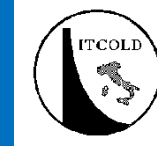


Evento formazione  
**DIGHE A GRAVITA'**



# Nascita ed evoluzione

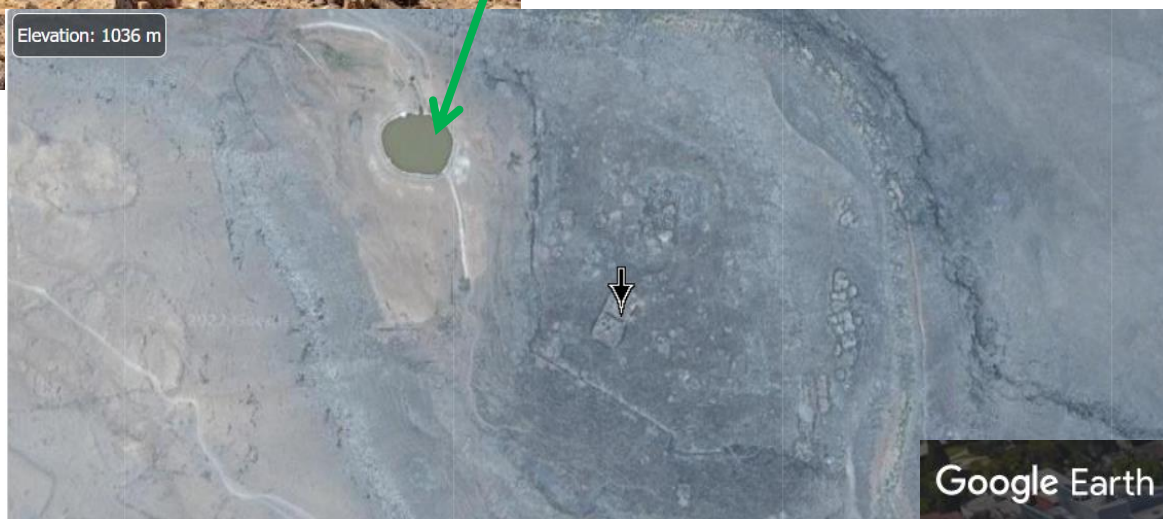
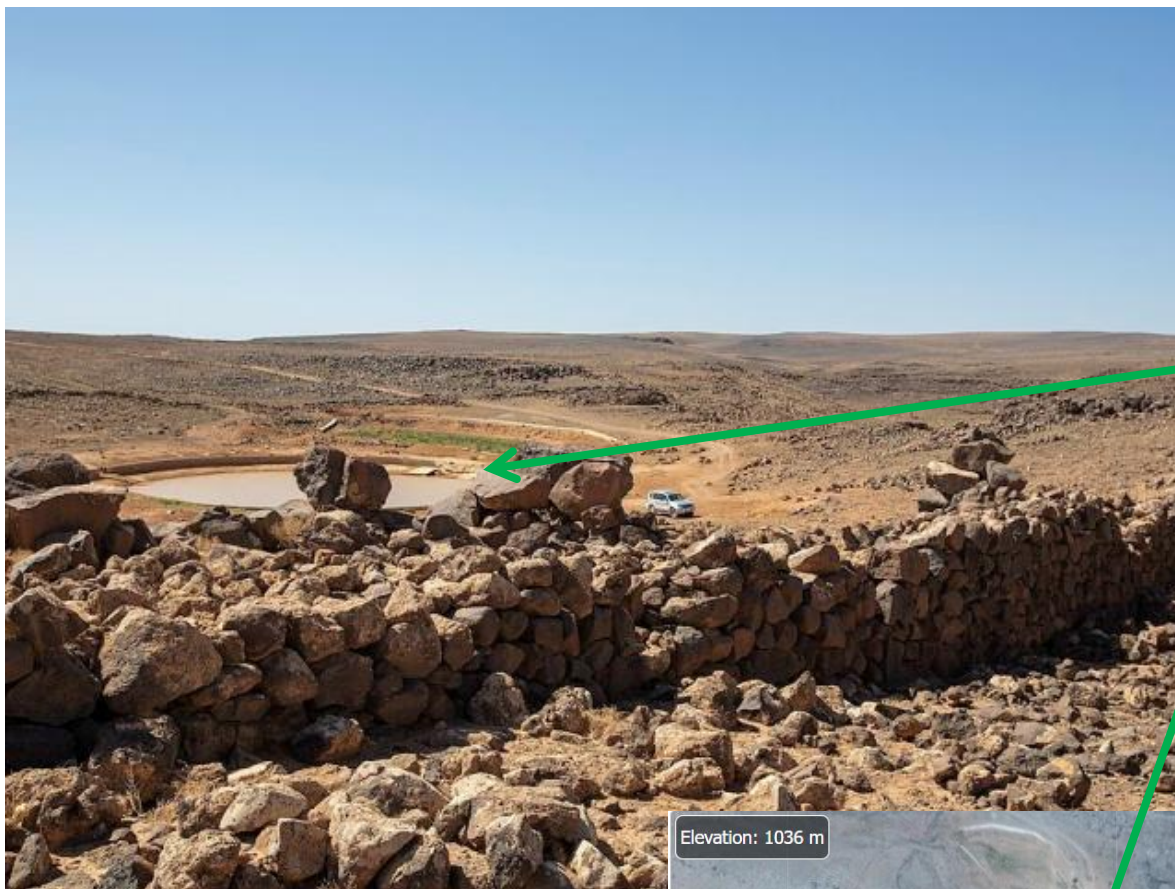
***Claudia Russo***

*DG per le Dighe e le Infrastrutture Idriche  
MIMS*

# Diga di Jawa, Giordania, 3000 a.C.

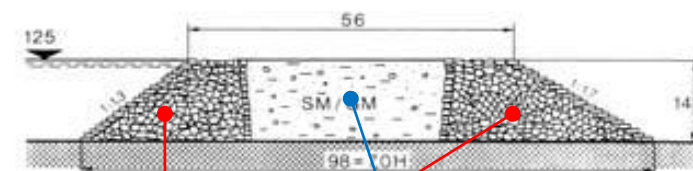
Vasca

L= 80m, H=4-5m



# Diga di Sadd-el-Kafara, Egitto, 2900a.C.?

$L = 107\text{m}$ ,  $H = 11\text{m}$

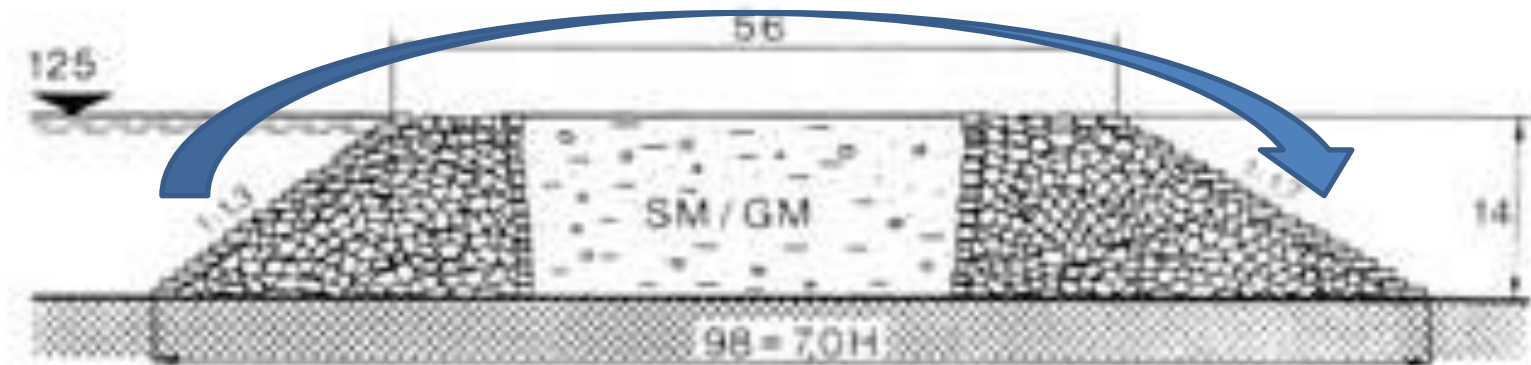


muratura di  
pietrame a secco

riempimento in  
argilla e ghiaia



# Diga di Sadd-el-Kafara, Egitto, 2900a.C.?



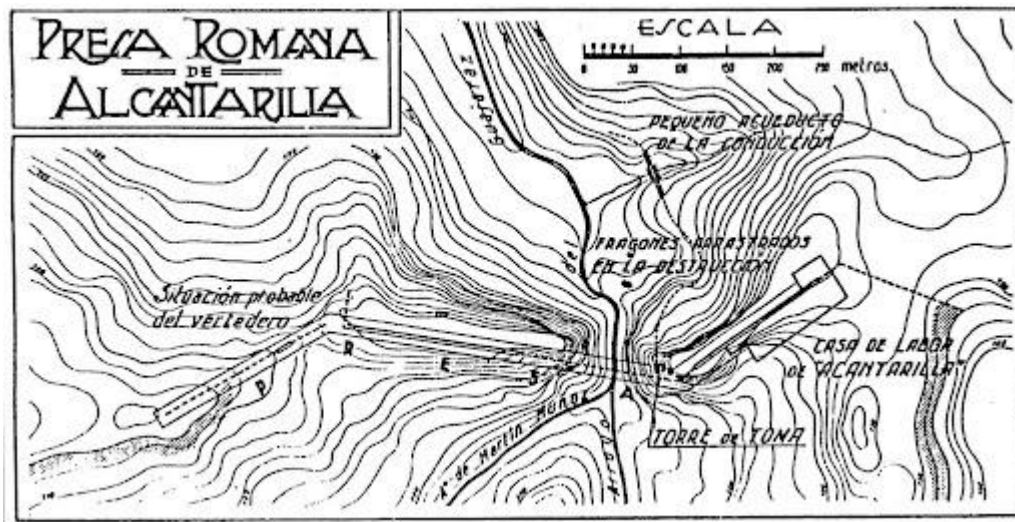


## Diga Marib Yemen, 750 a.C.

H=4m, L=605m  
(H=7m nel 500 a.C.  
H=14m nel 325 d.C.)

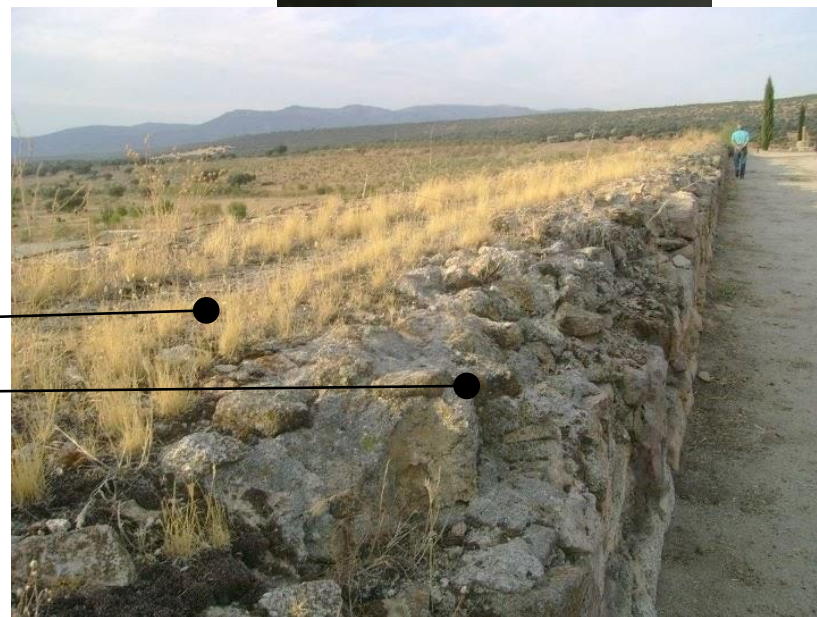
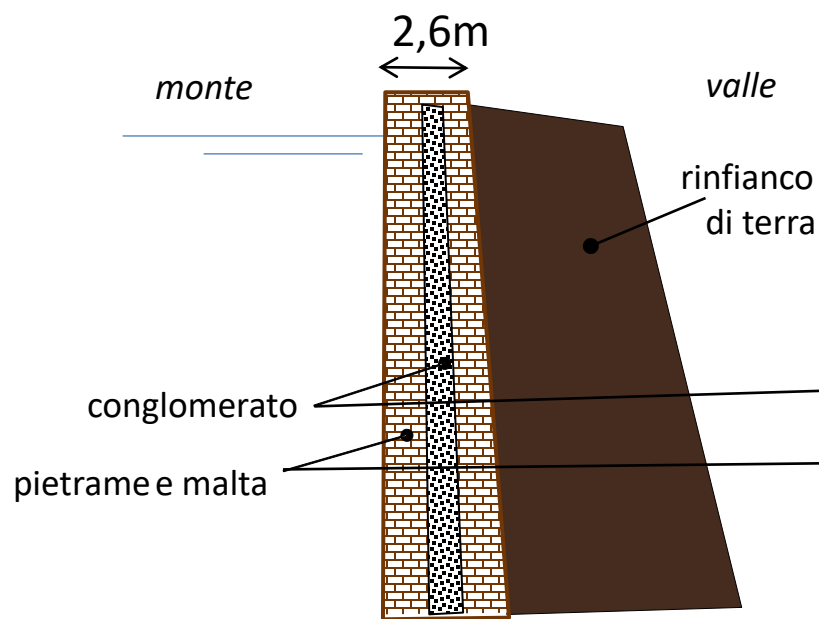




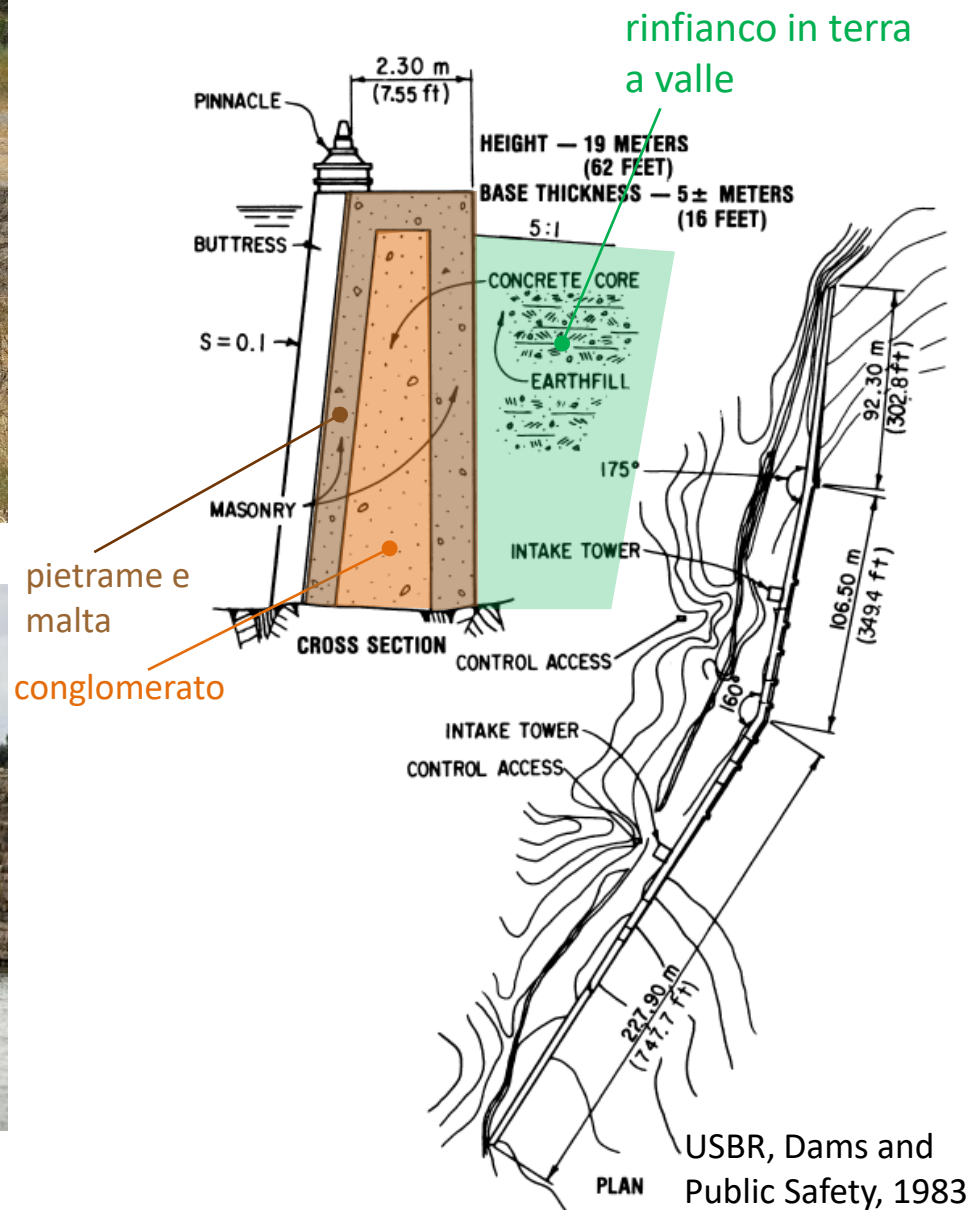


## Diga di Alcantarilla Spagna, 190a.C.

H=20m, L= 550m



# Diga di Proserpina Spagna, II secolo d.C. H=12m L=427m

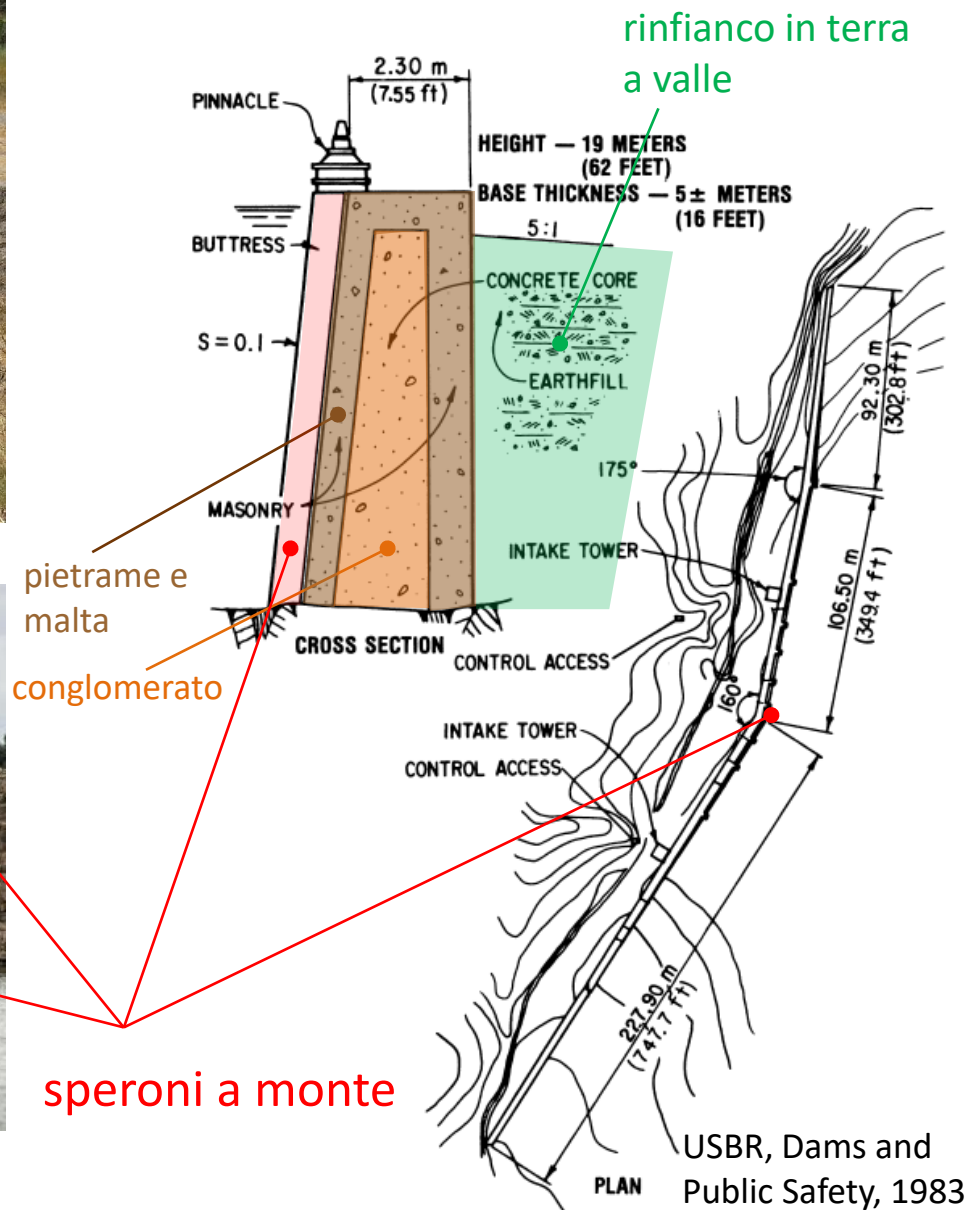
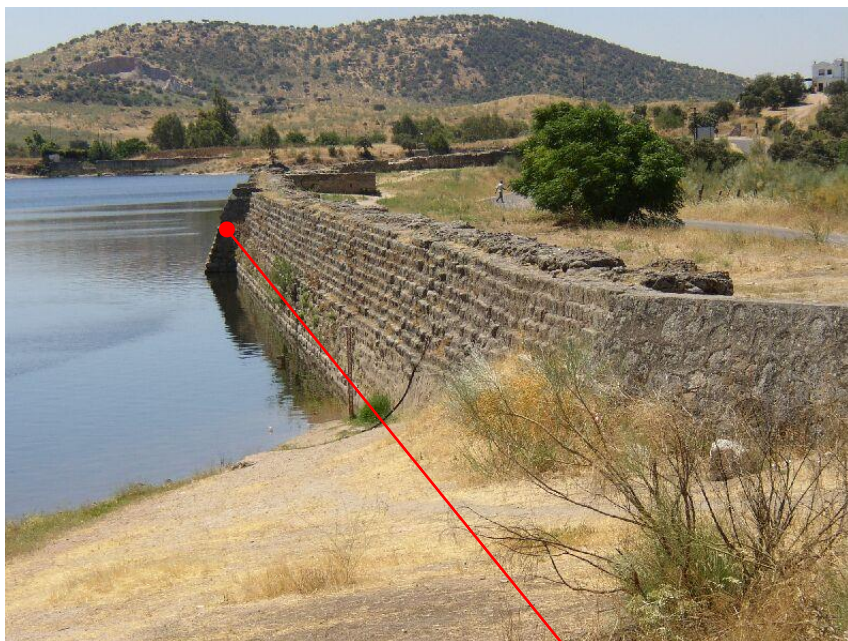




# Diga di Proserpina

## Spagna, II secolo d.C.

H=12m L=427m





# Diga di Proserpina

Spagna, II secolo d.C.

2000 anni di vita  
(ultimo consolidamento 1942)





# Diga di Proserpina

Spagna, II secolo d.C.

## 2000 anni di vita

(ultimo consolidamento 1942)





# Diga di Proserpina Spagna, II secolo d.C.

## 2000 anni di vita

(ultimo consolidamento 1942)





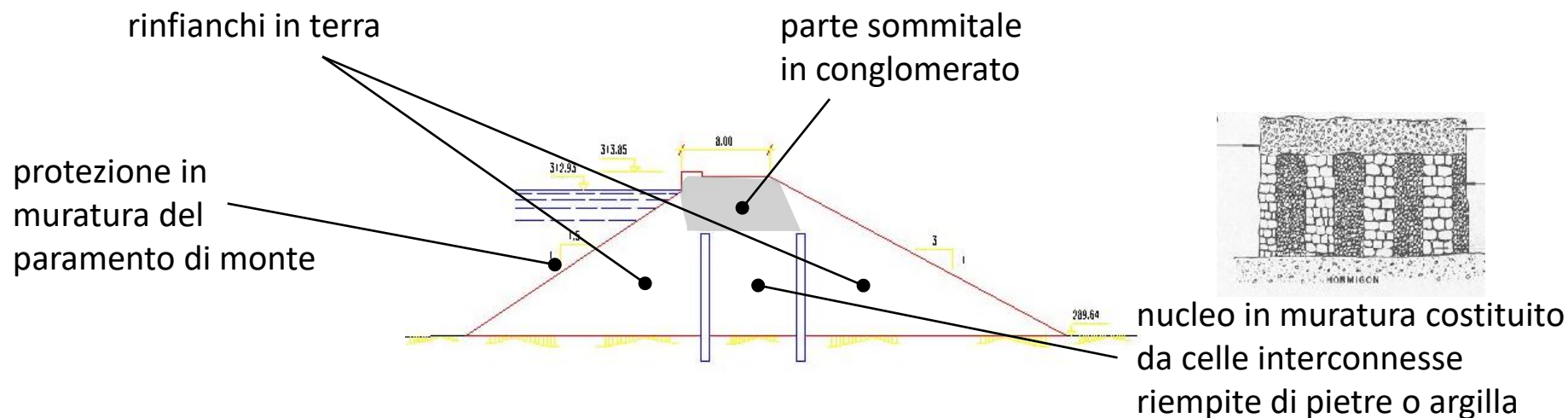
# Diga di Proserpina

Spagna, II secolo d.C.

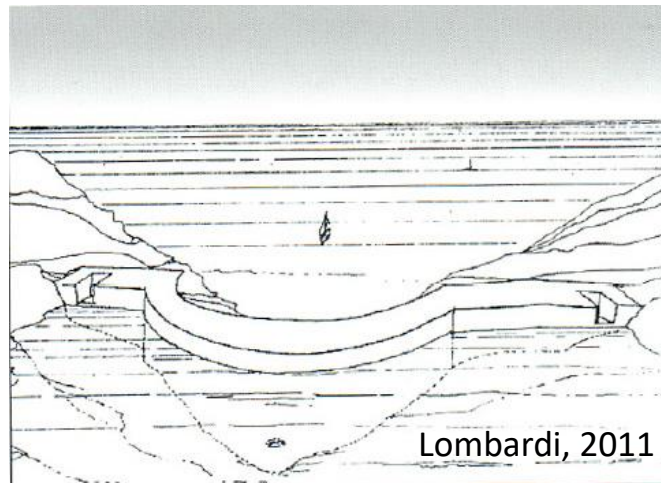




# Diga di Cornalvo Spagna, 130 d.C. $H=24\text{m}$ , $L=200\text{m}$







Diga di Giancos,  
Italia, I secolo a.C.

H=12-14m, L=32m

Diga di Kasserine,  
Tunisia, II secolo d.C.

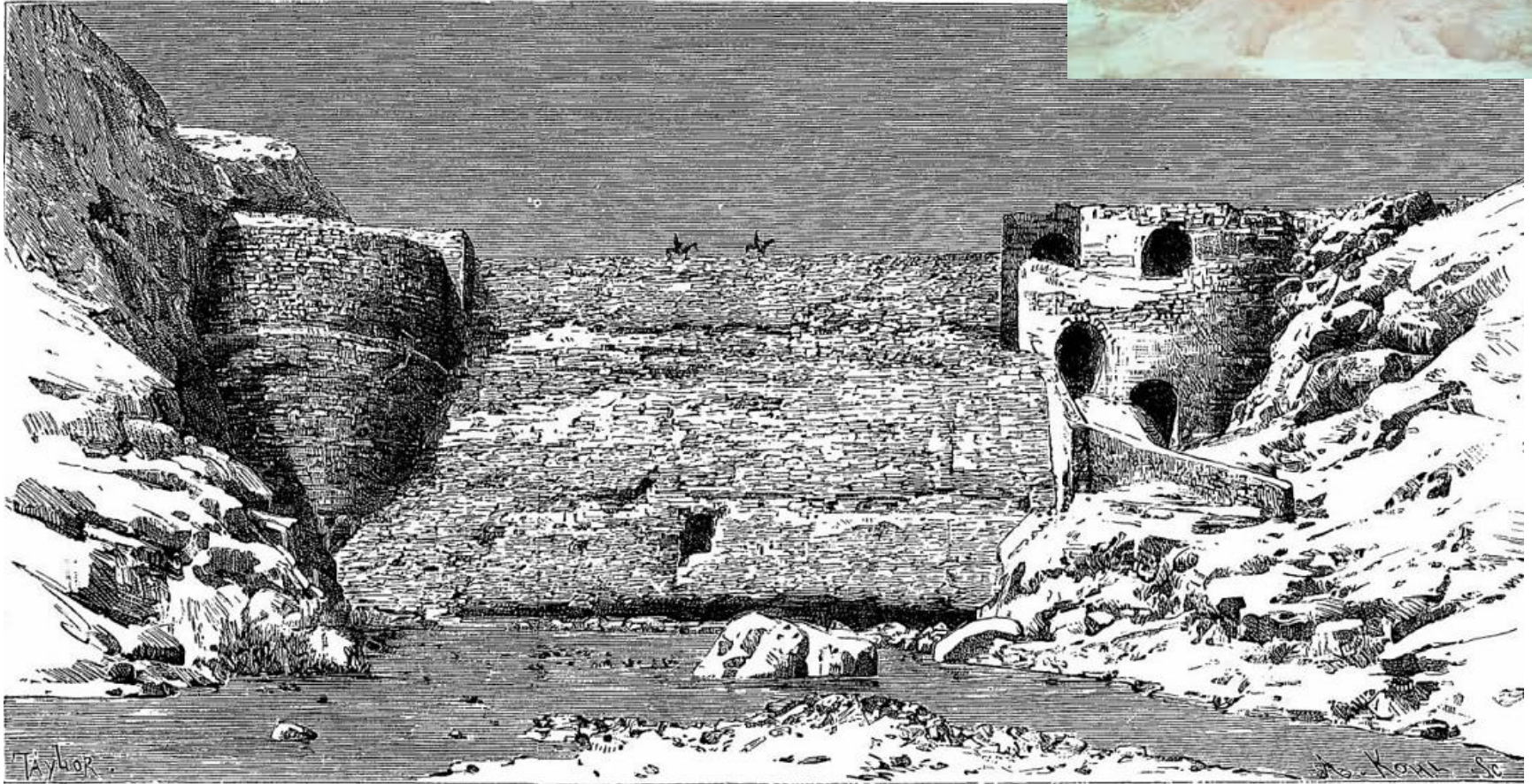
H=10m, L=150m



(incisione del 1886)



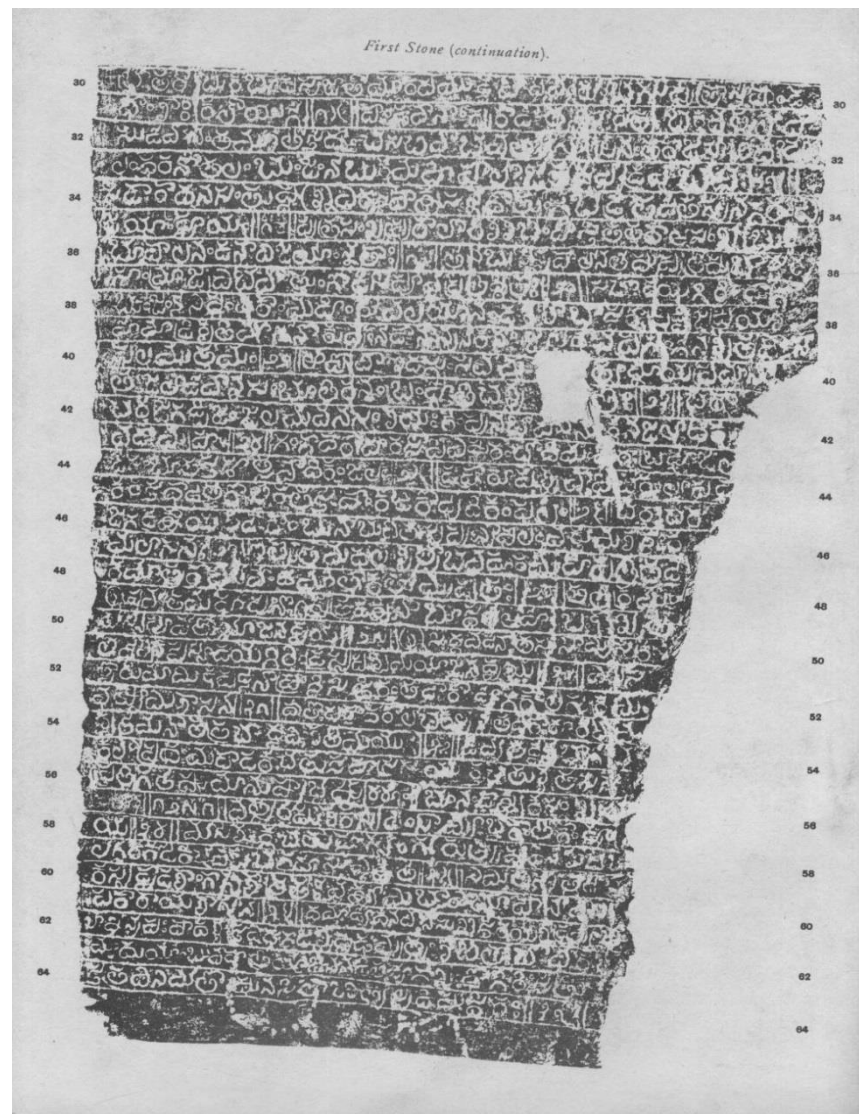
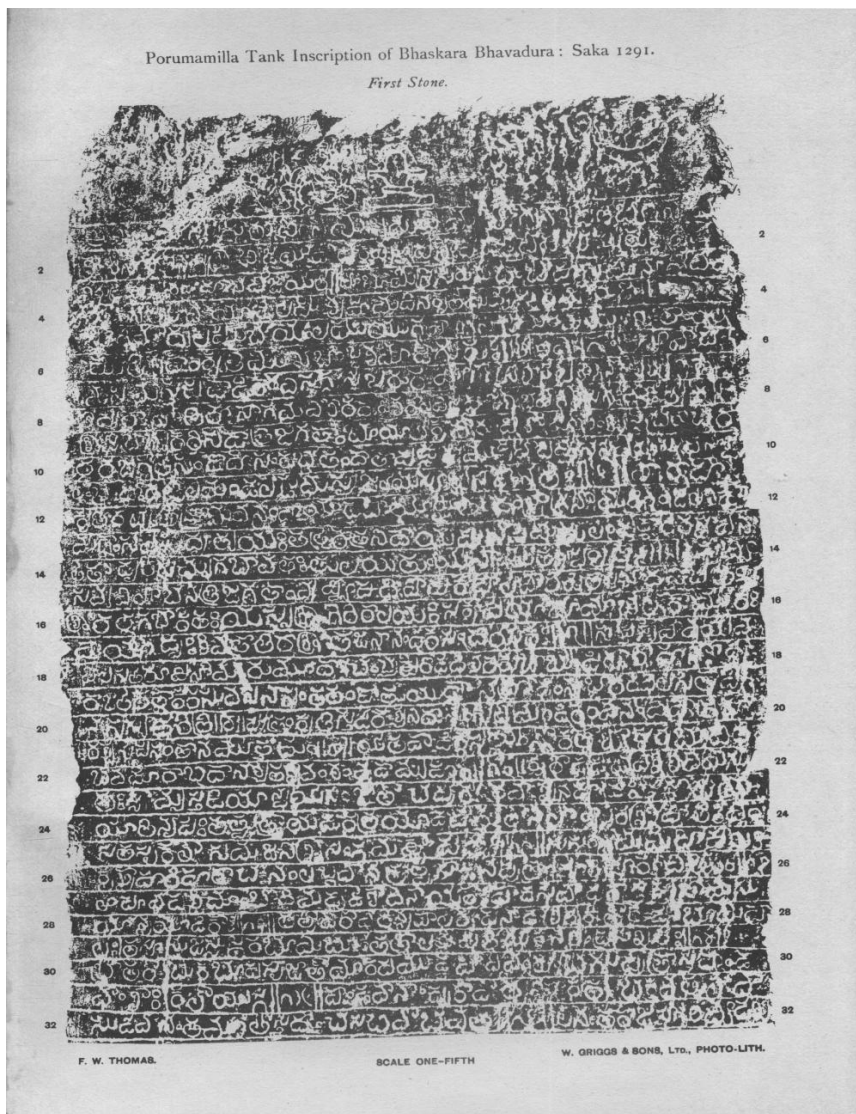
Diga di Saveh,  
Iran, 1281  
H=35m, L=65m



BARRAGE DE SAVEH. DIEULAFOY, 1887



# Iscrizione sulla diga di Porumainilla costruita dal re Bahaskara-Bhavadura, 1291





## Iscrizione sulla diga di Porumainilla costruita dal re Bahaskara-Bhavadura, 1291

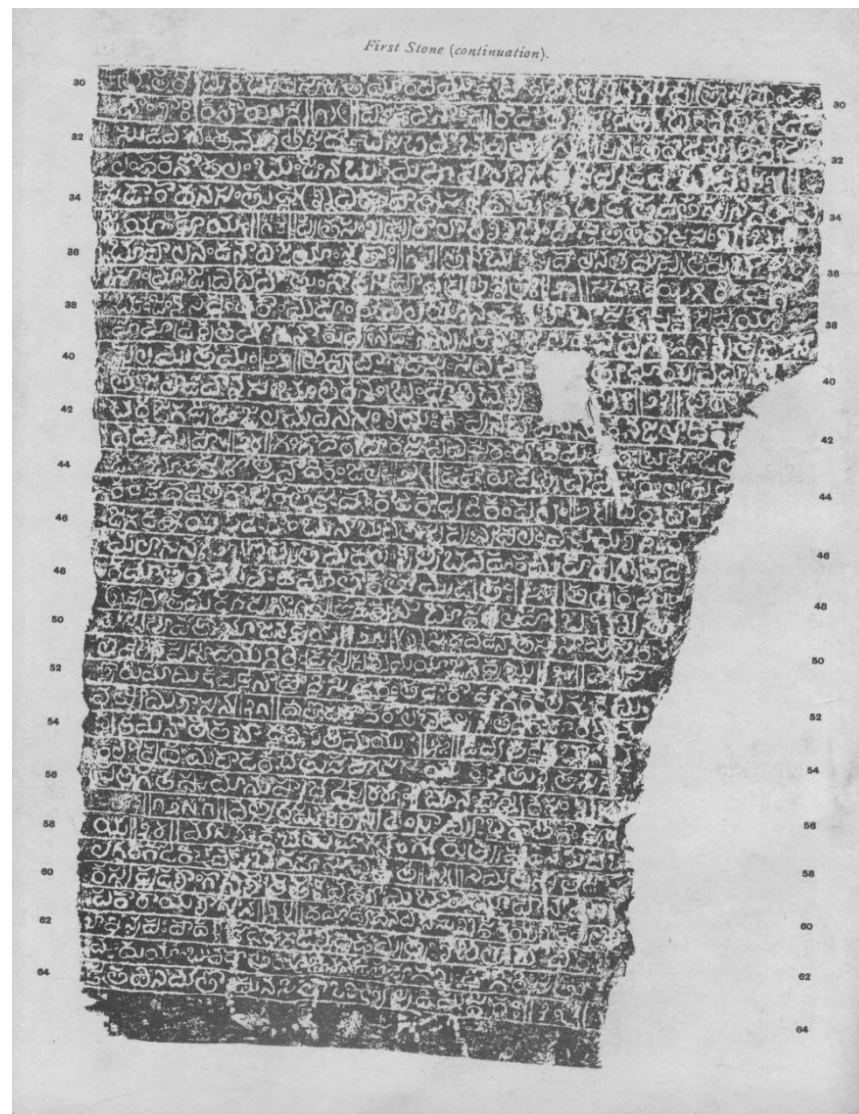
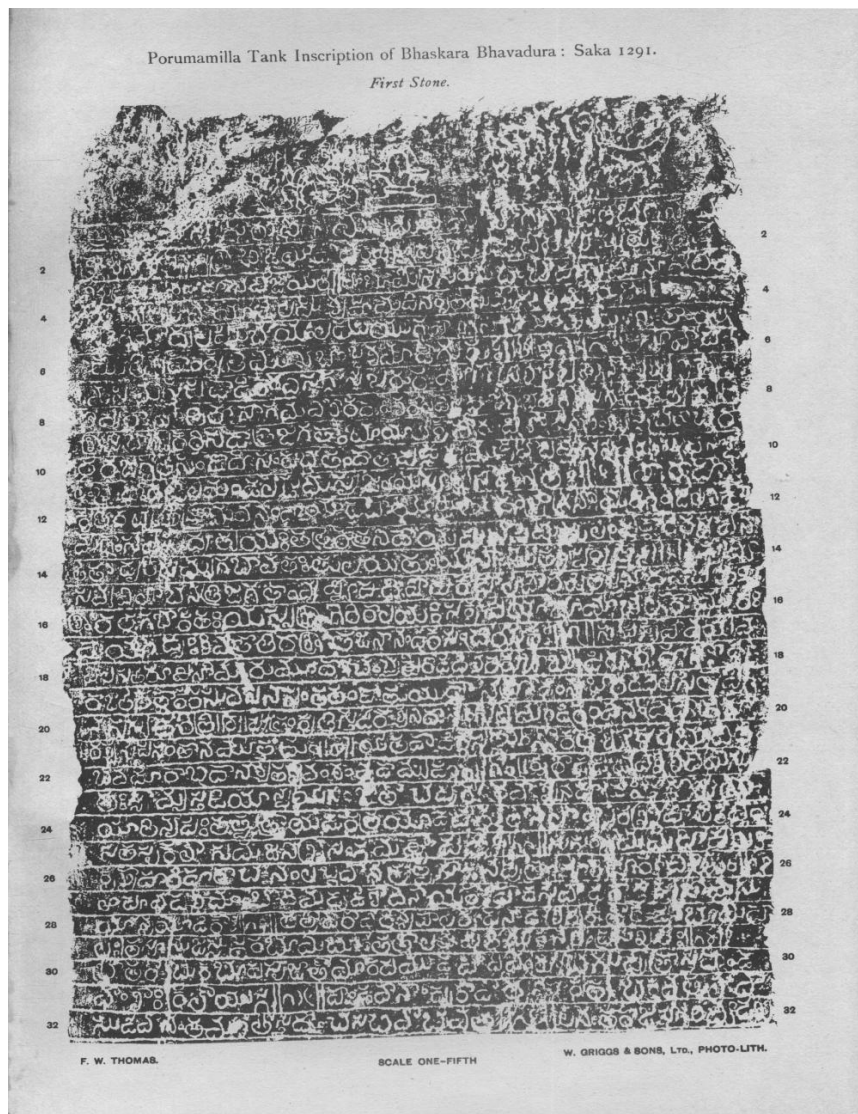
Porumamilla Tank Inscription of Bhaskara Bhavadura : Saka 1291.

First Stone (continuation).

### Dodici requisiti di un buon invaso:

- 1 - Un re retto, ricco, felice e desideroso di acquisire la ricchezza di una fama permanente,
- 2 - un Brahamana dotto in idrologia,
- 3 - un terreno ornato di argilla dura,
- 4 - un fiume che porta acqua dolce [...]
- 5 - le cui sponde collinose sono in contatto col serbatoio e
- 6 - tra cui si estende una diga costituita da un muro compatto di pietre, non troppo lunga, ma stabile,
- 7 - con due estremi che si allontanano dalle terre fruttifere a valle,
- 8 - un fiume con un letto ampio e profondo,
- 9 - una cava dalla quale si possono ottenere pietre lunghe e dritte,
- 10 - campi nelle vicinanze ricchi di frutta,
- 11 - l'uscita dell'acqua condotta su un letto sassoso lungo una linea tortuosa, nella quale si formano forti vortici,
- 12 - un gruppo di uomini esperti nell'arte della sua costruzione

# Iscrizione sulla diga di Porumainilla costruita dal re Bahaskara-Bhavadura, 1291

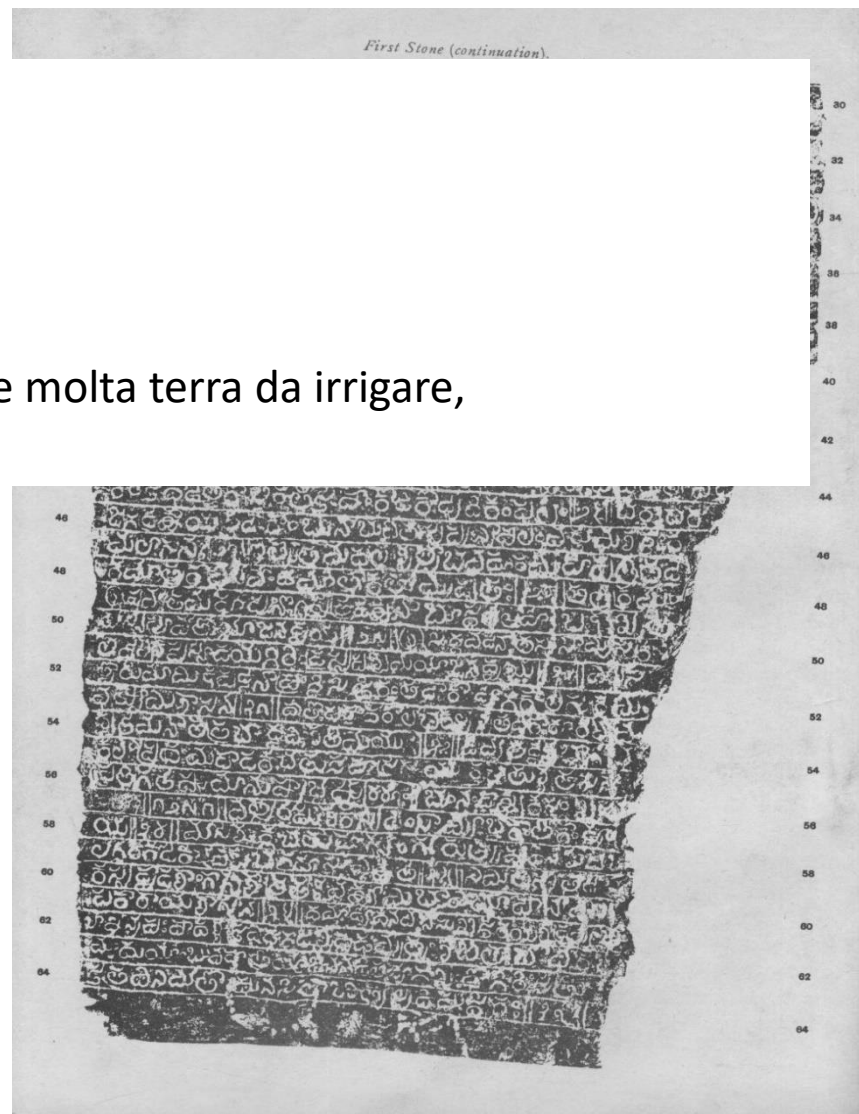
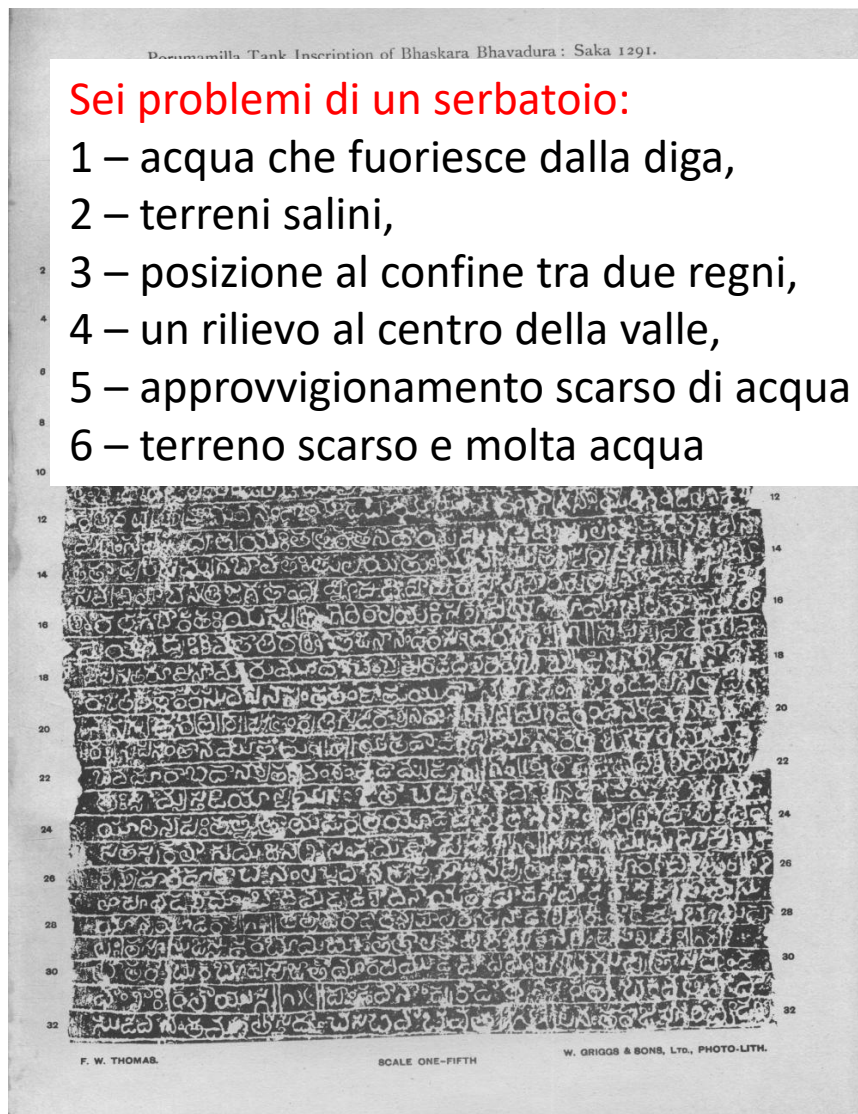




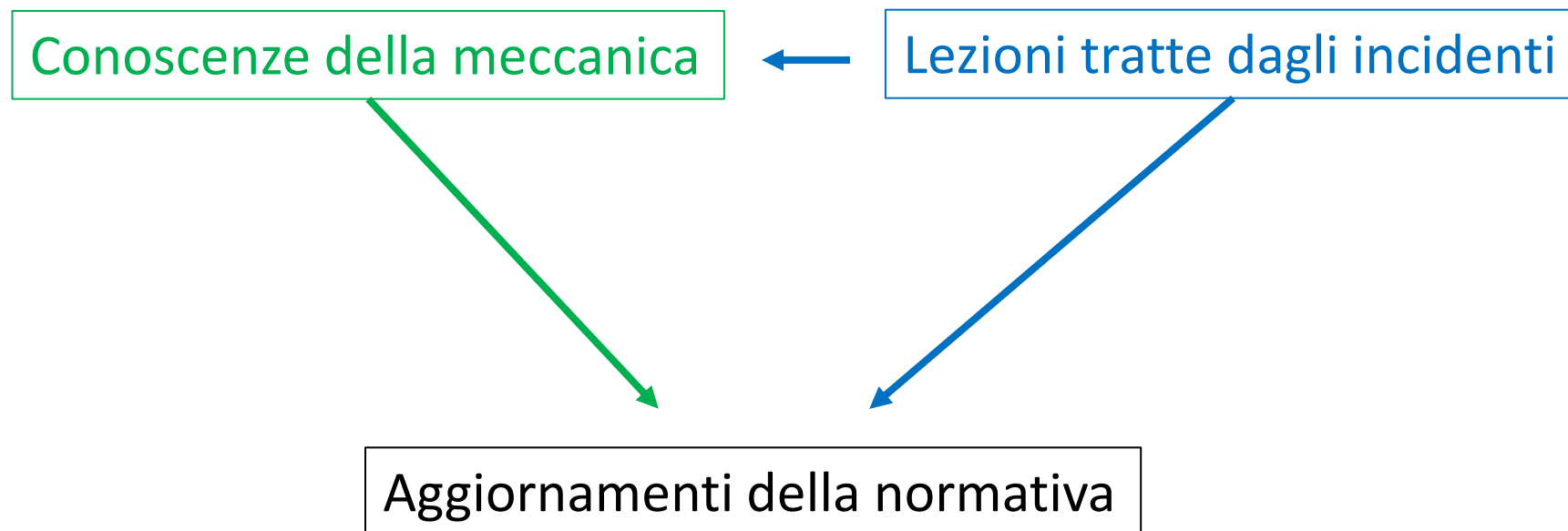
# Iscrizione sulla diga di Porumainilla costruita dal re Bahaskara-Bhavadura, 1291

## Sei problemi di un serbatoio:

- 1 – acqua che fuoriesce dalla diga,
- 2 – terreni salini,
- 3 – posizione al confine tra due regni,
- 4 – un rilievo al centro della valle,
- 5 – approvvigionamento scarso di acqua e molta terra da irrigare,
- 6 – terreno scarso e molta acqua



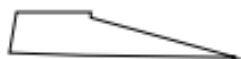
# Evoluzione delle dighe a gravità nei tempi moderni





# Sezioni tipiche di dighe a gravità nel tempo

(da USBR – Dams and Public Safety, 1983)



*Jawa (3000BC)*  
 $H=4.5m$ ;  $L=80m$   
(a)



*Tibi - 1594*  
 $H=46m$ ;  $L=65m$   
(g)



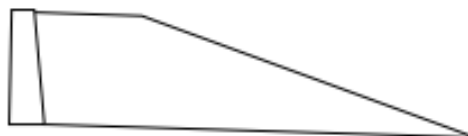
*Saad-el-Kafara (2600BC)*  
 $H=14m$ ;  $L=113m$   
(b)



*Elche (1640)*  
 $H=23m$ ;  $L=95m$   
(h)



*Proserpina (sec. II)*  
 $H=22m$ ;  $L=426m$   
(d)

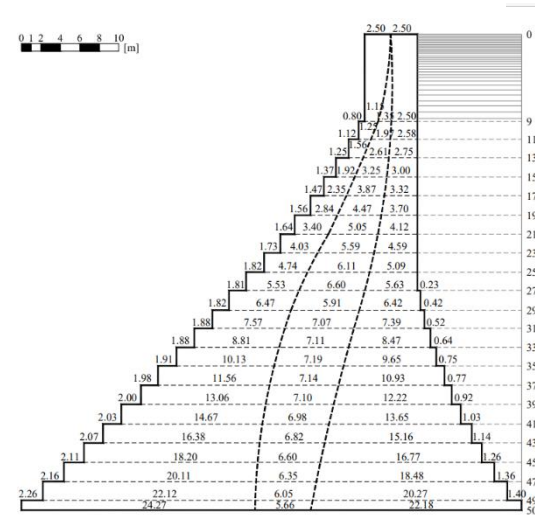


*Alcatarrilla (sec. II)*  
 $H=17m$ ;  $L=557m$   
(c)

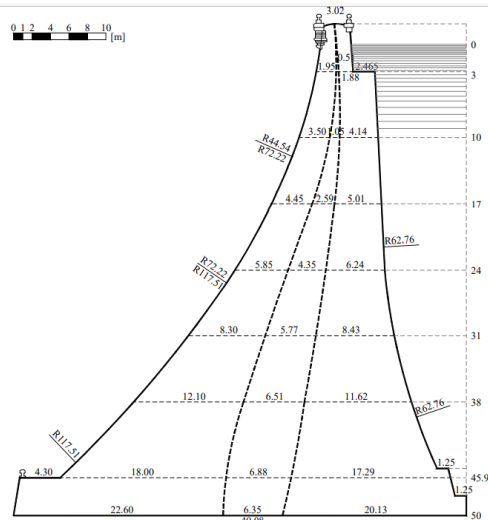


*Rellou (1653)*  
 $H=29m$ ;  $L=34m$   
(i)

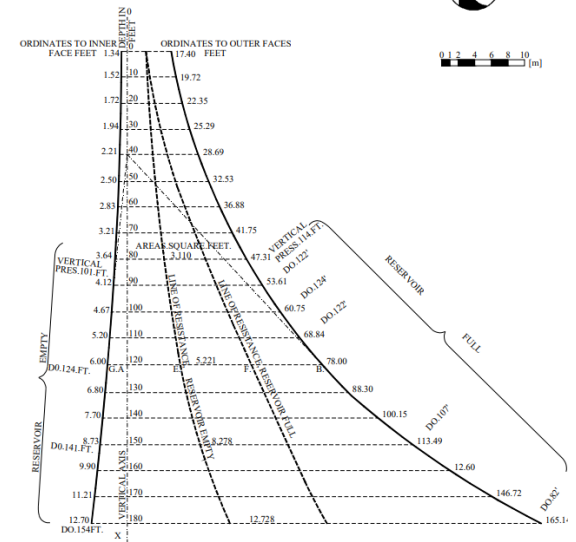
# Nuovi studi negli anni 1853-1910



Sazilly



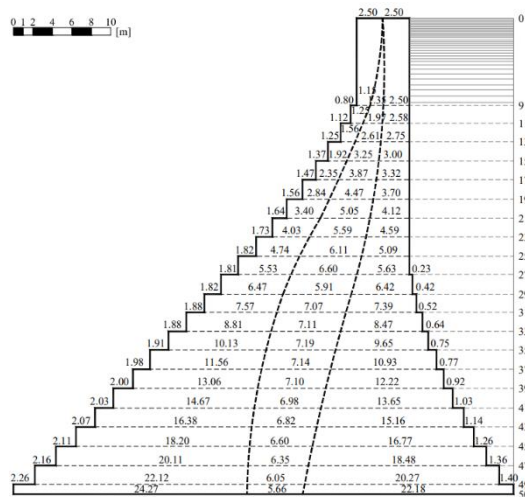
Delocre



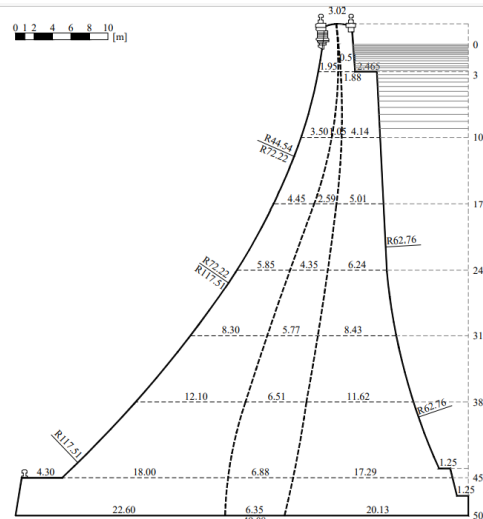
Rankine



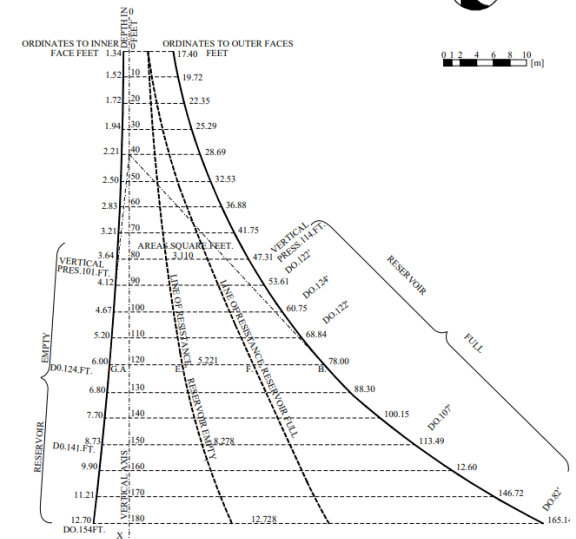
# Nuovi studi negli anni 1853-1910



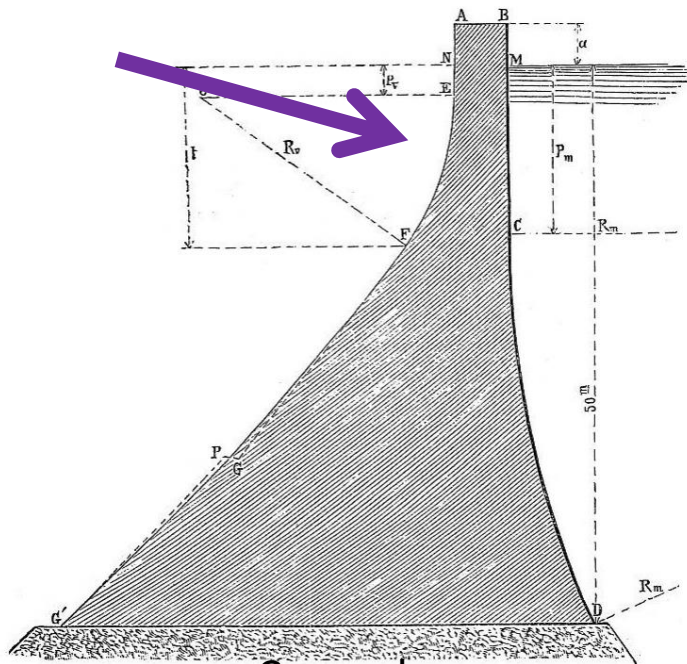
Sazilly



Delocre



Rankine

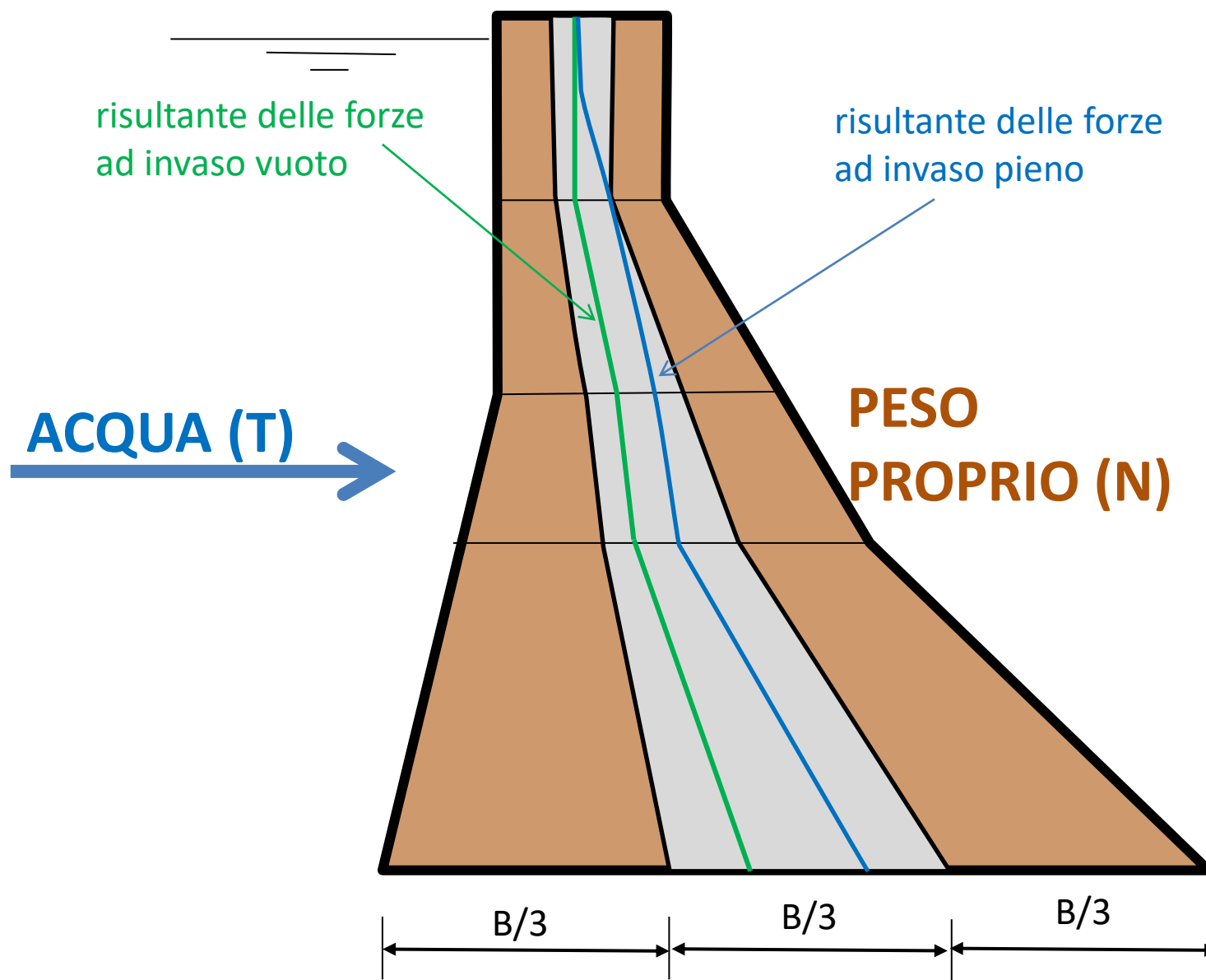


Crugnola

sezione tipo proposta dalla norma italiana:  
 MINISTERO DI AGRICOLTURA INDUSTRIA E COMMERCIO  
 DIREZIONE GENERALE DELL'AGRICOLTURA  
 Norme per gli Ingegneri incaricati dell'estensione  
 di progetti preliminari di grandi serbatoi  
 (1886)

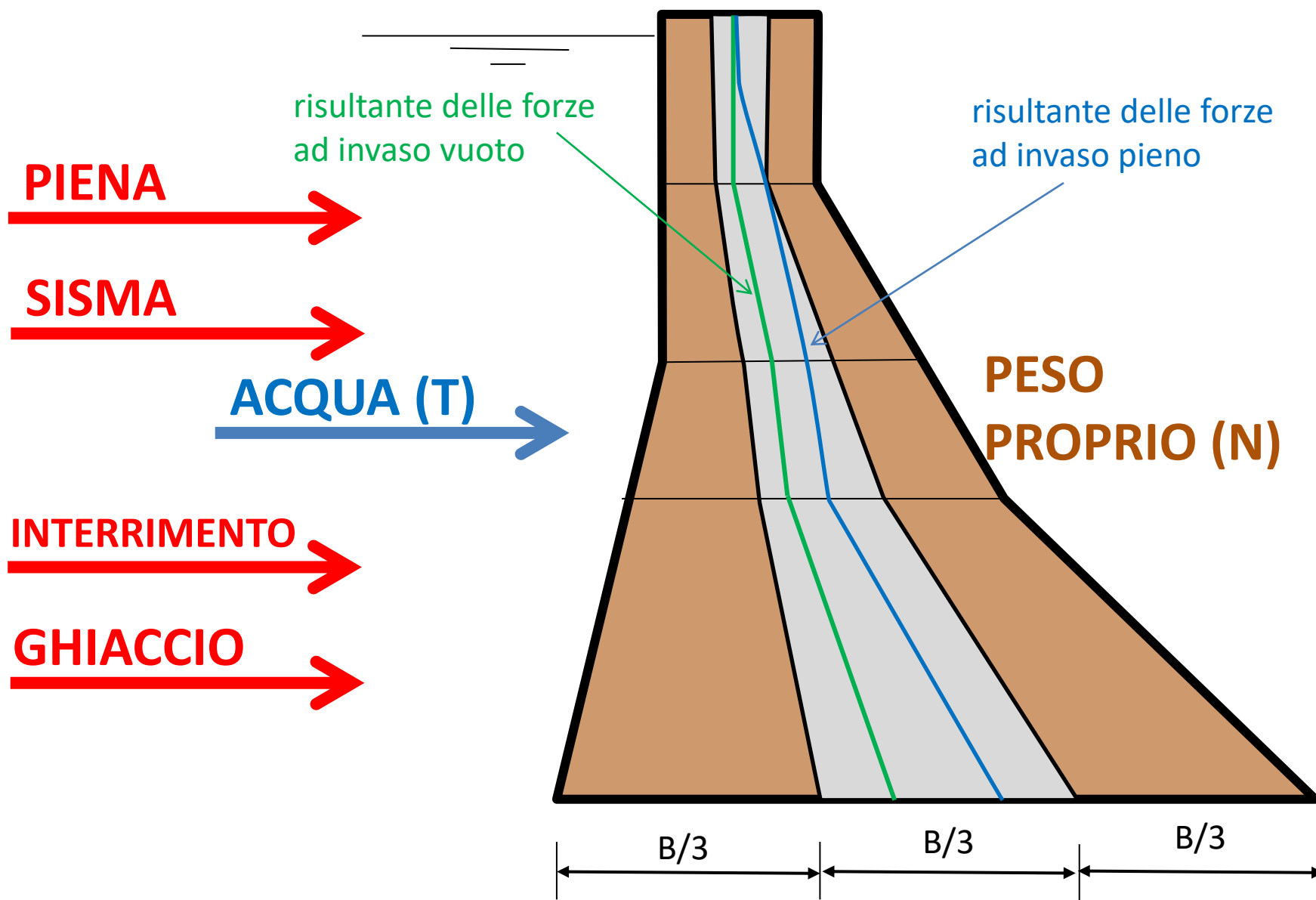
Per approfondimenti:  
 USBR, Dams and Public Safety, 1983  
 Ghinami, 2021 - [www.dighe.eu](http://www.dighe.eu)

# Schema statico semplificato





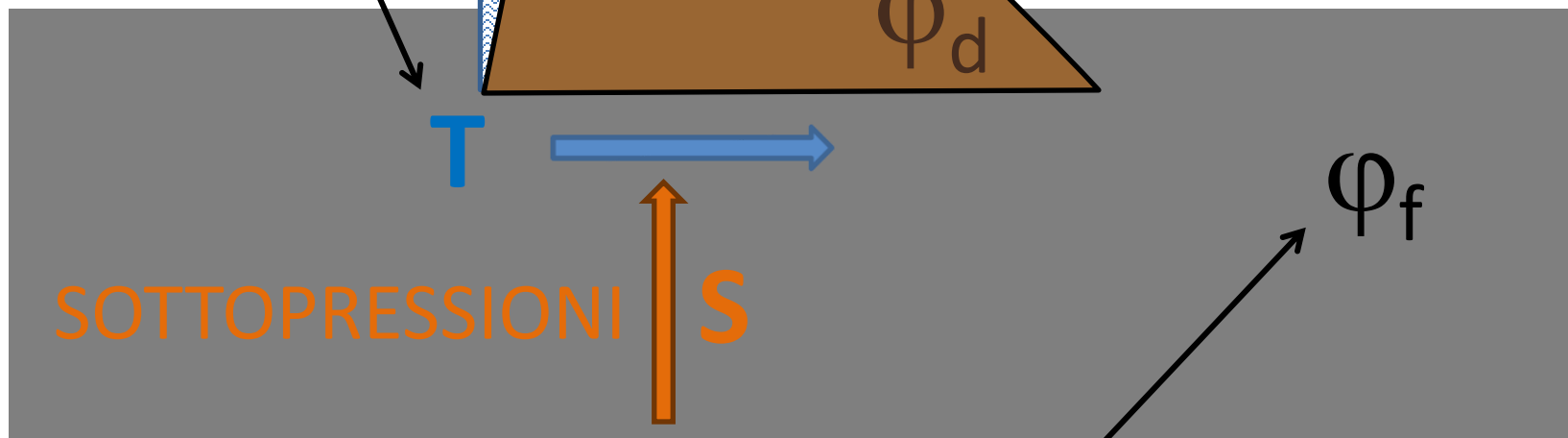
# Schema statico semplificato



ACQUA  
 SISMA  
 INTERRIMENTO  
 GHIACCIO  
 PIENA

$$T < N \tan \varphi$$

MATERIALE DIGA



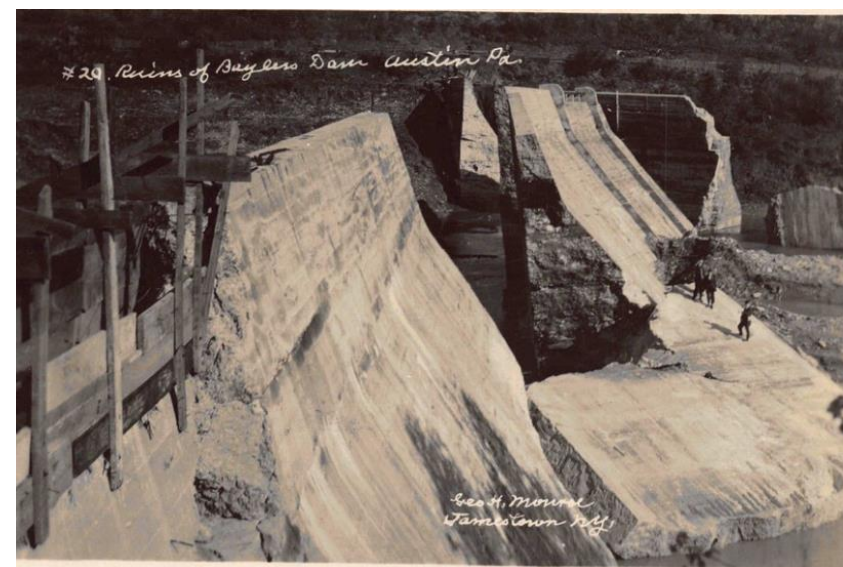
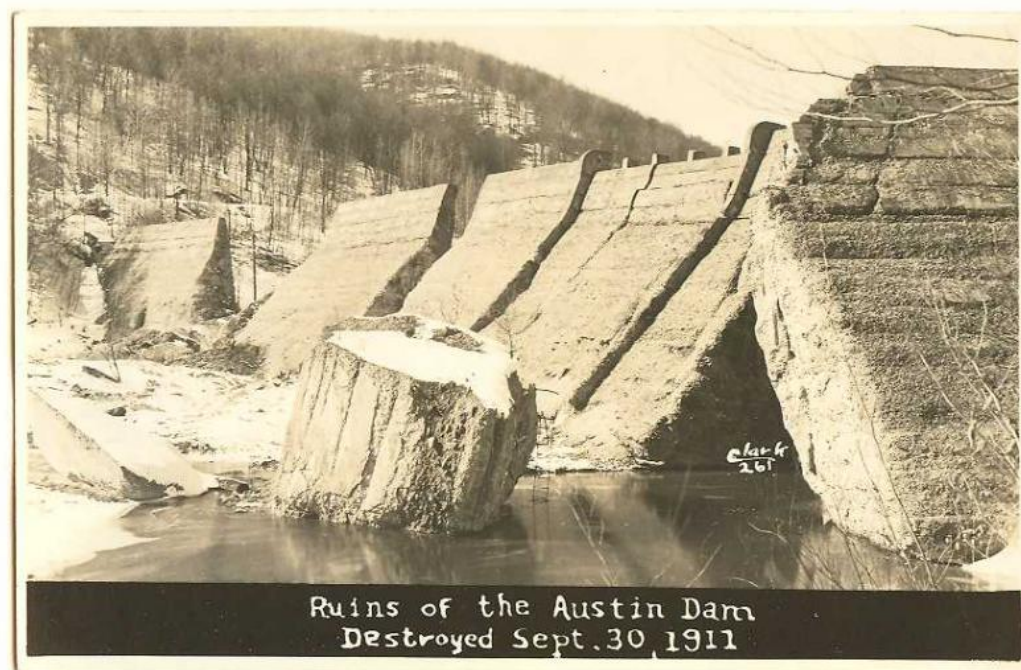
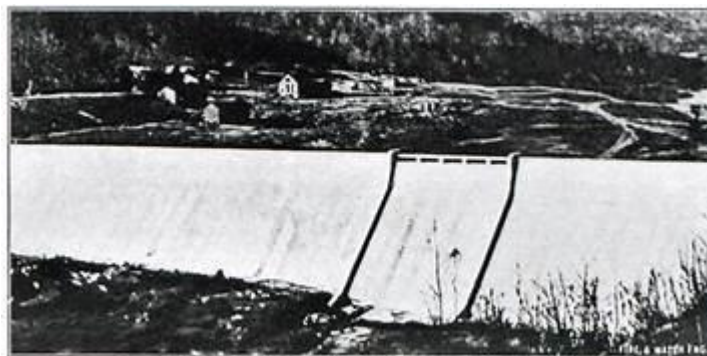
FORMAZIONE GEOLOGICA  
 IN FONDAZIONE



## Diga di Austin, USA

L=166m, H=15m

collasso 1911, 78 morti

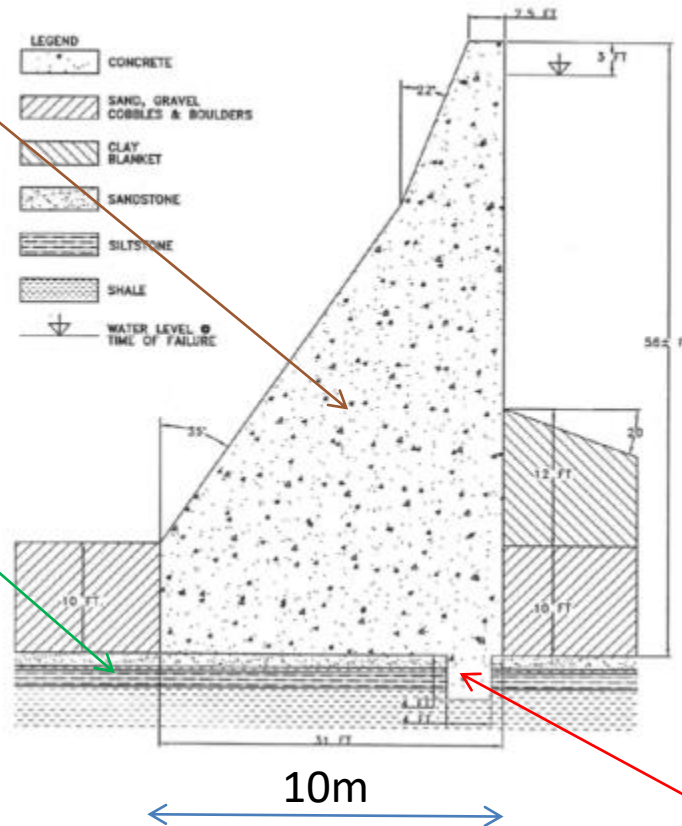


# Diga di Austin, collasso 1911

L=166m, H=15m

calcestruzzo ciclopico

strati di arenarie  
e scisti argillosi



15m

10m

taglione di tenuta



## Diga di Bouzey, Francia

$L=500m$ ,  $H=20m$ ,  $V= 7Mm^3$

collasso 1895,

87 morti

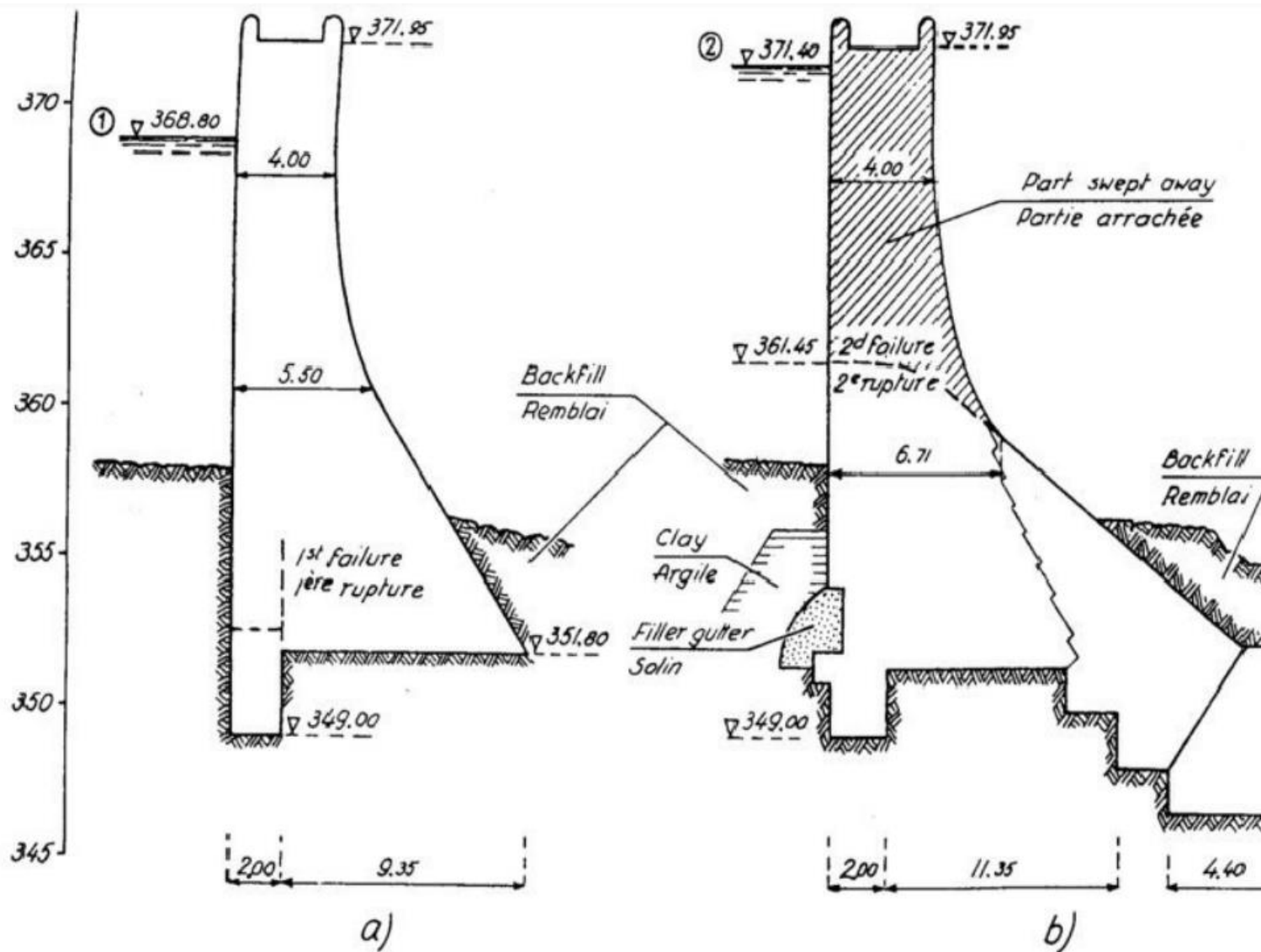


The New York Times

***ENGINEERS OF THE BOUZEY  
DAM; Their Responsibility for the  
Disaster Is Demonstrated.***

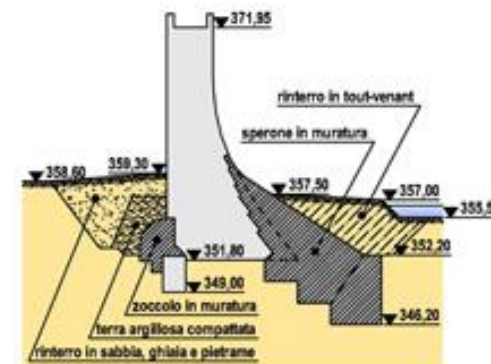
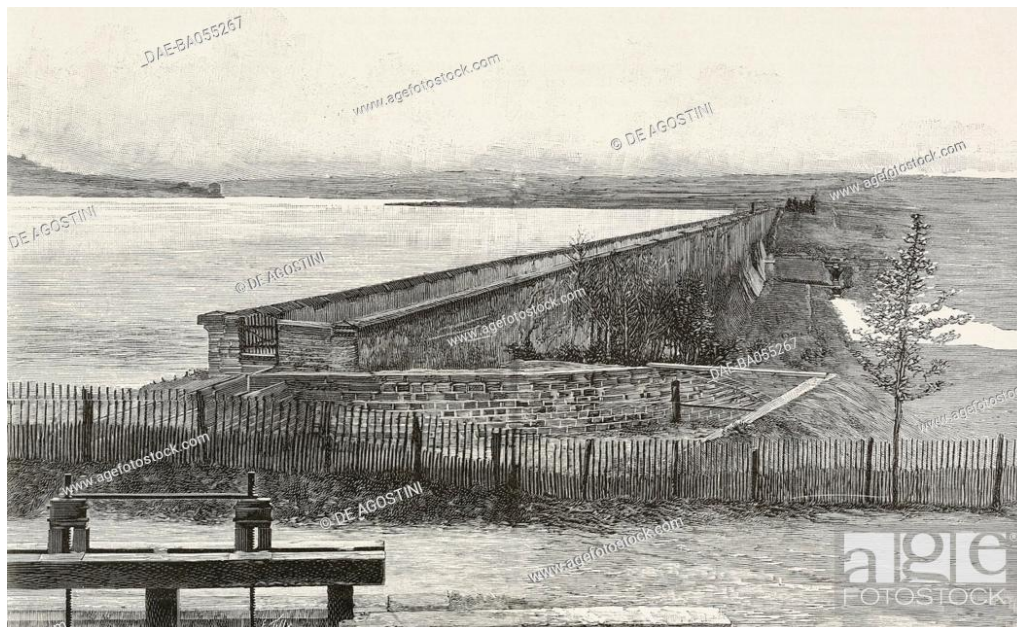


# Diga di Bouzey, Francia



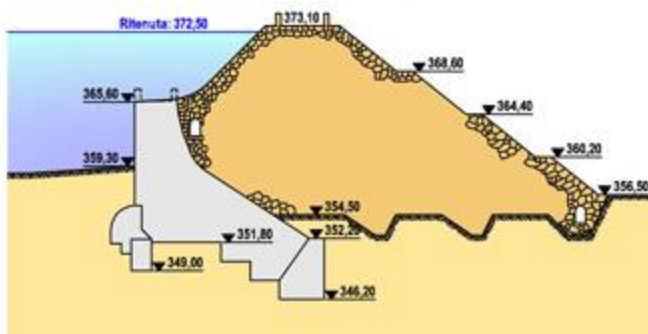


## Diga di Bouzey, 1895



Ghinami, 2021 - [www.dighe.eu](http://www.dighe.eu)

## Diga di Bouzey, 1939



Ghinami, 2021 - [www.dighe.eu](http://www.dighe.eu)



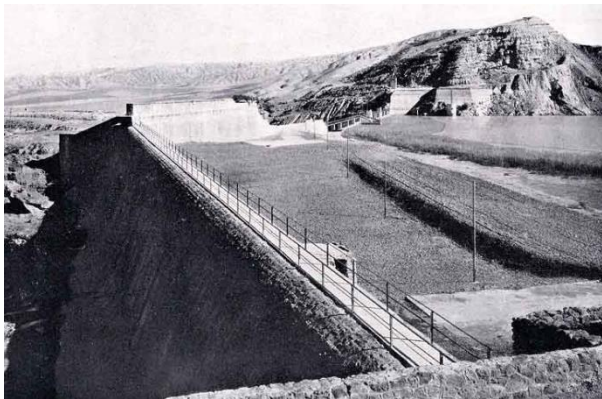




Diga di Fergoug, Algeria,  
 $L=316\text{m}$ ,  $H=36\text{m}$ ,  $V= 30\text{-}36\text{Mm}^3$

collassi successivi: 1872, 1881, 1927

LE BARRAGE DE L'OUED FERGOUG APRES LA CATASTROPHE DE 1927.



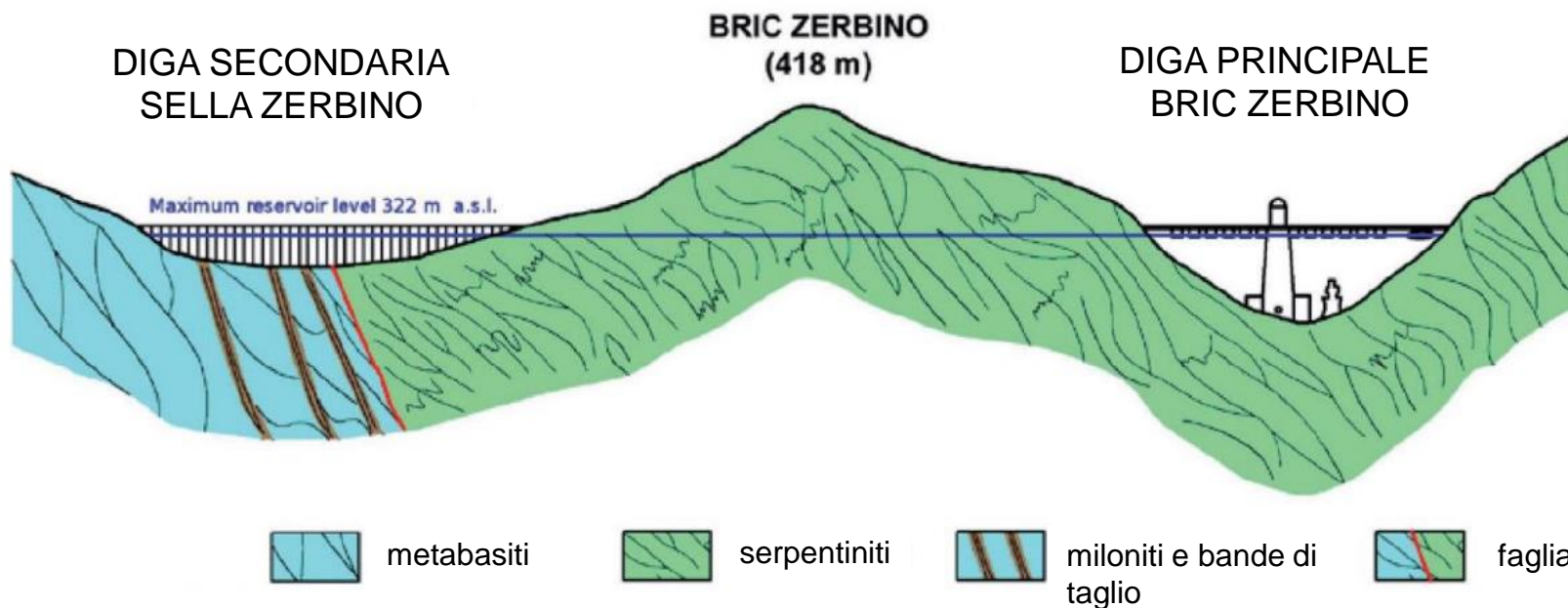
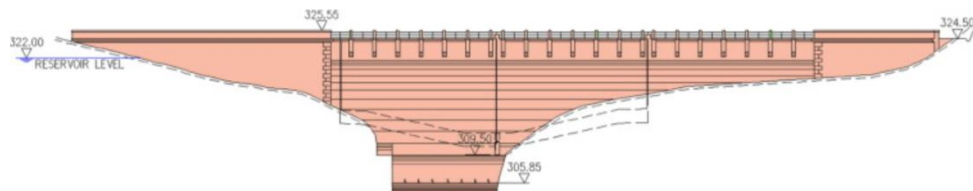
Seguy, 2010



# Diga di Sella Zerbino, Italia

$L=109\text{m}$ ,  $H=15\text{m}$ ,  $V= 1,8\text{Mm}^3$

collasso 1935, 111morti



## Diga di Sella Zerbino, Italia

L=109m, H=15m, V= 1,8Mm<sup>3</sup> - collasso 1935, 111morti

*Dalla sentenza della Corte di Appello di Torino, 4 luglio 1939*

”Il crollo della diga di Sella Zerbino è venuto a ricordare, ancora una volta, ai progettisti e costruttori che le forze naturali sfuggono all'umano controllo, e che di fronte ad esse i mezzi di cui l'uomo dispone sono sempre limitati e modesti.

Le sue vittime si sono aggiunte alle innumerevoli delle quali è seminato il faticoso cammino del lavoro umano, e che segnano le tappe dolorose di ogni suo progresso”





## Diga di Sella Zerbino, Italia

L=109m, H=15m, V= 1,8Mm<sup>3</sup> - collasso 1935, 111morti

*Dalla sentenza della Corte di Appello di Torino, 4 luglio 1939*

”Il crollo della diga di Sella Zerbino è venuto a ricordare, ancora una volta, ai progettisti e costruttori che le forze naturali sfuggono all'umano controllo, e che di fronte ad esse i mezzi di cui l'uomo dispone sono sempre limitati e modesti.

Le sue vittime si sono aggiunte alle innumerevoli delle quali è seminato il faticoso cammino del lavoro umano, e che segnano le tappe dolorose di ogni suo progresso”



fondazioni

misure

idrologia

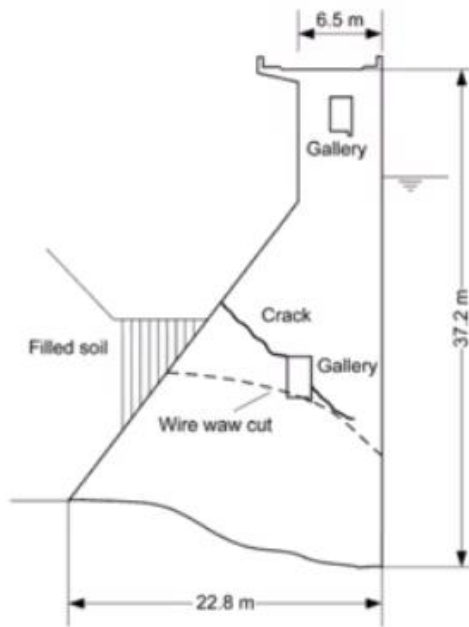
geologia

diga secondaria

scarichi

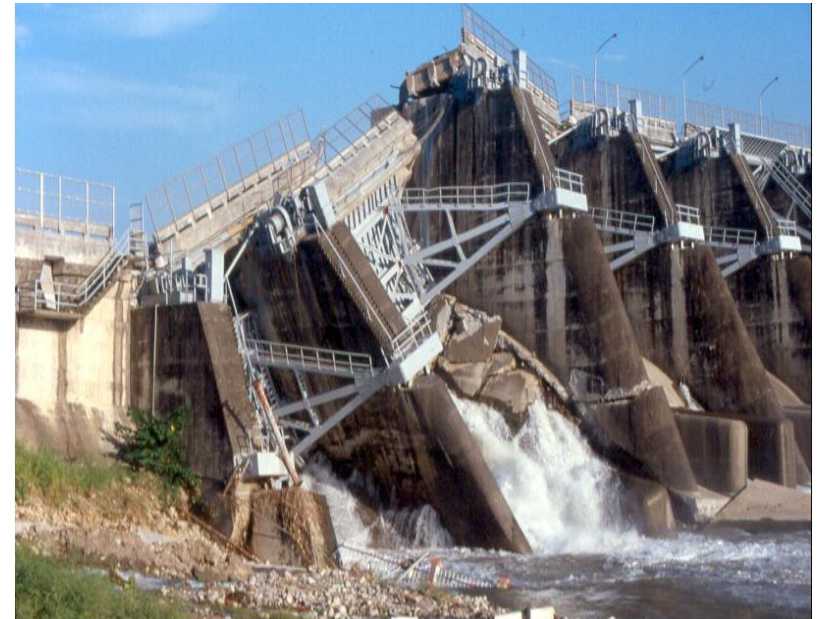
## Altri temi rilevanti

Reazioni alcali aggregati



SPOSTAMENTO VERSO MONTE  
FESSURA DAL CUNICOLO

Risposta al sisma

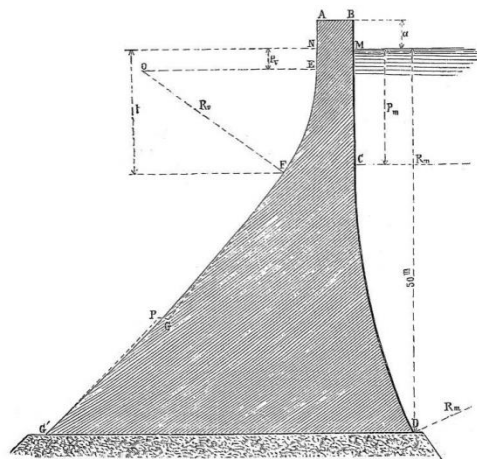




## Evoluzione della normativa italiana

1886 - Ministero di Agricoltura Industria e Commercio

Norme per gli Ingegneri incaricati dell'estensione di progetti preliminari di grandi serbatoi



- *sezione tipo proposta*

- *le fondazioni delle dighe dovranno sempre essere spinte sino alla roccia solida sottostante alle ghiaie ed alle sabbie*
- *nel caso di rocce stratificate le perdite d'acqua potranno essere in gran parte impedito con otturazione, mediante cemento e calcestruzzo, delle fessure e delle grotte e l'acqua di infiltrazione formerà sorgenti poco a valle della diga così sarà sempre possibile immettere queste nel canale*

## Evoluzione della normativa italiana

1921 - Decreto Min. LL.PP. 2 aprile 1921

Norme generali per i progetti e per la costruzione di dighe di sbarramento per serbatoi e laghi artificiali

- *la relazione geognostica, ben documentata e redatta da persona competente in simili studi – investigazioni , risultati degli assaggi, mezzi scientifici e tecnici impiegati*
- *giustificare il valore della massima piena e il margine di eccedenza + potenzialità, semplicità e sicurezza di funzionamento delle opere per lo scarico della piena*
- *disposizione planimetrica moderatamente arcuata; per dighe rettilinee giunti di dilatazione*
- *nel calcolo statico si terrà conto della possibile esistenza di sottopressioni + spinta del ghiaccio. A serbatoio pieno:*
  - paramento di valle:  $\sigma_1 \leq k \cdot \text{carico di sicurezza alla compressione muratura}$
  - paramento a monte  $\sigma_1 \geq 0$ .
- *disposizioni per il controllo di eventuali pressioni idrauliche interne a diverse profondità e specialmente al fondo*



## Evoluzione della normativa italiana

1931 - R.D. 1° ottobre 1931, n. 1370

Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta

- *relazione geognostica, ben documentata e redatta da persona che, oltre ad avere i dovuti **titoli professionali**, sia di **speciale competenza** in simili studi*
- *franco minimo di 1m*
- *giunti di contrazione*
- *verifica a scorrimento con  $T/N \leq 0,7$*

## Evoluzione della normativa italiana

1931 - R.D. 1° ottobre 1931, n. 1370

Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta

- *relazione geognostica, ben documentata e redatta da persona che, oltre ad avere i dovuti **titoli professionali**, sia di **speciale competenza** in simili studi*
- *franco minimo di 1m*
- *giunti di contrazione*
- *verifica a scorrimento con  $T/N \leq 0,7$*

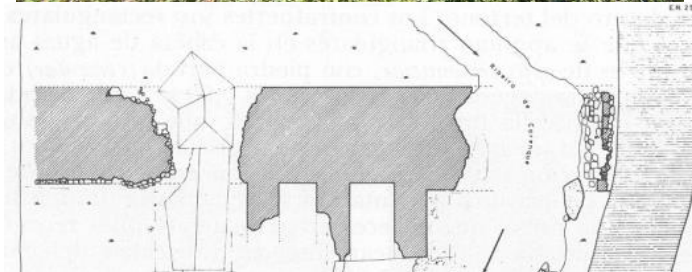
1959 - D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363

Approvazione del regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta

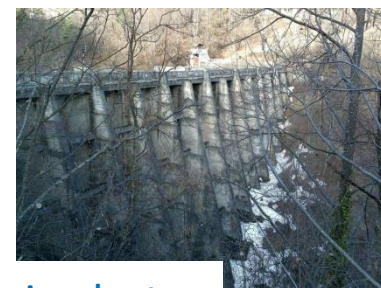
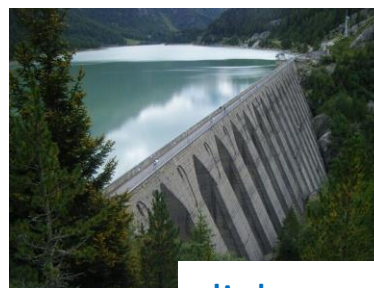
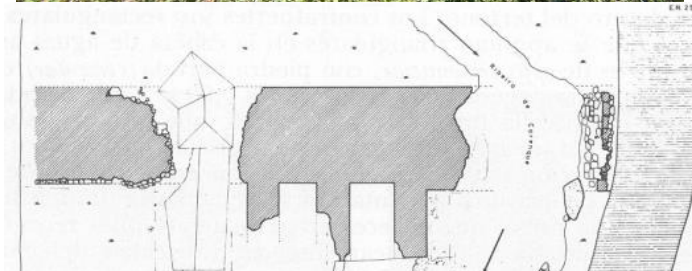
- *azioni sismiche*
- *verifica a scorrimento con  $T/N \leq 0,75$ , convenientemente ridotto in fondazione qualora lo richieda la natura della roccia*



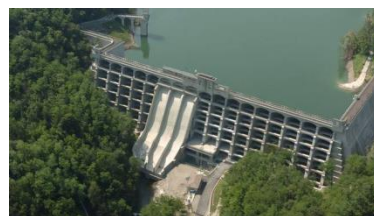
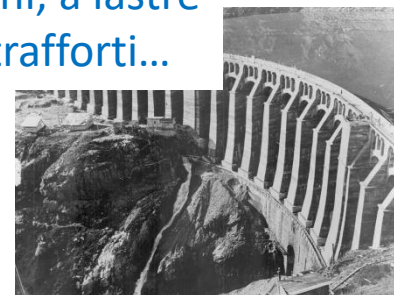
## Diga di Olisipo (o diga di Carenque), Portogallo – III sec dC



## Diga di Olisipo (o diga di Carenque), Portogallo – III sec dC



dighe a speroni, a lastre  
o volte e contrafforti...



dighe a blocchi lubrificati

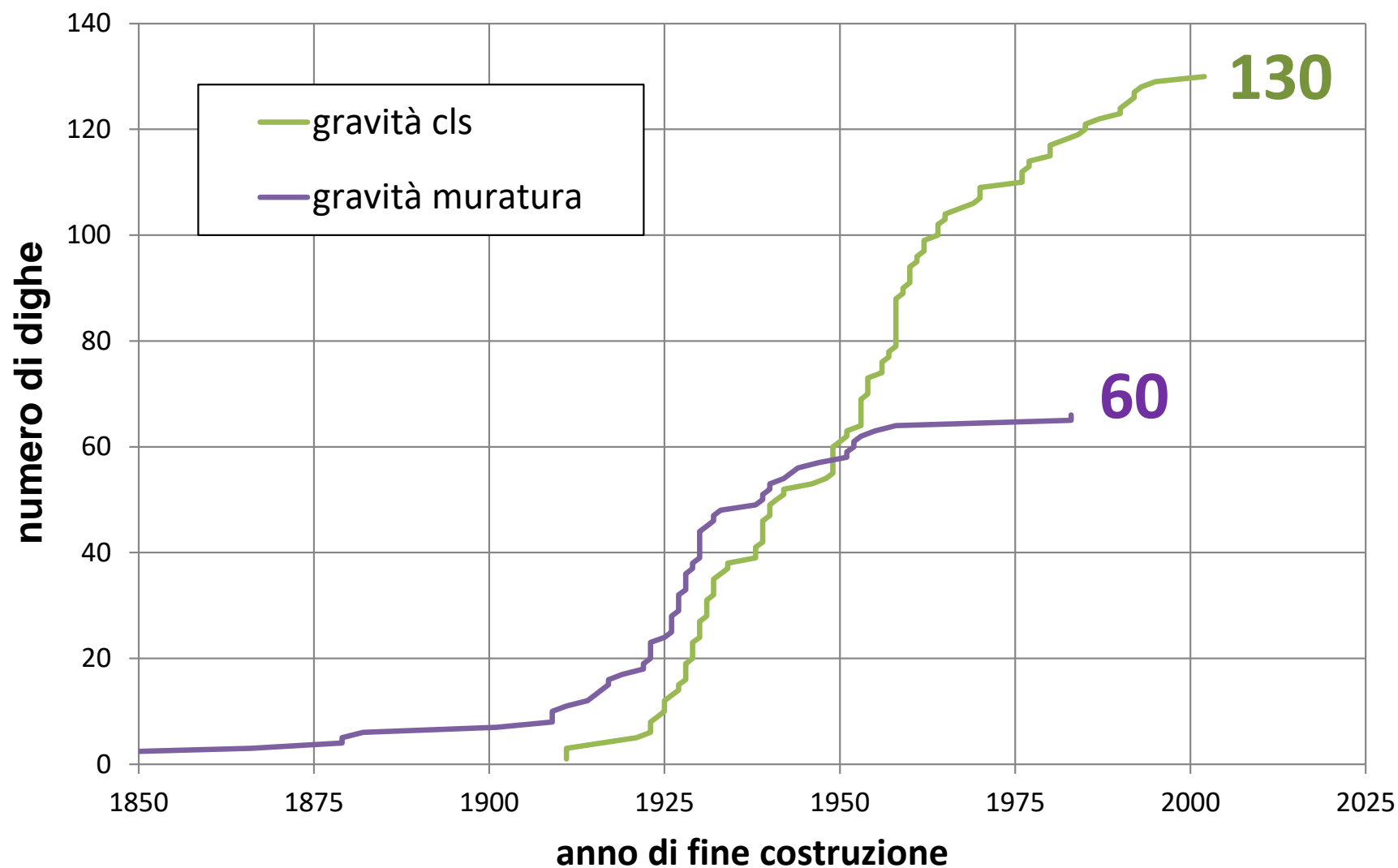


dighe in RCC o poorly cemented dams





## Grandi dighe a gravità massiccia in Italia



## Grandi dighe a gravità massiccia in Italia

