

Esso consiste in una serie di palizzate disposte ad arco concavo verso monte e via via sempre più ampie di mano in mano che il torrente va allargando il suo letto, con l'avvertenza però di impiantare i pali più fitti nelle file a monte, dove i materiali arrivano in maggior quantità e più voluminosi, da ultimo all'estre-

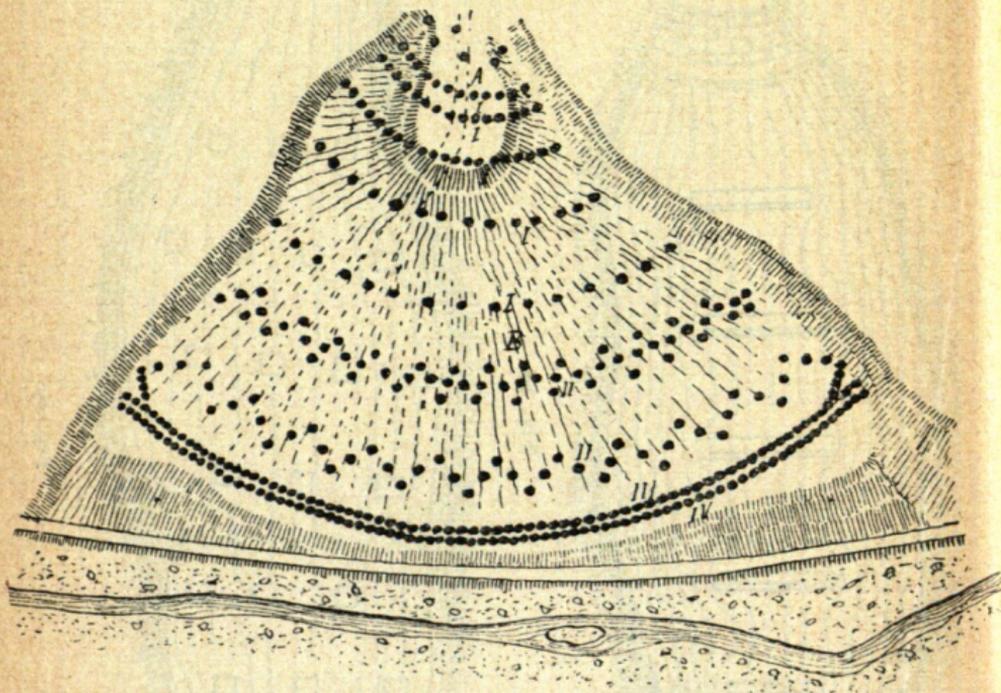


Fig. 90. — Piazza di deposito con palafitta.

mità sottocorrente di porre una viminata per trattenere anche i materiali più minuti. Un consimile sistema fu pure suggerito con qualche variante da Schindler (vedi figura 90).

d) *Serbatoi o laghi artificiali*. — Da ultimo, si è accennato che uno dei provvedimenti proposti per scemmare la portata delle piene è quello dei serbatoi artificiali.

Il grande beneficio che come è noto esercitano i laghi naturali trattenendo parte delle acque di piena per lasciarle defluire soltanto in seguito, ha fatto sorgere l'idea di creare dei serbatoi artificiali, e anche quella di aumentare la facoltà di trattenuta di laghi già esistenti, per immagazzinarvi acqua nei periodi di abbondanza e lasciarla scorrere poi nei momenti di scarsità a scopi molteplici, e cioè oltrechè per diminuire le piene anche allo scopo sia d'approvvigionare d'acqua i centri abitati, sia per utilizzare le acque a prò dell'agricoltura nelle irrigazioni, o a favore dell'industria (Tavola 36).

Inoltre i serbatoi artificiali si applicano anche per sgombrare i bacini portuari mediante il sistema delle ripulse, come pure per aumentare il tirante dei corsi d'acqua a favore della navigazione.

Propendendosi oggidì ad estendere sempre più l'impiego dei serbatoi artificiali quando essi oltre che a diversi fra i suaccennati scopi contribuiscano a migliorare il regime dei corsi d'acqua, attenuandone le piene, si reputa opportuno di entrare in qualche maggior particolare intorno a questo importante argomento.

Come è noto, molti laghi artificiali furono costruiti nei secoli passati a favore dell'irrigazione; basta citare quelli eretti dai Mori nella Spagna, nelle Indie e più recentemente in Francia, in Algeria, nel Belgio non solo per l'irrigazione ma anche per alimentare le vie navigabili procurando loro il necessario volume d'acqua. E ancora più recentemente il sistema dei serbatoi artificiali si è maggiormente diffuso procurando di destinarli a più scopi contemporaneamente.

Nel bacino del Missisipi mediante l'invaso artificiale di quattro laghi si immagazzinano quasi  $2\frac{1}{2}$  miliardi di mc. d'acqua con i quali si riesce ad aumentare di 30 centimetri il tirante del detto fiume nei periodi di magra. Lo stesso sistema è stato applicato per miglio-

rare la navigazione durante la magra nel Volga superiormente a Rybinsk. Analoghi impianti furono progettati e iniziati nella valle dell'Eder, affluente della Fulda per alimentare il grande canale del centro in Germania che trovasi in corso di costruzione fra il fiume Reno e il Weser. Nel bacino dell'Oder simili serbatoi vennero eseguiti a Marklissa e altrove sopra diversi affluenti, ma al solo scopo di scemare le piene del fiume. Sette laghetti artificiali furono costruiti sul fiume Vienna presso Weidlingau immediatamente a monte della città di Vienna per diminuire il volume delle piene del fiume stesso che attraversando la città le cagionava frequentemente rilevanti danni, tanto che dovette essere sistemato.

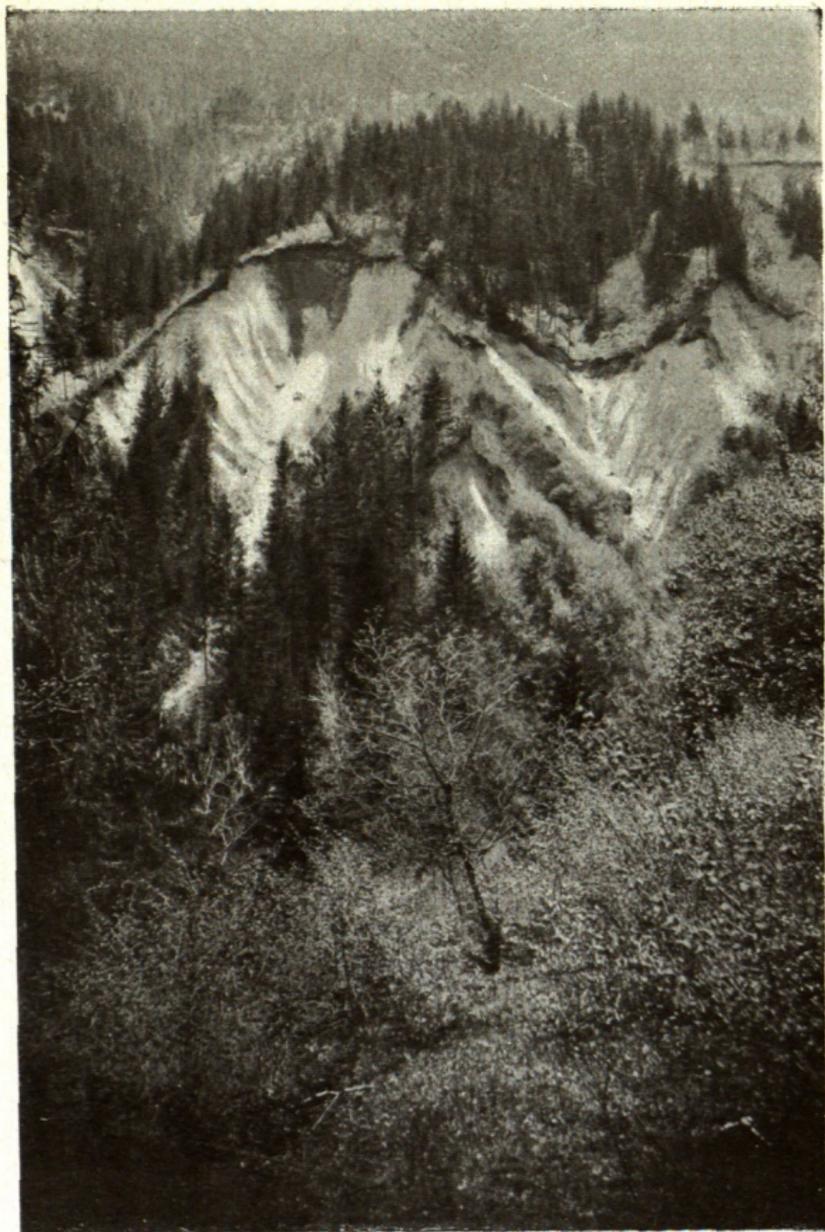
I detti serbatoi trattengono circa 200 mc. al secondo del totale volume di massima piena del fiume, che è calcolato in 600 mc. e l'esperienza ha oramai dimostrato che quando i serbatoi si sono riempiti il pericolo della inondazione della città di Vienna è del tutto scongiurato.

Per dare una idea del costo di detti serbatoi artificiali, si può citare che per es. la spesa dell'impianto dei serbatoi artificiali recentemente costruiti nella Regione Renana e nella Vesfalia oscilla fra 11 e 215 centesimi di lira per ogni metro cubo del massimo volume di acqua immagazzinabile, ossia per ogni metro cubo della capacità totale del bacino.

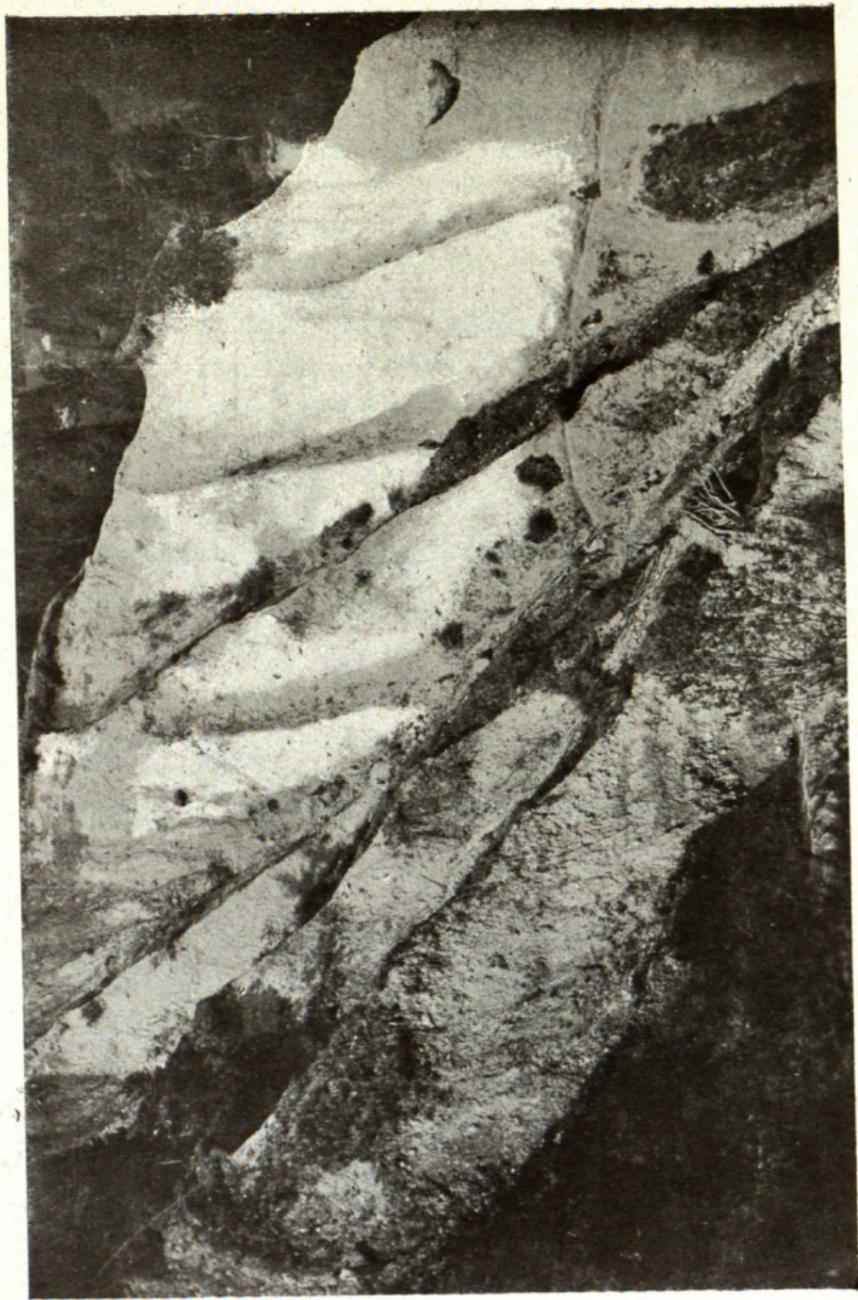
È evidente che un bacino artificiale si può creare sia mediante escavo, sia mediante sbarramento, ma il primo sistema è adottato solo in via affatto eccezionale, perchè è agli sbarramenti che si fa solitamente ricorso.

Il deflusso delle acque dai laghi è governato dal seguente principio.

*Il volume d'acqua che si raccoglie in un lago sia naturale che artificiale cresce o diminuisce secondo che la somma degli afflussi è maggiore o minore della somma dei deflussi.*



Tav. 42. — Parte sinistra della Val Grande framezzo Val Grande e Pian de Facin (sistemata.)



Tav. 43. — Pian de Facin prima della correzione (Belluno).

Lombardini nel suo memorabile scritto *Della natura dei laghi* <sup>(70)</sup> ha espresso il medesimo canone sotto la seguente forma: « In un dato tempo la quantità d'acqua « affluente è eguale a quella defluente più o meno « quella di cui si aumenta o si diminuisce il lago ».

Questo canone si può esprimere anche con formola analitica <sup>(71)</sup> <sup>(72)</sup> <sup>(73)</sup> e <sup>(74)</sup>.

Infatti se denominiamo con

$\Delta t$  l'intervallo finito di tempo che si considera.

$Q_a$  l'afflusso medio per unità di tempo durante l'intervallo stesso di tempo  $\Delta t$ .

$Q_e$  l'efflusso medio sempre per unità di tempo nello stesso intervallo.

$S$  la superficie media del lago.

$\Delta h$  l'oscillazione di altezza positiva o negativa, di cui varia il lago durante il tempo  $\Delta t$ , la relazione Lombardini si può scrivere così:

$$Q_a \Delta t = Q_e \Delta t + S \Delta h \quad (73)$$

Se poi le quantità finite  $\Delta t$  e  $\Delta h$  diventano infinitamente piccole, allora la precedente equazione si trasforma nella seguente equazione differenziale

$$Q_a dt = Q_e dt + S dh$$

la quale si può anche scrivere così:

$$Q_a = Q_e + S \cdot \frac{dh}{dt}, \quad (74)$$

<sup>(70)</sup> ELIA LOMBARDINI, « Della natura dei laghi e delle opere per regolarne il deflusso »; Milano, Politecnico, 1866.

<sup>(71)</sup> OSSIAN EKDAHL, « Om-beräkningssystemet vid uppgörande af förslag till sjösänkningar och regleringar »; Lund, 1888.

<sup>(72)</sup> Ing. GAUDENZIO FANTOLI, « Sul regime idraulico dei laghi »; Milano, Hoepli, 1897.

<sup>(73)</sup> Ing. ALESSANDRO PESTALOZZA e CARLO VALENTINI, « Sulla sistemazione dei deflussi del lago di Como »; Milano, Hoepli, 1866.

<sup>(74)</sup> G. RAINERI « I piccoli serbatoi a corona »; Piacenza. Statuti, Tip. Piacentina, 1907.

dove  $Q_a$  e  $Q_e$  sono rispettivamente l'afflusso e il deflusso per unità di tempo corrispondenti al tempo  $t$ ;  $S$  la superficie ed  $h$  l'altezza del lago contato sopra una scala idrometrica che segue le variazioni del lago stesso.

Dalla equazione (74) dipende il metodo che può propriamente dirsi *analitico*; mentre invece sul conteggio della formola (73) è basato il metodo che può dirsi alle *differenze finite* che fin qui si può dire fu esclusivamente usato nella trattazione delle questioni sui laghi.

Nella pratica tutte le questioni sui laghi si riconducono a questi due problemi principali, cioè: date le variazioni d'altezza del lago desumere gli efflussi, oppure viceversa da queste ricavare quelle.

Sia quando si tratta di laghi naturali, nei quali mediante apposite opere di invaso si vogliono modificare i deflussi sia quando si tratta di serbatoi artificiali nei quali la trattenuta può essere regolata in modi diversi, la preaccennata formola (73) serve a raffrontare fra loro gli afflussi e le variazioni di altezza che si verificano nei diversi modi di trattenuta.

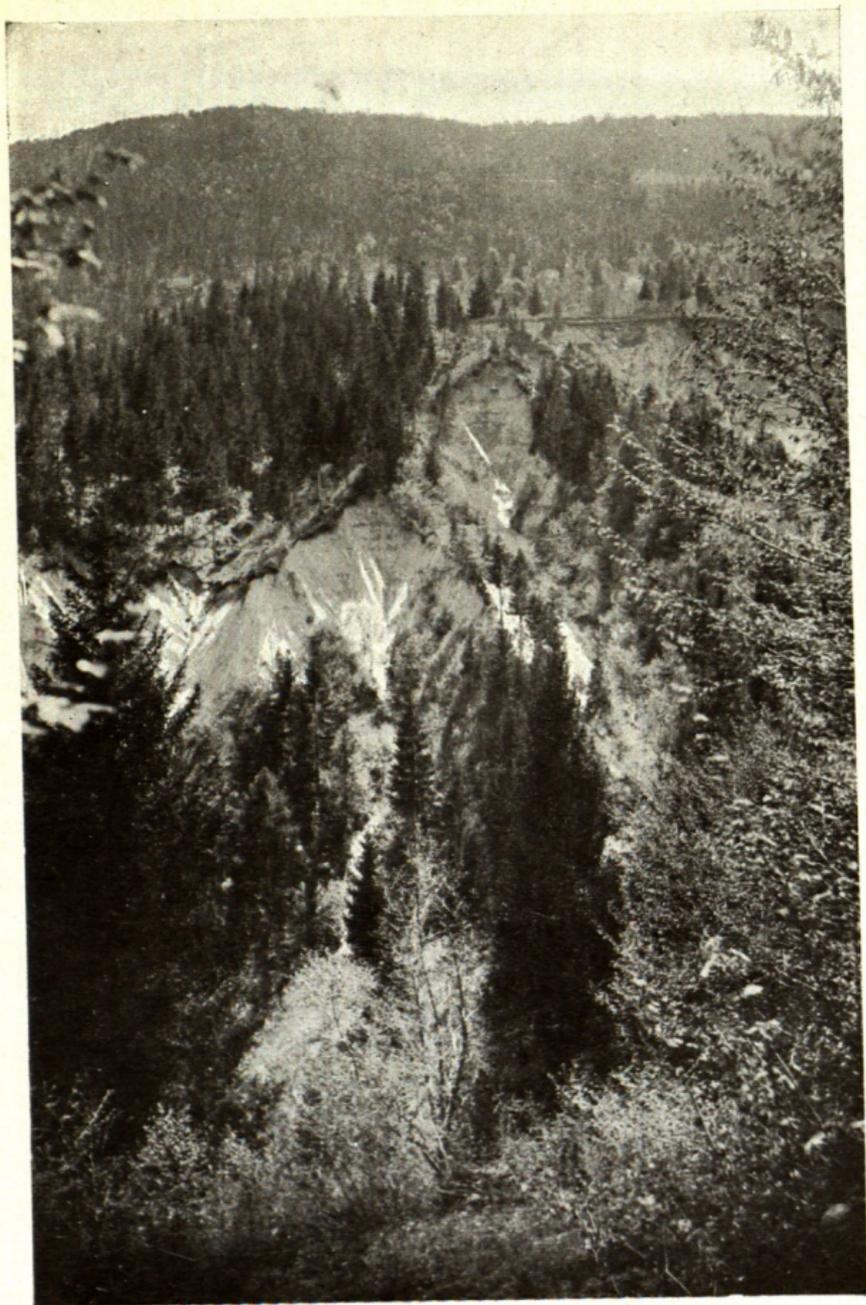
Per darne un esempio, consideriamo un lago della superficie  $S = 147 \text{ Km}^2$ . Allora per ogni centimetro d'incremento o decremento giornaliero nello specchio lacuale, essendo la giornata costituita di ore  $24 \times 60' \times 60'' = 86400$  minuti secondi, il volume che per ogni minuto secondo corrisponde al detto centimetro di incremento o decremento giornaliero è

$$Q = \frac{147000000 \text{ mq} \times 0,01}{86400} = \text{mc. } 17,01$$

Epperò se si suppone mediante le opportune opere di poter regolare quel lago in guisa da praticarne la erogazione costante di 166 mc. al minuto secondo, e se si suppone altresì che la detta regolazione abbia prin-

cipio per es. col 1<sup>o</sup> aprile dell'anno 1912; qualora si supponga pure che per es. nei giorni 1, 2, 3 ecc. di detto mese si sarebbero avute a deflusso naturale rispettivamente le altezze idrometriche quotidiane  $-0.13$   $-0.07$ ,  $-0.03$  a cui corrispondono per es. le portate di mc. 98.7, 110.5, 118.5, ecc. ecc. la regolazione avrebbe avuti i risultati che sono consegnati nella seguente tabella, la cui compilazione è basata sull'uso costante della suaccennata formola (73):





Tav. 44. — Parte sinistra di Pian de Facin  
od alla sinistra del torrente Val Porcilla (sistemata).

La costruzione dei serbatoi artificiali richiede le maggiori cautele possibili dovendo la diga di trattenuta essere di solidità ineccepibile; come pure si dovrà porre tutta la cura nella scelta della località dove si deve costruire la diga stessa, perchè il terreno di fondazione deve presentare una stabilità ed una impermeabilità assoluta potendo evidentemente da una rottura della diga stessa derivare danni incalcolabili.

Per questa ragione sebbene siasi da alcuni proposta per queste dighe anche la struttura in terra (argilla mista a sabbia, oppure argilla pura per il nucleo) e di dighe in terra ne siano state costruite pure di m. 30 e 36 di altezza, specialmente nell'India, nel Perù, in Inghilterra, in Iscozia, sarà bene non ricorrere a questa struttura. In ogni caso gli specialisti la sconsigliano assolutamente, quando si tratta di altezze maggiori di 30 metri e il terreno di fondazione non sia argilloso e impermeabile perchè la struttura in terra non si collega bene nè colla ghiaia, nè colla sabbia, e nemmeno con la roccia.

Ogni serbatoio artificiale deve essere munito delle opportune opere che provvedano non solo al deflusso della quantità di acqua che si vuole derivare, ma anche dei volumi esuberanti nonchè a vuotare completamente il serbatoio, quando si voglia procedere alla sua pulitura oppure a lavori di riparazione.

Gli scaricatori poi devono essere calcolati in modo che anche a serbatoio pieno possano smaltire il massimo volume che può affluire al bacino, e sarà ancora meglio, anzi se la loro efficienza potrà sorpassare il limite massimo degli afflussi per potere in dati casi eccezionali più presto vuotare il serbatoio o solo anche abbassarne il livello.

Tuttavia il beneficio dei serbatoi artificiali consiste in generale nel poter trattenere nelle piene una parte degli afflussi in guisa che il deflusso massimo venga a

trovarsi diminuito e che perciò il pericolo di inondazione per i territori sottostanti sia scemato e in pari tempo le acque di trattenuta possano essere utilizzate nei periodi di scarsità.

In quale misura però si possa raggiungere questo effetto, bisogna previamente studiarlo in ogni caso. I calcoli che a ciò si richiedono non sono per sè stessi molto difficili e fanno sempre capo al sistema delle differenze finite di cui si è più sopra dato un esempio; ma occorre sempre la maggior cura per esattamente apprezzare e calcolare tutte le circostanze e le condizioni locali che possono influire sul problema.

Nella pratica bisogna però osservare che l'applicazione dei serbatoi artificiali per attenuare i danni della piena è assai limitata, perchè nel corso inferiore dei grandi fiumi le masse d'acqua che si dovrebbero immagazzinare sarebbero assai forti e anche a prescindere dalla enorme spesa per l'impianto dei serbatoi riescirebbe ancora maggiormente difficile di averli pronti e cioè vuoti per utilizzarli al momento veramente opportuno. Talora è possibile riempire il bacino solo una volta nell'anno, mentre in altri casi l'invaso si rinnova anche quattro volte e può quindi per altrettante volte essere utilizzato il volume d'acqua che può stare contenuto nel serbatoio.

Invece evidentemente il sistema dei laghi artificiali è meglio applicabile specialmente nella parte superiore dei bacini fluviali, ossia nelle regioni montane, dove anche i terreni sono meno fertili e produttivi; mentre al piano in generale il loro impianto produrrebbe un danno assai maggiore dell'utile che può recare.

In ogni caso poi bisognerà sempre circondare l'esercizio dei serbatoi artificiali con tutte le necessarie cautele e ciò specialmente quando si ricorresse a un sistema multiplo di serbatoi sui diversi affluenti; dovendosi assolutamente evitare l'inconveniente che al reci-

piante già in piena abbiano ad arrivare contemporaneamente dai vari bacini deflussi maggiori di quelli ordinari, poichè allora è evidente che la piena diventerebbe ancora più grande di quello che sarebbe stata senza la costruzione dei serbatoi.

Da ciò è nata in molti una vera prevenzione contro i serbatoi artificiali i quali da taluni sono ammessi solo quando abbiano più scopi, cioè oltre a diminuire le piene possano servire anche ad utilizzazioni agricole e industriali.

Non si può tuttavia negare che molti serbatoi artificiali ebbero un risultato assai favorevole, e basti citare per tutti il serbatoio costruito nel bacino del torrente Furens presso la città di S. Etienne (in Francia) col quale essendosi notevolmente diminuite le piene del torrente stesso, si riuscì a creare per la città stessa una efficace difesa contro le inondazioni.

Per meglio farsi un'idea dell'efficacia di un serbatoio artificiale, consideriamo un esempio.

Si tratti di un serbatoio artificiale in condizioni pressochè consimili a quelle succitate del Furens, il cui bacino d'afflusso abbia la superficie di 25 Kmq. il livello iniziale del serbatoio sia a m. 5 sotto il livello massimo di riempimento e la capacità del serbatoio fra questi due livelli sia di 400.000 mc.

Si supponga inoltre che si verifichi una fortissima pioggia della durata di 5 ore, durante la quale l'altezza dell'acqua caduta sia di 120 mm.; come pure si faccia l'ipotesi che il 75 % di questa pioggia arrivi al serbatoio impiegando quella proveniente dai punti più lontani del bacino d'afflusso 4 ore per giungere al serbatoio artificiale.

L'altezza di pioggia che alimenterà il serbatoio per m<sup>2</sup> sarà  $120 \times 0.75 = 90$  mm. quindi l'afflusso totale sarà

$$25 \times 1000 \times 1000 \times 0.090 = 2.250.000 \text{ mc.}$$

che ripartita su tutta la durata della pioggia e della massima corrivazione cioè di  $5 + 4 = 9$  ore, fornirà in media

$$\frac{2.250.000}{9 \times 60 \times 60} = 69.5 \text{ metri cubi d'acqua al 1"}$$

Ma l'afflusso non sarà effettivamente uniforme, perchè crescerà nelle prime 4 ore, poi raggiungerà il suo massimo valore nell'ora successiva, valore massimo che sarà

$$\frac{2.250.000}{5 \times 60 \times 60} = 125 \text{ mc. al minuto secondo}$$

per decrescere poi nelle 4 ore seguenti.

Si può infatti immaginare il bacino imbrifero che alimenta il serbatoio (vedi fig. 91) diviso mediante quattro curve *isoreocrone* in altrettante parti per ciascuna delle quali si verificherà un uguale tempo per defluire il corrispondente volume di pioggia fino al lago artificiale. Cioè si può immaginare la divisione fatta in modo che la pioggia che cade nella prima zona  $Z_1$  impieghi un'ora ad arrivare al lago quella sulla zona  $Z_2$  due ore e così via.

Allora l'andamento degli afflussi per tutta la durata della pioggia e del tempo successivo occorrente per smaltire tutta la piena conseguente dalla pioggia stessa, può evidentemente essere rappresentato dal diagramma (vedi fig. 92).

Ora siccome si è fatta l'ipotesi che il serbatoio artificiale sia in condizioni tali da potersi riempire e da poter immagazzinare 400.000 mc. è evidente che il volume

$$2250000 - 400000 = 1850000 \text{ mc.}$$

che resta sottraendo il detto immagazzinamento dalla

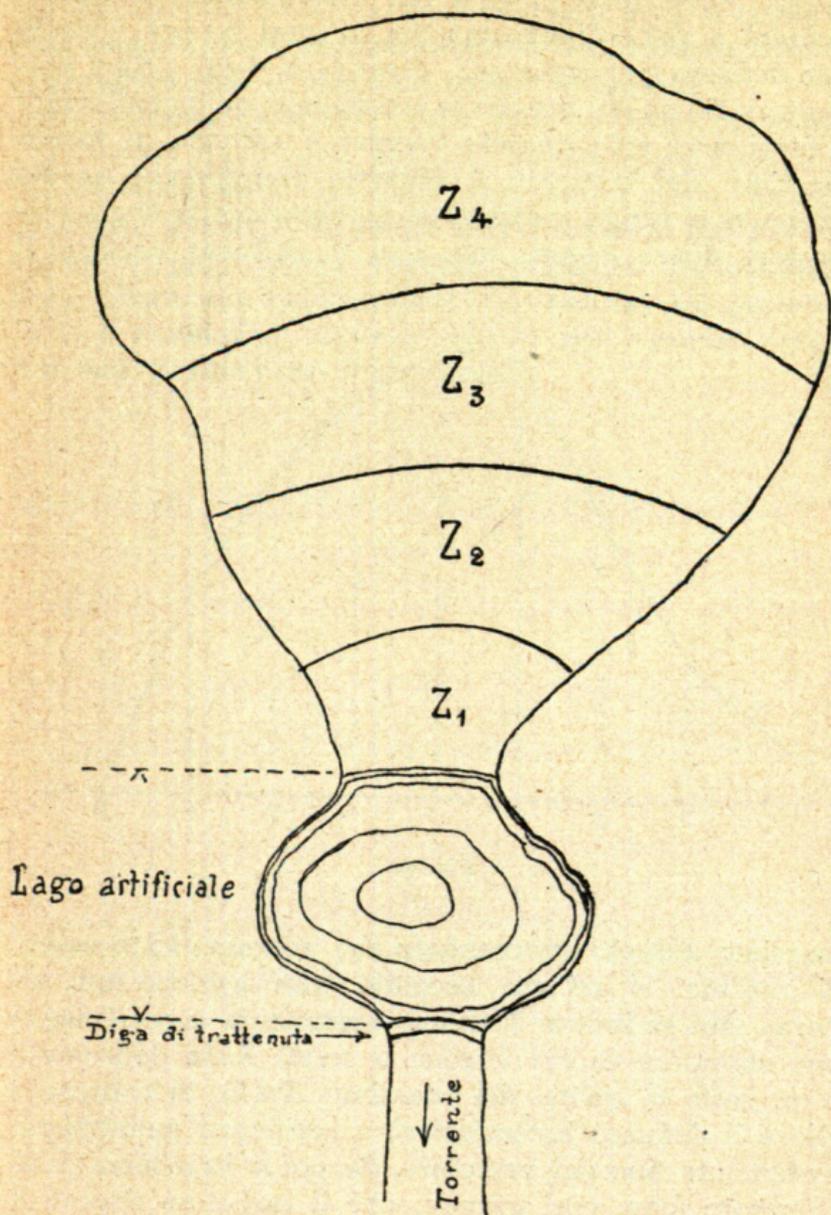


Fig. 91.

massa totale della pioggia che arriva al lago artificiale defluirà a valle di questo; ma in qual misura e modo tale deflusso si comporterà, dipenderà dagli edifici scaricatori. Se questi fossero in condizione da incominciare a funzionare solo quando l'acqua è arrivata al livello massimo del serbatoio è evidente che (perchè questo livello non venga sorpassato) la potenzialità degli scaricatori dovrà essere tale che il deflusso pareggi il

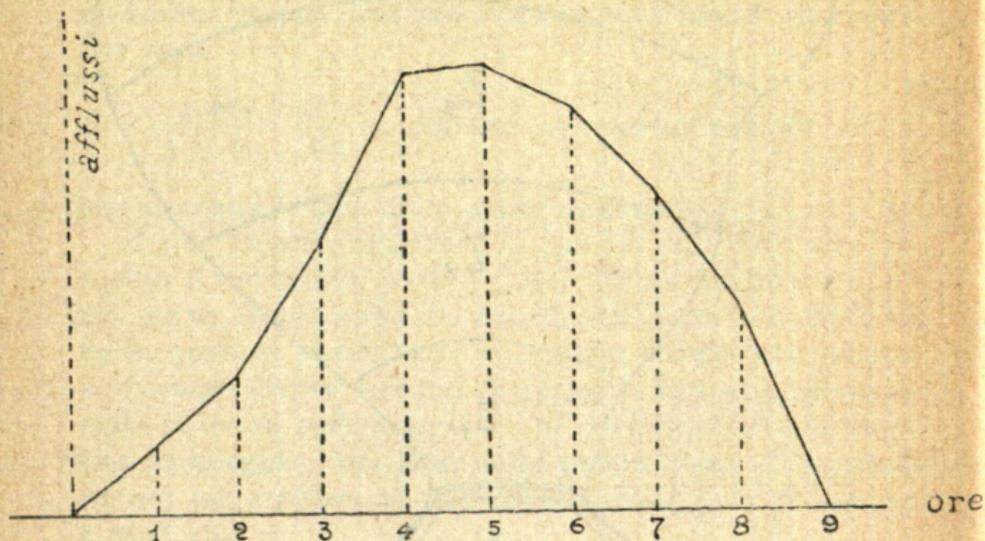


Fig. 92.

massimo afflusso suaccennato che abbiamo visto essere di 125 mc. al minuto secondo (cioè 450.000 mc. all'ora). Ma se invece l'edificio scaricatore consistesse in uno sfioratore la cui corona o cresta fosse depressa a 5 m. sotto la quota del massimo livello di trattenuta allora il deflusso incomincerà a verificarsi quantunque lentamente fino dal principio. Se poi la lunghezza dello sfioratore fosse così grande, che il serbatoio dopo le 5 ore della durata della pioggia non fosse ancora interamente riempito, ma il livello del serbatoio continuasse

a salire, allora è evidente che il deflusso fino al cessare della pioggia sarà sempre minore dell'afflusso e non raggiungerà mai il massimo valore di questo.

Ora sebbene in questo caso non avvenga un completo invaso dell'acqua piovuta, perchè questa viene a defluire lentamente e gradatamente anche dopo cessata la pioggia finchè il serbatoio non è sceso al suo livello originario, pur tuttavia è altresì evidente che avviene anche allora una moderazione dei deflussi nel periodo del loro massimo e avviene quindi per i terreni inferiori una diminuzione della piena.