

Evento formazione  
**DIGHE A GRAVITA'**



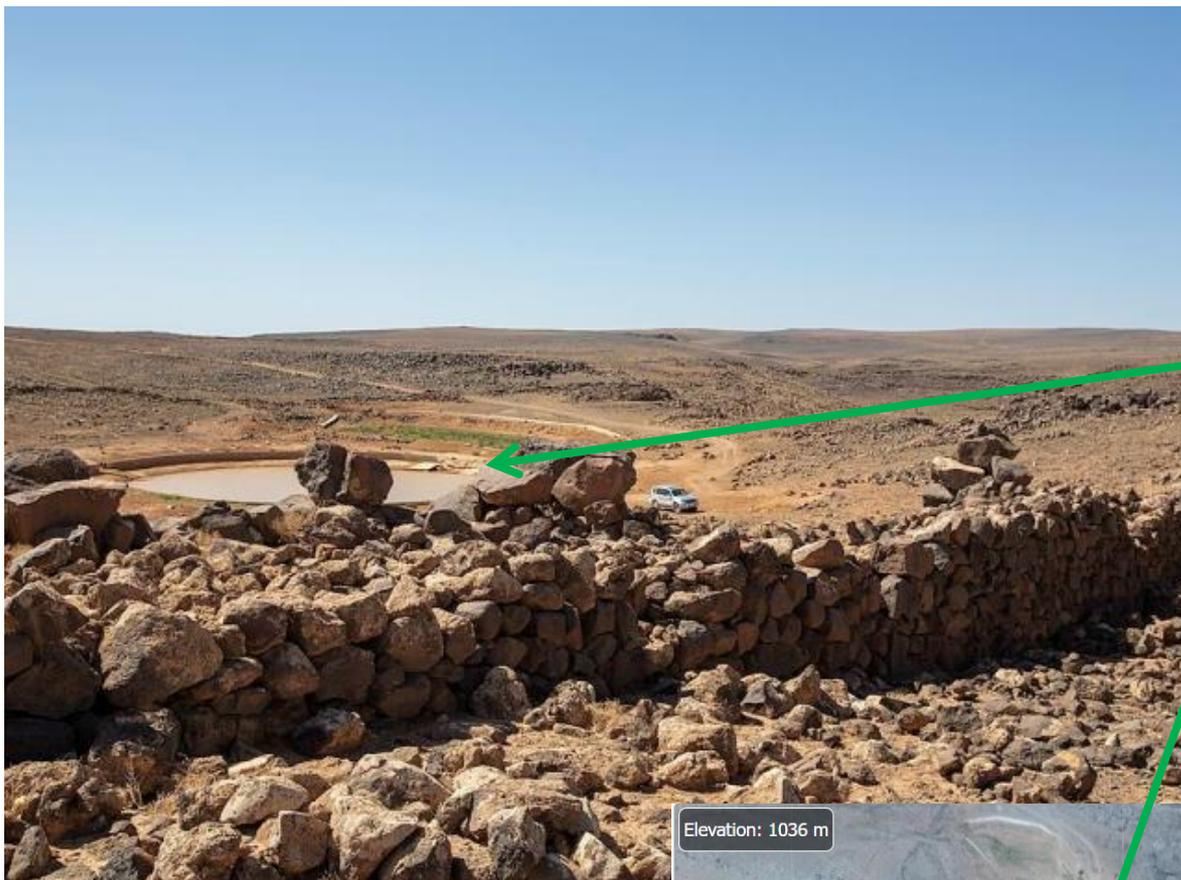
# Nascita ed evoluzione

*Claudia Russo*

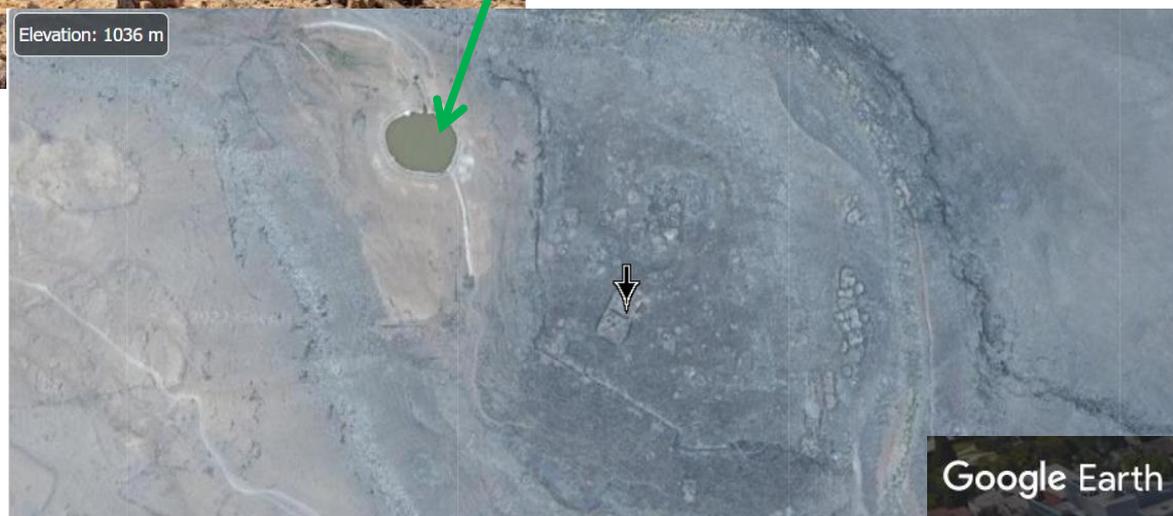
*DG per le Dighe e le Infrastrutture Idriche  
MIMS*

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

Vasca  
L= 80m, H=4-5m



Elevation: 1036 m

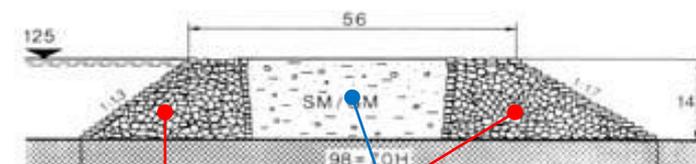


Google Earth



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

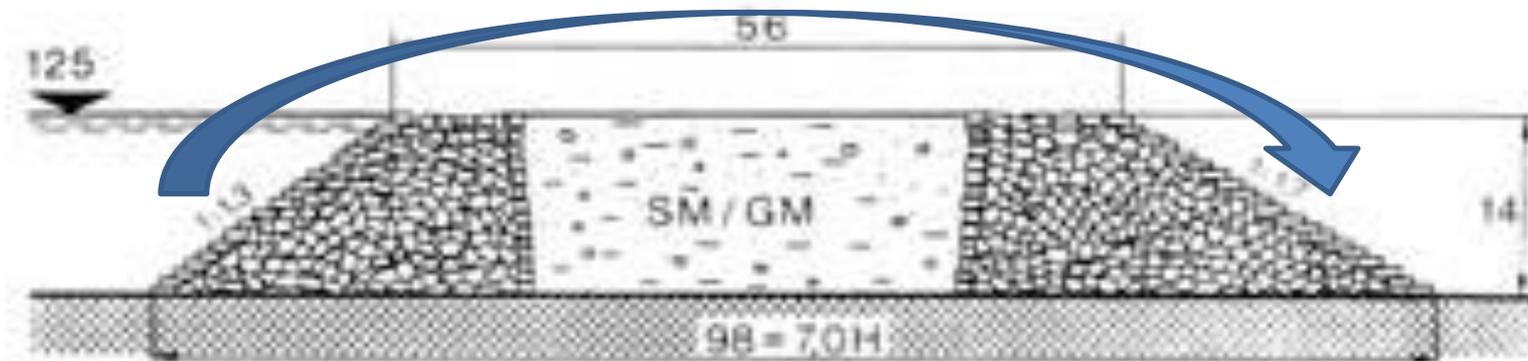
L= 107m, H=11m



muratura di  
pietrame a secco

riempimento in  
argilla e ghiaia

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



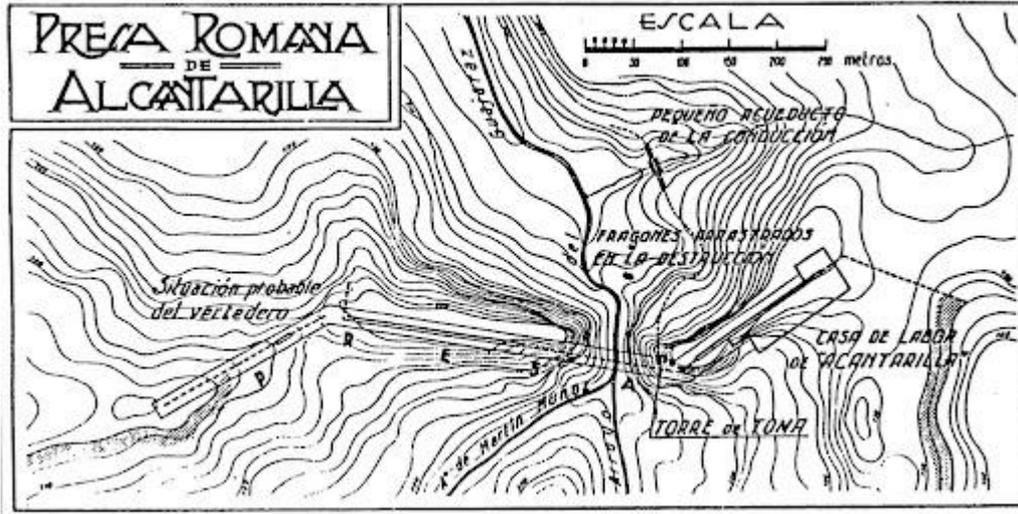


# Diga Marib

## Yemen, 750 a.C.

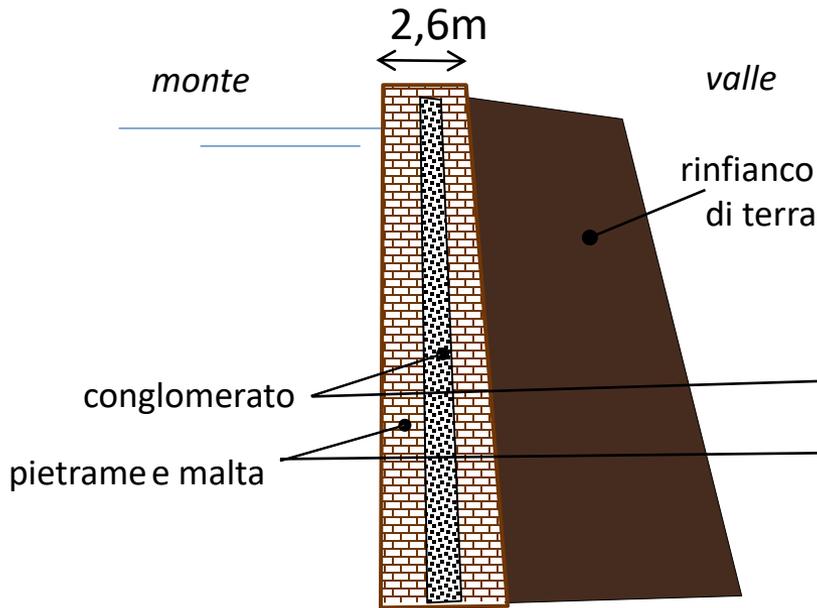
H=4m, L=605m  
(H=7m nel 500 a.C.  
H=14m nel 325 d.C.)





# Diga di Alcantarilla Spagna, 190a.C.

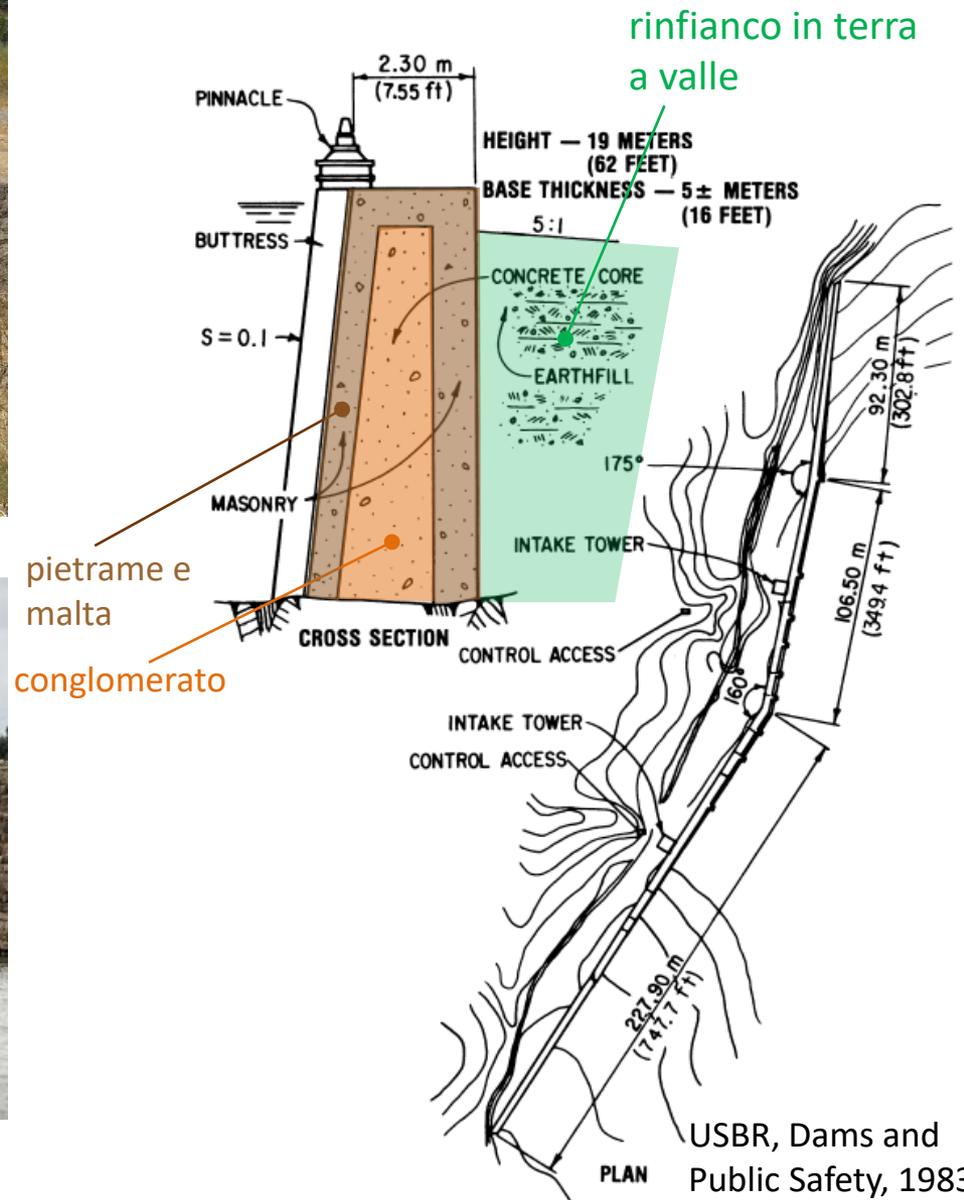
H=20m, L= 550m



# Diga di Proserpina

## Spagna, II secolo d.C.

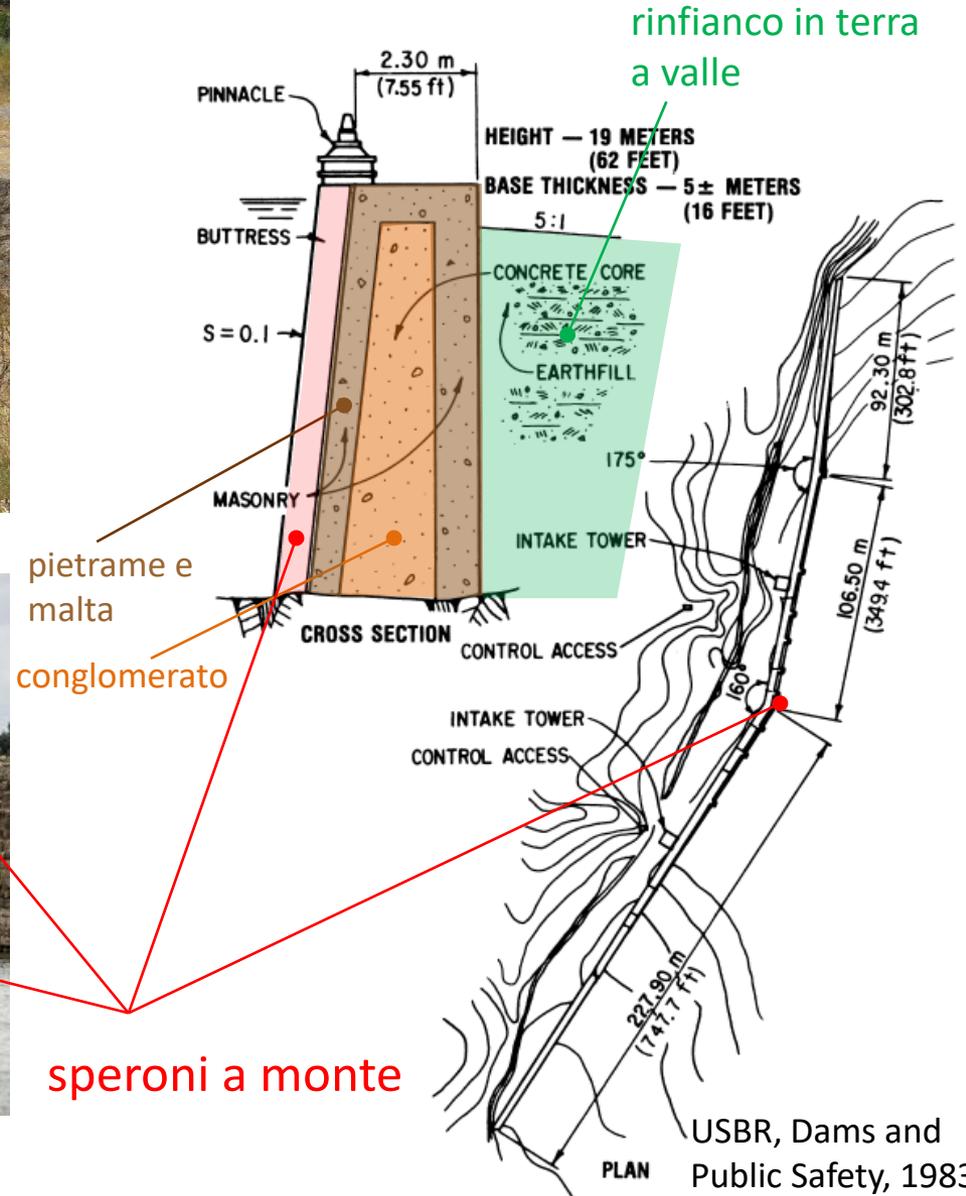
H=12m L=427m



# 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)



speroni



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





# Diga di Cornalvo

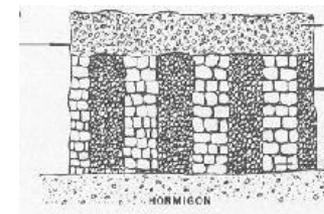
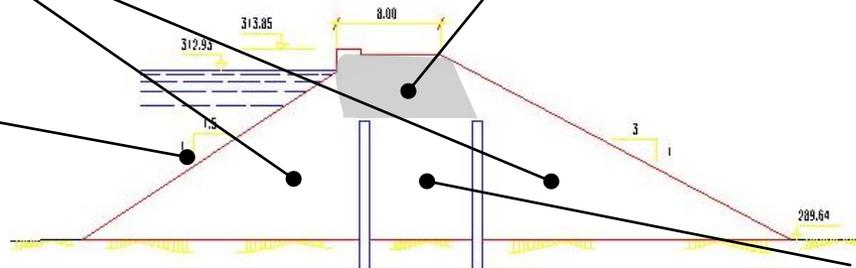
Spagna, 130 d.C.  
H=24m, L=200m



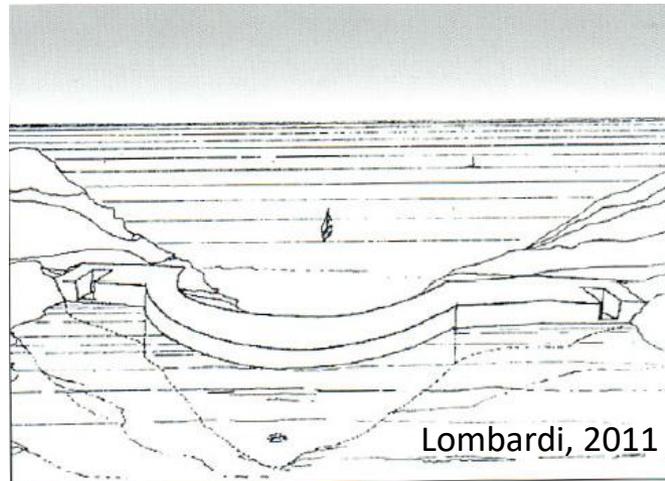
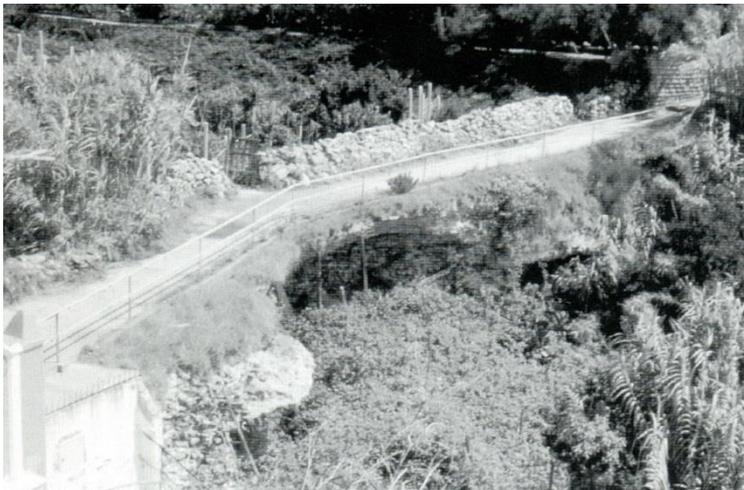
rinfianchi in terra

parte sommitale  
in conglomerato

protezione in  
muratura del  
paramento di monte



nucleo in muratura costituito  
da celle interconnesse  
riempite di pietre o argilla



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

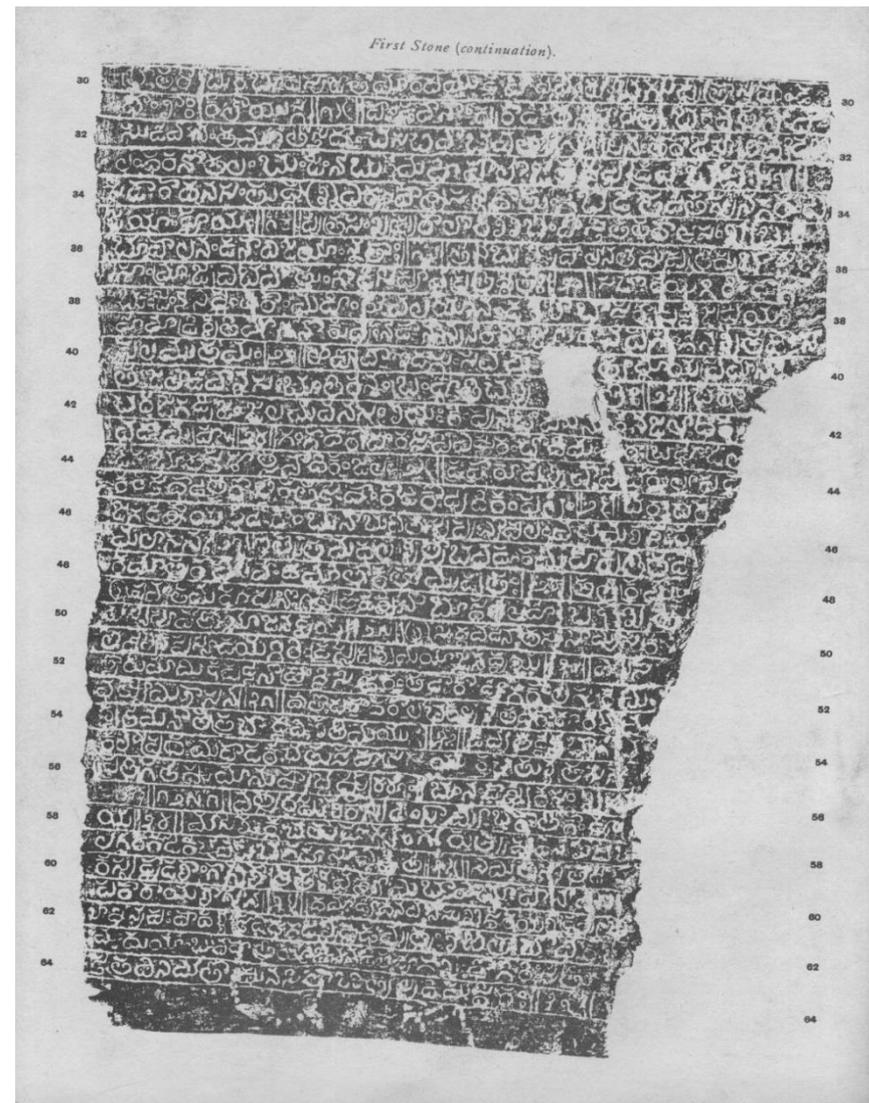
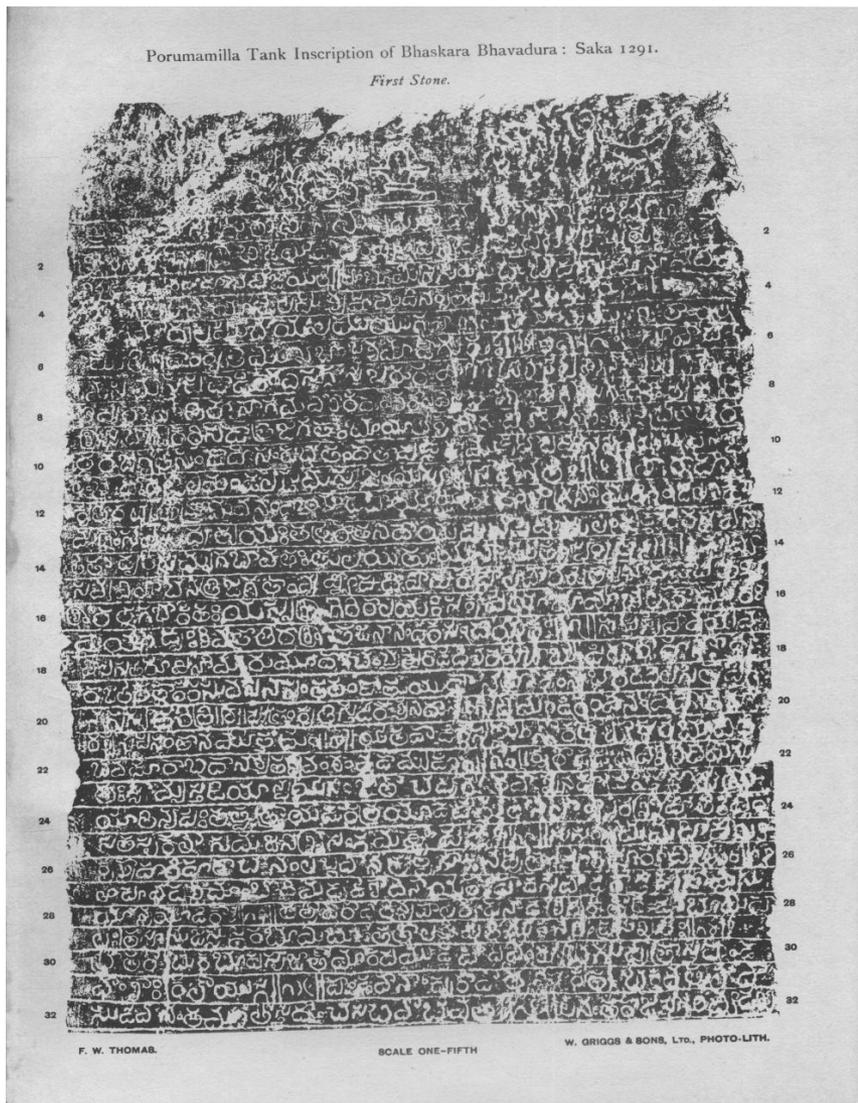


Diga di Saveh,  
Iran, 1281  
H=35m, L=65m



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

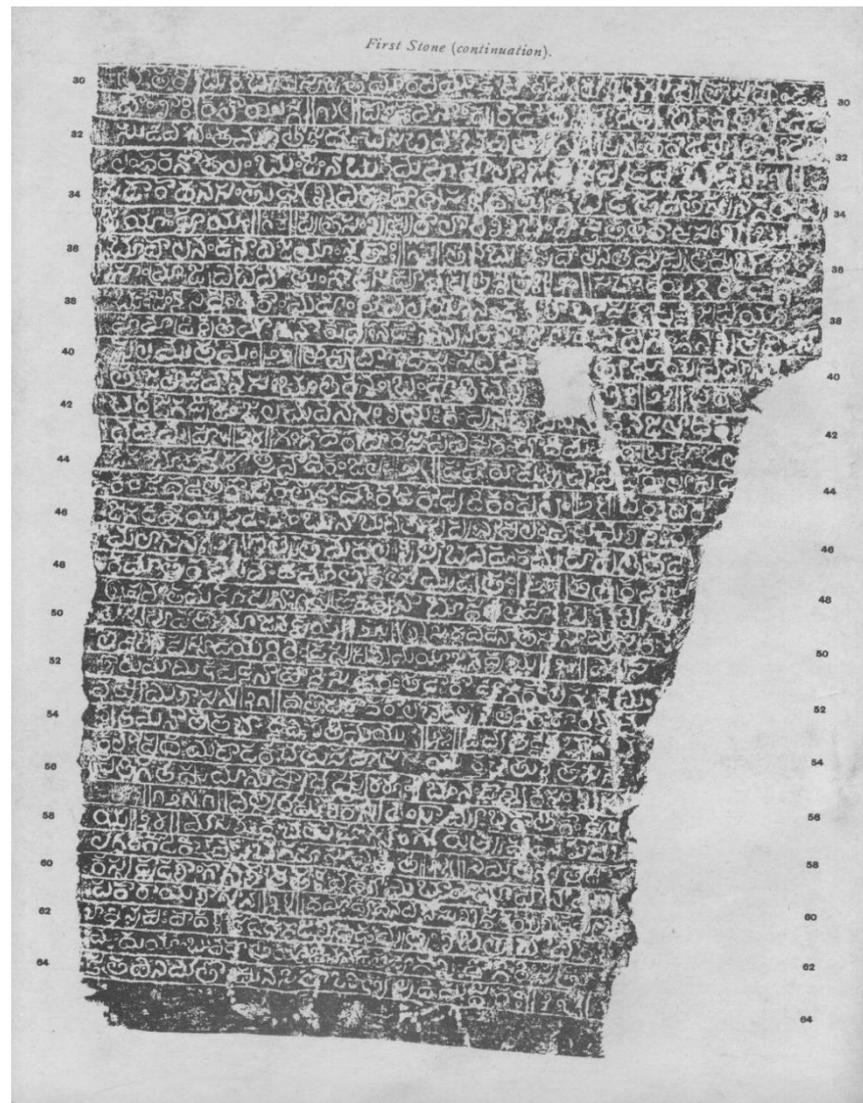
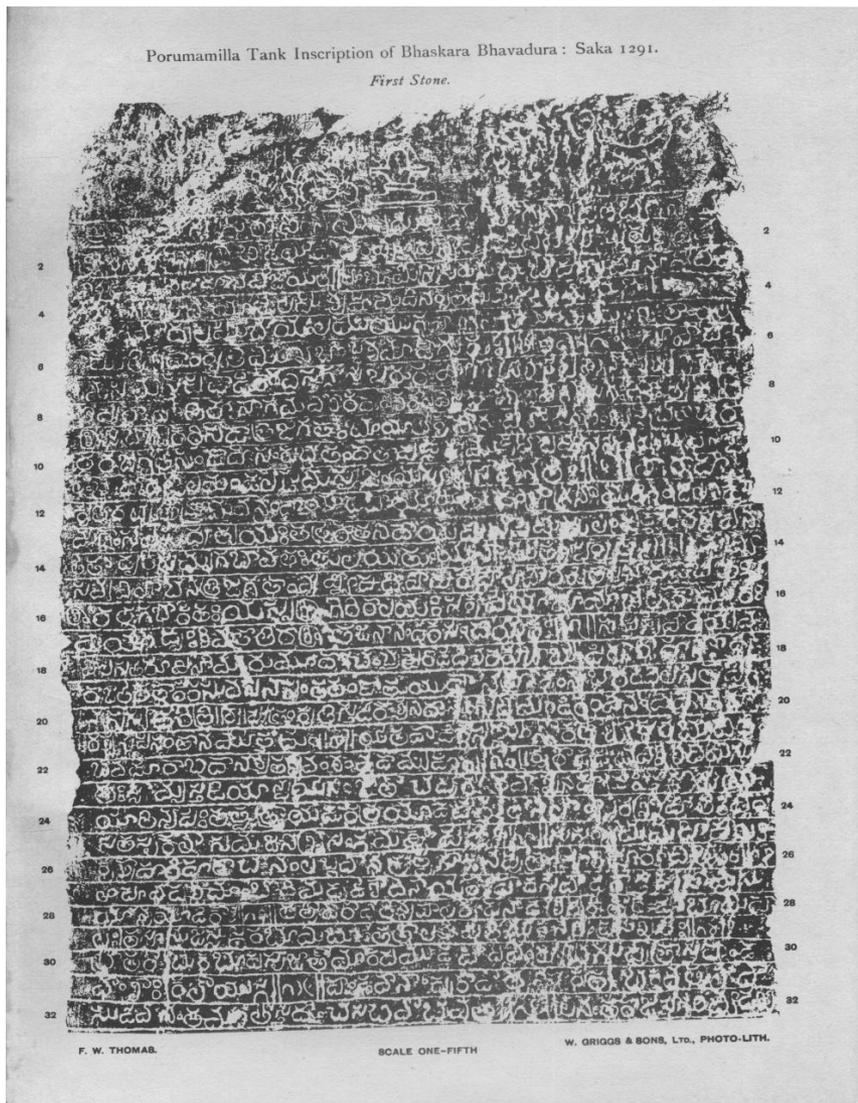
Porumainilla Tank Inscription of Bhaskara Bhavadura : Saka 1291.

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 fertili 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

Porumainilla Tank Inscription of Bhaskara Bhavadura : Saka 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

First Stone (continuation).



F. W. THOMAS.

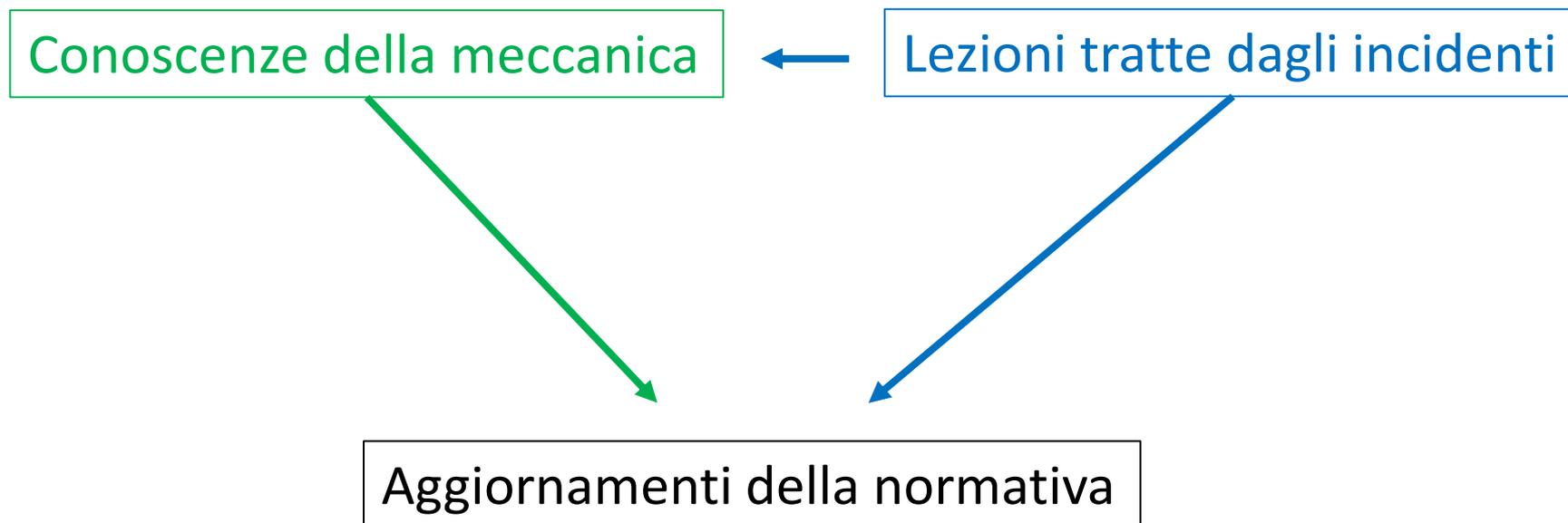
SCALE ONE-FIFTH

W. GRIGGS & SONS, LTD., PHOTO-LITH.



30  
32  
34  
36  
38  
40  
42  
44  
46  
48  
50  
52  
54  
56  
58  
60  
62  
64

# Evoluzione delle dighe a gravità nei tempi moderni

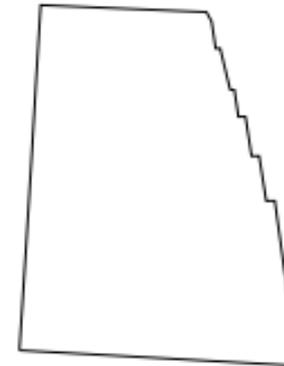


# Sezioni tipiche di dighe a gravità nel tempo

(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)

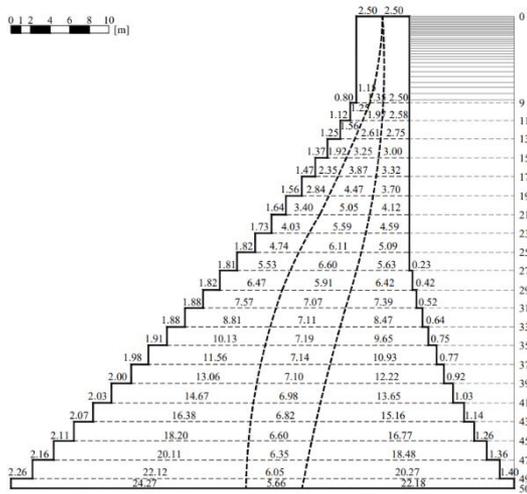


*Alcatarilla (sec. II)*  
 $H=17m$ ;  $L=557m$   
 (c)

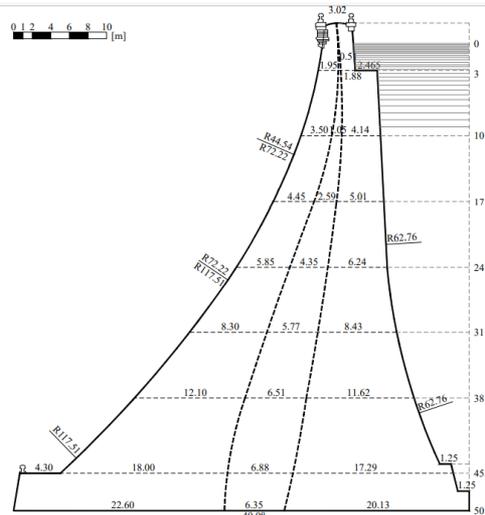


*Rellou (1653)*  
 $H=29m$ ;  $L=34m$   
 (i)

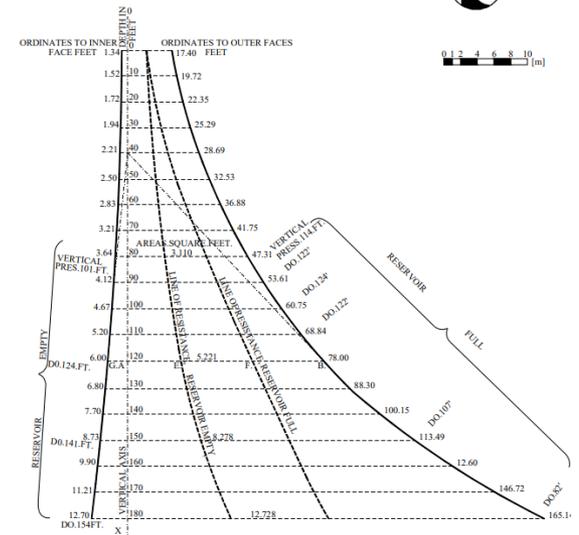
# Nuovi studi negli anni 1853-1910



Sazilly

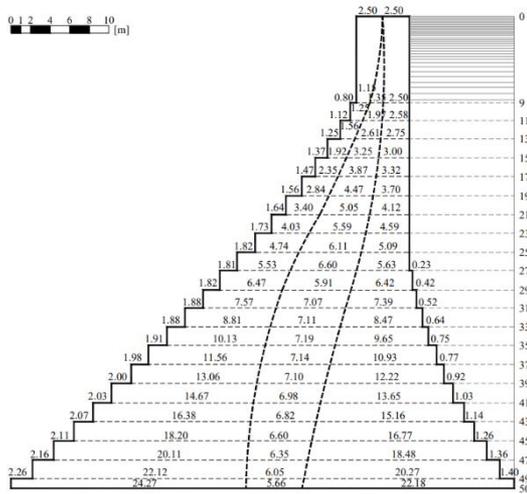


Delocre

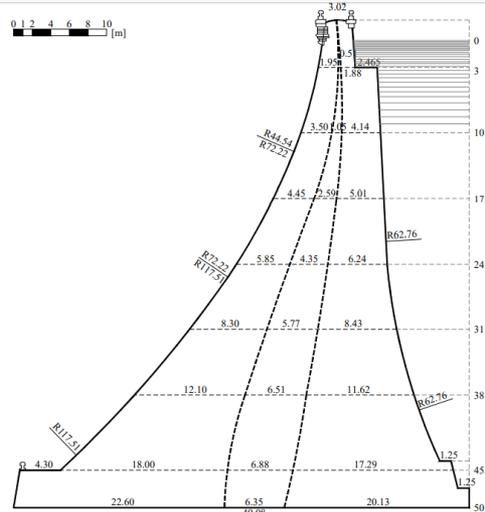


Rankine

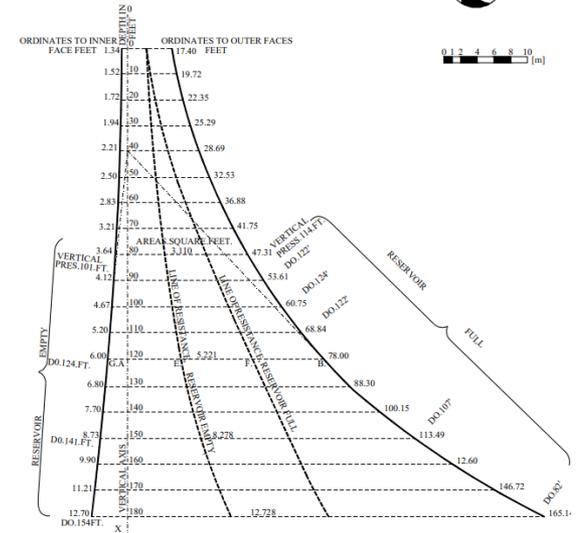
# Nuovi studi negli anni 1853-1910



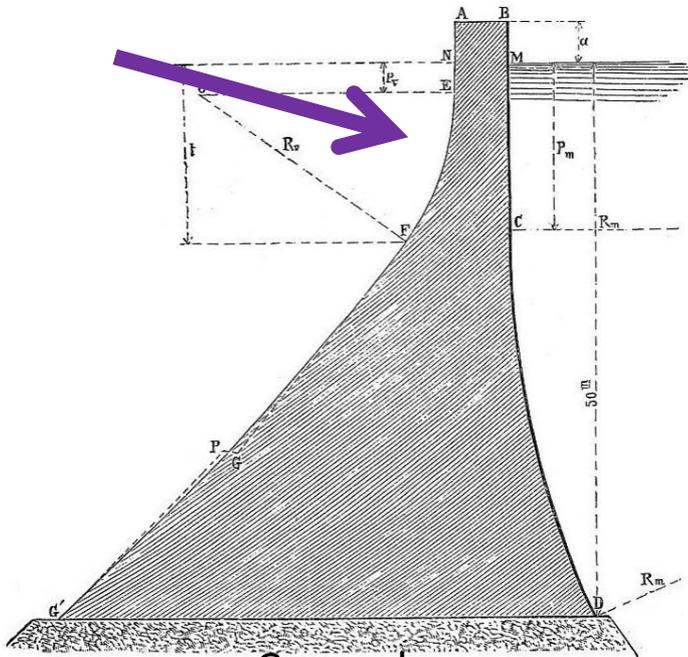
Sazilly



Delocre



Rankine

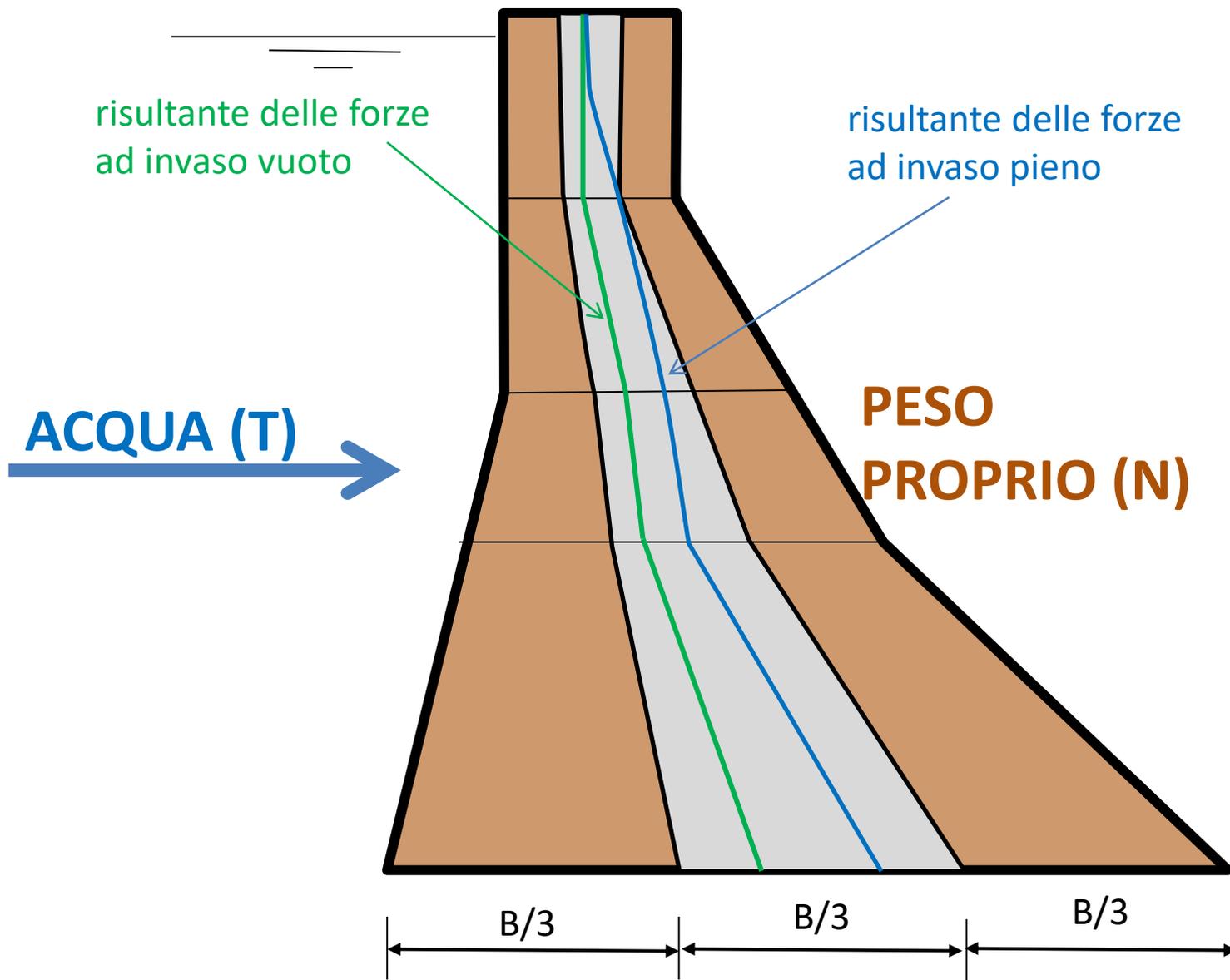


Crugnola

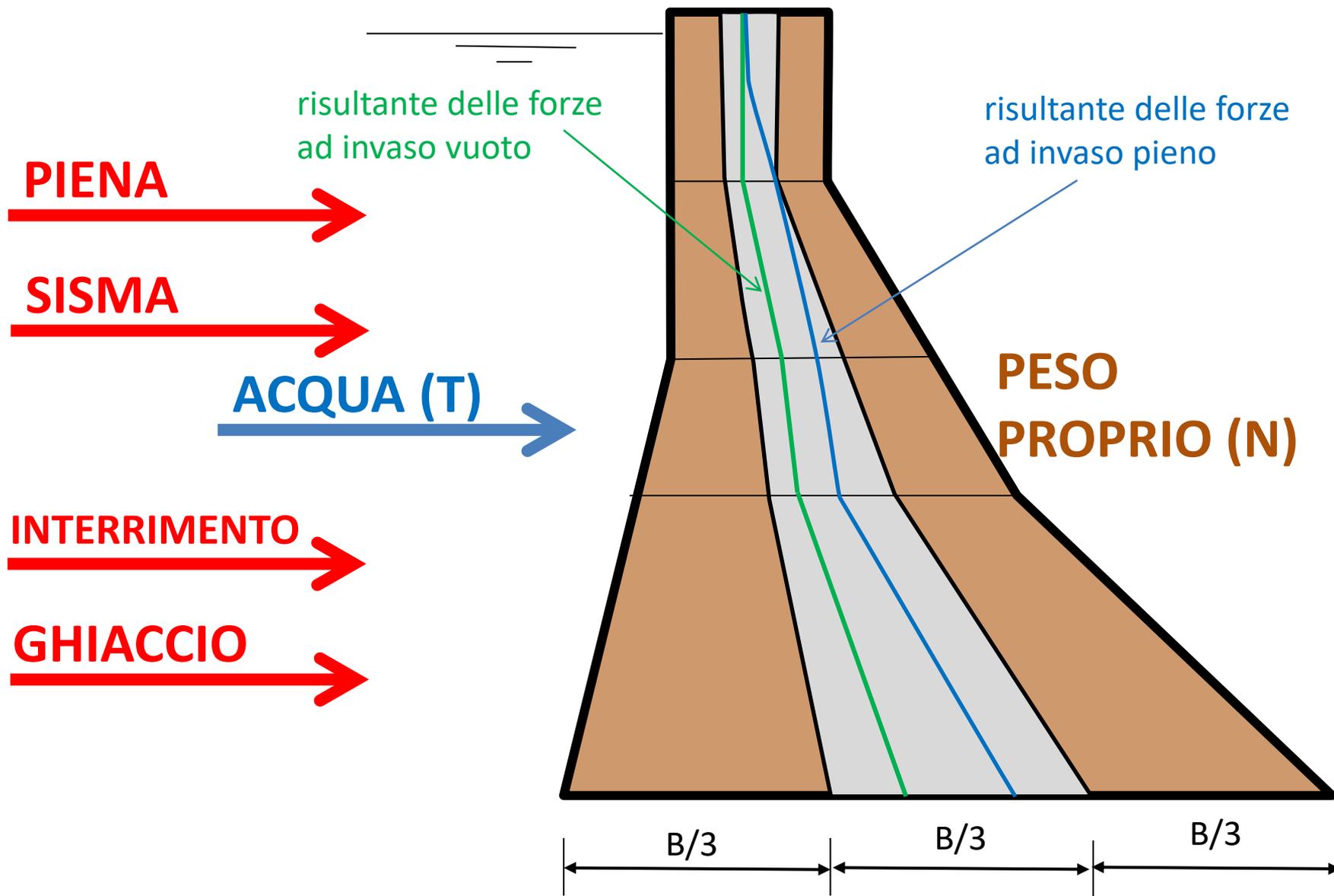
sezione tipo proposta dalla norma  
 MINISTERO DI AGRICOLTURA INDUSTRIA E COMMERCIO  
 DIREZIONE GENERALE DELL'AGRICOLTURA  
 Norme per gli Ingegneri incaricati dell'estensione  
 di progetti preliminari di grandi serbatoi  
 (1886)

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

# Schema statico semplificato



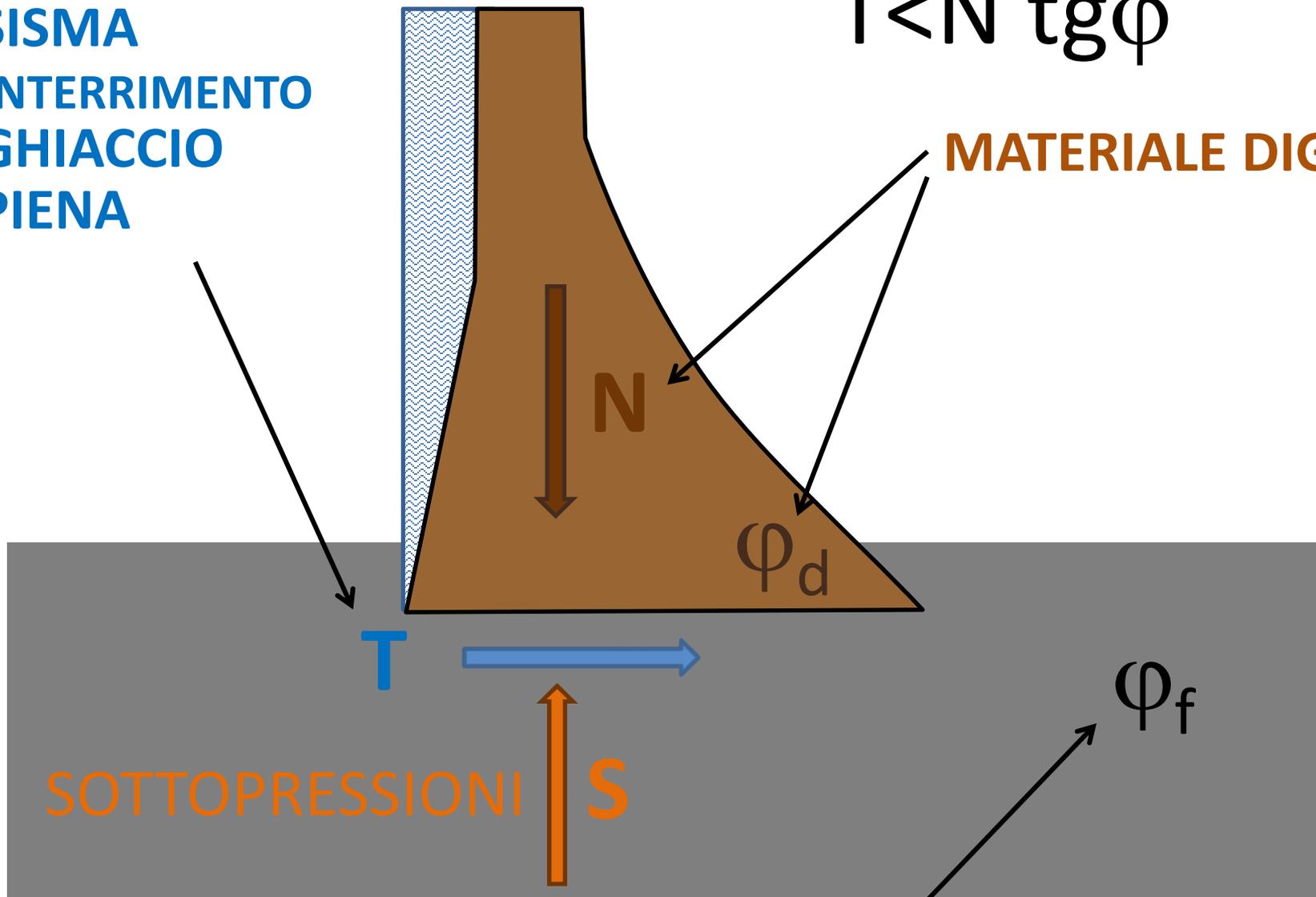
# Schema statico semplificato



ACQUA  
SISMA  
INTERRIMENTO  
GHIACCIO  
PIENA

$$T < N \operatorname{tg} \varphi$$

MATERIALE DIGA

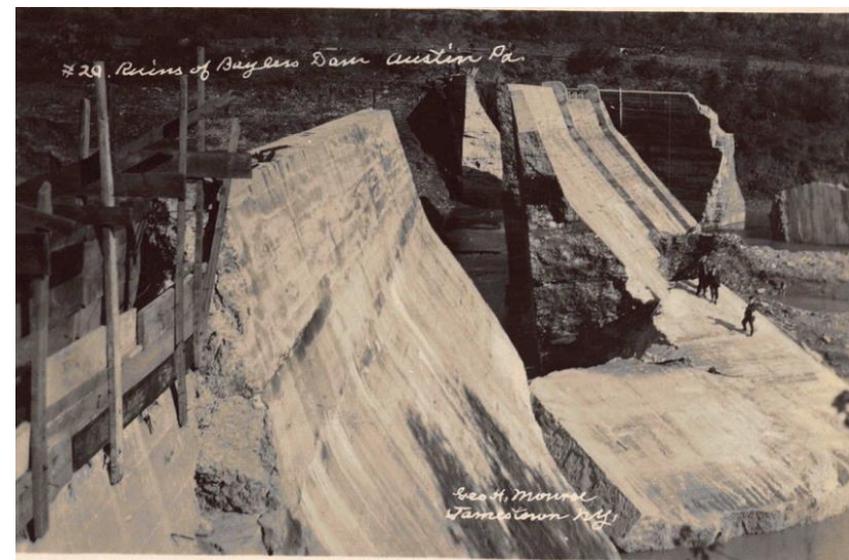
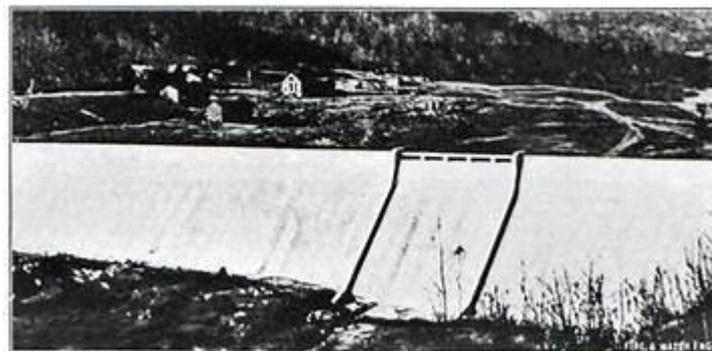
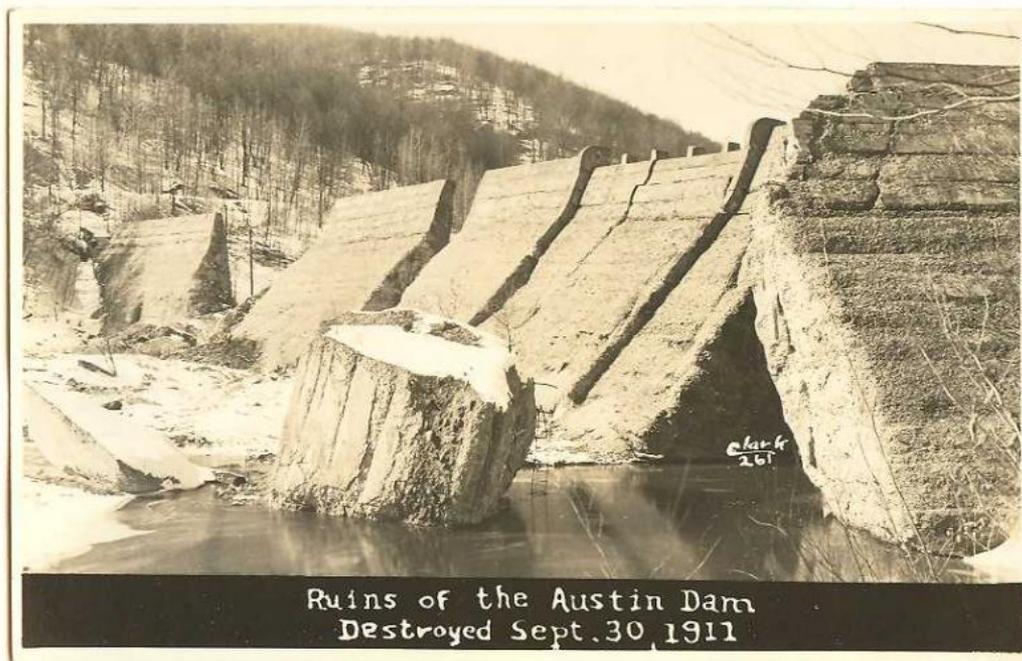


FORMAZIONE GEOLOGICA  
IN FONDAZIONE

# Diga di Austin, USA

L=166m, H=15m

collasso 1911, 78 morti

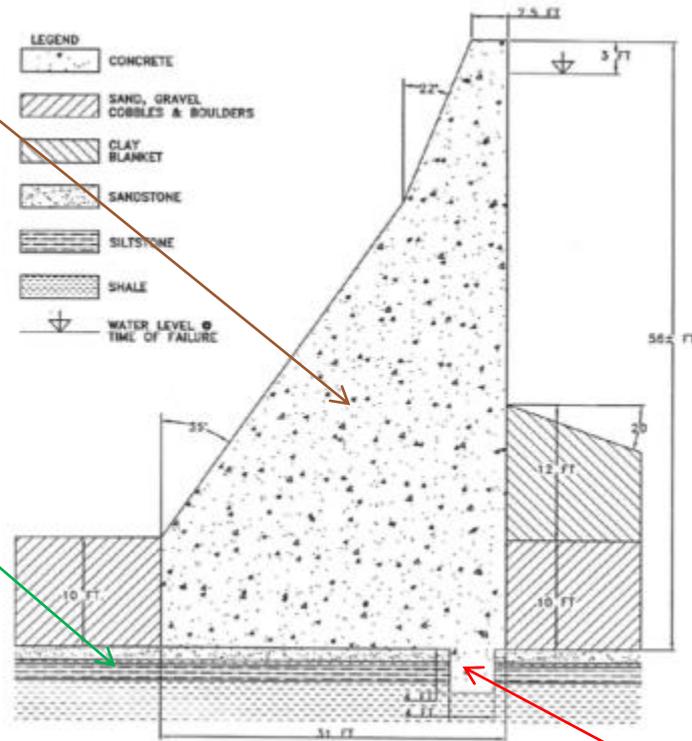


# Diga di Austin, collasso 1911

L=166m, H=15m

calcestruzzo ciclopico

strati di arenarie  
e scisti argillosi



15m

10m

tagliane di tenuta

## Diga di Bouzey, Francia

L=500m, H=20m, V= 7Mm<sup>3</sup>

collasso 1895,

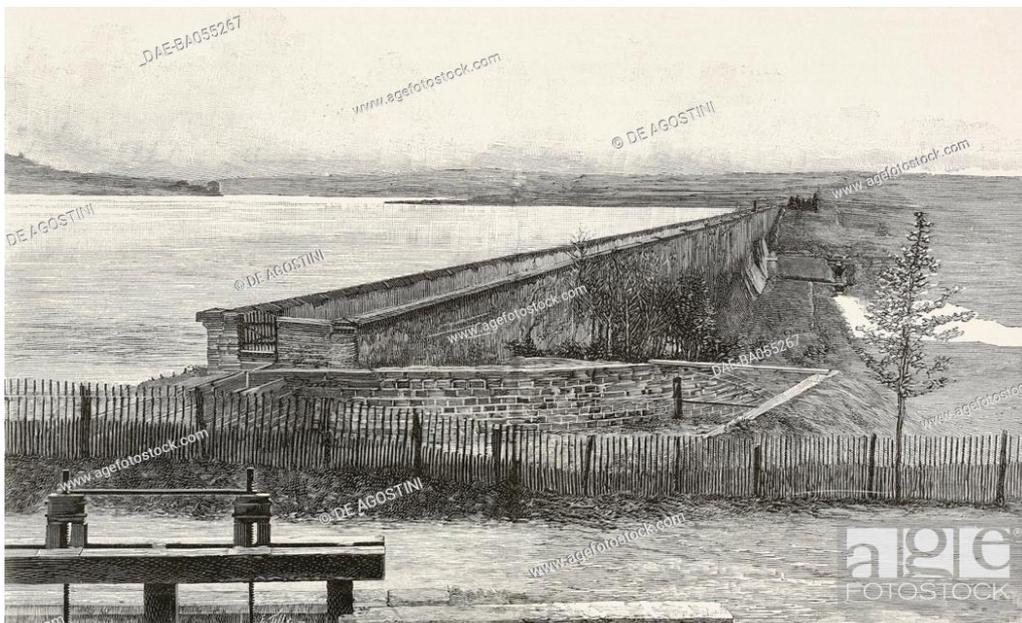
87 morti



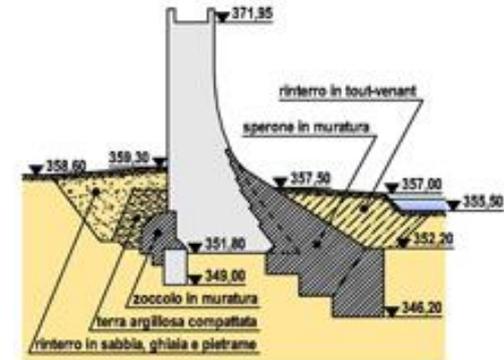
The New York Times

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



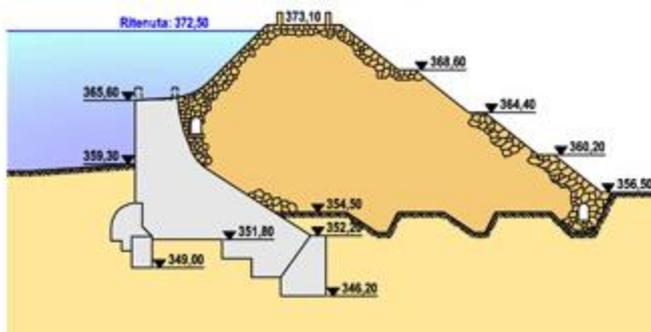


## Diga di Bouzey, 1895



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

## Diga di Bouzey, 1939



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

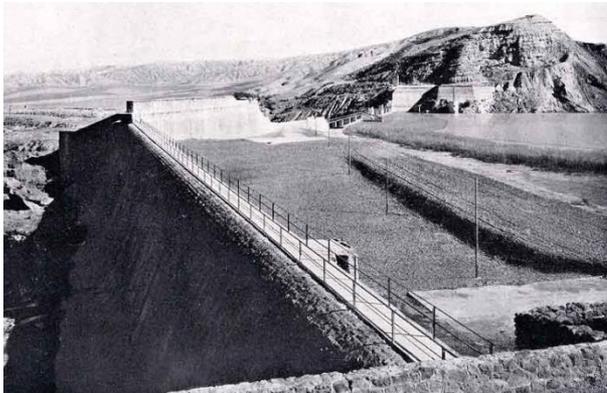




Diga di Fergoug, Algeria,  
 $L=316\text{m}$ ,  $H=36\text{m}$ ,  $V= 30\text{-}36\text{Mm}^3$

collassi successivi: 1872, 1881, 1927

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

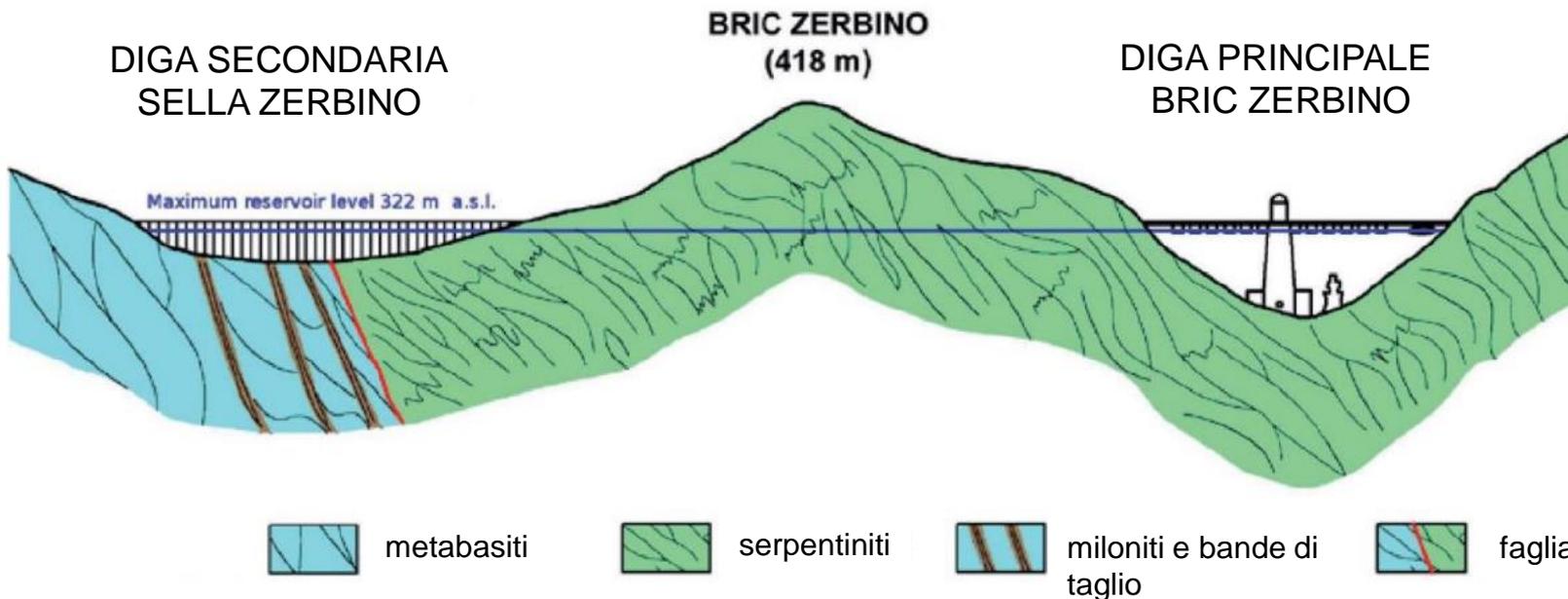
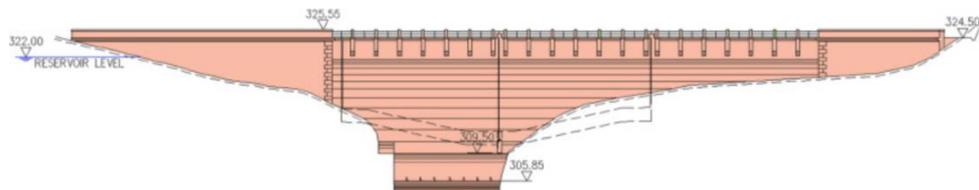


Seguy, 2010

# Diga di Sella Zerbino, Italia

L=109m, H=15m, V= 1,8Mm<sup>3</sup>

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

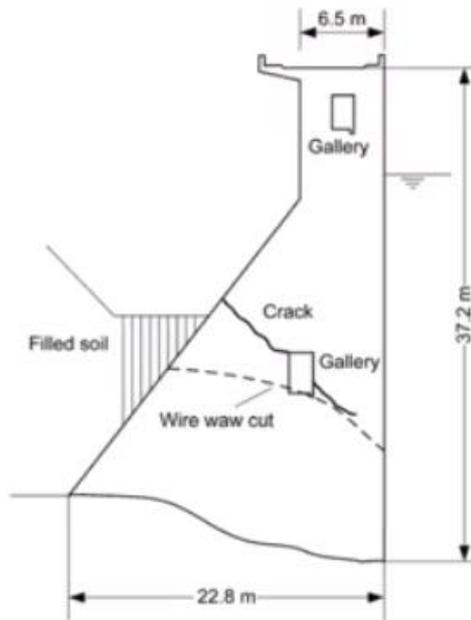
geologia

diga secondaria

scarichi

## Altri temi rilevanti

Reazioni alcali aggregati



SPOSTAMENTO VERSO MONTE  
FESSURA DAL CUNICOLO

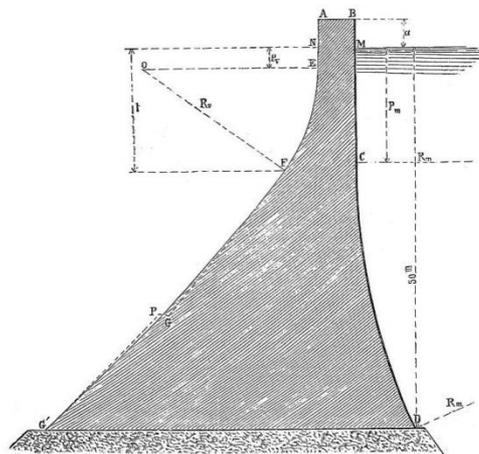
Risposta al sisma



## 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:  $\sigma_1 \leq k = \text{carico di sicurezza alla compressione muratura}$
  - 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

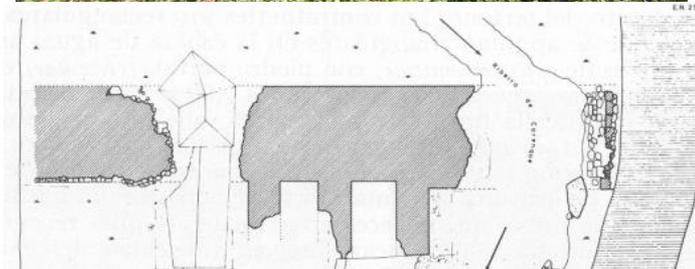
- *relazione geognostica, ben documentata e redatta da persona che, oltre ad avere i dovuti **titoli professionali**, sia di **speciale competenza** in simili studi*
- *franco minimo di 1m*
- *giunti di contrazione*
- *verifica a scorrimento con  $T/N \leq 0,7$*

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

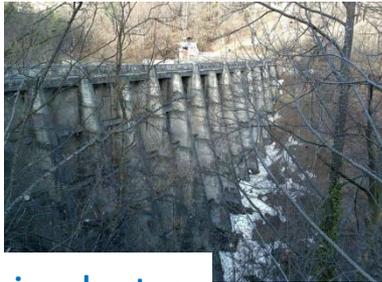
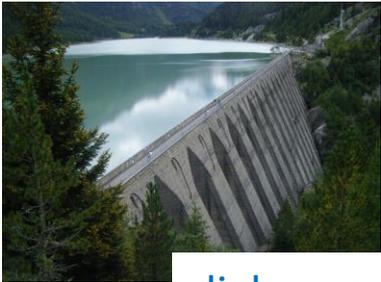
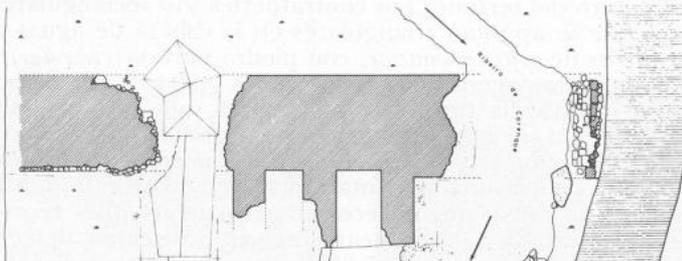
Approvazione del regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta

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

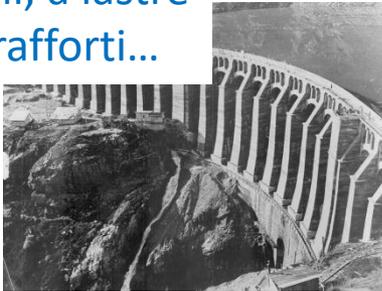
# Diga di Olisipo (o diga di Carenque), Portogallo – III sec dC



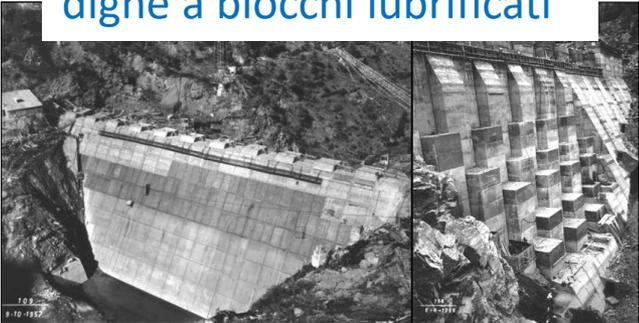
# Diga di Olisipo (o diga di Carenque), Portogallo – III sec dC



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



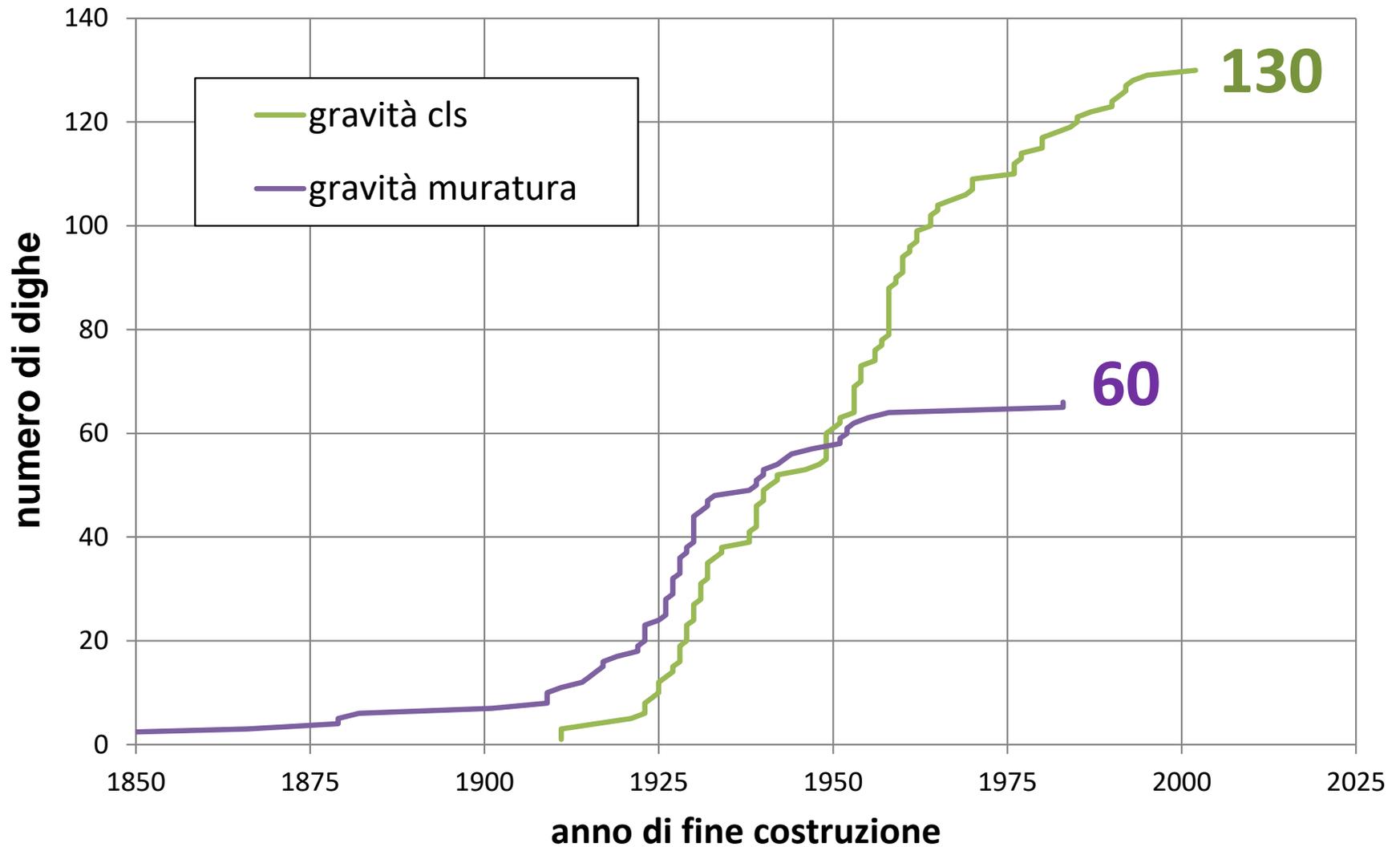
## dighe a blocchi lubrificati



## dighe in RCC o poorly cemented dams



## Grandi dighe a gravità massiccia in Italia



## Grandi dighe a gravità massiccia in Italia

