

Corso di Protezione Idraulica del Territorio

Opere ed interventi di difesa dalle piene fluviali



Antonino Cancelliere

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Università di Catania*
acance@dica.unict.it

Caratteristiche del tratto vallivo dei corsi d'acqua

- Il tratto vallivo dei corsi d'acqua è generalmente caratterizzato da:
 - Portate relativamente elevate
 - Trasporto solido ridotto e limitato ai materiali più fini
 - Pendenze modeste
 - Regime della corrente lento
 - Alveo soggetto ad instabilità nell'andamento plano-altimetrico caratterizzato dalla formazione di meandri, anse, etc.
- In questa zona i problemi idraulici prevalenti sono quelli legati alla:
 - difesa dalle piene
 - navigazione

Andamento planimetrico di un corso d'acqua

- L'andamento planimetrico di un corso d'acqua è il risultato di complesse interazioni tra i fenomeni di erosione, interrimento, trasporto solido e variabilità delle portate naturali
- Lo studio e la classificazione delle forme fluviali è ancora oggetto di numerose ricerche, sia per l'interesse scientifico che per le rifluenze pratiche
- In generale, si può distinguere tra:
 - Andamento rettilineo
 - Andamento intrecciato
 - Andamento meandriforme



Andamento intrecciato



Meandri



Difesa dalle piene

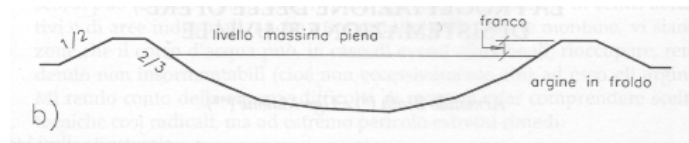
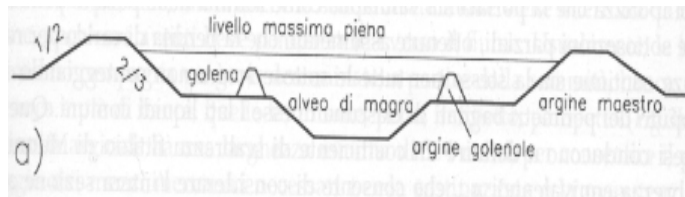
- Gli interventi di difesa dalle piene possono essere classificati come:
 - Interventi di tipo strutturale
 - Interventi di tipo non strutturale
- Un'altra classificazione può essere fatta sulla base dell'obiettivo della misura

Riduzione della portata	Riduzione dell'altezza idrica	Riduzione della vulnerabilità attuale	Riduzione della vulnerabilità futura	Riduzione degli impatti economico-sociali
-Serbatoi di laminazione -Casse di espansione -Diversivi /scolmatori -Gestione del bacino	-Risagomatura dell'alveo -Rettifiche fluviali -Drizzagni	-Argini - <i>Floodproofing</i> -Sistemi di preallerta	-Zonazione urbanistico territoriale	-Programmi assicurativi -Aiuti alle popolazioni colpite

Arginatura dei corsi d'acqua

- Gli argini costituiscono forse l'intervento più antico messo in atto dall'uomo per difendere le zone abitate e/o gli insediamenti agricoli e produttivi
- Esso rimane ancora oggi uno degli interventi principali di difesa anche se ne riconoscono i limiti in termini di aumento della portata (e conseguentemente del rischio di esondazione) a valle dell'intervento
- Gli argini sono costituiti da un rilevato in terra omogenea, rivestito su entrambi i lati, generalmente con zolle erbose, a volte con rivestimenti rigidi
- Generalmente essi vengono dimensionati per $Tr=100$ anni, assumendo un franco pari ad almeno 1 m

Argini



Localizzazione delle foto

Foto argini



Foto argini



Foto argini



Foto argini



Foto argini



Foto argini



Foto argini



Foto argini



Foto argini



Foto argini



Foto argini



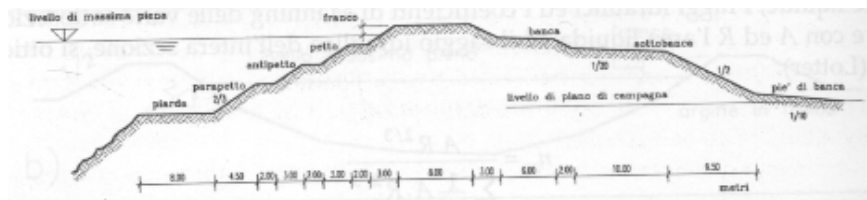
Foto argini



Argini

- Il materiale che costituisce il rilevato deve avere caratteristiche idrauliche e geotecniche appropriate per evitare fenomeni di instabilità o filtrazione nel corpo arginale
- Il terreno deve essere prelevato nelle vicinanze, considerati i volumi da trasportare
- Un ricetta pratica: 2/3 sabbia, 1/3 argilla
- In ogni caso, modesta permeabilità (conduttività $k=10^{-4}:10^{-6}$ cm/s)

Argini



- Orientativamente:
 - Pendenza media lato fiume 1/2 – 2/3
 - Pendenza media lato campagna < 1/2
 - Pendenza banchine 1/20 verso campagna
 - Sommità arginale almeno 3-4 m
 - Franco almeno 1 m
 - Altezza maggiorata di circa il 10-15% per tenere conto dell'abbassamento dovuto al costipamento

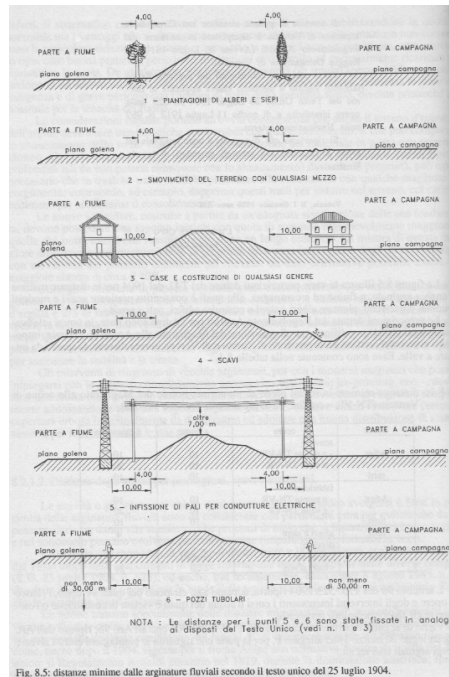


Fig. 8.5: distanze minime dalle arginature fluviali secondo il testo unico del 25 luglio 1904.

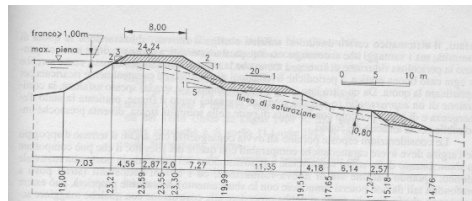


Fig. 8.2: Esempio di rialzo di un corpo arginale esistente, al fine di garantire un adeguato ricoprimento della linea (teorica) d'infiltrazione.

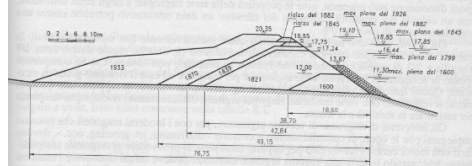


Fig. 8.3: rialzi e ringrossi dell'argine sinistro dell'Adige a Masi dal 1600 al 1933.

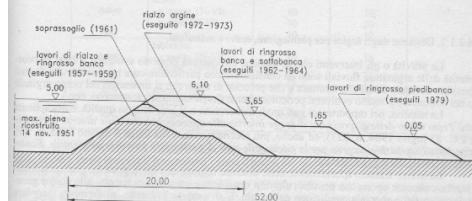
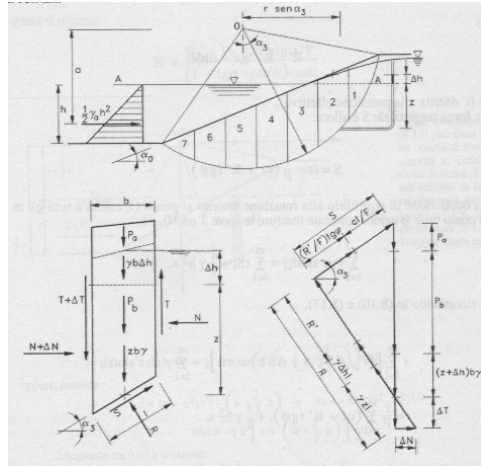


Fig. 8.4: rialzi e ringrossi dell'argine maestro del Po nella zona del Delta dopo la piena del 1951.

Verifiche

- Le verifiche principali riguardano:
 - Verifica di stabilità del rilevato
 - Filtrazione nel corpo arginale
- La verifica di stabilità va fatta considerando tre diverse situazioni:
 - A termine della costruzione (rilevato asciutto e portate di magra)
 - In corrispondenza al livello di massima piena
 - A seguito di un rapido abbassamento del livello idrico



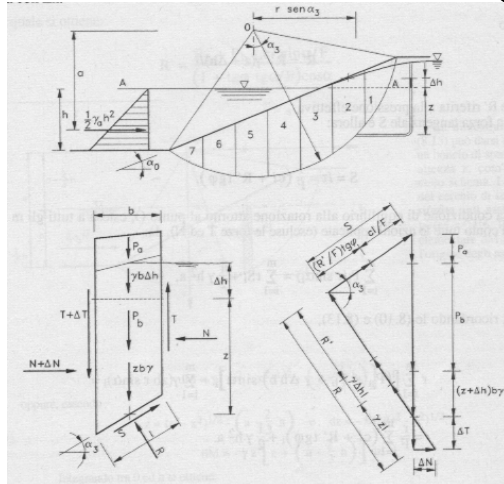
Verifiche

- La condizione di equilibrio estesa a tutti i conci porge:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^m \left[\frac{cb + (Pa + Pb) \tan \varphi}{(1 + \tan \varphi \tan \alpha / F) \cos \alpha} \right]_i}{\sum_{i=1}^m [(Pa + Pb + \gamma \Delta h b) \sin \alpha]_i}$$

- Nel caso di terreno asciutto e privo di coesione:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^m \left[\frac{P \tan \varphi}{(1 + \tan \varphi \tan \alpha / F) \cos \alpha} \right]_i}{\sum_{i=1}^m [P \sin \alpha]_i}$$

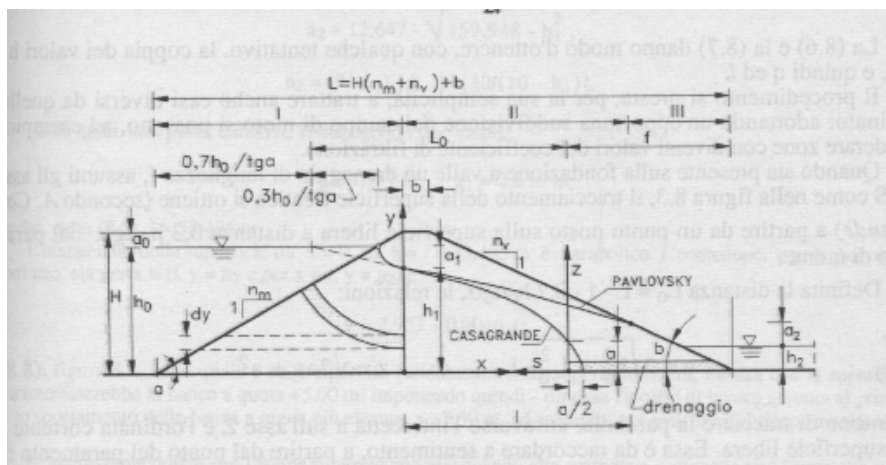


c coesione

φ angolo d'attrito del materiale

- La verifica alla filtrazione ha l'obiettivo di assicurare che la superficie libera di filtrazione rimanga interna al paramento
- Una regola di buon senso adottata dal Genio Civile ipotizza che la superficie libera sia costituita da un tratto rettilineo con pendenza $1/5 - 1/7$
- Una trattazione rigorosa dovrebbe considerare il moto vario (condizioni al contorno variabili in funzione dell'idrogramma di piena) ed il moto bidimensionale.
- Questo può essere fatto attraverso schemi di calcolo numerici
- Trattazioni semplificate considerano una situazione di moto permanente (a vantaggio di sicurezza)

Procedimento di Pavlosky



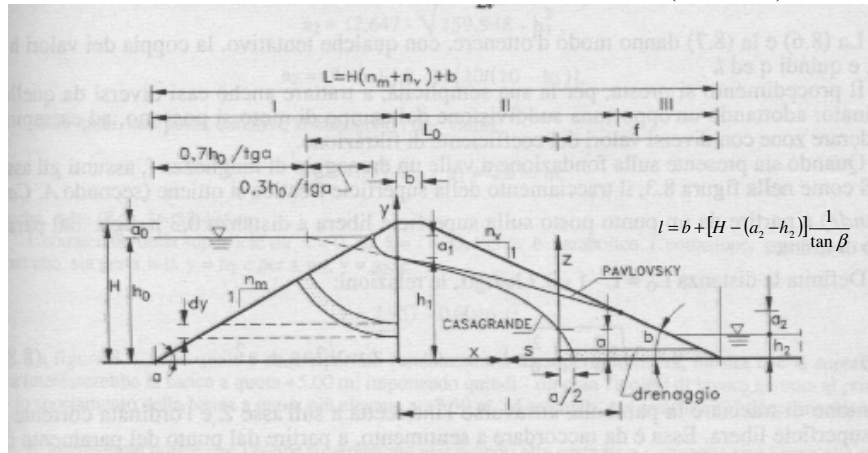
Procedimento di Pavlosky

$$q = K(h_0 - h_1) \tan \alpha \log \frac{H}{H - H_1}$$

$$q = K \frac{h_1^2 - (a_2 + h_2)^2}{2l}$$

$$dq = K \tan \beta dy_1 + K \frac{a_2}{\left(\frac{a_2 + h_2 - y}{\tan \beta} \right)} dy_2$$

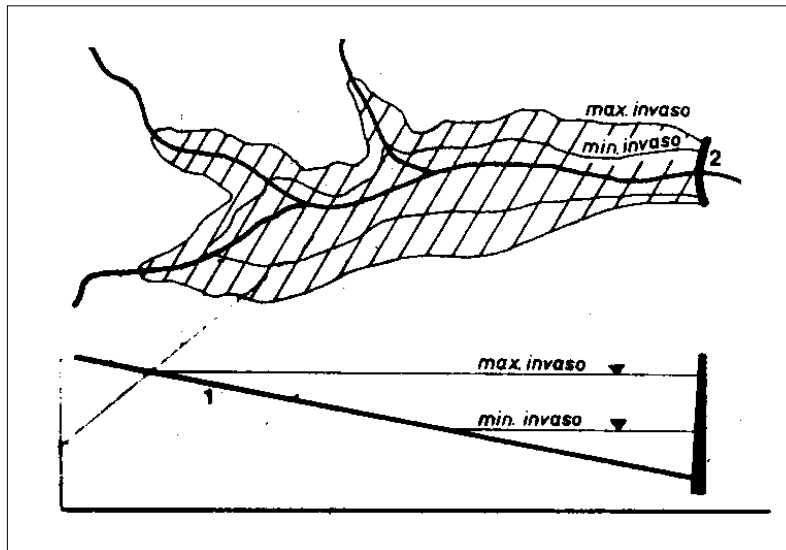
$$q = Ka_2 \left(1 + \log \frac{a_2 + h_2}{a_2} \right) \tan \beta$$



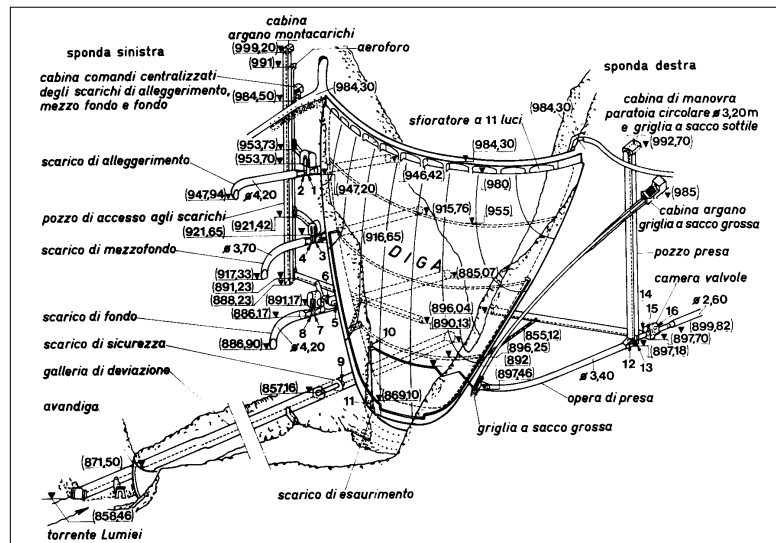
Regolazione delle portate a mezzo di serbatoi

- Il controllo delle piene può essere effettuato inserendo a monte una capacità adeguata in grado di modulare nel tempo i volumi d'acqua
- Possiamo distinguere due tipologie di manufatti:
 - Serbatoi di laminazione
 - Casse d'espansione
- I serbatoi di laminazione sono generalmente realizzati nei tratti montani del corso d'acqua attraverso la realizzazione di uno sbarramento (diga) e di solito assolvono anche altre funzioni come la regolazione dei deflussi per diversi usi (civili, industriali, irrigui, idroelettrici)
- Le casse di espansione sono manufatti generalmente realizzati nel tratto vallivo e nelle zone adiacenti al corso d'acqua, sfruttando aree che si prestano a tale scopo, ovvero realizzando apposite arginature

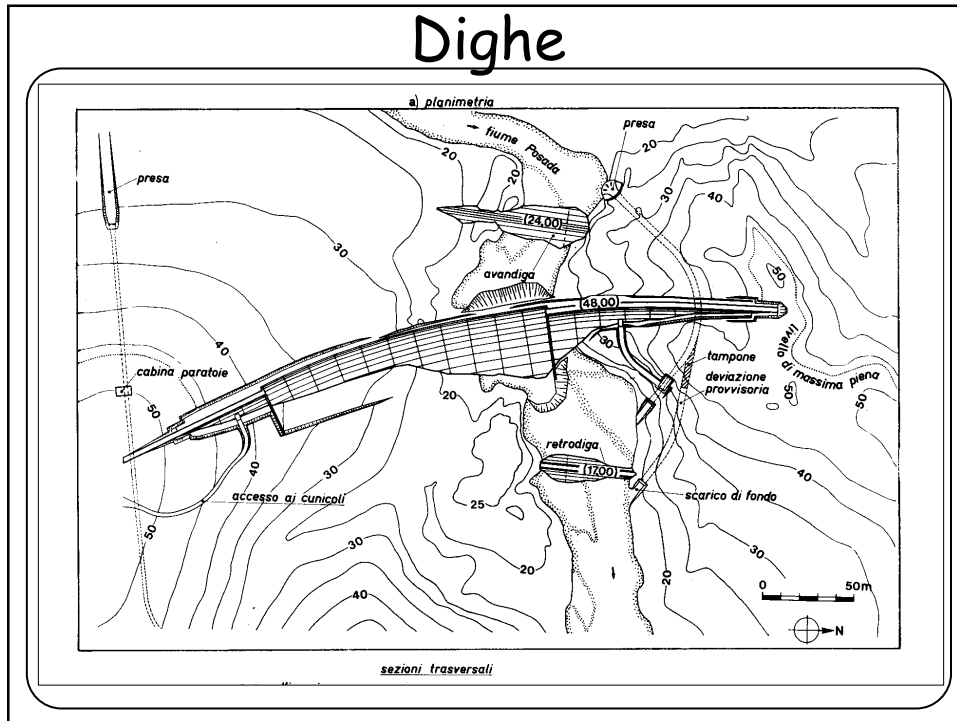
Serbatoi



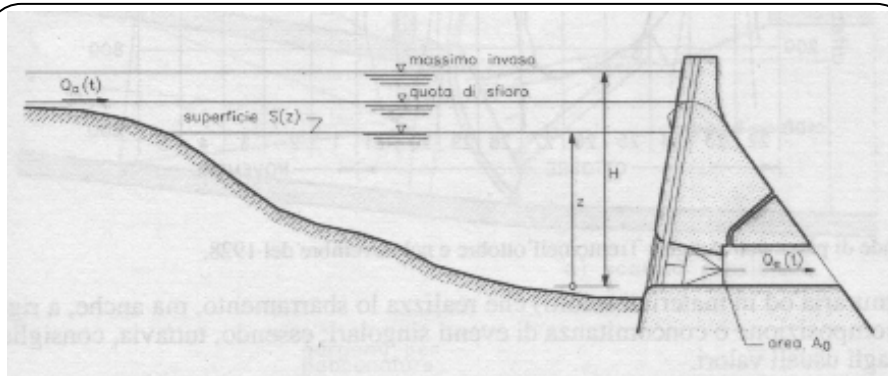
Dighe



Dighe

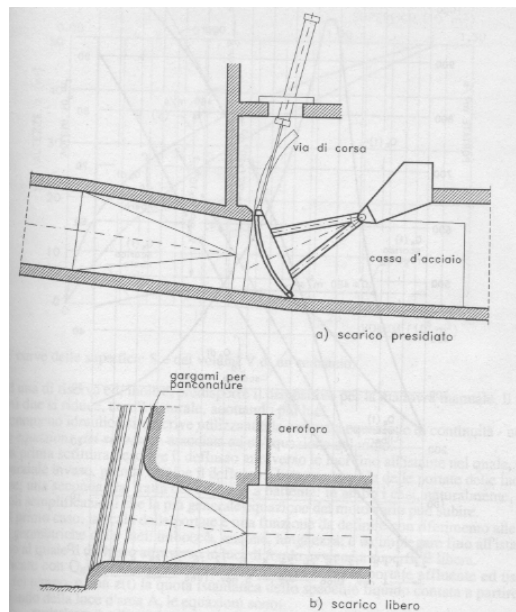


Zone di invaso di un serbatoio



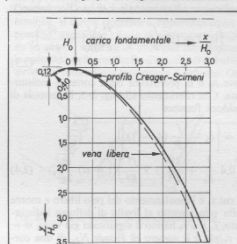
- Tipicamente la capacità richiesta per il controllo delle piene è dell'ordine delle decine di milioni di metri cubi
- Il dimensionamento del serbatoio richiede la conoscenza dell'intero idrogramma di piena e non della sola portata al colmo

Scarichi di fondo



Scarichi di superficie

Tab. 2.1 – Sagomatura del profilo delle traverse fisse secondo il profilo Creager-Scimemi.



Coordinate y/H_0 riferite al vertice.

x/H_0	Vena libera	$0.47(x/H_0)^{1.5}$
0.10	0.007	0.007
0.30	0.025	0.024
0.50	0.040	0.045
0.70	0.060	0.068
0.90	0.080	0.100
1.10	0.100	0.135
1.30	0.120	0.175
1.50	0.140	0.220
1.70	0.160	0.270
1.90	0.180	0.325
2.10	0.200	0.385
2.30	0.220	0.450
2.50	0.240	0.520
2.70	0.260	0.595
2.90	0.280	0.675

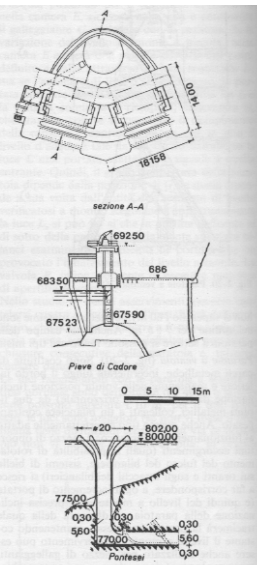


Fig. 2-23. Tipi di scaricatori di superficie per laghi artificiali (Soc. Adriatica di Elettricità).

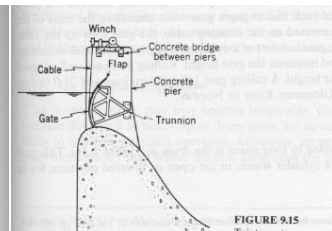
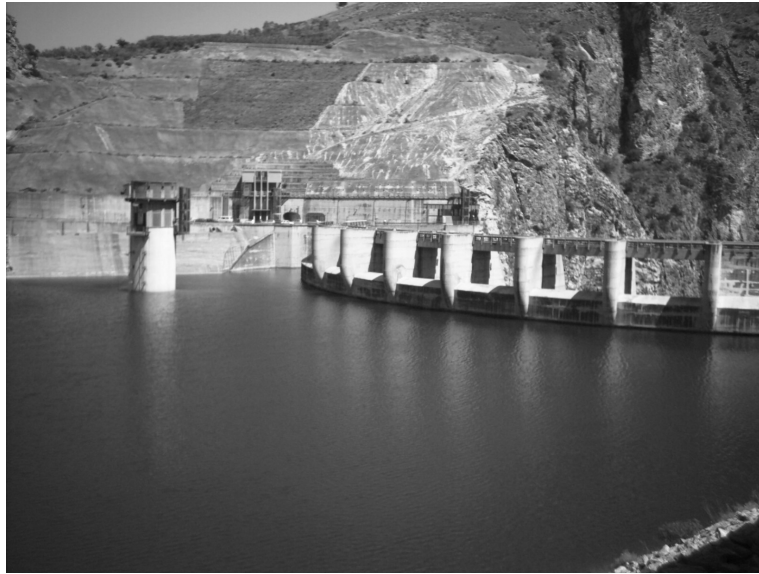


FIGURE 9.15
Tainter gate.





Equazione di bilancio del serbatoio

- L'equazione che lega le portate in ingresso $Q_a(t)$ a quelle in uscita $Q_e(t)$ è:

$$Q_a - Q_e = \frac{dV}{dt}$$

- L'idrogramma in ingresso è quello di progetto, la portata in uscita Q_e è somma di due contributi:
 - La portata scaricata tramite lo scarico di fondo
 - La portata scaricata tramite gli scarichi di superficie allorquando il livello invasato raggiunge le soglie

Leggi di efflusso

- Lo scarico di fondo funziona generalmente come una luce a battente, salvo il caso in cui il livello è sufficientemente basso perché lo scarico funzioni a pelo libero.
- In quest'ultimo caso, la legge $Q_e(z)$ è la scala delle portate dello scarico. Altrimenti:

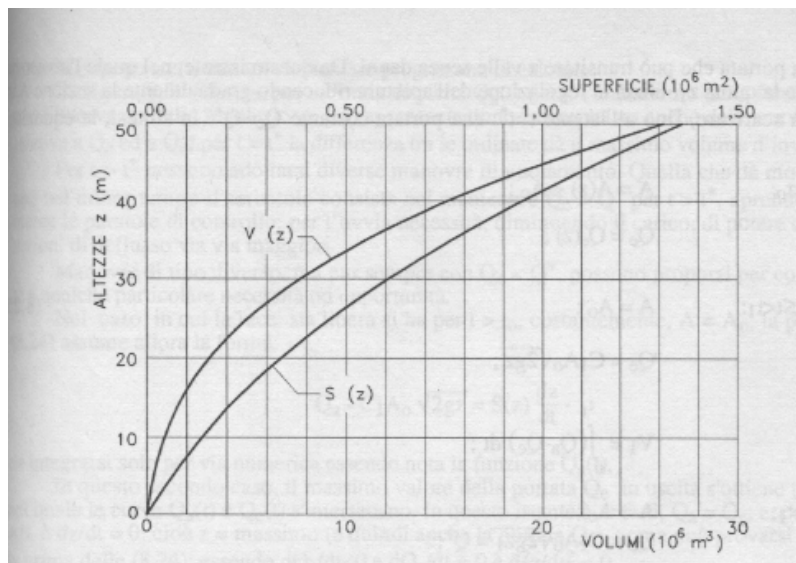
$$Q_e = C_1 A_0 \sqrt{2gz} \quad \text{Luce a battente}$$

- Gli scarichi di superficie si comportano come degli stramazzi, pertanto:

$$Q_e = C_2 Lh \sqrt{2gh}$$

- dove L è lo sviluppo dello stramazzo e h il tirante, differenza tra z e la quota della soglia z_s

Curva aree-volumi-quote



Soluzione dell'equazione di bilancio

- L'equazione di bilancio può essere risolta alle differenze finite
- In pratica, si parte dall'istante $t=0$, con un volume iniziale (e quindi una quota iniziale) e si calcola il volume all'istante $t+\Delta t$

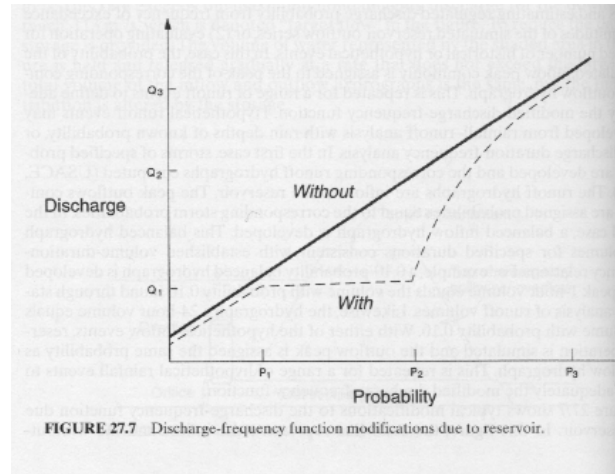
$$V(t+\Delta t) = V(t) + Q_a \Delta t - Q_e \Delta t$$

Q_a e Q_e sono le portate medie tra l'istante t e l'istante $t+\Delta t$.
 Q_a è nota, Q_e dipende da z che a sua volta dipende da V

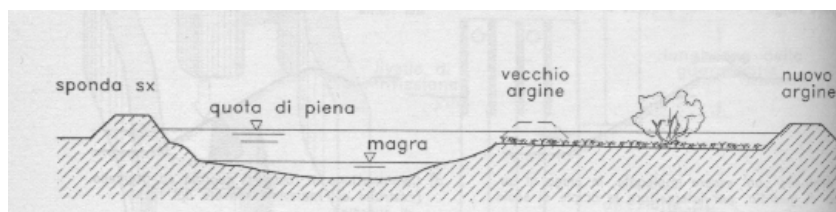
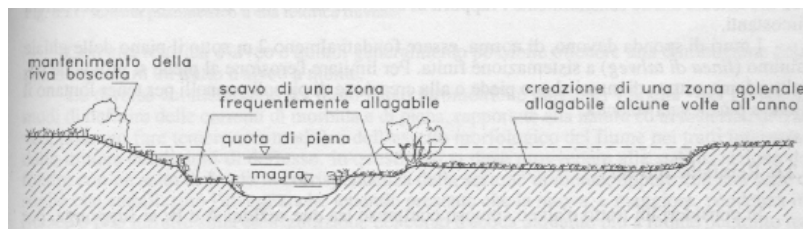
In questo modo è possibile ricostruire le portate uscenti

Regolazione delle portate in uscita

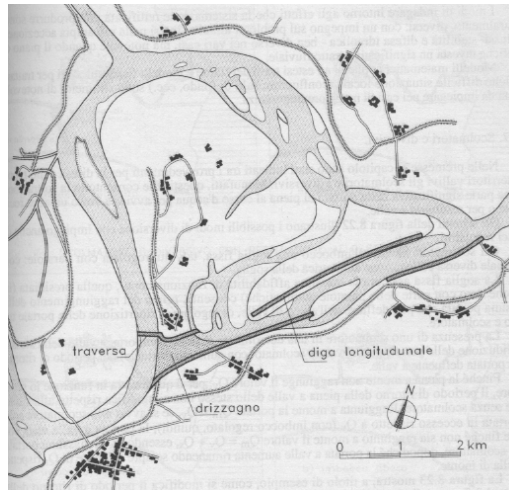
- Se gli scarichi di fondo del serbatoio sono muniti di paratoie, è possibile modulare l'apertura degli scarichi per imporre una portata massima Q_e^* scaricata a valle, funzione della massima portata che può transitare nei tratti a valle senza conseguenze



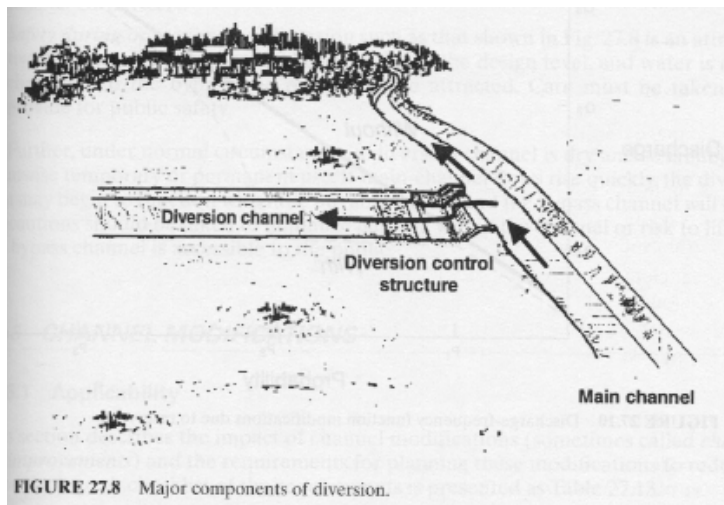
Risagomatura dell'alveo



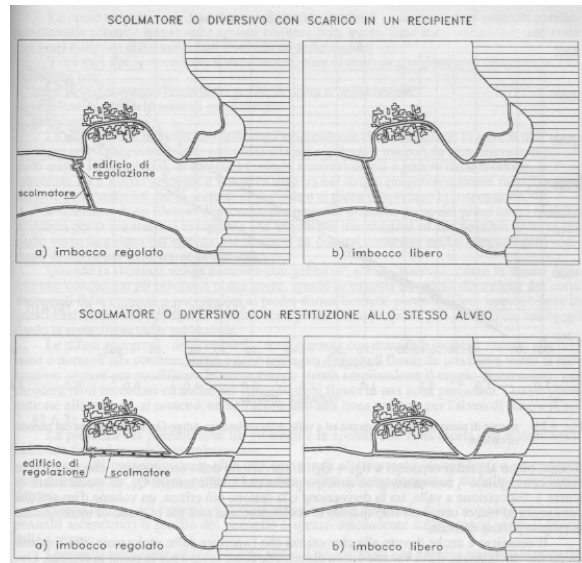
Rettifiche fluviali



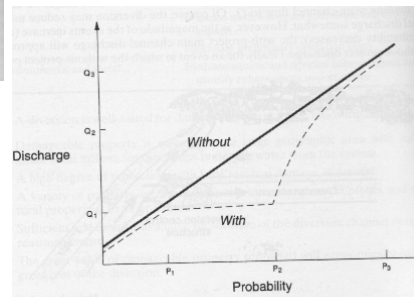
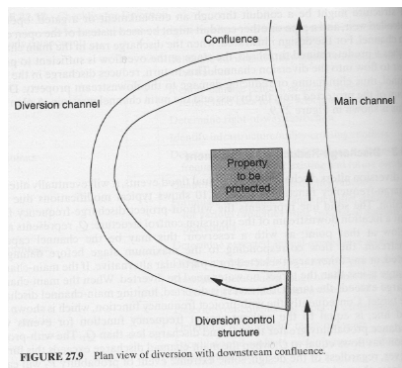
Scolmatori o diversivi



Scolmatori o diversivi



Diversivi



Floodproofing

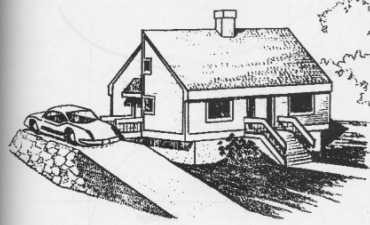


FIGURE 27.20 Floodproofing by raising an existing structure in-place. (From U.S. Department of Housing and Urban Development, 1977.)

with a crawl space and no basement. Specific actions required to raise this structure are listed in Table 27.19. While it is possible to raise almost any structure, raising a structure such as that illustrated is most likely to be economically justified and physically feasible. Note that in the figure, fill was used to raise the car-parking pad.

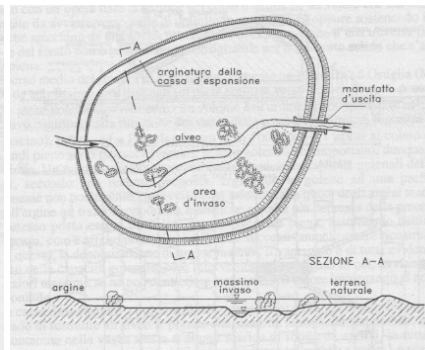
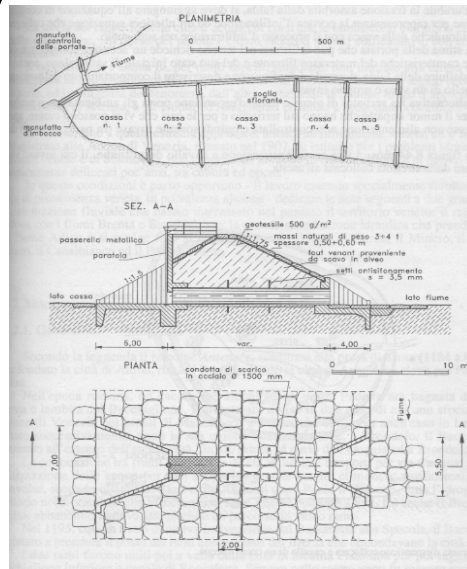
17.R.2.3 Flood-Damage-Reduction Assessment. Floodproofing alters the stage-damage relationship for structures. The manner in which it does so depends on the measures used. Figure 27.21 illustrates the alteration when a closure or small wall is used. The existing condition, without project stage-damage function is shaded gray; the modified function is the dotted curve. Without the closure or wall, damage begins when stage reaches S_1 , as shown in the figure. With the closure or wall in place, the onset of damage is raised to stage S_2 . Of course, if the stage exceeds S_2 , the closure or wall is overtopped, and damage is essentially that which would be incurred without the measure. In the figure, this is represented by the sharp increase in with-project damage for stage greater than S_2 .

TABLE 27.19 Actions Required to Raise a Structure In-Place

1. Disconnect all plumbing, wiring, and utilities that cannot be raised with the structure.
2. Place steel beams and hydraulic jacks beneath the structure and raise to desired elevation.
3. Extend existing foundation walls and piers or construct new foundation.
4. Lower the structure onto the extended or new foundation.
5. Adjust walks, steps, ramps, plumbing, and utilities. Regrade site as desired.
6. Reconnect all plumbing, wiring, and utilities.
7. Insulate exposed floors to reduce heat loss and protect plumbing, wiring, utilities, and insulation from possible damage.

Source: USACE (1978).

Casse di espansione



Servizi di piena

- Il servizio di piena è un metodo non strutturale di tipo attivo per la mitigazione del rischio alluvionale
- Esso ha lo scopo di fronteggiare il rischio residuale non coperto da altre opere di difesa
- Da un punto di vista idrologico-idraulico, gli strumenti essenziali per un efficace preannuncio delle piene sono:
 - Rete di osservazione idro-meteorologica in tempo reale
 - Radar meteorologico
 - Modelli di previsione a scala limitata delle precipitazioni
 - Modelli di trasformazione afflussi deflussi
 - Modelli di propagazione idraulica dell'onda di piena
- Da un punto di vista organizzativo è fondamentale lo sviluppo di protocolli precisi che definiscono il “chi fa che cosa”.