



## ARGINI E DIGHE IN TERRA

Gli argini in terra sono opere costituite da rilevati strutturali che in genere presentano altezze considerevoli rispetto al piano medio di campagna, con la funzione di «tenuta» dell'acqua.

La realizzazione degli argini pone molteplici problemi che devono essere affrontati in sede di progettazione. I problemi di carattere generale sono legati alla altezza delle opere, quindi al loro peso alle dimensioni trasversali con relativi vincoli geometrici, alla reperibilità di materiale per la costruzione dell'opera stessa., agli aspetti idraulici.

Gli argini sono generalmente realizzati con un rilevato in terra omogenea. Il materiale è di solito terra a granulometria fine classificata A6 o A4 nel sistema di classificazione CNRUNI 10006. La permeabilità che si attende nella costruzione dell'argine con le terre dianzi indicate è non superiore a  $10^{-6} \div 10^{-8}$  m/s per contenere i fenomeni di filtrazione ed un elevato peso di volume per assicurare la stabilità al franamento.

Geotecnica del sottosuolo

Geotecnica dell'opera in terra

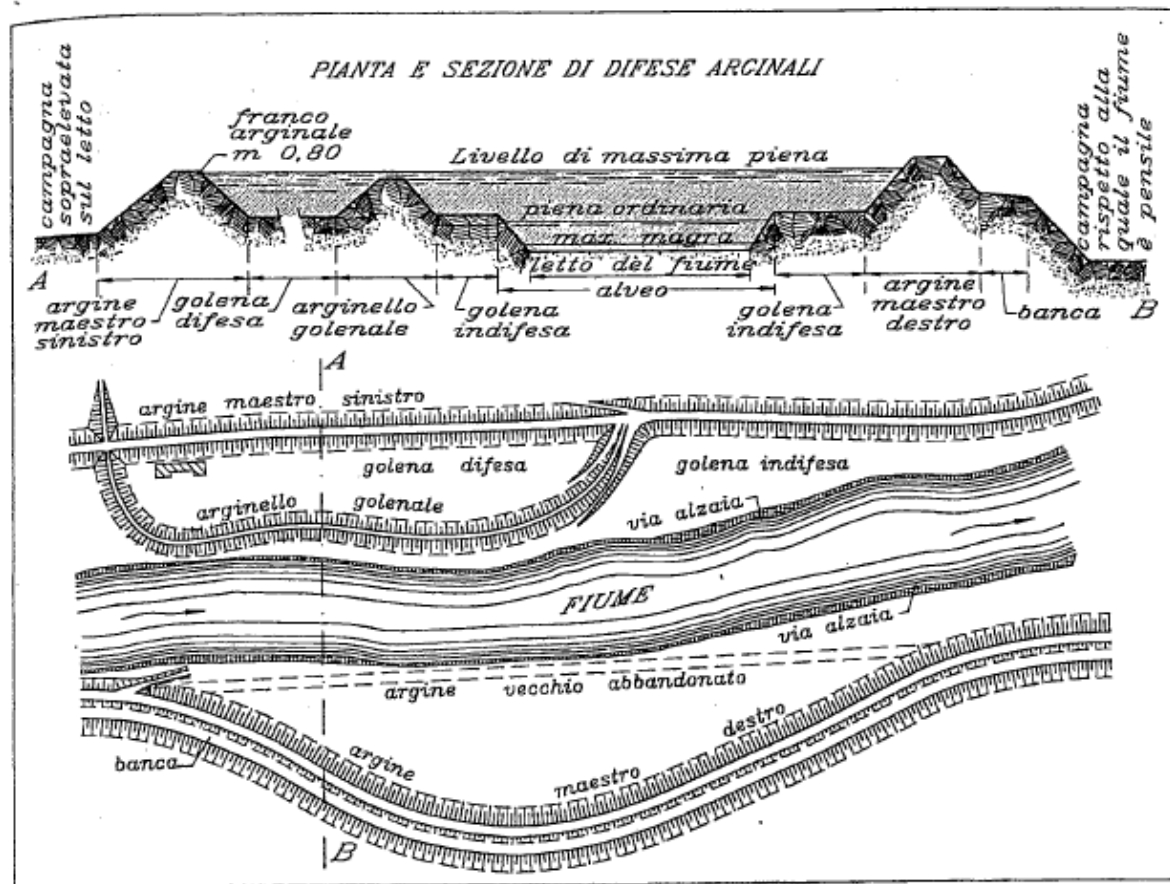
Geotecnica dell'interazione tra opera in terra e sottosuolo

Idraulica.



# ARGINI E DIGHE IN TERRA

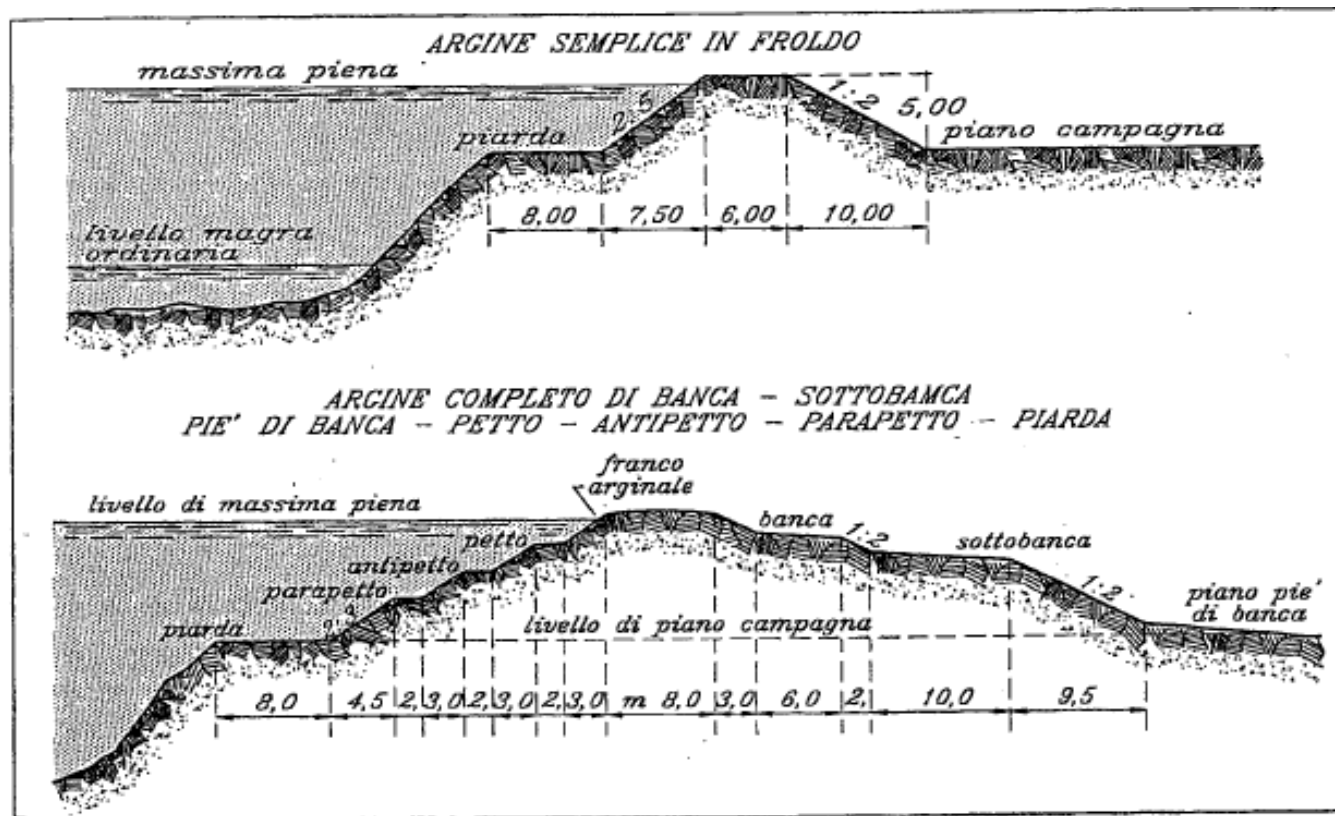
## NOMENCLATURA





# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## NOMENCLATURA



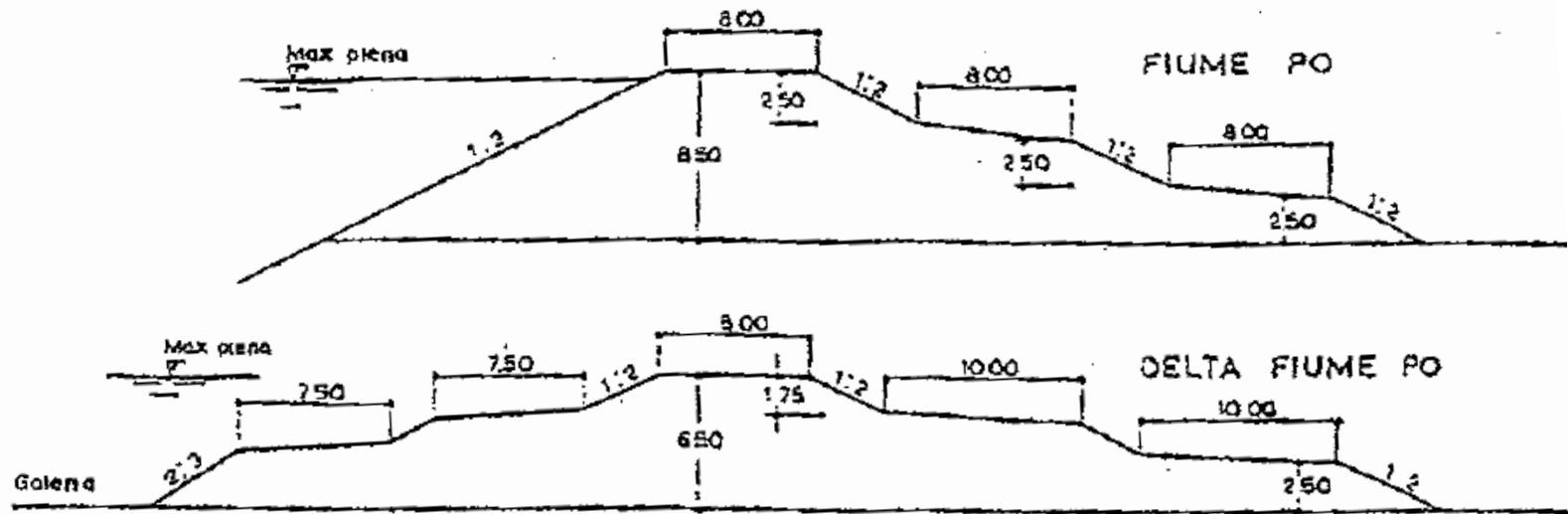
Ridisegnato da una vecchia pubblicazione del Ministero dei Lavori Pubblici



# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

I problemi idraulici e strutturali dei corpi d'argine hanno comportato, nel tempo e per i diversi corsi d'acqua con le relative caratteristiche, forme ampie con sviluppi trasversali molto importanti:

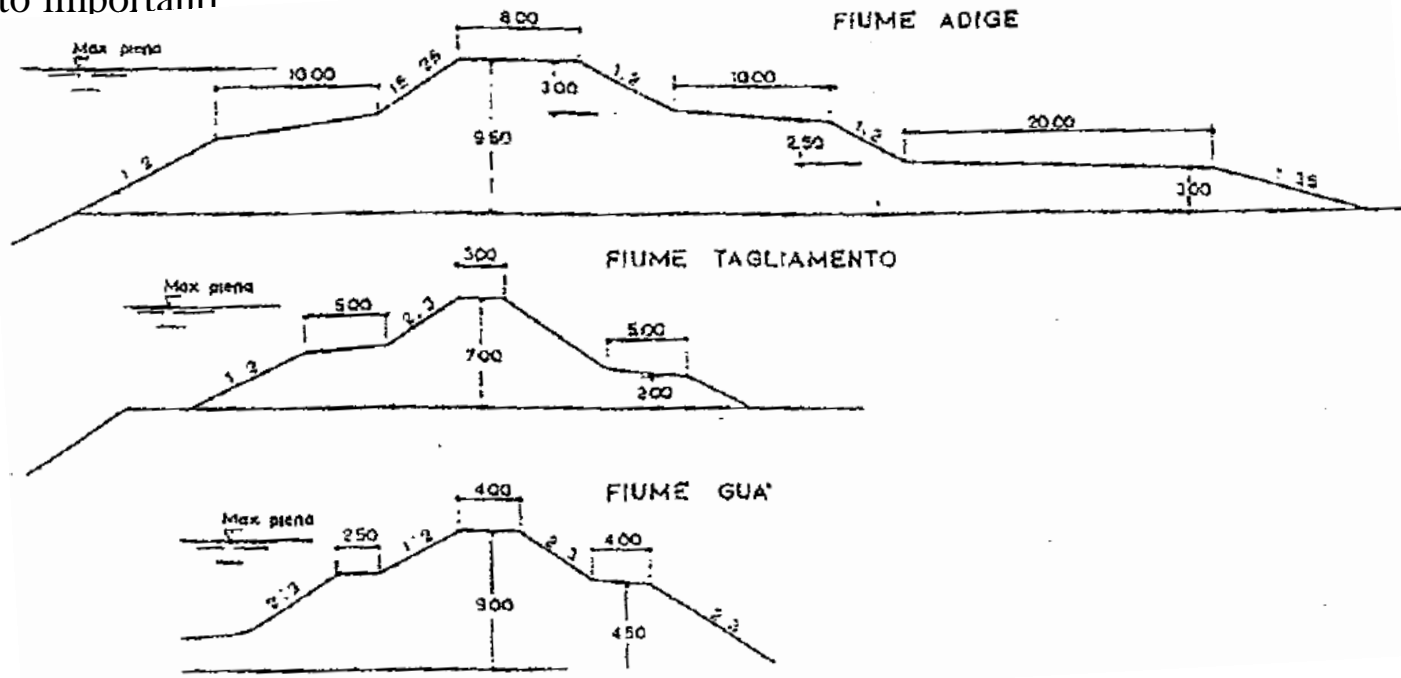




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

I problemi idraulici e strutturali dei corpi d'argine hanno comportato, nel tempo e per i diversi corsi d'acqua con le relative caratteristiche, forme ampie con sviluppi trasversali molto importanti:





## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### Tipologie di arginature

La forma della sezione trasversale dell'argine con la pendenza più dolce verso campagna è dettata dalla necessità di mantenere la linea di filtrazione ma anche di contenere il pericolo di sifonamento oltre a garantire la stabilità dell'opera rispetto alla possibilità di franamento verso campagna.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto del 8 febbraio 1873, nelle linee guida per la realizzazione delle arginature indicava pendenza di 1:2 per le scarpate verso campagna e 1:1,5 – 1:2 per quelle verso fiume. Verso campagna venivano indicate contro-banche di 6-10m di larghezza a partire da 3m dalla quota massima dell'argine o l'una dall'altra..

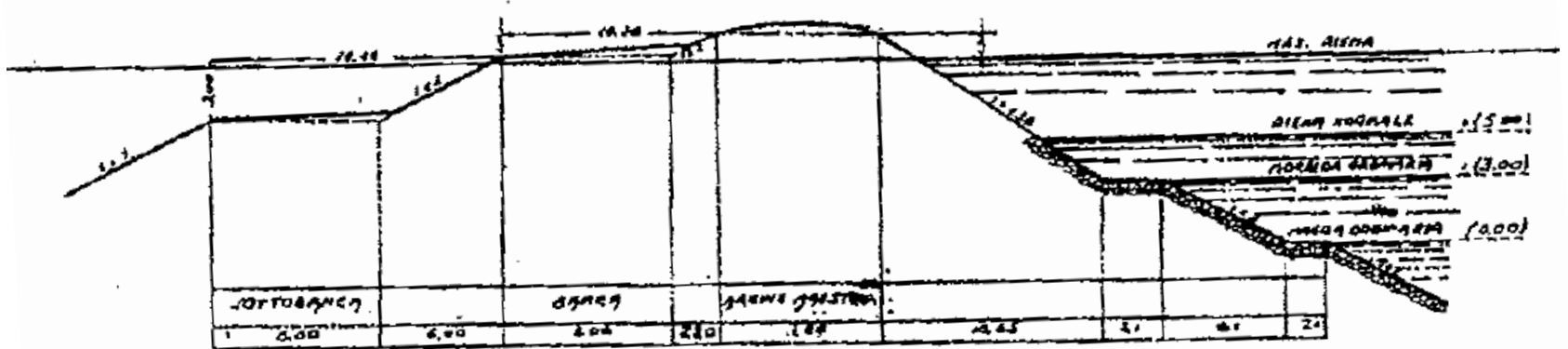
Altre linee guida e disposizioni si sono susseguite nel tempo ed in particolare in relazione ad eventi di collasso di arginature di Fiumi con in l grande fiume Po. Le «Linee guida per l'esecuzione degli interventi di adeguamento delle arginature del Fiume Po in fase di progettazione e costruzione» del Magistrato del Po del 22 sett 1999 dopo la piena del 1994 fanno riferimento a pendenze fino a 1:2 e la eventuale formazione di banche in golenale e suggeriscono criteri che prevedono l'innalzamento della sommità dell'argine, utilizzando le esperienze maturate proprio nel corso delle rotture degli argini...



# ARGINI E DIGHE IN TERRA

Tipologie di arginature

## ARGINE IN FROLDO

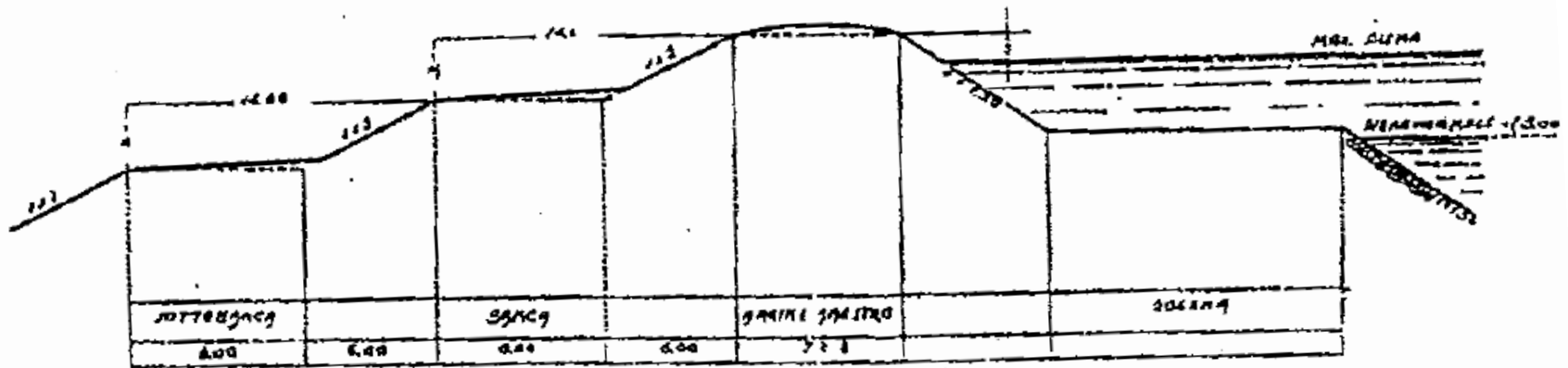




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

Tipologie di arginature

## ARGINE IN GOLENA



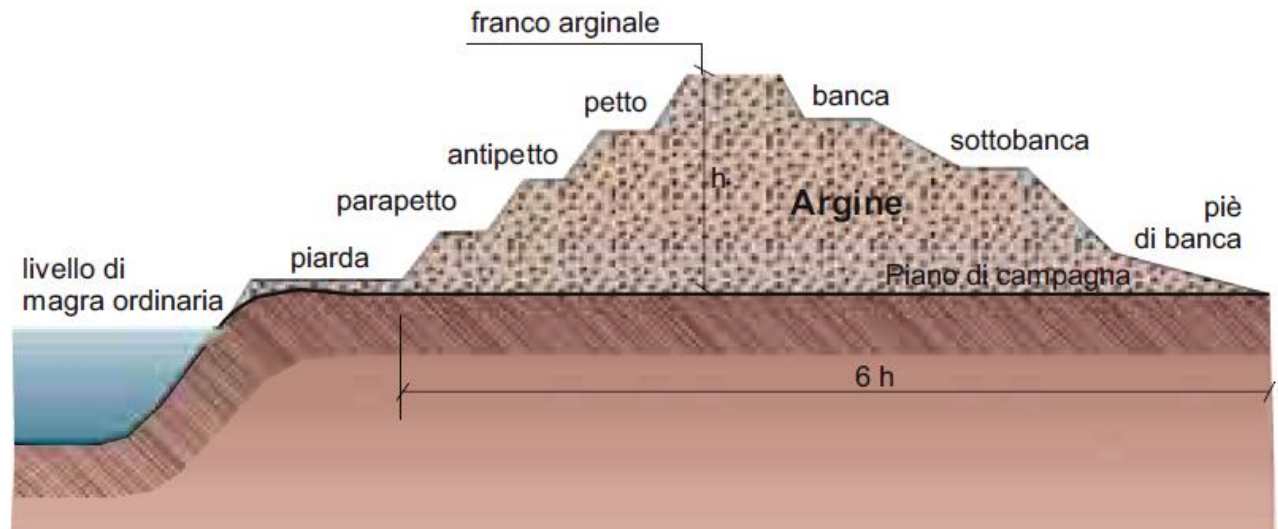




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## NOMENCLATURA

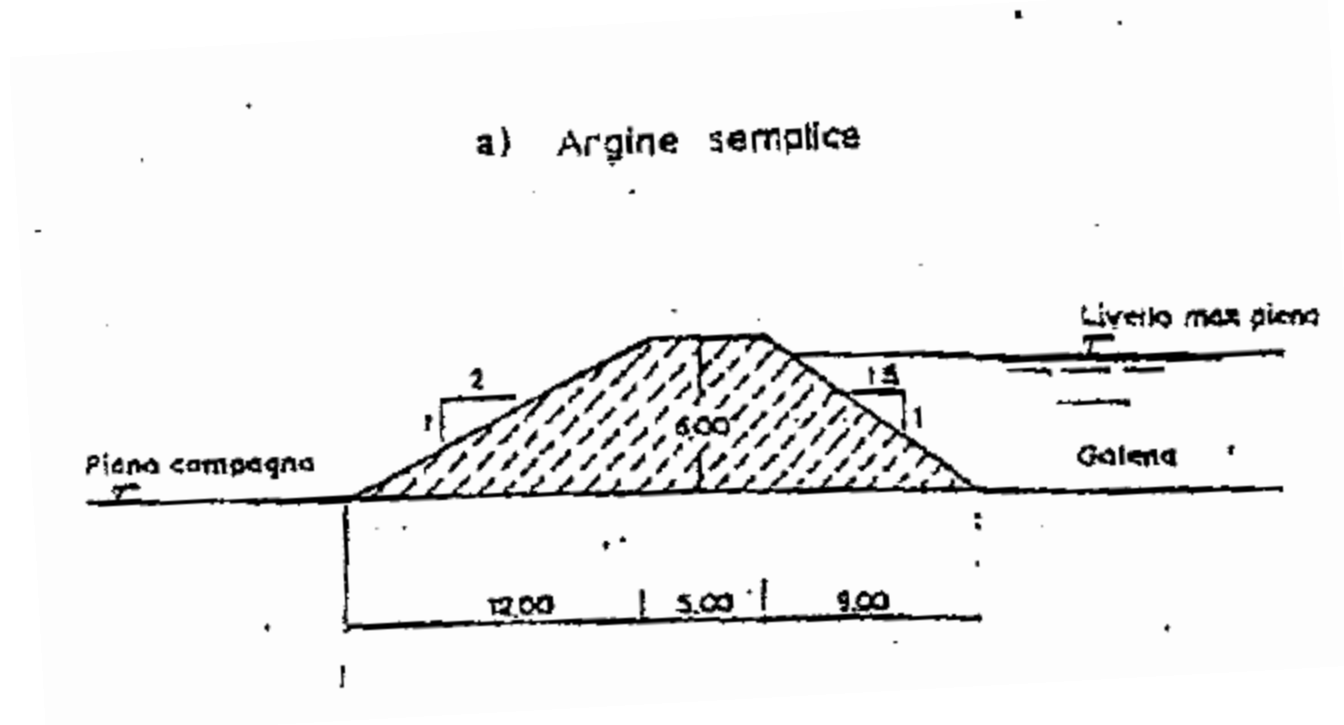
**Figura 2.1.2:** Gli argini maestri di grandi corsi d'acqua sovente presentano una sezione più complessa di quella trapezia ordinaria, così come illustrato in figura. Inoltre talora l'argine funziona anche da strada, ed allora è sistemato in sommità secondo il profilo ordinario di strada carrabile in rilevato.





# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

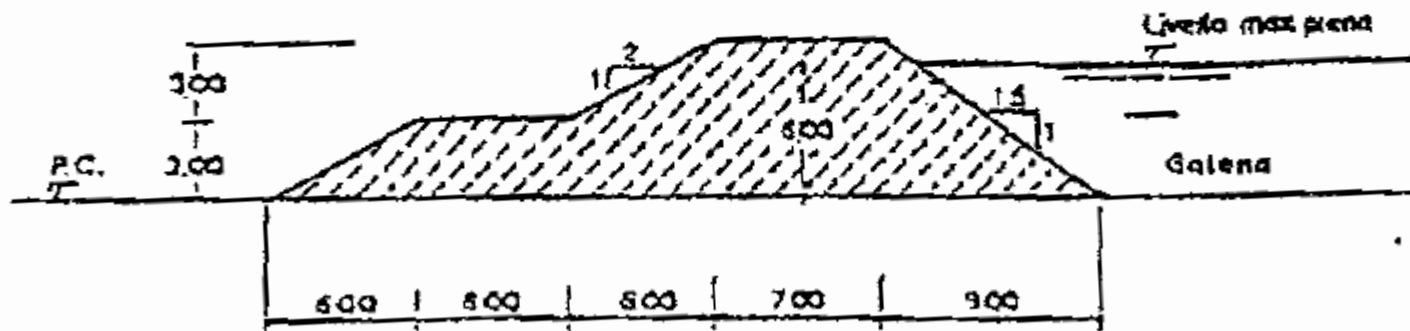




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

Tipologie di arginature

b) Argine con semplice banca

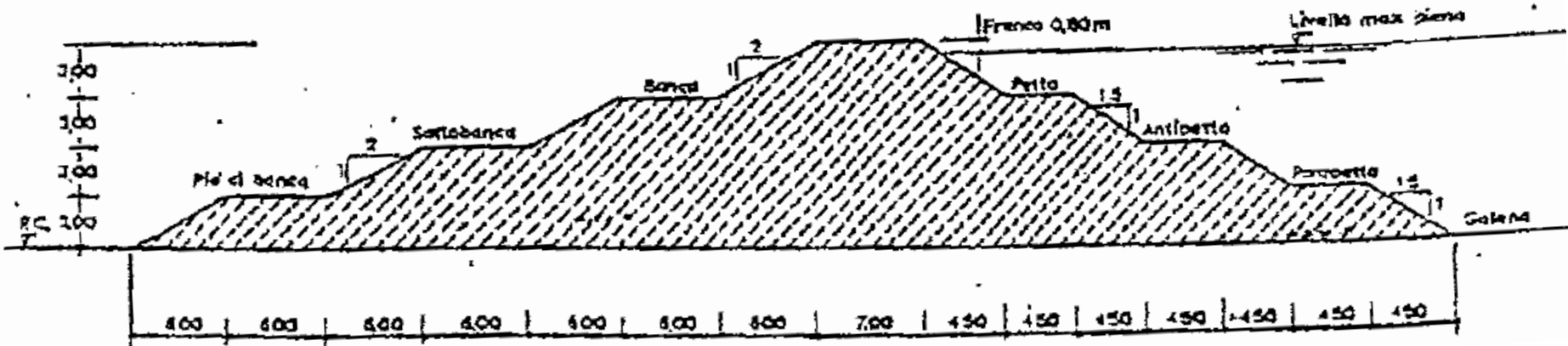




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

c) Argine con banca, sottobanca, pia di banca e petta, antipetta e parapetto



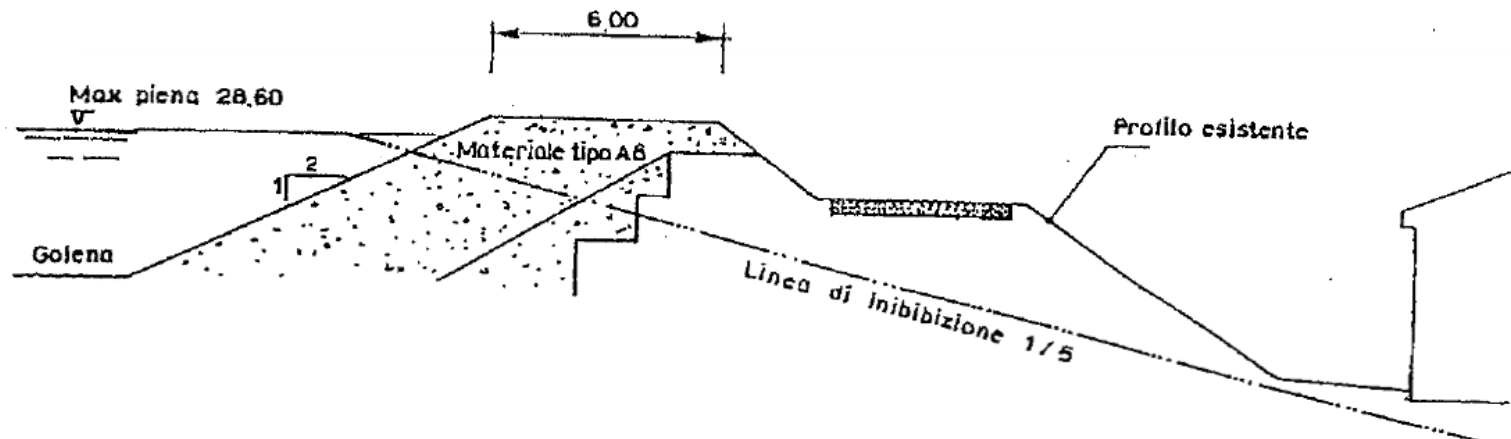






# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

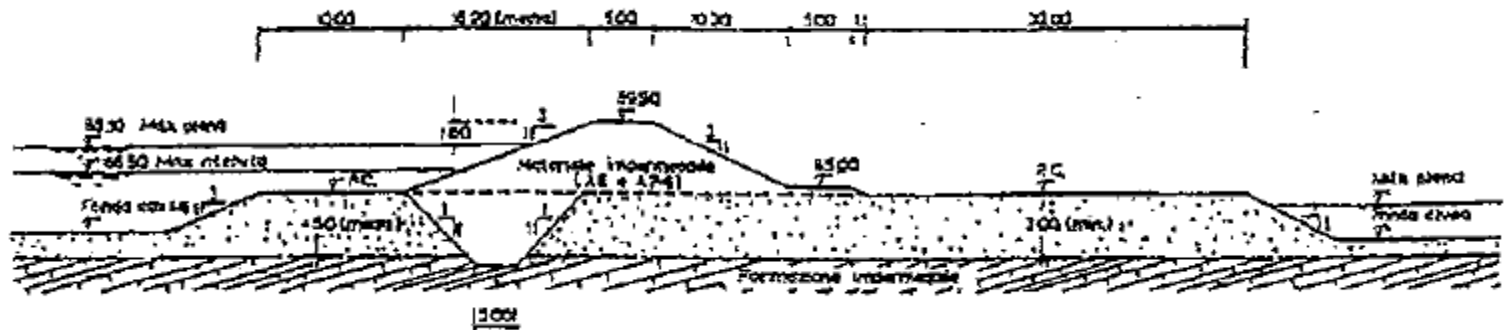




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

Spesso la terra per realizzare gli argini non è sufficiente o non ha le caratteristiche necessarie a realizzare un'opera omogenea. In questi casi occorre ricorrere alla formazione di nuclei di materiale poco permeabile.





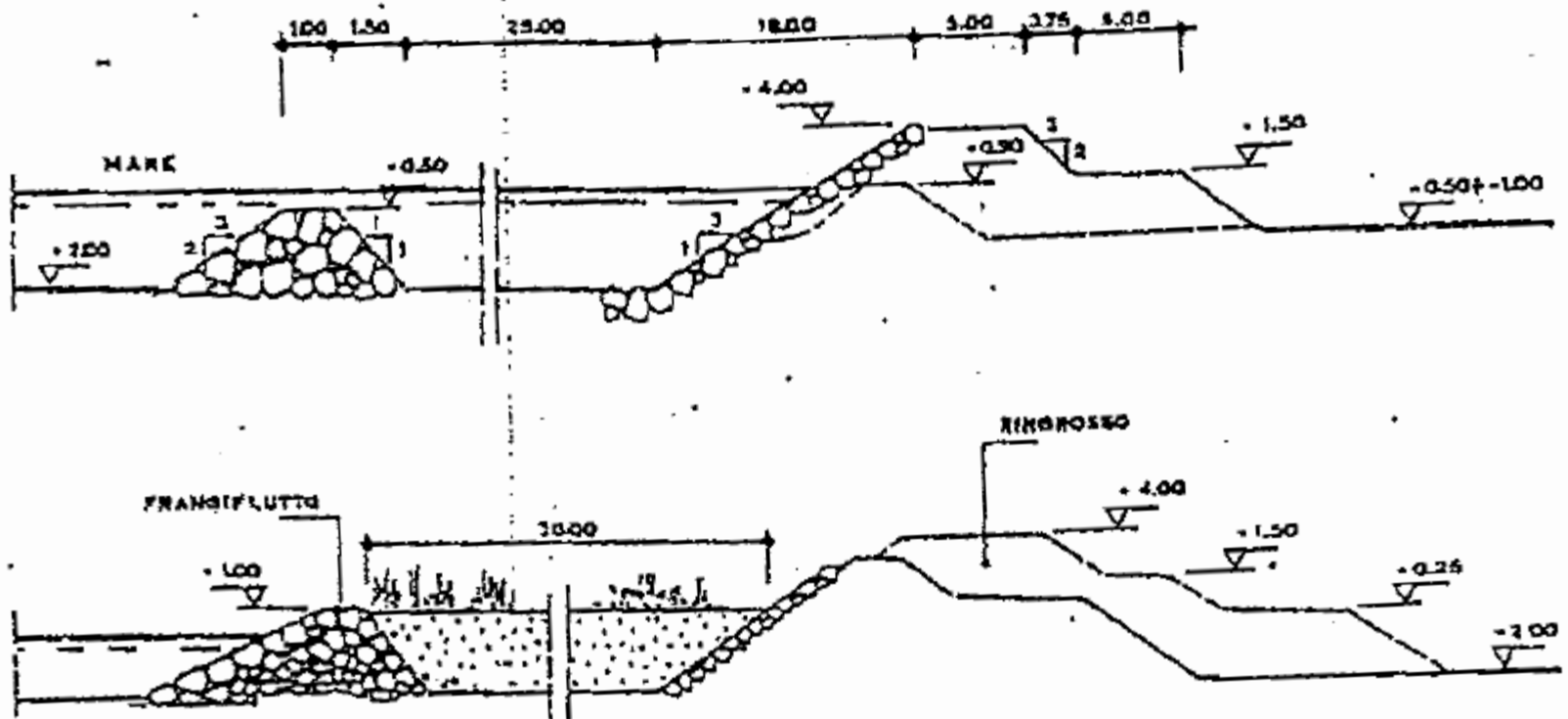




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

Arginature di difesa costiera

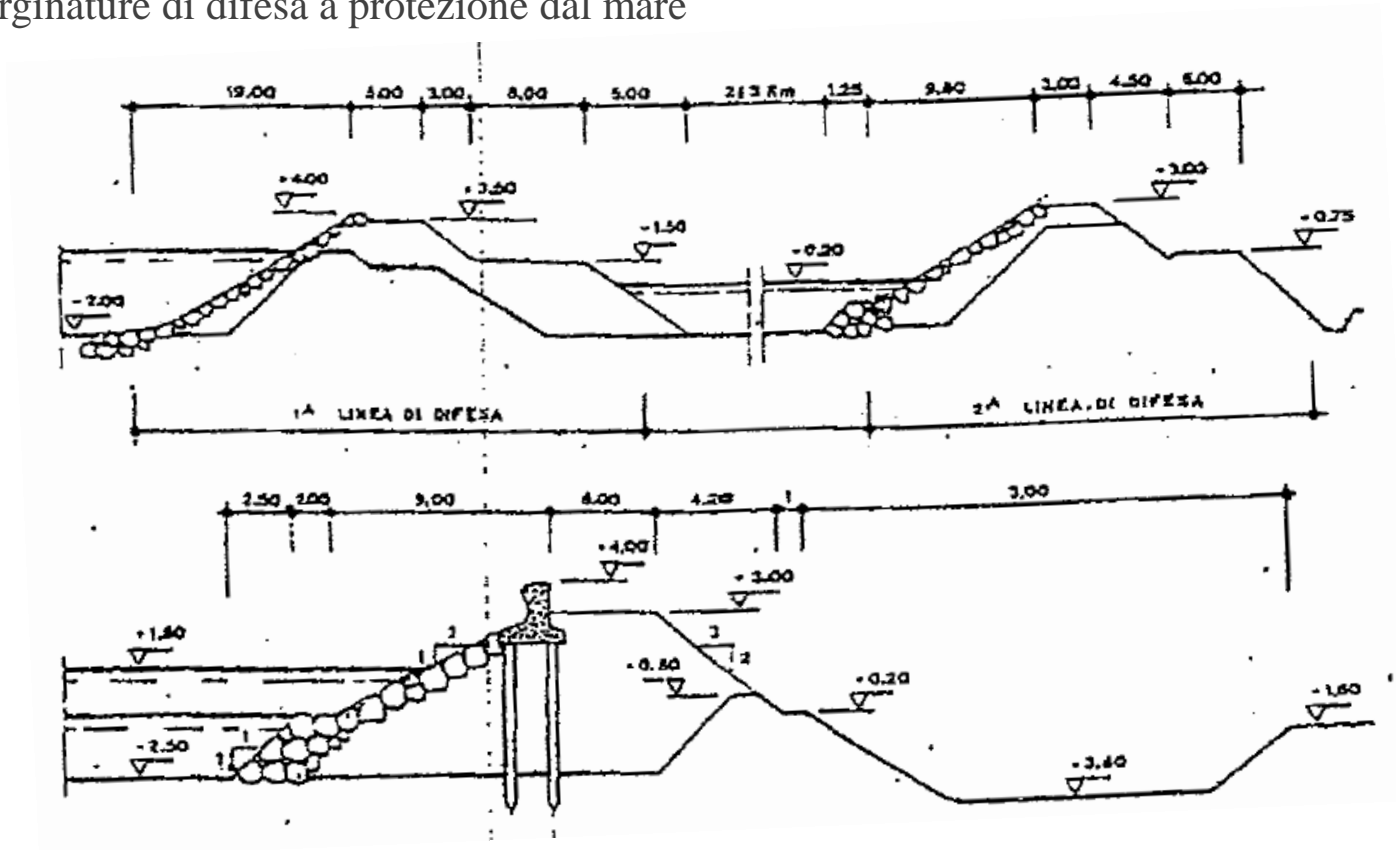




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

Arginature di difesa a protezione dal mare

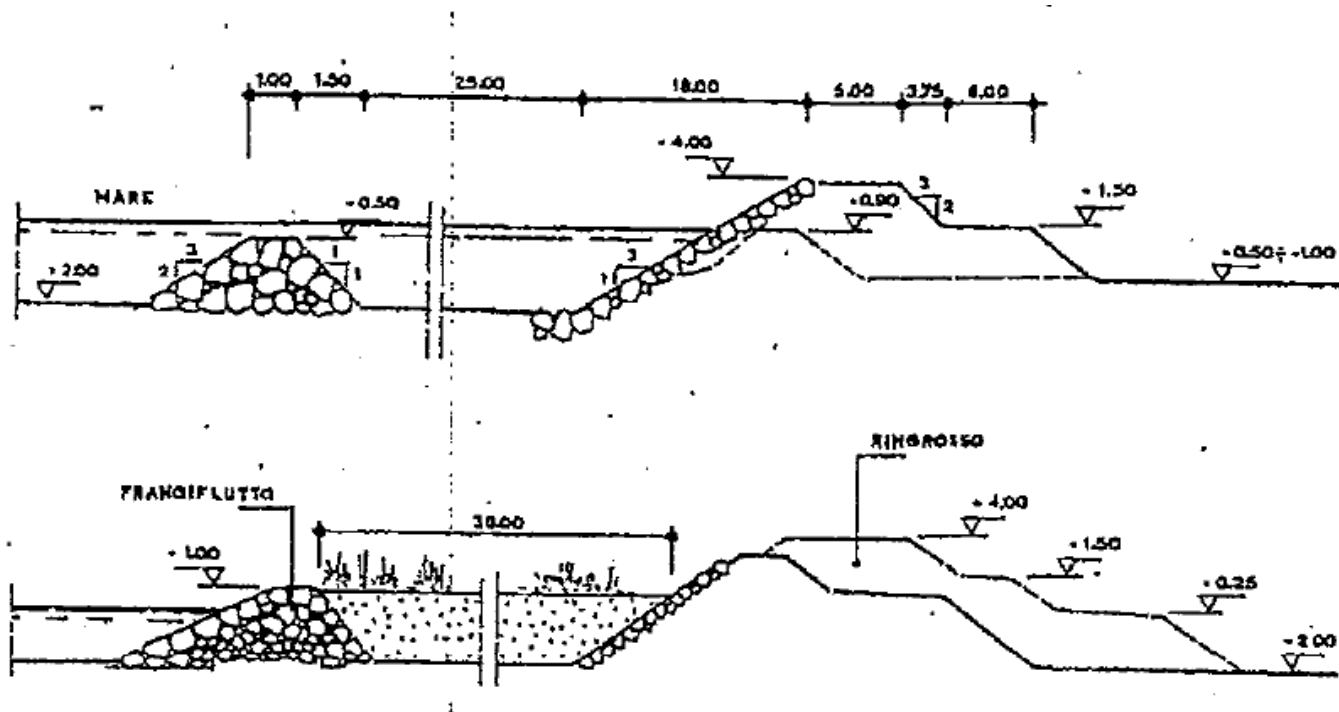




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

Arginature di difesa a protezione dal mare

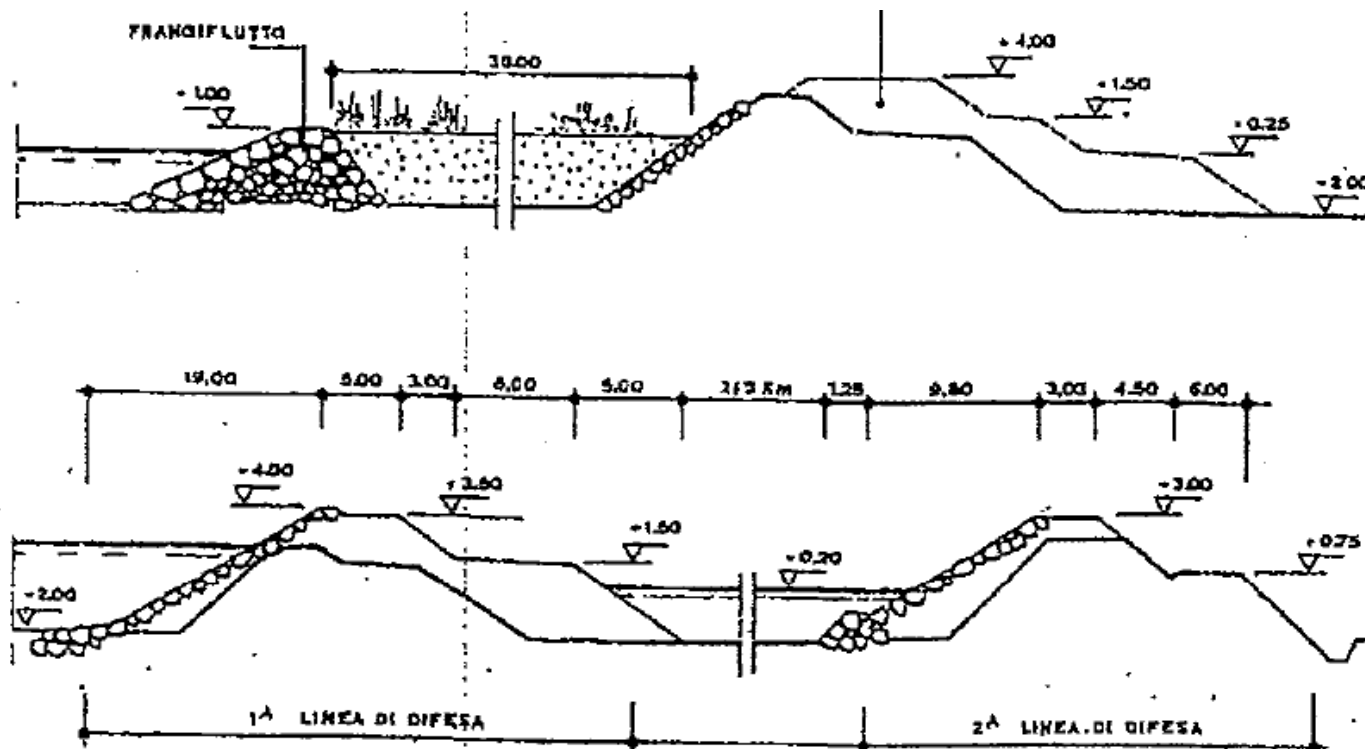




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## Tipologie di arginature

Arginature di difesa a protezione dal mare





# ARGINI E DIGHE IN TERRA

Tipologie di arginature: sovralti

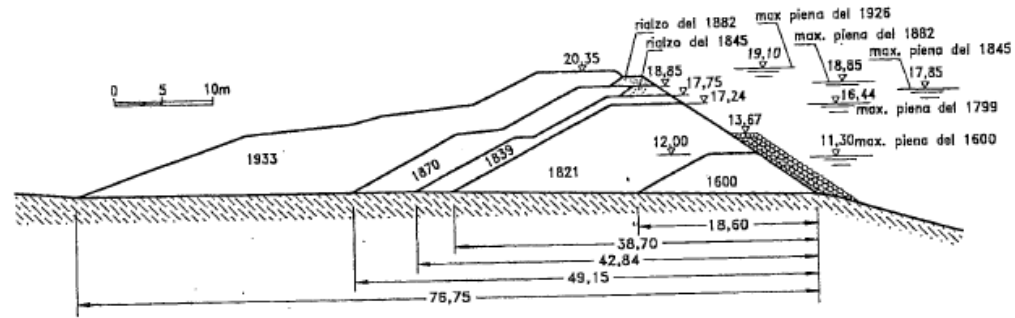


Fig. 8.3: rialzi e ringrossi dell'argine sinistro dell'Adige a Masi dal 1600 al 1933.

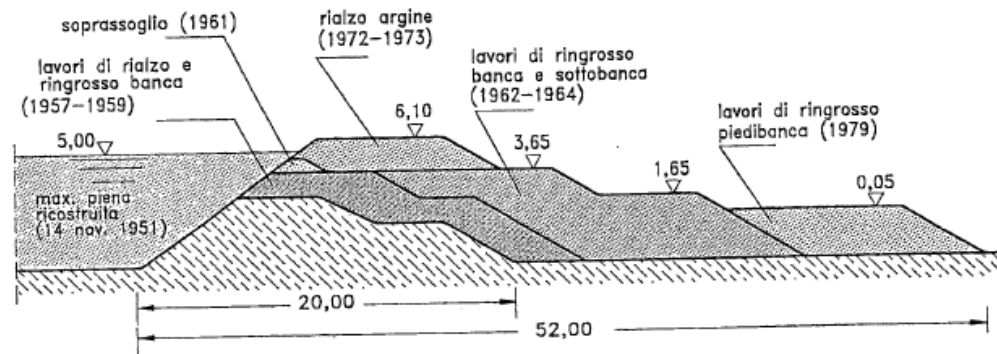


Fig. 8.4: rialzi e ringrossi dell'argine maestro del Po nella zona del Delta dopo la piena del



# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## NORMATIVA E LINEE GUIDA

Norme NTC 2008 cap. 6,7

Circ.617/09

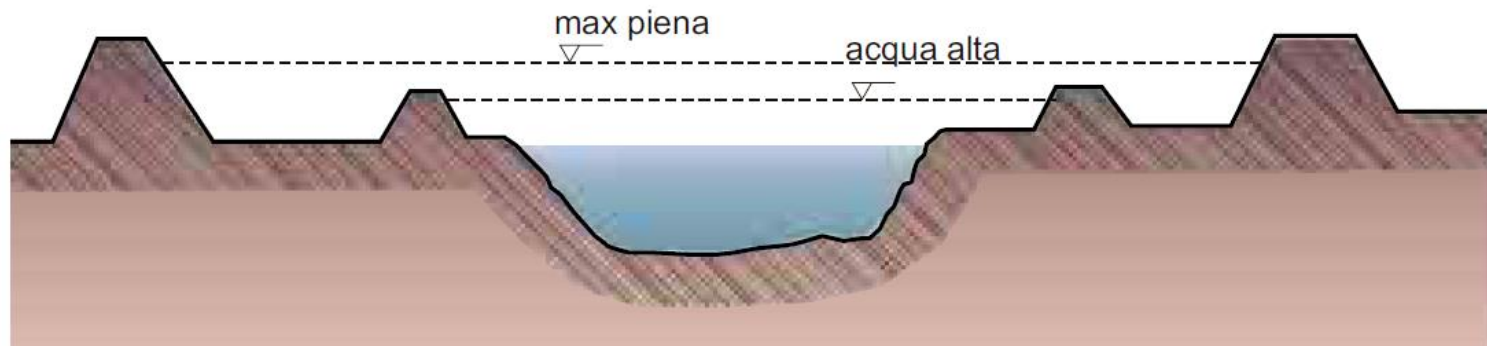
EC7

Linee guida dei Magistrati delle acque



## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### TIPOLOGIE



**Figura 2.4:** La figura rappresenta la sezione trasversale di un corso d'acqua con argini longitudinali maestri, ed argini di golena; con questo assetto il fiume viene ad avere un letto di magra, un letto fra gli argini di golena per le acque alte, ed uno molto più ampio fra gli argini maestri, corrispondenti alla sezione occorrente per il deflusso alle massime piene.

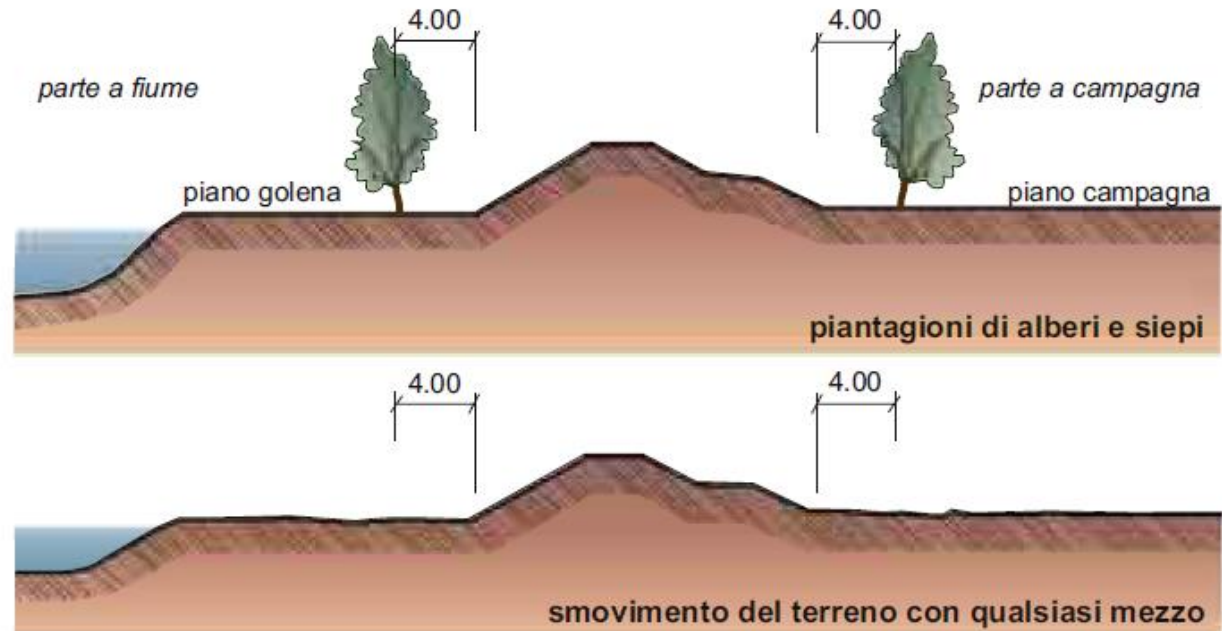




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## NORME E DISTANZE

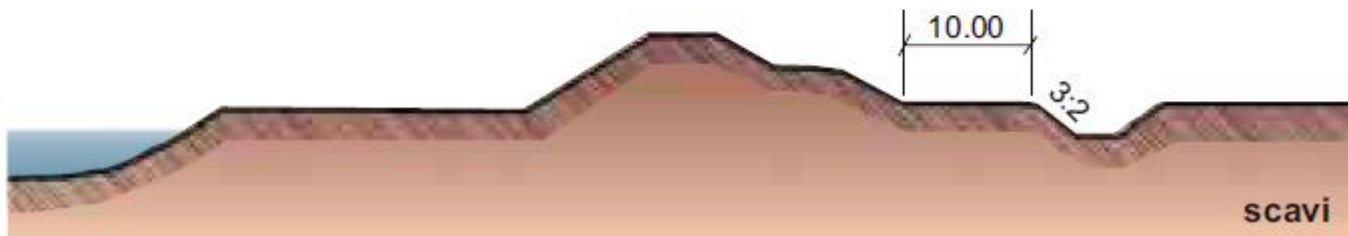
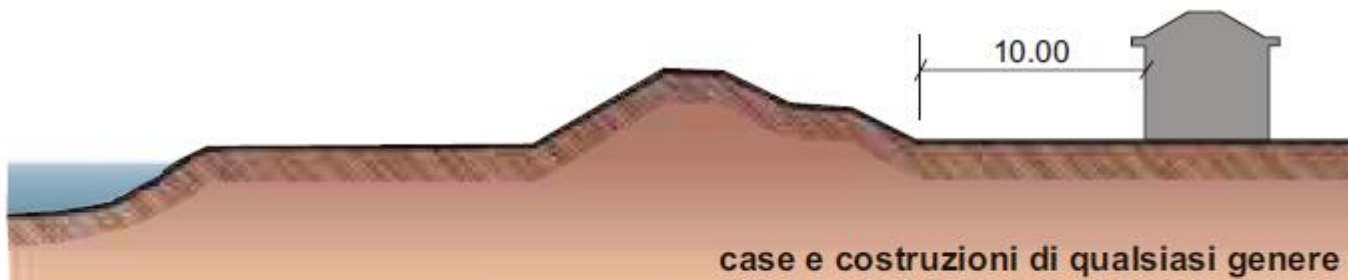
**Figura 2.1.1:** Distanze minime dalle arginature fluviali. D.M. 25/27/1924 n.523.





# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## NORME E DISTANZE

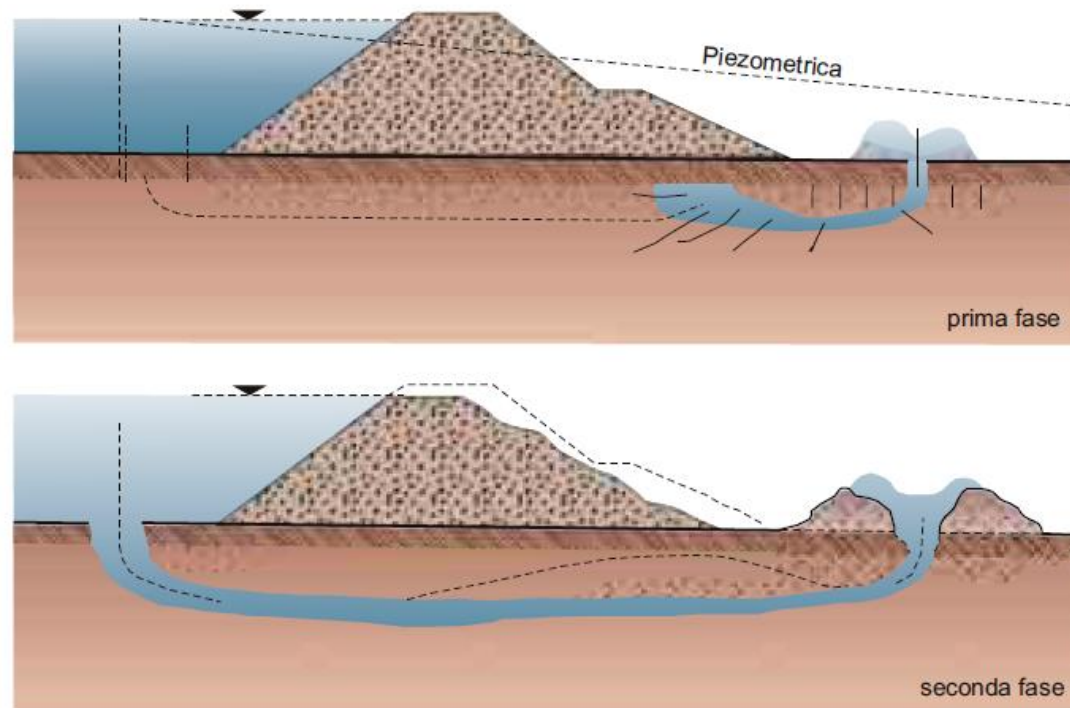




## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### SIFINAMENTO

**Figura 2.1.5:** Fenomeno del sifonamento oltre il piede di un argine. L'acqua che filtra dal fiume verso l'esterno, solleva ed erode il terreno oltre il piede dell'argine, dove viene a mancare il peso stabilizzante del terreno del rilevato. Nella prima fase il terreno oltre l'argine si fluidifica e l'acqua affiora abbondantemente, erodendo il terreno. Nella seconda fase, l'erosione è arretrata ormai verso il fiume creando un vero e proprio canale e provocando il collasso dell'argine a causa dell'asportazione di terreno al di sotto di esso.



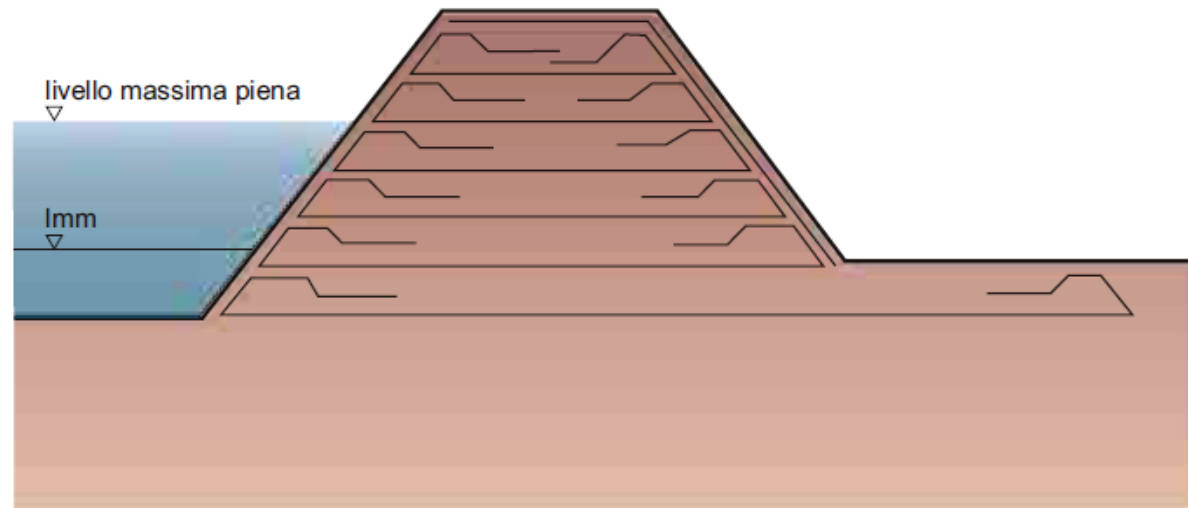


## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### ARGINI IN TERRA RINFORZATA

**Figura 2.1.9:** La diminuzione di ingombro degli argini si può conseguire anche aumentando la pendenza delle scarpate per mezzo della tecnica del rinforzo dei terreni: l'aggiunta di rinforzi plastici o metallici opportunamente dimensionati può consentire di realizzare inclinazioni di 60-70°.

L'uso di questa tecnica richiede però l'impermeabilizzazione dell'argine per impedire fenomeni di filtrazione che verrebbero accentuati dalla presenza di discontinuità all'interno del terreno.





## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### MATERIALE DA COSTRUZIONE

Si utilizzano in genere terre fini, argille e limi argillosi, con i quali si possono ottenere condizioni di bassa permeabilità con modesta deformabilità ed apprezzabile resistenza meccanica a breve e lungo termine. Il materiale da utilizzare deve essere dotato di struttura abbastanza stabile nei confronti dei problemi di imbibizione e fessurazione per rigonfiamento e ritiro per essiccamento o variazione di umidità.

Nei Capitolati per la progettazione e costruzione di rialzi e rinforzi degli argini del Po sono indicati i materiali da utilizzare: si tratta di terre limose ed argillose comprese tra il tipo A6 della classificazione CNR-UNI10006 con contenuto minimo in sabbia del 15% ed il tipo A4 con contenuto massimo in sabbia del 50%.

La mancanza di materiale adatto a formare argini omogenei impone spesso la necessità di intervenire con nuclei formati con materiali più impermeabili o con altre tecniche.

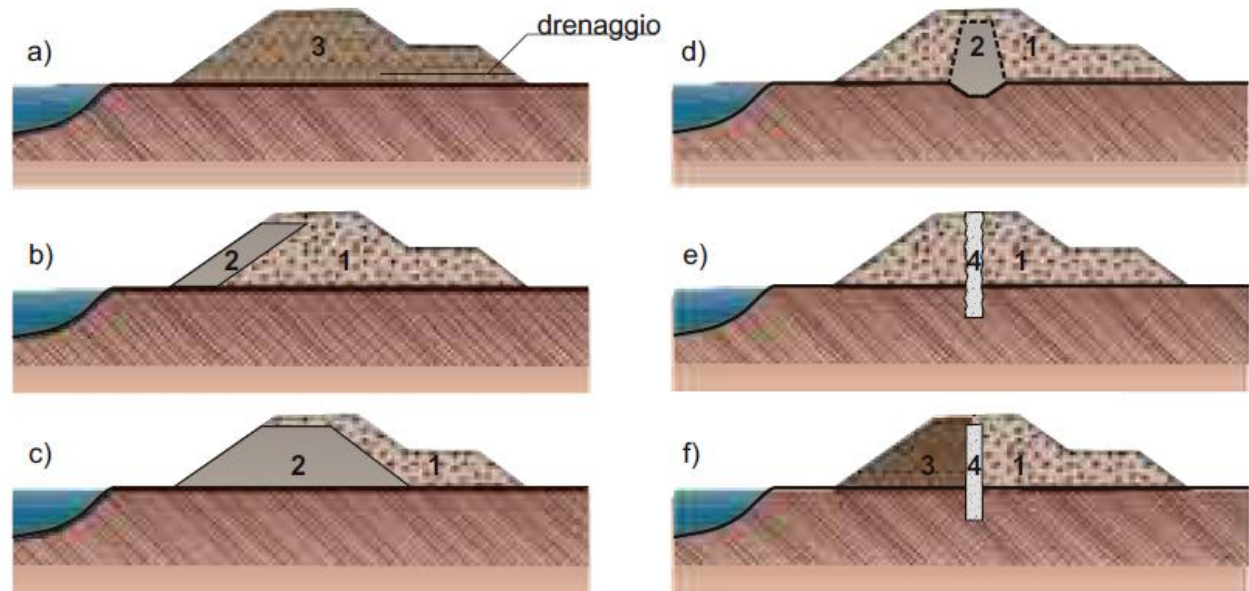


## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### ARGINI CON NUCLEI E SISTEMI COSTRUTTIVI

**Figura 2.1-3:** Sezioni arginali a zone con permeabilità diversa, atte a garantire funzioni di drenaggio e di impermeabilizzazione. Questa tecnica consente di minimizzare la quantità di materiali con determinate caratteristiche idrauliche, il cui reperimento in certi casi può costituire un costo elevato. (Colleselli, 1998, rid.)

- 1) materiale molto permeabile
- 2) materiale impermeabile
- 3) materiale permeabile
- 4) setto impermeabile

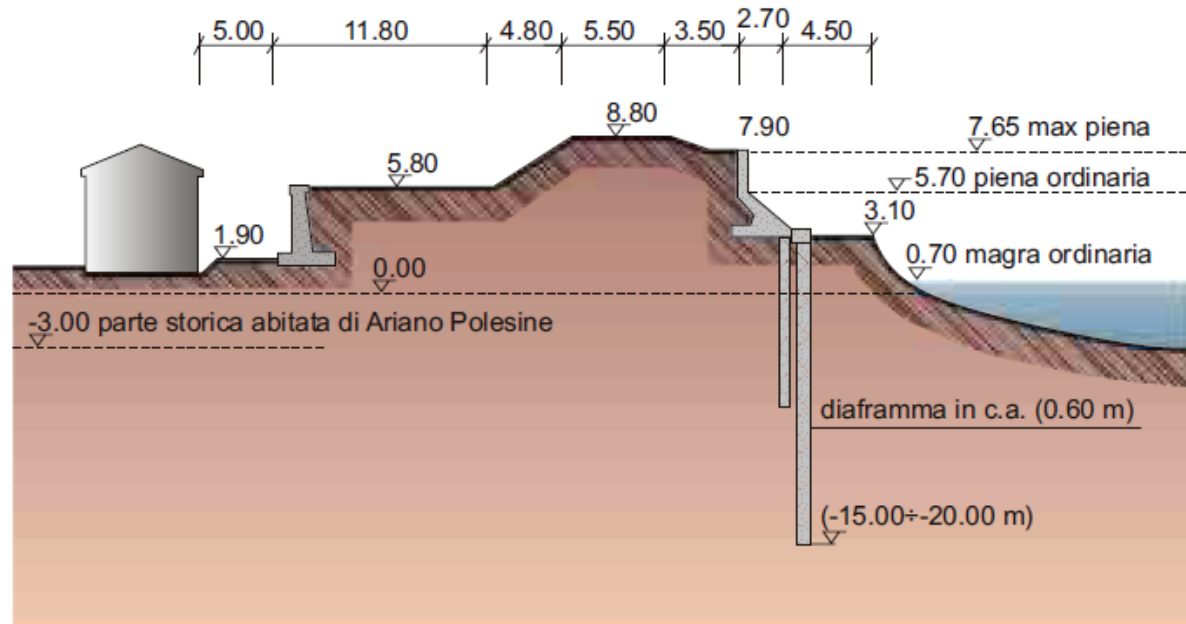




# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## ARGINI ED OPERE DI CONTENIMENTO

**Figura 2.1.8:** La scarsità di spazio disponibile nei centri abitati può rendere necessario l'impiego di muri di sponda per diminuire l'ingombro degli argini. In tal caso però si possono innescare fenomeni di sifonamento degli argini. Per evitare che ciò accada si può ricorrere all'impiego di diaframmi che, se opportunamente dimensionati, costringono l'acqua che filtra sotto l'argine a percorrere distanze maggiori prima di riaffiorare oltre il piede del rilevato. La dissipazione di energia che ne consegue, impedisce l'innescare di fenomeni di sifonamento.

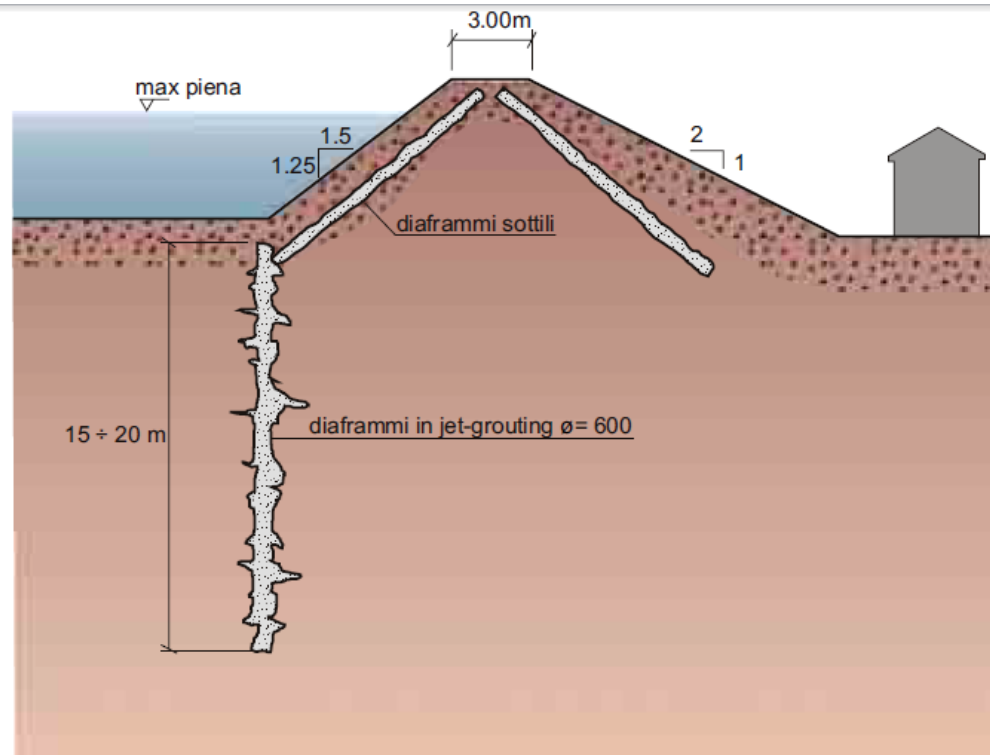




## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### ARGINI CON INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DELLA FILTRAZIONE

**Figura 2.1.7:** I diaframmi oltre che al piede degli argini possono essere utilizzati per impermeabilizzare il corpo stesso del rilevato e rafforzarlo; un esempio di questa applicazione è riportato nella figura che si riferisce ad un intervento lungo il Tagliamento, dove per la realizzazione è stata impiegata la tecnica del Jet-grouting



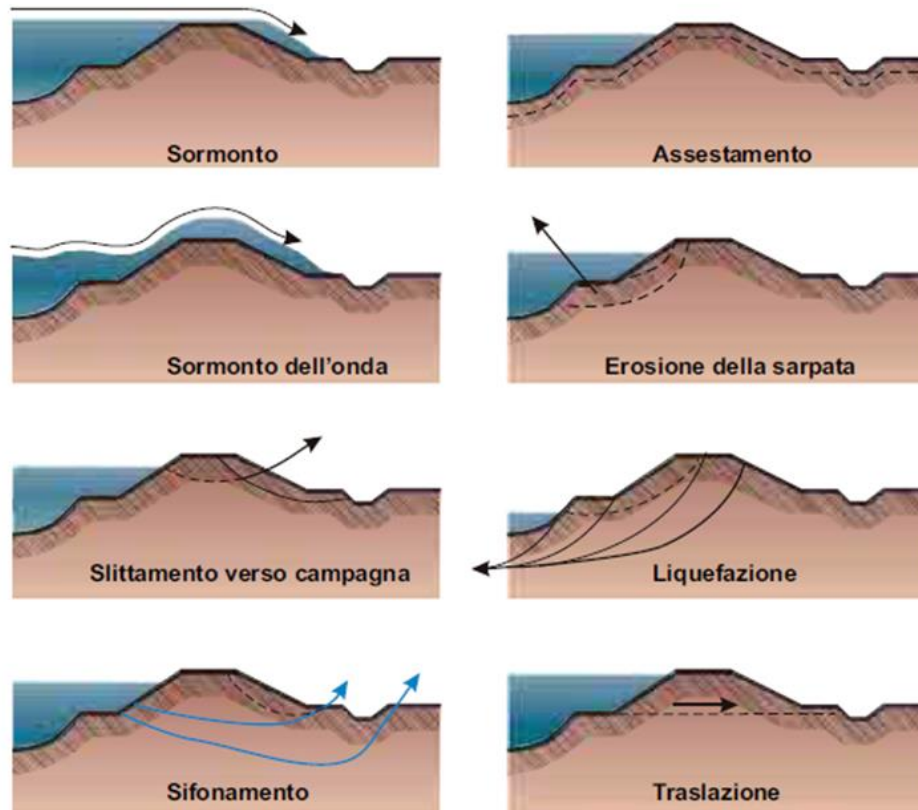




## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### PROBLEMATICHE DI STABILITA'

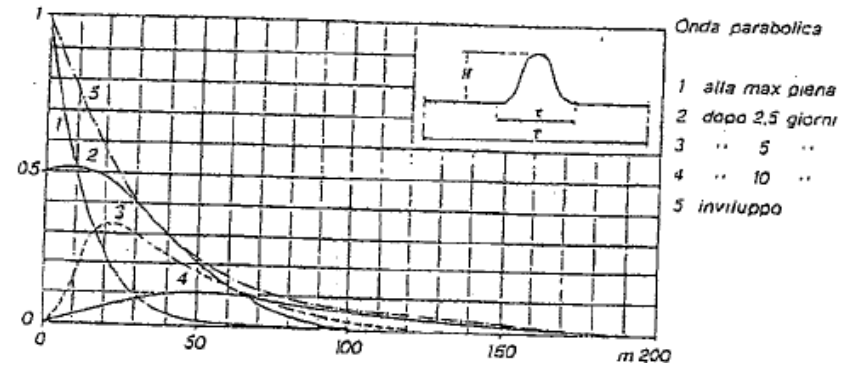
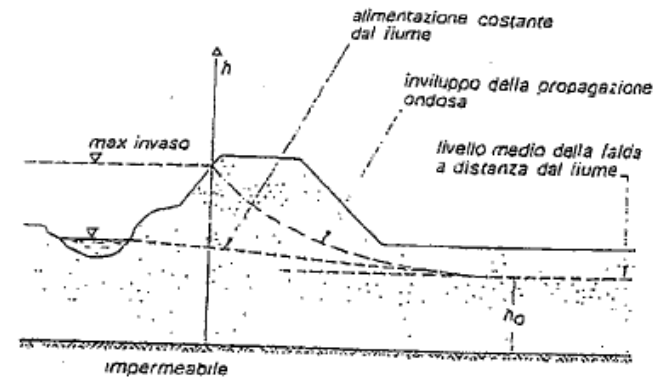
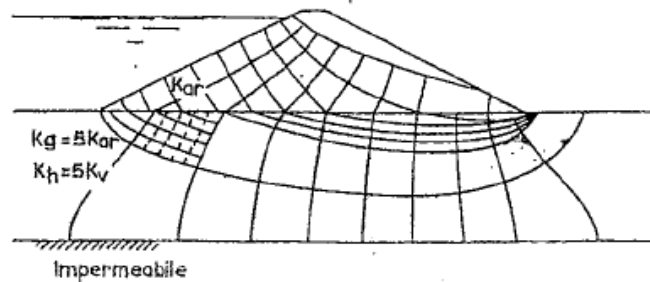
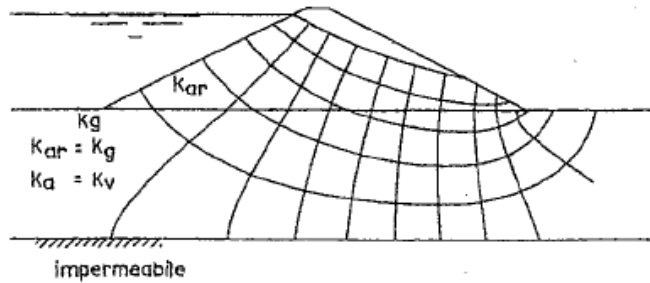
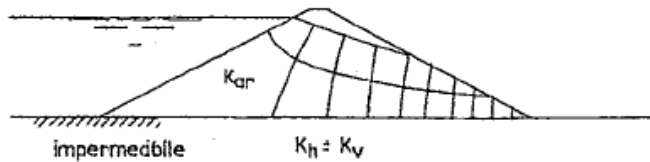
Figura 2.1.10: Meccanismi di rottura degli argini.





# ARGINI E DIGHE IN TERRA

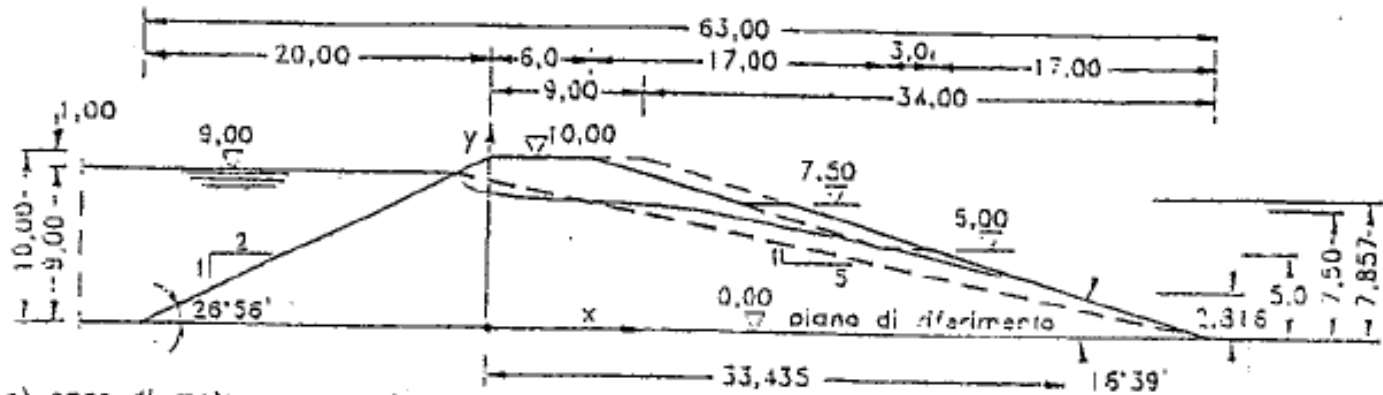
## FILTRAZIONE – SIFONAMENTO- STABILITA': rete di flusso



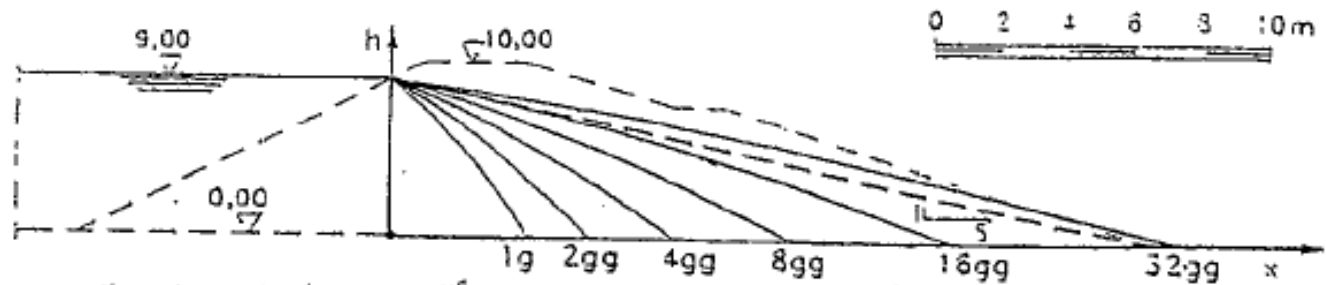


# ARGINI E DIGHE IN TERRA

FILTRAZIONE – SIFONAMENTO- STABILITA': rete di flusso



c) caso di moto permanente

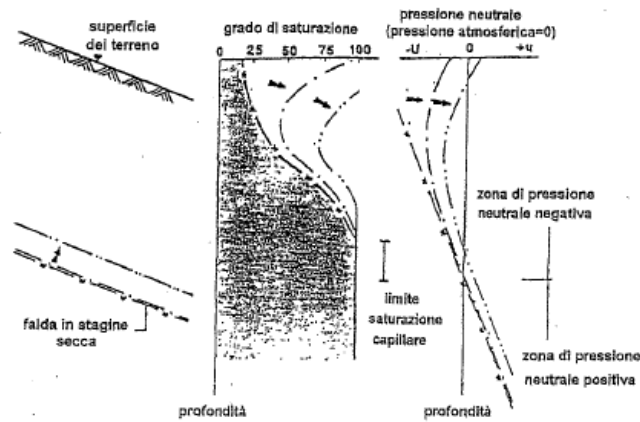


b) caso di moto varia (per  $K=10^{-5}$  m/s e  $n=0,3$ )



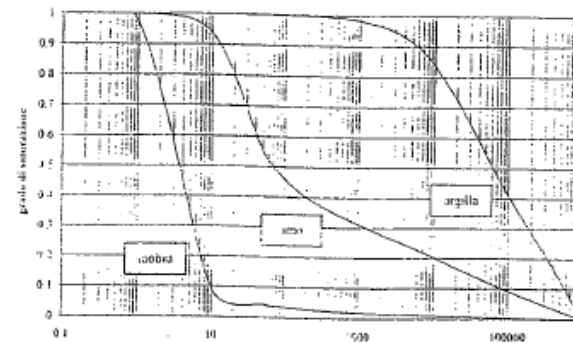
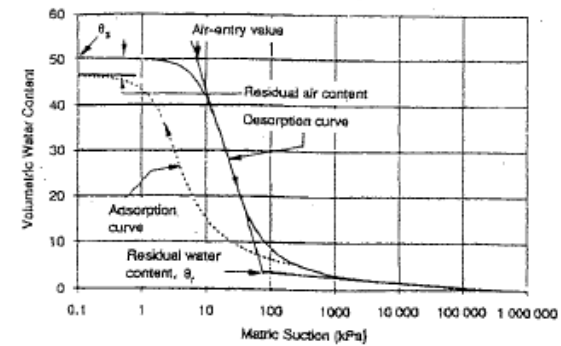
# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## FILTRAZIONE – SIFONAMENTO- STABILITA': rete di flusso



### Legenda

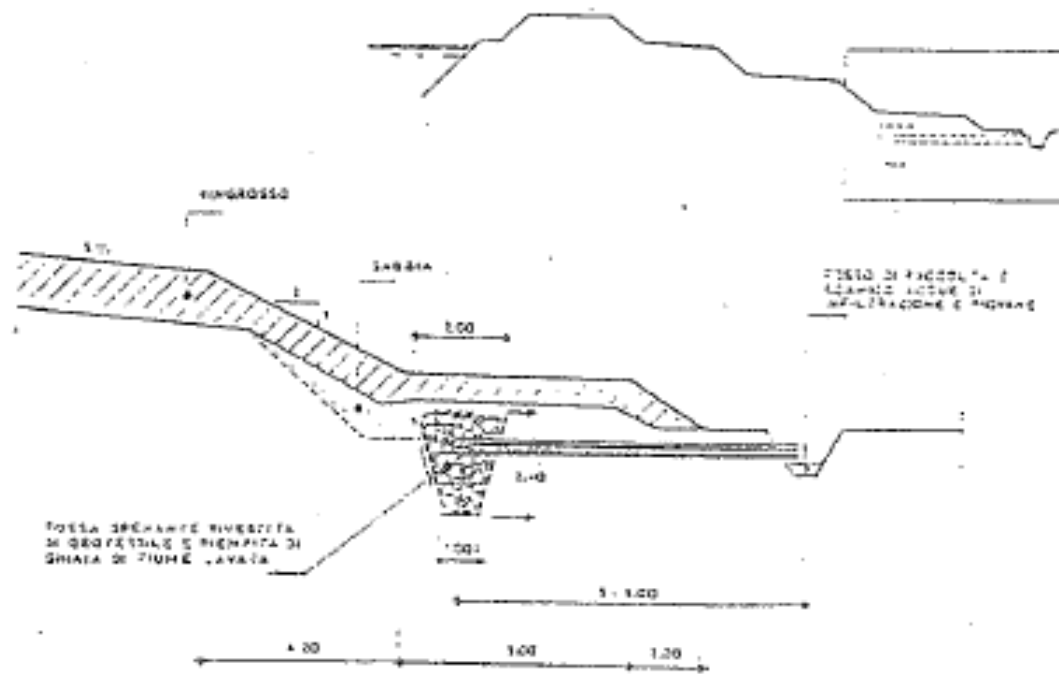
- Conditions at time  $t_0$  (before the start of precipitation)
- Conditions at time  $t_1$  (immediately after the start of precipitation)
- Conditions at time  $t_2$  (after a long period from the start of precipitation)
- Capillary rise or increase in saturation and neutral pressure due to precipitation





## ARGINI E DIGHE IN TERRA

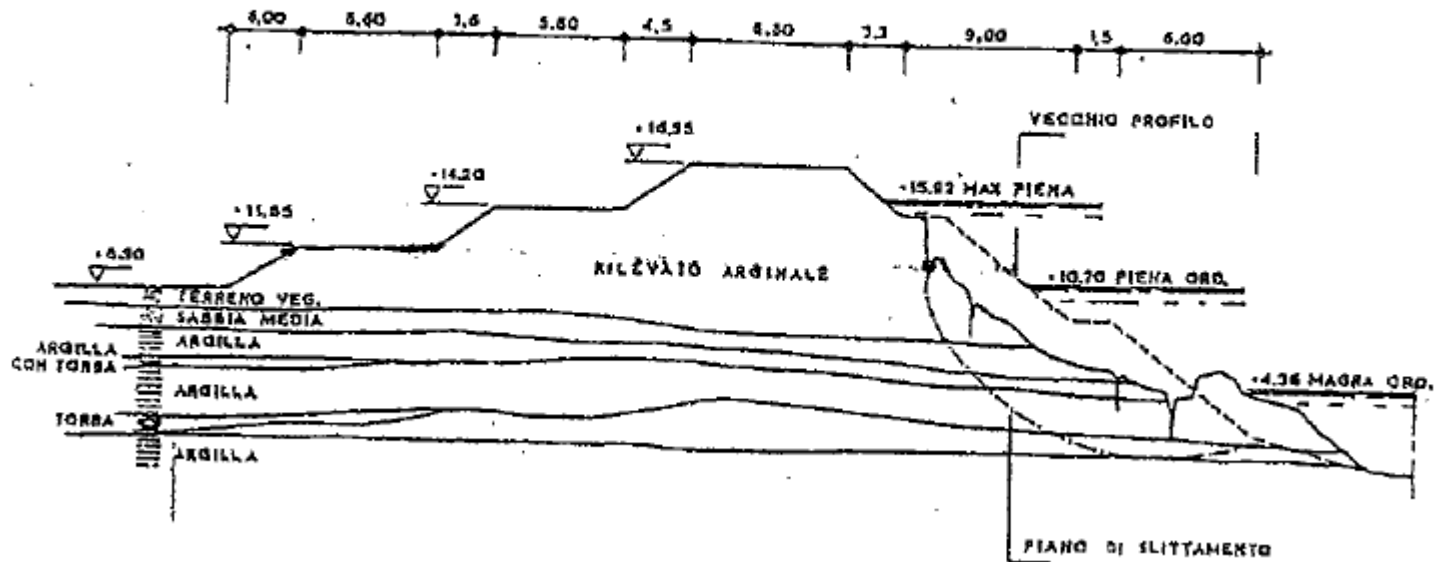
FILTRAZIONE – SIFONAMENTO- STABILITA': rete di flusso





# ARGINI E DIGHE IN TERRA

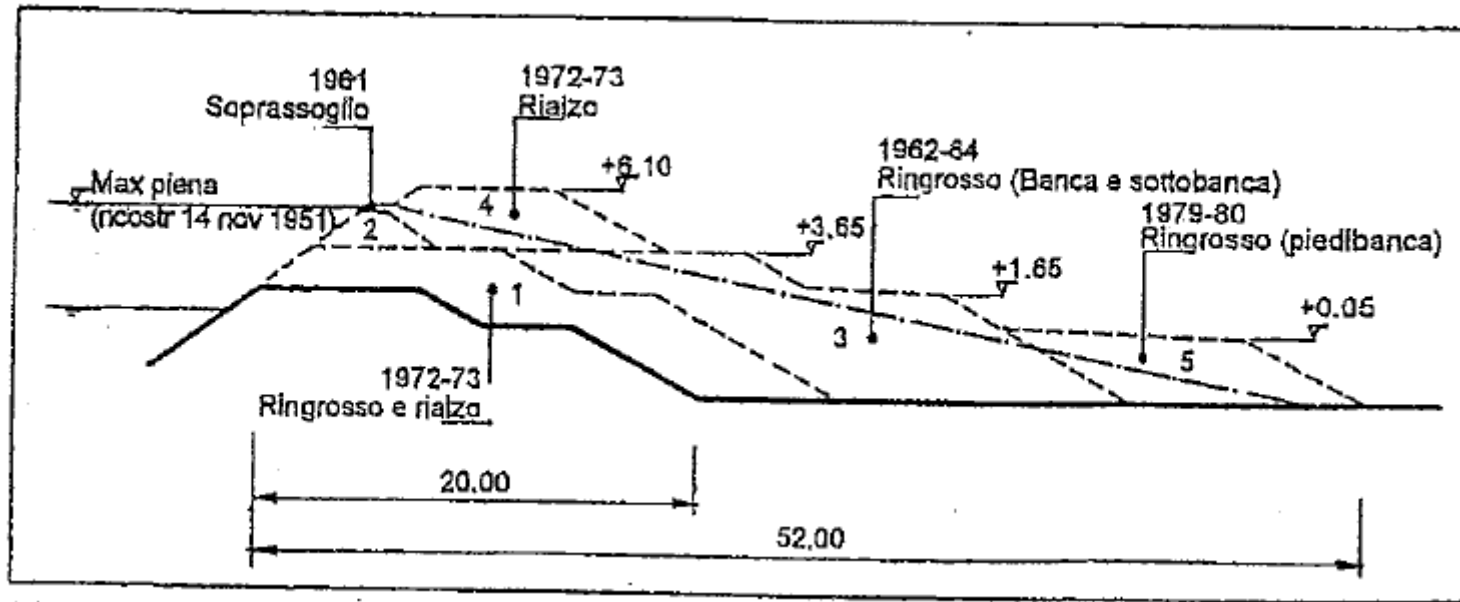
FILTRAZIONE – SIFONAMENTO- STABILITA': rete di flusso





# ARGINI E DIGHE IN TERRA

FILTRAZIONE – SIFONAMENTO- STABILITA': rete di flusso





## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### FILTRAZIONE: LINEA DI FILTRAZIONE A MOTO PERMANENTE

Generalmente per i rilevati arginali la trattazione a moto permanente è sufficiente per assegnare le dimensioni alla sezione dell'argine e per procedere alla verifica delle sue condizioni di stabilità.

Un procedimenti semplice ma efficace consiste nel suddividere il campo di moto in una successione di campi minori o parti elementari a ciascuno dei quali sia possibile applicare risultati noti o facilmente raggiungibili con la teoria idraulica, imponendo poi il raccordo tra ciascuna parte con ovvie relazioni di continuità. .





## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### **Argini Omogenei:**

*Sono usate per sbarramenti di piccole dimensioni ed importanza.*

### **Argini e dighe con manto impermeabile:**

*consigliabili se il terreno di fondazione è poco compressibile ed il materiale disponibile per il corpo arginale possiede buone caratteristiche meccaniche*

### **Argini omogenei con diaframma centrale ed eventuale sottostante schermo di iniezioni:**

*utilizzati per un vasto campo di applicazioni.*

### **Argini e dighe zonate**

*Possono essere formate da un nucleo centrale costituito da terreno a bassa permeabilità per la tenuta e da due fianchi costituiti da materiale con permeabilità e resistenza elevate per la stabilità*

### **Argini e dighe zonate con diaframma**

*Si realizzano se la filtrazione nel terreno di fondazione è elevata*

*Argini e dighe zonate con nucleo inclinato*

*Dighe e argini zonate con contronuclei*

*Dighe ed argini zonati con manto impermeabile*

*Se il paramento interno della diga è costituito da un manto impermeabile può essere opportuno disporre materiale poco permeabile nella zona di appoggio del manto.*



# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## FILTRAZIONE: LINEA DI FILTRAZIONE A MOTO PERMANENTE

Con riferimento alla figura seguente si descrive il metodo dianzi indicato

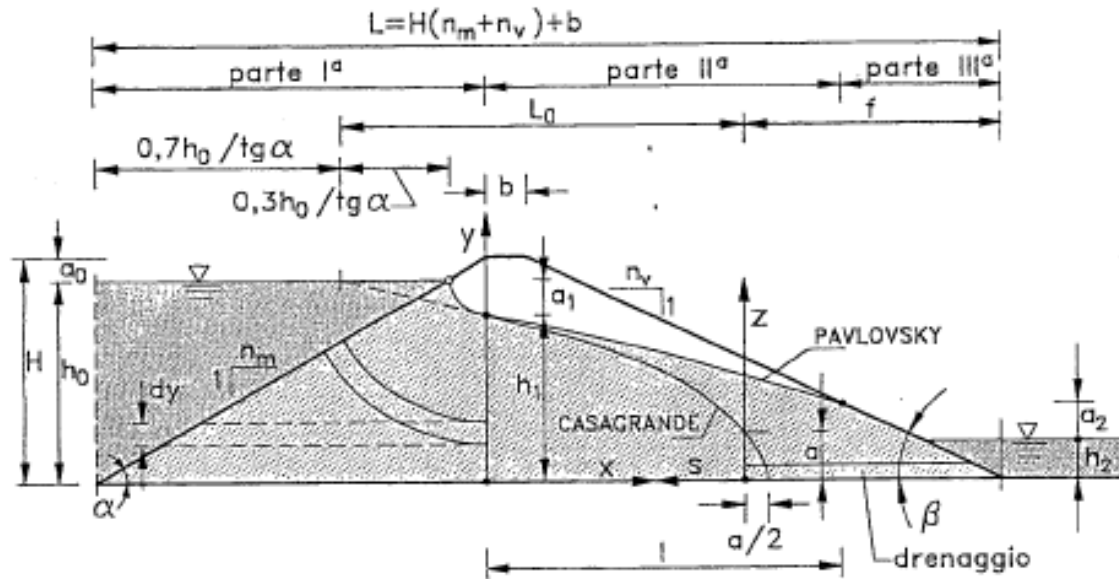
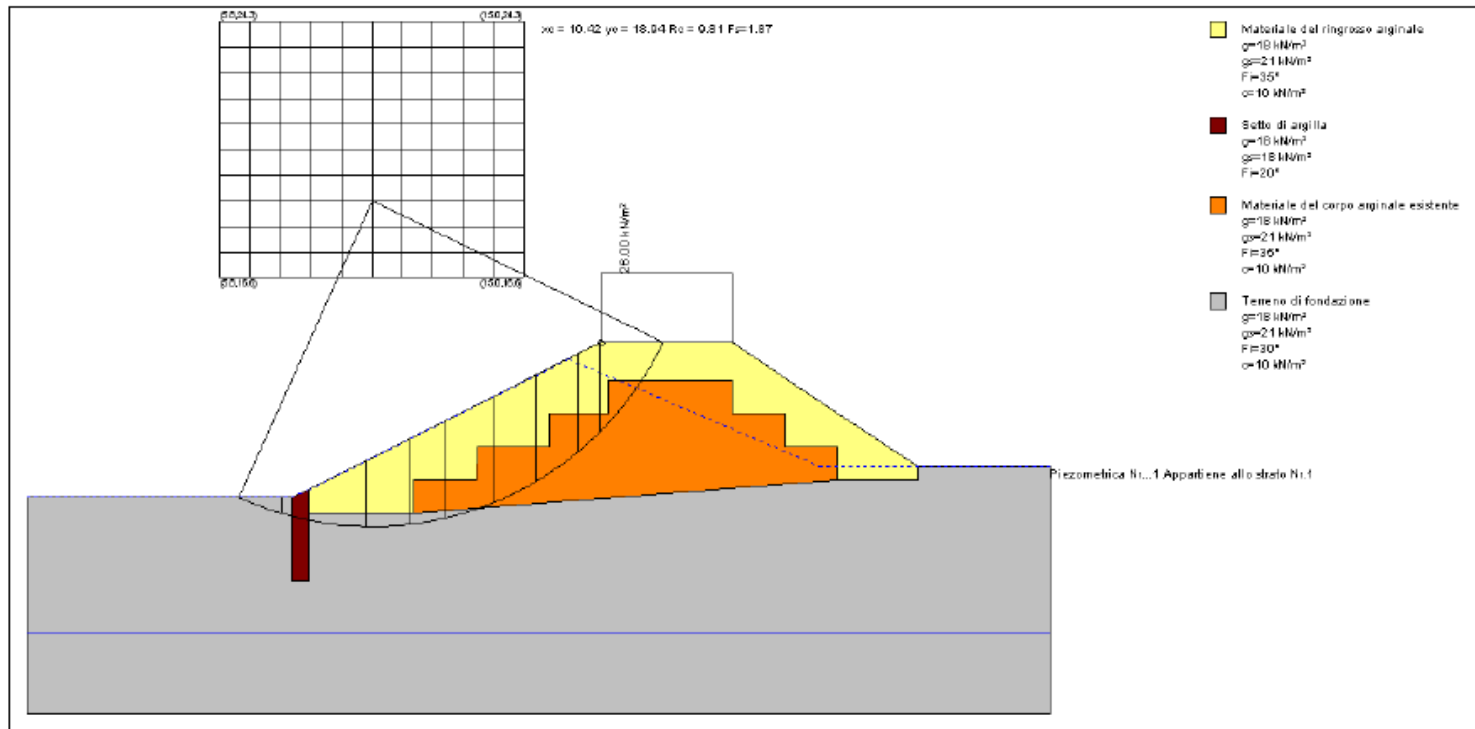


Fig. 8.8: moto di filtrazione attraverso un rilevato.



# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## STABILITA' DEL RILEVATO RISPETTO AL FRANAMENTO





# ARGINI E DIGHE IN TERRA

## STABILITA' DEL RILEVATO RISPETTO AL FRANAMENTO

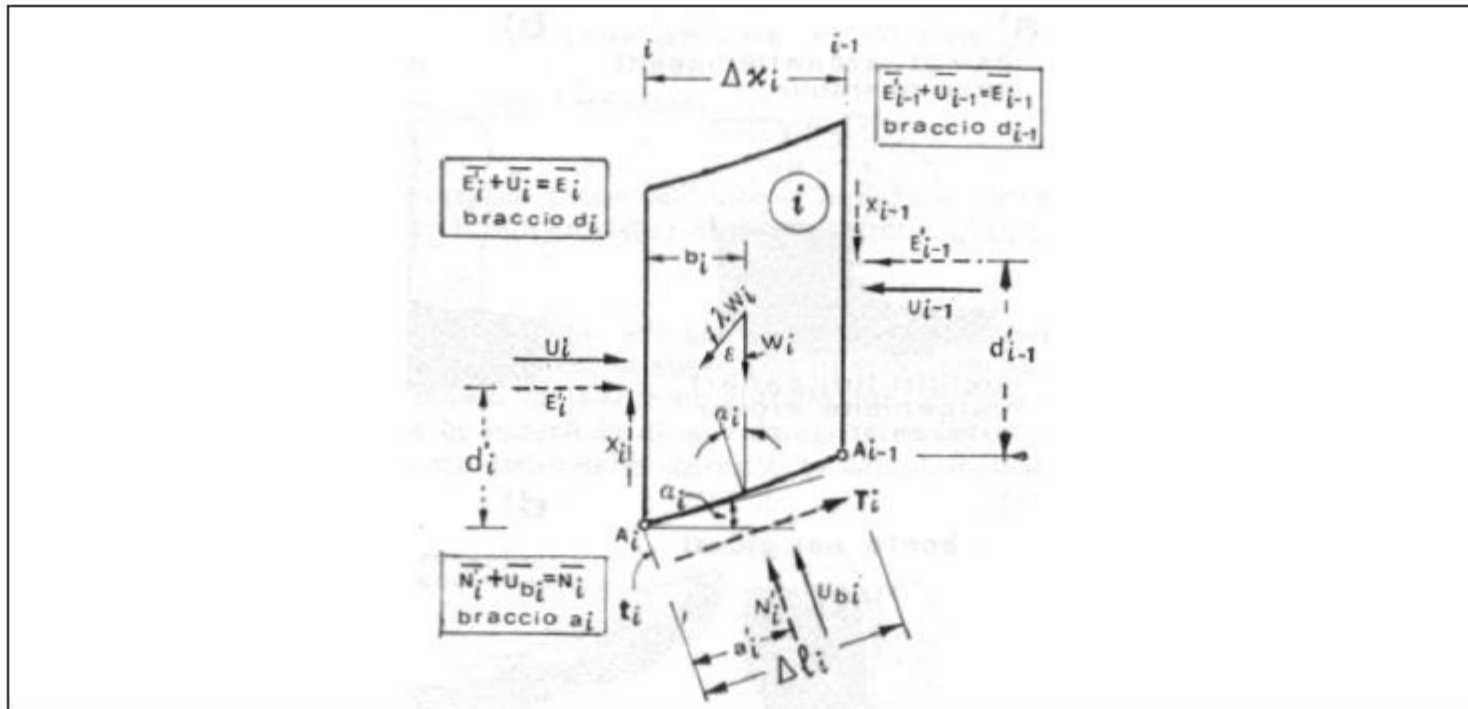


Figura 14 - Equilibrio di un blocco



## ARGINI E DIGHE IN TERRA

### STABILITA' DEL RILEVATO RISPETTO AL FRANAMENTO

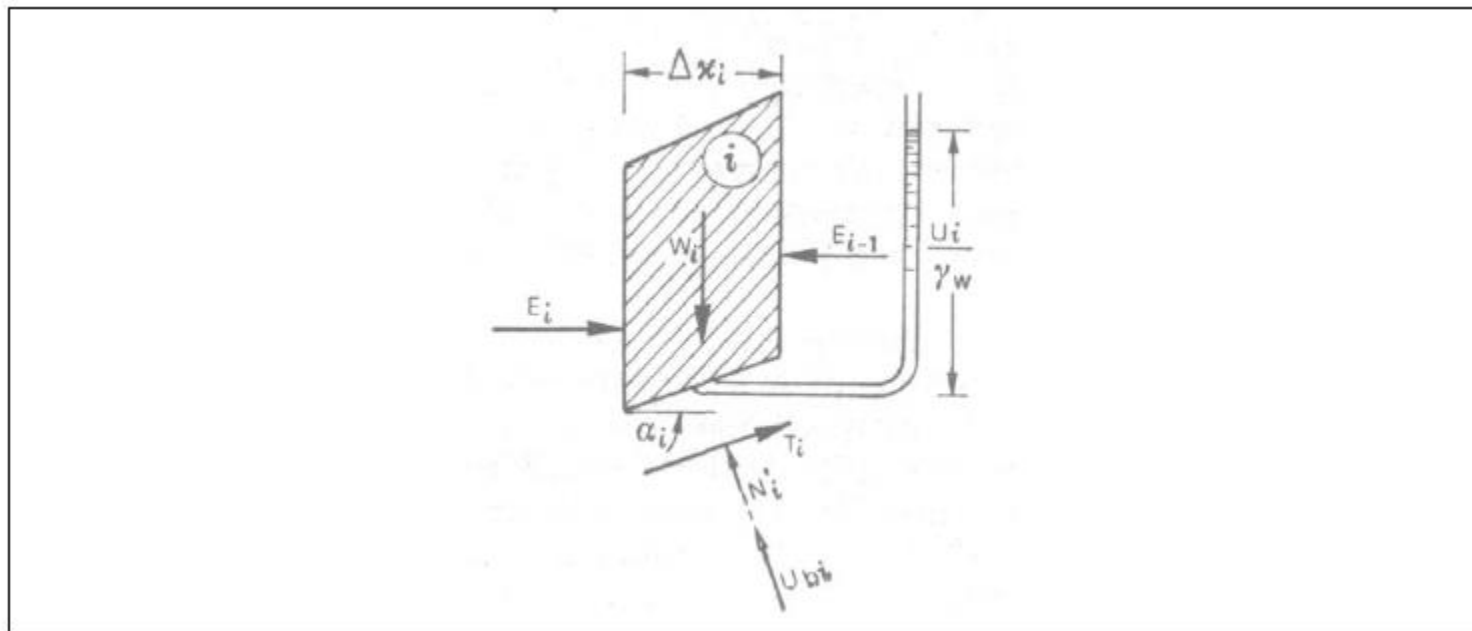


Figura 15 - Equilibrio del blocco secondo il metodo di Bishop semplificato