materiale esistente al di sopra dei due piani ora detti, mentre si lasciarono inalterate le parti d'alveo ad essi soggiacenti. Da computi sommari fatti sulla base delle sezioni trasversali il volume complessivo dell'escavo è risultato di circa 25.000 mc.
Sul fondo dello sbancamento si ricostituì la scabrezza adottata per tutto il resto dell'alveo; ciò comportava per il modello delle perdite di carico un po' maggiori di quelle che si verificheranno nel fiume nell'epoca immediatamente successiva ai lavori, perchè il nuovo fondo fluviale almeno all'inizio risulterà meno scabro dell'attuale; poi, con lo scorrere del tempo, si ricostituirà certo anche nelle parti scavate la scabrezza attuale.

Nell'alveo così sistemato furono successivamente immesse le sette portate consuete, da 141 mc/sec a 862 mc/sec, mentre le condizioni di deflusso a valle della Miorina venivano caso per caso definite sulla base della scala all'idrometro 10 (secondo l'ipotesi 1; vedi fig. 21); scala con la quale erano state condotte le prove B 3, e tutte le seguenti della serie B.
I profili rilevati per le portate di 141, 234 e 278 mc/sec sono messi in evidenza nei diagrammi segnati con linea a punto e tratto (serie C 1) sulle tavole V, VI e VII sulle quali, per confronto, sono stati segnati anche i profili relativi alla situazione B 7, terminale della serie B (alveo attuale da Sesto alla Miorina, salvo la rimozione delle pescaie).
Nella figura 23 vedesi tracciata, con gli stessi segni adottati per i profili, la scala di deflusso all'idrometro di Sesto Calende, relativa alla nuova situazione C 1.
Nei riguardi dell'erogabilità dal lago delle portate interessanti la regolazione, l'efficacia del provvedimento esaminato appare senz'altro rilevante, per quanto, come era logico prevedere, in proporzione si vada attenuando al crescere della portata, perchè diviene proporzionalmente meno sensibile l'incremento dell'area liquida. In particolare, la portata di 200 mc/sec risulta derivabile dal lago con la quota di m 192,68 all'idrometro di Sesto, superiore di soli 3 cm a quella raggiunta nelle prove B 3, con savenella aperta sull'intero percorso da Sesto alla Miorina, con il tirante minimo di 3 m, e dosso dei Murazzi intatto (salvo l'intaglio per l'apertura della savenella). E ciò, mentre il volume di scavo richiesto dall'apertura della savenella ammontava a ben 185.000 mc, contro poco più di 25.000 dello sbancamento ora esaminato.
Tuttavia, per quanto notevole, il miglioramento conseguito non risultava ancora sufficiente per soddisfare alle esigenze della regolazione, la quale ha come presupposto la erogabilità della portata base di 200 mc/sec con la quota 192,50 a Sesto Calende.

### 3. Situazione C 2

Fra le ragioni della rilevata insufficienza era sicuramente la seguente: come appare dalla corografia di figura 22 lo sbancamento sperimentato nella prova C 1, oltre ad essere limitato in larghezza a soli 100 metri, era stato arrestato

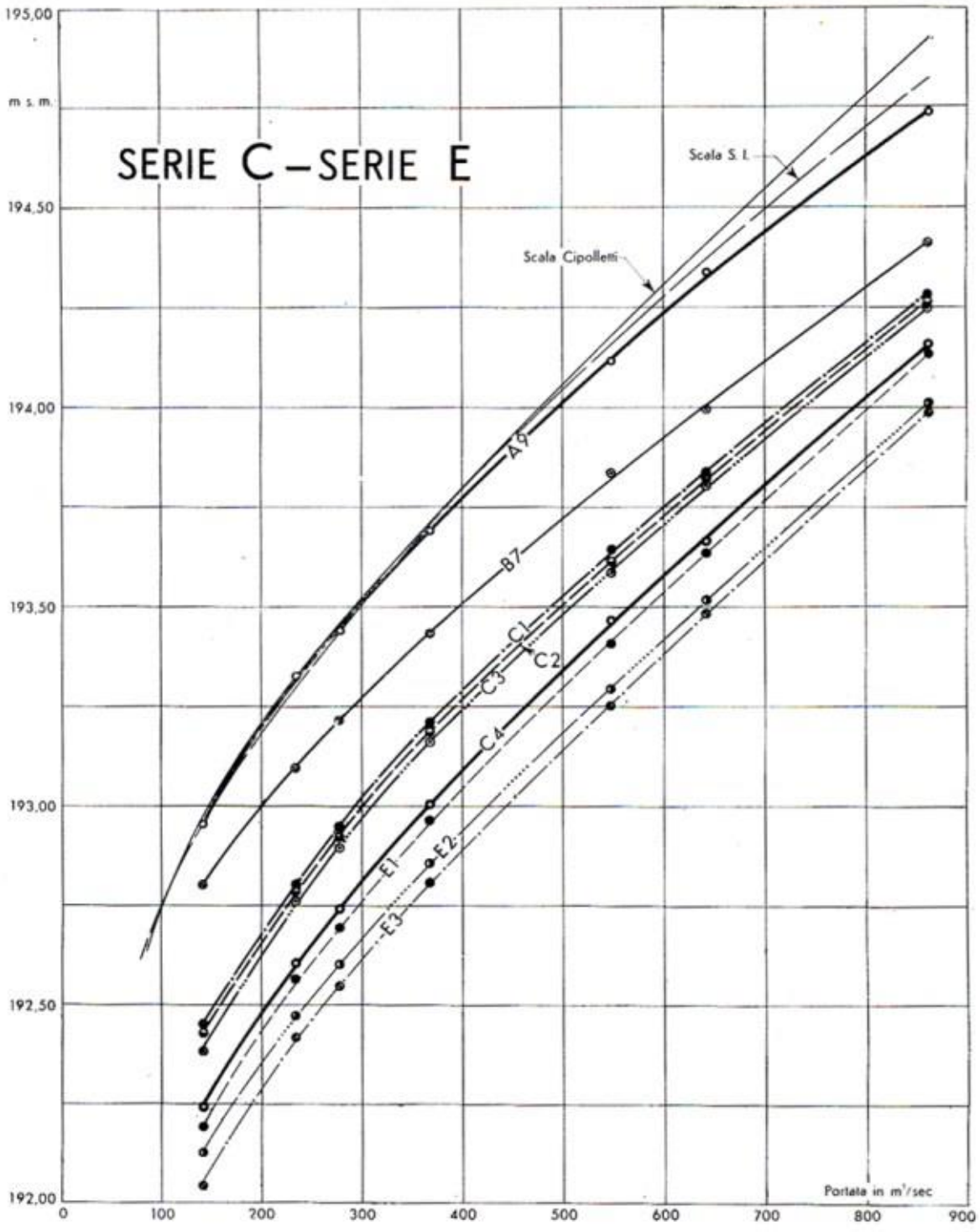



Figura 23. Scale di portata all'idrometro di Sesto per le diverse situazioni della serie C e della serie E (Parte IV)
(Per le caratteristiche delle situazioni C vedere le tavole V, VI e VII)

in corrispondenza della sezione 16 perchè, a partire all'incirca da questa sezione, l'alveo presenta, verso valle, un notevole fondale che si era reputato ne potesse costituire una adeguata continuazione. In realtà il fondale è addossato alla sponda destra (sinistra nel modello), mentre, volendo contenere il volume di escavo nei limiti più ristretti, lo sbancamento era stato accostato piuttosto alla sponda sinistra (destra nel modello); così l'uno e l'altro sono rimasti separati fra le sezioni 14 e 19 da una cresta longitudinale di altezza non molto rilevante sul fondo circostante, ma sufficiente certo a creare un certo ostacolo al moto della corrente e a provocare una perdita localizzata. L'esistenza di tale cresta si rendeva manifesta attraverso una increspatura trasversale dello specchio liquido tra le sezioni predette: increspatura che, nelle prove con le minori portate, diventava più appariscente, fino ad assumere il carattere di una rapida poco accentuata. Ad essa sono da attribuire le pendenze alquanto più marcate segnalate dai profili liquidi fra gli idrometri 6 e 7.

Prima di procedere ad ulteriori ritocchi nella regione dei Murazzi si è creduto bene provvedere anzitutto a togliere di mezzo il suddetto rilievo longitudinale, e a tal fine lo sbancamento fino al piano di fondo con inclinazione del 0,5‰ fu prolungato verso valle, fino a raggiungere la sezione 22 e a interessare tutta la zona da esso occupata: nella sezione 22 il fondo risultò così abbassato, sopra la larghezza di 100 m, alla quota 190,50. Si arrivò per tal modo alla *situazione C 2*, le cui caratteristiche appaiono chiare dalla stessa figura 22, dove le zone dei nuovi scavi sono distinte con tratteggio semplice. Il volume del materiale asportato coi nuovi scavi ammonta a poco più di 5000 mc, che sommati ai precedenti, poco più di 25 mila, formano un totale di circa 31 mila mc.

Sottoposta a prova questa nuova situazione secondo il procedimento ripetutamente esposto, l'efficacia dei nuovi sbancamenti si è palesata piuttosto ristretta: essa veniva tradotta, infatti, da lievi diminuzioni delle quote liquide, a pari portata, dell'ordine di 4–5 cm nel tronco immediatamente a monte dei nuovi scavi e fino all'altezza dei Murazzi. All'idrometro di Sesto gli abbassamenti erano ridotti a 2–3 cm soltanto, come si desume dai profili liquidi riportati nelle tavole V, VI e VII (situazione C 2, linea a tratti), e dalla corrispondente scala a Sesto (fig. 23).

In particolare, la erogazione della portata di 200 mc/sec richiederebbe a Sesto

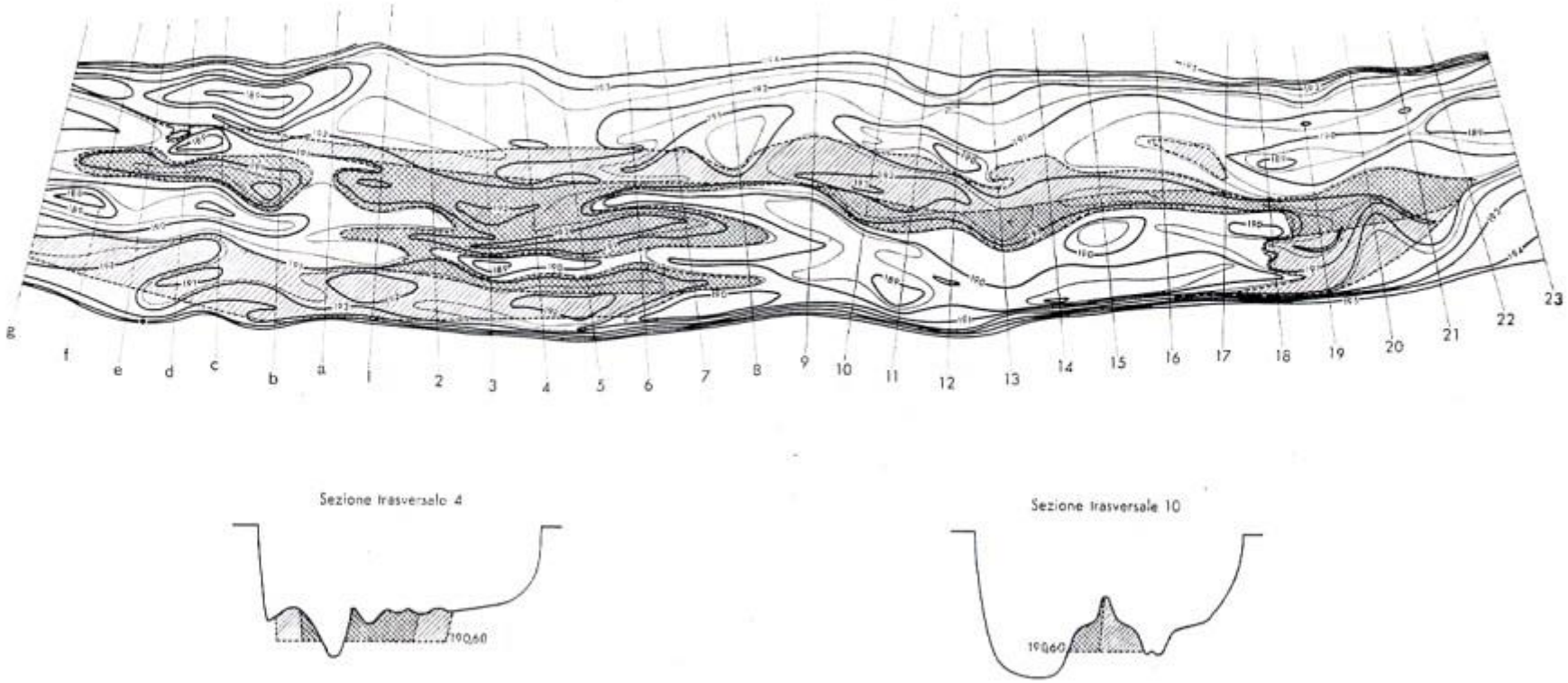



Figura 24. Successivi sbancamenti ai Murazzi.

Situazione C 2: zona a doppio tratteggio - Situazione C 4: zona a doppio e a semplice tratteggio

la quota idrometrica di m 191,65, in luogo dei 191,68 riconosciuti necessari per la precedente situazione C 1. La asportazione di 31 mila mc ai Murazzi fornisce quindi, agli effetti della maggiore capacità di deflusso dell'incile fluviale, un incremento uguale a quello conseguibile mediante l'apertura della via navigabile, che comporta l'escavo di 185 mila mc (situazione B 3).
Siccome anche nella situazione C 2 la capacità di deflusso era risultata ancora insufficiente, si è provveduto ad ulteriori scavi del dosso.

**4. Situazione C 3**

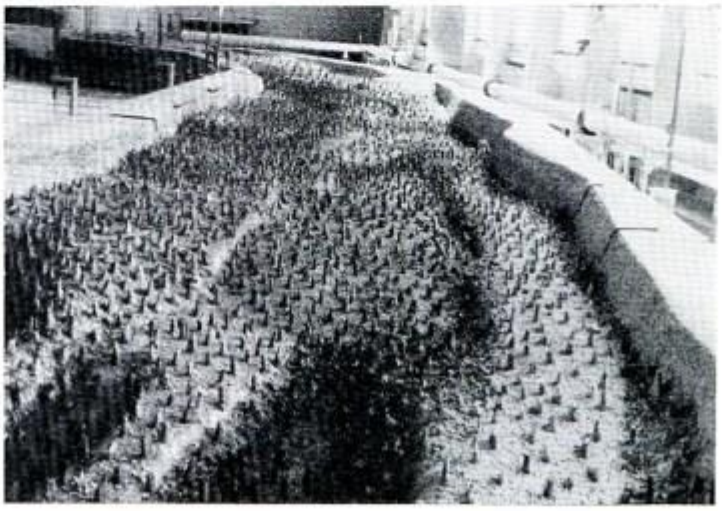


Figura 25. Stato dell'alveo in corrispondenza del dosso dei Murazzi per la situazione C 3. (Si vede chiaramente la zona centrale interessata dallo sbancamento largo 100 m)

Il nuovo scavo poteva essere ovviamente attuato, sia ampliando quello precedentemente eseguito, sia approfondendolo. Si diede la preferenza alla seconda soluzione, e l'approfondimento venne eseguito nella misura di 40 cm, da quota 191 a quota 190,60, per tutto il tratto di monte dell'escavo, che prima era stato fermato al piano orizzontale di quota 191,00. Nel tratto successivo, nel quale il fondo dell'escavo era precedentemente costituito da un piano con inclinazione di 0,5 per mille, lo sbancamento fu portato fino al piano orizzontale di quota 190,60 a mezzo di un approfondimento progressivamente decrescente, fino ad annullarsi in corrispondenza della intersezione dei due piani.
Il nuovo stato dell'alveo è rappresentato nella planimetria di figura 24 (zona a tratteggio incrociato): accanto ad essa sono indicate talune sezioni dell'escavo. La fotografia di figura 25 dà una visione di insieme del modello, dopo lo sbancamento.
Il volume del materiale scavato per l'approfondimento è risultato di circa 11

mila 300 mc, che vanno aggiunti a quelli asportati in precedenza dando complessivamente circa 42.300 mc.
Senonchè il vantaggio derivante da questi ultimi lavori si dimostrò molto modesto. Nelle tavole V, VI e VII sono stati riportati con linee a tratto e tre punti i profili rilevati per la sistemazione ora in esame; in corrispondenza dell'idrometro di Sesto, i peli liquidi risultano abbassati di soli 2–3 cm rispetto a quelli verificati a pari portata per la sistemazione precedente. Anche la scala di deflusso riportata nella figura 23 è, a questo proposito, significativa; la portata base di 200 mc/sec, per esempio, richiede ancora, per poter essere derivata, una quota idrometrica a Sesto di m 192,62.
Un simile risultato non poteva in fondo far meraviglia, attese le constatazioni fornite da quelle prove della serie B (Parte II) che furono rivolte a riconoscere la influenza di una maggiore o minore profondità della via navigabile sui valori della portata erogabile dal lago.
Esse in ogni modo valsero a dimostrare l'inopportunità di procedere ad ulteriore approfondimento della regione già scavata.

### 5. Situazione C 4

Questa situazione differisce dalla precedente appunto per la maggiore larghezza dello sbancamento che, come pone in evidenza la figura 24 (zona a tratteggio semplice), fu portato da 100 a 150 m.
A monte dei Murazzi l'allargamento venne operato in gran parte nelle adiacenze della sponda sinistra (destra nel modello) vale a dire all'incirca nella regione dove era stata aperta e poi riempita la via navigabile; a valle, invece, dove il precedente scavo con larghezza di m 100 già rasentava la sponda sinistra, fu necessario praticare i nuovi scavi nella metà destra (sinistra nel modello) del letto fluviale.
Il piano di fondo dello sbancamento fu tenuto alla quota generale di m 190,60 (salvo gli ultimi 200 metri ove si scavò fino a quota 190,50). I nuovi scavi importarono la rimozione di quantità abbastanza considerevoli di materiale, perchè nella regione dei Murazzi ci si dovette addentrare verso le parti più elevate del dosso, e a valle si tolse di mezzo quella sorte di mammellone che

attualmente si estende ad un'ampia zona mediana dell'alveo. Dai computi sommari eseguiti il volume del nuovo sbancamento è risultato di circa 52.500 mc; cosicchè, complessivamente, la sistemazione secondo la situazione C 4 richiederebbe la rimozione di circa 94.000 mc di materiale.

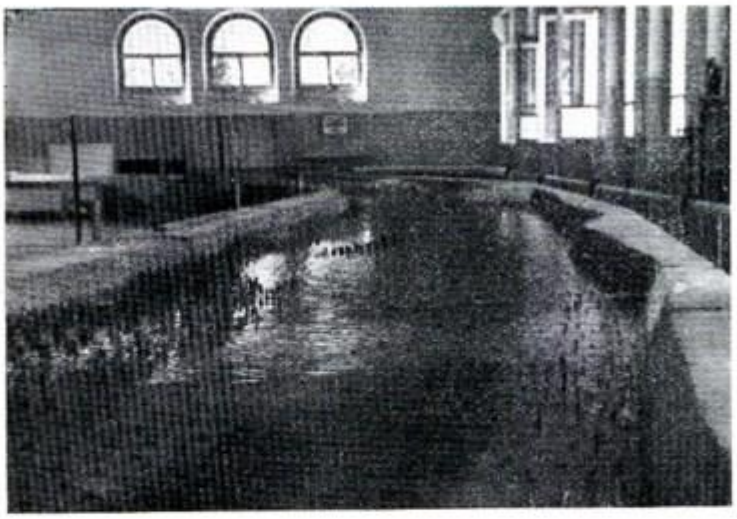


Figura 26. Funzionamento del modello nella situazione C 4

Naturalmente, come per tutte le prove precedentemente descritte, a sbancamento avvenuto venne ricostituita sul fondo dello scavo la scabrezza delle altre parti del modello. I risultati ottenuti si desumono, al solito, dall'esame dei profili liquidi rilevati nel modello per le diverse portate: nelle tavole V, VI e VII (linee grosse continue) sono segnati quelli relativi alle portate di 141, 234 e 278 mc/sec: nella figura 23 è tracciata la nuova scala di deflusso all'idrometro di Sesto.

La portata base di 200 mc/sec risultò ora derivabile con livello idrometrico a Sesto a quota 192.47, e cioè con un leggero margine rispetto alla quota di metri 192,50 prevista dal piano della regolazione.

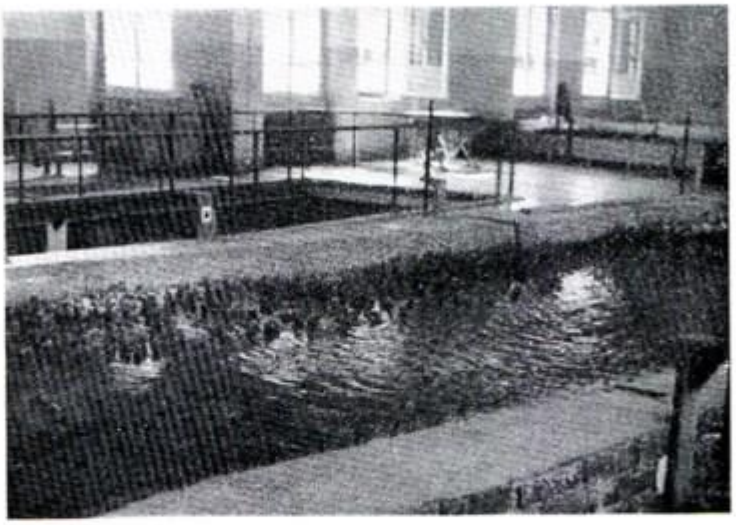


Figura 27. Funzionamento del modello nella situazione C 4

Nell'insieme risultò dimostrato che uno sbancamento come quello della situazione C 4 consentirebbe di assicurare l'esercizio della regolazione secondo tale piano. I profili rilevati presentano andamento abba-

stanza regolare, e regolare appare pure il deflusso della corrente. Le fotografie delle due figure 26 e 27 dànno una idea del funzionamento del modello con questa situazione.

Non possiamo escludere che il risultato fosse conseguibile anche con sbancamenti diversi in ampiezza e in profondità: ma sarebbe stato certamente fuori luogo di procedere ad ulteriori prove per affinare l'indagine in vista della possibile riduzione dell'escavo, perchè tale riduzione non poteva che essere modesta e rientrare, quindi, nelle inevitabili incertezze connesse con la ricerca stessa.

Il risultato si può sinteticamente riassumere come segue: per assicurare la erogabilità di 200 mc/sec, anche con il lago a quota 192,50 a Sesto, occorre praticare uno sbancamento del dosso dei Murazzi e di un certo tratto a monte e a valle, per circa 90 mila metri cubi. Se tale sbancamento è fermato in profondità alla quota 190,60, occorre portarne la larghezza a 150 metri. Potrebbe forse bastare uno scavo meno profondo, se la larghezza fosse elevata a 180 metri; però il volume di escavo presenterebbe un rilevante incremento.

Comunque, il volume del materiale da estrarre per assicurare l'esercizio della regolazione secondo il piano approvato è sempre notevolmente inferiore a quello che occorrerebbe rimuovere per l'apertura della via navigabile con tirante minimo di 3 metri.

# Parte IV

*Funzionamento della traversa parzialmente abbattuta*
*(Prove della serie D)*

## 1. Intendimenti e limiti delle prove della serie D

Le prove descritte nella precedente Parte III (serie C) hanno portato a definire la entità dello sbancamento che occorrerebbe effettuare al dosso dei Murazzi, al fine di rendere possibile la erogazione della portata di 200 mc/sec dal lago, anche nella condizione di massimo svaso prevista dal piano della regolazione (quota liquida a m 192,50).

La portata anzidetta non sarebbe, a rigore, la massima che a norma del piano medesimo dovrà essere erogabile dal lago nei periodi di consegna utile. Tuttavia non è parso necessario estendere l'esame a portate più elevate per diversi ordini di considerazioni.

In primo luogo, l'eventualità di dover erogare portate di 200 mc/sec o superiori a lago completamente svasato esce, riteniamo, dal campo dei fatti ammissibili o, quanto meno, praticamente verificabili.

In effetto, l'esercizio della regolazione dovrà essere condotto in modo di non arrivare al completo esaurimento della riserva lacuale se non in circostanze affatto eccezionali, diremmo catastrofiche: perchè a lago totalmente svasato le erogazioni sarebbero ridotte a non superare i contemporanei afflussi dal bacino, ed è ben noto che nelle magre tali afflussi scendono pressochè normalmente a poche decine di metri cubi al secondo. Sarà quindi necessario che, all'approssimarsi dello stato di massimo svaso, le erogazioni vengano progressivamente diminuite, in maniera da rallentare il consumo dell'acqua ancora accumulata.

In secondo luogo, oltre allo sbancamento esaminato nelle prove predette, al dosso dei Murazzi dovrà in avvenire, se non ora, essere praticato l'ulteriore scavo occorrente per l'apertura della via navigabile, nella misura necessaria per consentire anche negli stati lacuali più depressi l'accesso alla conca attualmente in costruzione, almeno a natanti di 300 tonnellate. La capacità di deflusso del tronco fluviale sistemato è destinata, quindi, a subire un ulteriore incremento; la entità di esso, determinata con la serie E di prove, che esporremo nella Parte V, risulta abbastanza rilevante.

Siccome, però, tale incremento non è da porre nel novero dei fatti imminenti, le prove dirette a riconoscere il funzionamento della traversa – delle quali riferiamo nella presente Parte IV – sono state condotte sul modello ridotto alla situazione C 4, con la quale si è chiusa la serie precedente: cioè con il dosso dei Murazzi sbancato fino a quota 190,60 sopra la larghezza di 150 m, ma senza savenella di navigazione.

Queste prove, costituiscono la serie D; esse sono state, in concreto, rivolte a individuare le modalità del deflusso nell'alveo sistemato come ora detto, ma con traversa abbattuta solo in parte, cioè per un tratto soltanto della luce complessiva, anzichè per l'intero suo sviluppo di 200 metri, come era stato il caso delle serie precedenti.

È ovvio che l'interesse di queste nuove prove va circoscritto alle portate e ai livelli lacuali che si possono verificare nei periodi di consegna utile. I livelli sono quelli compresi fra la massima e la minima ritenuta: cioè fra le quote 192,50 e 194 a Sesto. Quanto alle portate, il piano della regolazione prevede che le erogazioni utili potranno fin dall'inizio raggiungere i 220 mc/sec, ma considera l'eventualità del loro successivo incremento a 230 e anche 240 mc/sec.

Trattasi sempre di portate medie per lunghi periodi di tempo (diversi mesi), intorno alle quali le erogazioni effettive per certo subiranno delle oscillazioni in più o in meno, in dipendenza degli effettivi temporanei bisogni delle utenze. Per questo motivo le prove furono estese a portate più elevate, fino a considerare quella del profilo IV del S. I. che ammonta a 278 mc/sec. E precisamente esse furono condotte per le portate di 141, 234 e 278 mc/sec, alle quali si riferiscono i profili II, III e IV, nonchè per quella di 200 mc/sec, intermedia fra la seconda e la terza, che abbiamo finora accettata come portata base del piano

della regolazione. Essa sarà la massima erogabile con qualunque livello del lago, se il fiume verrà sistemato in conformità della situazione C 4, mentre erogazioni superiori a 200 mc/sec richiederanno dei livelli lacuali superiori a 192,50 a Sesto.

Per ognuna delle quattro portate anzidette furono prese in esame le condizioni di apertura della traversa abbattibile che compaiono nella seguente tabellina (ordinate in rapporto alla ampiezza della luce libera, espressa in metri, e come rapporto fra la larghezza della luce stessa e quella totale della traversa):

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Prove D 6 | Larghezze di luce libera | 200 m | Grado d'apertura | 1,0 |
| Prove D 7 | | 160 m | | 0,8 |
| Prove D 8 | | 140 m | | 0,7 |
| Prove D 5 | | 120 m | | 0,6 |
| Prove D 4 | | 100 m | | 0,5 |
| Prove D 3 | | 80 m | | 0,4 |
| Prove D 2 | | 60 m | | 0,3 |
| Prove D 1 | | 40 m | | 0,2 |
| Prove D 9 | | 20 m | | 0,1 |

È ovvio che solo per le portate di 141 e 200 mc/sec doveva essere considerata anche la situazione di massimo svaso del lago: per le altre due si partì dai livelli a Sesto di m 192,59 e m 192,74 che sono i minimi compatibili con la erogazione rispettivamente di mc/sec 234 e mc/sec 278.

## 2. Modalità esecutive delle prove

Le prove furono condotte nel modo seguente. Si fissavano mediante viti alla platea della traversa, in adiacenza alle sponde e possibilmente in posizione simmetrica rispetto all'asse del fiume, alcuni segmenti della traversa mobile, in maniera da lasciar libero un tratto centrale della luce (ove le paratoie si supponevano abbattute), secondo il grado di apertura desiderato. Indi si immetteva la portata voluta (controllata, al solito, al modellatore a risalto) e si manovrava la paratoia d'uscita del bacino terminale di raccolta, in modo da avere all'idrometro 10 il livello richiesto dalla scala delle portate adottata per tutte le prove delle serie B 3 e successive (vedi fig. 21); in tal guisa a valle della traversa il

movimento si svolgeva sempre come nelle prove C 4, con traversa completamente abbattuta. Come vedremo, per le minori aperture i livelli a monte raggiungevano valori tali da far ritenere l'efflusso pressochè sottratto ad ogni influenza di valle. Con le aperture maggiori, l'influenza di valle si faceva certo sentire, ma era la stessa che si avrebbe nel fiume, dopo lo spianamento della Miorina, se a valle del tratto sistemato le condizioni di deflusso restassero immutate: vogliamo dire se mancasse ogni rigurgito per parte dello sbarramento di Porto della Torre.

Figura 28. Funzionamento della traversa in condizioni di apertura parziale

La quota di pelo d'acqua all'idrometro 10 per la portata di 200 mc/sec (che non compariva fra quelle per cui ci erano stati forniti i profili) venne stabilita per interpolazione grafica a mezzo della scala segnata nella figura 21. Naturalmente la conca ed il canale sussidiario erano ambedue chiusi.

Raggiunta la condizione di regime, per il che era necessario un notevole lasso di tempo, specialmente per le portate e per i gradi d'apertura più piccoli, trattandosi di creare un invaso piuttosto forte, si rilevava il profilo liquido, nel modo consueto, mediante lettura degli idrometri. Notiamo a questo proposito che, poichè la traversa parzialmente chiusa determinava una discontinuità nel profilo, fra gli idrometri 9 e 10, un idrometro sussidiario (che fu chiamato 9 bis) era stato collocato immediatamente a valle di essa, presso la sponda destra.

### 3. Risultati

Per ognuna delle quattro portate vennero rilevati tanti profili liquidi quanti furono i gradi di apertura sperimentati.

movimento si svolgeva sempre come nelle prove C 4, con traversa completamente abbattuta. Come vedremo, per le minori aperture i livelli a monte raggiungevano valori tali da far ritenere l'efflusso pressochè sottratto ad ogni influenza di valle. Con le aperture maggiori, l'influenza di valle si faceva certo sentire, ma era la stessa che si avrebbe nel fiume, dopo lo spianamento della Miorina, se a valle del tratto sistemato le condizioni di deflusso restassero immutate: vogliamo dire se mancasse ogni rigurgito per parte dello sbarramento di Porto della Torre.

Figura 28. Funzionamento della traversa in condizioni di apertura parziale

La quota di pelo d'acqua all'idrometro 10 per la portata di 200 mc/sec (che non compariva fra quelle per cui ci erano stati forniti i profili) venne stabilita per interpolazione grafica a mezzo della scala segnata nella figura 21. Naturalmente la conca ed il canale sussidiario erano ambedue chiusi.

Raggiunta la condizione di regime, per il che era necessario un notevole lasso di tempo, specialmente per le portate e per i gradi d'apertura più piccoli, trattandosi di creare un invaso piuttosto forte, si rilevava il profilo liquido, nel modo consueto, mediante lettura degli idrometri. Notiamo a questo proposito che, poichè la traversa parzialmente chiusa determinava una discontinuità nel profilo, fra gli idrometri 9 e 10, un idrometro sussidiario (che fu chiamato 9 bis) era stato collocato immediatamente a valle di essa, presso la sponda destra.

### 3. Risultati

Per ognuna delle quattro portate vennero rilevati tanti profili liquidi quanti furono i gradi di apertura sperimentati.

Riportiamo, a titolo di esempio, nella tavola VIII i profili liquidi relativi alla portata di 234 mc/sec.

Appare da essi che nelle prove con traversa parzialmente aperta i livelli all'idrometro 9 bis si deprimevano fino a scendere per talune aperture al di sotto anche di quelli esistenti al successivo idrometro 10: su questo comportamento ci riserviamo di ritornare più avanti (Parte V).

L'insieme dei risultati ha posto in chiaro rilievo che alla progressiva chiusura della traversa (e restando immutata la portata) seguivano costantemente – come è ovvio – il progressivo elevamento del profilo a monte della traversa e la diminuzione del pari progressiva del dislivello liquido tra Sesto e la Miorina. Sorvolando sul minuto esame dei singoli profili, fisseremo in modo particolare la nostra attenzione sulla serie delle letture ai due idrometri di Sesto e della Miorina (n. 9), che nei riflessi pratici rivestono indubbiamente il più concreto interesse.

È intuitivo, infatti, e i risultati delle prove ne hanno data la conferma, che, fissata la portata, ad ogni valore del grado di apertura della traversa corrisponde un valore ben determinato dell'altezza a Sesto, e viceversa, fissata l'altezza a Sesto, per derivare una certa portata (inferiore a quella che defluirebbe a traversa abbattuta) occorre aprire una certa parte della traversa. Cioè, i tre elementi portata, grado di apertura e livello a Sesto sono fra loro legati in modo che, dati due di essi, resta individuato il terzo. Conosciuto che fosse tale legame, e fino a che le condizioni di deflusso a valle della traversa si mantenessero quali esse sono attualmente, la pratica manovra dell'opera di regolazione non presenterebbe difficoltà.

I dati sperimentali ci hanno consentito di individuare la relazione predetta per il modello. Tale relazione potrà essere estesa all'opera e servire di norma per avviarne l'esercizio, se a valle della traversa le modalità del deflusso saranno sicuramente assimilabili a quelle sperimentate per ogni portata. Quali siano le condizioni perchè la paragonabilità sicuramente sussista, indagheremo più avanti. Notiamo intanto che una relazione analoga alla precedente sussiste tra portate, gradi di apertura e altezze all'idrometro 9, prima della Miorina, perchè anche questa altezza, come quella a Sesto, resta univocamente individuata per ogni valore della portata e per ogni stato della traversa.

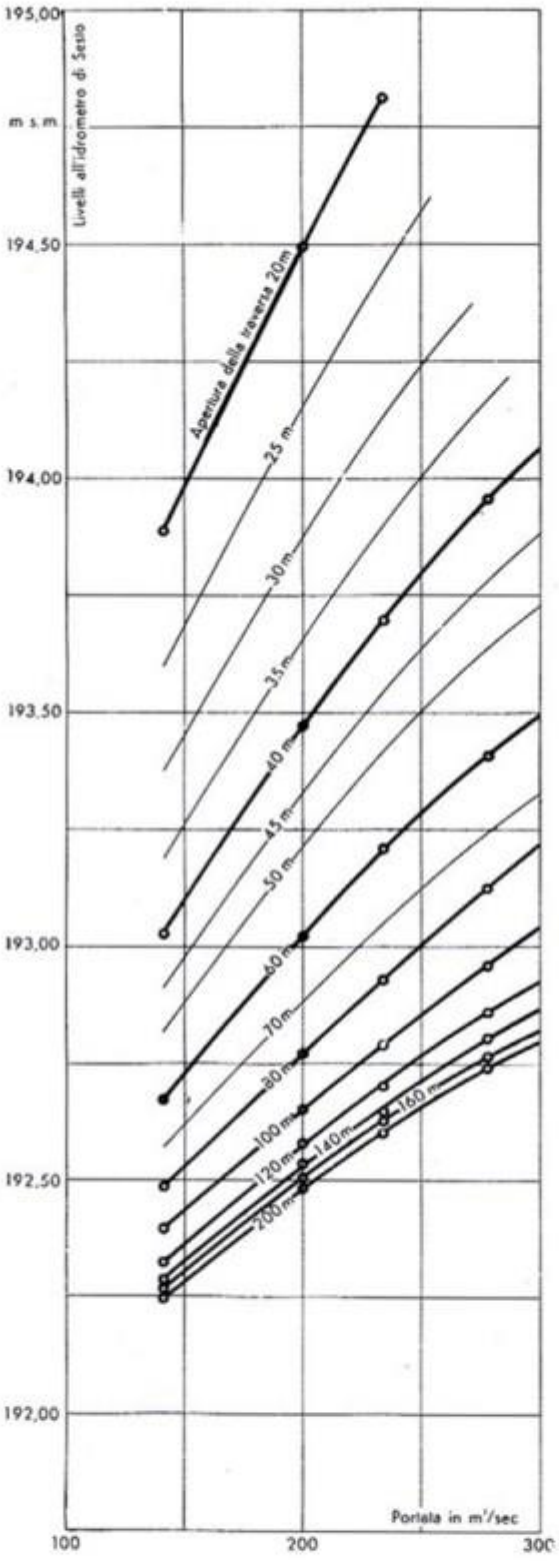



Figura 29. Relazioni tra portate, grado di apertura della traversa e altezze all'idrometro di Sesto

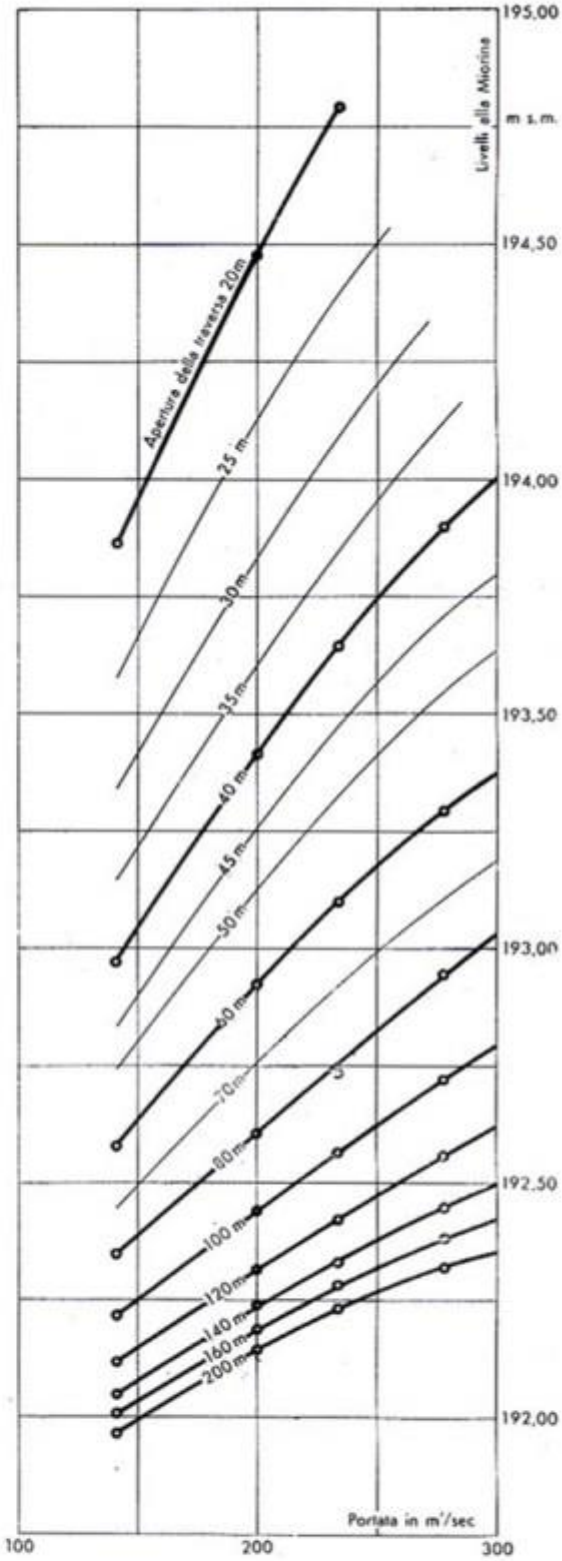



Figura 30. Relazioni tra portate, grado di apertura della traversa e altezze all'idrometro 9 (Miorina)

Le varie relazioni ora accennate sono poste in evidenza – per l'idrometro di Sesto – dalle figure 29 e 31.

Nella figura 29 ascisse sono le portate e ordinate le altezze a Sesto. Ogni cerchietto rappresenta il risultato di una prova: ogni gruppo dei quattro cerchietti relativi ad una medesima apertura della traversa è stato collegato con una curva, la quale non è che la scala delle portate a Sesto relativa a quella particolare apertura e alla situazione C 4 dell'alveo. La più bassa di esse non è che un segmento della scala tracciata per la situazione C 4 nella figura 23.

Si è così individuato con molta chiarezza il fascio delle nove curve, tante quanti i gradi di apertura sperimentati, che sono segnate con linee grosse nella figura 29. Le linee più sottili sono state intercalate fra esse, mediante interpolazione condotta a mezzo delle curve di figura 31 delle quali parleremo più avanti, formando un abaco il cui uso è abbastanza intuitivo.

Avendosi un determinato livello all'idrometro di Sesto ed essendo necessaria l'erogazione di una certa portata, il punto d'incontro delle due corrispondenti parallele agli assi coordinati capiterà in generale nella zona del piano compresa fra due curve successive; una semplice interpolazione a sentimento consentirà allora di stabilire il valore della larghezza della luce necessaria.

L'abaco di figura 30 è stato impostato in modo del tutto analogo: soltanto, in luogo dei livelli a Sesto sono considerati quelli a monte della Miorina (all'idrometro 9). Esso dovrebbe piuttosto servire per il controllo delle portate derivate. A tale scopo, letta la quota del pelo d'acqua in corrispondenza dell'idrometro 9, basta condurre la parallela all'asse delle ascisse corrispondente a tale valore; la portata che passa è data dall'ascissa del punto d'incontro di detta parallela con la curva relativa al grado d'apertura esistente al momento del controllo. Qualora questa curva non si trovasse tracciata sull'abaco, si dovrebbe naturalmente ricorrere ad una semplice interpolazione.

I due abachi sono sintetizzati nell'altro di figura 31, il quale interpreta i risultati di tutta la presente serie di prove. Esso è stato tracciato assumendo come ascisse le larghezze in metri della luce libera (o anche, con opportuna modifica della scala di riferimento, i gradi d'apertura della traversa) e come ordinate i livelli idrometrici a Sesto Calende.

Riportati tutti i punti sperimentali, sono stati anzitutto collegati fra loro (linee

continue grosse) quelli relativi all'una o all'altra delle quattro portate sperimentate. Fra le quattro curve così ottenute sono poi state intercalate a mezzo dell'abaco di figura 29, le curve a tratto sottile riguardanti delle portate intermedie tra le precedenti (mentre, notiamo incidentalmente, appunto a mezzo delle curve a tratto continuo grosso di figura 31 ottenute direttamente per via sperimentale erano state ricavate a loro volta le curve interpolari degli abachi di figura 29 e 30).

Tracciato il fascio delle curve per portata costante, sono state segnate con le linee trasversali a lunghi tratti le curve per livello costante a monte della traversa (all'idrometro 9), ottenute in modo ovvio coll'aiuto dell'abaco di figura 30, collegando fra loro i punti delle curve $q = \text{cost}$, ai quali competeva la stessa altezza alla Miorina.

Abbiamo detto che l'abaco di figura 31 sintetizza i risultati della presente serie di prove, perchè esso effettivamente sostituisce i due precedenti, e al pari di essi consente di risolvere – sulla base delle constatazioni compiute sul modello – tutti i quesiti cui potrebbe dar luogo l'esercizio della diga mobile.

Accenniamo, a titolo di esempio, ai seguenti.

Volendosi erogare dal lago una certa portata, quando il pelo d'acqua a Sesto si trova a una data quota, basta condurre la parallela all'asse delle ascisse, di ordinata corrispondente al detto livello, fino a incontrare la curva che si riferisce al valore della portata richiesta (oppure si determina per interpolazione, sulla parallela stessa, il punto corrispondente a quel valore della portata, qualora la curva non sia direttamente segnata sul grafico); l'ascissa del punto d'incontro (o del punto determinato per interpolazione) fornisce senz'altro la larghezza della luce libera necessaria.

Volendosi invece procedere alla valutazione o al controllo della portata erogata con una data apertura della traversa e con un dato livello a Sesto, si individua anzitutto il punto che ha le corrispondenti coordinate, e si stabilisce quindi il valore della portata, direttamente o per interpolazione, coll'aiuto del fascio di curve per portata costante.

Infine, se sono note le altezze idrometriche a Sesto e alla Miorina, la portata defluente si determina valutando, eventualmente con una interpolazione molto semplice, la portata spettante alla particolare curva $q = \text{cost}$ che passa per il pun-

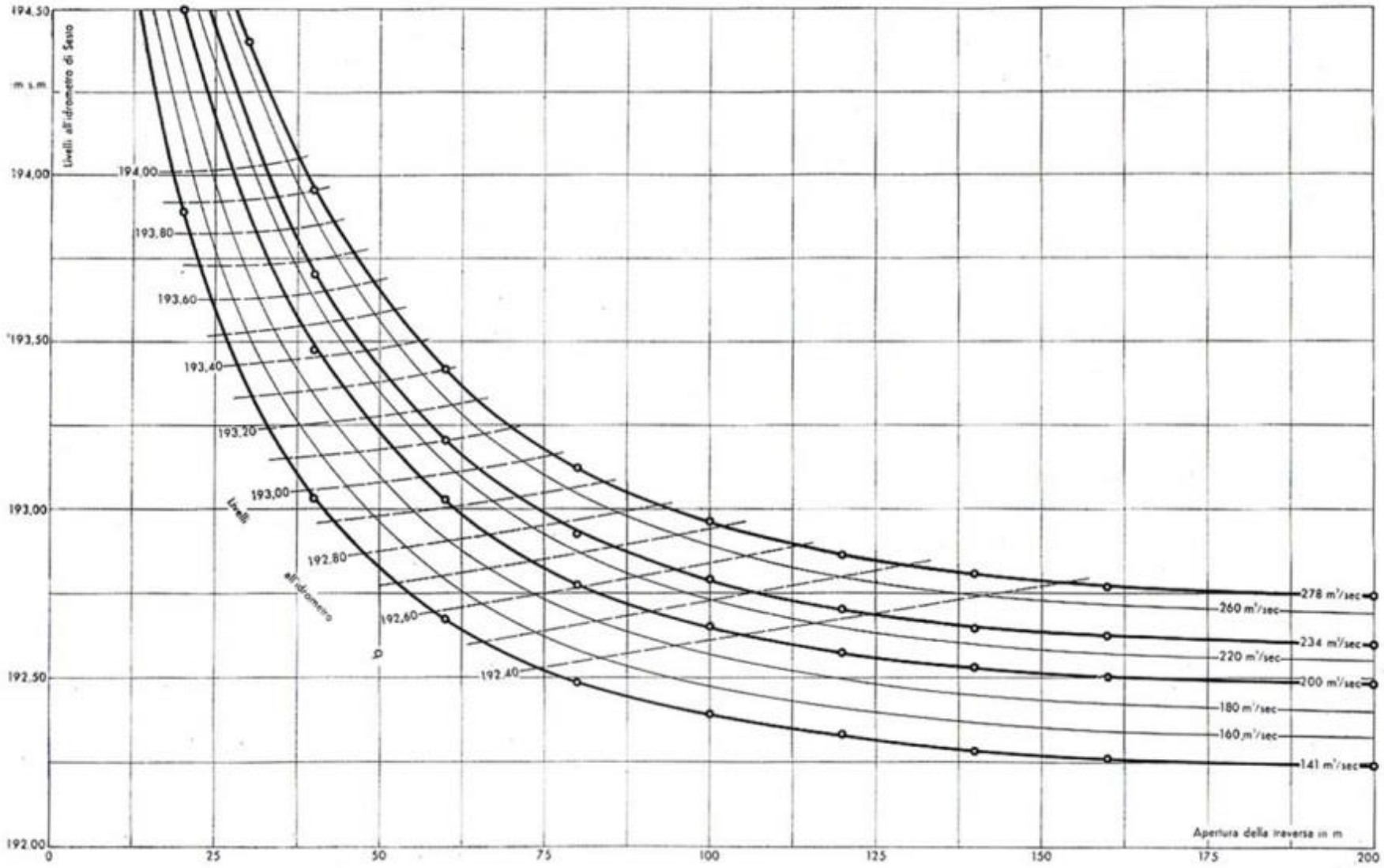



Figura 31. Abaco riassuntivo del funzionamento delle opere con traversa parzialmente aperta (il parametro costante delle curve a tratto continuo, grosso o sottile è la portata; quello delle curve a tratti, l'altezza dell'idrometro 9)

to di intersezione della retta parallela alle ascisse, che ha ordinata pari alla data altezza a Sesto, con quella delle curve segnate a tratti in figura 31, cui compete la data altezza alla Miorina (idrometro 9).
L'abaco, invece, non sarebbe più utilizzabile se dovessero mutare le caratteristiche del deflusso a valle, in modo tale da influire sulla portata erogata dalla traversa. Se poi il livello a valle potesse essere variamente influenzato dallo sbarramento di Porto della Torre, si determinerebbe una situazione nuova, e assai più complicata, per l'intervento di un quarto parametro, rappresentato appunto da tale livello, in aggiunta ai tre già messi in conto, cioè livello a Sesto, grado di apertura della traversa, e portata.

Era evidentemente della massima importanza di esaminare se ed in quali circostanze potesse ricorrere una simile eventualità, e quali potessero esserne le ripercussioni in ordine quantitativo; in effetto il piano della regolazione sanzionato dagli uffici statali, e attualmente in corso di avanzata esecuzione, ha come presupposto fondamentale « a salvaguardia degli importanti e delicati interessi del lago e del fiume » che *la funzione regolatrice del lago sia tenuta distinta e del tutto indipendente dallo sfruttamento industriale del primo tronco del fiume.*
Il rispetto di tale caposaldo richiede che la ritenuta allo sbarramento di Porto della Torre non abbia ad esercitare una influenza comunque apprezzabile sul funzionamento idraulico della diga mobile.
Era, quindi, necessario far seguire alle varie prove già esposte l'esame del processo di efflusso attraverso la diga mobile, al fine di stabilire caratteri e limiti della dipendenza di esso dai livelli di valle. Tale indagine venne effettivamente condotta, non sulla situazione C4 del modello che aveva formato oggetto delle prove della serie D, bensì sul modello ulteriormente modificato, per la esecuzione delle prove complementari, delle quali parleremo nella Parte V.
I risultati di essa verranno, perciò, esposti più avanti nella stessa Parte V e dopo aver parlato di queste prove.

Intanto, prima di chiudere il presente esame, riportiamo un ultimo grafico che riassume il legame fra le portate erogate e i due livelli a Sesto e alla Miorina. È ovvio infatti, dopo quanto già si è detto, che fra questi tre elementi inter-

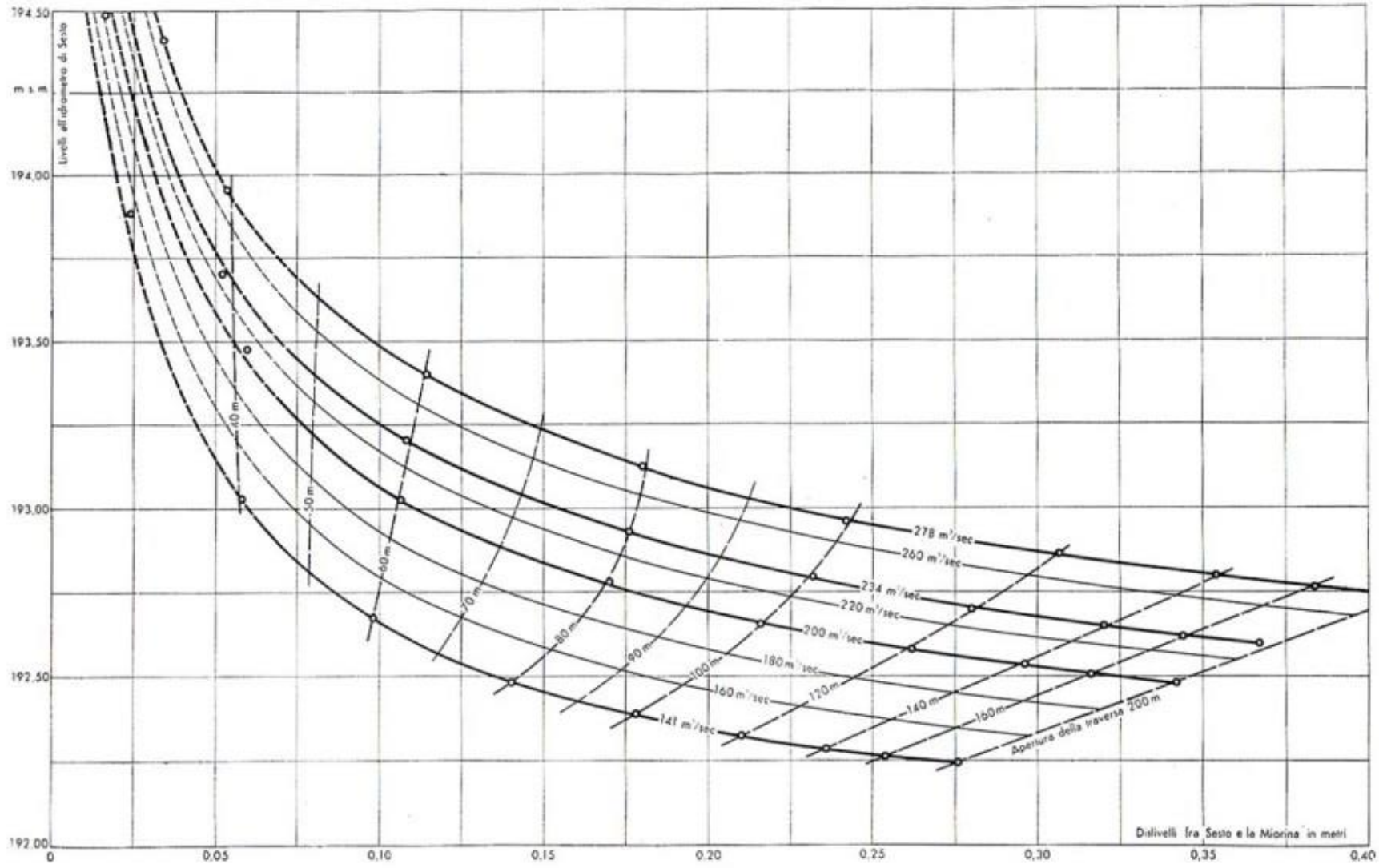



Figura 32. Relazione tra la portata erogata, l'altezza a Sesto e il dislivello tra i peli liquidi a Sesto e alla Miorina (Parametro delle curve continue, a tratto grosso o sottile, è la portata; delle curve a tratti l'apertura della traversa)

cede una relazione univoca; tale relazione, nei riguardi pratici e quando fosse sicuramente definita, presenterebbe notevole importanza, in quanto consentirebbe di valutare la portata defluente nel fiume unicamente sulla base delle due letture agli idrometri di Sesto e della Miorina, indipendentemente dal grado di apertura della traversa e anche dalle condizioni di deflusso esistenti a valle di questa.

Per maggior chiarezza di rappresentazione, nella figura 32 sono state assunte come ordinate le quote lette a Sesto, come ascisse i dislivelli fra queste e quelle contemporanee alla Miorina.

Come per la figura 31, le curve a tratto grosso continuo collegano i punti sperimentali relativi ad uno stesso valore della portata: gli ultimi tratti di queste verso sinistra, relativi ai valori del dislivello tra Sesto e la Miorina inferiori a 5–6 cm, sono stati segnati con linee a piccoli tratti, perchè non risultano sicuramente attendibili. A linee sottili continue sono state tracciate poi altre curve dello stesso tipo, relative a portate intermedie fra quelle sperimentali, e ottenute per interpolazione.

Le curve segnate con linee a lunghi tratti si riferiscono ognuna ad un particolare valore del grado di apertura della traversa; esse però, come è ovvio, sono valide unicamente per la situazione di deflusso naturale (senza rigurgiti da valle) che è stata oggetto di prove.

# Parte V

*Prove Complementari (Serie E e F)*

## 1. Intendimenti delle prove

Abbiamo chiamato complementari le prove che verranno esposte nella presente Parte V, perchè effettivamente con le determinazioni della serie D poteva ritenersi completa la definizione di una sistemazione del tratto fluviale fino alla soglia della Miorina, che consentisse di rispettare i caposaldi del piano della regolazione. Di tale situazione erano inoltre state individuate le caratteristiche, nel caso di funzionamento con traversa parzialmente abbattuta, e nella ipotesi che a valle della traversa e del successivo breve spianamento del fondo le condizioni del deflusso fluviale si conservassero immutate, come esse sono attualmente.

Gli sbancamenti attuati nel modello a monte della Miorina, particolarmente intorno ai Murazzi, per arrivare alla situazione C4 corrispondono, riteniamo, al minimo movimento di materiale, occorrente per soddisfare alle condizioni assunte; la entità loro, stabilita in circa 94 mila metri cubi, non potrebbe in effetto subìre che variazioni di minimo momento, qualora venisse modificata la zona da sbancare: mentre la quota di fondo non potrebbe subìre, riteniamo, notevoli ritocchi. Ciò sta a dire che per conferire all'alveo l'attitudine ad erogare 200 metri cubi al secondo dal lago a quota 292,50 sarà, comunque, necessario asportare a monte della soglia della Miorina almeno novantamila metri cubi di materiale.

Ma questi sbancamenti non saranno, come è ben noto, sufficienti a consentire il

transito dei natanti da 600 tonnellate dal lago alla conca, perchè il fondale di tre metri, che tali natanti richiedono, non sarà raggiunto sopra l'intero percorso, se non per livelli lacuali molto prossimi alla massima ritenuta. Per livelli inferiori i fondali si ridurranno a valori insufficienti anche per natanti di tonnellaggio molto inferiore. È da ritenere, quindi, che in un futuro più o meno vicino, gli sbancamenti stessi dovranno essere completati con l'escavo di una savenella per la navigazione.

Se a questa verrà assegnata la profondità occorrente ad assicurare il mantenimento del fondale predetto anche per gli stati più depressi del lago, l'apertura di essa richiederebbe, secondo quanto già dicemmo nella Parte II, la rimozione di oltre 180 mila metri cubi, ammesso che l'alveo rimanente fosse lasciato inalterato e che alla savenella potessero effettivamente essere assegnate le dimensioni minime per essa adottate nel modello. In realtà, il volume dell'escavo risulterà certamente maggiore, perchè la natura sciolta del materiale di fondo imporrà l'adozione di pendenze assai più dolci per le due sponde, e forse renderà necessari anche dei rivestimenti, nei tratti dove lo scavo raggiungerà le profondità maggiori.

Se l'apertura della savenella e lo sbancamento ai Murazzi potessero essere compiuti contemporaneamente, il volume dei materiali da asportare potrebbe essere contenuto entro limiti alquanto più modesti (da 20 a 30 mila metri cubi in meno) rispetto alla somma dei due valori riportati sopra, e senza diminuire la portata erogabile dal lago nello stato di massimo svaso. Sotto questo aspetto ci sarebbe quindi un certo interesse a procedere subito anche allo scavo della via navigabile. Senonchè tale lavoro non è compreso fra quelli in corso di esecuzione, e non presenta nemmeno carattere di urgenza; la necessità di un collegamento tra il fiume e il lago è, infatti, subordinata alla esecuzione del grande canale Milano–Lago Maggiore, per non parlare del collegamento per via d'acqua di Milano al Po e al mare Adriatico: opere tutte che ancora non sono uscite dal campo degli studi e la cui attuazione, quando venisse decisa, richiederà un notevole numero d'anni.

Tuttavia, siccome la via navigabile, presto o tardi, dovrà pure venire aperta, ci è parso opportuno di provvedere a riconoscere sul modello le ripercussioni che la apertura di essa avrà sulla capacità di deflusso dell'incile fluviale, per trarne

una concreta idea della estensione che essa apporterà al campo di manovra dell'opera di regolazione. Con tale intendimento è stata condotta la prima serie delle prove complementari (serie E) delle quali rendiamo conto nella presente Parte V. Una seconda serie di prove complementari (serie F) è stata rivolta a stabilire la dipendenza del processo di efflusso attraverso la diga parzialmente abbattuta, dalle condizioni di valle.

## 2. Determinazione della capacità di deflusso che conferirà all'incile fluviale sistemato a norma della situazione C 4 l'apertura parziale o totale della savenella di navigazione (Prove della Serie E)

Si è proceduto alla riapertura della savenella lasciando per il resto inalterata la situazione dell'alveo, come essa si trovava per le prove della serie C 4. La operazione è stata effettuata in due gradi successivi: e precisamente, in un primo tempo ci si limitò all'apertura del tratto di savenella interessante la regione del dosso dei Murazzi e quella immediatamente a monte, arrestandosi, verso valle, all'incirca alla sezione dell'idrometro 5; in seguito, si estese lo scavo a tutto il resto della via navigabile, secondo il tracciato prestabilito e già in precedenza sottoposto a prova, fino al termine del tronco fluviale riprodotto dal modello (quindi anche a valle della conca, in modo di poter studiare anche il funzionamento di quest'ultima).

La ragione di questo modo di procedere allo scavo, in due fasi distinte e successive, risulterà abbastanza evidente, se si pon mente alla conformazione dell'alveo ed alla sua situazione idrometrica. Infatti, lo scavo della savenella dal lago fino a valle del dosso dei Murazzi sarà indispensabile per il passaggio dei natanti, qualunque sia il sistema di trazione per essi adottato, non esistendo attualmente lungo il fiume una linea continua che presenti sufficiente tirante d'acqua. Più oltre invece, come si è già più volte accennato, lungo il tronco di alveo che precede la soglia della Miorina ed è interessato dai due delta torrentizi, esiste presso la sponda destra (sinistra nel modello) un notevole fondale, lungo il quale potrebbe essere incanalata la navigazione qualora si trattasse di convogli rimorchiati e non costretti a valersi della via alzaia. Solo per il servizio

dei natanti trainati sarebbe necessario far proseguire anche per questo tratto la savenella, all'incirca secondo il tracciato da noi sperimentato, attraversando con lo scavo proprio i due delta: si comprende facilmente come in tal guisa il volume dell'escavo stesso assuma valori rilevanti.

L'apertura del primo tronco di savenella (*situazione E 1*), secondo computi sommari da noi fatti, comporterebbe la rimozione di circa 31 mila mc di materiale, a partire naturalmente dal piano di fondo dell'escavo generale, già praticato, per la situazione C 4, nella regione dei Murazzi fino a quota 190,60.

Le prove vennero condotte, come le precedenti, con traversa interamente abbattuta, conca e canale sussidiario chiusi, adottando per l'idrometro 10 la scala di deflusso ormai più volte citata. Si rilevarono i profili per le sette portate da 141 a 862 mc/sec: nelle tavole V, VI e VII riportiamo quelli relativi alle portate di 141, 234 e 278 mc/sec, che più interessano la regolazione; mentre nella figura 23 abbiamo tracciata la conseguente scala delle portate all'idrometro di Sesto. Da questa si deduce che, per la situazione in esame, la portata di 200 mc/sec risultava erogabile con livello a Sesto a quota 192,42, vale a dire 5 cm più basso che per la situazione C 4; con livello a quota 192,50 si potevano invece derivare circa 220 mc/sec, con un incremento di 10 mc/sec circa rispetto alla situazione C 4. I due numeri citati possono dare un'idea del vantaggio conseguibile in seguito all'escavo del tronco di savenella.

L'apertura del tratto rimanente della savenella fino alla conca importò uno scavo supplementare di 135.000 mc, computato fino alla sezione d'ingresso alla conca (*situazione E 2*).

Notiamo che per ambedue le situazioni E 1 ed E 2 sarebbe stato necessario, a rigore, ritoccare un poco la scala di deflusso adottata per l'idrometro 10, poichè la savenella dovrà certamente essere continuata, dalla traversa verso valle, assai oltre la sezione dove è situato l'idrometro stesso, non avendosi ancora in tale sezione, nemmeno nelle lievi morbide, il necessario fondale di tre metri. Il prolungamento della savenella determinerebbe, a parità di portata, una certa depressione dei livelli liquidi all'idrometro 10, ammesso che a valle le condizioni di deflusso dovessero conservarsi immutate. Poichè non era, per ragioni ovvie, il caso di mettere in conto tali depressioni, non si è nemmeno modificata la scala di quell'idrometro.

Anche per la situazione E 2 sono stati rilevati i profili relativi alle sette portate di cui sopra: e si sono riportati nelle tavole V, VI e VII quelli relativi alle portate di 141, 234 e 278 mc/sec, e in figura 23 la corrispondente scala di deflusso all'idrometro di Sesto. Se ne deduce che la portata di 200 mc/sec diventerebbe erogabile già col lago alla quota 192,35; mentre con la quota 192,50 si potrebbero erogare circa 245 mc/sec.

Infine, sempre con lo scopo di renderci conto della massima portata derivabile, abbiamo condotto una serie di prove lasciando aperte le porte della conca di navigazione, in modo che non fosse interrotta la continuità della corrente lungo la savenella. Malgrado la larghezza relativamente modesta della conca, era infatti prevedibile che il contributo di essa alla portata complessiva non dovesse riuscire trascurabile, essendo il fondo sia della conca che della savenella assai più basso della soglia fissa della traversa (quota 189,50 all'ingresso della conca, 188,35 all'uscita, contro 191,20).

Le prove (*situazione E 3*) hanno confermato la previsione. La scala di deflusso segnata nella figura 23 mostra infatti come la portata di 200 mc/sec, per la nuova situazione, richieda a Sesto una quota idrometrica di m 192,28 s.l.m. soltanto: con quota 192,50 passano 262 mc/sec.

L'incremento della portata erogabile in condizione di massimo svaso e attribuibile esclusivamente all'apertura delle porte della conca risulterebbe quindi pari a 17 mc/sec (circa il 6%). È opportuno far presente però che, seguendo i disegni comunicatici inizialmente dal Consorzio, nel modello alla conca è stata assegnata la larghezza di m 10; ci risulta che successivamente la larghezza stessa è stata portata a m 12, il che comporterà un ulteriore aumento della capacità di deflusso.

Nelle tavole V, VI e VII sono stati segnati i profili rilevati per la situazione E 3 per le portate di 141, 234 e 278 mc/sec.

### 3. L'influenza del livello di valle sul funzionamento della traversa in regime di consegna utile

L'influenza che ci proponiamo di individuare è, premettiamo, quella che il livello di valle esercita sulla portata erogata dalla traversa nei periodi di consegna

utile, quando di regola le paratoie dovranno essere solo in parte abbattute, e sulla platea defluirà una corrente assimilabile a quella di uno stramazzo rigurgitato.

Prima di iniziare l'indagine sperimentale del problema occorreva definire il particolare livello di valle al quale fare riferimento. Sarebbe tornato spontaneo scegliere a tal uopo l'idrometro 9 bis, collocato subito a valle della traversa, presso la sponda destra del modello; senonchè abbiamo già detto che a ridosso della traversa e presso le sponde il pelo liquido si disponeva ad una quota molto bassa, inferiore non solo a quelle della lama effluente (vedi fotografia di fig. 28), ma anche alle quote osservate all'idrometro 10, collocato circa cinquecento metri più a valle. L'idrometro 9 bis non era perciò adatto a fornire indicazioni significative sui livelli di valle.

La osservazione delle modalità con le quali procedeva il movimento della corrente a valle della traversa parzialmente aperta ha fornito anche la spiegazione di questo fatto: si è notato, infatti, che ai lati della vena effluente dalla traversa, aperta nel suo tratto centrale, l'acqua era animata da un movimento di lenta rotazione in piano orizzontale, con due correnti di ritorno, da valle verso monte, in aderenza alle sponde. Appunto alla presenza di queste due correnti si doveva la lenta decrescenza dei livelli, da valle a monte, lungo le sponde medesime. Le ripercussioni della strozzatura prodotta dalla traversa apparivano, invece, del tutto esaurite nella sezione dell'idrometro 10; a questo pertanto furono riportati i livelli di valle. Le condizioni di deflusso « naturali » in tale sezione sono definite, al consueto, dalla scala tracciata con linea sottile nella figura 21; non è facile che nella sezione stessa il livello possa scendere al di sotto dei valori forniti per ogni portata da questa scala, mentre le manovre allo sbarramento di Porto della Torre potrebbero determinare dei sovralzi. Il problema sperimentale era appunto quello di riconoscere la natura e valutare l'entità delle ripercussioni che tali sovralzi potrebbero avere a valle e soprattutto a monte della traversa.

Il riferimento a situazioni numericamente concrete gioverà a chiarire ulteriormente le idee in proposito. Ammesso l'alveo sistemato in conformità della situazione C 4, la portata di 200 mc/sec potrà essere derivata dal lago anche nella condizione di completo svaso, purchè la traversa venga totalmente abbat-

tuta; la portata di 240 mc/sec, massima consegna utile estiva secondo la relazione Fantoli, non risulterebbe, invece, erogabile se non a partire dalla quota 192,61 a Sesto.
Con lago più alto ambedue le portate anzidette potrebbero essere immesse in qualunque momento nel fiume, riducendo in opportuna misura la luce libera della diga mobile, a norma cioè dell'abaco di figura 31. Se in particolare il lago fosse alla quota 193,00, la derivazione di 200 mc/sec importerebbe la riduzione della luce a soli 57 metri, mentre a monte della traversa il livello si eleverebbe di circa 75 cm (all'idrometro 9) sopra quello segnato allo stesso idrometro a traversa totalmente abbattuta. Invece all'idrometro 10 il livello resterebbe invariato alla quota 191,87 fornita dalla scala di figura 21 per la portata di 200 mc/sec, sicchè nel breve tratto di poco più di 500 metri fra i due idrometri verrebbe a crearsi un dislivello liquido di circa un metro. Tale dislivello sarebbe ancora più grande se il lago fosse maggiormente invasato.
Così stando le cose, poteva apparire lecito di pensare che all'idrometro 10 il pelo liquido ammettesse qualche sopraelevamento, senza che ne risentissero i livelli a monte della traversa e ne risultasse modificata (diminuita) la portata erogata. Non esitiamo, anzi, a dire che, appunto in vista della entità dei detti dislivelli, e pensando che la corrente defluente sulla platea a traversa parzialmente abbattuta fosse assimilabile a quella di uno stramazzo a larga soglia, noi stessi avevamo ritenuto che l'influenza di valle dovesse cominciare a farsi sentire solo quando i dislivelli medesimi si fossero ridotti alla terza parte del *carico* rispetto alla platea (inteso, al solito, come differenza tra la quota letta all'idrometro 9 e quella 191,20 della platea).
Le esperienze hanno dimostrato, come ora diremo, che questo modo di vedere era infondato. Si è constatato, infatti, che esiste una dipendenza molto evidente tra livelli a valle e livelli a monte della diga, anche quando questa è aperta solo in piccola parte, e che la portata erogata non è mai indipendente dai primi; cioè, la assimilazione allo stramazzo a larga soglia non era corretta.

Le esperienze sono state compiute per la sola portata di 278 mc/sec, e ciò per le seguenti considerazioni.
Non era, in primo luogo, il caso di uscire dal campo delle portate di consegna

utile; in secondo luogo, entro questo campo conveniva dare la preferenza ai valori più elevati che dovranno presumibilmente raggiungere le erogazioni, perchè la indipendenza del deflusso dalle condizioni di valle deve sussistere per tutte le portate.

Riguardo alle massime portate di consegna utile la relazione al piano di massima non contiene indicazioni risolutive: essa, come già notammo, fissa soltanto tra 220 e 240 mc/sec le massime consegne estive, ma trattasi di portate medie, se non per l'intera stagione irrigua estiva, almeno per lunghi periodi di essa. Nel corso di tali periodi le erogazioni subiranno certo delle oscillazioni di qualche rilievo intorno alla media, sia per seguire le vicende del fabbisogno irriguo, come pure per la necessità di graduare opportunamente, anno per anno, l'impiego della riserva accumulata nel lago in relazione ai caratteri meteorici della stagione.

Non abbiamo elementi per assegnare su basi concretamente fondate la misura dei presumibili scarti tra massimi e medie; ci sembra, però, che essi debbano essere previsti non inferiori al 20%. Se, cioè, la erogazione media estiva ammontasse, poniamo, a 230 mc/sec, le consegne nel corso della stagione dovrebbero salire fino a 276 mc/sec.

Poichè questa portata risultava pressochè coincidente con quella di 278 mc/sec del quarto profilo S. I., le prove sono state condotte limitatamente a quest'ultima. La loro esecuzione è stata avviata come segue.

Fissato un certo grado di apertura della diga mobile, si immetteva nel modello la portata di 278 mc/sec, e si regolava il deflusso dal bacino terminale in modo da portare il pelo d'acqua all'idrometro 10 ad una quota pari, o poco inferiore, a quella di 192,03 che corrisponde al deflusso *naturale* della portata medesima attraverso la sezione dell'idrometro. Raggiunta che fosse la condizione di regime, si procedeva alla lettura di tutti gli idrometri, fino a quello di Sesto.

Quindi, manovrando opportunamente la paratoia del bacino terminale, si elevava successivamente di piccole quantità (pochissimi millimetri per volta) il livello all'idrometro 10: si attendeva, volta per volta, che la corrente avesse raggiunto il nuovo stato di regime, corrispondente al pelo liquido sopraelevato nel bacino terminale, e si procedeva alla lettura del nuovo profilo fino a Sesto.

Le esperienze vennero iniziate con apertura di 60 m su 200, l'apertura essen-

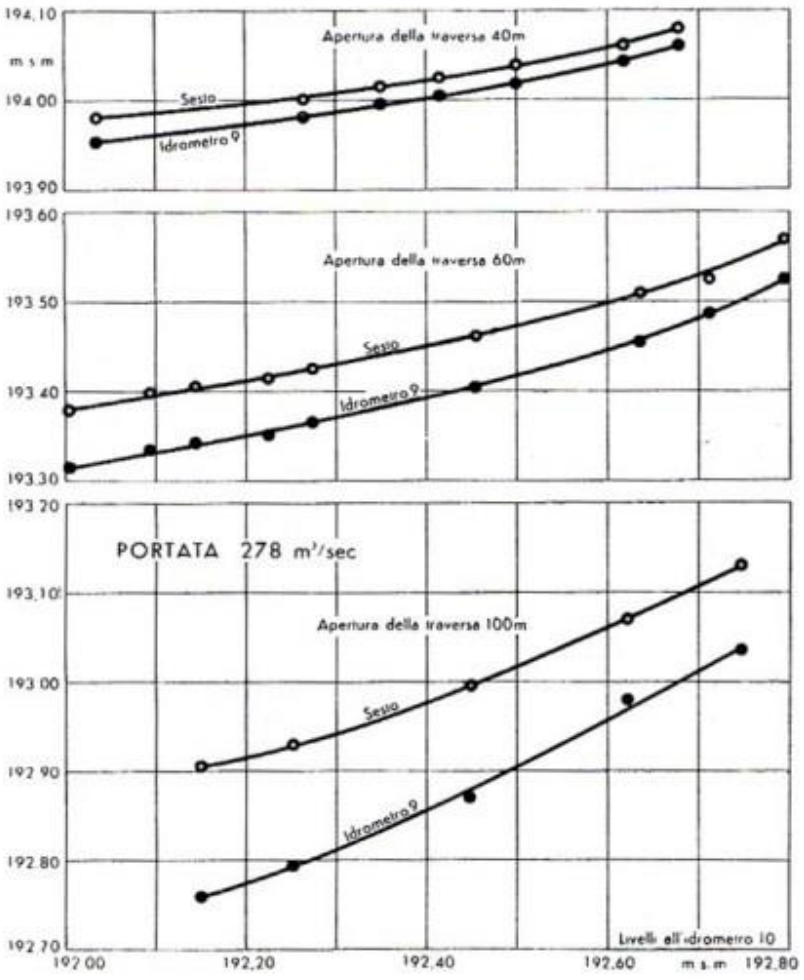



Figura 33. Dipendenza dei livelli a Sesto e alla Miorina da quelli all'idrometro 10, a valle della traversa

do, al solito, concentrata nel tratto centrale della traversa: successivamente vennero ripetute con le aperture di 40 e di 100 metri.

Fin dalle prime prove compiute si riscontrò nel modo più evidente che le modificazioni del livello all'idrometro 10 si ripercotevano sull'intero tronco fluviale, fino a Sesto. Risultò chiaro, cioè, che la diga mobile non arrivava a stabilire una separazione idraulica fra il tronco fluviale di monte e quello di valle, rendendo il funzionamento del primo indipendente dai livelli del secondo.

Questo appare molto chiaramente dai grafici della figura 33: come ascisse vi sono stati assunti i livelli stabiliti all'idrometro 10, e come ordinate quelli cor-

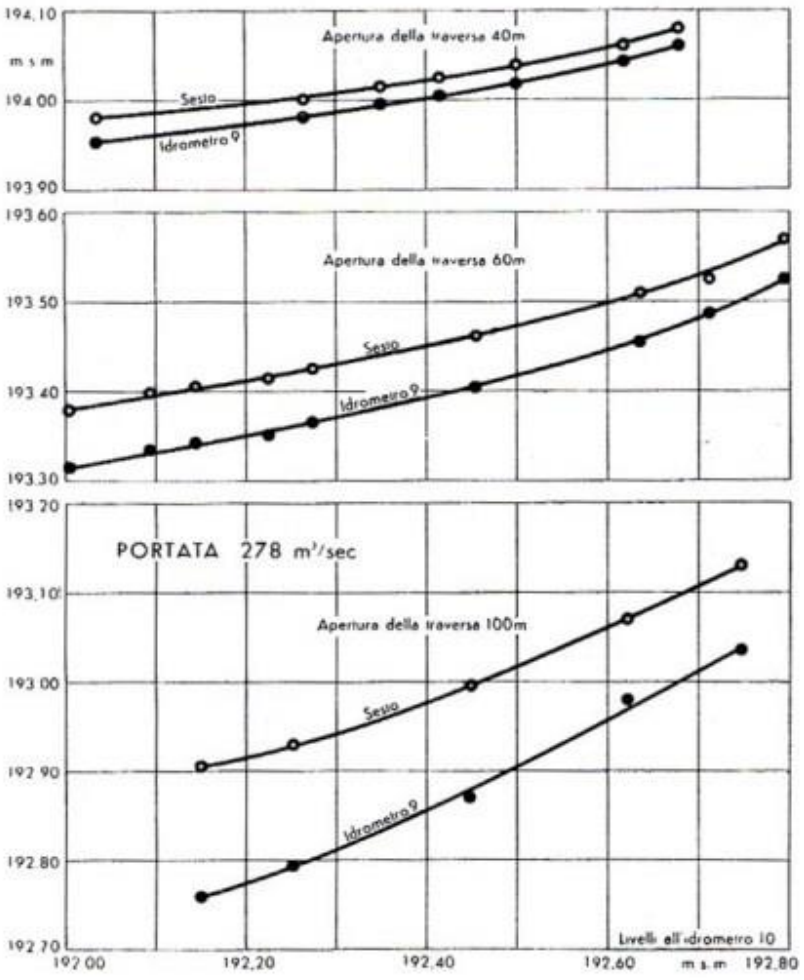



Figura 33. Dipendenza dei livelli a Sesto e alla Miorina da quelli all'idrometro 10, a valle della traversa

do, al solito, concentrata nel tratto centrale della traversa: successivamente vennero ripetute con le aperture di 40 e di 100 metri.

Fin dalle prime prove compiute si riscontrò nel modo più evidente che le modificazioni del livello all'idrometro 10 si ripercotevano sull'intero tronco fluviale, fino a Sesto. Risultò chiaro, cioè, che la diga mobile non arrivava a stabilire una separazione idraulica fra il tronco fluviale di monte e quello di valle, rendendo il funzionamento del primo indipendente dai livelli del secondo.

Questo appare molto chiaramente dai grafici della figura 33: come ascisse vi sono stati assunti i livelli stabiliti all'idrometro 10, e come ordinate quelli cor-

rispondentemente osservati a Sesto e alla Miorina (idrometro 9). Per ogni apertura i punti sperimentali si succedono con notevole regolarità, secondo due linee ascendenti il cui andamento sta a dimostrare che, nel campo delle osservazioni (con variazione all'idrometro 10 da quota 192,00 a circa 192,80), alle va-

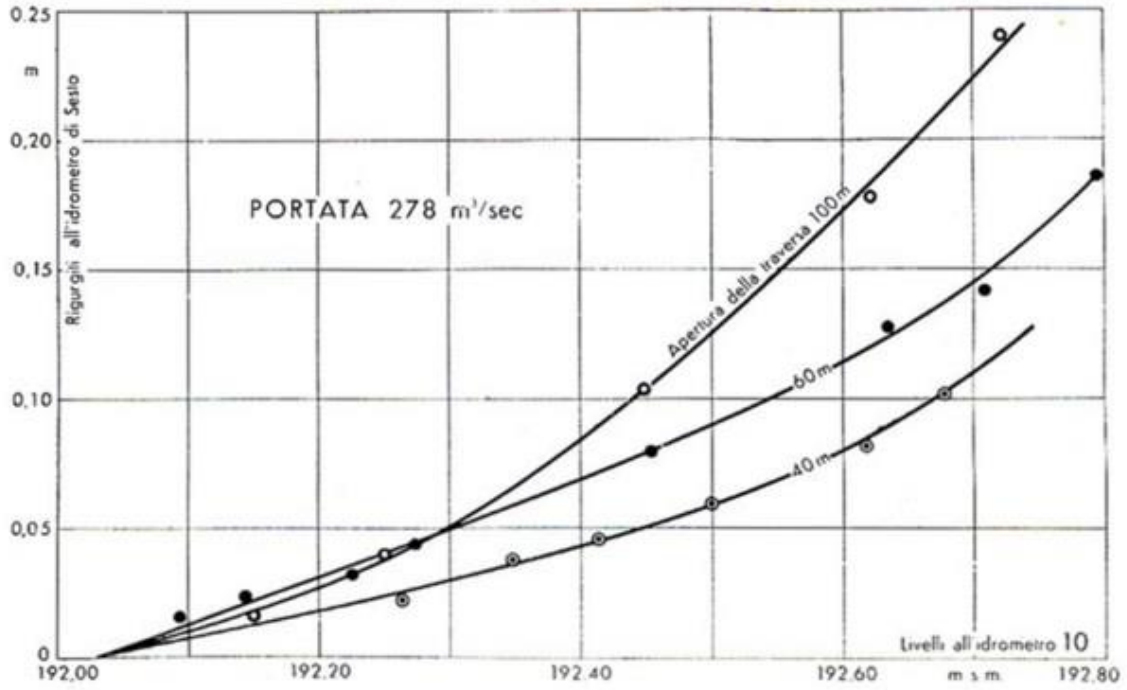



Figura 34. Variazioni del livello a Sesto conseguenti a variazioni del livello all'idrometro 10

riazioni del livello a valle della traversa conseguono a Sesto e alla Miorina delle variazioni poco differenti tra loro.

La figura 34 contiene una sintetica rappresentazione dei risultati raccolti per l'idrometro di Sesto dalle tre serie di osservazioni. Ascisse sono, come nella figura 33, i livelli stabiliti volta per volta all'idrometro 10; ordinate sono, invece, le differenze in centimetri fra le corrispondenti altezze a Sesto, e quelle pure osservate a Sesto, con la stessa apertura, ma quando l'idrometro 10 segnava il livello 192,03 del regime naturale.

Da questa figura appare chiaro che, a parità di variazioni a valle, le variazioni a monte risultano più marcate con le aperture maggiori: ma che esse sono sensibili per tutte le aperture sottoposte a prova.

Essa vale pertanto a dimostrare che per un generico stato lacuale le condizioni di deflusso tra Sesto e la Miorina e la portata erogata dal lago non dipendono unicamente dal grado di apertura della diga mobile. Al contrario, deflusso e

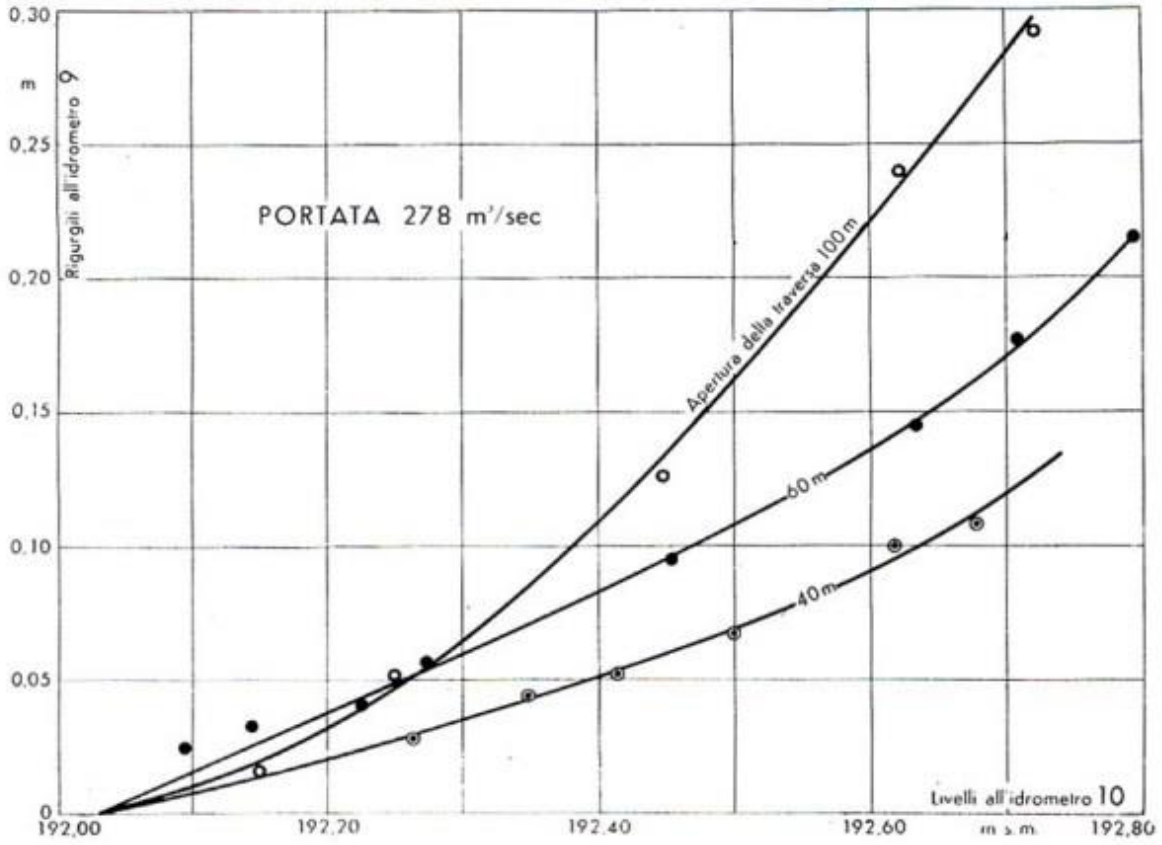



Figura 35. Variazioni del livello all'idrometro 9 (Miorina) conseguenti alle variazioni del livello all'idrometro 10

portata sono influenzati anche dalla condizione di deflusso esistente a valle. Se a valle non dovesse permanere il regime attuale, cioè all'idrometro 10 non vigesse la relazione univoca tra altezze e portate, rappresentata nella figura 21, le portate erogate dalla diga non sarebbero più univocamente connesse ai livelli a Sesto e al grado di apertura. Il loro valore potrebbe, bensì, risultare maggiore o minore di quello ricavabile dall'abaco di figura 31, a seconda che all'idrometro 10 si avessero livelli inferiori o superiori a quelli forniti dalla scala naturale. La figura 35 contiene una rappresentazione analoga a quella della figura 34, ma con riguardo all'idrometro 9 (Miorina).

Di fronte a queste constatazioni ci è sembrato opportuno di completare l'indagine, col procedere a valutare l'entità delle variazioni della portata erogata, conseguenti a determinate escursioni del livello a valle della traversa.

È chiaro, in effetto, che nelle prove precedenti non era rispecchiato quello che sarebbe il reale andamento delle cose, se il tronco fluviale venisse a trovarsi nelle condizioni dell'esperienza. Nel modello, infatti, la portata erogata si manteneva invariata, mentre alle variazioni apportate al livello di fronte all'idrometro 10 seguivano delle variazioni del livello lacuale. Nella realtà il livello lacuale si manterrebbe, almeno praticamente, inalterato, mentre le variazioni del livello all'idrometro 10 si tradurrebbero in variazioni della portata erogata dal lago.

Il modello si prestava però alla facile determinazione di tali variazioni. A tal uopo bastava praticare nella parete del bacino iniziale, che riproduce il lago, una bocca di derivazione fornita di saracinesca, e a mezzo di questa derivare dal lago quella parte dei 278 mc/sec immessi, che valesse a mantenere inalterato il livello all'idrometro di Sesto, per qualunque apertura della traversa. La bocca di derivazione e la relativa condotta di scarico sono indicate nella planimetria di figura 2: al termine della condotta era stato applicato un piccolo modulatore a risalto.

Fatte queste aggiunte, si è proceduto ad un'ultima serie di prove, di modalità ovvie, dopo quanto si è detto. Fissato un certo grado di apertura della diga, si immetteva nel modello la portata di 278 mc/sec e si regolavano le condizioni di efflusso dal bacino terminale, in modo da far assumere al pelo liquido di fronte all'idrometro 10 diverse quote a partire da quella 192,03 del regime naturale; contemporaneamente si regolava la bocca di derivazione in modo da mantenere inalterato il livello a Sesto. Raggiunto lo stato di regime, si procedeva, per ogni particolare valore della quota all'idrometro 10, a leggere il livello all'idrometro 9 e a misurare la portata erogata dalla bocca di derivazione. Il valore di questa rappresentava evidentemente la portata defluente in meno nel fiume: cioè, la diminuzione delle erogazioni dal lago conseguente all'aumento del livello a valle della traversa.

Le prove sono state successivamente ripetute per le aperture, già sperimentate nella serie precedente, di 40, 60, 100 metri.

Con i dati ricavati è stato preparato il grafico di figura 36 che fornisce un quadro molto evidente dei risultati. Ascisse sono ancora le altezze all'idrometro 10 a partire da quella 192,03 del regime naturale per la portata di 278 mc/sec:

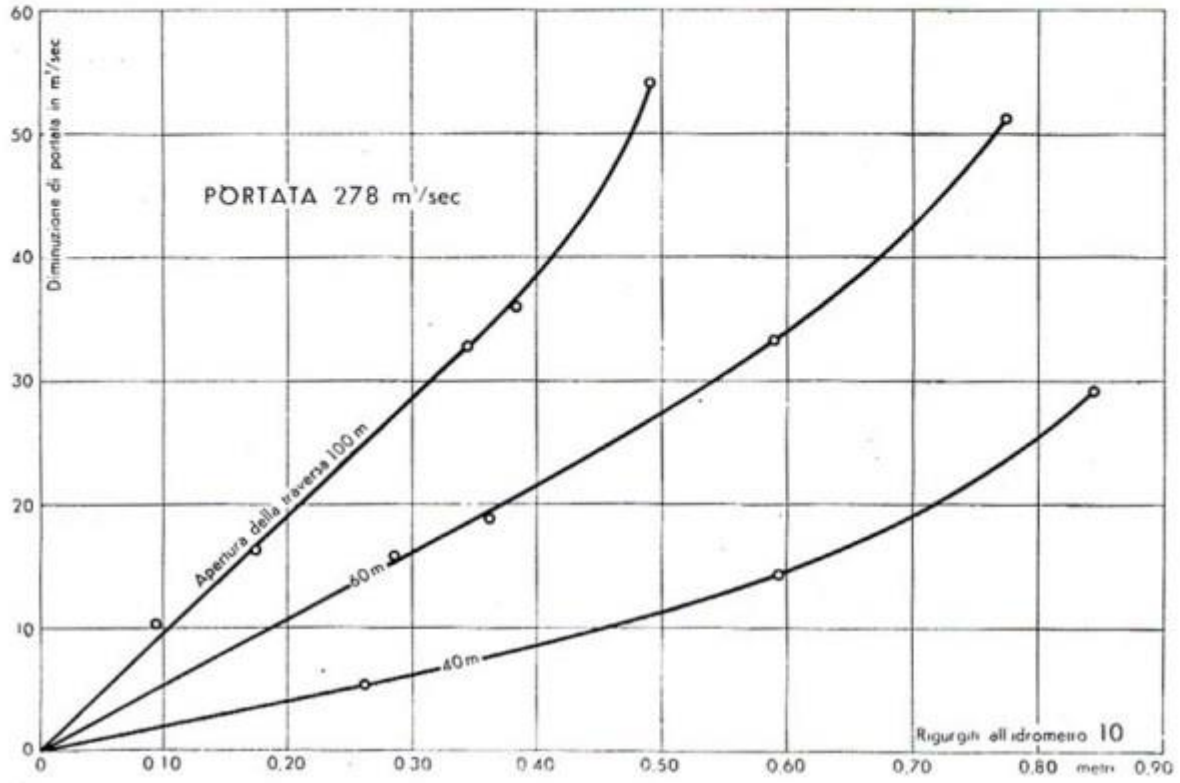



Figura 36. Diminuzione della portata erogata dalla traversa in dipendenza di incrementi del livello all'idrometro 10, al di sopra del livello di regime naturale

ordinate le corrispondenti diminuzioni della portata. I cerchietti rappresentano i valori misurati.

Si vede che, con tutte le aperture sperimentate, la portata erogata dal lago diminuiva in misura apprezzabile, al crescere dell'altezza all'idrometro 10, a valle della traversa; la diminuzione si intensificava più che in proporzione dell'aumento di altezza, e risultava tanto più sensibile quanto maggiore era l'apertura.

Nella tabella seguente sono riportati i valori misurati sperimentalmente, che hanno servito per il tracciamento delle tre curve della figura: le diminuzioni di portata vi sono date sia in mc/sec, che in valori percentuali.

| Apertura della traversa m 40 | | | Apertura della traversa m 60 | | | Apertura della traversa m 100 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sopraelevamento all'idrometro 10 (cm) | Diminuzione di portata | | Sopraelevamento all'idrometro 10 (cm) | Diminuzione di portata | | Sopraelevamento all'idrometro 10 (cm) | Diminuzione di portata | |
| | $m^3$/sec | % | | $m^3$/sec | % | | $m^3$/sec | % |
| 26,2 | 5,3 | 1,9 | 28,4 | 15,8 | 5,7 | 9,4 | 10,3 | 3,7 |
| 59,4 | 14,3 | 5,2 | 36,2 | 18,8 | 6,8 | 17,4 | 16,3 | 5,9 |
| 84,4 | 29,1 | 10,5 | 59,0 | 33,3 | 12,0 | 34,4 | 32,8 | 11,8 |
| — | — | — | 77,4 | 51,2 | 18,4 | 38,4 | 36,0 | 13,0 |

Se ne desume, fra altro, che qualora il livello all'idrometro 10 venisse elevato di soli 50 cm, da quota 192,03 a quota 192,53, la erogazione di 278 mc/sec si ridurrebbe del 4%, con la diga abbattuta per 40 m (m=0,2): del 10% con la diga abbattuta per 60 m (m=0,333) e del 20% con m=0,5.
È superfluo notare l'importanza di queste variazioni.
Notiamo poi che le constatazioni ora compiute non perdono nulla del proprio significato, per il fatto che sono state compiute sull'alveo nella situazione E 2 e circoscritte alla sola portata di 278 mc/sec; è fuori di dubbio, infatti, che anche per la situazione C 4 e per portate minori il deflusso attraverso la diga mobile sarà influenzato dai livelli di valle.

# RIASSUNTO E CONCLUSIONI

Portata a termine la esposizione delle diverse fasi della laboriosa indagine sperimentale compiuta, giova riassumere in rapido scorcio le varie tappe di essa, per mettere in evidenza le conclusioni che ne derivano.
L'indagine si è aperta con l'allestimento del modello del tronco di fiume oggetto dell'esame, e con le numerose minute prove attraverso le quali si pervenne a renderlo idraulicamente paragonabile all'originale. La scabrezza del modello venne a tal fine progressivamente modificata, fino a che i profili liquidi da esso forniti risultarono assimilabili con quelli rilevati per le portate omologhe nel fiume. Il documento più significativo della raggiunta paragonabilità fra modello e fiume è costituito dalla scala delle portate all'idrometro di Sesto; nel campo delle portate che presenta più diretto interesse ai fini della ricerca, vogliamo dire tra 100 e 400 mc/sec, la scala sperimentale viene (vedi fig. 14) praticamente a sovrapporsi a quelle stabilite per il fiume.
Perfezionato lo strumento sperimentale, si è intrapreso il sistematico riconoscimento degli effetti idraulici dei vari provvedimenti (spianamento e correzione della soglia naturale della Miorina, apertura della savenella navigabile, sbancamento del dosso dei Murazzi, eliminazione delle pescaie) previsti o comunque necessari per la attuazione del piano della regolazione lacuale, presentemente in corso di esecuzione. Nei limiti del possibile tali provvedimenti vennero esaminati sia singolarmente, sia cumulativamente.

Si cominciò col riprodurre nel modello la correzione alla soglia della Miorina, e cioè l'allargamento a 200 metri in corrispondenza della platea di appoggio della

diga abbattibile, situata alla quota 191,20, e lo spianamento del tratto di alveo immediatamente susseguente sopra una larghezza di 150 m e con la inclinazione dello 0,5 per mille. Contemporaneamente venivano asportate le varie pescaie, ai Murazzi e a C. Presualdo, e veniva aperta la savenella di accesso alla conca in costruzione in sponda sinistra del fiume, a fianco della diga mobile. Veniva invece lasciato immutato il dosso dei Murazzi, salvo la parte interessata dalla savenella: e ciò perchè, se i provvedimenti esaminati fossero risultati sufficienti, da soli, a conferire al tronco fluviale la necessaria capacità di deflusso, non sarebbe evidentemente stato più il caso di procedere ad alcun altro lavoro di sbancamento o di correzione a monte della soglia della Miorina.
Il volume di materiale rimosso per l'apertura della savenella col tracciato assegnatole ammonta a circa 185 mila metri cubi.
Sottoposti a prova questi provvedimenti, si è constatato quanto segue:

*a*) nel loro insieme i provvedimenti esaminati non basterebbero a conseguire il completo adempimento delle condizioni poste a base della regolazione. In ispecie, col lago alla quota di massimo svaso (192,50 a Sesto), essi consentirebbero di elevare il valore della portata fluviale, a diga totalmente aperta, a 160 mc/sec soltanto, mentre a norma del piano la portata erogabile in queste condizioni dovrebbe ammontare almeno a 200 mc/sec;

*b*) la corrente fluviale, incanalandosi nella savenella, vi assumerebbe in lunghi tratti, specialmente negli stati lacuali più depressi, delle velocità assai elevate, giudicate incompatibili con il regolare esercizio della navigazione, e con la stessa conservazione dello scavo.

Di fronte a queste constatazioni, non restava che procedere a una seconda serie di prove, rivolte a stabilire sul modello la entità degli scavi da compiere al dosso dei Murazzi al fine di porre l'alveo fluviale in condizione di erogare la portata di 200 mc/sec dal lago totalmente svasato.
Sarà opportuno notare che la portata ora detta, di 200 mc/sec, non è la massima che dovrà essere derivata nei periodi di consegna utile; nel piano si prevede di arrivare con le erogazioni medie estive fino a 230, e anche forse a 240 mc/sec. A valori alquanto superiori saliranno quindi necessariamente le erogazioni massime momentanee, le quali potranno presumibilmente spingersi fino

a 275–300 mc/sec. È evidente, però, che consegne così elevate non saranno mai da effettuare con i livelli lacuali più depressi: le erogazioni dovranno, bensì, essere progressivamente diminuite all'abbassarsi del livello lacuale verso la situazione di massimo svaso, evitando in ogni modo di arrivare, salvo in congiunture affatto eccezionali, al completo esaurimento della riserva accumulata: chè, se il massimo svaso dovesse essere raggiunto, le erogazioni dovrebbero ridursi a valori minimi, pari a quelli dei contemporanei afflussi al lago.
Per questo motivo, nella indagine diretta a stabilire la entità dei lavori di escavo da compiere lungo l'alveo fluviale, si è assunta come portata base quella di 200 mc/sec soltanto; e ciò si è fatto con tanto maggiore tranquillità, in quanto la capacità di deflusso subirà successivamente un incremento non trascurabile, quando verrà aperta la savenella di navigazione.
La nuova serie di prove (serie C) fu cominciata con l'alveo riportato alle condizioni iniziali: ossia dopo aver riempita la savenella. Non furono, invece, ricostituite le pescaie che sono comunque destinate ad essere abolite. Vennero quindi eseguiti sbancamenti progressivi ai Murazzi, cominciando dal portare il fondo alla quota di 191,00 sulla larghezza di 100 metri e procedendo poi a successivi approfondimenti e allargamenti fino a raggiungere la quota di 190,60 e la larghezza di 150 metri.
I rilievi compiuti hanno dimostrato quanto segue:

*a*) se, spianato ed allargato l'alveo alla soglia della Miorina, il dosso dei Murazzi non venisse toccato, nè si facessero altri lavori di correzione a monte della soglia, le erogazioni dal lago negli stati più depressi verrebbero ad essere regolate prevalentemente dal dosso. Si è riscontrato, infatti, che in queste condizioni al termine del dosso si forma una rapida secondaria; la presenza di questa impedisce alle eventuali ulteriori modificazioni che venissero praticate alla Miorina di esercitare una sensibile influenza sulla capacità di deflusso dell'incile fluviale. Ne risultano inoltre molto attenuate le ripercussioni della apertura del canale sussidiario e della conca sul valore della portata erogata.
Pertanto, l'aumento della capacità di deflusso nelle condizioni di forte svaso non può ottenersi se non a mezzo di un adeguato sbancamento del dosso;

*b*) lo sbancamento fino alla quota 191,00 sopra la larghezza di soli 100 metri migliora la capacità di deflusso del fiume in misura notevole, ma inferiore

a quella prevista per la attuazione del piano di regolazione;

*c*) la erogazione della portata di 200 mc/sec diventa possibile anche col lago depresso alla minima quota di 192,50 m, se il piano di escavo ai Murazzi viene portato a m 190,60 e la larghezza dello sbancamento viene elevata a 150 metri. Il volume del materiale che in tal caso occorrerebbe rimuovere ammonta a circa 94 mila metri cubi.

Nel loro insieme le prove della serie C hanno confermata la previsione, fatta nel piano di massima e poi ripetutamente richiamata a voce dal Sen. Fantoli prima e durante la preparazione del modello, che con ritocchi, se non del tutto trascurabili, però sempre modesti di fronte al complesso delle opere richieste per la regolazione del lago, e più che modesti in rapporto alla spesa inerente, sarà possibile conferire al primo tronco del Ticino la attitudine ad erogare la portata di 200 mc/sec con qualunque stato del lago. Per ottenere tale risultato basterà asportare un volume di materie pari alla metà appena di quello che occorrerebbe scavare per aprire la savenella di accesso alla conca. Dato ciò, e considerata la insufficienza idraulica di questa savenella, non può sussistere dubbio sulla opportunità di limitare per ora i lavori di correzione d'alveo tra Sesto e la Miorina allo sbancamento del dosso nella misura indicata. Allo scavo della savenella sarà il caso di pensare soltanto in prosieguo di tempo, quando sarà stata iniziata la costruzione della grande via di navigazione Milano–Lago Maggiore.

Le prove della serie B e C sono state condotte con la traversa completamente abbattuta e, in gran parte, con il canale sussidiario e la conca entrambi chiusi. È fuori di dubbio che, mettendo questa o quello in funzione, la capacità di deflusso risentirebbe un certo incremento, più sensibile per il canale che per la conca, e proporzionalmente maggiore per gli stati lacuali più depressi. La entità dello sbancamento da eseguire ai Murazzi potrebbe, quindi, essere contenuta entro limiti un poco più ristretti, se si potesse far assegnamento sul contributo delle due opere.

Però, la diminuzione conseguibile per tal via nel volume da asportare ai Murazzi è sempre molto modesta: dell'ordine – presumibilmente – di una decina di centimetri, per ciò che riguarda la quota del piano di base dello sbancamento, e dell'ordine di 10 a 15.000 metri cubi per ciò che riguarda il volume da rimuo-

vere in meno. Minima risulterebbe, quindi, la diminuzione della spesa di escavo, e pressochè trascurabile di fronte ai costi del canale sussidiario e della conca. La necessità di quest'ultima, come parte integrante della grande via Milano–Lago Maggiore è fuori di discussione.

Quanto al canale sussidiario, se la questione della sua costruzione si dovesse considerare soltanto dal punto di vista dell'incremento che esso sarà in grado di recare alla capacità di deflusso del Ticino sublacuale, non potrebbe sussistere dubbio circa la convenienza di sbancare un decimetro di più al dosso dei Murazzi, e di procedere eventualmente ad altre modeste correzioni d'alveo a monte della Miorina, piuttosto che affrontare la costruzione di un'opera costosa, come sarebbe il canale, e che presenta, per di più, difficoltà costruttive non lievi. Sta il fatto, però, che la funzione del canale sussidiario, come essa è stata fissata nel piano di massima, non sarebbe soltanto quella di recare un opportuno incremento alla capacità di deflusso dell'incile fluviale; esso dovrebbe, bensì, servire anche ad agevolare quella minuta ed esatta graduazione delle portate da erogare, che è il presupposto necessario di un regolare e tranquillo esercizio della regolazione del lago.

Poter disporre di un canale laterale, la cui alimentazione fosse regolabile con facilità e precisione a mezzo di una unica paratoia iniziale, e le cui erogazioni fossero suscettibili in ogni momento di una esatta ed univoca valutazione, rivestirebbe una utilità innegabile e veramente cospicua. Perchè, il Consorzio che avrà il delicato compito di provvedere alla amministrazione della imponente riserva liquida accumulata nel lago dovrà essere in grado di erogare, nei periodi di trattenuta attiva, delle portate esattamente conosciute e di facile controllo, non diremo fino al metro cubo, ma con tutta la precisione che si può ed è ammissibile pretendere in siffatte valutazioni.

Ma alla detta funzione il canale sussidiario potrebbe effettivamente corrispondere soltanto fino a che esso fosse in grado di scaricare, da solo, la portata di consegna utile, ed alla condizione che il funzionamento idraulico di esso risultasse del tutto autonomo, cioè sottratto ad ogni azione di rigurgito da parte del fiume, allo sbocco, di modo che la portata derivata dal lago dipendesse unicamente dalla apertura della paratoia di alimentazione e dal livello del pelo libero a monte dell'imbocco (all'idrometro 9). Solo in condizioni siffatte le portate im-

messe nel fiume potrebbero essere stabilite con procedimento di facile e attendibile applicazione; in caso contrario, la valutazione delle portate stesse andrebbe soggetta ad incertezze analoghe a quelle che presenterà il controllo di quelle defluenti attraverso la diga.

Sulla base di calcoli compiuti in altra occasione sullo stesso problema, ma con riferimento ad un condotto largo dieci metri soltanto invece di dodici (vedi la relazione già ricordata, allegata al voto emesso dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nella Assemblea Generale del luglio 1933), ci è stato facile riconoscere che per le portate di consegna utile il funzionamento del canale a paratoia iniziale completamente aperta riuscirebbe in effetto autonomo, qualora la ritenuta a Porto della Torre fosse mantenuta alla quota 191,35 fissata nel piano di massima; ma tale non si conserverebbe più, qualora la ritenuta medesima venisse elevata oltre certi limiti che dipendono dalla portata del canale. Ad esempio, con livello all'idrometro 10 dell'ordine di 192,40, l'efflusso risulterebbe autonomo per portare superiori a 140 mc/sec, le quali comporterebbero, a Sesto, una quota liquida superiore a 193; per portate minori l'autonomia sussisterebbe soltanto con livelli inferiori e tanto più bassi quanto più piccola fosse la portata.

Se, quindi, il deflusso fluviale ammontasse a 278 mc/sec e alla Miorina si suddividesse in parti uguali tra alveo e condotto laterale, il funzionamento di questo risulterebbe autonomo quando all'idrometro 10 la quota liquida avesse il valore 192,03 spettante al deflusso naturale della detta portata; ne basterebbe però un sopraelevamento di pochissimi decimetri perchè il moto venisse a trovarsi influenzato da valle.

Questi numeri stanno a dire che la funzione del condotto laterale verrebbe ad essere modificata rispetto alle previsioni, e sostanzialmente diminuita ne risulterebbe l'utilità, nel caso che fossero ammessi dei sopraelevamenti per la ritenuta a Porto della Torre, i quali avessero apprezzabili ripercussioni all'idrometro 10. Per contro sta il fatto che, con lo spianamento del dosso dei Murazzi fino a quota 190,60, lo sbocco lacuale verrà posto in grado di smaltire i 200 mc/sec senza il sussidio del condotto laterale, e che nel periodo di avviamento assumerà una importanza relativamente minore il problema della esatta graduazione delle portate derivate dal lago; e perciò l'esercizio della regolazione potrà essere con-

dotto anche in mancanza del canale laterale.
In un secondo tempo, appoggiandosi alle constatazioni fornite dall'esercizio dell'opera di regolazione, sarà possibile esaminare su basi più sicure il problema del condotto sussidiario.

Fissate con le prove della serie C le dimensioni dello sbancamento da effettuare al dosso dei Murazzi per conferire allo sbocco lacuale la prevista e necessaria capacità di deflusso, le determinazioni compiute successivamente assumono nel quadro d'insieme dell'indagine condotta un carattere sostanzialmente complementare, in quanto hanno servito a conoscere caratteristiche e possibilità di una situazione oramai definita.
Esse, in effetto, si raccolgono in due gruppi distinti: determinazioni rivolte a stabilire gli ulteriori incrementi che apporterebbero alla capacità di deflusso del Ticino sublacuale l'apertura della savenella per la via navigabile e della conca e il funzionamento autonomo del condotto laterale; determinazioni dirette a riconoscere il funzionamento della traversa in condizioni di apertura parziale, e la indipendenza dell'opera di regolazione dalle condizioni di deflusso nel tronco fluviale susseguente.
Le determinazioni del primo gruppo hanno valso a completare la conoscenza dell'opera, ma non rivestono in fondo un interesse immediato, se non per la parte riguardante il possibile contributo della conca in costruzione alla capacità di deflusso dell'incile fluviale. Tale contributo si è rivelato modesto, del solo 6 per cento per una conca di 10 metri di larghezza.
Più attuale e sostanziale è invece l'interesse delle determinazioni del secondo gruppo, perchè lo stato di apertura parziale sarà lo stato normale della diga mobile nei periodi di consegna utile, durante i quali si faranno sentire i benefici della regolazione. Appunto per i periodi medesimi occorreva riconoscere il pieno rispetto del primo dei « concetti capitali » che hanno informata « la soluzione fissata del problema idraulico » e cioè quello che la funzione di regolazione del lago sia « distinta dalla funzione di sfruttamento industriale del primo tronco del fiume ». Tale distinzione presuppone, ovviamente, per usare le stesse parole del Sen. Fantoli, « che lo sbarramento di Porto della Torre non abbia nè possa mai avere influenza veruna sulla *piena libera* efficienza dello

sbocco lacuale e sulla inerente formazione e misura del deflusso ».

Le determinazioni hanno compreso due serie di prove: nella prima serie si sono riprodotte a valle della traversa le condizioni di deflusso attualmente vigenti, e sono state riconosciute le modalità di funzionamento della traversa nella attuale situazione dell'alveo; nella serie successiva furono stabilite all'idrometro 10 delle quote liquide maggiori di quelle spettanti al regime naturale e ne sono state stabilite le ripercussioni sui livelli a monte della traversa e sulle portate.

In ambedue le serie le aperture parziali vennero realizzate nel modo più semplice, supponendo di abbattere interamente le paratoie contigue di un tratto centrale della diga mobile. Non si è ritenuto di estendere l'esame sperimentale ad altre modalità di apertura, sia in vista del grandissimo numero delle disposizioni realizzabili con le 120 paratoie che formeranno la diga mobile, sia perchè in un primo non breve periodo di esercizio converrà certo dare la preferenza alle manovre più semplici e di caratteristiche più definite, come sono appunto quelle da noi esaminate. Per lo stesso motivo non si è creduto necessario di sottoporre a prova, almeno per ora, il caso che le paratoie, anzichè essere abbattute per intero, fossero fissate in una posizione inclinata intermedia, e tracimate dalla corrente lungo il bordo superiore.

La prima serie delle prove (denominata serie D nel testo) è stata condotta per le portate da 141 a 278 mc/sec e si è conclusa con il tracciamento di alcuni abachi i quali definiscono compiutamente il funzionamento della diga mobile per tutte le condizioni realizzabili nel regime regolato; cioè per tutti i livelli a Sesto compresi fra le quote 192,50 di massimo svaso e 194,00 di massimo invaso, e per tutti i gradi di apertura della diga, da zero ad uno. Questi abachi, ripetiamo, valgono nella ipotesi che a valle della traversa siano lasciate inalterate le attuali, naturali condizioni di deflusso; essi potrebbero servire come prima base di orientamento per avviare l'esercizio dell'opera, se all'atto esecutivo verranno conservate le caratteristiche costruttive del progetto, al quale è stata uniformata la preparazione del modello, e se sbancamenti e rettifiche d'alveo da Sesto fino a valle della soglia della Miorina verranno attuati in conformità di quelli eseguiti nel modello per ridurlo alla situazione C 4.

Le prove della seconda serie, relative al funzionamento della traversa mobile (numero 3 della Parte V della relazione), sono state parimenti limitate alle por-

tate di consegna utile, fino a quella di 278 mc/sec che difficilmente sarà superata in regime di trattenuta attiva, e sono state condotte in parte a portata costante, mentre si lasciava variare il livello lacuale, in parte a livello lacuale costante, mentre si faceva convenientemente variare la portata immessa nel fiume. Con queste ultime si è arrivati a stabilire la entità delle variazioni che potrebbe subire la portata effluente attraverso la diga in dipendenza di variazioni del livello fluviale di valle, all'idrometro 10.

Il risultato più importante di questa serie ultima di prove, con la quale si è conclusa la nostra indagine, sta nella chiara, indiscutibile constatazione di una marcata influenza dei livelli di valle sulla portata erogata dalla traversa, qualunque ne sia il grado di apertura. Escursioni del livello all'idrometro 10 dell'ordine di cinquanta centimetri basterebbero a far variare la portata in misura variabile fra il 5% e il 20%, per gradi di apertura compresi fra il 20% e il 50% (paratoia aperta per metà).

È evidente che, se l'esercizio dello sbarramento di Porto della Torre non venisse convenientemente disciplinato, esso con ogni facilità potrebbe provocare nella sezione dell'idrometro 10 delle escursioni assai più rilevanti di quelle ora considerate; i valori numerici riportati vengono a dire che in tal caso lo sbarramento eserciterebbe una influenza notevole, e sotto qualche riguardo decisiva sul funzionamento dello sbocco lacuale.

L'apertura parziale di una delle grandi paratoie dello sbarramento o anche la semplice messa in funzione di una turbina basterebbero a determinare un aumento non trascurabile della portata erogata dal lago attraverso la diga mobile, senza che venisse comunque modificata la apertura di questa.

È quasi superfluo notare che un simile stato di cose non appare conciliabile col ricordato « concetto capitale » del piano della regolazione, « che la funzione regolatrice del lago sia distinta e indipendente da quella dello sfruttamento industriale del primo tronco del fiume ».

Non è questa la sede opportuna per esaminare se convenga rimettere tale concetto in discussione. Qui ci basterà accennare come dovrebbesi disciplinare l'esercizio dello sbarramento di Porto della Torre per ottenere che il concetto stesso risultasse rispettato, in quanto le esperienze compiute sono atte a fornire a questo proposito qualche precisa direttiva.

Essendosi, infatti, riconosciuto che ogni incremento del livello all'idrometro 10 al di sopra del valore spettante al regime naturale si traduce in una diminuzione della portata erogata dalla traversa – qualunque ne sia il grado di apertura – è chiaro che la influenza dello sbarramento di Porto della Torre sull'opera di regolazione risulterebbe esclusa qualora la ritenuta venisse convenientemente limitata, col criterio che il rigurgito relativo non fosse comunque apprezzabile a monte della sezione dell'idrometro 10. In tale sezione, cioè, il pelo liquido non dovrebbe oltrepassare le quote spettanti, per ogni portata, alle condizioni attuali, naturali del deflusso, quali le definisce la scala, rappresentata nella figura 21.
Ma la direttiva di massima ora affermata richiede la ulteriore precisazione seguente. Nei periodi di consegna utile estiva la portata da erogare dovrà poter essere in qualunque momento variata, fra il massimo valore che, come dicemmo dianzi, nella stagione irrigua estiva sarà presumibilmente compreso tra 275 e 300 mc/sec, e un minimo, la cui entità è certo suscettibile di notevoli variazioni, ma che in massima non dovrebbe essere superiore, riteniamo, alla metà del massimo. A questo massimo compete, a norma della scala ora richiamata, la quota di 192,00 circa all'idrometro 10; al minimo, supposto pari alla metà del massimo, cioè a circa 150 mc/sec, compete quella di 191,55.
Affinchè alla traversa risultasse assicurata la piena libertà di svolgere la funzione moderatrice delle erogazioni in tutto il campo di escursione di queste durante la stagione irrigua, la ritenuta a Porto della Torre dovrebbe essere stabilita in modo che il deflusso attraverso la sezione dell'idrometro 10 non risultasse influenzato da valle per alcuna delle portate comprese fra 150 e 300 mc/sec. Tenute presenti le quote indicate sopra, è chiaro che questa condizione porterebbe ad escludere ogni apprezzabile incremento della ritenuta al di sopra del valore fissato, nel piano di massima, alla quota 191,35.

Ultimata la esposizione delle conclusioni, sarà opportuna, prima di finire, qualche ultima breve considerazione circa l'attendibilità e il grado di esattezza che possono essere loro attribuiti.
L'attendibilità, non esitiamo ad affermarlo, ci sembra fuori di discussione: vogliamo dire che, attese le scale del modello e i procedimenti seguiti nelle varie

determinazioni, è fuori di dubbio che nei riguardi qualitativi i fatti osservati sul modello costituiscano uno specchio fedele dei fenomeni che si verificheranno nel fiume, con la sola condizione che opere e lavori eseguiti nel fiume abbiano, a loro volta, a rispecchiare fedelmente le modificazioni apportate nel modello alla configurazione iniziale dell'alveo.

In particolare, è certo che anche nel fiume si verificherebbe quella netta dipendenza della portata erogata attraverso la diga mobile dai livelli di valle, che il modello ha rivelato.

Meno definito può essere il giudizio sul grado di esattezza. Se dipendesse unicamente dalla precisione delle misure di portata e delle letture idrometriche, tale grado di esattezza sarebbe per certo elevato, ed esuberante ai fini pratici, giacchè l'approssimazione era circa del 2% per le portate, e per le letture idrometriche dell'ordine di 0,2 mm, che, riportati al fiume, corrispondono a 4 mm soltanto. Ma la precisione dei risultati dipende soprattutto dalla esatta corrispondenza tra modello e fiume nei rapporti della scabrezza. Non a caso, nella Parte I della relazione, abbiamo fatta una esposizione che potrebbe apparire eccessivamente diffusa e minuta, dei numerosi tentativi attraverso i quali arrivammo a conferire all'alveo sperimentale una sufficiente paragonabilità coll'alveo fluviale. Ciononpertanto non ci riuscì di ridurre tutti gli scostamenti fra i profili del modello e quelli del fiume al di sotto dei 5 cm, pur badando che entro limiti alquanto minori fossero contenuti gli scostamenti fra i livelli all'idrometro di Sesto, che di tutti è il più significativo nei riguardi del problema.

Noi riteniamo, in ogni modo, che una approssimazione di $\pm 5$ cm sia lecito attribuire in linea di massima ai valori delle quote liquide fluviali dedotte da quelle osservate sul modello. Tale approssimazione, notiamo, è certamente sufficiente ai fini della pratica applicazione delle conclusioni, non solo perchè incertezze di 5 cm non avrebbero pratica importanza, ma anche perchè le stesse condizioni idrometriche del fiume vanno soggette col tempo a variazioni di analogo ordine, in conseguenza di modificazioni, in parte temporanee, in parte progressive, dell'alveo.

Sta, poi, il fatto che all'infuori delle esperienze su modello non esiste altro modo di pervenire a una determinazione attendibile degli effetti ricavabili da sbancamenti e correzioni, come quelli da compiere nell'alveo del primo tronco

del Ticino sublacuale, per conferirgli la prevista capacità di deflusso.
Insufficiente, e più apparente che reale, sarebbe il sussidio delle eventuali indagini analitiche. Se, infatti, dal punto di vista concettuale non presenta difficoltà la istituzione della equazione che regge il moto nell'alveo fluviale, non risulterebbe praticamente possibile associare dei numeri abbastanza attendibili ai vari termini della equazione stessa. In particolare, nelle espressioni consuete, le cosiddette perdite di carico continue vengono fatte dipendere da due sole grandezze geometriche, il raggio medio e la sezione bagnata. Ma questi due elementi sono già inadeguati quando la sezione presenta forma complessa e irregolare, pur essendo cilindrico l'alveo: e diventano di valutazione estremamente incerta quando la sezione va soggetta a notevoli e continue variazioni lungo il percorso, come accade sempre nei corsi naturali. Tanto più incerta riesce, poi, ogni valutazione degli effetti di ritocchi o di sbancamenti parziali, limitati a tronchi determinati.
Solo la diretta osservazione dei fatti poteva, inoltre, fornire indicazioni fondate circa la influenza dei livelli di valle sulle portate effluenti dalla traversa, perchè al riguardo il sussidio analitico fa totale difetto. E qui appunto le constatazioni sperimentali sono risultate in contrasto con le precedenti previsioni.
Nell'insieme ci sembra che con i risultati forniti, l'indagine sul modello venga a costituire una nuova conferma, non solo della utilità del metodo, ma della insostituibilità di esso in campi siffatti dell'idraulica fluviale.

Infine, un breve doveroso richiamo alle persone che hanno collaborato alla presente ricerca.
Essa, come dicemmo al principio, fu promossa dal compianto Sen. Fantoli, e fu iniziata sotto i suoi autorevoli auspici. A Lui non fu consentito di vedere in funzione il modello, del quale pure aveva un poco seguita la costruzione.
All'allestimento del modello ed agli studi preliminari inerenti hanno atteso gli assistenti ingegneri Citrini, Gentilini e Marchetti. All'ing. Duilio Citrini si debbono la maggior parte delle osservazioni e un diretto, prezioso contributo alla redazione della presente relazione.

GIULIO DE MARCHI

Milano, 30 ottobre 1940–XIX

# TAVOLE

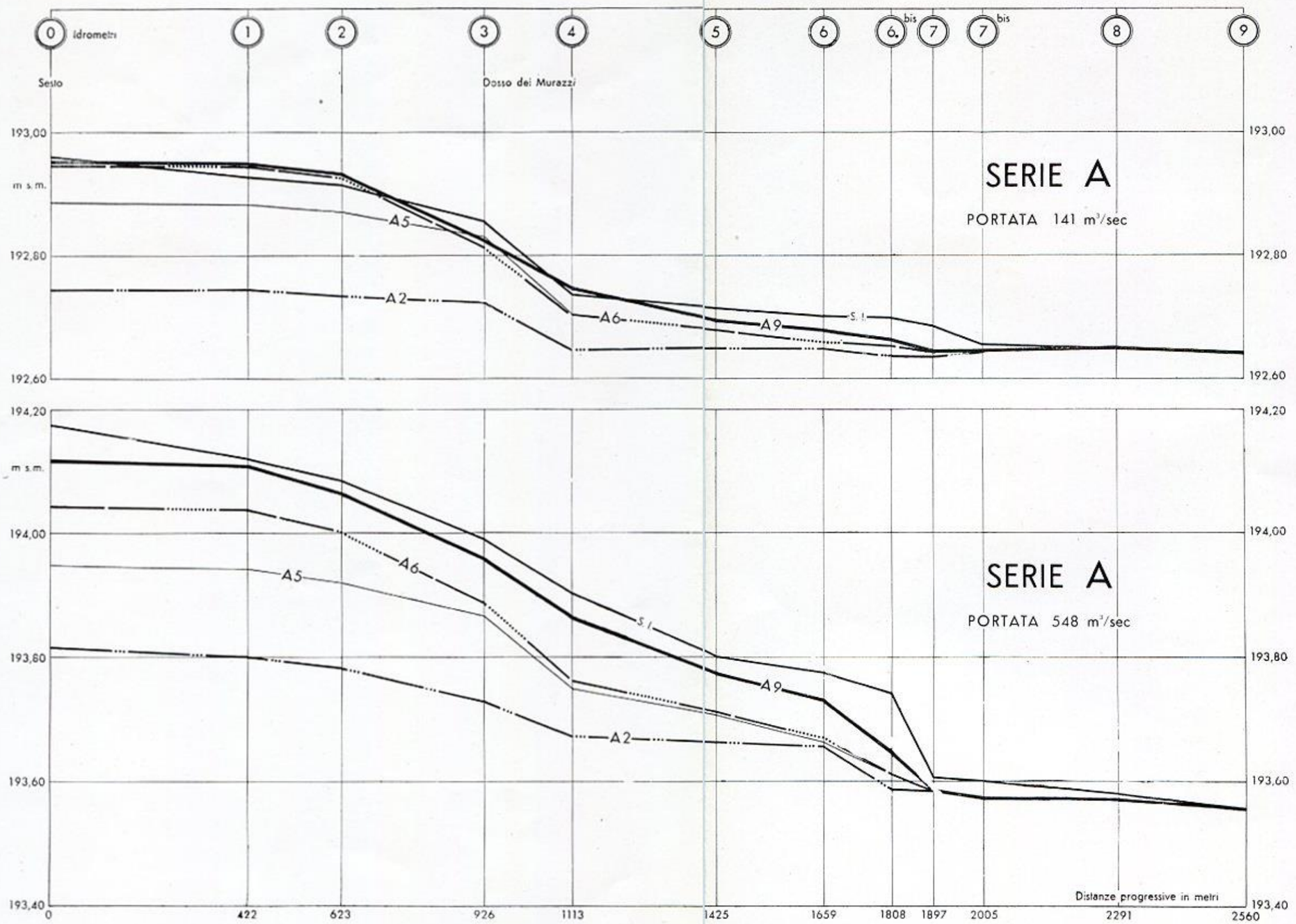



TAVOLA I. Profili longitudinali rilevati per le seguenti situazioni: **A 2.** Costruite le pescaie; fondo con intonaco lisciato, sassolini rotondi a distanza di 15 cm, diametro 2 cm, per il tronco fra gli idrometri 3 e 7 bis. **A 5.** Scabrezza ottenuta con frantumi di mattoni forati per il tronco fra gli idrometri 3 e 6. **A 6.** Estesa la scabrezza di A 5 anche al tronco fra idrometri 2 e 3; intrecciati rami alle pescaie. **A 9.** Sistemazione definitiva; infittiti i frantumi di mattone ed estesi fino all'idrometro 9.

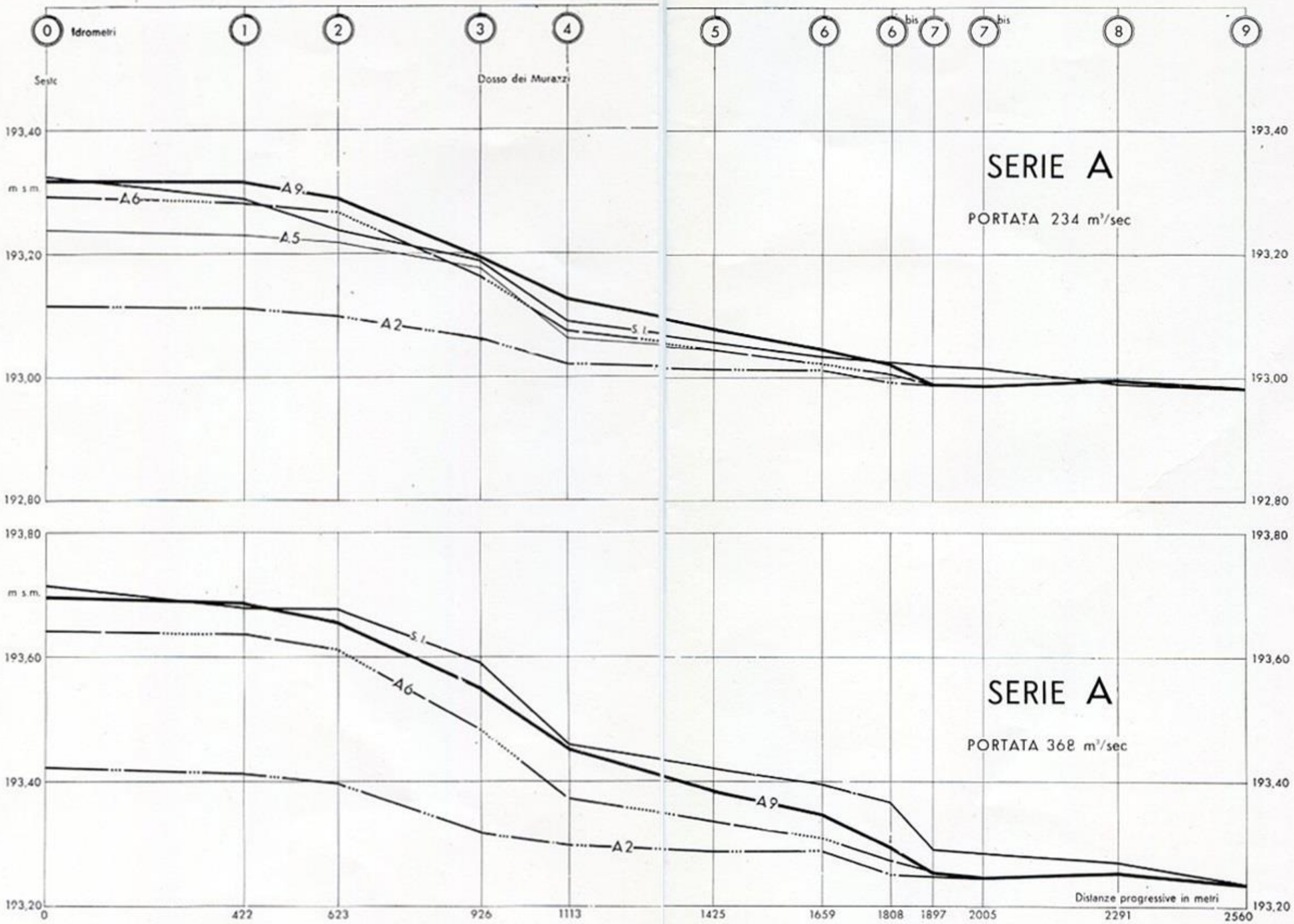



TAVOLA II. Profili longitudinali rilevati per le seguenti situazioni: **A 2.** Costruite le pescaie; fondo con intonaco lisciato, sassolini rotondi a distanza di 15 cm, diametro 2 cm, per il tronco fra gli idrometri 3 e 7 bis. **A 5.** Scabrezza ottenuta con frantumi di mattoni forati per il tronco fra gli idrometri 3 e 6. **A 6.** Estesa la scabrezza di *A 5* anche al tronco fra gli idrometri 2 e 3; intrecciati rami alle pescaie. **A 9.** Sistemazione definitiva; infittiti i frantumi di mattone ed estesi fino all'idrometro 9.

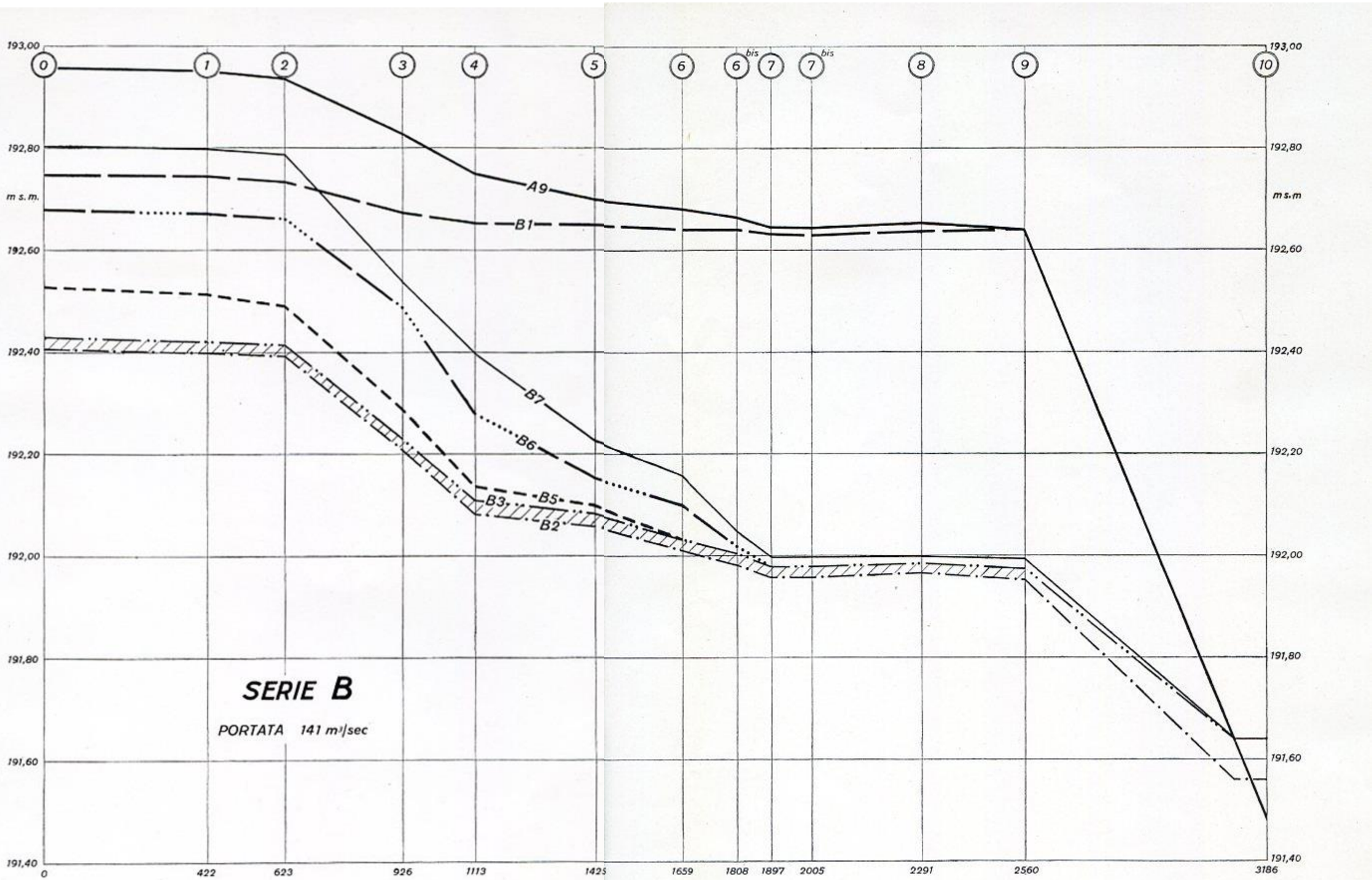



TAVOLA III. Profili rilevati per le situazioni: **A 9.** Sistemazione terminale della serie A. **B 1.** Savenella aperta e pescaie abolite; altezze attuali all'idrometro 9. **B 2.** Sbancamento della soglia della Miorina; altezze all'idrometro 10 secondo l'ipotesi 2. **B 3.** Come sopra; altezze all'idrometro 10 secondo l'ipotesi 1. **B 5.** Ridotta di 1 m la profondità della savenella mediante riempimento di ghiaietto; condizioni idrometriche a valle come in B 3. **B 6.** Ridotta di 2 m la profondità della savenella; condizioni a valle c. s. **B 7.** Riempita completamente la savenella e ricostituito l'alveo (salvo le pescaie) con la sua scabrezza; condizioni a valle c. s.

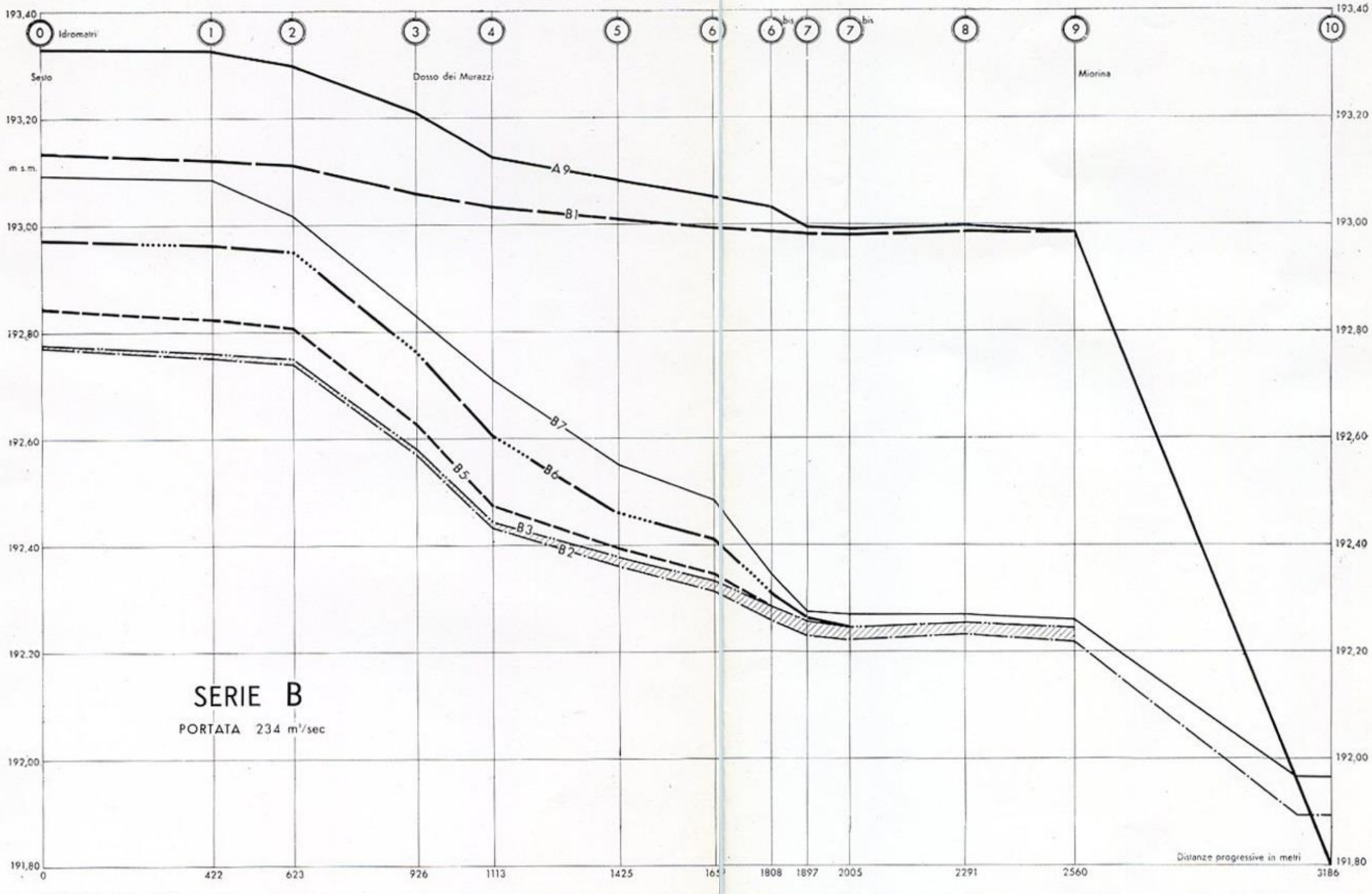



TAVOLA IV. Profili rilevati per le situazioni: **A 9.** Sistemazione terminale della serie A. **B 1.** Savenella aperta e pescaie abolite; altezze attuali all'idrometro 9. **B 2.** Sbancamento della soglia della Miorina; altezze all'idrometro 10 secondo l'ipotesi 2. **B 3.** Come sopra; altezze all'idrometro 10 secondo l'ipotesi 1. **B 5.** Ridotta di 1 m la profondità della savenella mediante riempimento di ghiaietto; condizioni idrometriche a valle come in B 3. **B 6.** Ridotta di 2 m la profondità della savenella; condizioni a valle c. s. **B 7.** Riempita completamente la savenella e ricostituito l'alveo (salvo le pescaie) con la sua scabrezza; condizioni a valle c. s.

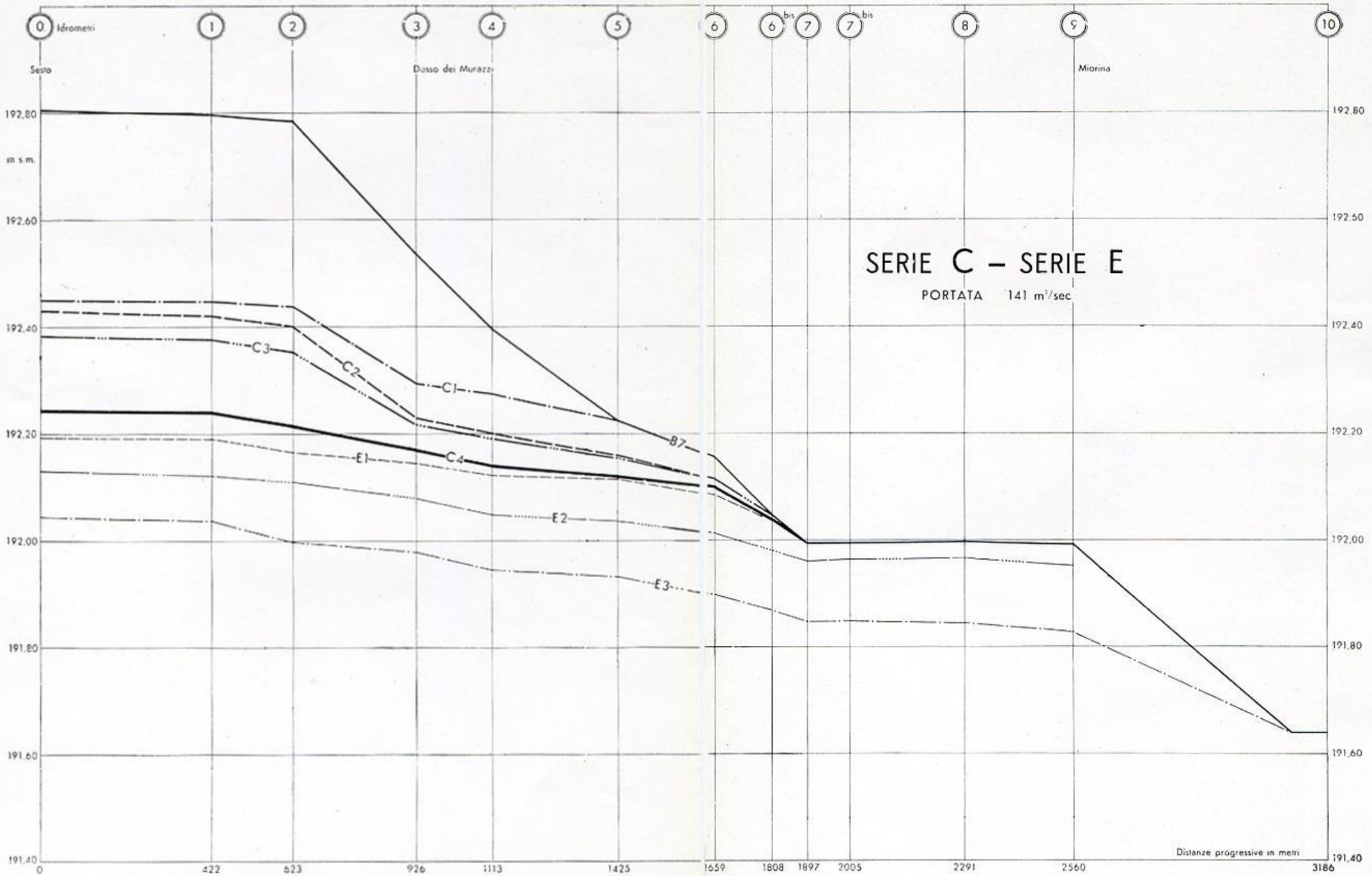



TAVOLA V. Profili rilevati per le seguenti situazioni: **B 7.** Eseguiti i soli lavori alla Miorina. **C 1.** Sbancamento ai Murazzi nella zona segnata in fig. 22 con tratteggio incrociato. **C 2.** Sbancamento esteso anche alla zona a tratteggio semplice di fig. 22. **C 3.** Sbancamento con quota di fondo 190,60 nella zona a tratteggio incrociato di fig. 24. **C 4.** Esteso lo sbancamento anche alla zona a tratteggio semplice di fig. 24. **E 1.** Aperta la savenella nella regione dei Murazzi. **E 2.** Aperta la savenella da Sesto alla Miorina. **E 3.** Come sopra, aperte le porte della conca

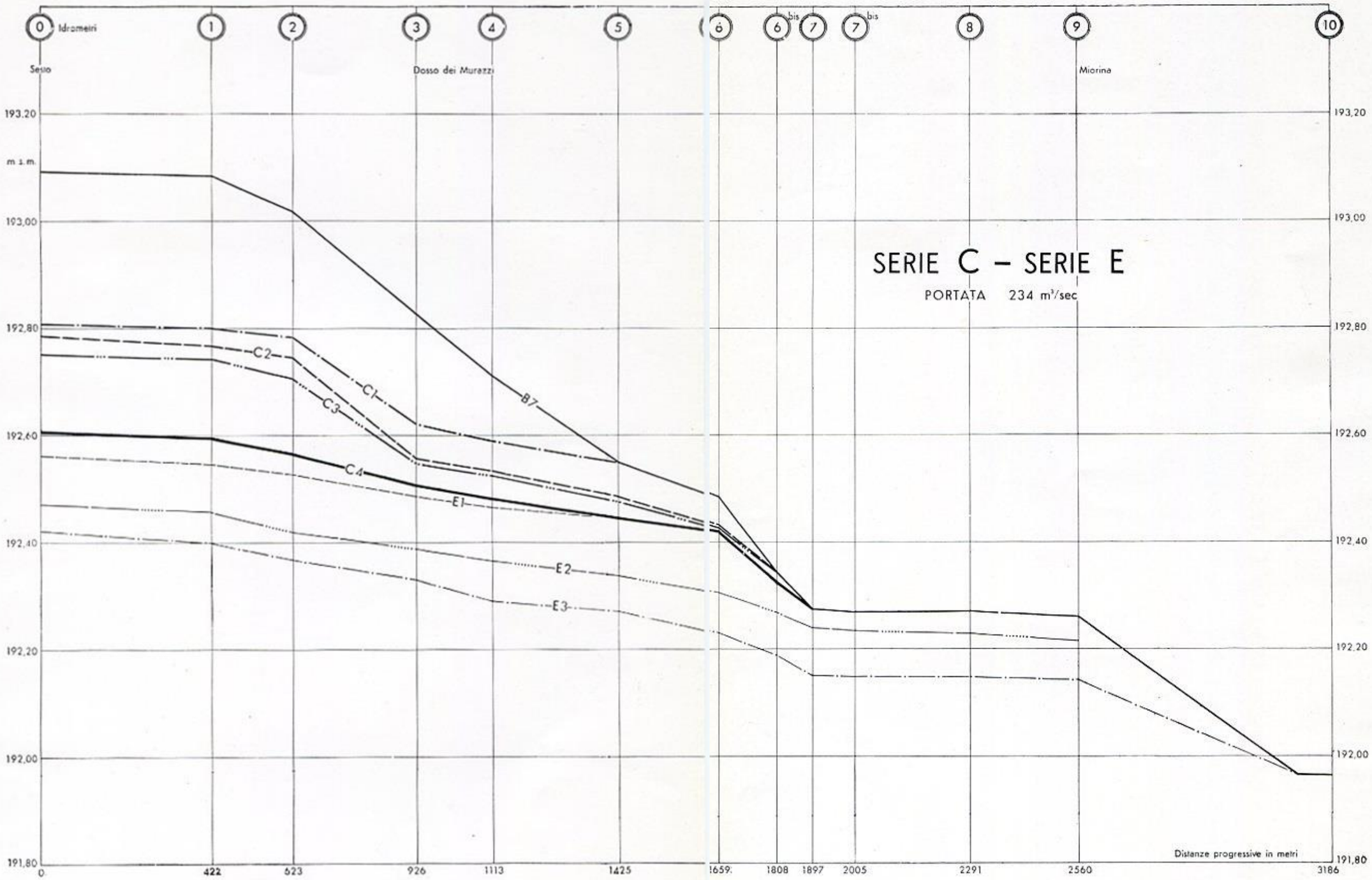



TAVOLA VI. Profili rilevati per le seguenti situazioni: **B 7.** Eseguiti i soli lavori alla Miorina. **C 1.** Sbancamento ai Murazzi nella zona segnata in fig. 22 con tratteggio incrociato. **C 2.** Sbancamento esteso anche alla zona a tratteggio semplice di fig. 21. **C 3.** Sbancamento con quota di fondo 190,60 nella zona a tratteggio incrociato di fig. 24. **C 4.** Esteso lo sbancamento anche alla zona a tratteggio semplice di fig. 24. **E 1.** Aperta la savenella nella regione dei Murazzi. **E 2.** Aperta la savenella nella regione da Sesto alla Miorina. **E 3.** Come sopra, aperte le porte della conca

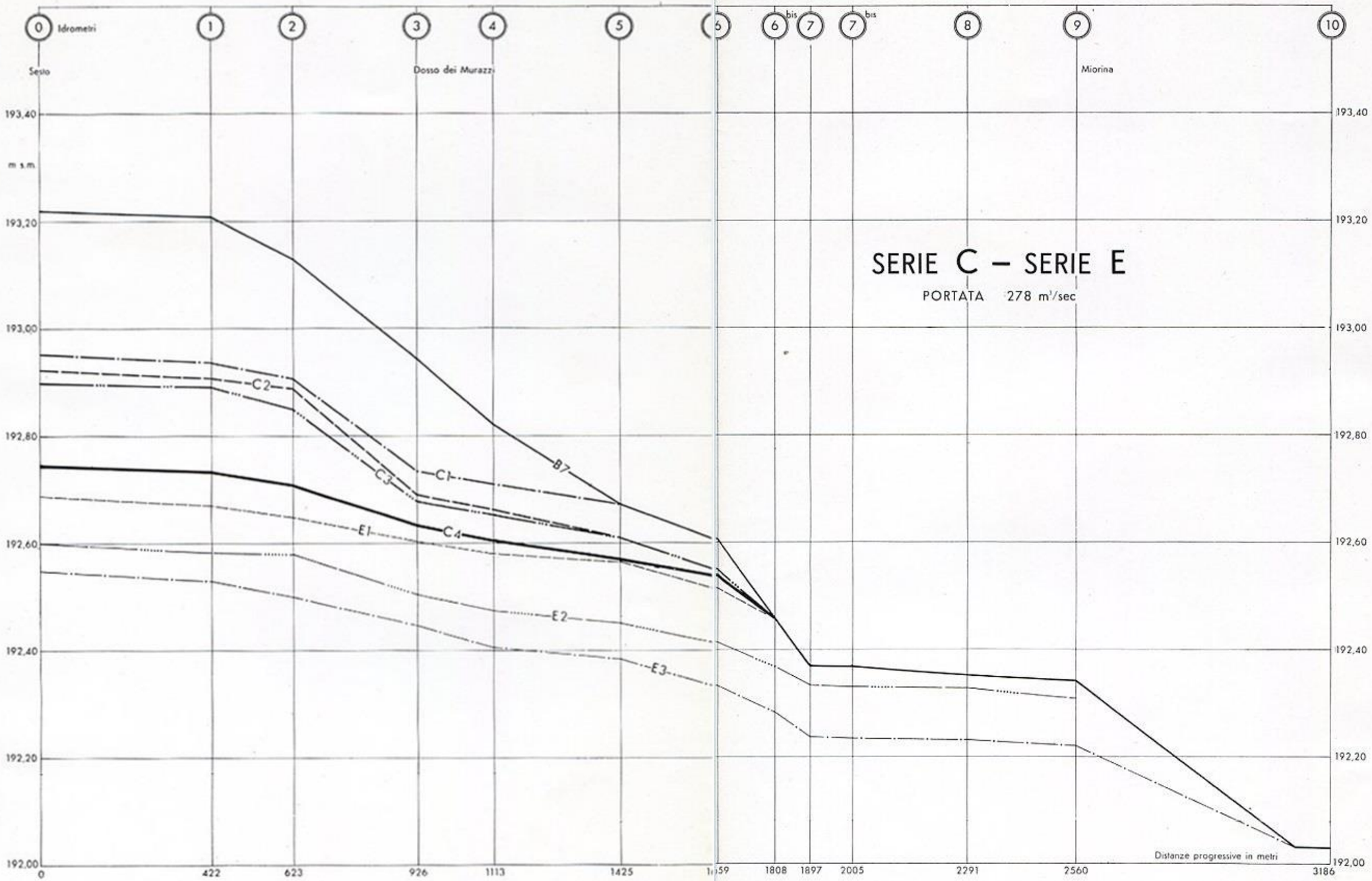



TAVOLA VII. Profili rilevati per le seguenti situazioni: **B 7.** Eseguiti i soli lavori alla Miorina. **C 1.** Sbancamento ai Murazzi nella zona segnata in fig. 22 con tratteggio incrociato. **C 2.** Sbancamento esteso anche alla zona a tratteggio semplice di fig. 22. **C 3.** Sbancamento con quota di fondo 190,60 nella zona a tratteggio incrociato di fig. 24. **C 4.** Esteso lo sbancamento anche alla zona a tratteggio semplice di fig. 24. **E 1.** Aperta la savenella nella regione dei Murazzi. **E 2.** Aperta la savenella da Sesto alla Miorina. **E 3.** Come sopra, aperte le porte della conca

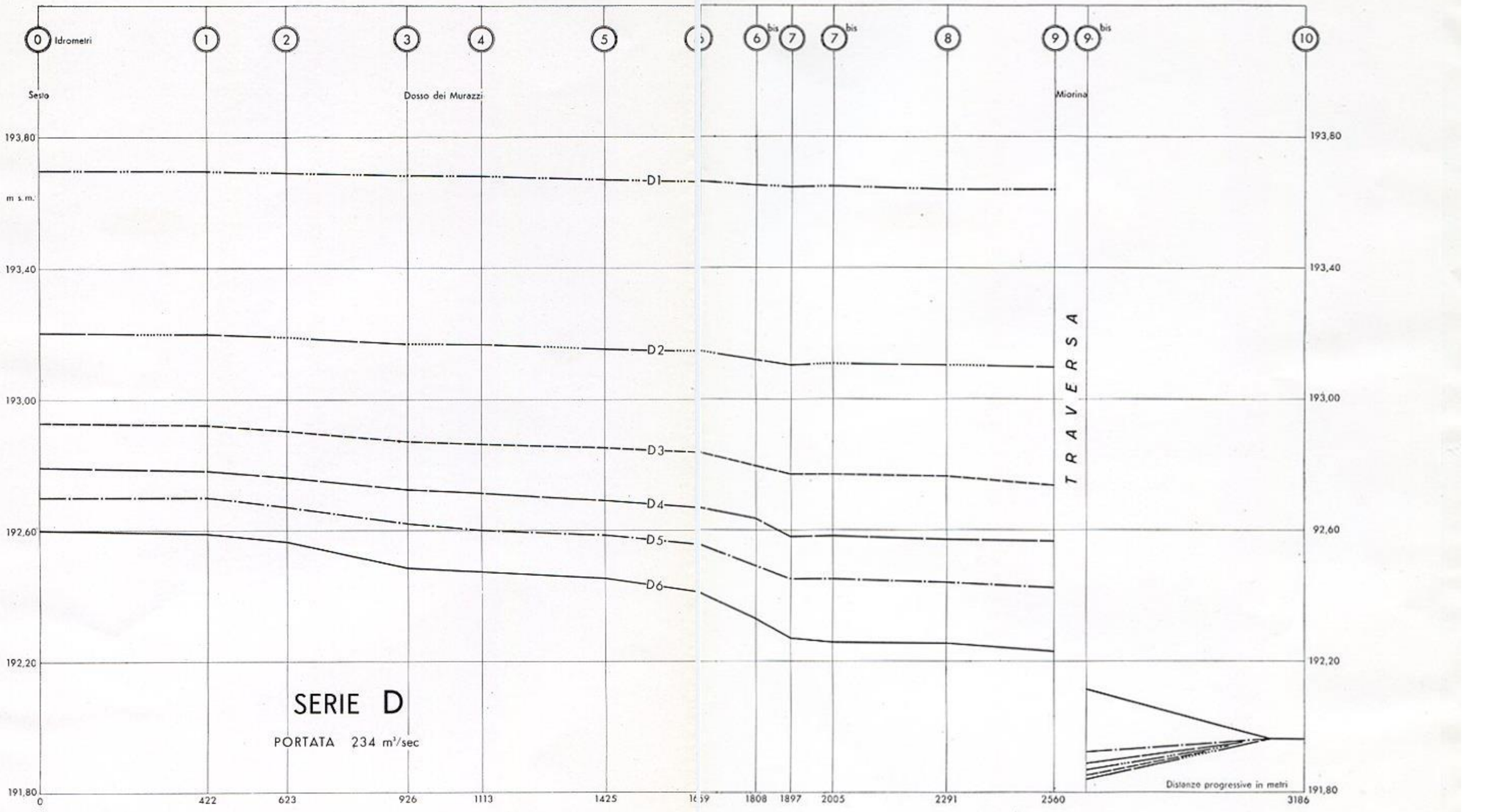



TAVOLA VIII. Profili rilevati per le seguenti situazioni (alveo come nella situazione E 2): **D 1.** Apertura della traversa m 40. **D 2.** Apertura della traversa m 60. **D 3.** Apertura della traversa m 80. **D 4.** Apertura della traversa m 100. **D 5.** Apertura della traversa m 120. **D 6.** Apertura totale (situazione E 2)