



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari

# Problemi ingegneristici collegati alla presenza di falda (4<sup>a</sup> edizione)

Dott. Ing. Alberto Garrasi

Consulente in geotecnica e fondazioni speciali

Bari, 21 Ottobre 2019



# Problemi ingegneristici collegati alla presenza di falda

Bari, 21 Ottobre 2019



Ancorché organizzato in modo da fornire una trattazione organica e completa del tema affrontato, il seminario è concepito come parte di una triade che abbraccia l'intero mondo della "progettazione geotecnica" in senso lato, che l'Ordine degli Ingegneri di Bari intende proporre ai propri iscritti.

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari



Dall'indagine al progetto ... o viceversa ?

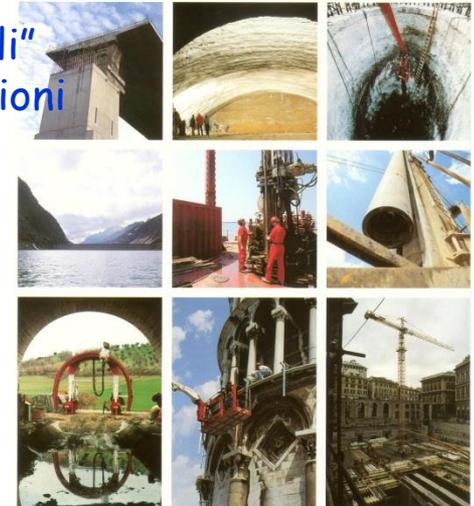
**ESEGUITO**



BARI - 2 Ottobre 2019

## "Fondazioni Speciali" (progetto, applicazioni e tecnologie)

Bari, 29 Ottobre 2019





## PARATIE MULTIANCORATE

(progetto, applicazioni, tecnologie)

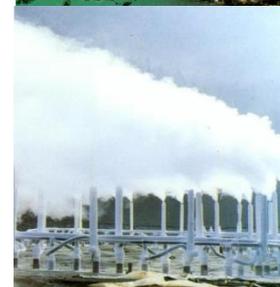
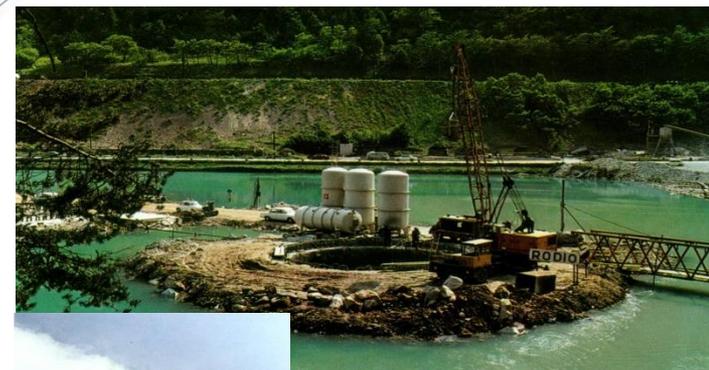
Dott. Ing. Alberto Garrasi



## TRATTAMENTO DEI TERRENI E DELLE ROCCE

(tecnologie ed applicazioni)

Dott. Ing. Alberto Garrasi



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari

ALTRI CORSI DI GEOTECNICA PROMOSSE  
DALL'ORDINE DEGLI INGEGNERI DI BARI

# PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA

STRUTTURE & FALDA

IN FASE DI COSTRUZIONE (OPERE SOTTO FALDA)

IN ESERCIZIO

**LIQUEFAZIONE**

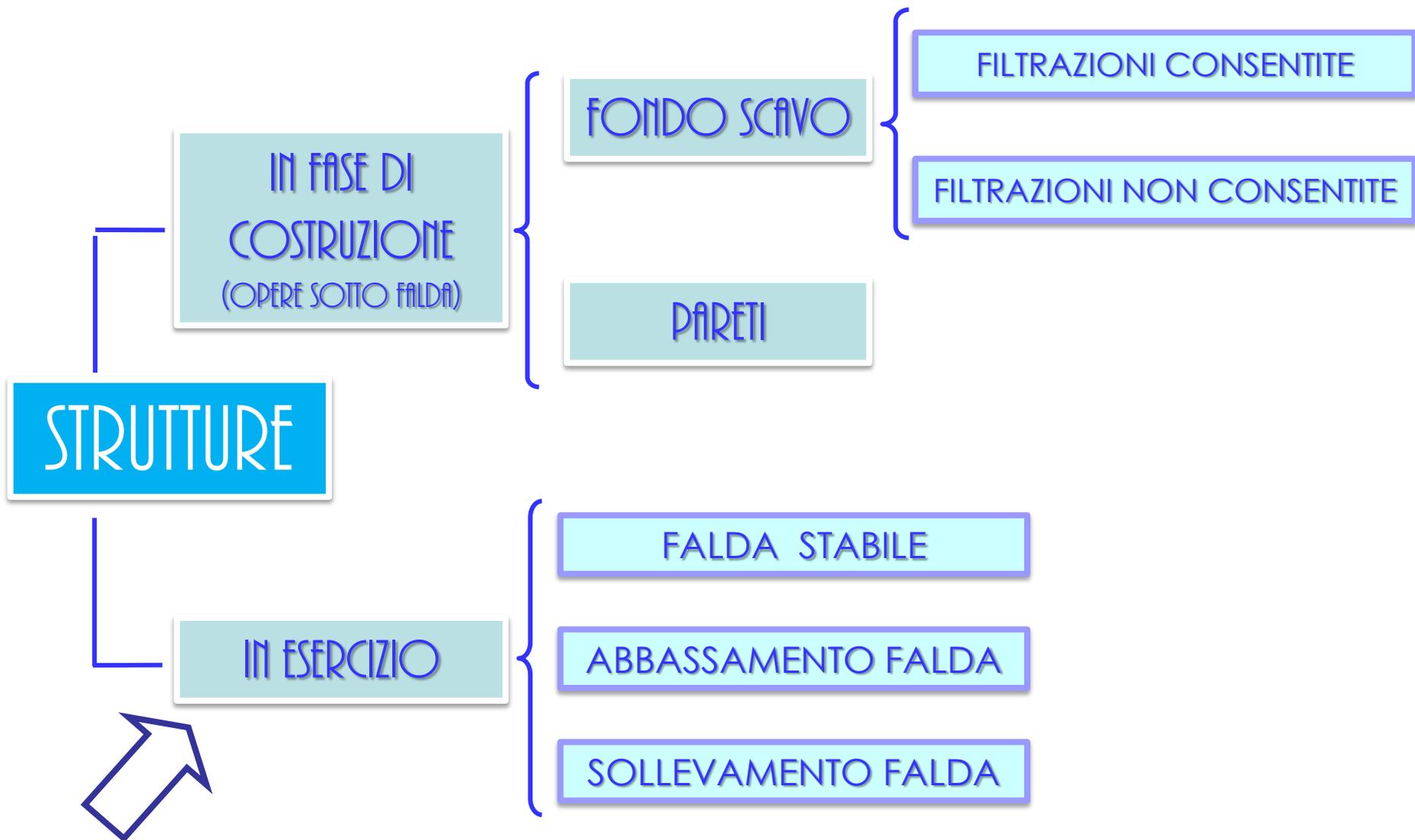
PENDII IN FALDA

OPERE DI SBARRAMENTO

CASE HISTORIES

STORIE D'INGEGNERIA TRA TERRA E MARE:  
DA CORINTO A PANAMA PASSANDO PER SUEZ

# PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA



## INTERAZIONE FALDA / STRUTTURE IN ESERCIZIO

LIVELLO FALDA COSTANTE

- Capacità portante*
- Liquefazione*
- Stabilità globale (Galleggiamento)*
- Incremento carichi* → *Cedimenti di consolidazione*  
↓  
*Attrito negativo sui pali (?)*
- Tenuta delle impermeabilizzazioni (eventuale)*
- Manutenzione dei sistemi di drenaggio (eventuale)*

CAPACITÀ PORTANTE  
DI FONDAZIONI DIRETTE  
IN RELAZIONE ALLA POSIZIONE  
DELLA FALDA

CRITERIO DI ROTTURA  
DI MOHR-COULOMB

$$\tau = c + \sigma_v \operatorname{tg} \varphi$$

PRINCIPIO DEGLI SFORZI EFFICACI  
DI TERZAGHI (terreni in falda)

$$\tau = c' + (\sigma_v - u) \operatorname{tg} \varphi' \equiv c' + \sigma'_v \operatorname{tg} \varphi'$$

3 tipi di  
peso-volume

$\gamma_{\text{sat}}$	■ saturo	■ $S_r\% = 100\%$	■ $19 \div 21 \text{ kN/m}^3$
$\gamma$	■ naturale	■ $S_r\% < 100\%$	■ $18 \div 19 \text{ kN/m}^3$
$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$	■ immerso	■ $S_r\% = 100\%$	■ $9 \div 11 \text{ kN/m}^3$

2 TIPI DI  
VERIFICA

“a breve termine”  
“in condizioni non drenate”  
“in sforzi totali”



TERRENI PURAMENTE COESIVI  
(con  $\varphi = 0$ )

❑ criterio di rottura:  $\tau = c_u$

❑ peso volume:  $\gamma_{\text{sat}}$

In falda

“a lungo termine”  
“in condizioni drenate”  
“in sforzi efficaci”



TERRENI “NON COESIVI”  
(con  $\varphi > 0$ )

❑ criterio di rottura:  $\tau = c' + \sigma'_v \operatorname{tg} \varphi'$

❑ peso volume:  $\gamma'$

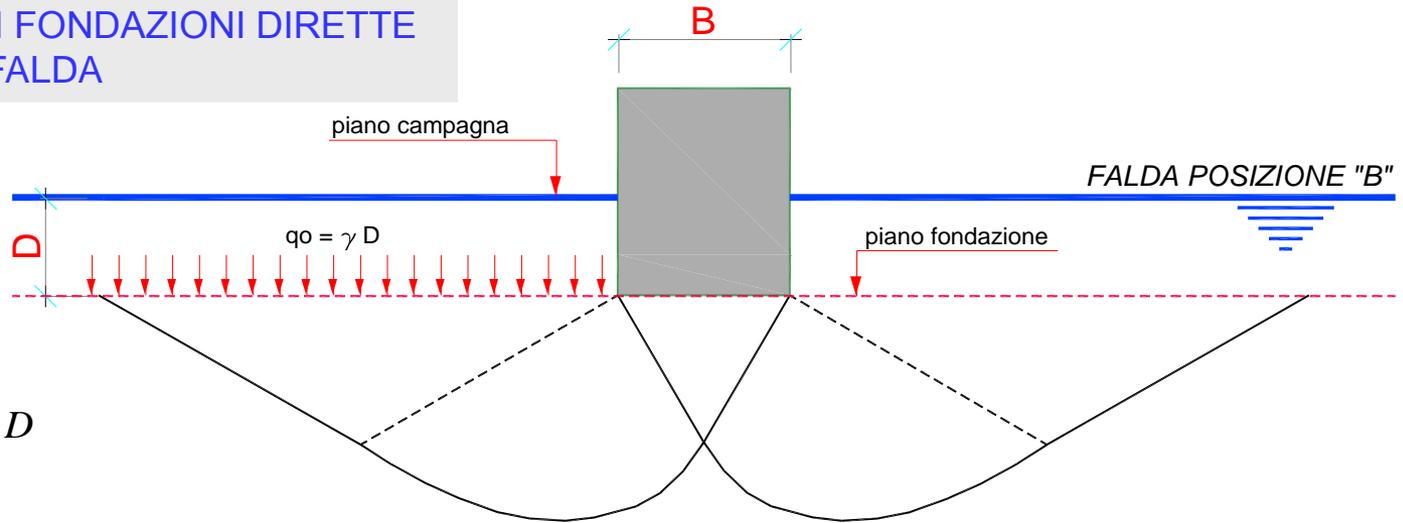
Fuori falda

❑ criterio di rottura:  $\tau = c' + \sigma_v \operatorname{tg} \varphi'$

❑ peso volume:  $\gamma$

## CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI DIRETTE IN DIPENDENZA DELLA FALDA

$$q_f = cN_c + \sigma_v N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$



Falda Posiz. "A" :  $q_o = \gamma D$

Falda Posiz. "B" :

⇒ terreni coesivi (sforzi totali):  $q_o = \gamma_{sat} D$

⇒ terreni non coesivi (sforzi efficaci):  $q_o = \gamma' D$



falda in "A" →

$$q_f = cN_c + \sigma_v N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Terreni non coesivi (sabbie e ghiaie)

falda in "B" →

$$q_f = c'N_c + \sigma'_v N_q + \frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma$$

$$\gamma \approx 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} \approx 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \approx 10 \text{ kN/m}^3$$

Terreni puramente coesivi (argille e limi argillosi)

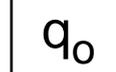


$$q_f = c_u N_c + \sigma_v N_q$$

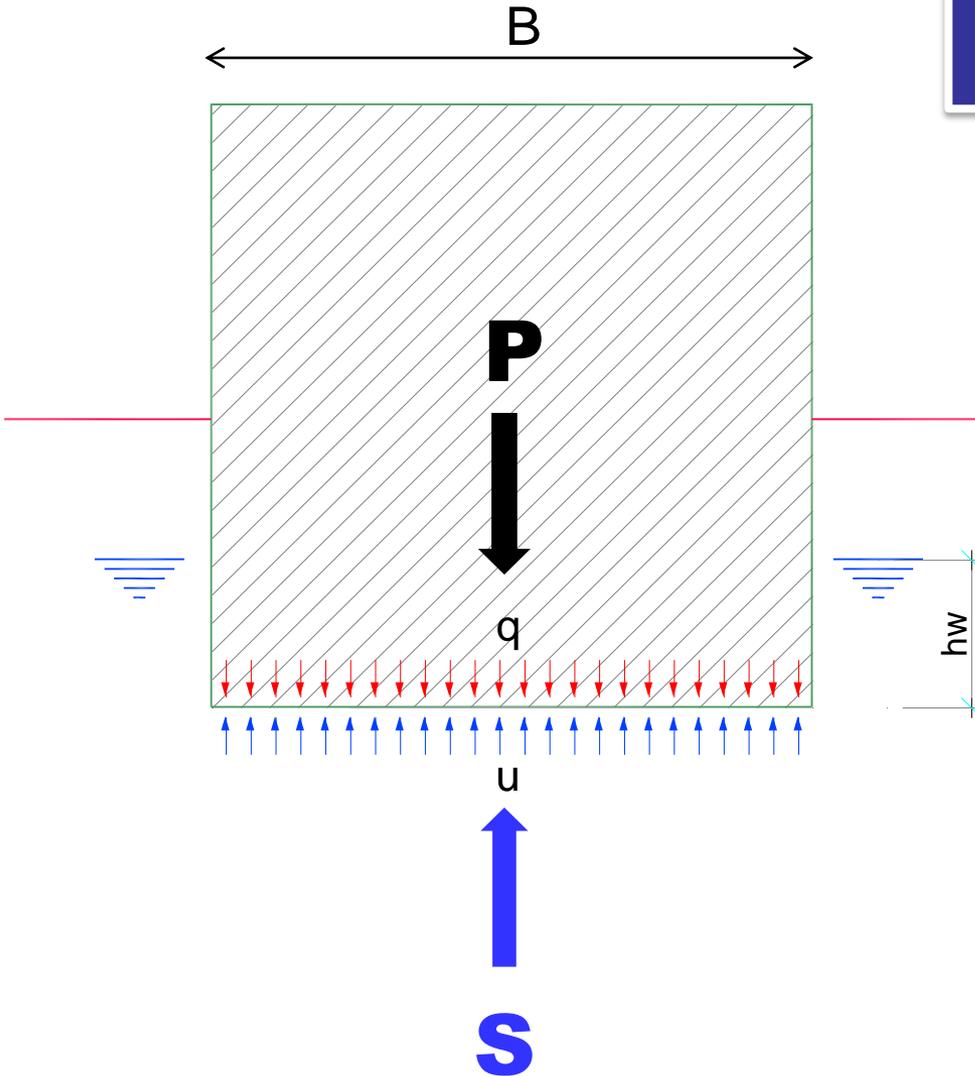


le verifiche in sforzi totali presuppongono che il terreno sia saturo

falda in "A" o in "B" (indifferentemente)



# VERIFICA AL "GALLEGGIAMENTO"



$$F = \frac{P}{S} = \frac{q B}{u B} = \frac{q}{\gamma_w h_w}$$

Generalmente si trascura l'attrito laterale. Nella progettazione si devono poi applicare i coefficienti parziali di NTC 2018.

## INTERAZIONE FALDA / STRUTTURE IN ESERCIZIO

### VARIAZIONE DEL LIVELLO DI FALDA

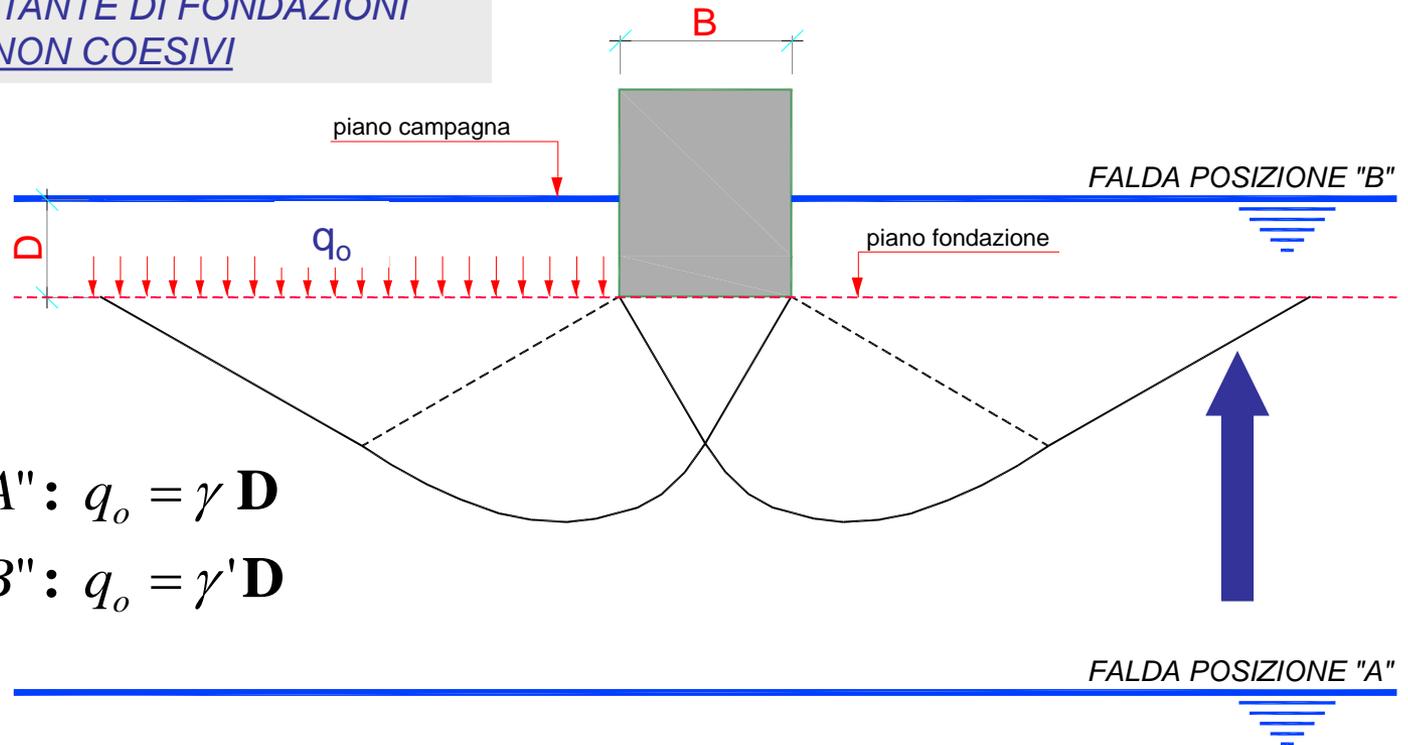
#### ABBASSAMENTO

- ❑ *Possibile aumento di capacità portante*
- ❑ *Cedimenti di consolidazione*  
↓  
*Attrito negativo sui pali (?)*

#### INNALZAMENTO

- ❑ *Possibile riduzione di capacità portante*
- ❑ *Galleggiamento*
- ❑ *Infiltrazioni / umidità*
- ❑ *Aumento delle spinte sui "muri di cantina"*

**EFFETTO DELL'INNALZAMENTO DELLA FALDA SULLA CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI DIRETTE IN TERRENI NON COESIVI**



*Falda Posiz. "A":  $q_0 = \gamma D$*

*Falda Posiz. "B":  $q_0 = \gamma' D$*

falda in "A" →

$$q_{fA} = \cancel{c} N_c + \overset{q_0}{\sigma_v} N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

falda in "B" →

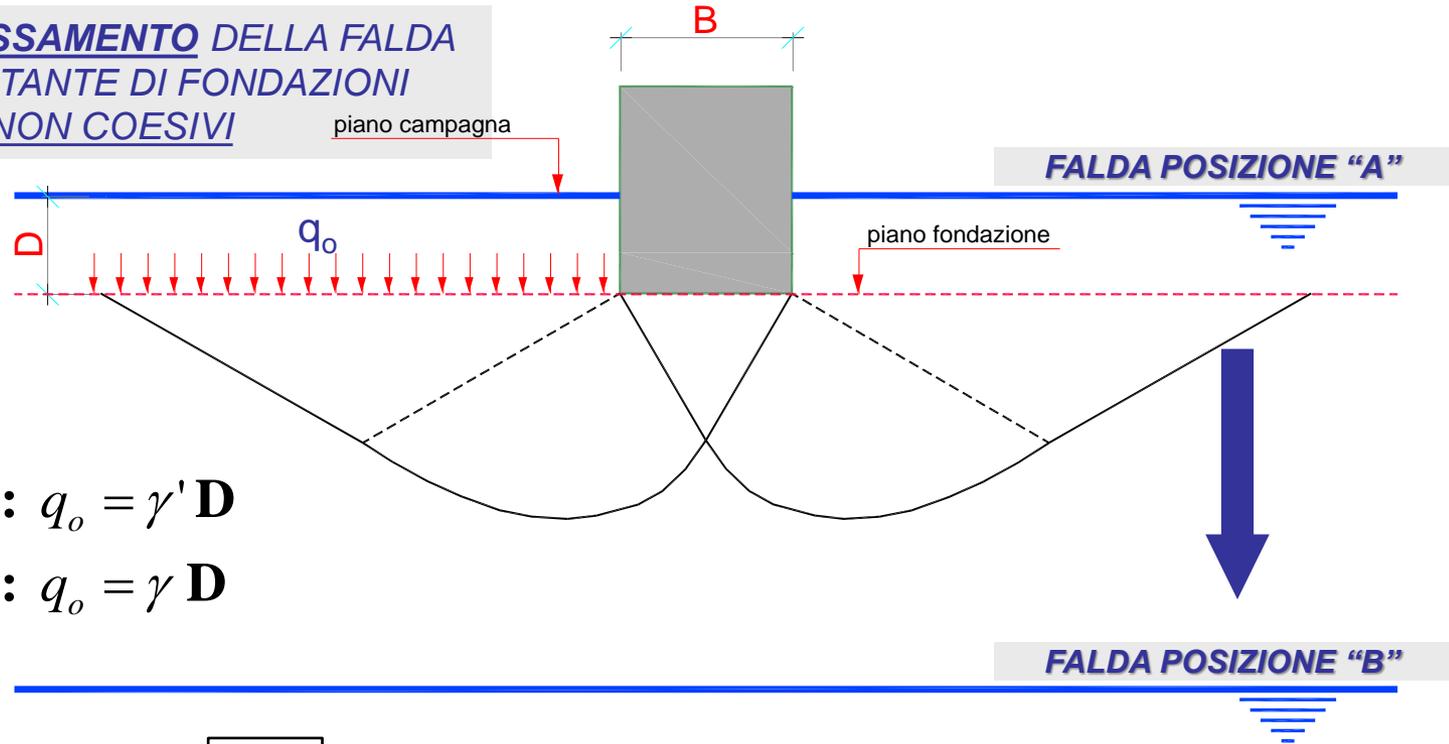
$$q_{fB} = \cancel{c} N_c + \overset{q_0}{\sigma'_v} N_q + \frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma \approx 50\% q_{fA}$$

$$\gamma \approx 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} \approx 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \approx 10 \text{ kN/m}^3$$

**EFFETTO DELL'ABBASSAMENTO DELLA FALDA SULLA CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI DIRETTE IN TERRENI NON COESIVI**



*Falda Posiz. "A":  $q_o = \gamma' D$*

*Falda Posiz. "B":  $q_o = \gamma D$*

falda in "A"

$\rightarrow q_{fA} = c \cancel{N_c} + \overset{q_o}{\sigma'_{v}} N_q + \frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma$

falda in "B"

$\rightarrow q_{fB} = c \cancel{N_c} + \overset{q_o}{\sigma_v} N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \approx 2 q_{fA}$

$\gamma \approx 19 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_{sat} \approx 20 \text{ kN/m}^3$

$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \approx 10 \text{ kN/m}^3$

**N.B. L'ABBASSAMENTO DELLA FALDA CAUSA PERO' CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE**



**CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE  
Vs.  
ESCURSIONE DELLA FALDA**



# IL PROCESSO DI CONSOLIDAZIONE DEI TERRENI

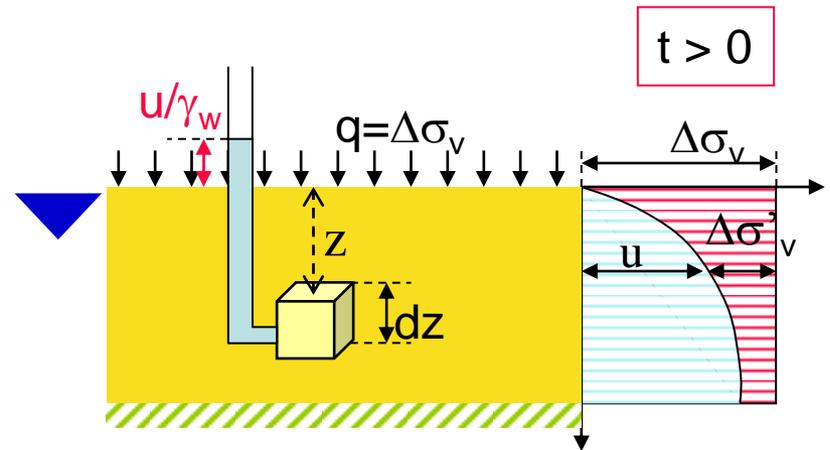
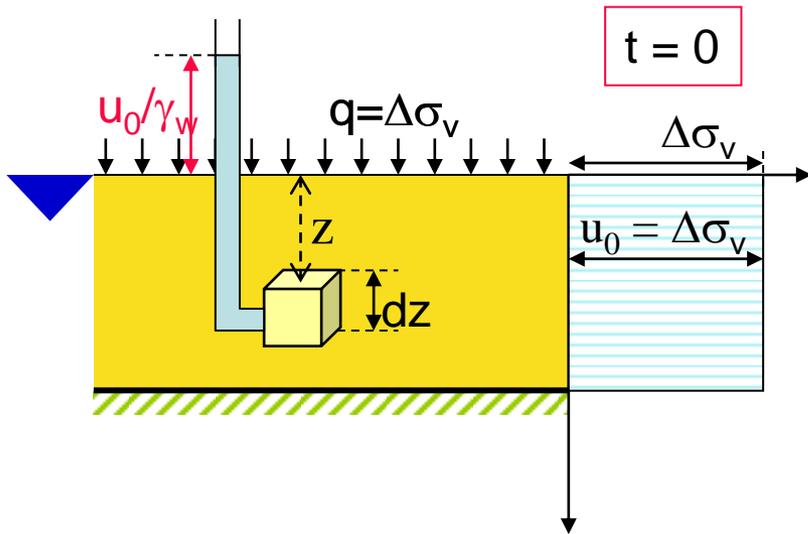
## CONSOLIDAZIONE

Diminuzione di volume di un terreno saturo per diminuzione del contenuto d'acqua a seguito di un incremento degli sforzi efficaci

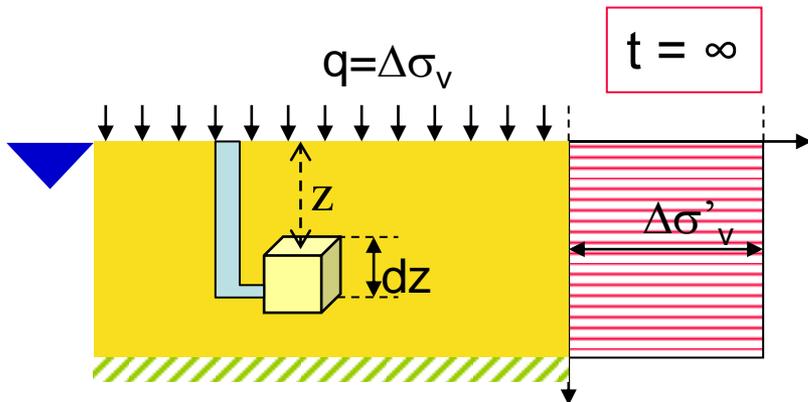
**SCHEMA DEL PROCESSO DI CONSOLIDAZIONE**

cedimenti finali

evoluzione nel tempo



$$u + \Delta\sigma'_v = \Delta\sigma_v$$



$t = 0$	$\Delta\sigma_v = u_0$	$(\Delta\sigma'_v = 0)$
$t > 0$	$\Delta\sigma_v = u + \Delta\sigma'_v$	$(u < u_0)$
$t = \infty$	$\Delta\sigma_v = \Delta\sigma'_v$	$(u = 0)$

## CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE

### ENTITA' DEI CEDIMENTI

- ▣ Teoria della consolidazione unidimensionale di Terzaghi
- ▣ Prova edometrica
- ▣ Teoria del semispazio elastico

### DECORSO DEI CEDIMENTI

- ▣ Teoria della consolidazione unidimensionale di Terzaghi

$$\underline{w_f = w_o + w_c}$$

$$w(t) = w_o + U w_c$$

$$t = 0 \Rightarrow w = w_o \quad (U=0)$$

$$t = \infty \Rightarrow w = w_f \quad (U=1)$$

$w_f$  : cedimento finale (totale)

$w_o$  : cedimento immediato

$w_c$  : cedimento di consolidazione

$U$  : grado di consolidazione

## FLOW-CHART PER L'ANALISI DELLA CONSOLIDAZIONE

- 1) Calcolo delle tensioni litostatiche
  - 2) Prova edometrica , con determinazione di :
    - peso volume
    - indice dei vuoti
    - pressione di preconsolidazione  $\sigma'_p$
    - parametri di deformabilità (ad es.  $C_r$ ,  $C_c$  o  $RR, CR$  o  $M, m_v$ )
    - permeabilità  $k$
    - coefficiente di consolidazione  $C_v$
  - 3) Calcolo delle pressioni indotte dal carico (HP di semispazio elastico)
  - 4) Calcolo del cedimento finale atteso
  - 5) Calcolo del decorso dei cedimenti nel tempo
- 
- 6) Eventuali interventi correttivi (ad es. accelerazione del decorso dei cedimenti mediante dreni verticali)
  - 7) Monitoraggio

## PRESSIONE DI SOVRACONSOLIDAZIONE

Si definisce «pressione di sovraconsolidazione»  $\sigma'_p$  la massima pressione verticale efficace a cui è stato sottoposto un elemento di terreno nel corso della sedimentazione e formazione del deposito.

## GRADO DI SOVRACONSOLIDAZIONE

Se  $\sigma'_v$  è oggi la pressione verticale efficace di un elemento di terreno e  $\sigma'_p$  la sua pressione di sovraconsolidazione, si definisce «grado di sovraconsolidazione» il rapporto :

$$\text{OCR} = \sigma'_p / \sigma'_v$$

Si contemplan 3 situazioni :

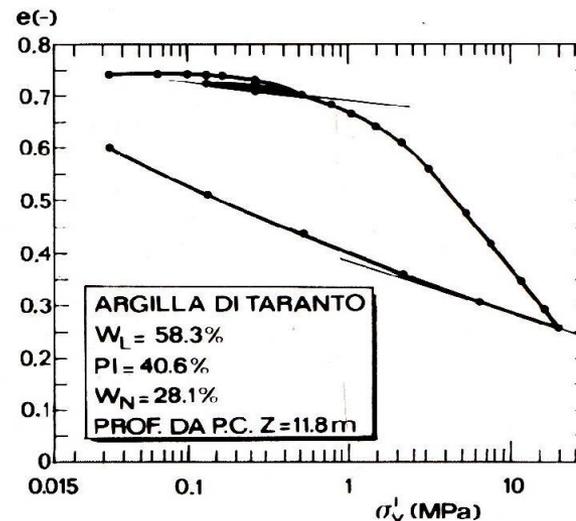
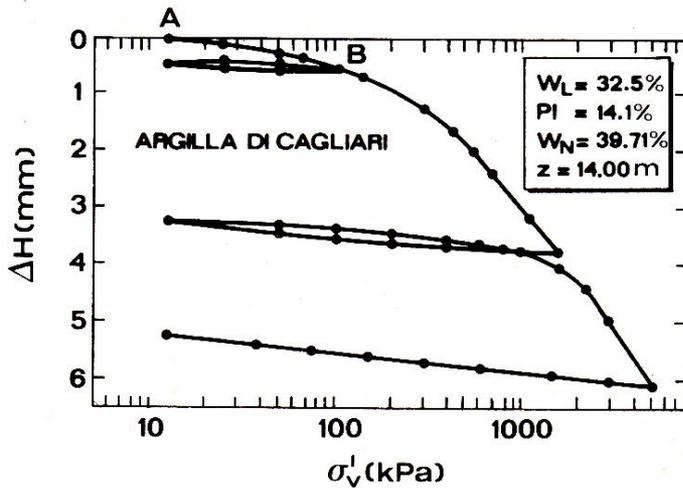
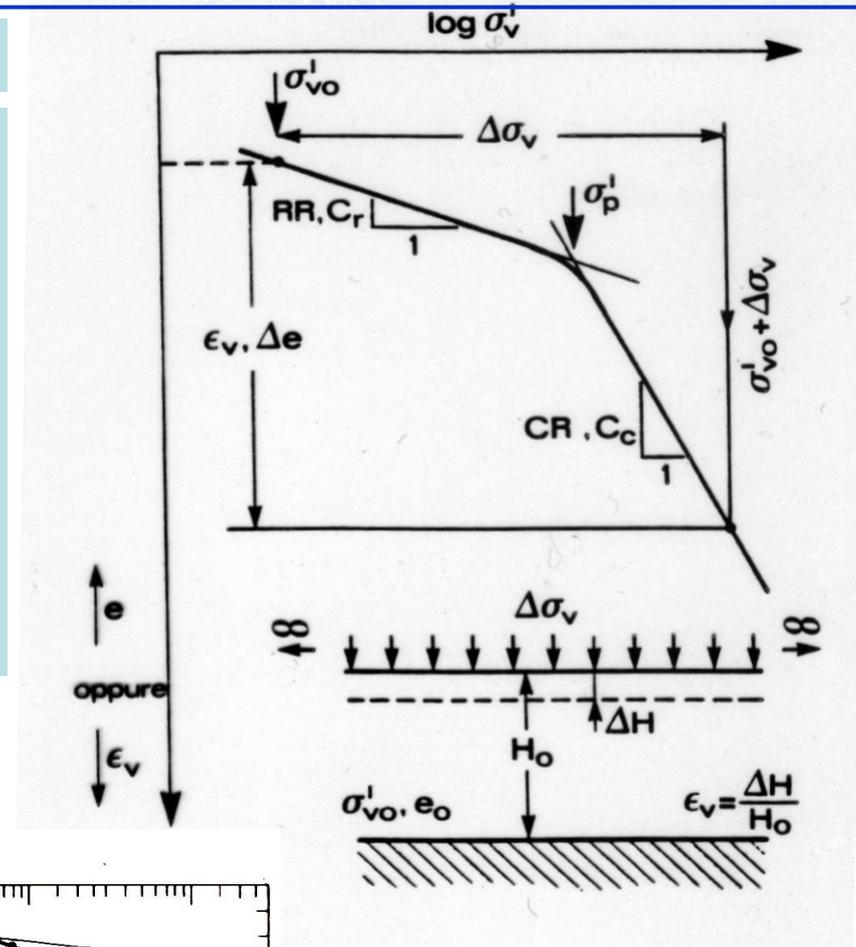
$\text{OCR} > 1 \longrightarrow$  terreno sovraconsolidato

$\text{OCR} = 1 \longrightarrow$  terreno normalconsolidato

$\text{OCR} < 1 \longrightarrow$  terreno sottoconsolidato

## PROVA EDOMETRICA

- 1) Peso-volume
- 2) Pressione di preconsolidazione  $\sigma'_p$
- 3) Indice dei vuoti ( $e_o, e$ )
- 4) Parametri di deformabilità:
  - $C_r$  e  $C_c$  nel piano ( $e - \log \sigma'_v$ ): indici
  - $RR$  e  $CR$  nel piano ( $\epsilon - \log \sigma'_v$ ): rapporti
  - $M$  (mv) nel piano ( $\epsilon - \sigma'_v$ ): moduli
- 5) Permeabilità  $k$
- 6) Coefficiente di consolidazione  $C_v$



**CALCOLO DEL CEDIMENTO FINALE  
col metodo edometrico**

nel piano (e - log σ'v) tramite gli "indici":

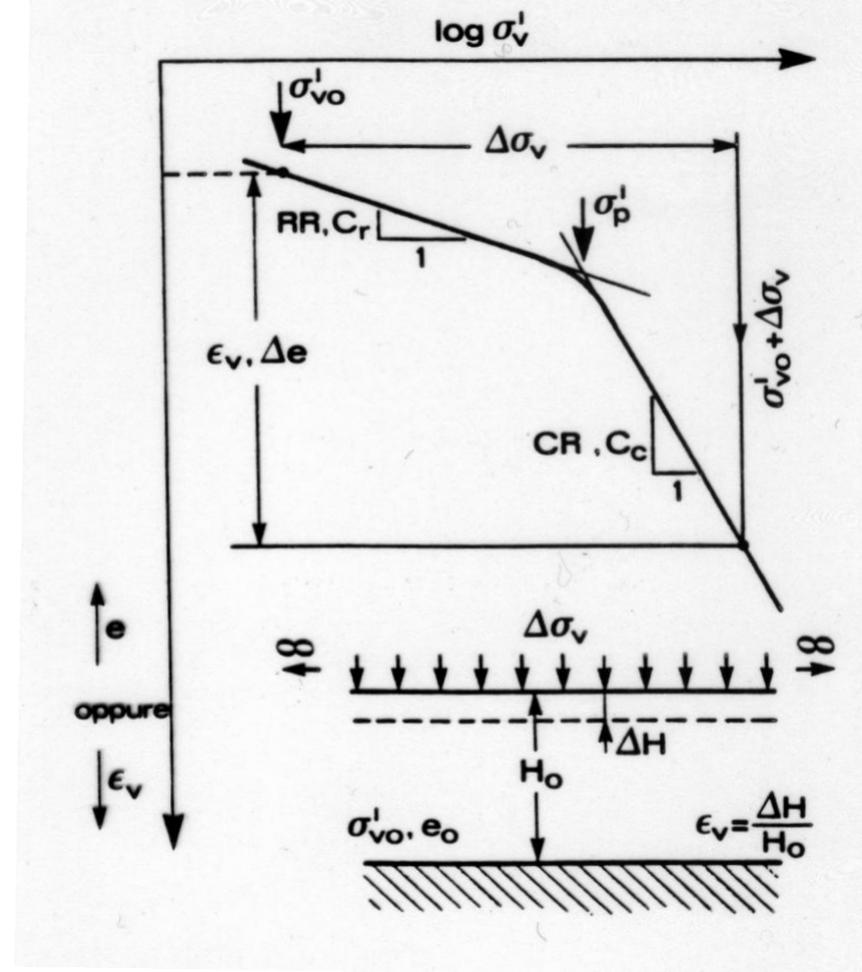
$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} \left[ C_r \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} + C_c \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_p} \right]$$

nel piano (ε - log σ'v) tramite i "rapporti":

$$\Delta H = H_0 \left[ RR \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} + CR \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_p} \right]$$

nel piano (ε - σ'v) tramite i "moduli":

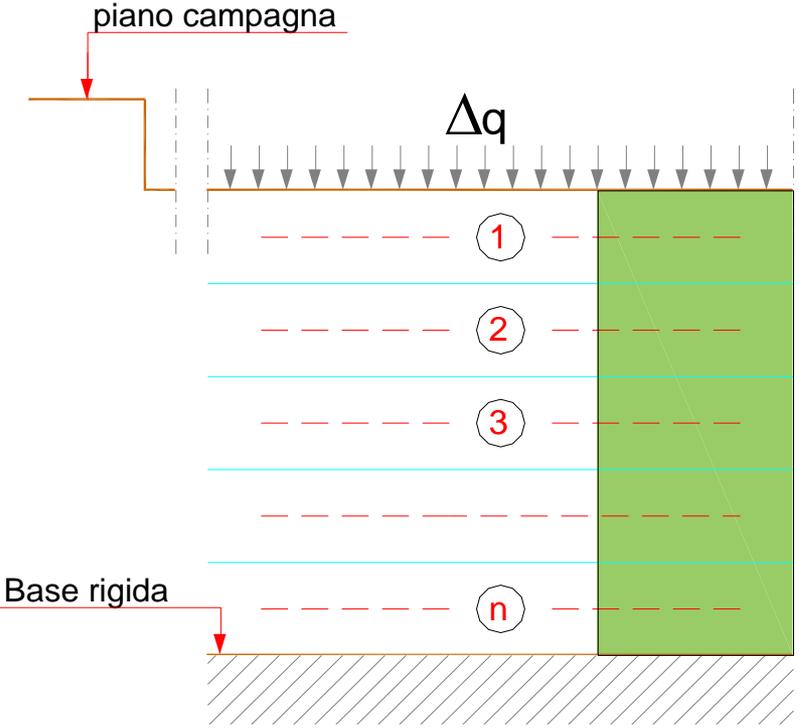
$$\Delta H = H_0 \Delta\sigma_v m_v = H_0 \frac{\Delta\sigma_v}{M}$$



**N.B.**

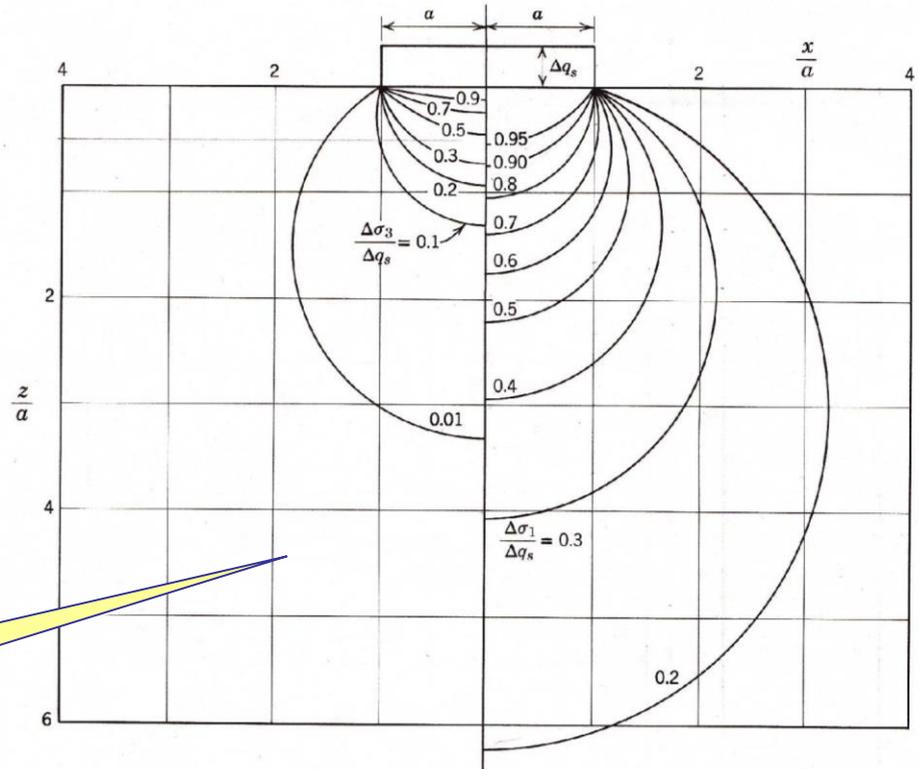
I 3 metodi di calcolo sono equivalenti.  
Si sconsiglia tuttavia quello con i "moduli" M

# SCHEMA PER IL CALCOLO DEI CEDIMENTI



esistono soluzioni analitiche per ogni genere di carico applicato

Ch. 8 Stresses within a Soil M...



Tensioni principali sotto un carico nastroiforme

$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} \left[ C_r \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}} + C_c \log \frac{\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_p} \right]$$



va applicata ai singoli strati definendo  $\sigma'_{vo}$  e  $\Delta\sigma_v$  alla mezzzeria

## HP DELLA TEORIA DELLA CONSOLIDAZIONE UNIDIMENSIONALE DI TERZAGHI :

- terreno omogeneo e saturo;
- validità della legge di Darcy;
- incompressibilità dei grani e dell'acqua;
- flusso radiale nullo (flusso disaccoppiato)
- deformazione laterale impedita
- $K - m_v$  costanti nel tempo
- validità del principio degli sforzi efficaci .

DECORSO DEI CEDIMENTI  
DI CONSOLIDAZIONE

(1) eq.ne di continuità:  $\frac{dV}{dt} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dx dy dz$

esprime la variazione di volume dei vuoti corrispondente all'acqua che esce

(2) eq.ne di comprimibilità:  $\frac{dV}{dt} = -m_v \frac{\partial u}{\partial t} dx dy dz$

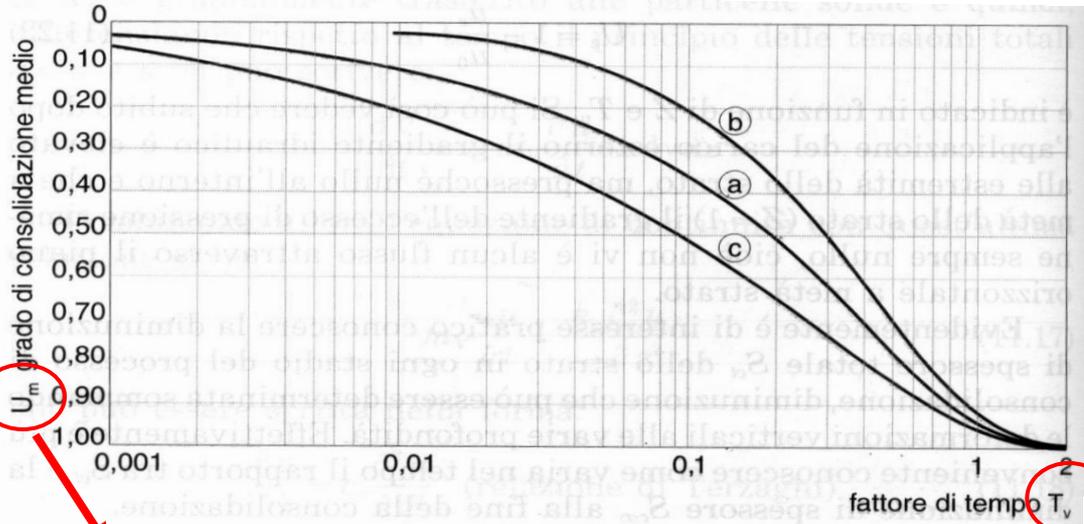
esprime la variazione di volume dovuta alla diminuzione delle pressione interstiziale ( ed al corrispondente incremento di  $\sigma'_v$ )

(1) = (2)  $\Rightarrow \frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$  "relazione di Terzaghi"

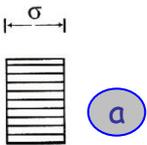
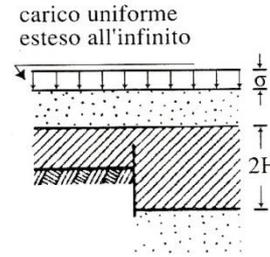
con :  $c_v = \frac{k}{\gamma_w m_v}$

Coefficiente di consolidazione (dalla prova edometrica)

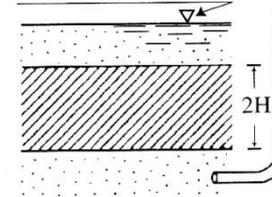
# CONSOLIDAZIONE MONODIMENSIONALE DI TERZAGHI



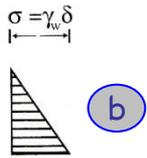
le 3 curve a) b) c) corrispondono a 3 diverse isocrone iniziali



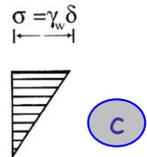
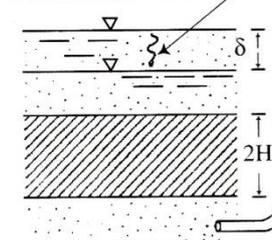
Il livello della falda superiore è mantenuto costante



Abbassamento  $\delta$  del livello della falda inferiore



Abbassamento  $\delta$  del livello della falda superiore



$$U_m(t) = \frac{S(t)}{S_{finale}} = f(T_v)$$

$$T_v = \frac{c_v t}{H^2}$$

$U_m\%$ (-)	$T_v$ (-)
20%	0,032
40%	0,120
60%	0,286
80%	0,567
90%	0,848
95%	1.129

è anche tabellato (isocrona a)



**ACCELERAZIONE DEL DECORSO  
DEI CEDIMENTI NEL TEMPO**

□ *PRECARICA*

□ *DRENI VERTICALI*

precarica

rilevato

strato drenante

dreni verticali

argilla molle

sabbia

Si riduce il percorso  
di filtrazione

Poiché il moto di filtrazione  
avverrà in direzione  
orizzontale,  
si sfrutta la permeabilità  
orizzontale  $k_h$  dei  
terreni, tipicamente  
superiore a  $k_v$

# RICORSO A DRENI VERTICALI ➔ CONSOLIDAZIONE RADIALE

Si studia il processo di consolidazione in direzione orizzontale indotto dalla presenza di un dreno circolare (o circolare equivalente nel caso di dreni prefabbricati) di diametro  $d_w$ , il quale farà risentire la sua influenza in un cilindro di terreno di diametro  $d_e$ .

Il problema è chiaramente assial-simmetrico e governato sempre dall'equazione della diffusione, scritta però in coordinate radiali:

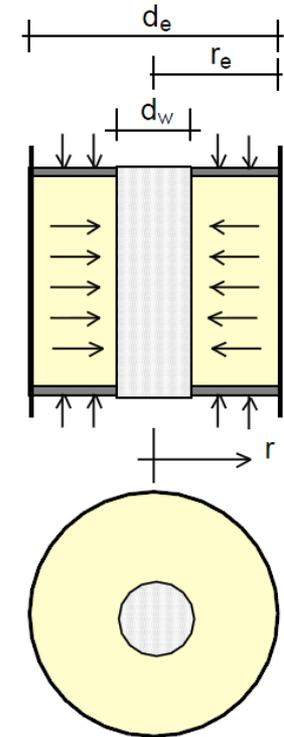
$$c_h \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right) = \frac{\partial u}{\partial t}$$

$$c_h = \frac{E_{edh} k_h}{\gamma_w}$$

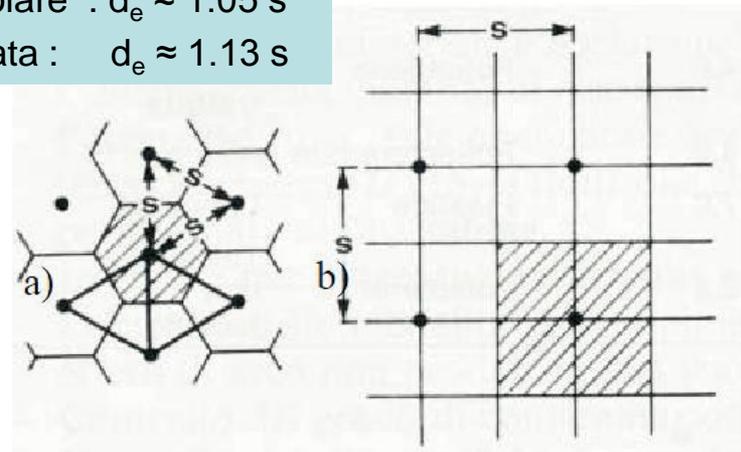
$$T_h = \frac{C_h \times t}{d_e^2}$$

$$U_h \% = f(T_h) = 1 - \left( e^{-\frac{8}{F} T_h} \right)$$

$$F = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad \text{con} \quad n = \frac{d_e}{d_w}$$

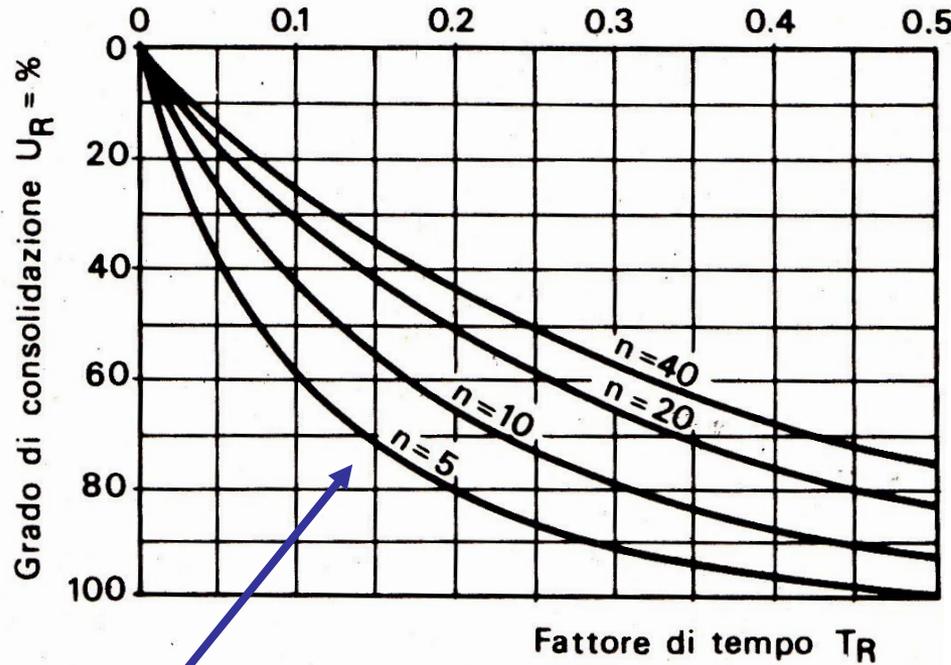


- a) maglia triangolare :  $d_e \approx 1.05 s$
- b) maglia quadrata :  $d_e \approx 1.13 s$



RICORSO A DRENI VERTICALI

CONSOLIDAZIONE RADIALE



$n = d_e/d_w$

*N.B. Vengono usati indifferentemente i simboli  $U_h$  ed  $U_R$ ,  $T_h$  e  $T_R$*

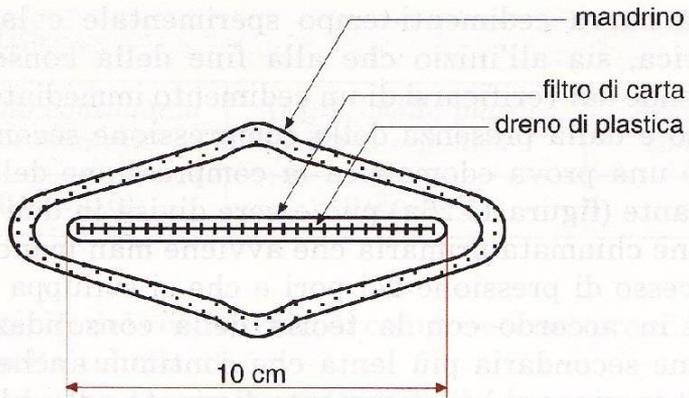


*attrezzatura per installazione di Geodrain*

Noti  $U_v\%$  ed  $U_h\%$  è possibile determinare il grado di consolidazione totale :

$$U\% = 100 - \frac{1}{100}(100 - U_v\%)(100 - U_h\%)$$

Carrillo (1942)



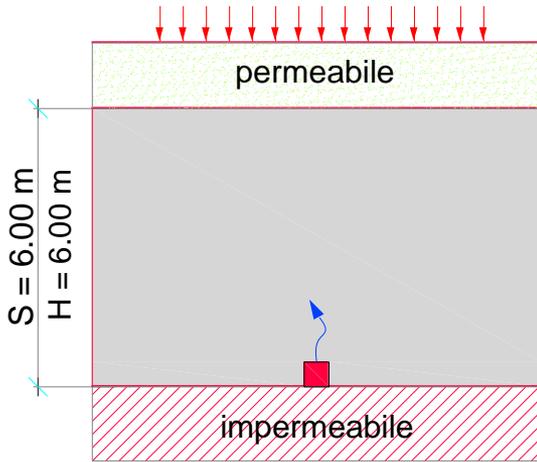
*Tipica sezione di un geodreno*

*Geodrain a Porto Tolle - Rodio - anni '70*

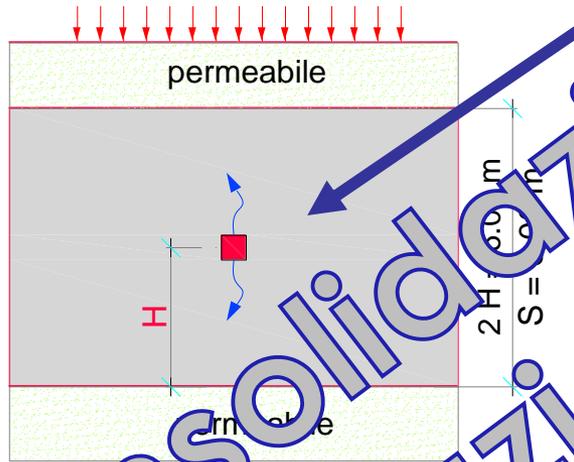


# INFLUENZA DEL PERCORSO DI FILTRAZIONE SUI TEMPI DI CONSOLIDAZIONE

CASO "A"



CASO "B"



Argilla rossa  
 W<sub>L</sub> = 42.6%  
 W<sub>P</sub> = 25.8%  
 I<sub>p</sub> = 16.8  
 I<sub>c</sub> = 0.33  
 CL = *argilla organiche*  
 media plasticità  
 C<sub>α</sub> = 0.40  
 C<sub>v</sub> = 0.001 cm<sup>2</sup>/sec  
 C<sub>h</sub> = 0.001 cm<sup>2</sup>/sec

Tempo necessario a raggiungere il 90% della consolidazione : U<sub>v</sub> = 90% ⇒ T<sub>v</sub> = 0.848

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \Rightarrow t = \frac{T_v H^2}{C_v}$$

U <sub>v</sub> (%)	T <sub>v</sub> (-)
20%	0.032
40%	0.070
60%	0.128
80%	0.267
90%	0.848
95%	1.129

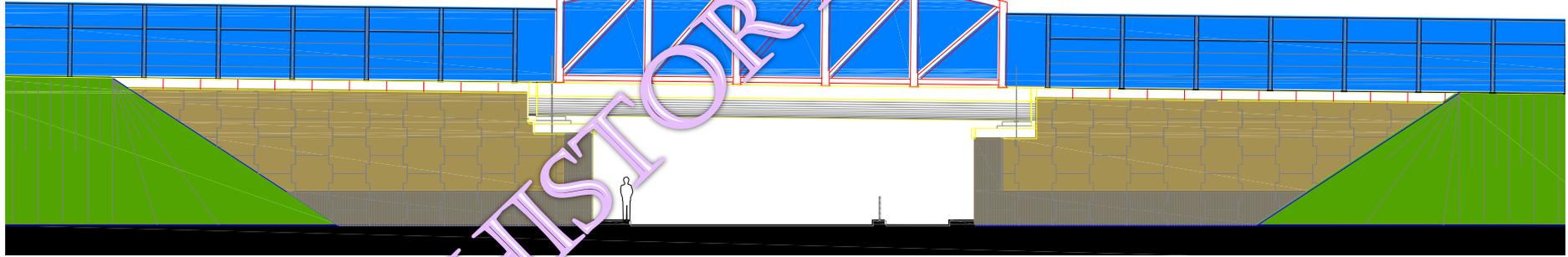
- caso "A" t = 3.541 giorni ≈ 9.7 anni
- caso "B" t = 885 giorni ≈ 2.4 anni

Ricorrendo a dreni verticali (d<sub>w</sub> = 10 cm) maglia quadrata 2.50x2.50 m, dopo 1 anno (365 giorni) :

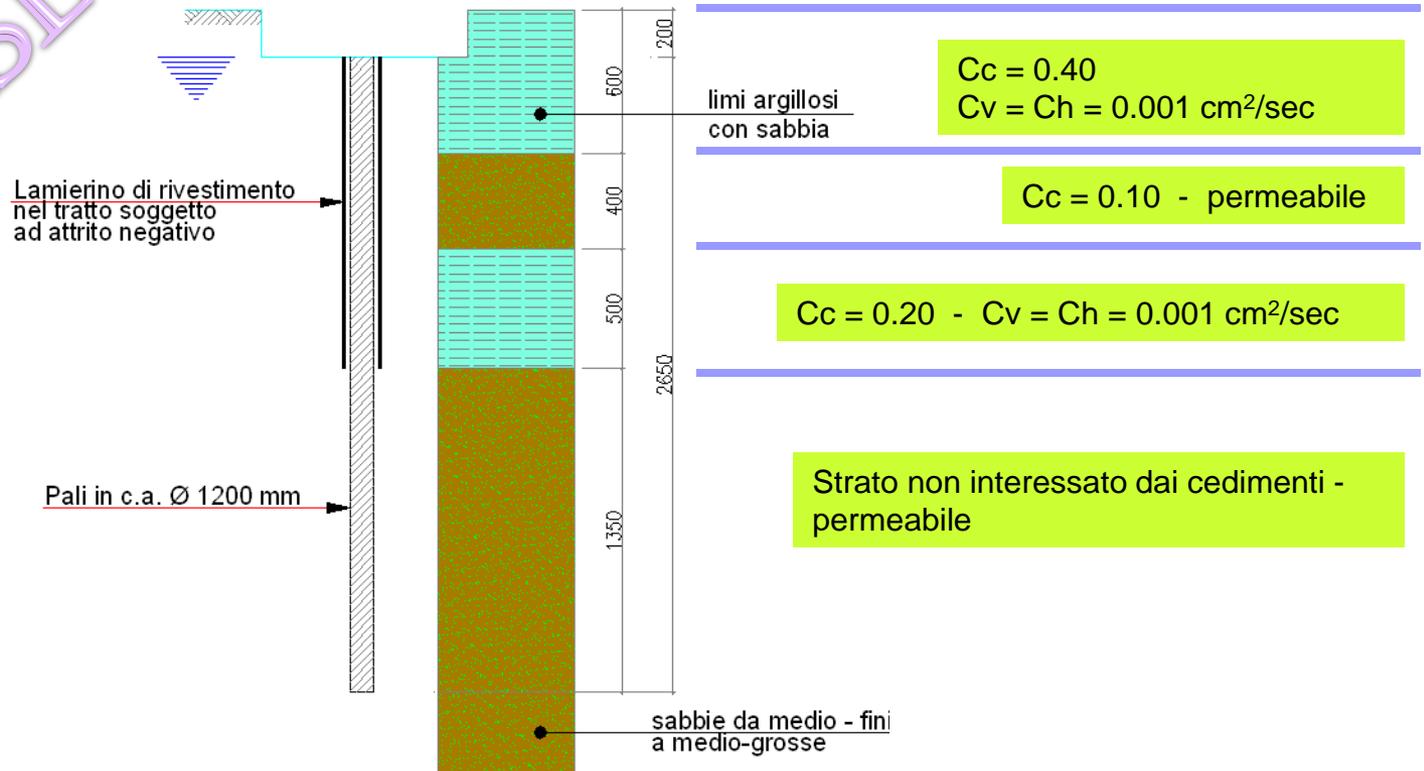
caso "A"  
 consolidazione verticale T<sub>v</sub> = 0,0876 ⇒ U<sub>v</sub> ≈ 32%  
 consolidazione radiale T<sub>r</sub> = 0,3966 ⇒ U<sub>r</sub> ≈ 72%      U = 81%

Sempre nel caso "A" il tempo necessario a raggiungere l'80% della consolidazione, senza dreni, sarebbe di 2.362 giorni = 6.47 anni

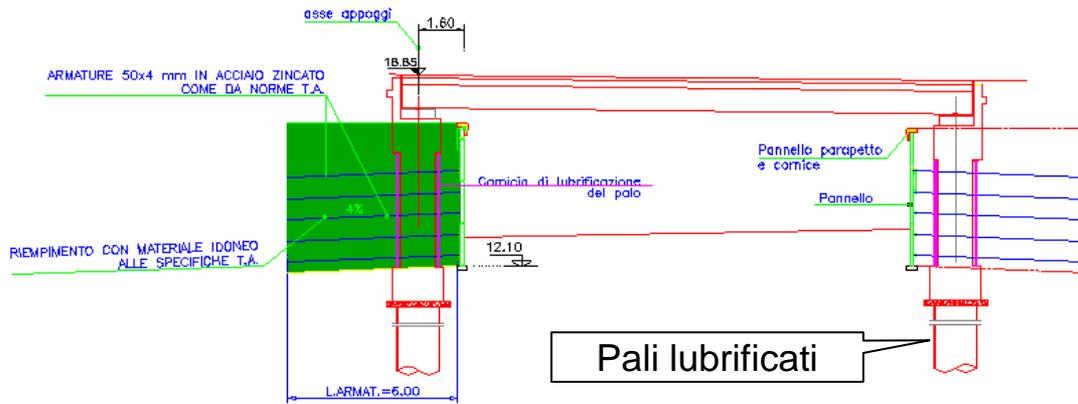
PADOVA CAVALCAVIA DI CORSO AUSTRALIA  
Garrasi, Sforza et al. 2002



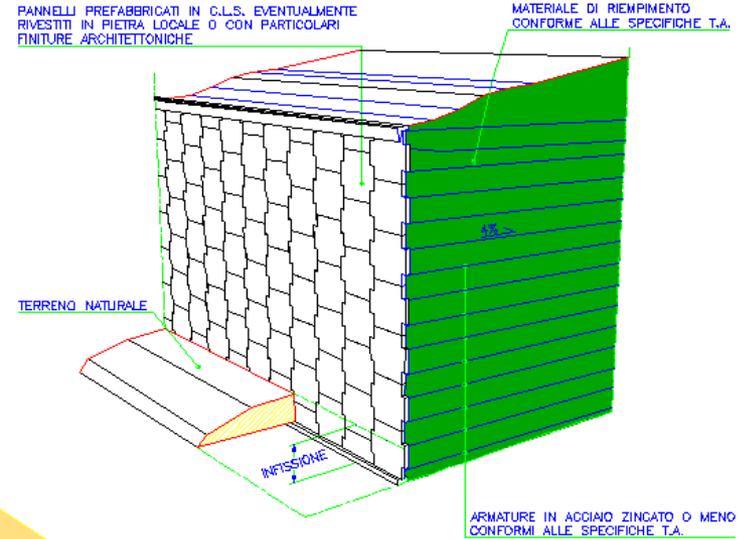
PROFILO GEOTECNICO



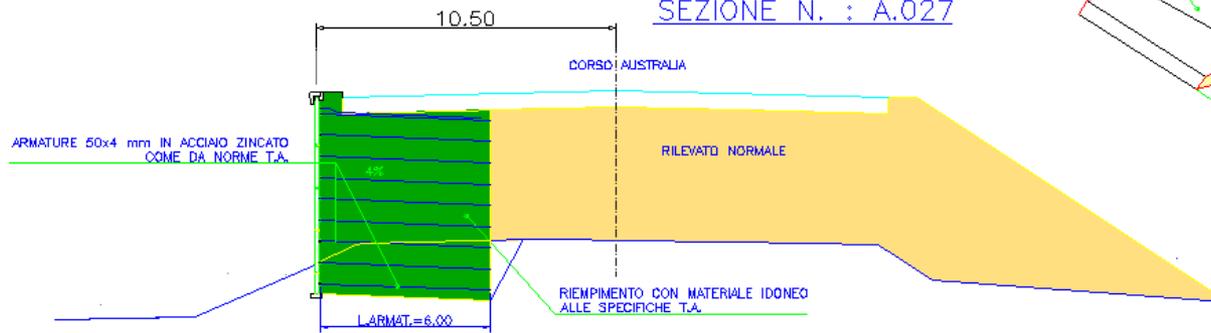
SEZIONE LONGITUDINALE SPALLE



SCHEMI GENERALI DEI MURI IN TERRA ARMATA



SEZIONE N. : A.027



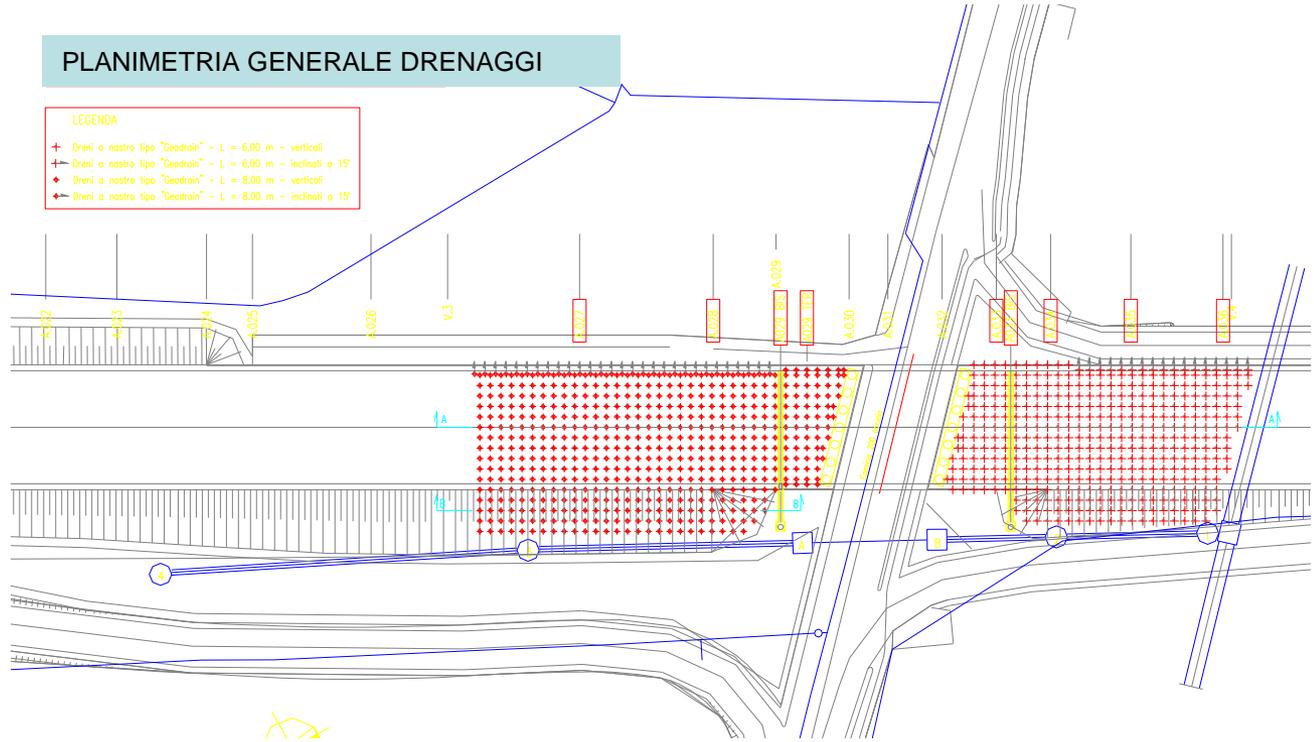
PADOVA : CAVALCAVIA DI CORSO AUSTRALIA  
Garrasi – Sforza et al. 2002

cedimento massimo atteso : 48 cm

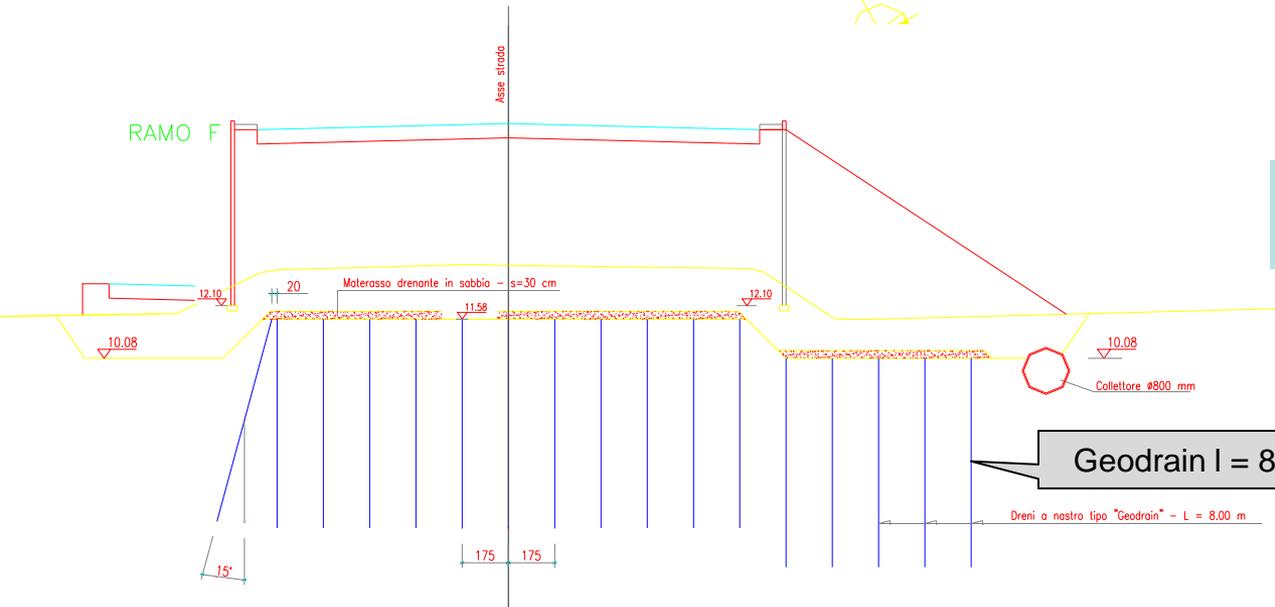
PADOVA : CAVALCAVIA DI CORSO AUSTRALIA  
Garrasi, Sforza i et al. 2002

PLANIMETRIA GENERALE DRENAGGI

- LEGENDA
- + Dreni a nastro tipo "Geodrain" - L = 6.00 m - verticali
  - Dreni a nastro tipo "Geodrain" - L = 6.00 m - inclinati a 15°
  - Dreni a nastro tipo "Geodrain" - L = 8.00 m - verticali
  - ◊ Dreni a nastro tipo "Geodrain" - L = 8.00 m - inclinati a 15°



SEZIONE AO 28



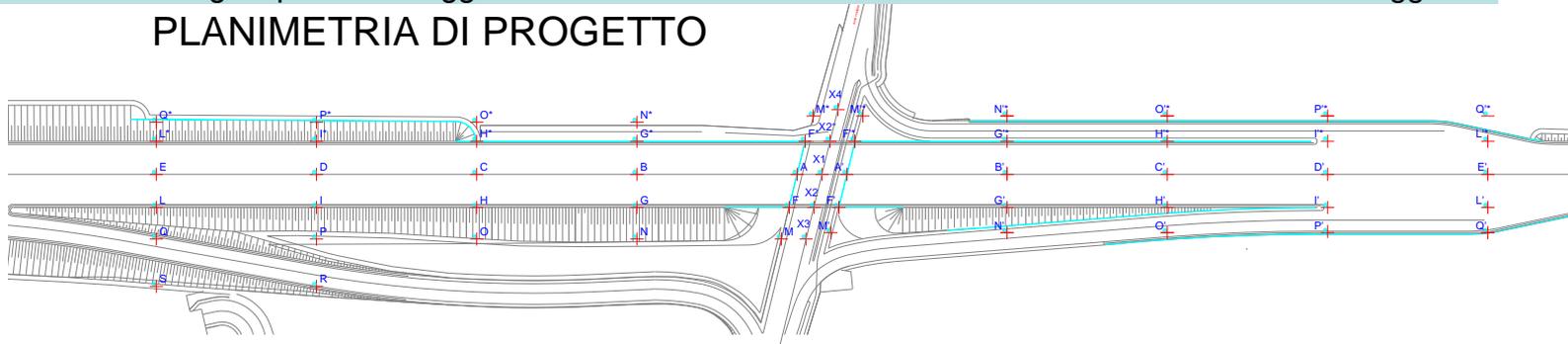
Dreni verticali (GEODRAIN)  
maglia quadrata 1.75 x 1.75 m

Geodrain l = 8.00 m

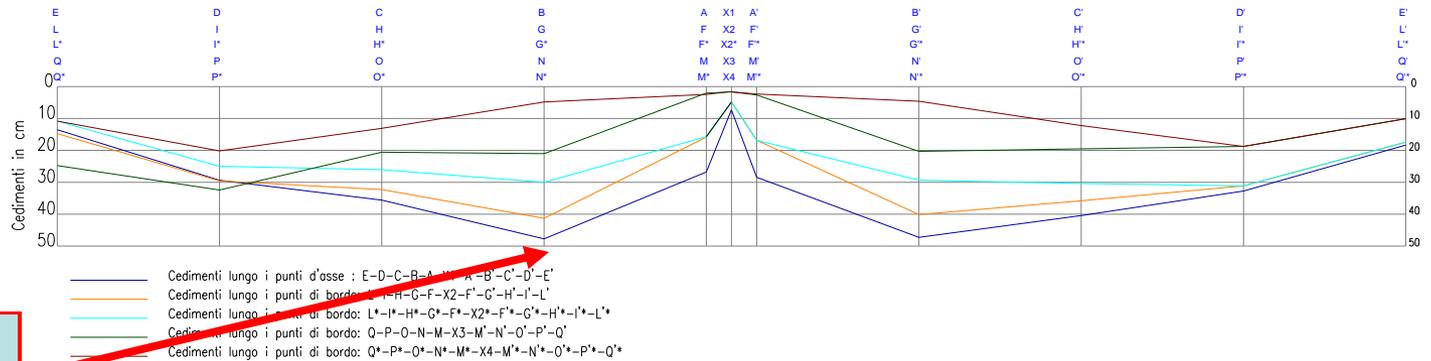
Dreni a nastro tipo "Geodrain" - L = 8.00 m

Esempio di insufficienza dell'indagine per motivi oggettivi : elevati cedimenti di consolidazione attesi ➔ monitoraggio

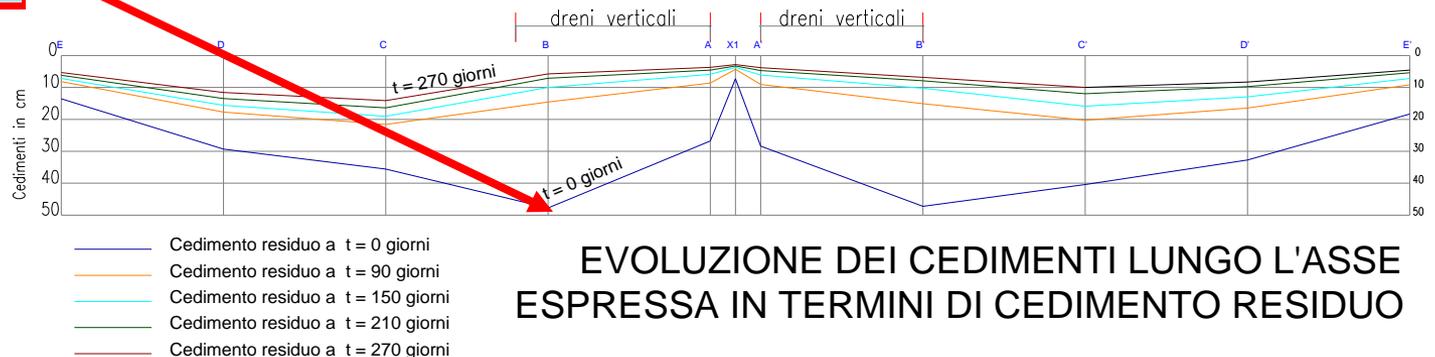
## PLANIMETRIA DI PROGETTO



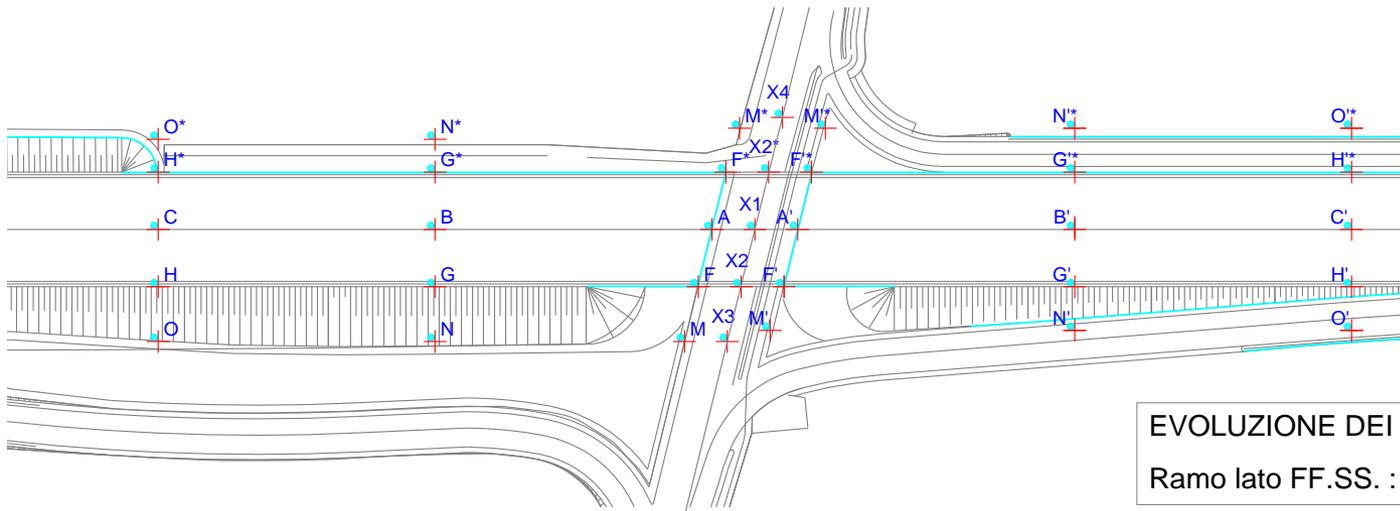
## CEDIMENTI FINALI (ATTESI) LUNGO L'ASSE E SUI BORDI DEL RILEVATO ' "



**cedimento massimo atteso : 48 cm**

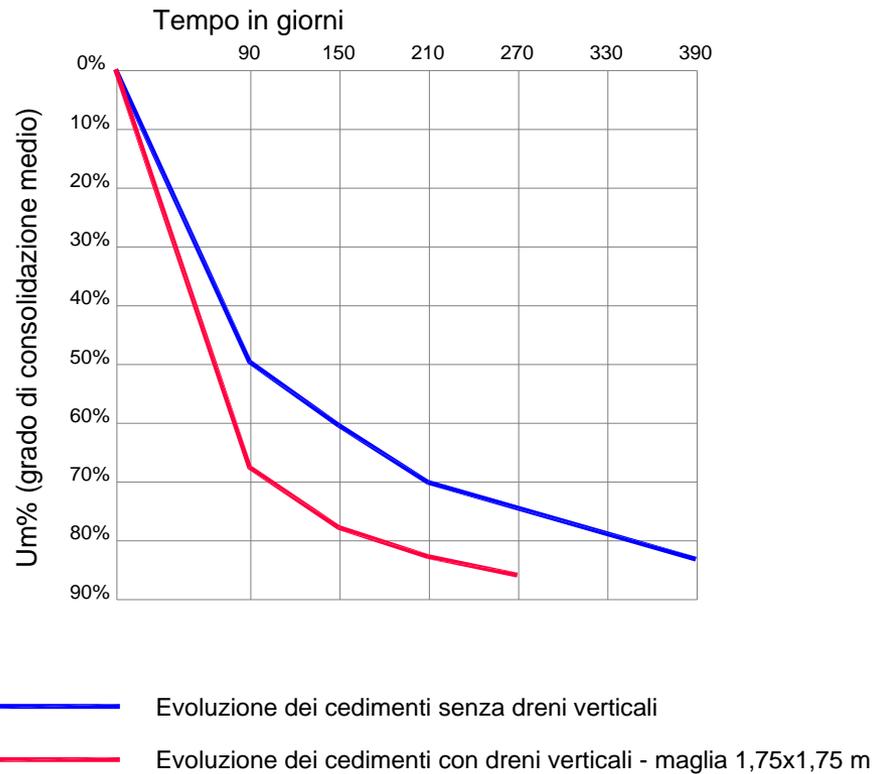


## EVOLUZIONE DEI CEDIMENTI LUNGO L'ASSE ESPRESSA IN TERMINI DI CEDIMENTO RESIDUO



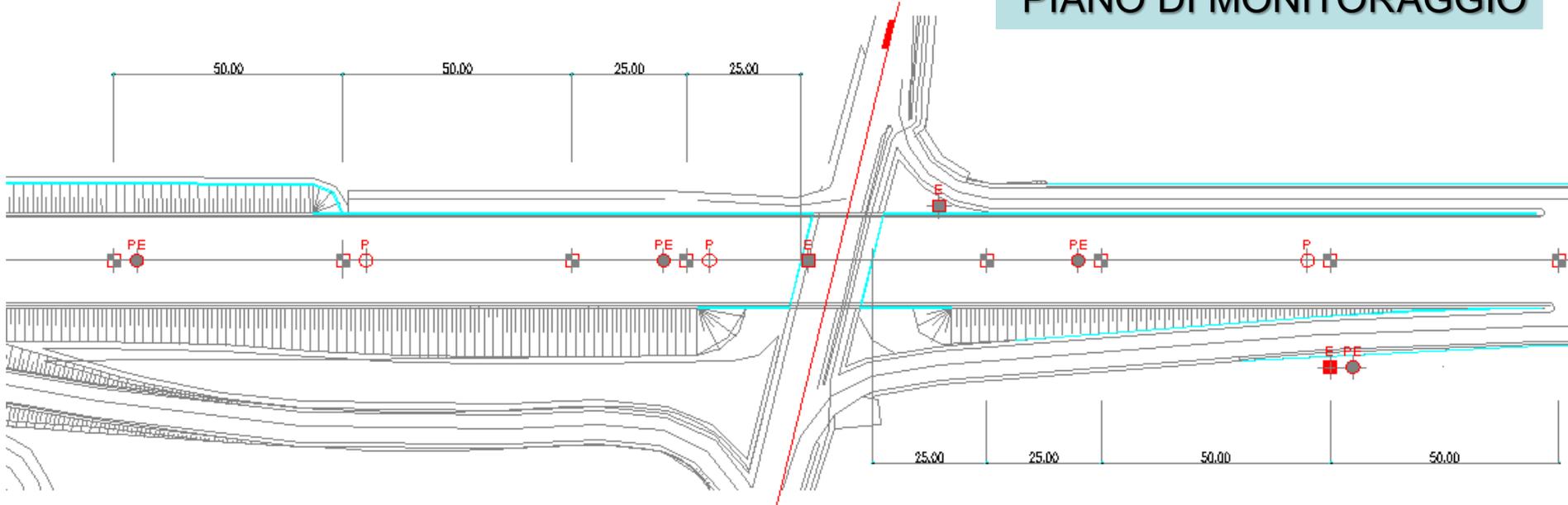
EVOLUZIONE DEI CEDIMENTI ( Um% )  
Ramo lato FF.SS. : punto A

cedimento massimo atteso : 48 cm



PLANIMETRIA DI PROGETTO CON STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

PIANO DI MONITORAGGIO



LEGENDA

-  Assestimetri di superficie a piastra - H = 6.00 m
-  Assestimetri elettromagnetici di profondità L = 12.00 m con n° 3 anelli di misura
-  Piezometri a tubo aperto - L = 12.00 m
-  Piezometri pneumatici o elettrici L = 10.00 m con n° 2 celle di misura

# PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA

STRUTTURE

IN FASE DI COSTRUZIONE (OPERE SOTTO FALDA)

IN ESERCIZIO

**LIQUEFAZIONE**



PENDII IN FALDA

OPERE DI SBARRAMENTO

CASE HISTORIES

STORIE D'INGEGNERIA TRA TERRA E MARE:

DA CORINTO A PANAMA PASSANDO PER SUEZ

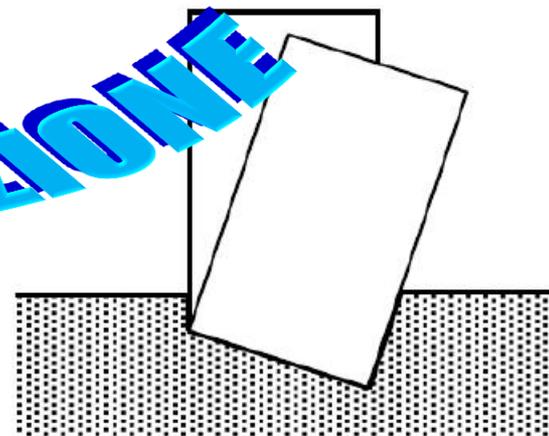


**LIQUEFAZIONE**



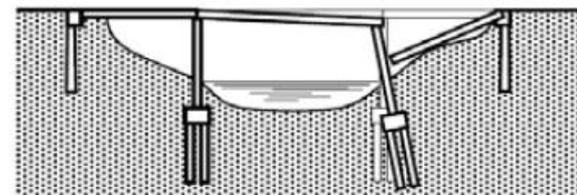


- perdita di capacità portante del suolo e affondamento di edifici nel terreno



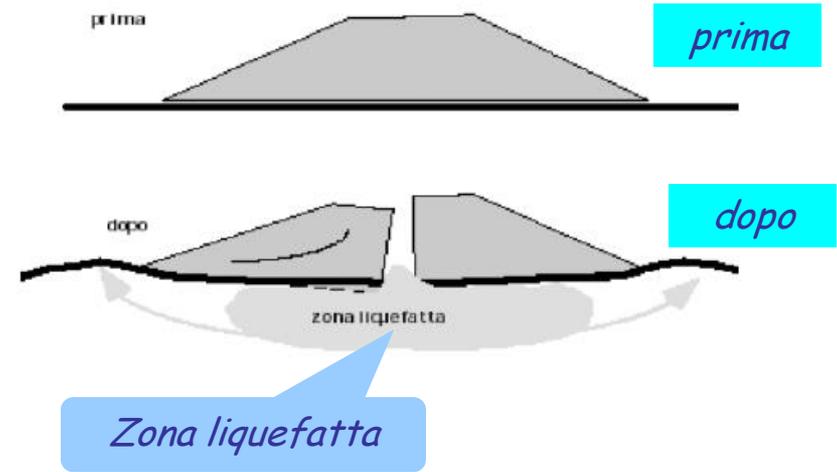
*Terremoto di Niigata (Giappone 1964) :  
affondamento di edifici*

collasso di palificate per perdita di connessione laterale



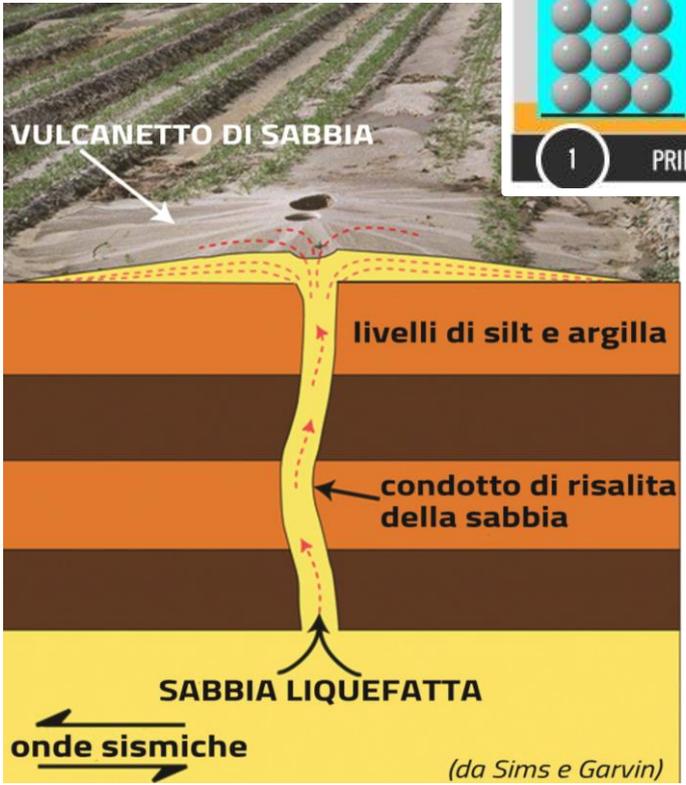
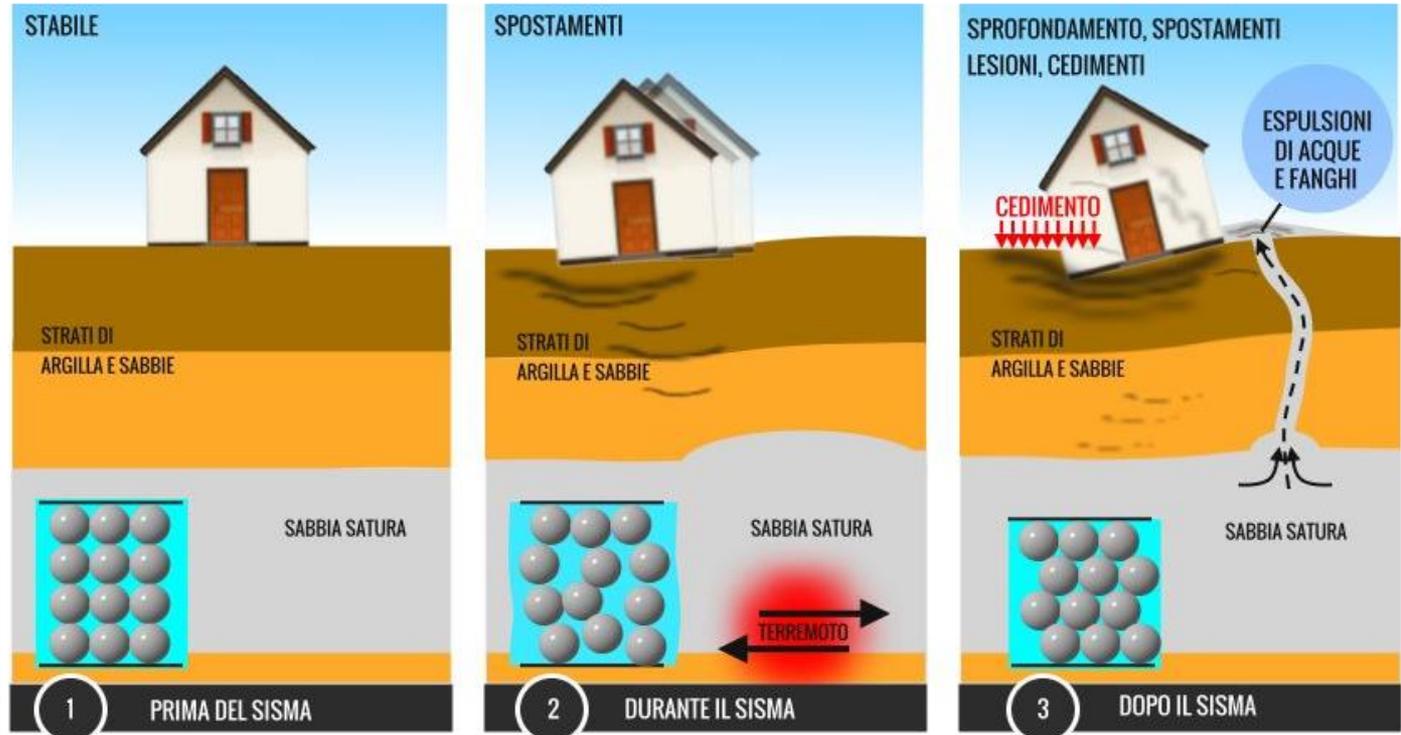
*Terremoto di Niigata (Giappone 1964) :  
cedimento del ponte Showa*

- *collasso di terrapieni, rilevati stradali, opere in terra*



*Cedimento e rottura di un rilevato stradale a seguito della liquefazione del terreno di appoggio*

**LIQUEFAZIONE**



# TEORIA DELLA LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della **liquefazione** (termine coniato da Mogani e Kubo nel 1953) interessa quei **DEPOSITI SABBIOSI SATURI** che nel corso di un terremoto o più genericamente durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico, subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio.

Resistenza a taglio di una sabbia:

$$\left. \begin{array}{l} \tau = (\sigma_v - u) \tan \varphi \\ \text{quando} \\ u \approx \sigma_v \Rightarrow \tau \approx 0 \end{array} \right\} \leftarrow \tau = c' + (\sigma_v - u) \operatorname{tg} \varphi' \quad \text{Criterio di rottura di Terzaghi}$$

Approcci "classici" per determinare il pericolo di liquefazione di un deposito;

1. metodi basati sulla ricerca della densità critica. Tra questi: *Castro (1969)* e *Casagrande (1975)*
2. metodi basati sul confronto delle sollecitazioni indotte dal terremoto con quelle necessarie a provocare la liquefazione ciclica in laboratorio.
3. metodi basati sull'osservazione del comportamento dei depositi di sabbia nei precedenti terremoti. *Kishida (1966)*, *Koizumi (1966)*, *Ohsaki (1966)*.

Metodologie recenti di validità più generale, di tipo storico-empirico :

$$FSL = \frac{R}{L} = \frac{CRR}{CSR} = \frac{\text{resistenza}}{\text{sollecitazione}}$$

- ❑ resistenza alla liquefazione  $CRR = f(N_{SPT}, q_c, V_s)$  si ricava da prove in sito
- ❑ rapporto di tensione ciclica  $CSR = f(\text{magnitudo}, a_g \text{ et alia})$

approccio adottato  
da NTC 2018

## NTC 2018 & LIQUEFAZIONE/1

NTC 2018 tratta l'argomento al Par. 7.11.3.4.

In particolare, al par. 7.11.3.4.2 la Norma stabilisce che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si presenti almeno una delle seguenti circostanze:

1.  $a_{g(max)} < 0.1 g$
2. falda a profondità maggiore di 15 m dal p.c. per strutture con fondazioni superficiali
3. depositi di sabbie pulite aventi, in alternativa:
  - $(N_1)_{60} > 30$  (resistenza penetrometrica dinamica normalizzata)
  - $q_{c1N} > 180$  (resistenza penetrometrica statica normalizzata)
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure della diapositiva seguente (Fig. 7.11.1 di NTC 2018).

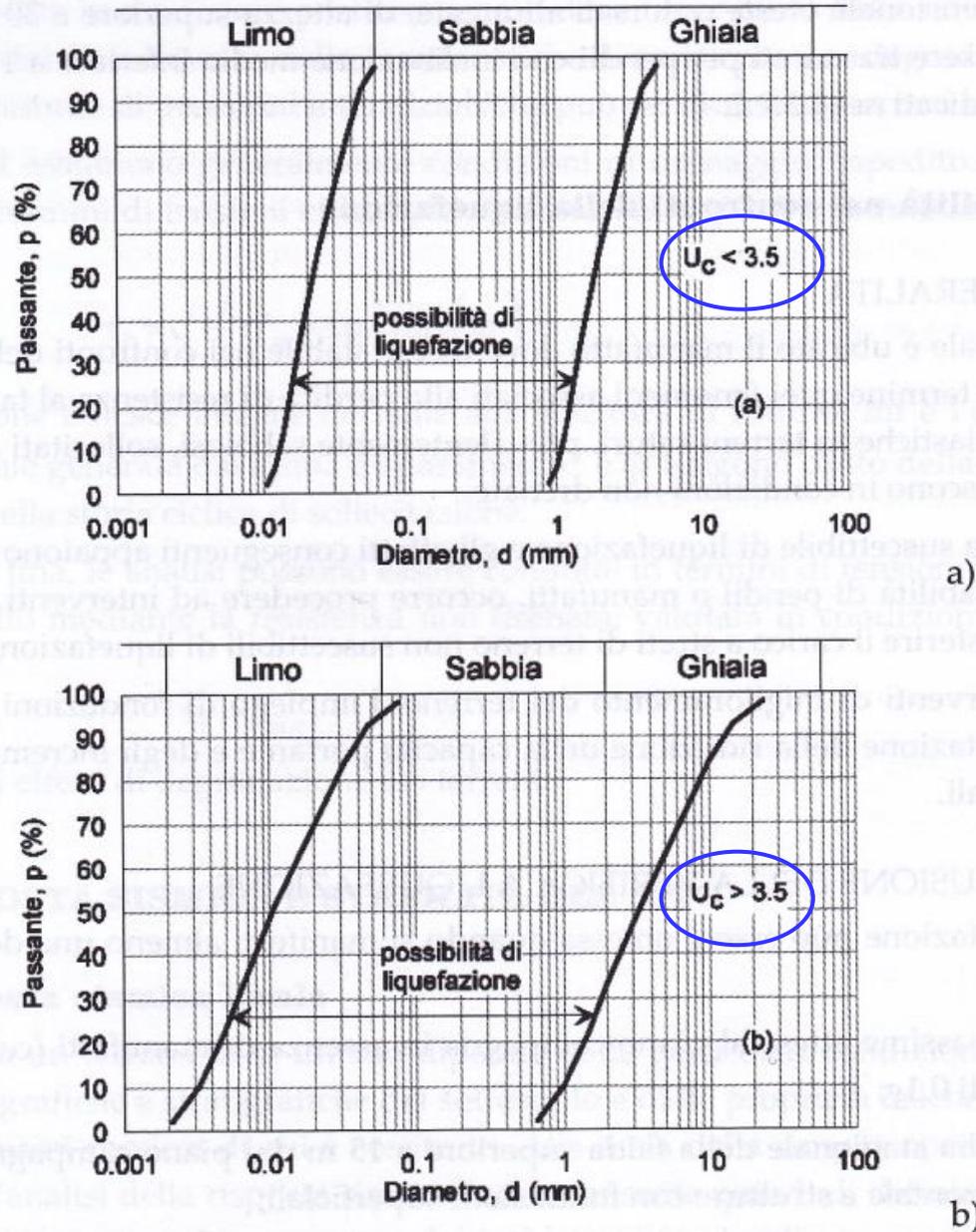


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

## NTC 2018 &amp; LIQUEFAZIONE/3

Nei casi in cui le condizioni dei luoghi siano tali da richiedere la verifica alla liquefazione, questa può essere eseguita (par. 7.11.3.4.3 di NTC 2018) ricorrendo a metodi storico-empirici in cui il coefficiente di sicurezza viene definito come il rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto:

$$F_{SL} = \frac{CRR}{CSR} = \frac{\text{resistenza}}{\text{sollecitazione}}$$

- ❑  $CRR$  (Cyclic Resistance Ratio) =  $f(N_{SPT} q_c V_s)$  si ricava da prove in sito e/o di laboratorio
- ❑  $CSR$  (Cyclic Stress Ratio) =  $f(\text{magnitudo}, a_g \text{ et alia})$

La Norma lascia al progettista la responsabilità di valutare l'adeguatezza del margine di sicurezza.



forse il treno avrà un po' di ritardo

## RIMEDI AL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Hevy Tamping

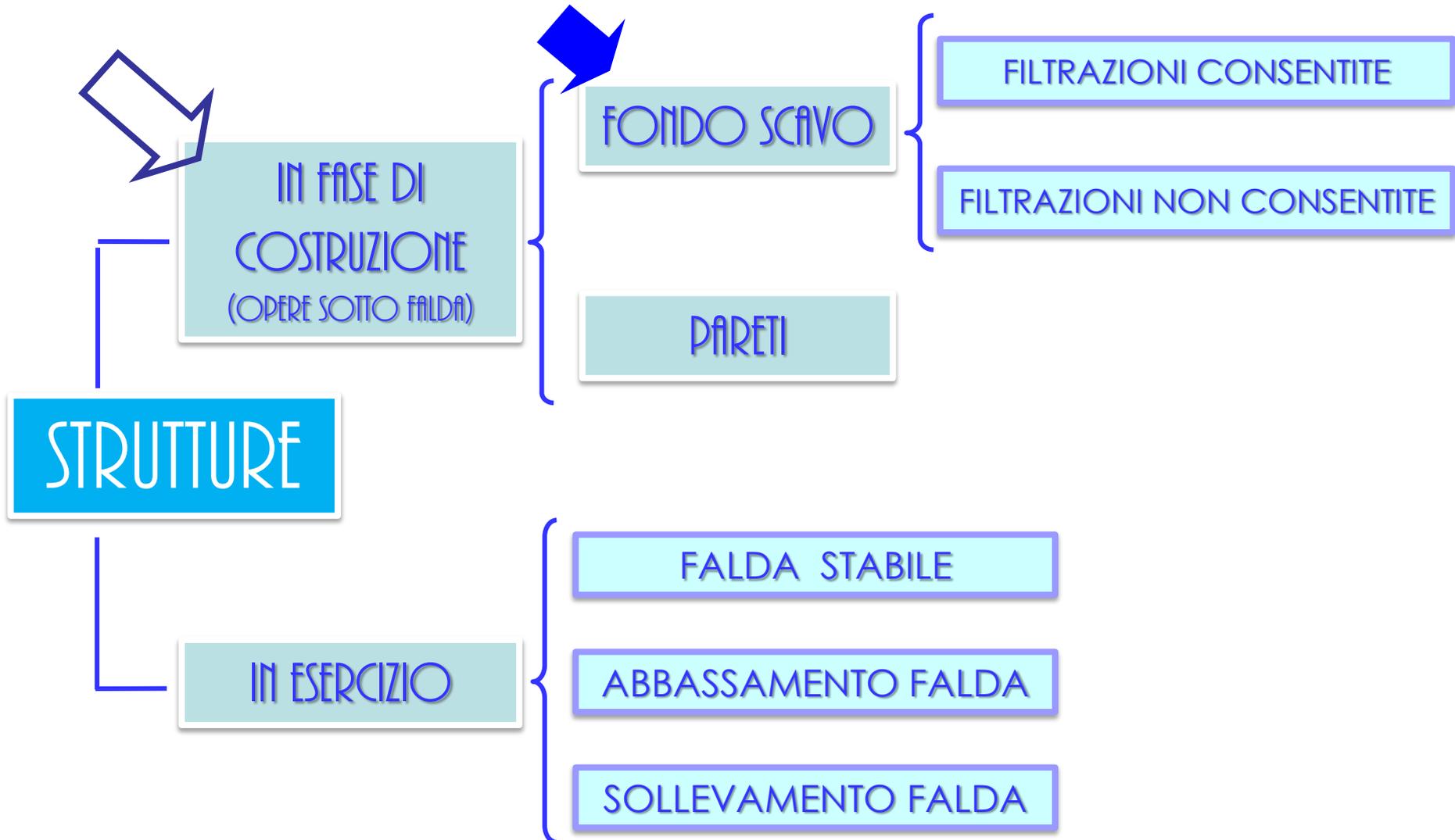
Vibroflottazione

Iniezioni, Jet-grouting / Soil-mixing

Fondazioni profonde su pali

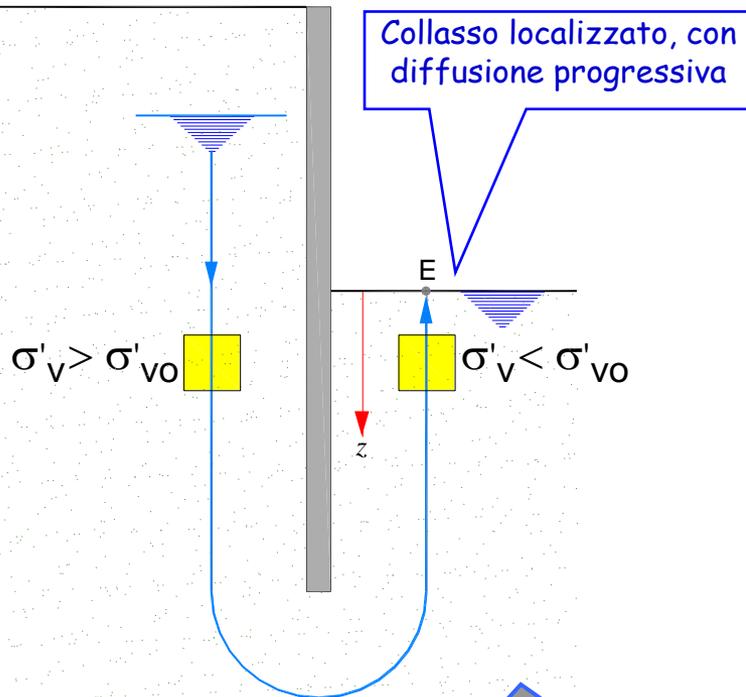
Tutti questi interventi sono applicabili a nuove strutture, mentre per le strutture esistenti solo il jet-grouting, il soil-mixing o i trattamenti d'iniezione potrebbero, e solo in rari casi, risultare proponibili. Sempre per strutture esistenti, da valutare con estrema cautela una eventuale sottofondazione con micropali.

# PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA



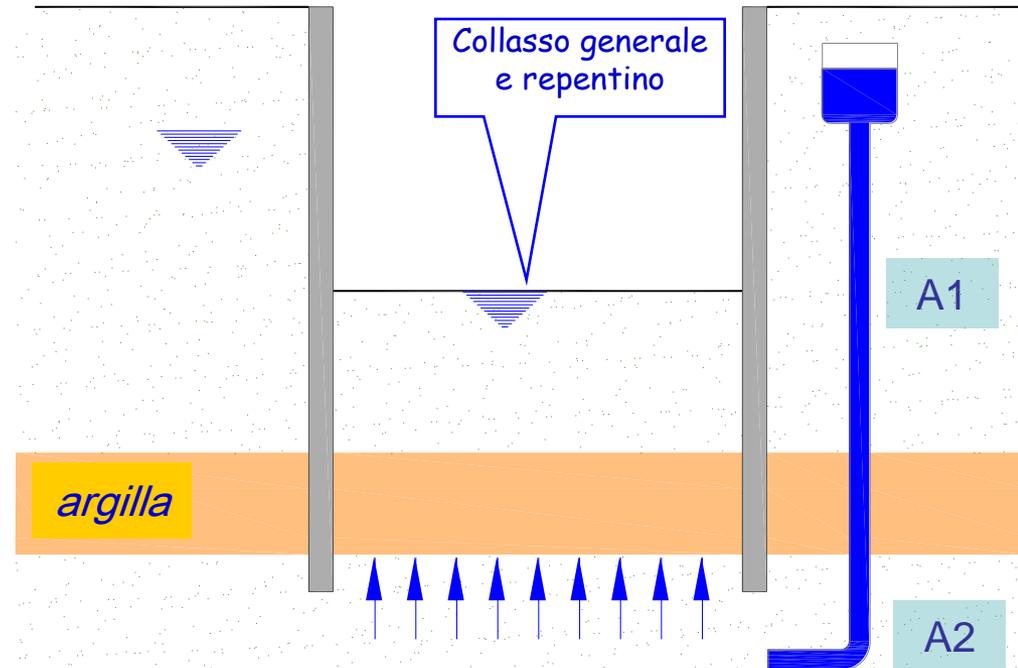
# STABILITA' DEL FONDO SCAVO : SCAVO IN FALDA

## FILTRAZIONI CONSENTITE: SIFONAMENTO



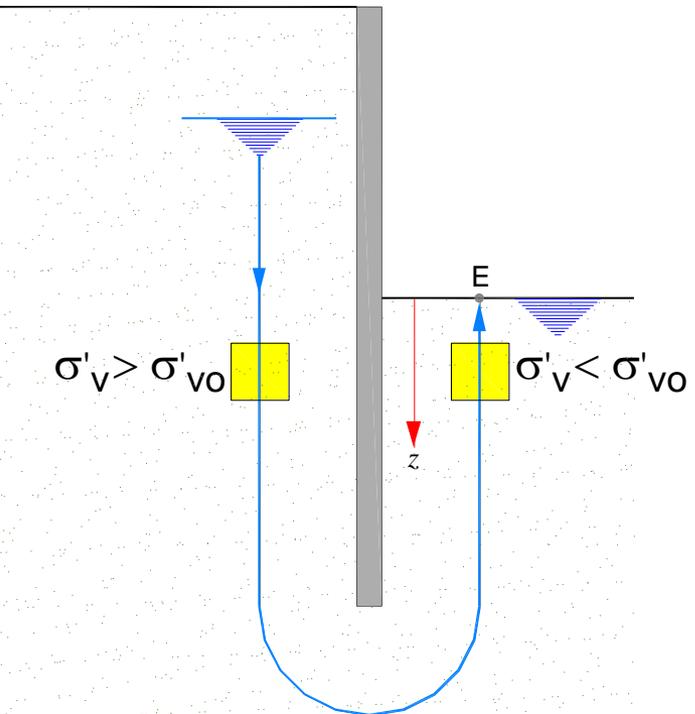
Le portate filtranti non si esauriscono al termine dello scavo.  
Assume rilevanza anche la valutazione delle portate filtranti ed il loro emungimento.

## FILTRAZIONI NON CONSENTITE: SOLLEVAMENTO DEL FONDO SCAVO



Le portate filtranti si esauriscono al termine dello scavo.  
L'emungimento delle portate filtranti ha rilevanza marginale.

FILTRAZIONI CONSENTITE : TEORIA DEL SIFONAMENTO



In presenza di filtrazioni, a monte ed a valle risulta:

$$\sigma'_v = \sigma'_{v0} - i \gamma_w z \quad (1)$$

essendo  $z =$  carico piezometrico  
 $i = dh/dl$  gradiente idraulico  
 con  $i < 0$  a monte,  $i > 0$  a valle)

A valle della paratia  $\sigma'_{v0} = \gamma' z$  e quindi la (1) si può scrivere :

||  $\sigma'_v = (\gamma' - i \gamma_w) z \Rightarrow \sigma'_v = 0$  quando:

$$i = i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \approx 1$$

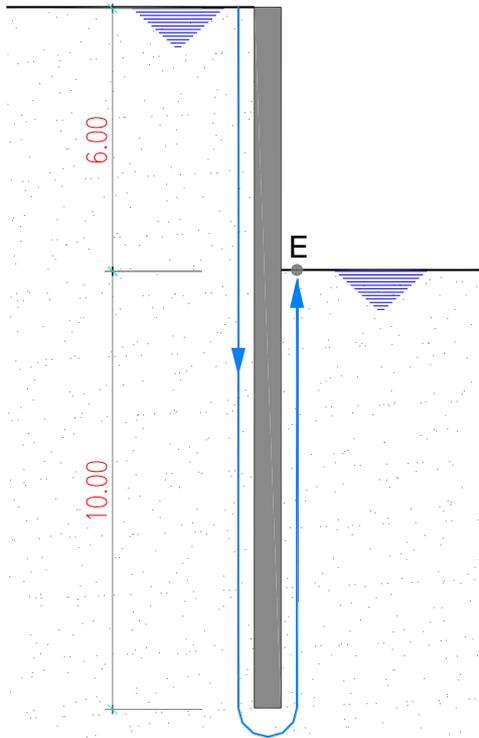
$i_c =$  gradiente di efflusso critico

Posto  $i_E$  il gradiente di efflusso in E, risulta :

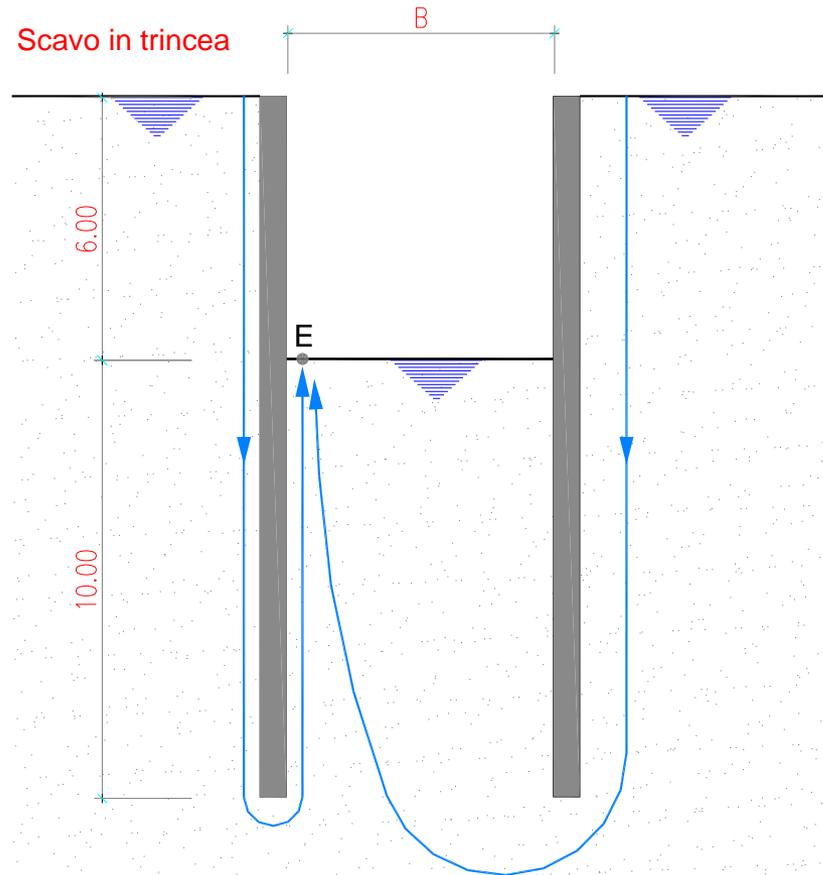
$$F = \frac{i_c}{i_E} \approx \frac{1}{i_E}$$

## SIFONAMENTO : IMPORTANZA DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

Scavo indefinito



Scavo in trincea

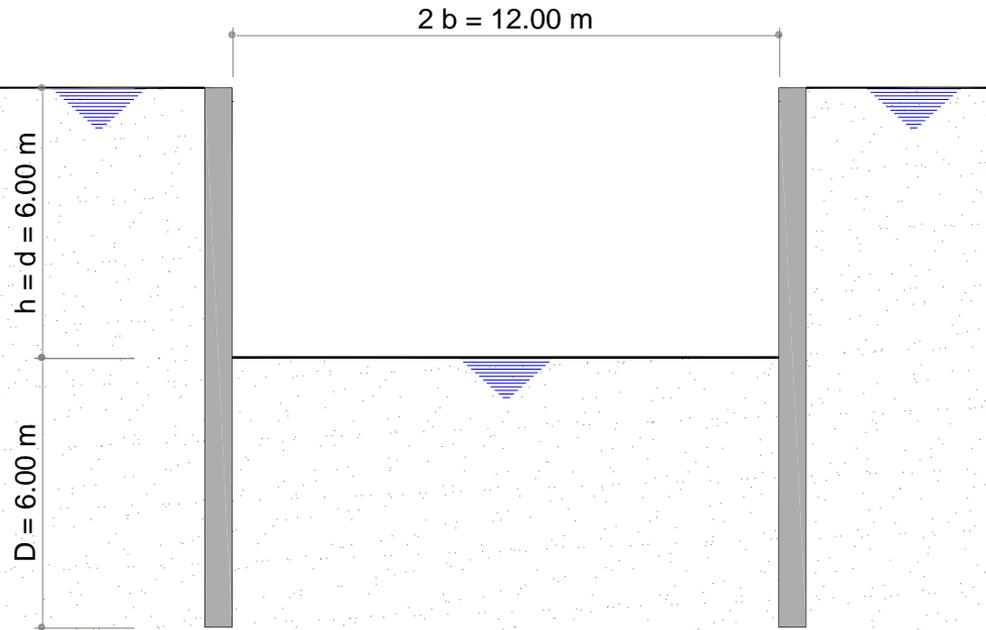


$$F = \frac{i_c}{i_E} = \frac{1}{0.2} = 5$$

$$B = 12.00m \Rightarrow F = \frac{i_c}{i_E} = \frac{1}{0.37} = 2.69$$

$$B = 6.00m \Rightarrow F = \frac{i_c}{i_E} = \frac{1}{0.42} = 2.38$$

FILTRAZIONI ENTRO LO SCAVO : IMPORTANZA DELL'ANALISI GEOTECNICA PRELIMINARE



ghiaia e sabbia :  $k = 10^{-2}$  cm/sec

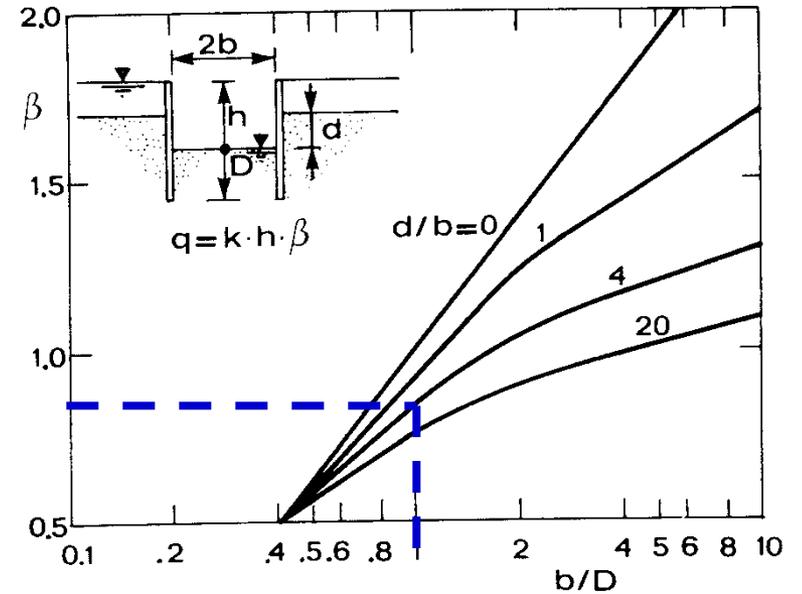


Figura 4.27 Portata di filtrazione nel caso di uno scavo nastriforme in un mezzo poroso di spessore infinito.

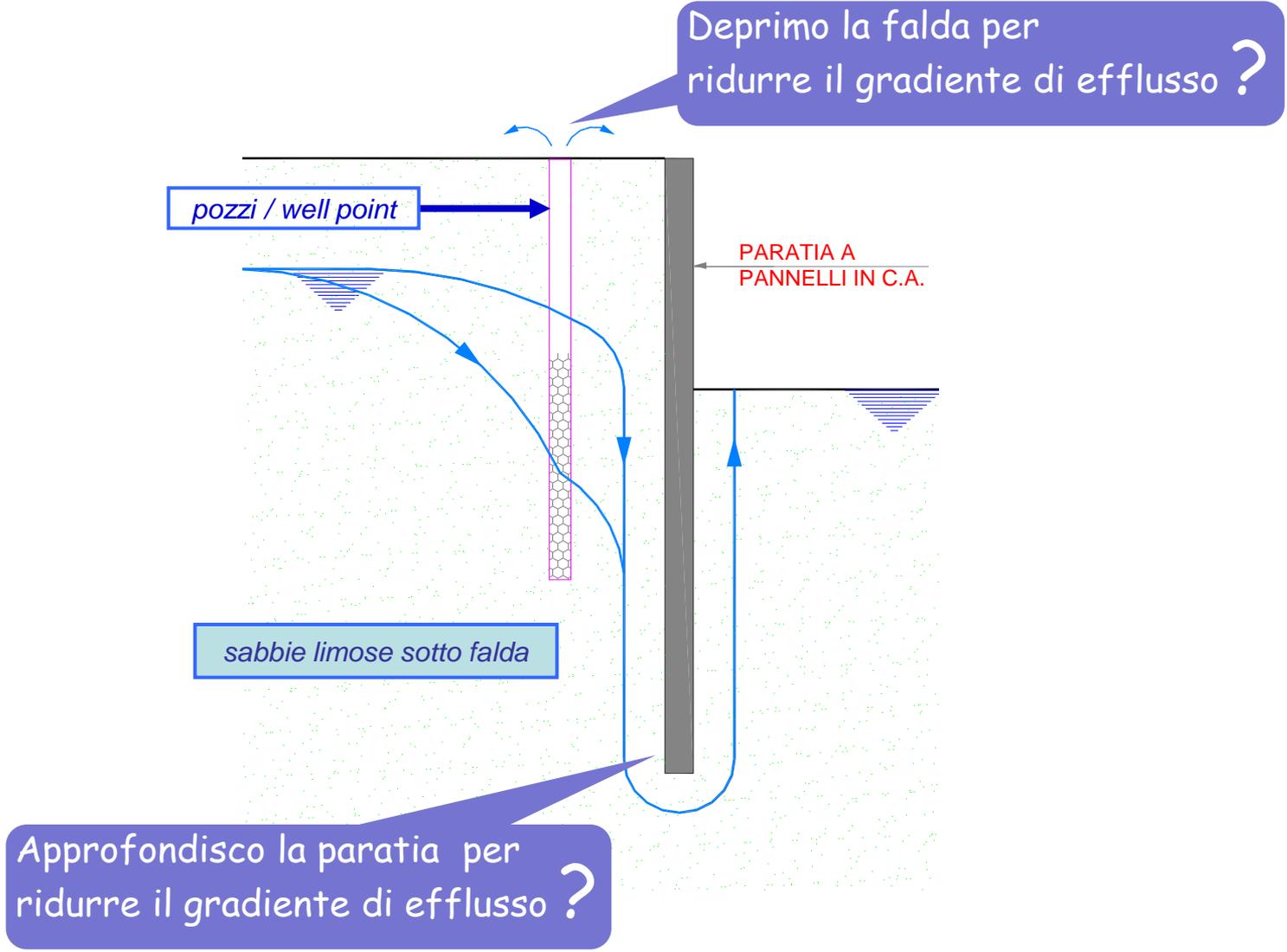
$b = D = h = 6.00$  m  $\rightarrow$   $b/D = d/b = 1.00$

$\rightarrow \beta = 0.9$

Portata filtrante a metro lineare di fronte di scavo :  
 $q = k h \beta = 10^{-4} \times 6.00 \times 1.00 \times 0.9 \text{ m}^3/\text{sec} = 5.4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$

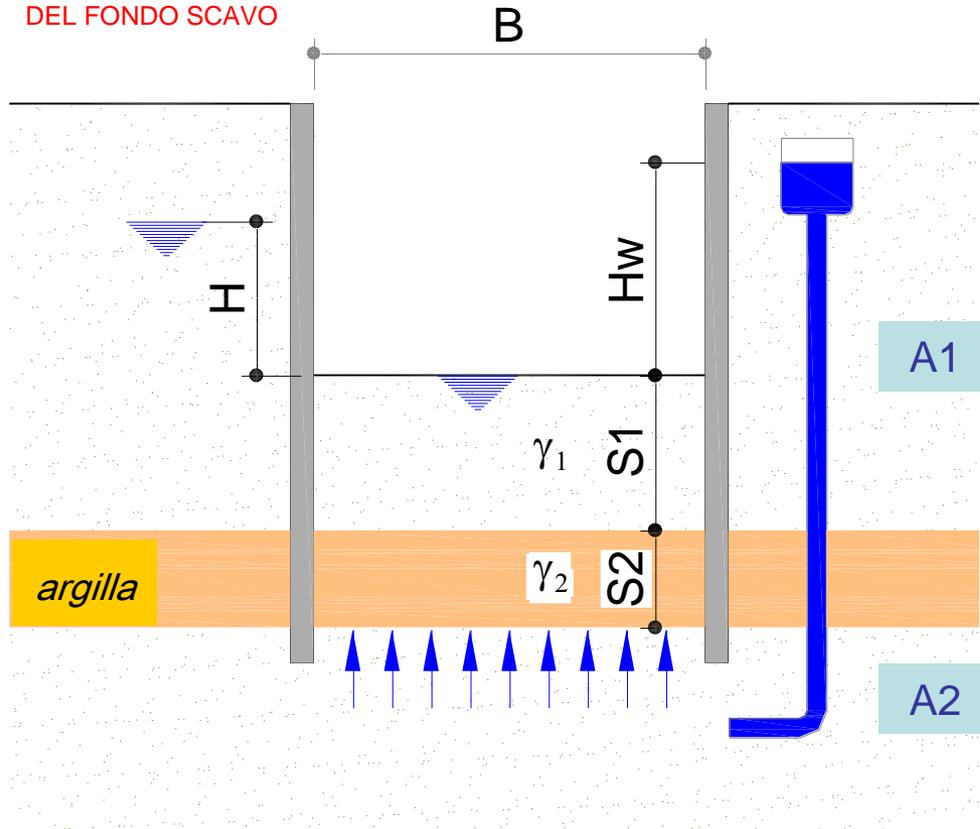
Per 10.00 m di fronte, in 1 ora :  
 $q = 10.00 \times 5.4 \times 10^{-4} \times 3.600 = 19.44 \text{ m}^3$

# UN CLASSICO PROBLEMA DI SCAVO IN PRESENZA DI FILTRAZIONI CON RISCHIO DI SIFONAMENTO



# FILTRAZIONI NON CONSENTITE : SOLLEVAMENTO GENERALE DEL FONDO SCAVO

SOLLEVAMENTO GENERALE  
DEL FONDO SCAVO

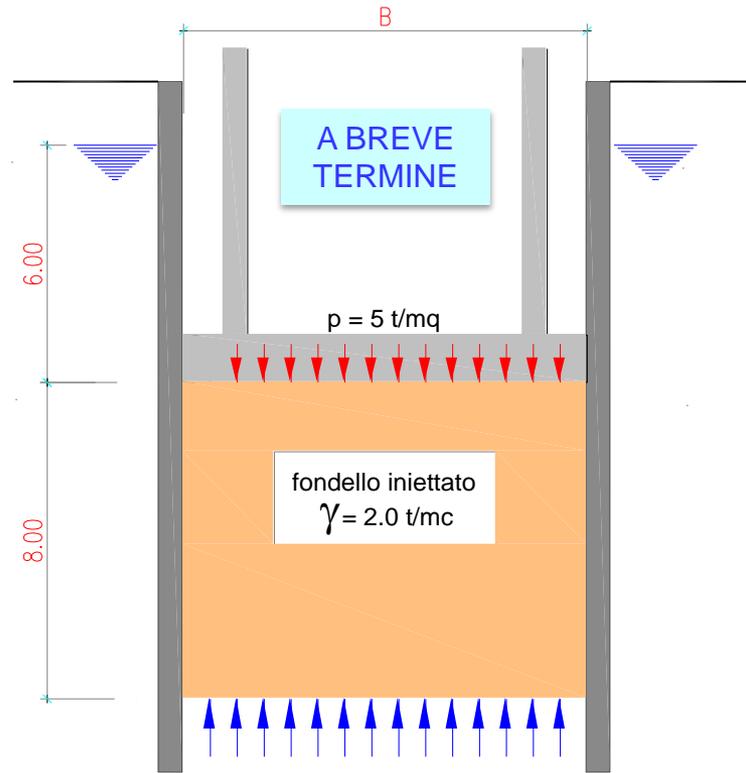


Il sollevamento generale del fondo scavo si può verificare solo se c'è un acquifero confinato posto a quota inferiore a quella di scavo.  
Nel caso della figura, quindi, l'acquifero A1 non può causare tale tipo di instabilità.

$$F = \frac{B(s_1\gamma_1 + s_2\gamma_2)}{B\gamma_w (H_w + s_1 + s_2)}$$

## VERIFICA AL GALLEGGIAMENTO IMPORTANZA DI CONSIDERARE TUTTE LE FASI DELLA COSTRUZIONE

**SOLLEVAMENTO GENERALE  
DEL FONDO SCAVO : SITUAZIONI A BREVE TERMINE**



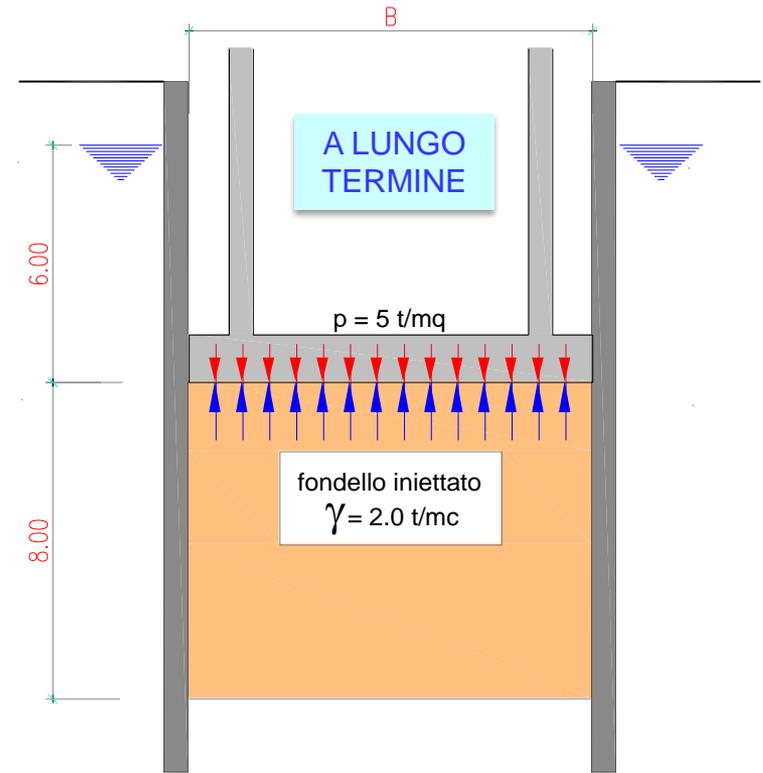
**Provvisorio  
senza struttura**

$$F = \frac{B(8.00 \times 2.00)}{B(14.00 \times 1.00)} = 1.14$$

**A breve termine  
con struttura**

$$F = \frac{B(8.00 \times 2.00 + 5.00)}{B(14.00 \times 1.00)} = 1.50$$

**SOLLEVAMENTO GENERALE  
DEL FONDO SCAVO : SITUAZIONE A LUNGO TERMINE**



**A lungo termine**

$$F = \frac{B \times 5.00}{B \times (6.00 \times 1.00)} < 1$$

**N.B. Notare che non vi è stata variazione di livello  
della falda esterna**

CRITICITÀ DELLA VERIFICA PER  
SOLLEVAMENTO GENERALE DEL FONDO SCAVO  
un case history

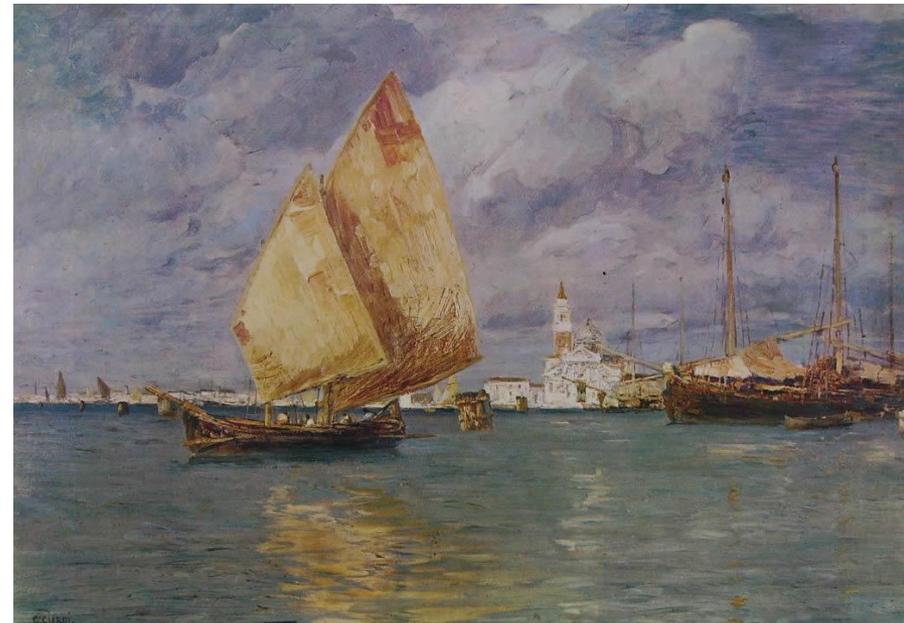
PROGETTO DI DISINQUINAMENTO  
DELLA LAGUNA DI VENEZIA

VASCA DI MODULAZIONE DI FAVARO VENETO (VE)  
IMPRESA INCOSIN / Garrasi 1998-2000

UN CASE HISTORY



Canaletto (1697-1768) – S. Giorgio Maggiore e Punta Dogana

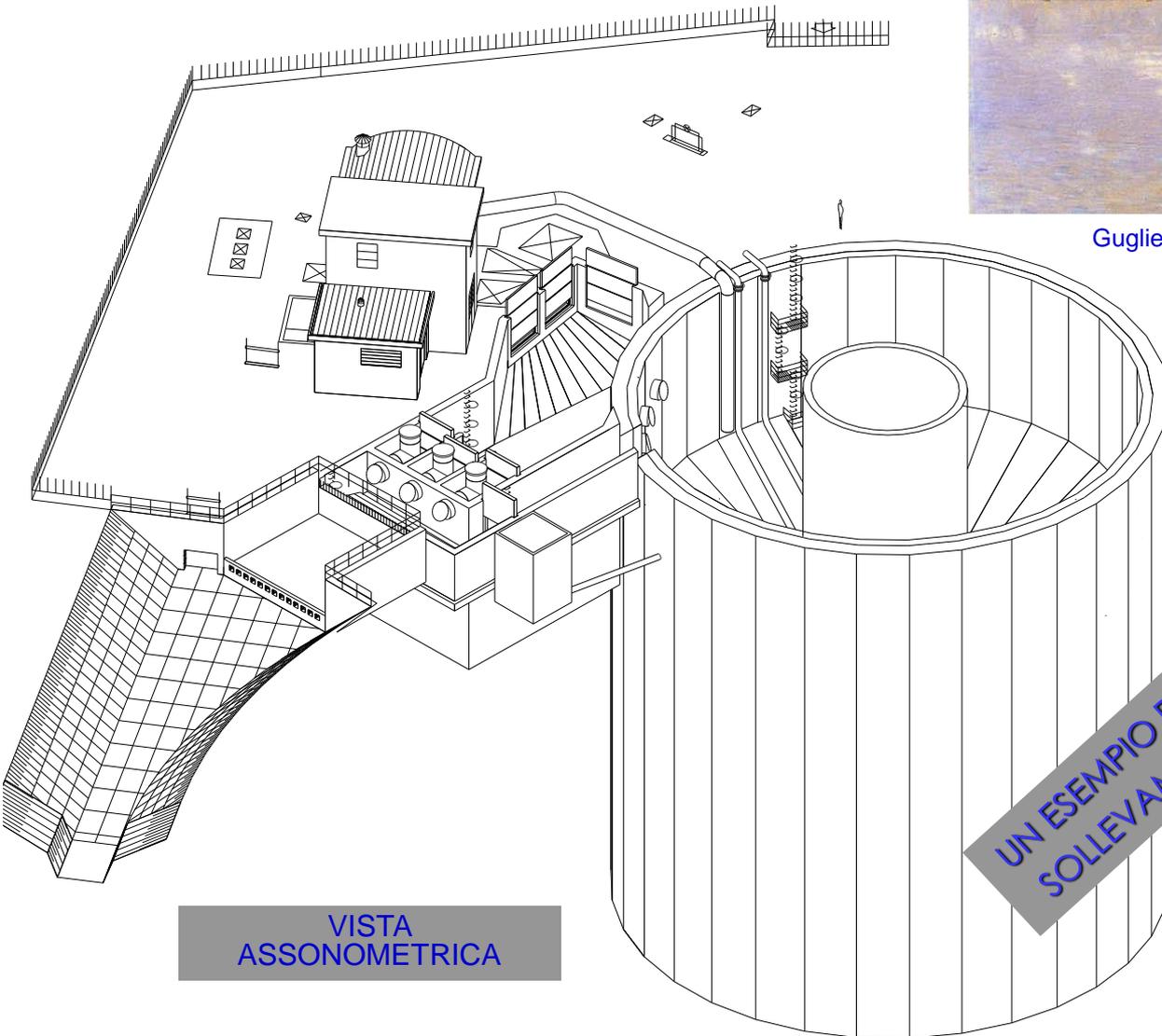


Guglielmo Ciardi (1842-1917) – S. Giorgio

PROGETTO DI DISINQUINAMENTO DELLA LAGUNA DI VENEZIA  
VASCA DI MODULAZIONE DI FAVARO VENETO (VE)  
Impresa INCOSIN/Garrasi 1998-2000



Guglielmo Ciardi (1842-1917) – Barche di pescatori



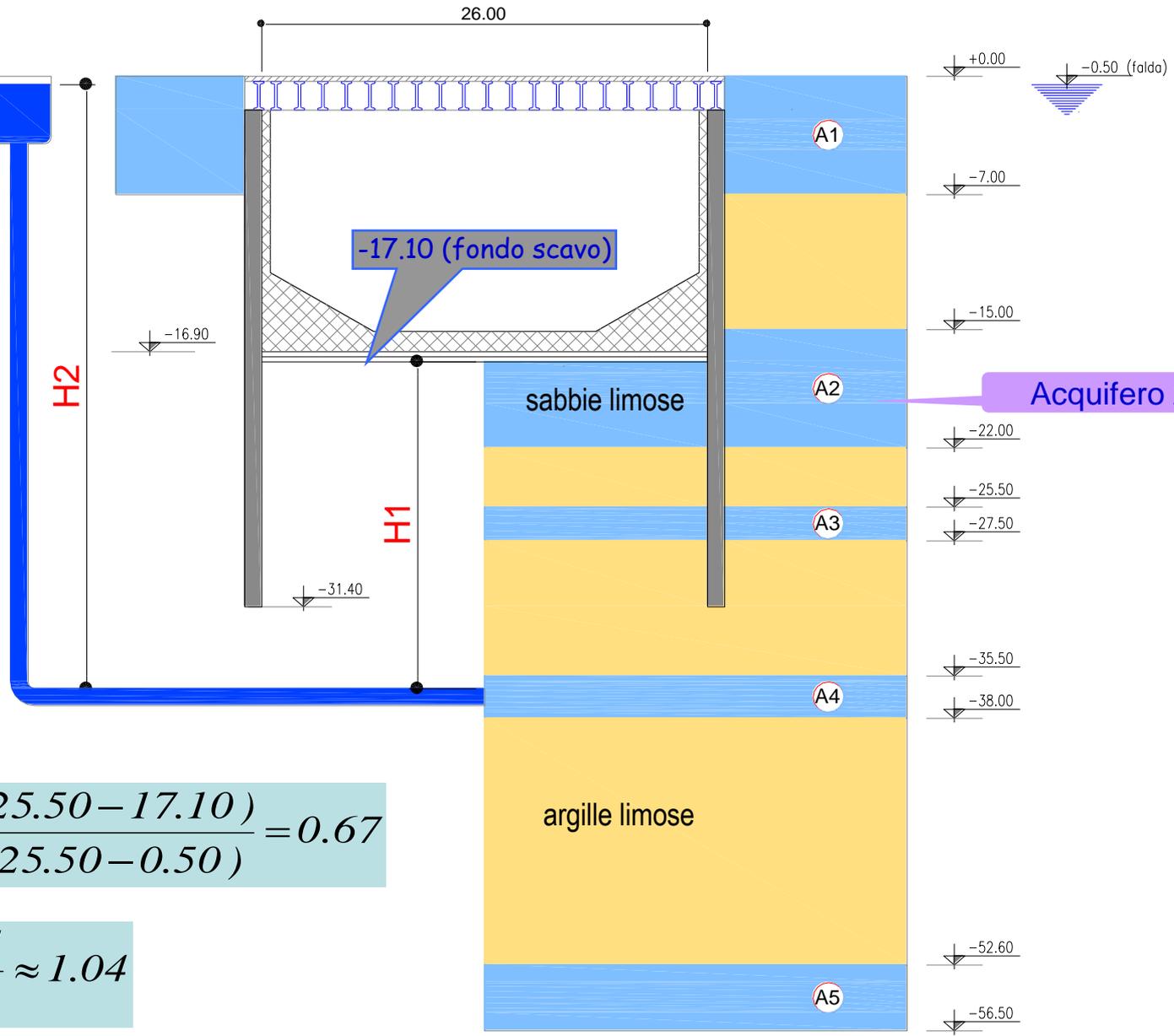
VISTA  
ASSONOMETRICA

UN ESEMPIO DELLA CRITICITÀ DELLA VERIFICA PER  
SOLLEVAMENTO GENERALE DEL FONDO SCAVO

PROGETTO DI DISINQUINAMENTO DELLA LAGUNA DI VENEZIA  
 VASCA DI MODULAZIONE DI FAVARO VENETO (VE) – Impresa INCOSIN/Garrasi 1998-2000

Carico idraulico  
 comune a tutti gli  
 acquiferi

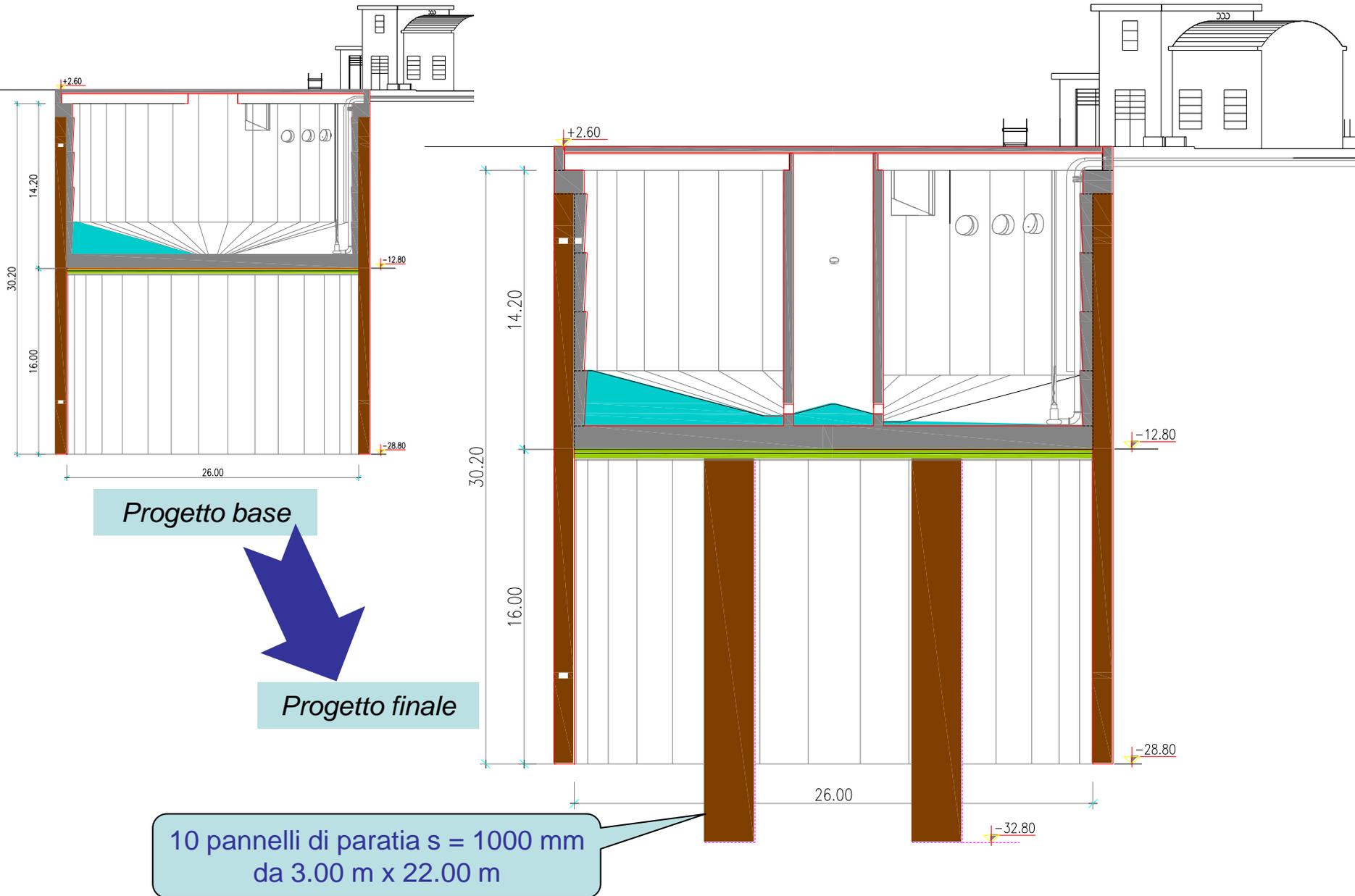
H1 = 18.40 m  
 H2 = 35.00 m



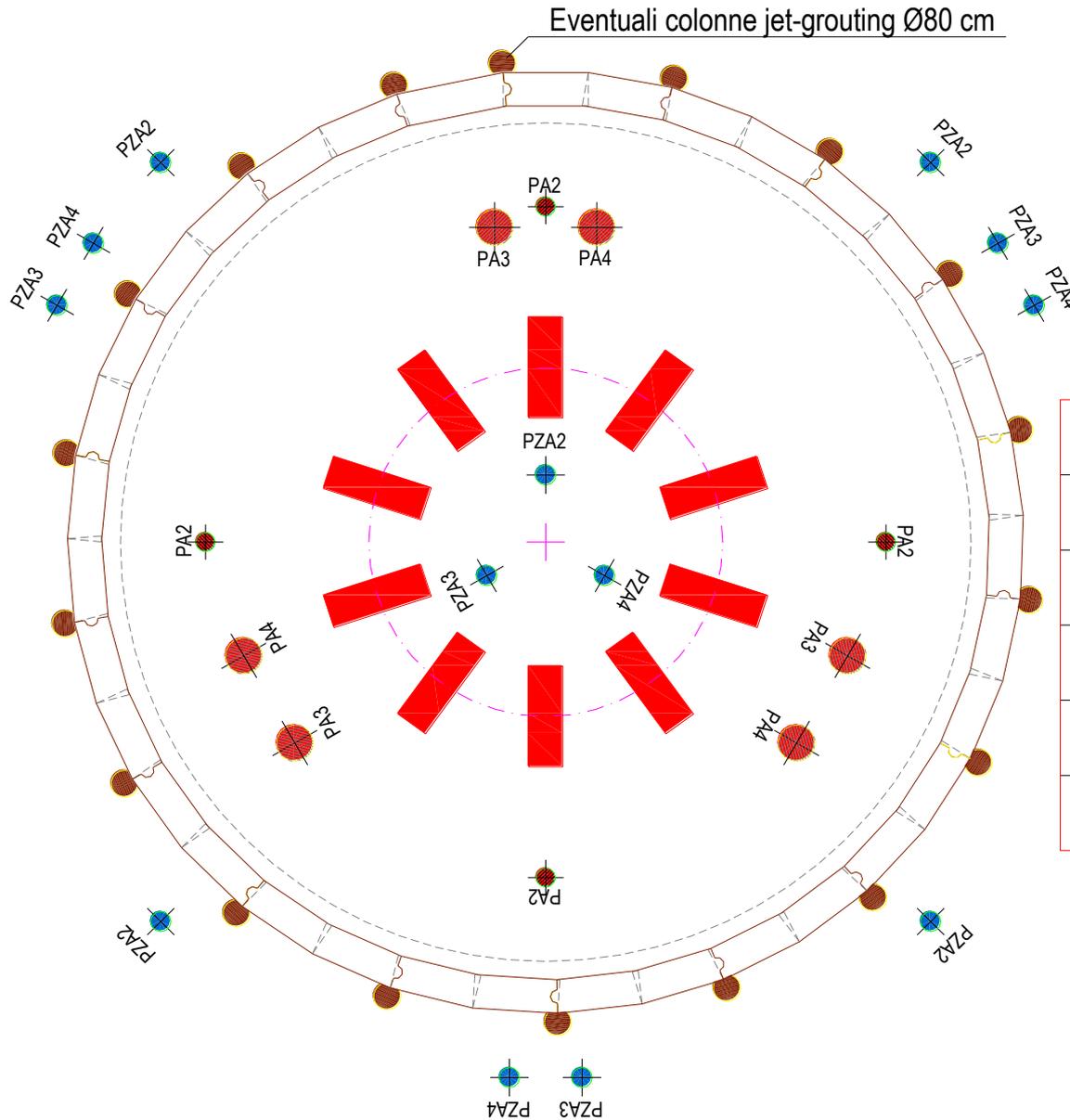
$$A3 : F = \frac{2.00 \times (25.50 - 17.10)}{1.00 \times (25.50 - 0.50)} = 0.67$$

$$A4 : F = \frac{\gamma_{sat} \times H1}{\gamma_w \times H2} \approx 1.04$$

# PROGETTO DI DISINQUINAMENTO DELLA LAGUNA DI VENEZIA VASCA DI MODULAZIONE DI FAVARO VENETO (VE) – Impresa INCOSIN/Garrasi 1998-2000



PROGETTO DI DISINQUINAMENTO DELLA LAGUNA DI VENEZIA  
 VASCA DI MODULAZIONE DI FAVARO VENETO (VE) – Impresa INCOSIN/Garrasi 1998-2000



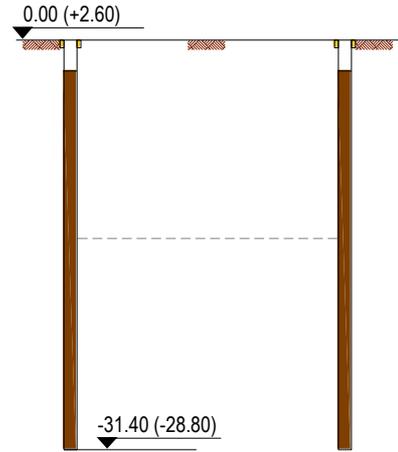
*Dispositivo di dewatering e controllo*

PA2 	Pozzi Ø200mm	L = 22.50 m
PA3 	Pozzi Ø400mm	L = 27.50 m
PA4 	Pozzi Ø400mm	L = 38.50 m
PZA2 	Piezometri a tubo aperto	L = 22.50 m
PZA3 	Piezometri a tubo aperto	L = 27.50 m
PZA4 	Piezometri a tubo aperto	L = 38.50 m

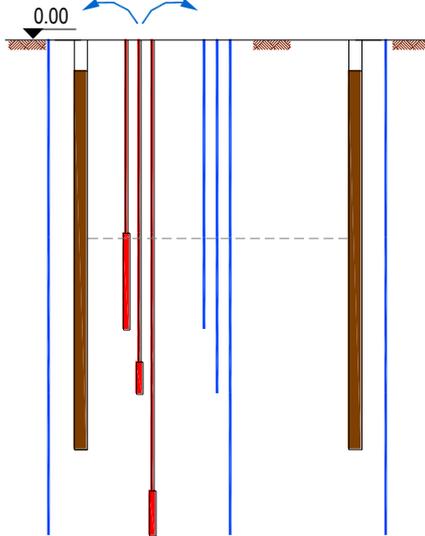
# PROGETTO DI DISINQUINAMENTO DELLA LAGUNA DI VENEZIA

## Vasca di modulazione di Favaro Veneto (VE) : le fasi esecutive necessarie per il dewatering e la costruzione

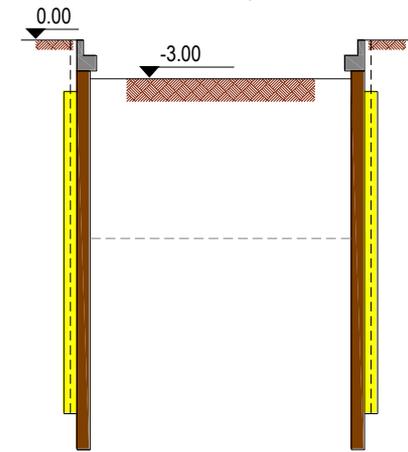
FASE 1: Cordoli guida  
FASE 2: Diaframmi



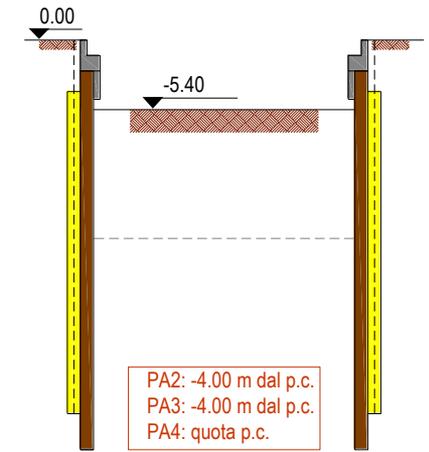
FASE 3: Pozzi e piezometri  
FASE 4: Prove di emungimento



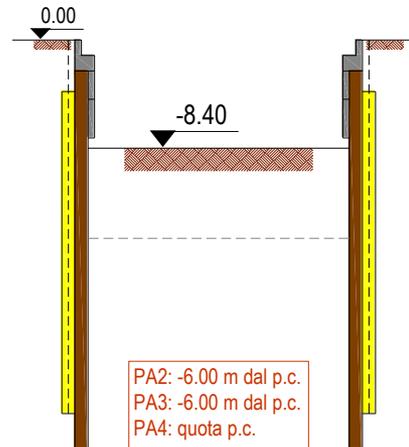
FASE 5: Colonne jet-grouting  
FASE 6: Scavo sino a -3.00 m dal p.c.  
Getto anello superiore



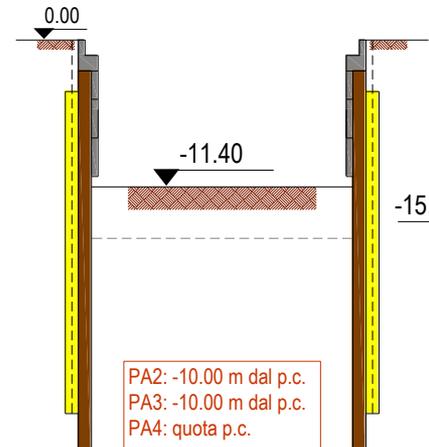
FASE 7: Scavo fino a -5.40 dal p.c.  
getto del primo concio di rifodera



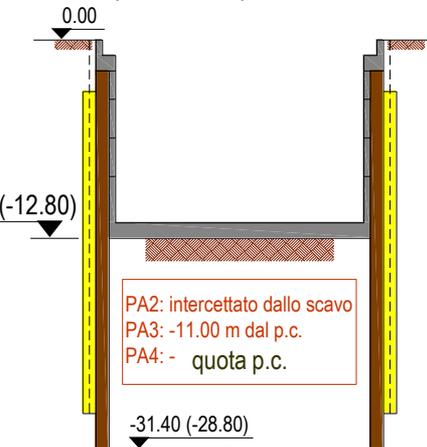
FASE 8: Scavo fino a -8.40 dal p.c. e getto del secondo concio di rifodera



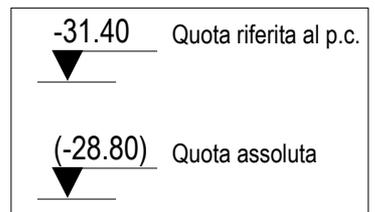
FASE 9: Scavo fino a -11.40 dal p.c. e getto del terzo concio di rifodera



FASE 10: Scavo fino a -15.40 dal p.c. getto della platea e del quarto concio di rifodera



FASE 11: Completamento della struttura (corpo centrale e copertura)  
FASE 12: Disattivazione dei pozzi



QUANDO LA LAGUNA SI DISINQUINAVA DA SOLA



G. Ciardi (1842-1917) – Mattino a Venezia



G. Ciardi (1842-1917) – Giudecca



P. Galter (1840-1901) – Pescatori in laguna tra cielo e mare



E. W. Cooke (1811-1880) – Nella laguna veneta

QUANDO LA LAGUNA SI DISINQUINAVA DA SOLA



G. Ciardi (1842-1917) – Laguna con barche e pescatori



P. Fragiaco (1856-1922) – Barche in laguna



C. Monet (1840-1926) Canal Grande



P. Fragiaco (1856-1922) – Venezia povera

## SOLLEVAMENTO GENERALE DEL FONDO SCAVO



COMUNE DI PONTEDILEGNO (BS)  
 COMPLESSO RESIDENZIALE IN VIA SORA

Verifiche geotecniche preliminari al galleggiamento ed al sollevamento del fondo scavo nel progetto delle villette.

VERIFICHE CON FALDA A - 1.88 m DA 0.00 PROGETTO

Quota piano di fondazione da 0.00 progetto: - 5.00 m

$$H1 = (5.00 - 1.88) \text{ m} = 3.12 \text{ m}$$

$$H2 = (12.00 - 1.88) \text{ m} = 10.12 \text{ m}$$

$$H3 = (12.00 - 5.00) \text{ m} = 7.00 \text{ m}$$

$\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$  (assunzione cautelativa)

Verifica al galleggiamento della struttura  
 (acquifero superiore)

$$u_1 = \gamma_w \times H1 = 10 \text{ kN/m}^3 \times 3.12 \text{ m} = 31.2 \text{ kPa}$$

Verifica di stabilità del fondo scavo  
 (acquifero inferiore)

$$u_2 = \gamma_w \times H2 = 10.00 \text{ kN/m}^3 \times 10.12 \text{ m} = 101.2 \text{ kPa}$$

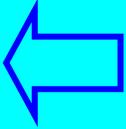
$$F = (\gamma_{\text{sat}} \times H3) / u_2 = (19 \times 7.00) / 101.2 = 1.31$$

Profondità critica di scavo (F = 1)

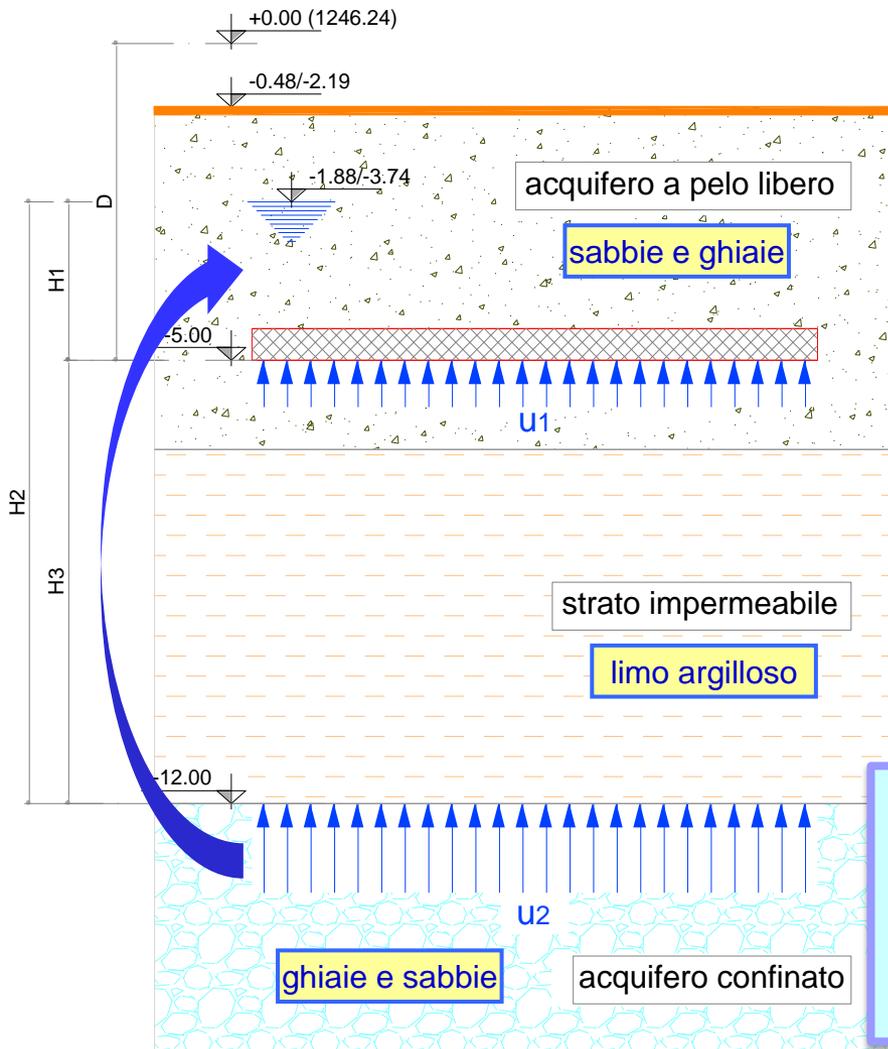
$$H3_{\text{critico}} = u_2 / \gamma_{\text{sat}} = 101.2 / 19 \approx 5.33 \text{ m}$$

$$D_{\text{critico}} = 12.00 - 5.33 = 6.67 \text{ m}$$

Da confrontare con gli scarichi in fondazione



AL MOMENTO DELLO STUDIO LA PIAZZA PRINCIPALE DEL PAESE ERA COLLASSATA PER SOLLEVAMENTO GENERALE DEL FONDO SCAVO NEL CORSO DI SCAVI INCAUTAMENTE PROGETTATI, CON DANNI ALLE OPERE DI SOSTEGNO PERIMETRALI ED AGLI EDIFICI PROSPICIENTI.



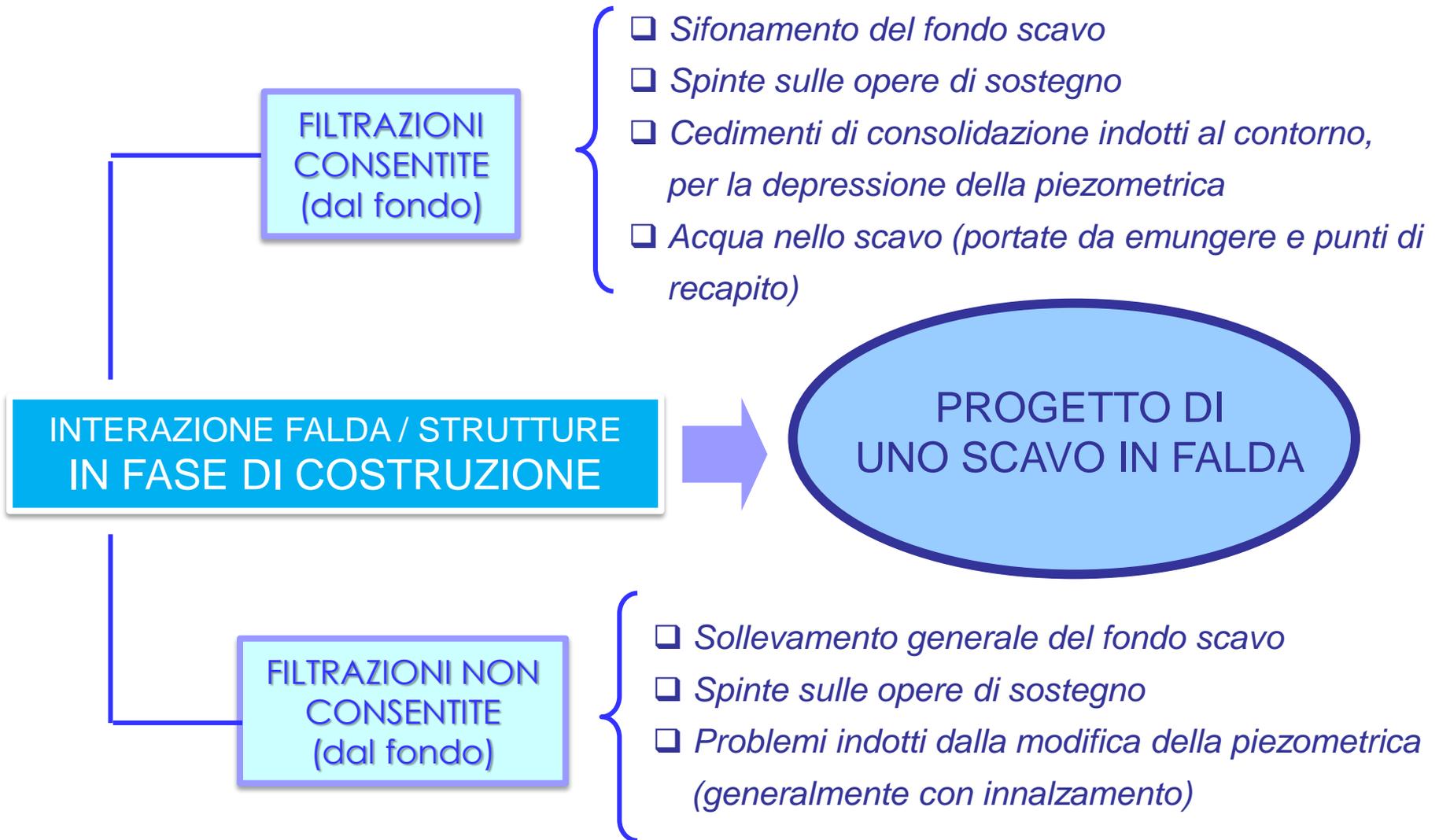
A VOLTE

UN PROBLEMA MOLTO IMPORTANTE



RICHIEDE

UN CALCOLO MOLTO SEMPLICE



**N.B. SI SUPPONE DI DOVER IMPEDIRE LE FILTRAZIONI DALLE PARETI DELLO SCAVO**

# PROGETTO DI UNO SCAVO IN FALDA

IN ROCCIA

NEI TERRENI

INTERVENTI  
STRUTTURALI

Progettazione geotecnica

Progettazione strutturale  
opere di sostegno

INTERVENTI DI  
IMPERMEABILIZZAZIONE

Prestazioni  
richieste

Provvisorie

Definitive

Filtrazioni entro lo scavo  
(portate da emungere)

Effetti

Provvisori

Definitivi

TECNOLOGIE

CONTROLLI E MONITORAGGI

# POSSIBILI INTERVENTI PER SCAVI SOTTO FALDA

## GALLERIE

### NEI TERRENI

- Iniezioni
- Jet-grouting
- Congelamento

### IN ROCCIA

- Iniezioni
- Congelamento

## SCAVI A CIELO APERTO

### NEI TERRENI

#### PARETI

- Drenaggio
- Paratie/Palancole
- Jet - grouting
- Soil - mixing
- Congelamento

#### FONDO SCAVO

- Drenaggio
- Iniezioni
- Jet - grouting
- Soil - mixing

### IN ROCCIA

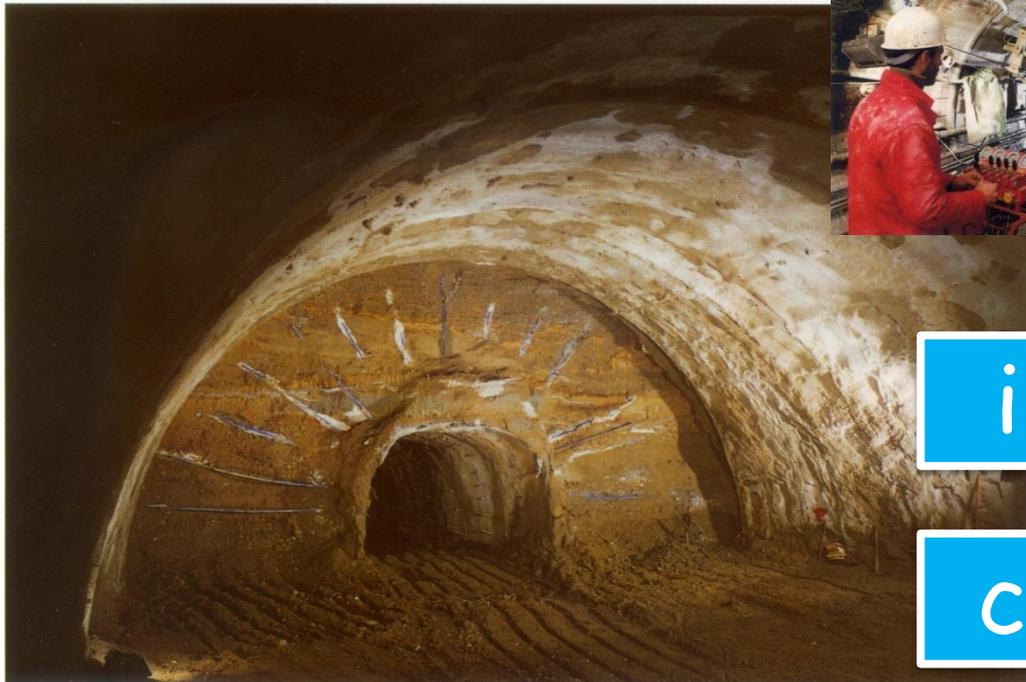
#### PARETI

- Iniezioni
- Congelamento

#### FONDO SCAVO

- Iniezioni
- Congelamento ?

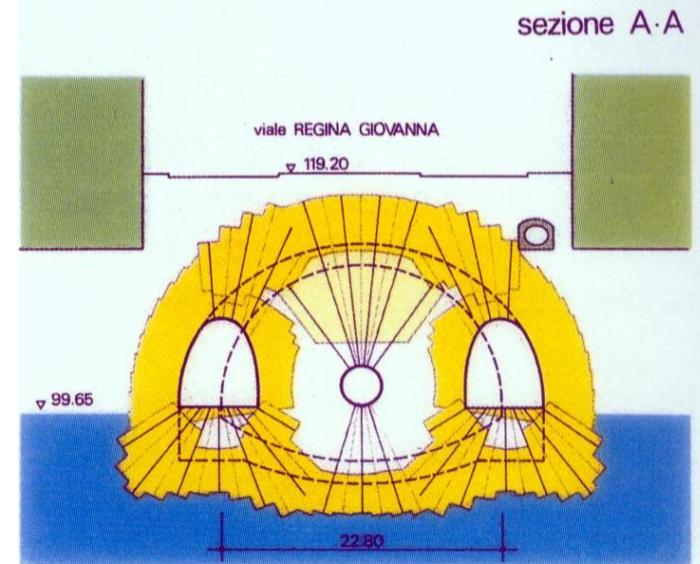
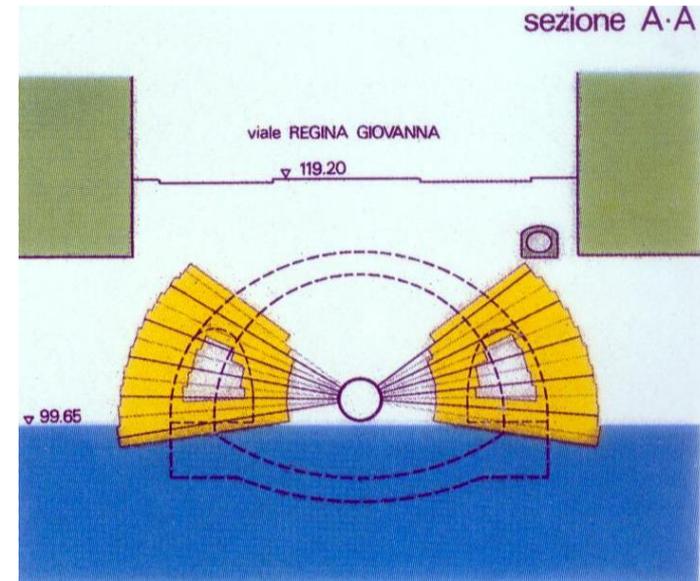
# ALCUNI ESEMPI PER LE GALLERIE



iniezioni

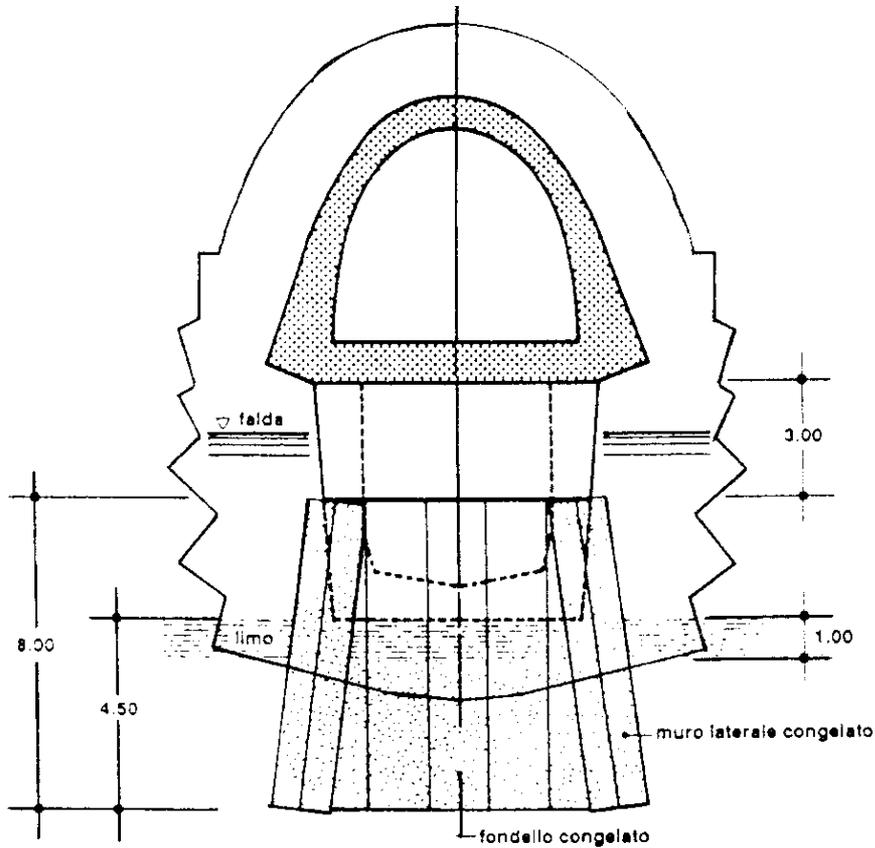
congelamento

M.M. – TRATTO IN GALLERIA SOTTO VIALE REGINA GIOVANNA  
CONSOLIDAMENTO ED IMPERMEABILIZZAZIONE  
DEL TERRENO MEDIANTE INIEZIONI DI CEMENTO E SILICATO



M.M. – LOTTO 2B  
Impresa RODIO 1987-88

## CONSOLIDAMENTO ED IMPERMEABILIZZAZIONE DEL TERRENO MEDIANTE INIEZIONI E CONGELAMENTO



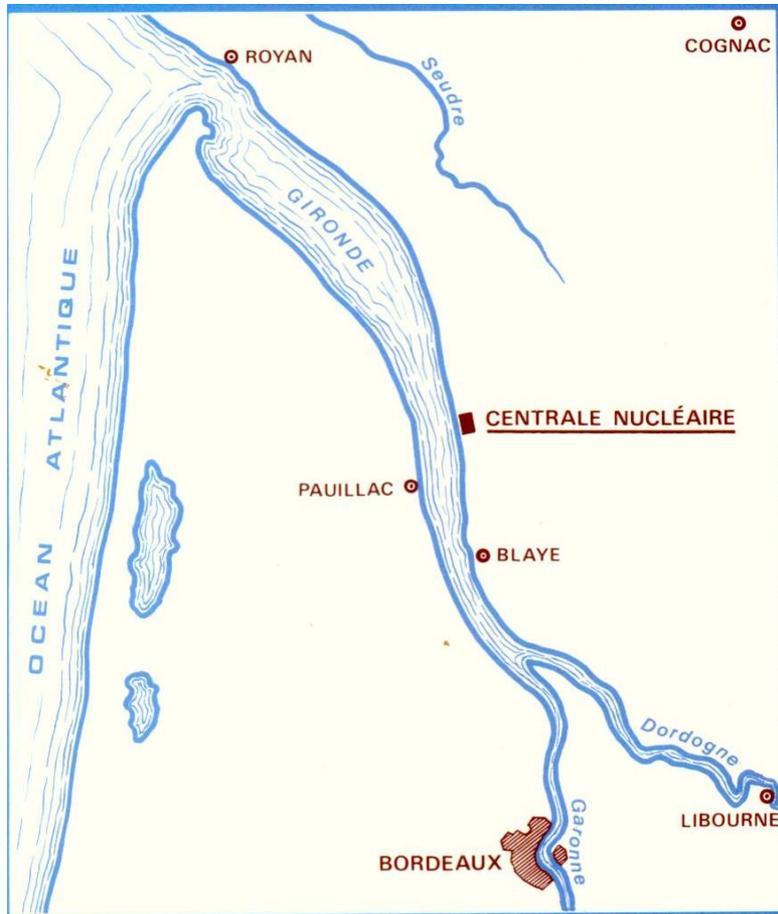
"azoto liquido"

- procedimento diretto
- ciclo aperto
- semplice scambio



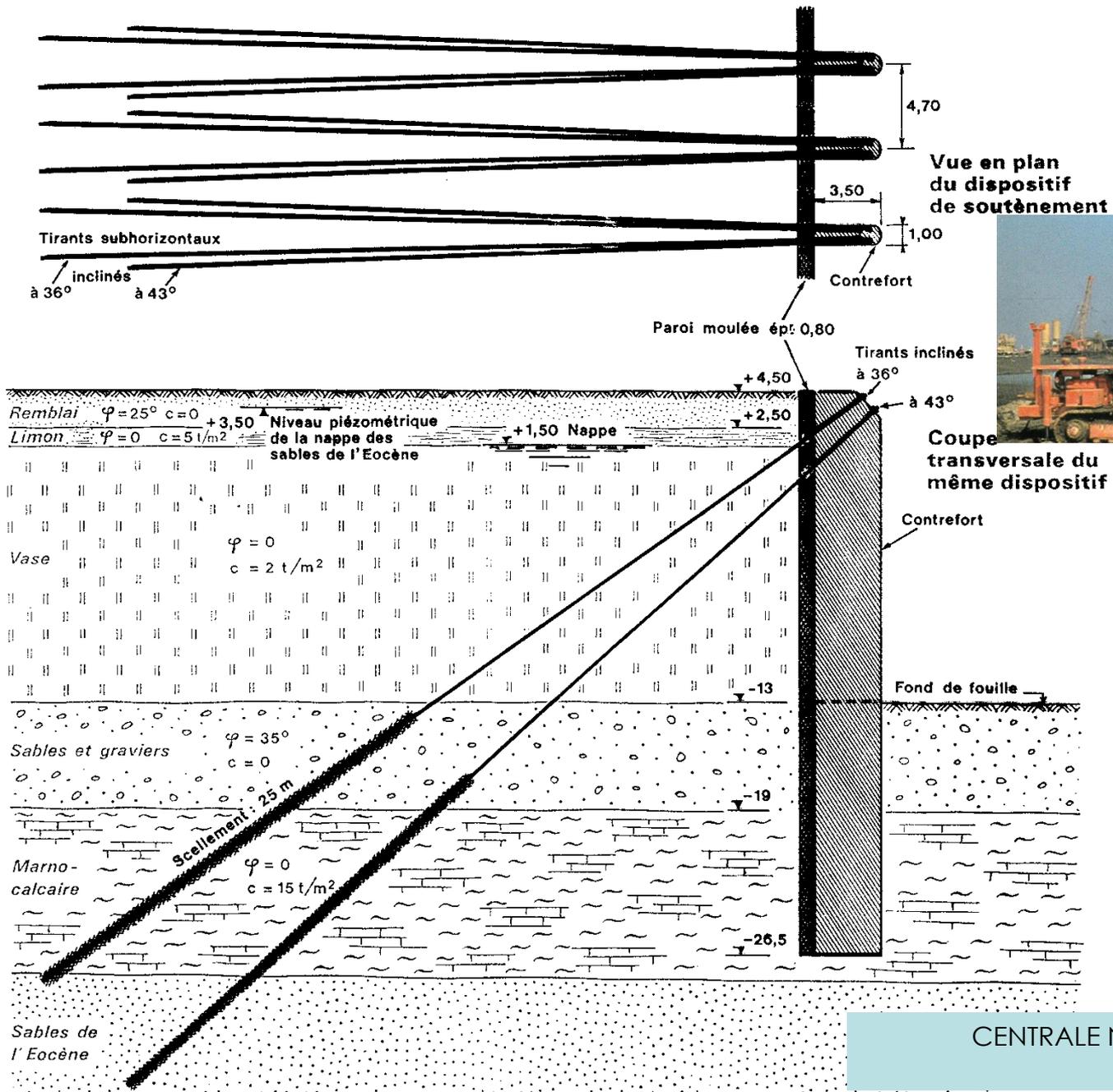
# ALCUNI ESEMPI PER GLI SCAVI A CIELO APERTO

# CENTRALE NUCLEAIRE DU BLAYAIS (FRANCE) SOLETANCHE / RODIO 1976



L'estuario della Gironde è il più grande estuario dell'Europa occidentale, lungo 75 km e largo tra i 5 ed i 12 km. La Dordogna e la Garonna hanno una portata di  $\sim 1000 \text{ m}^3/\text{secondo}$ . Le maree risalgono il corso del fiume sino a 150 km dall'imboccatura.

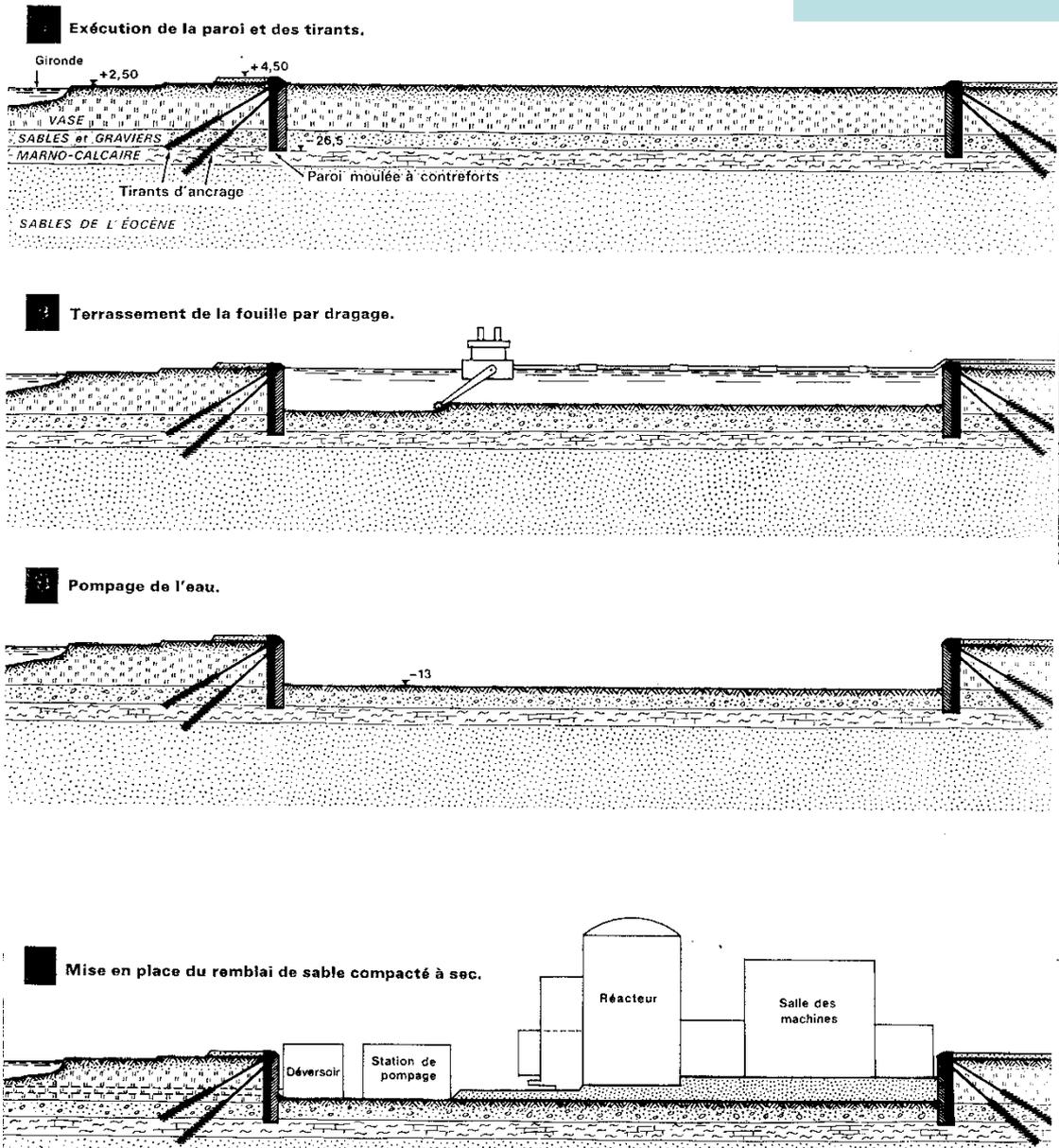




CENTRALE NUCLEAIRE DU BLAYAIS (FRANCE)  
SOLETANCHE / RODIO 1976

### SCHÉMA D'EXÉCUTION

CENTRALE NUCLEAIRE DU BLAYAIS (FRANCE) -  
SOLETANCHE / RODIO 1976

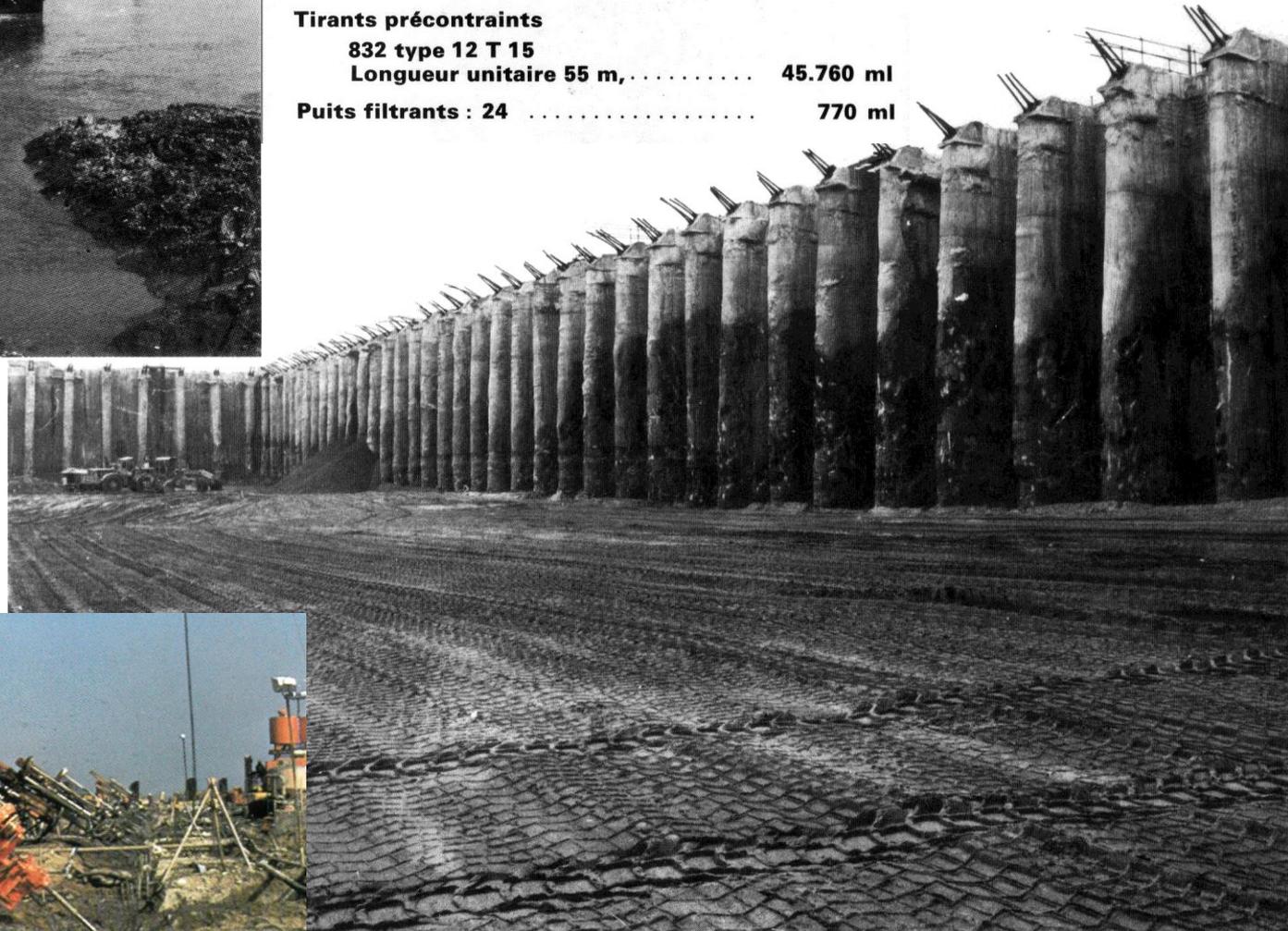




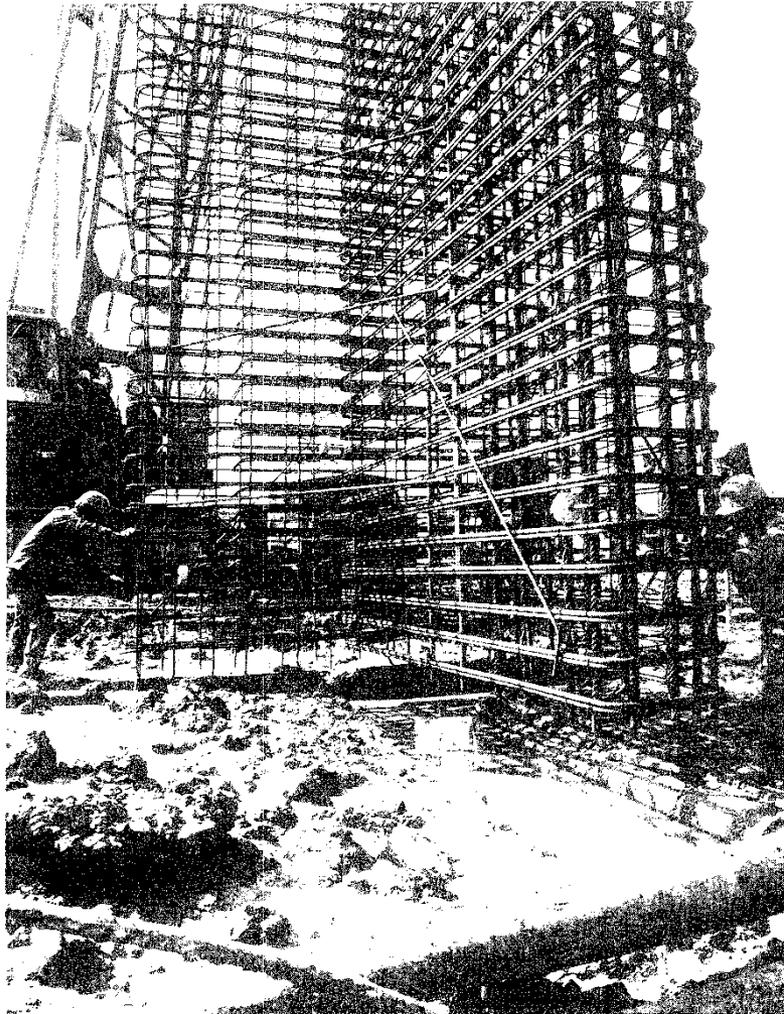
CENTRALE NUCLEAIRE  
DU BLAYAIS (FRANCE)  
SOLETANCHE / RODIO 1976

### TRAVAUX EXÉCUTÉS

Paroi moulée à contreforts .....	51.800 m <sup>2</sup>
Paroi moulée proprement dite, épaisseur: 0,80 m .....	30.200 m <sup>2</sup>
Contreforts, épaisseur: 1 m .....	21.600 m <sup>2</sup>
<b>Tirants précontraints</b>	
832 type 12 T 15	
Longueur unitaire 55 m,.....	45.760 ml
<b>Puits filtrants: 24 .....</b>	<b>770 ml</b>



Descente d'une cage d'armatures



Mise en tension d'un tirant



Manipulation d'un tirant de 55 m de longueur



CENTRALE NUCLEAIRE  
DU BLAYAIS (FRANCE)  
SOLETANCHE / RODIO 1976

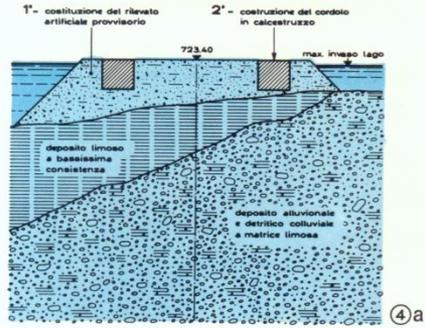


## CONGELAMENTO + INIEZIONI

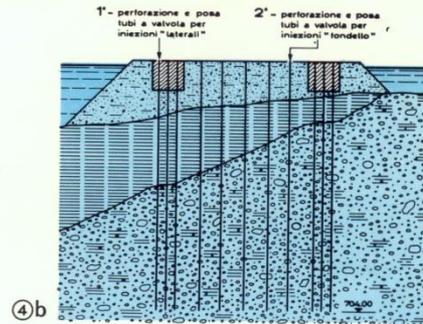


1970 – 71 Autostrada del Brennero Viadotto sul Lago di Fortezza Impresa RODIO

I FASE



II FASE - Perforazione

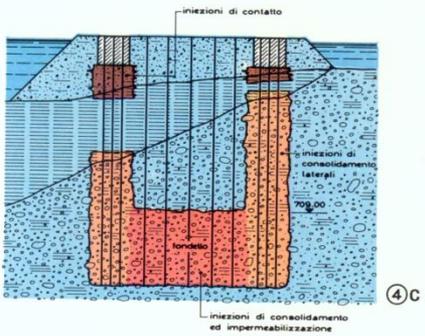


1970 - 71  
Autostrada del Brennero  
Viadotto sul Lago di Fortezza  
Impresa RODIO

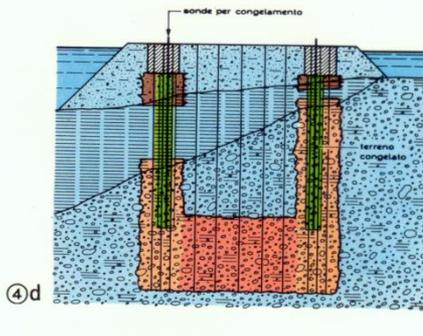
Congelamento con "azoto liquido"

- procedimento diretto
- ciclo aperto
- semplice scambio

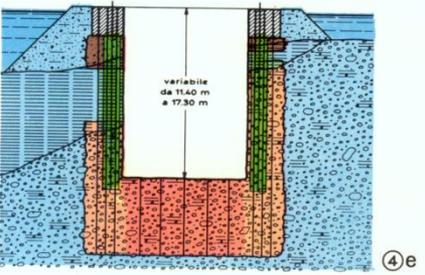
III FASE - Iniezioni



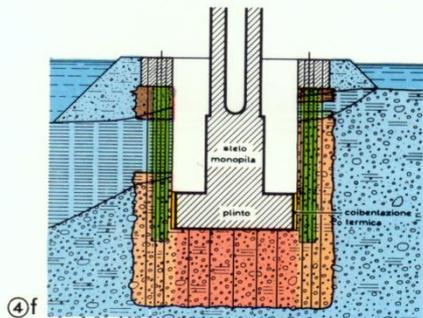
IV FASE - Congelamento



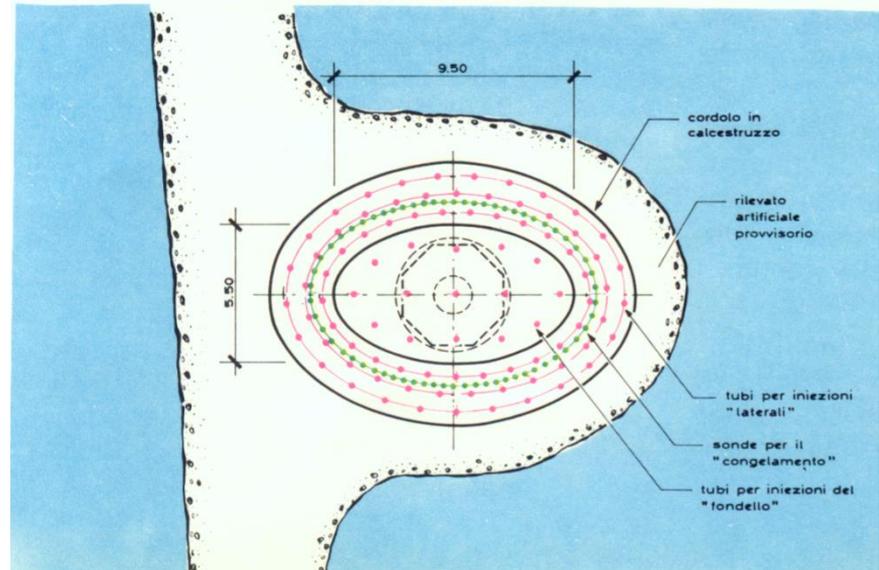
V FASE - Scavo (mantenimento di congelamento)



VI FASE - Getto pinto e monopila



Pianta di monopila con fondazione ellittica





1970 - 71  
Autostrada del Brennero  
Viadotto sul Lago di Fortezza  
Impresa RODIO

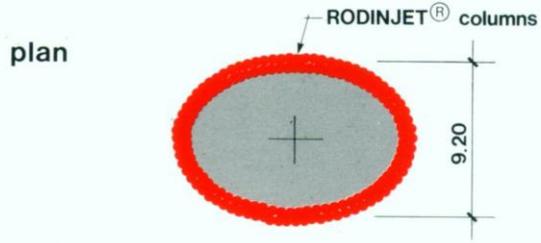
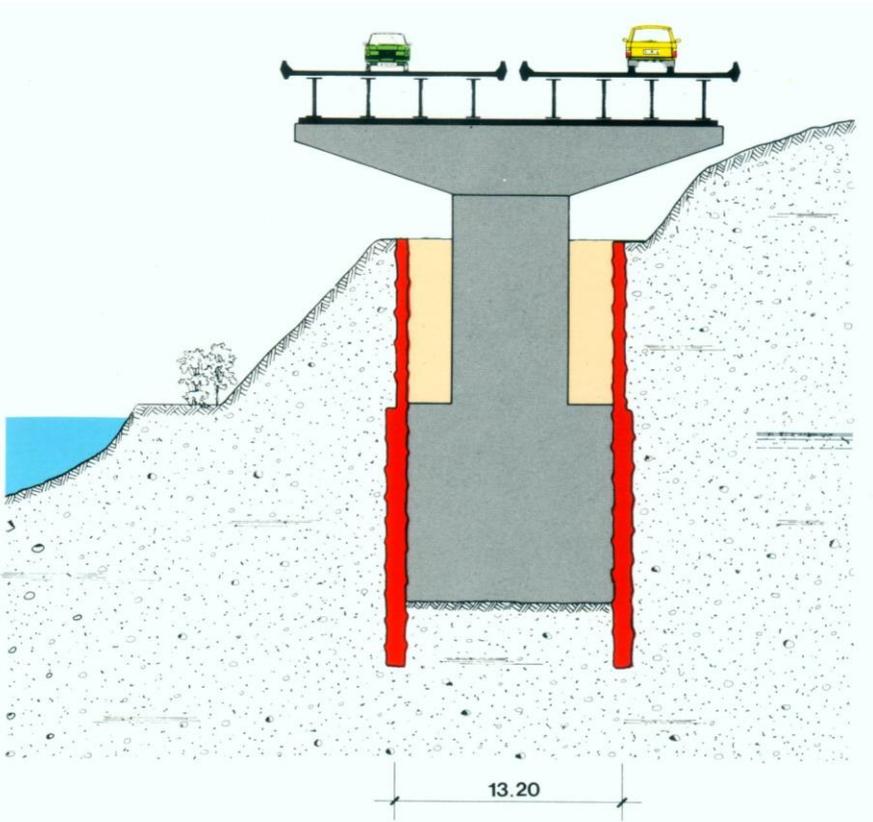
Congelamento con "azoto liquido"

- procedimento diretto*
- ciclo aperto*
- semplice scambio*



*Il pozzo congelato in fase di scavo*

# JET-GROUTING



UDINE · CARNIA · TARVISIO motorway

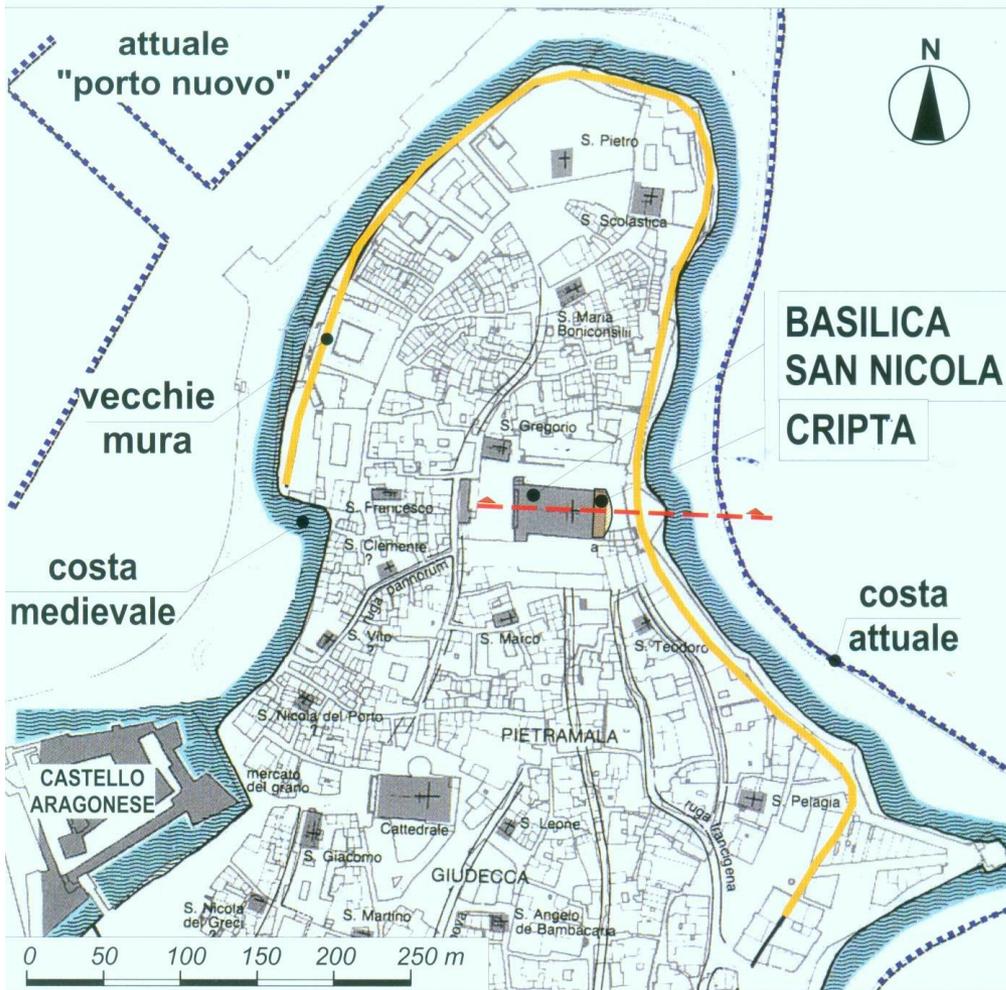
CHIUSAFORTE lot 5

soil treatment to allow the excavation of the piers foundations

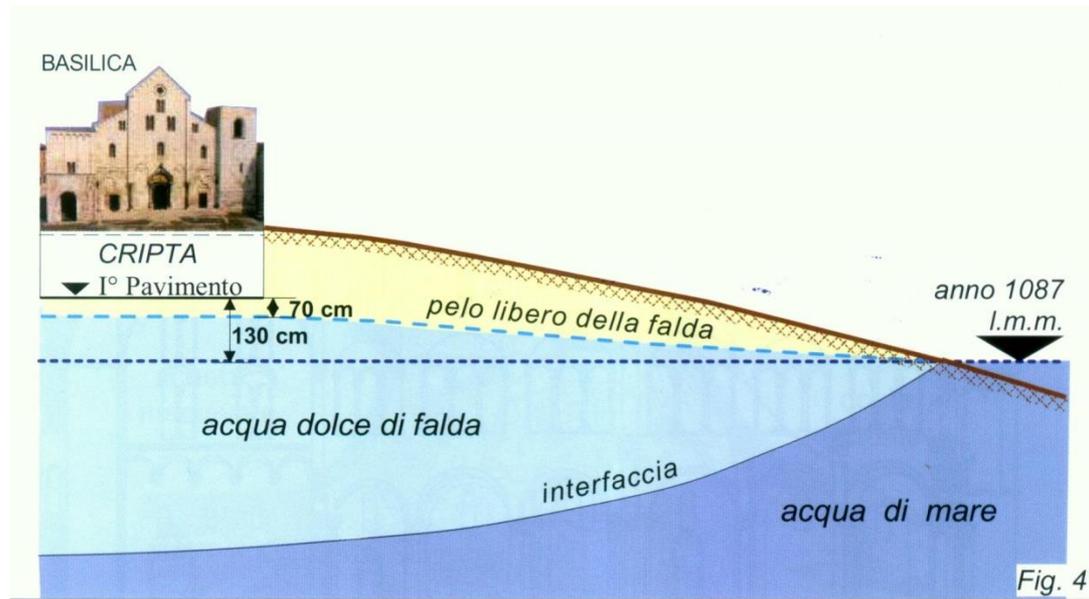
ALCUNI ESEMPI  
DI INIEZIONI IN ROCCIA  
PER OPERE SOTTO FALDA  
NELL'AREA BARESE



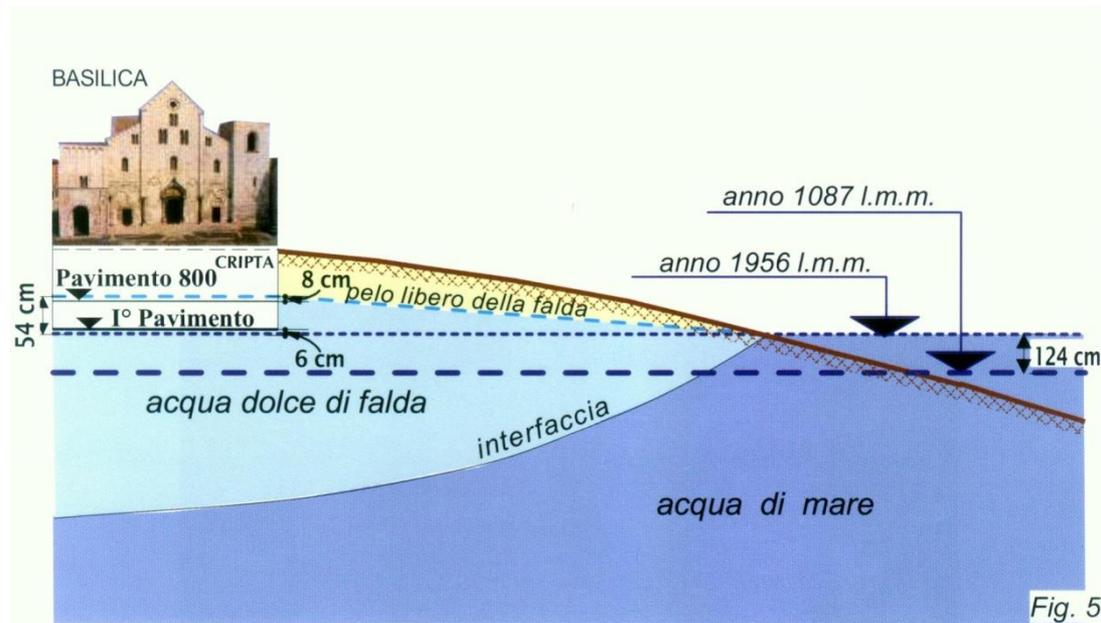
## STRUTTURA URBANA DI BARI NEL XIV SECOLO



Sezione idrogeologica schematica anno 1086

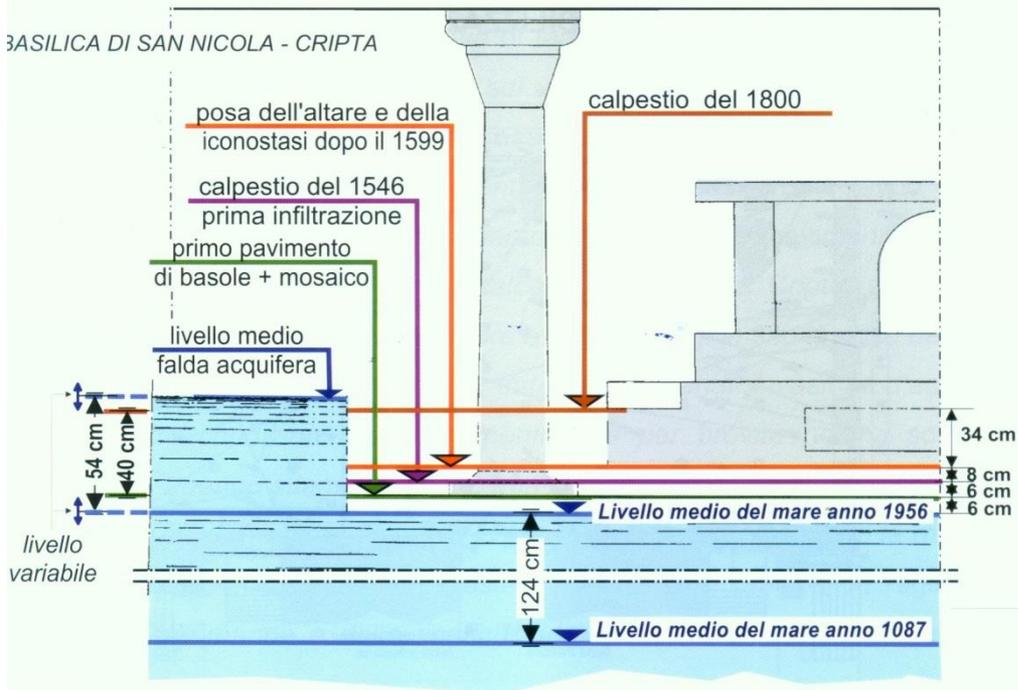


Sezione idrogeologica schematica anno 1956

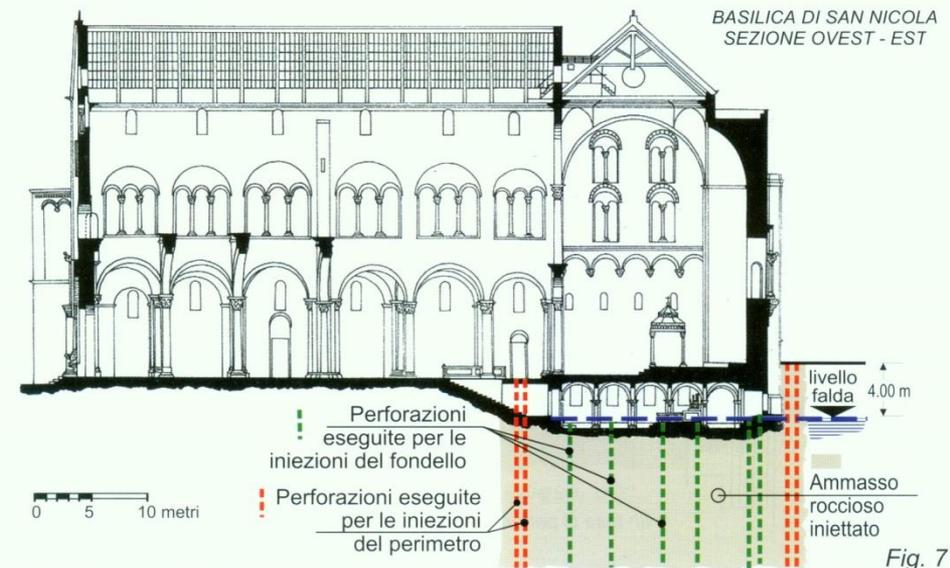


BARI – BASILICA DI SAN NICOLA  
Impermeabilizzazione con iniezioni  
e restauro della cripta – RODIO 1956

## VARIAZIONI DEL LIVELLO MARE E LIVELLO FALDA NEI CONFRONTI DELLE STRUTTURE DELLA CRIPTA



BARI – BASILICA DI SAN NICOLA  
Impermeabilizzazione con iniezioni  
e restauro della cripta – RODIO 1956



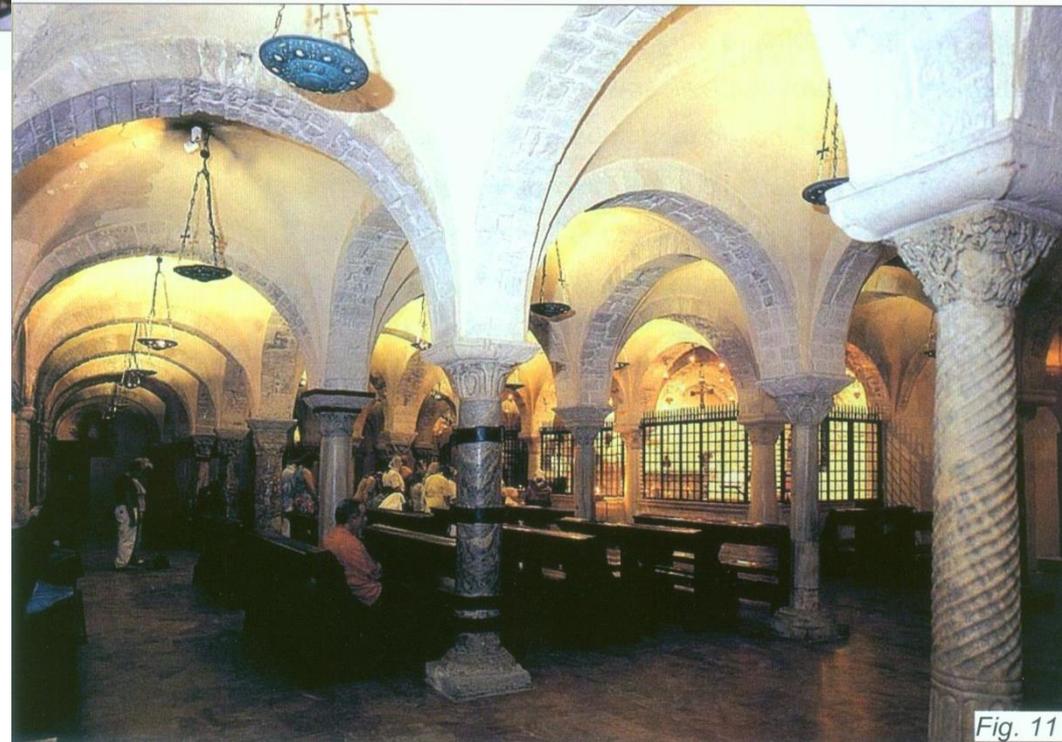


BARI – BASILICA DI SAN NICOLA  
Impermeabilizzazione con iniezioni  
e restauro della cripta – RODIO 1956



*Mosaico pavimentale della cripta*

*Cripta : sulla destra, dietro la cancellata, l'iconostasi*

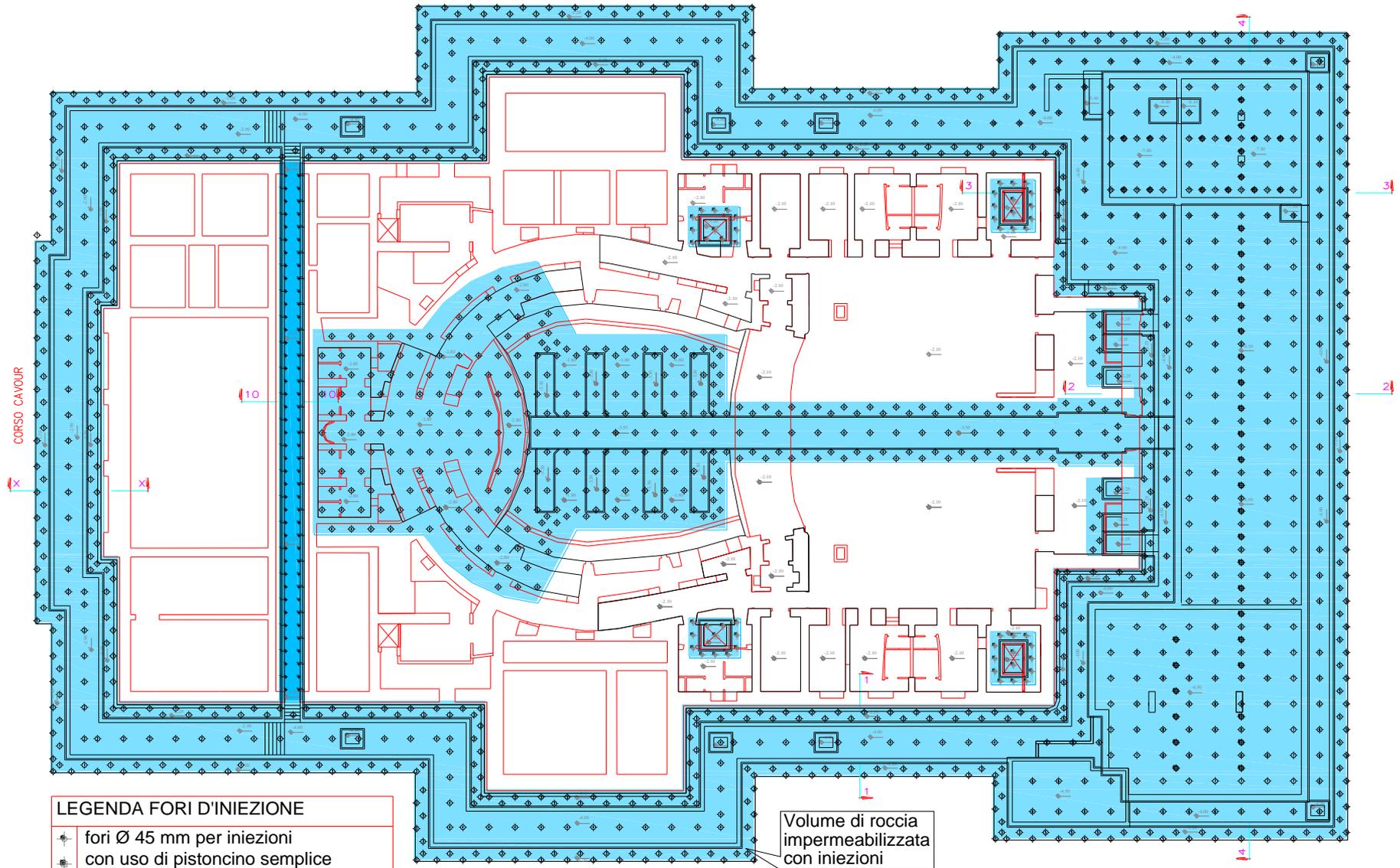


BARI – BASILICA DI SAN NICOLA  
Impermeabilizzazione con iniezioni  
e restauro della cripta – RODIO 1956



TEATRO PETRUZZELLI – BARI  
 Progetto di restauro e recupero funzionale  
 Vitone & Associati – Garrasi 2002

PIANTA INTERVENTI DI IMPERMEABILIZZAZIONE  
 MEDIANTE INIEZIONI IN ROCCIA



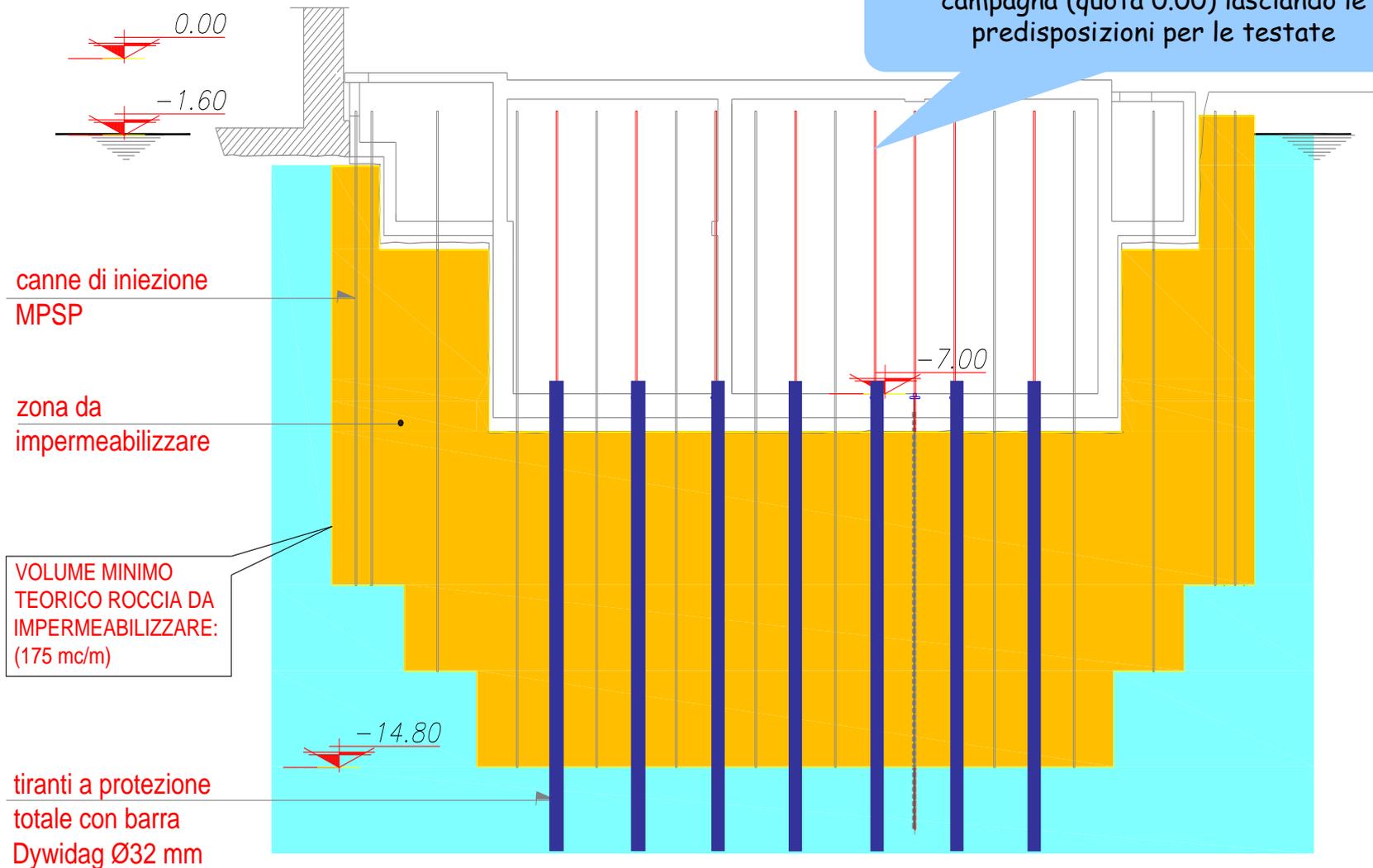
LEGENDA FORI D'INIEZIONE

- fori Ø 45 mm per iniezioni con uso di pistoncino semplice
- ⊕ canne in PVC Ø 1"1/2 per iniezioni con sistema MPSP

Volume di roccia impermeabilizzata con iniezioni

TEATRO PETRUZZELLI – BARI - Progetto di restauro e recupero funzionale  
INTERVENTI DI IMPERMEABILIZZAZIONE MEDIANTE INIEZIONI IN ROCCIA :  
SEZIONE VASCA RISERVA IDRICA ANTINCENDIO - Vitone & Associati – Garrasi 2002

I tiranti sono stati eseguiti da piano campagna (quota 0.00) lasciando le predisposizioni per le testate



CRITICITA' DI SCAVI IN ROCCIA  
SOTTO FALDA  
NELL'AREA BARESE

IN ASSENZA  
DI INTERVENTI

**CRITICITA' DI SCAVI IN ROCCIA SOTTO FALDA  
NELL'AREA BARESE**

*Viadotto di Via Respighi sul Torrente Lamasinata  
Fondazioni delle pile e delle spalle  
Impresa COSTRADE – Garrasi 1999*



CRITICITA' DI SCAVI IN ROCCIA SOTTO FALDA  
NELL'AREA BARESE



*Viadotto di via Respighi sul Torrente Lamasinata  
Fondazioni delle pile e delle spalle  
Impresa COSTRADE – Garrasi 1999*

**CRITICITA' DI SCAVI IN ROCCIA SOTTO FALDA  
NELL'AREA BARESE**

*Viadotto di via Respighi sul Torrente Lamasinata  
Fondazioni delle pile e delle spalle  
Impresa COSTRADE – Garrasi 1999*



Dimensione fondazione :  
14x14 m circa

Battente d'acqua :  $\approx 60$  cm

Portata emunta a regime :  
21.700 l/minuto  
(1.300 mc/h)

# PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA

STRUTTURE

IN FASE DI COSTRUZIONE (OPERE SOTTO FALDA)

IN ESERCIZIO

**LIQUEFAZIONE**

PENDII IN FALDA



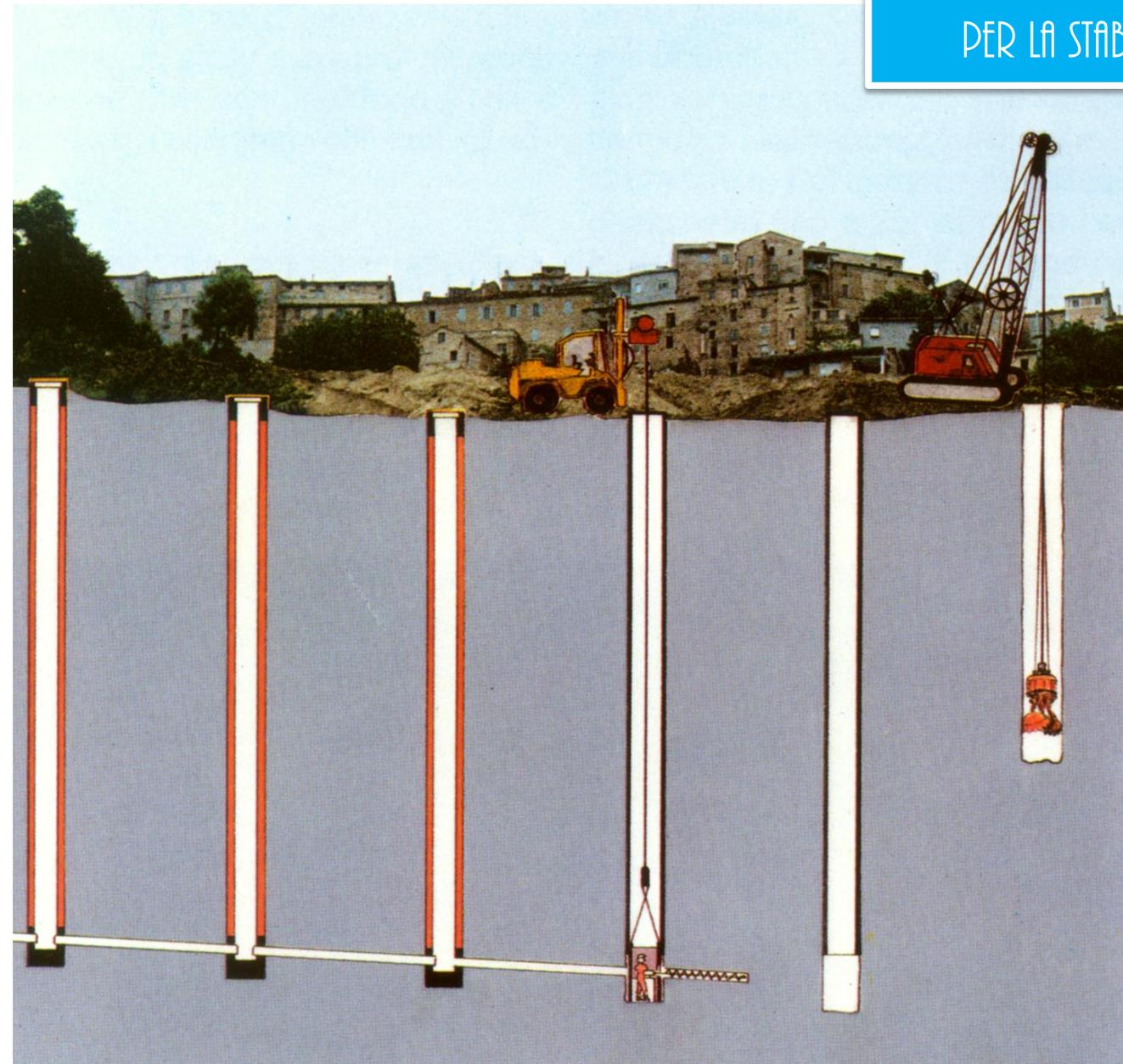
OPERE DI SBARRAMENTO

CASE HISTORIES

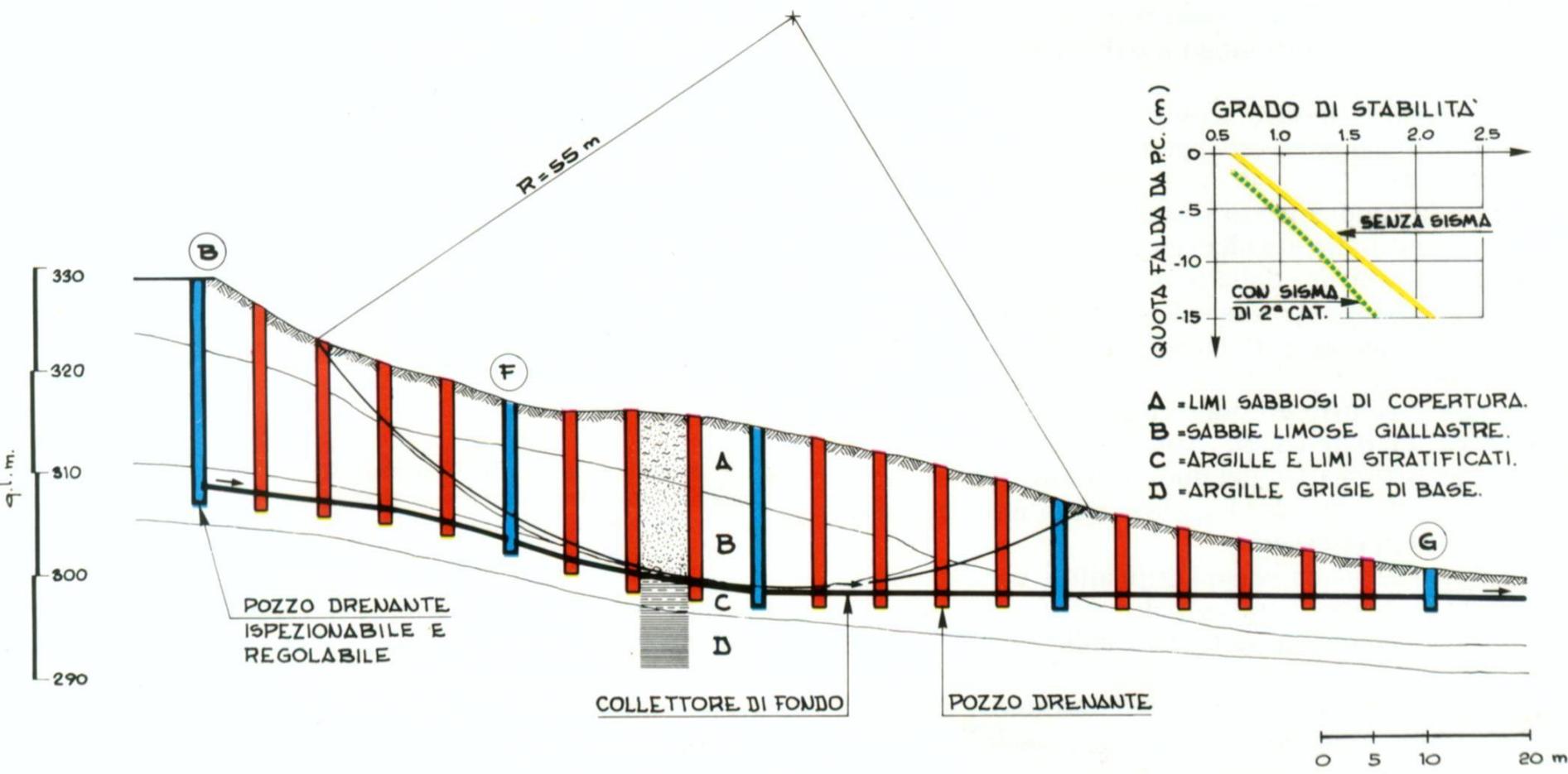
STORIE D'INGEGNERIA TRA TERRA E MARE:

DA CORINTO A PANAMA PASSANDO PER SUEZ

REGIMAZIONE PERMANENTE DEI LIVELLI DI FALDA  
PER LA STABILIZZAZIONE DI CORPI DI FRANA

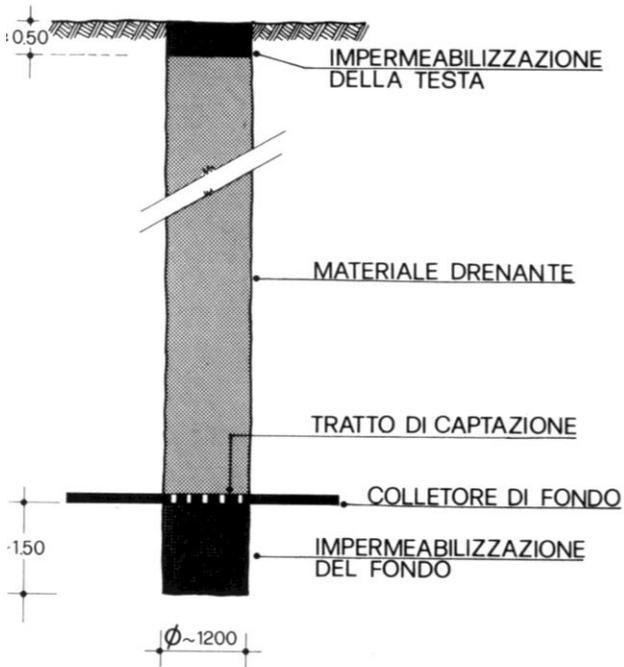


# INFLUENZA DEL LIVELLO DI FALDA SULLA STABILITÀ DI UN PENDIO

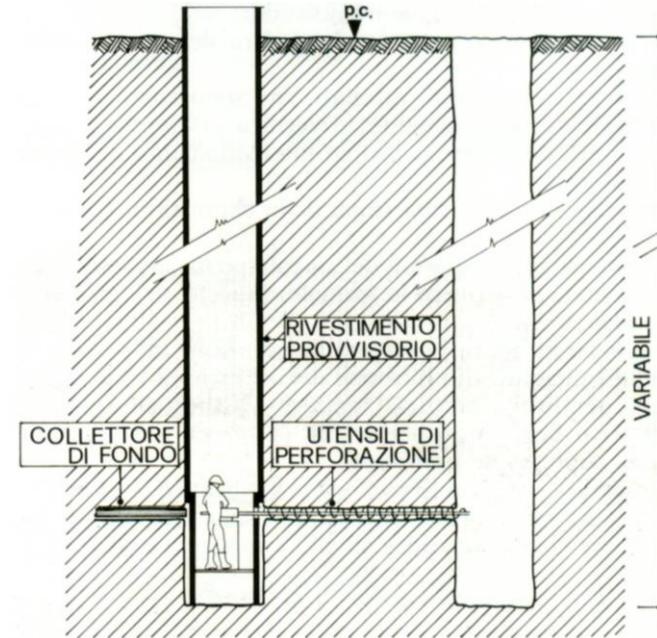
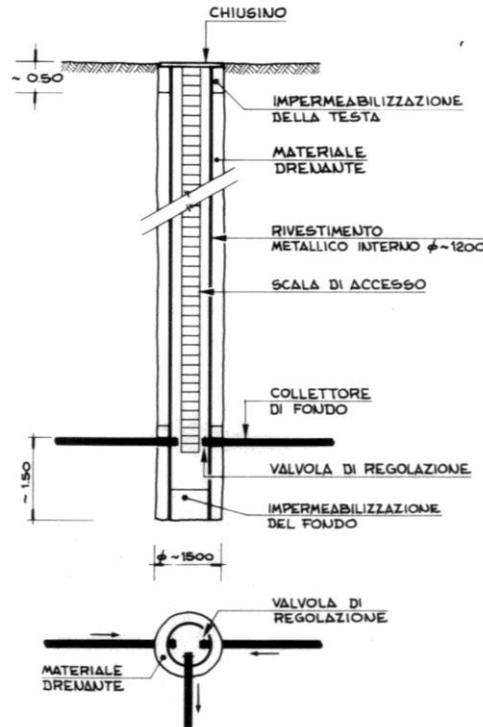


# Regimazione permanente dei livelli di falda per la stabilizzazione di corpi di frana : POZZI DRENANTI

## POZZO DRENANTE NON ISPEZIONABILE

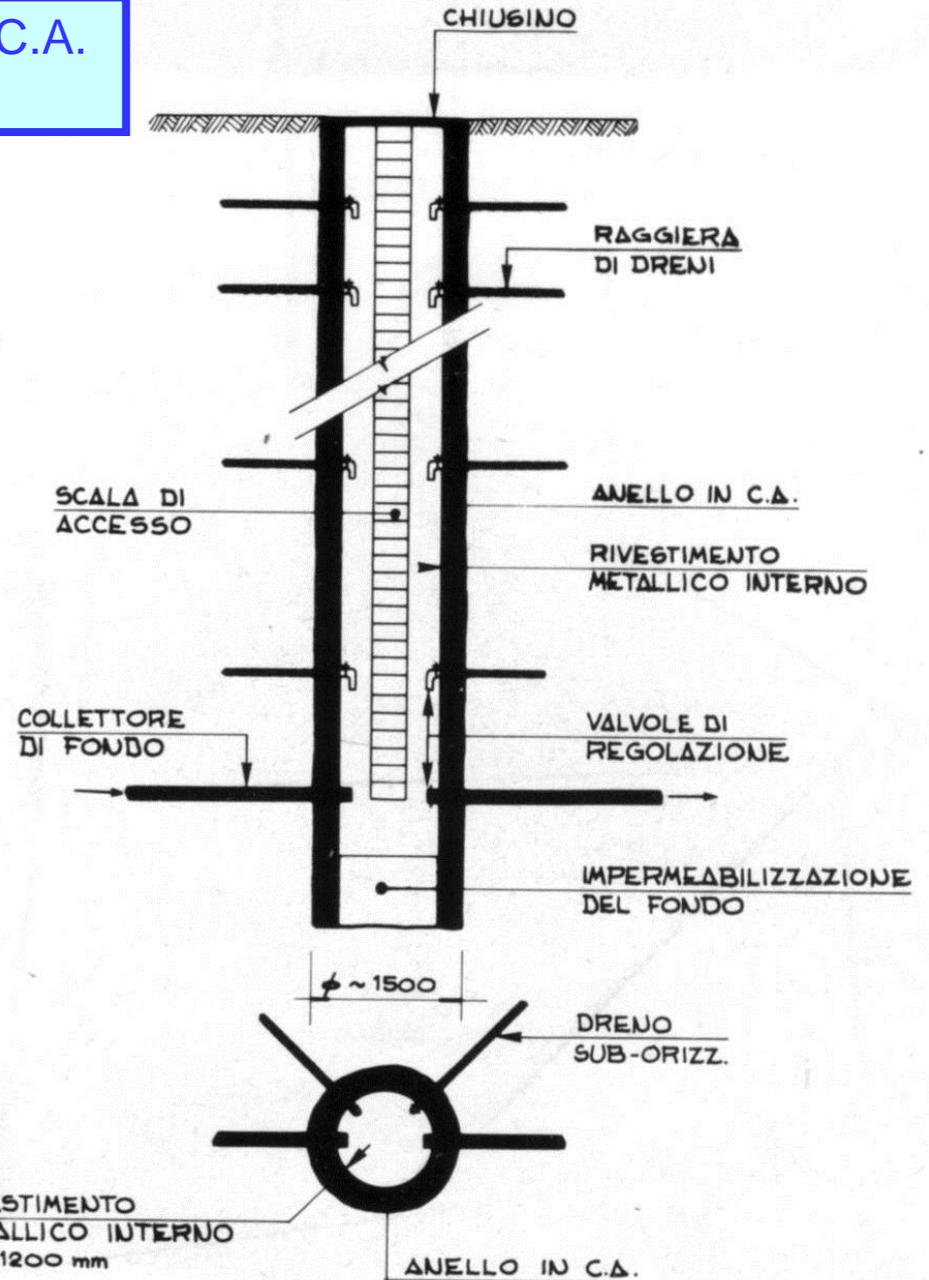


## POZZO DRENANTE ISPEZIONABILE IN LAMIERINO



POZZO DRENANTE ISPEZIONABILE IN C.A.  
CON RAGGERE DI DRENI

Può assolvere anche  
funzione strutturale



# EFFETTI DELLA FILTRAZIONE SULLA STABILITA' DI UN PENDIO INDEFINITO

$$F : \frac{W \cos \alpha \operatorname{tg} \phi}{W \operatorname{sen} \alpha + J}$$

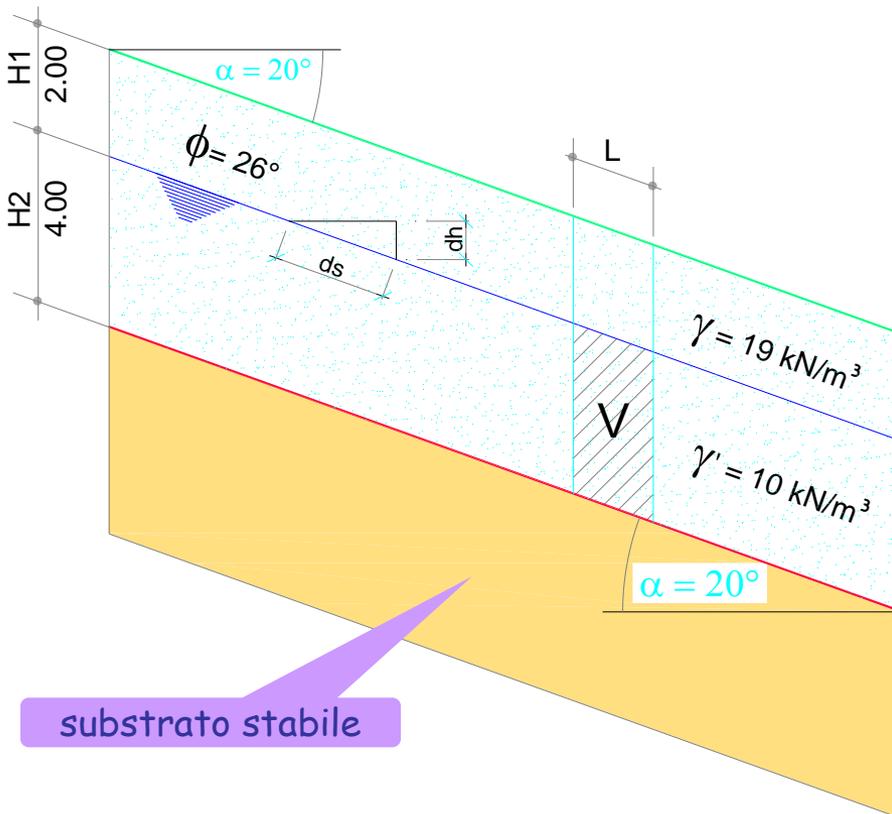
$$W = \gamma H_1 L \cos \alpha + \gamma' H_2 L \cos \alpha$$

$$J = \gamma_w i V \quad \text{ed essendo: } i = dh/ds = \operatorname{sen} \alpha$$

$$V = H_2 L \cos \alpha \Rightarrow J = \gamma_w \operatorname{sen} \alpha H_2 L \cos \alpha$$

trascurando la forza di filtrazione ( $J = 0$ )

$$F : \frac{\cos \alpha \operatorname{tg} \phi}{\operatorname{sen} \alpha} = 1,34$$



se poniamo

$$H_1 = 2,00 \text{ m}$$

$$H_2 = 4,00 \text{ m}$$

$$L = 1,00 \text{ m} \quad \text{risulta: } W = 73,30 \text{ kN/m}$$

$$W \cos \alpha \operatorname{tg} \phi = 35,75 \text{ kN/m}$$

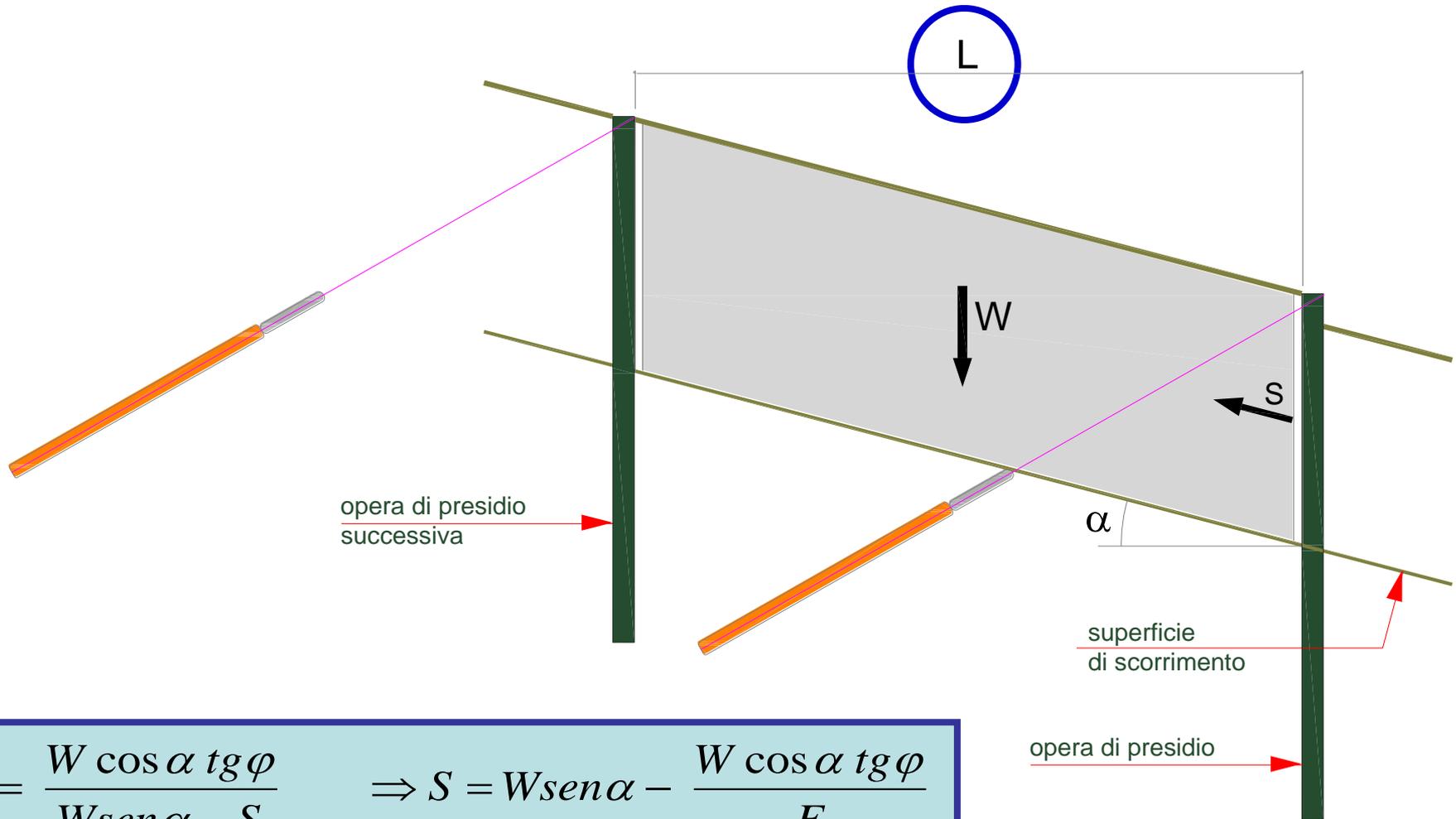
$$W \operatorname{sen} \alpha = 25,07 \text{ kN/m}$$

$$J = 12,86 \text{ kN/m}$$

considerando la forza di filtrazione

$$F : \frac{W \cos \alpha \operatorname{tg} \phi}{W \operatorname{sen} \alpha + J} = \frac{35,75}{25,07 + 12,86} = 0,94$$

## CONSOLIDAMENTO DI UN PENDIO INDEFINITO : SE NON FISSIAMO "L" SONO SOLO CHIACCHIERE



$$F = \frac{W \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi}{W \operatorname{sen} \alpha - S} \quad \Rightarrow \quad S = W \operatorname{sen} \alpha - \frac{W \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi}{F}$$

opera di presidio

# PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA

STRUTTURE

IN FASE DI COSTRUZIONE (OPERE SOTTO FALDA)

IN ESERCIZIO

**LIQUEFAZIONE**

PENDII IN FALDA

OPERE DI SBARRAMENTO

CASE HISTORIES

STORIE D'INGEGNERIA TRA TERRA E MARE:

DA CORINTO A PANAMA PASSANDO PER SUEZ



## PARCO DIGHE ITALIANE AL 1997

L'Italia possiede uno dei parchi dighe più interessanti e variegati del mondo, così articolato :

- ❑ 551 "grandi dighe"
- ❑ 8.000 "piccole dighe"



competenza statale : grandi dighe  $H \geq 15 \text{ m}$  o  $V \geq 1 \times 10^6 \text{ m}^3$

competenza regionale : piccole dighe  $H < 15 \text{ m}$  e  $V < 1 \times 10^6 \text{ m}^3$

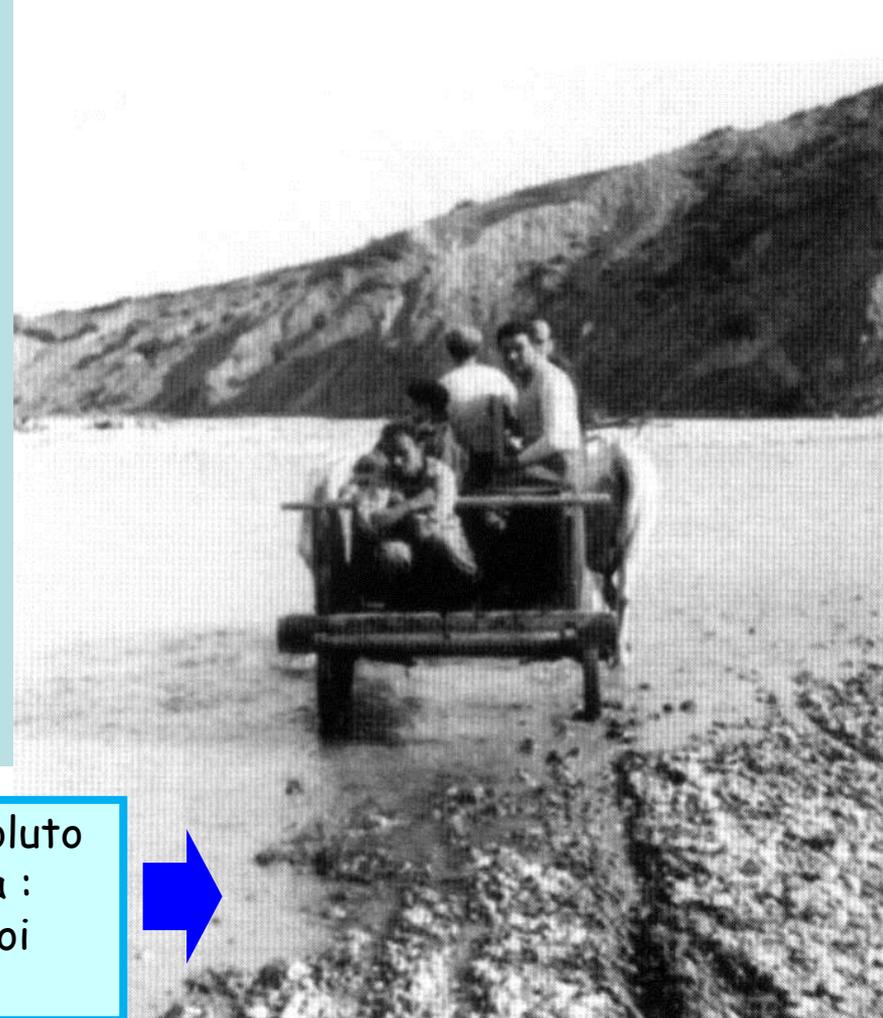
## PERIODI DI COSTRUZIONE

- ❑ 1900 - 1945 : 180 dighe, quasi tutte al Nord e per scopi idroelettrici
- ❑ 1946 - 1970 : 290 dighe :
  - 52% per scopi idroelettrici
  - 33% per scopo irriguo
  - 15% per altri usi
- ❑ 1970 - 2003 : 70 dighe :
  - 25% per scopi idroelettrici (con i grandi impianti di ripompaggio ENEL)
  - 53% per scopo irriguo
  - 22% per altri usi

## SVILUPPO DELLA GEOTECNICA CON LE GRANDI OPERE DI INGEGNERIA DEL DOPOGUERRA

Nel 1950 la Cassa del Mezzogiorno affida al Centro Geotecnico di Napoli lo studio e le indagini per verificare la fattibilità dei seguenti sbarramenti:

- Abate Alonia sul T. Rendina
- Trinità sul F. Delia
- Madonna della Scala sul T. Corleone
- Monticchio sul F. Agri
- Occhito sul F. Fortore
- Nicoletti sul F. Dittaino
- Guadalami sul F. Hone
- Ponte Fontanelle sul T. Camastra
- San Pietro sul F. Osento
- Cuga sul F. Cuga
- Marana Capaciotti



Anche il "pio bove" di carducciana memoria ha voluto contribuire allo sviluppo della geotecnica italiana : qui fa attraversare l'Agri al Prof. Croce ed ai suoi assistenti

## ENTE GENERALE IRRIGAZIONE PUGLIA-LUCANIA-IRPINIA

in ricordo  
di Mimmo Santovito

### COMPLESSO IONICO SINNI

Territori serviti :

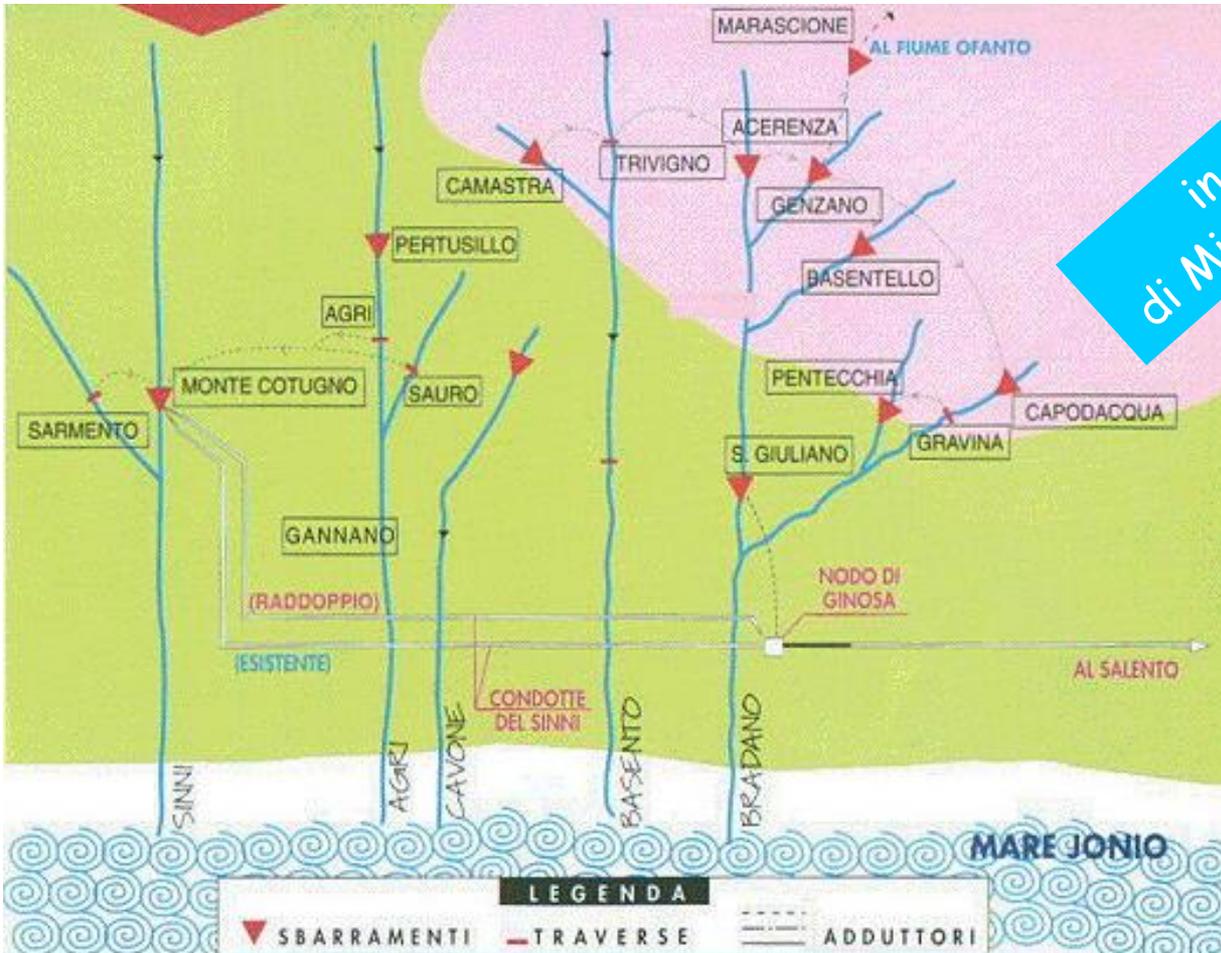
Potenza, Matera, Taranto, Brindisi,  
Lecce (Cosenza in parte)

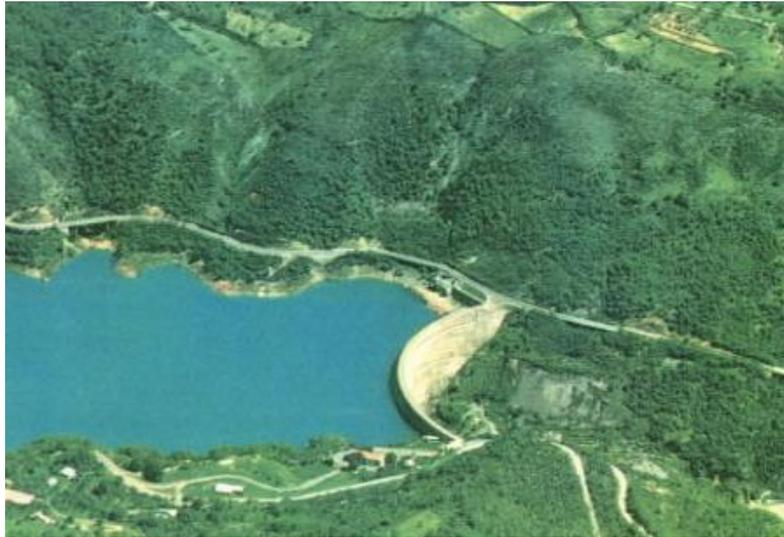
**Risorsa complessiva : > 1000 Mmc**

comparto civile :	250 Mmc
comparto irriguo :	720 Mmc
comparto industriale :	30 Mmc

### PRINCIPALI INVASI:

- diga di M. Cotugno sul Fiume Sinni (430 Mmc)
- diga del Pertusillo sul Fiume Agri (155 Mmc)





## DIGA DEL PERTUSILLO SUL FIUME AGRI 1957 - 1962

Ente Generale Irrigazione Puglia - Lucania - Irpinia  
Progettista : Prof. Ing. Filippo Arredi

in ricordo di Mimmo Santovito



- diga ad arco gravità in calcestruzzo
- altezza diga : 95 m
- lunghezza al coronamento : 380 m
- capacità : 155 Mmc
- bacino sotteso : 630 kmq
- uso : plurimo
- quota max. invaso : + 532 m slm

## DIGA DI SENISE SUL FIUME SINNI 1970 - 1980

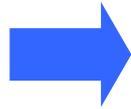
Ente Generale Irrigazione Puglia - Lucania - Irpinia

Progettisti : Prof. Ing. Arrigo Croce et al.

Impresa costruttrice : LODIGIANI

- diga in terra, con paramento impermeabile
- altezza diga : 70 m
- larghezza max alla base : 265 m
- lunghezza al coronamento : 1.850 m
- volume del rilevato : 11,6 Mmc
- capacità : 530 Mmc
- regolazione pluriennale
- bacino sotteso : 804 kmq
- uso : plurimo
- quota max. invaso : + 255,80 m slm

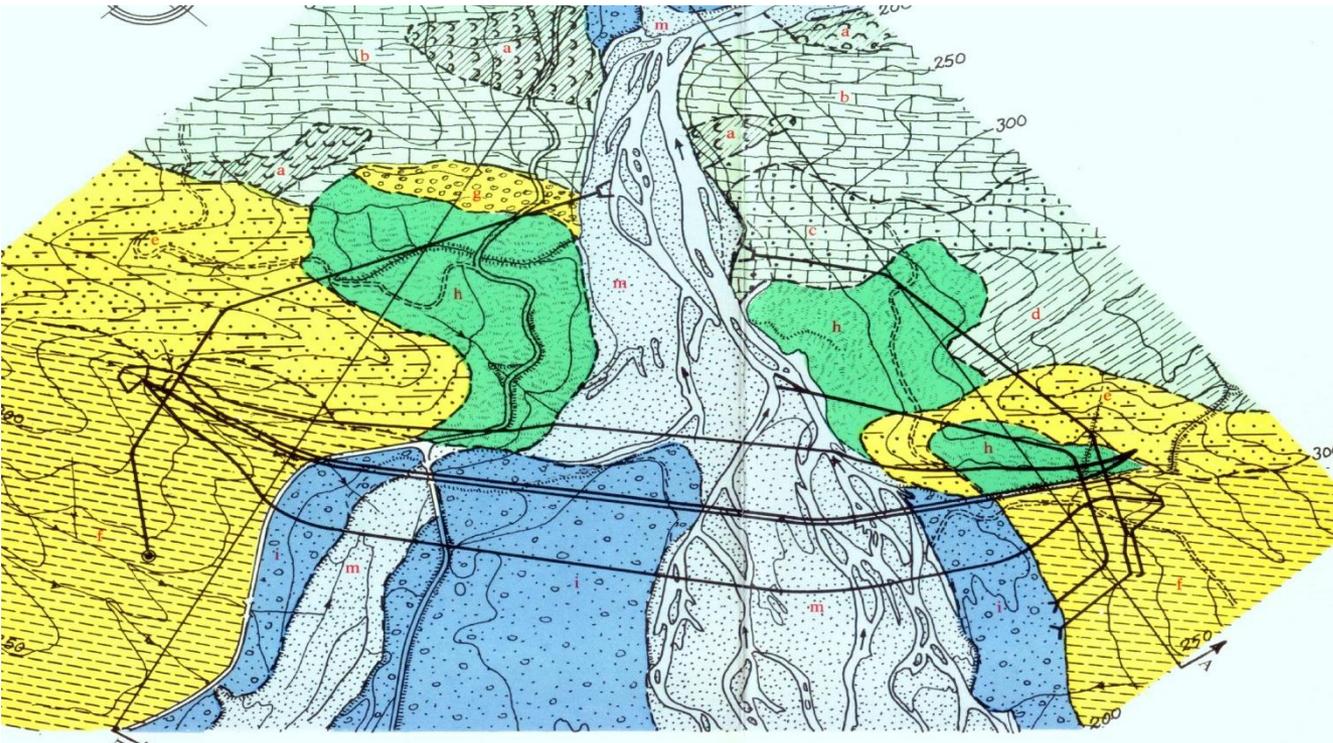
*La più grande  
diga in terra  
d'Europa*



*in ricordo di Mimmo Santovito*

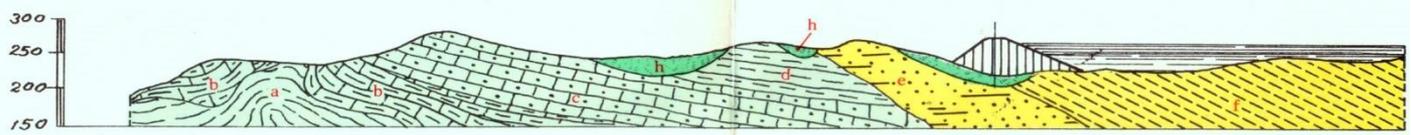


# DIGA DI SENISE - PLANIMETRIA E SEZIONI GEOLOGICHE

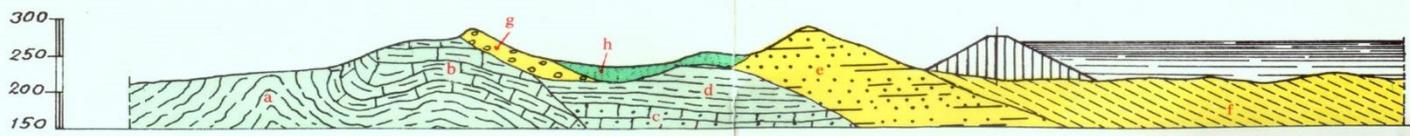


- |  |  |   |
|--|--|---|
|  | Depositi fluviali attuali                        | } (Olocene)                             |
|  | Depositi fluviali recenti                        |   |
|  | Limi e ghiaie (Pleistocene)                      |   |
|  | Conglomerati (Pliocene-Calabriano?)              |   |
|  | Argille marnose (Pliocene-Calabriano)            |   |
|  | Arenarie, sabbie e limi (Pliocene medio)         |   |
|  | Flysch marnoso                                   | } (Oligocene-Miocene Cretacico-Eocene?) |
|  | Flysch arenaceo                                  |   |
|  | Flysch calcareo-marnoso                          |   |
|  | Argille varicolori (Cretacico-Eocene-Oligocene?) |   |
|  | Frana  |   |

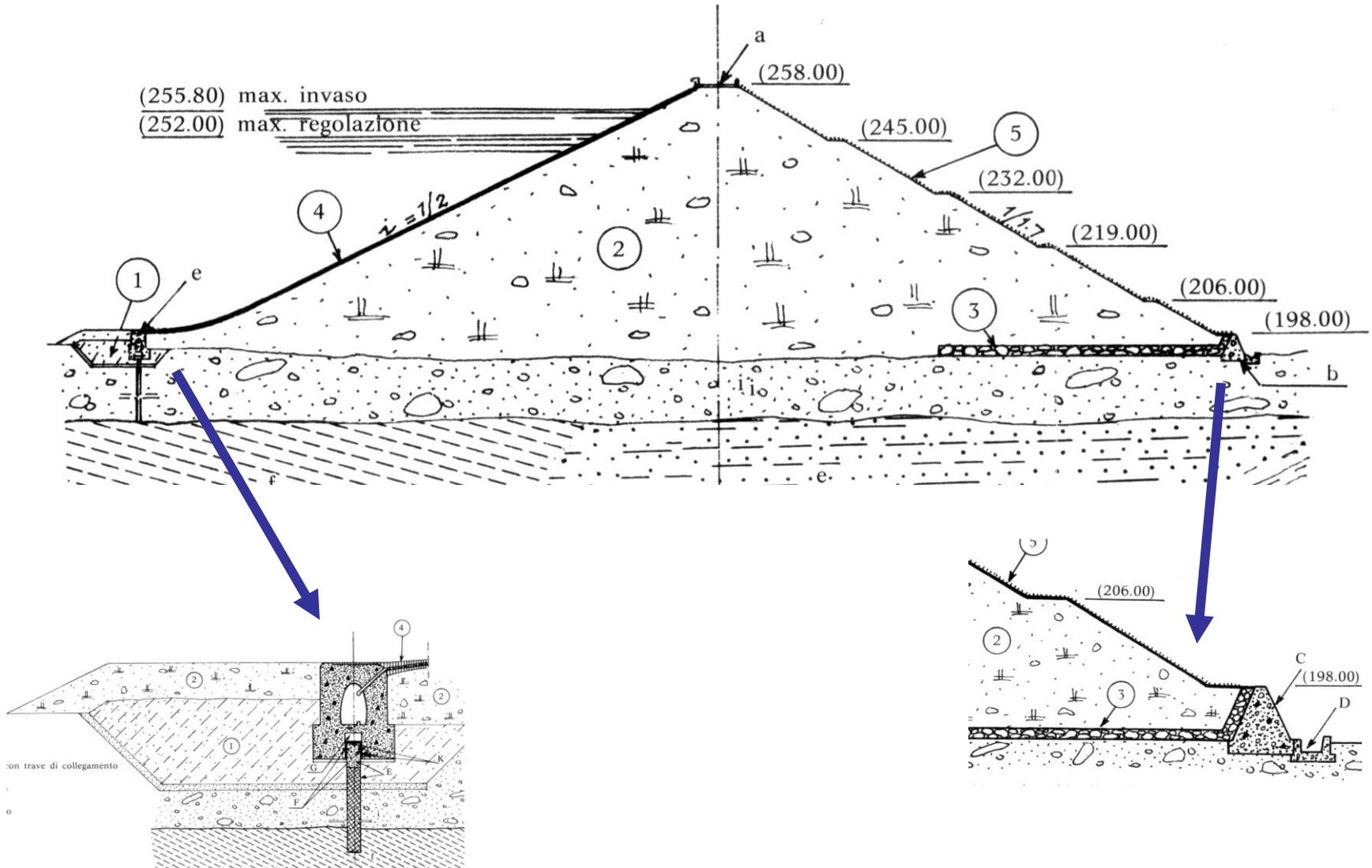
Sezione A - A



Sezione B - B



# DIGA DI SENISE SUL FIUME SINNI



## FILTRAZIONI Vs TIPOLOGIE DIGHE

DIGHE IN MURATURA  
FONDATE SU ROCCIA

✓ filtrazioni all'esterno  
del corpo diga

☐ schermi d'iniezione  
in roccia

DIGHE IN MATERIALI  
SCIOLTI

✓ filtrazioni all'esterno  
del corpo diga

✓ filtrazioni all'interno  
del corpo diga

☐ forma della diga  
☐ nucleo impermeabile  
☐ diaframmi o schermi  
☐ dreni

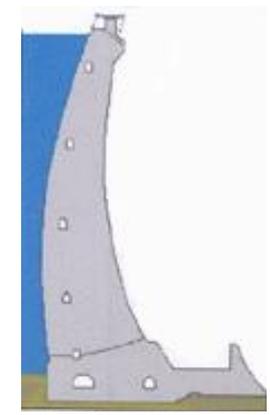
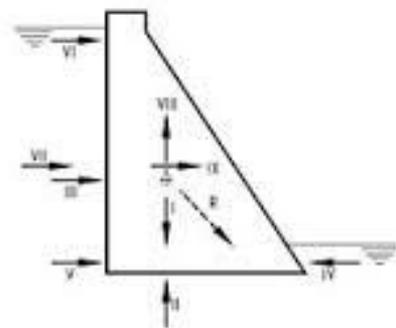
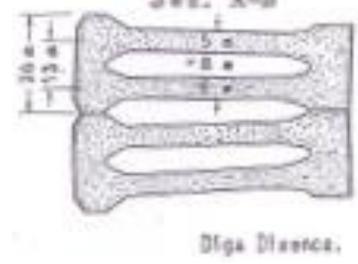
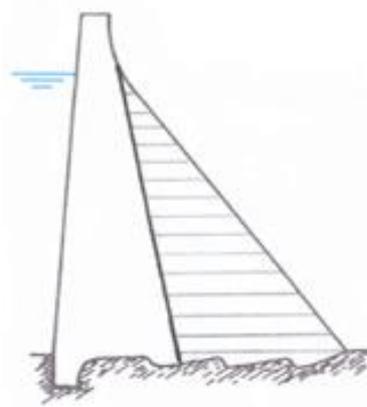
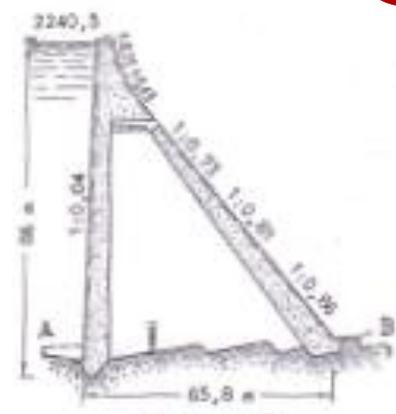
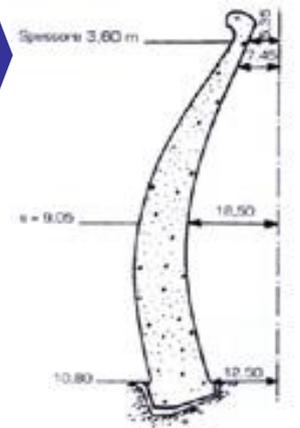
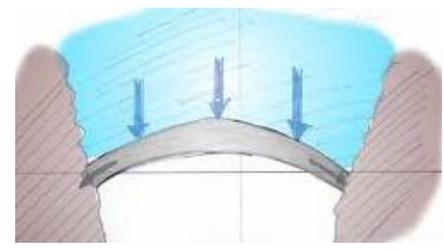
**DIGHE IN MURATURA**

✓ A GRAVITA'

- Ordinaria (piena)
- Alleggerita
- A contrafforti

✓ AD ARCO

- Ad arco
- A volta (arco-cupola)
- Ad arco-gravità



# DIGHE IN MURATURA A GRAVITA'

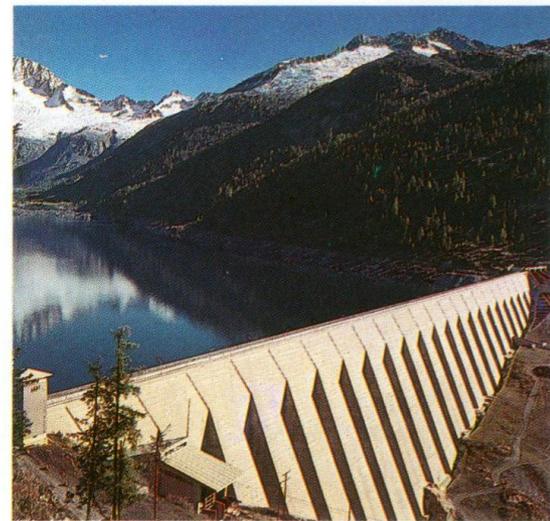


*Diga a gravità alleggerita sul fiume Liscio (Sardegna) - ITALIA h = 69 m*



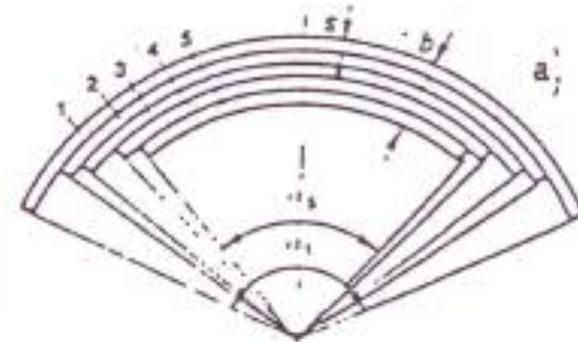
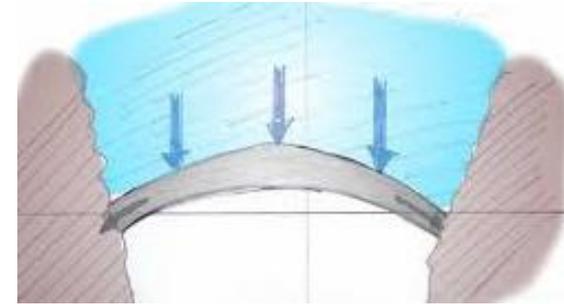
*Tipiche dighe a gravità*

*Diga a speroni Malga Bissina ITALIA 1956/59*



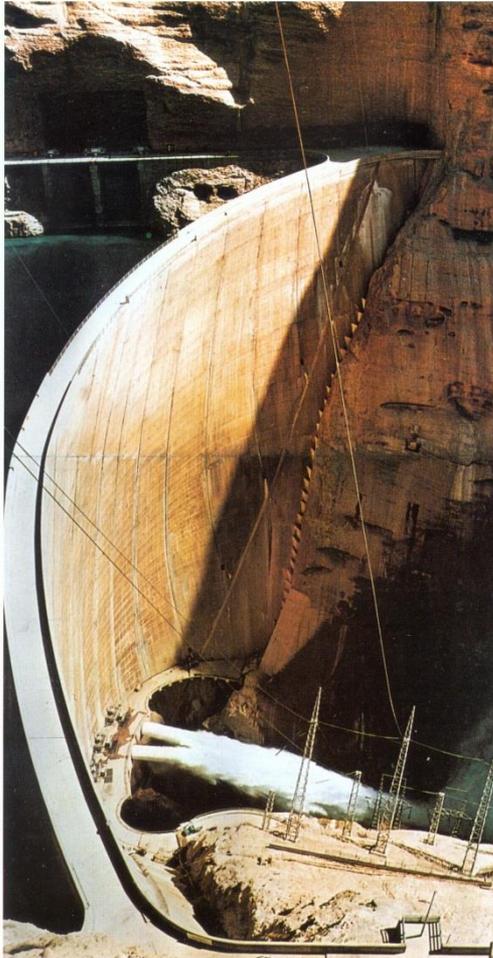
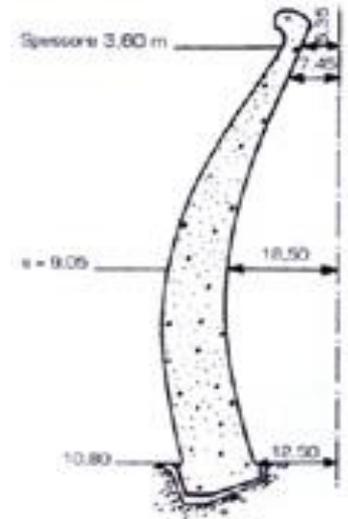
## DIGHE IN MURATURA AD ARCO

- *curvatura orizzontale (longitudinale)*
- *spinte scaricate interamente sulle spalle*
- *il luogo dei centri è sulla verticale*

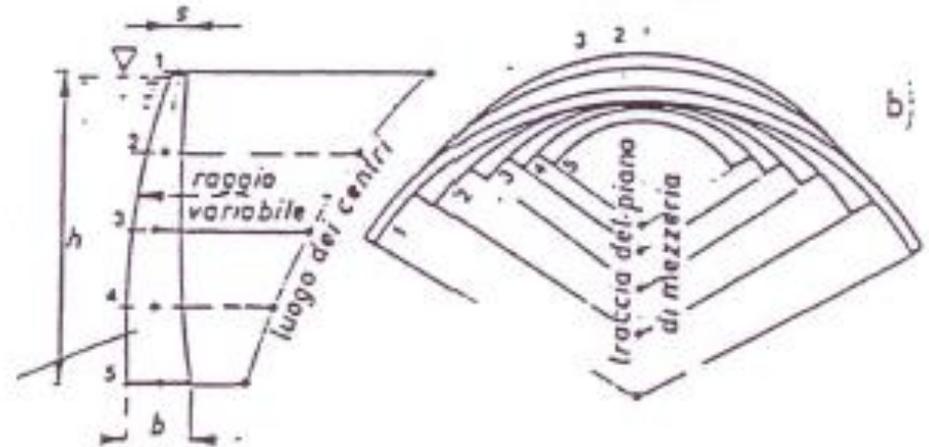


## DIGHE IN MURATURA A VOLTA (ARCO-CUPOLA)

- *curvatura orizzontale (longitudinale) e verticale (trasversale)*
- *spinte scaricate sulle spalle ed in parte in fondazione*
- *il luogo dei centri si allontana dalla diga procedendo verso l'alto*



Dez- IRAN 1960/64



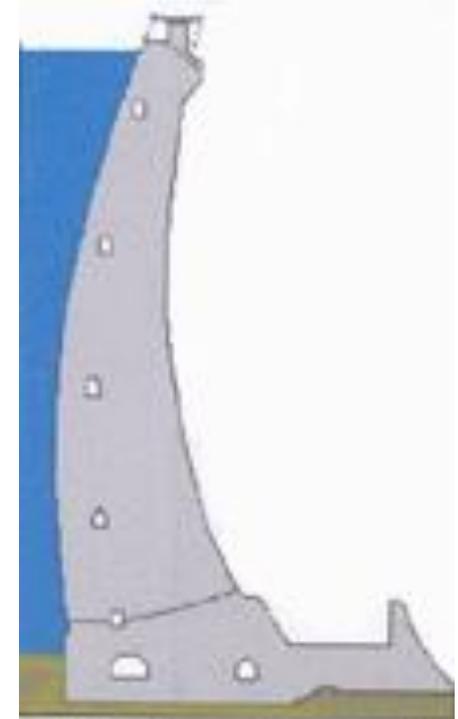
## DIGHE IN MURATURA AD ARCO-GRAVITA'

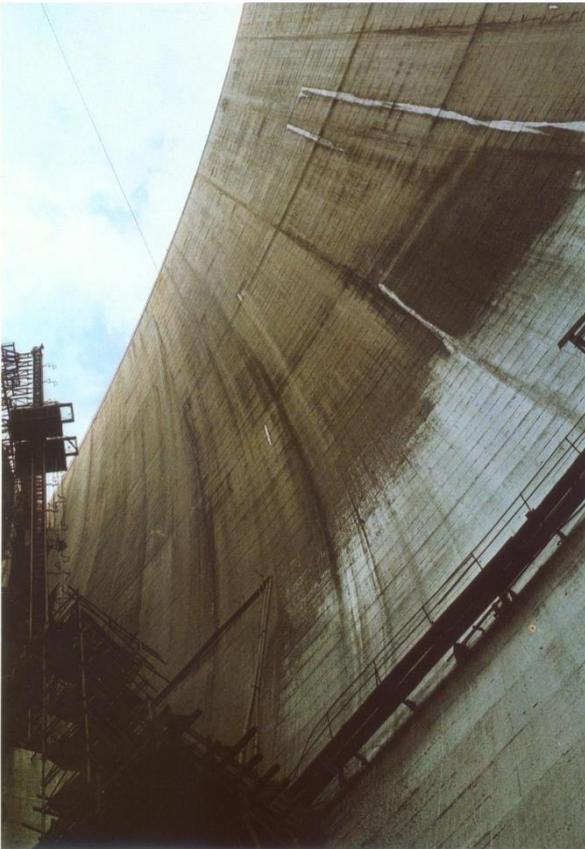
▪ *la forma ed i rapporti dimensionali sono tali da innescare la resistenza alle spinte attraverso l'azione congiunta offerta dalla curvatura orizzontale, da quella trasversale di mensola e dal peso proprio*

Diga di Ridracoli  
ITALIA - 1982



- diga in muratura ad arco-gravità
- altezza diga : 101 m
- capacità : 33 Mmc
- uso : idropotabile
- anno di fine costruzione : 1982



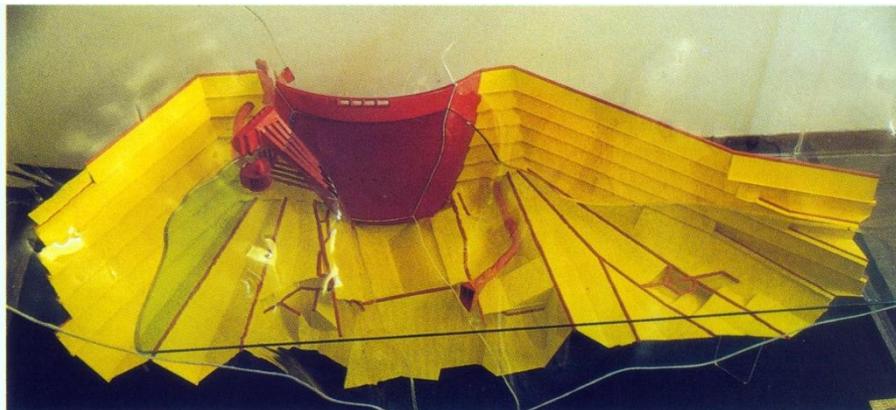


**SCHERMI D'INIEZIONE  
IN ROCCIA**



© 1985, William L.B.J. Dekker

*El Cajon - HONDURAS 1980/85*



#### DIGIA A VOLTA :

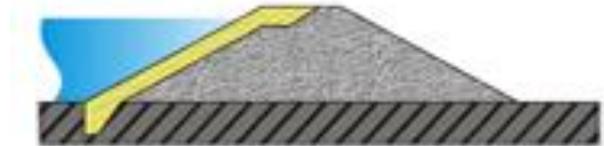
- altezza : 226 m
- larghezza in cresta : 382 m
- schermo d'iniezione profondo 250 m
  - 560.000 mq
  - 535.000 m di fori
  - 95.000 t di cemento
  - 12 km di cunicoli
- massima produzione mensile RODIO:
  - 46.000 m di fori
  - 8.400 t di cemento

DIGHE IN MATERIALI SCIOLTI (TERRA O ROCKFILL)

✓ OMOGENEE

✓ ZONATE, CON NUCLEO IMPERMEABILE

✓ CON MANTO IMPERMEABILE



L'ho fatta io!  
(senza andare  
all'Università)



## FILTRAZIONI NELLE DIGHE IN TERRA

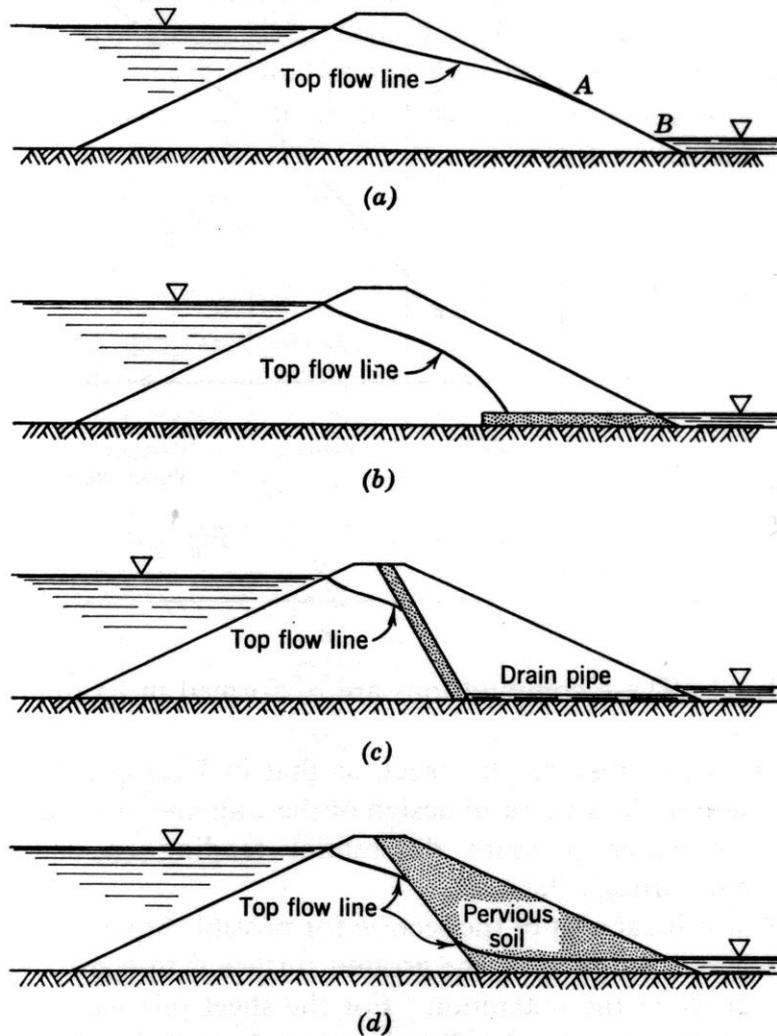


Fig. 18.2 Types of internal drainage for earth dam. (a) Homogeneous dam without internal drain. (b) Homogeneous dam with underdrain. (c) Homogeneous dam with chimney drain. (d) Zoned dam.

- flusso all'esterno del corpo diga*
- flusso all'interno del corpo diga*

### FLUSSO ALL'INTERNO DEL CORPO DIGA

- ai fini del sifonamento la sezione critica può essere sia il paramento di valle della diga che la superficie del terreno a valle*
- si può giocare sulla forma e composizione del corpo diga e sulla posizione dei dreni.*

DIGHE IN MATERIALI SCIOLTI

*Diga del Locone - ITALIA*  
1982 - 1986



# DIGHE IN MATERIALI SCIOLTI

- diga in terra, zonata
- altezza diga dal p.c. : 54 m
- larghezza max alla base : > 320 m
- lunghezza al coronamento : 1.392 m
- volume del rilevato : 9 Mmc
- capacità : 115 Mmc
- bacino sotteso : 219 kmq
- superficie specchio liquido : 4,86 kmq
- uso : irriguo
- quota max. invaso : + 194,60 m slm

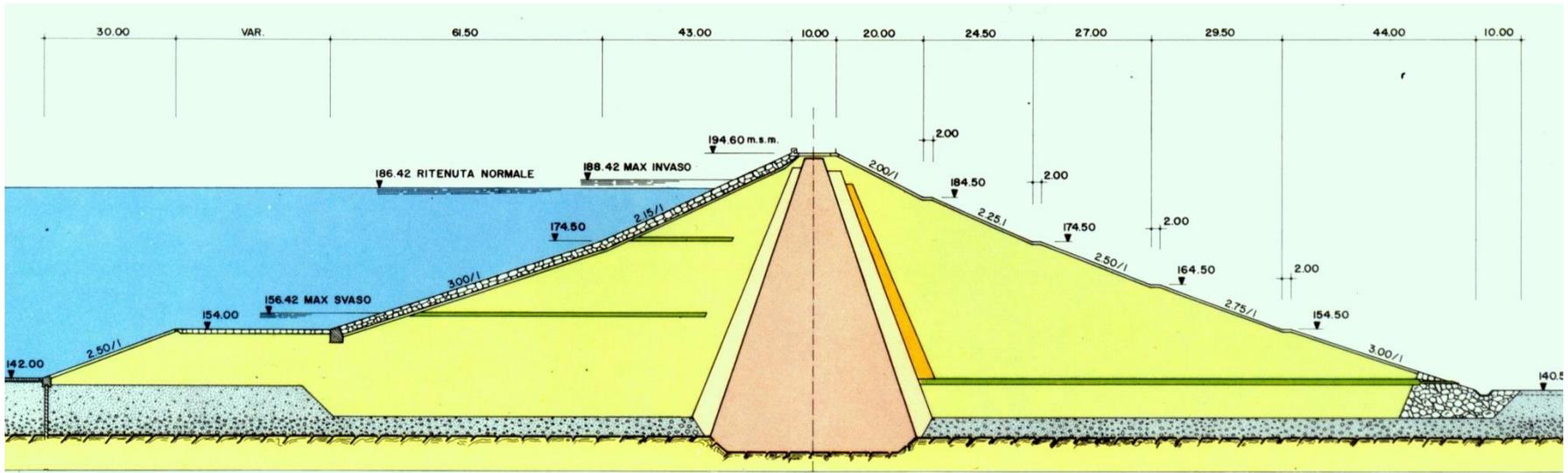
## DIGA SUL TORRENTE LOCONE

1982 - 1986

Consorzio di Bonifica Apulo - Lucano Bari

Progettisti : Proff. Ingg. A. Damiani - C. Drioli - V. Cotecchia

Impresa costruttrice : ITALSTRADE - CMC



Sezione trasversale della diga

Cross section of the dam



**Materiali**

*Materials*

Nucleo  
*Core*

Contronuclei  
*Shells*

Transizione  
*Transition*

Tappeti drenanti  
*Drainage blankets*

Filtro  
*Filter*

**Terreni di fondazione**

*Foundation soils*

Argille plioceniche  
*Pliocene clays*

Ghiaia sabbiosa  
*Sandy gravel*

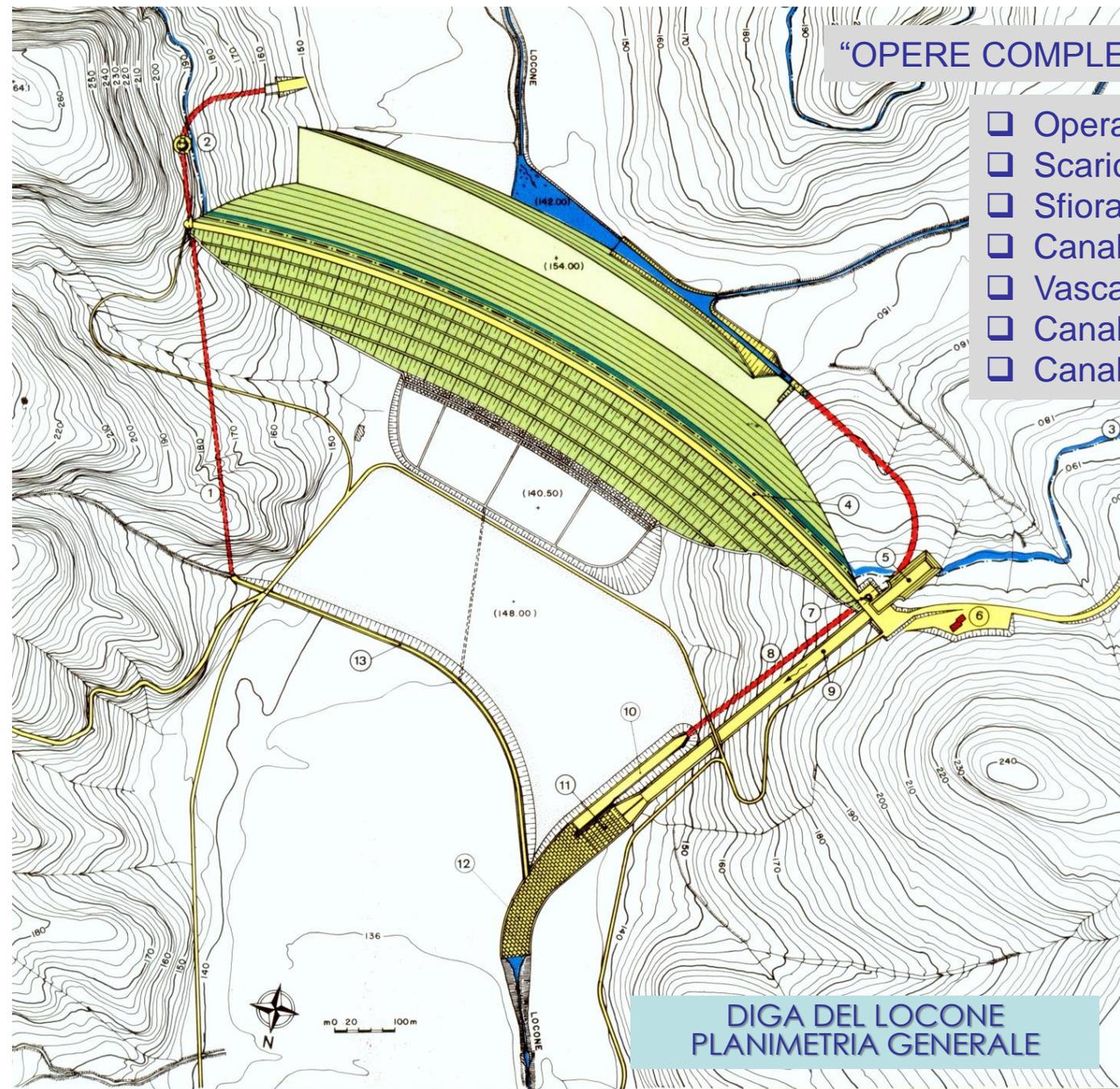
Limo sabbioso  
*Sandy silt*

La 2<sup>a</sup> diga in terra più alta d'Europa.

## “OPERE COMPLEMENTARI” DI UNA DIGA

- Opera di presa (2)
- Scarico di fondo (8)
- Sfiatore (5)
- Canale scarico di superficie (9)
- Vasca di dissipazione (11)
- Canali di restituzione (10) (13)
- Canale fuggatore (12)

DIGA DEL LOCCONE  
PLANIMETRIA GENERALE



*DIGA DEL LOCONE  
SCAVO DI FONDAZIONE E FORMAZIONE  
DEL NUCLEO*

*Scavo di fondazione del nucleo  
e posa in opera del materiale*



Scavo di fondazione del nucleo e posa in opera del materiale.  
Foundation excavation of the core and placement of the material.

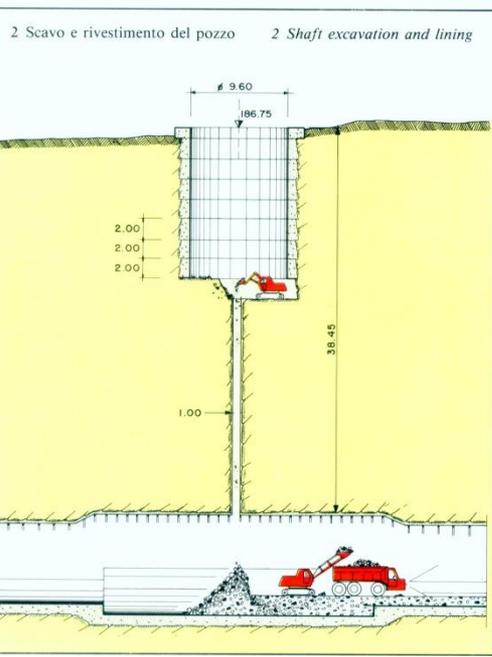
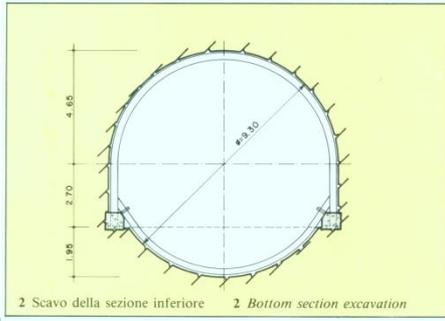
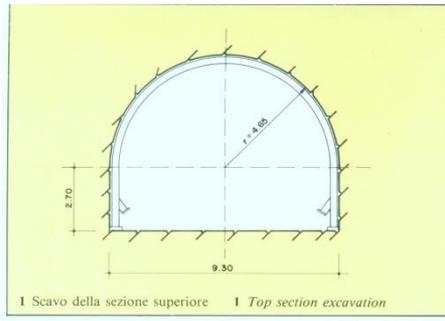
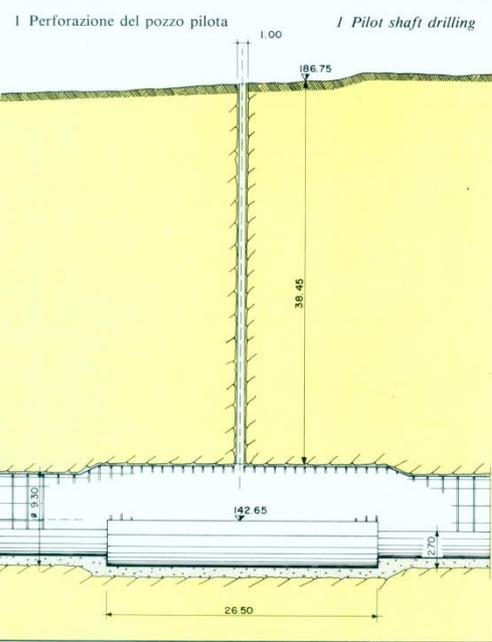
Compattazione del nucleo  
Core compaction.

*Scavo di fondazione del nucleo visto  
dalla spalla dx.*

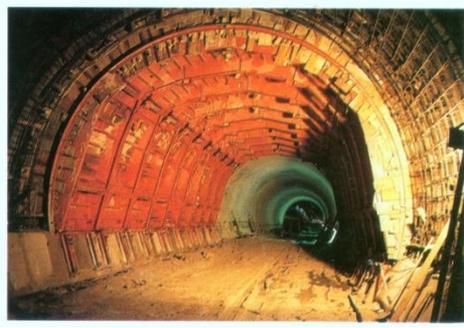
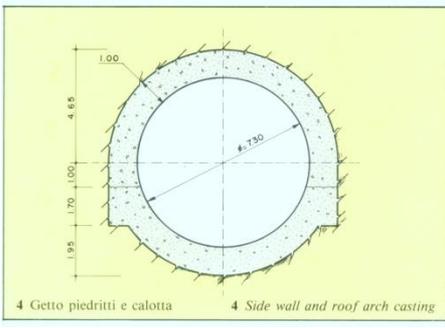
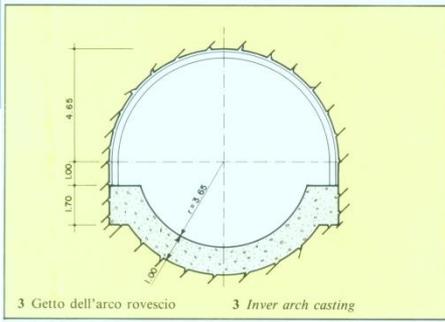
*Sul fondo sono visibili le argille  
plioceniche.*



*Compattazione del nucleo*



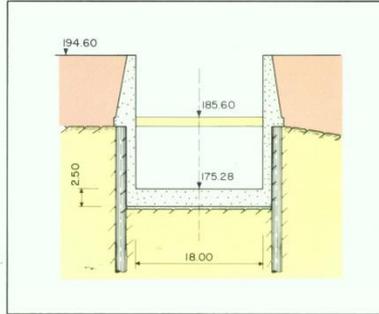
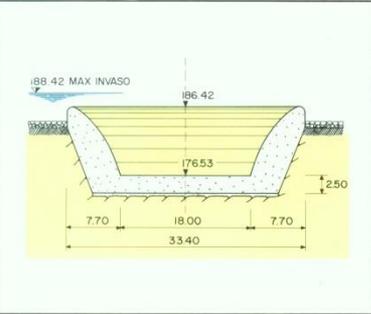
**DIGA DEL LOCONE**  
 Galleria scarico di fondo  
 e pozzo di manovra



# DIGA DEL LOCONE : SCARICO DI SUPERFICIE ED OPERE ANNESSE

Sfioratore

Canale di scarico di superficie



Sfioratore in fase di costruzione (visto da valle)



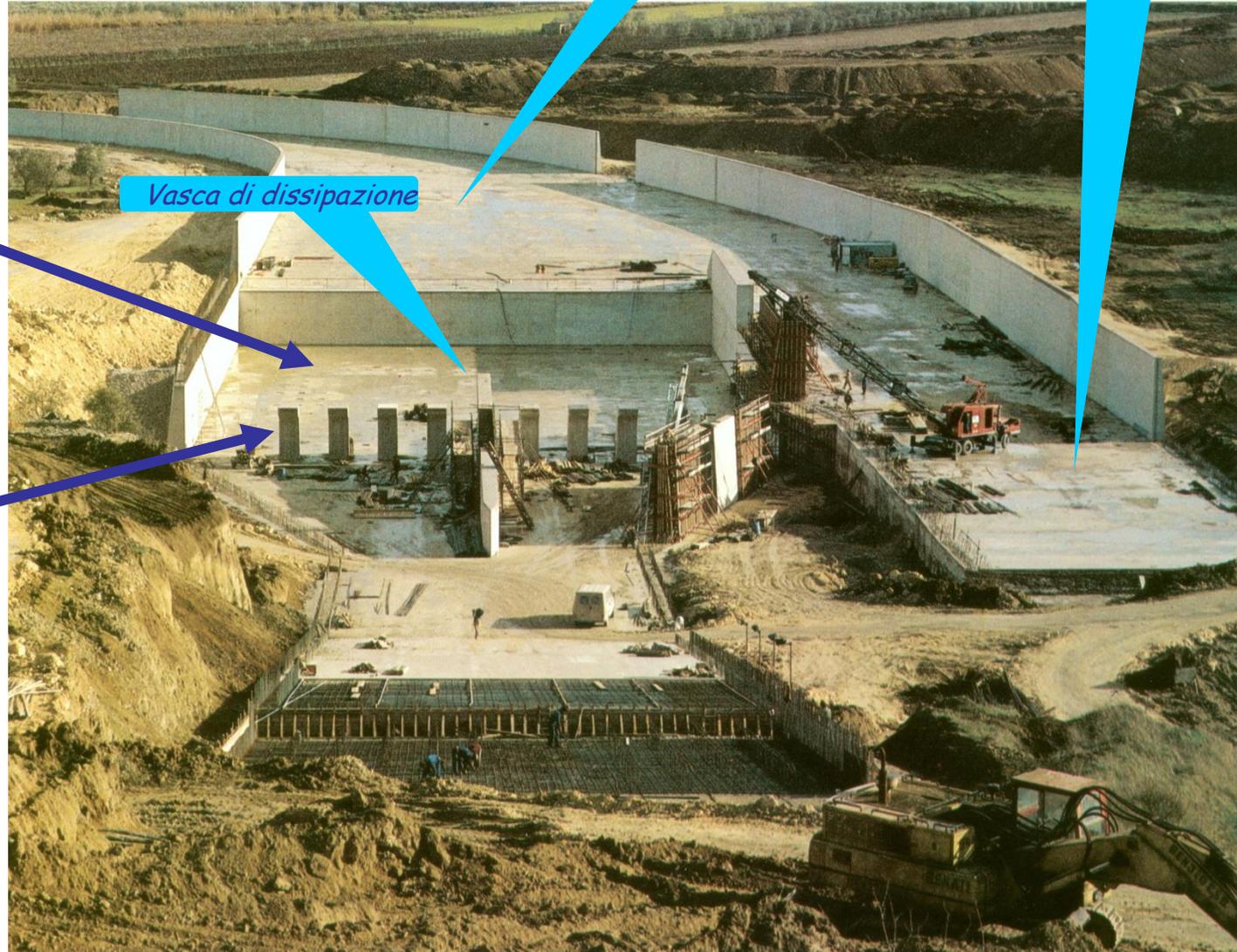
Vulture



Il canale fugatore, la vasca di dissipazione con il canale di scarico e lo sbocco dello scarico di fondo, visti da valle. Sullo sfondo il Vulture.

*DIGA DEL LOCONE  
VASCA DI DISSIPAZIONE E CANALE FUGATORE  
IN FASE DI COSTRUZIONE, VISTI DA MONTE*

Sezione longitudinale



*Vasca di dissipazione*

*Canale fuggatore*

*Canale restituzione scarico i fondo*

## *DIGA DEL LOCONE : MISCELLANEA*



*Preassemblaggio di un elemento metallico per il blindaggio delle paratoie.*

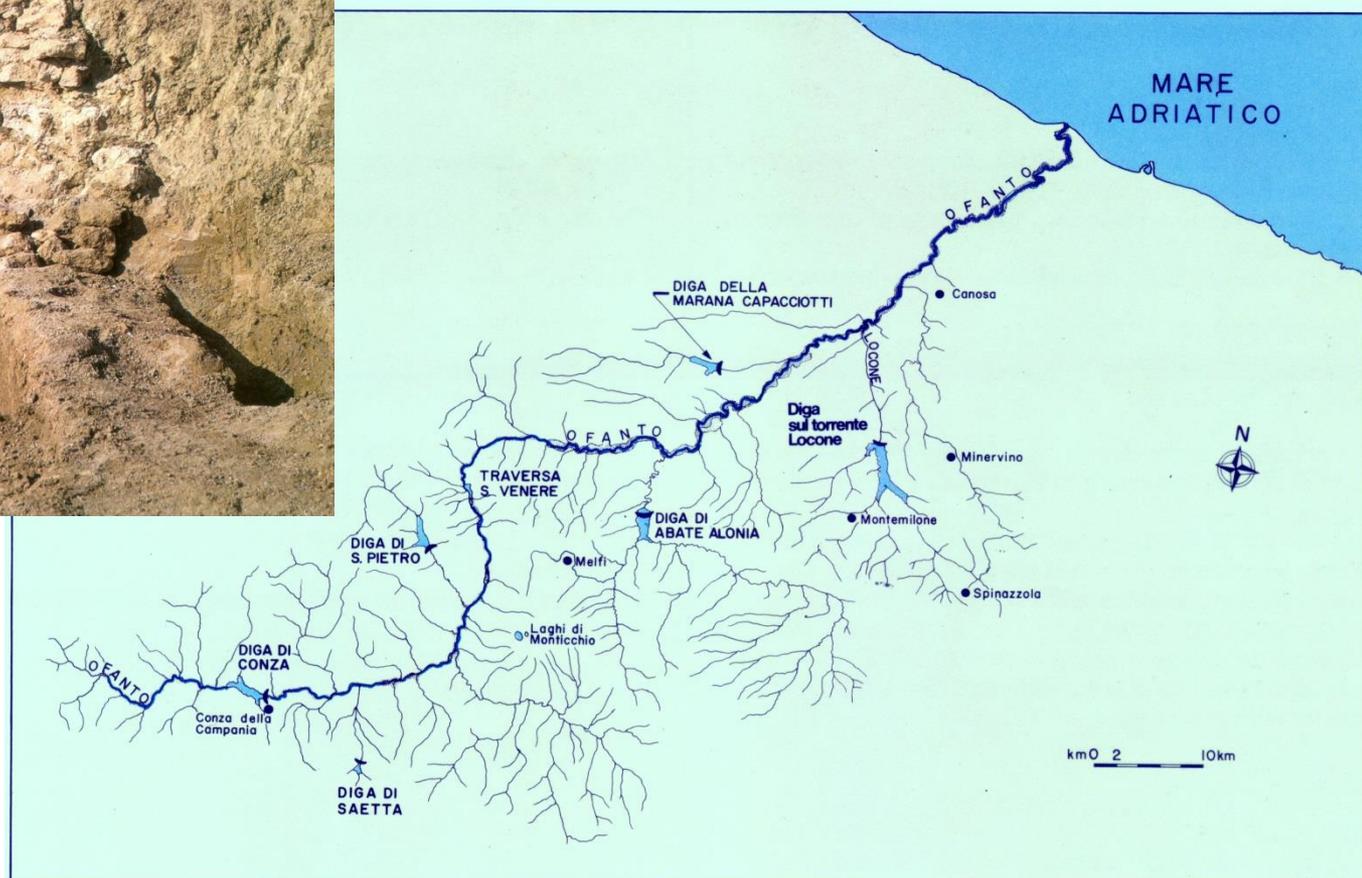
*..... ovvero .....*

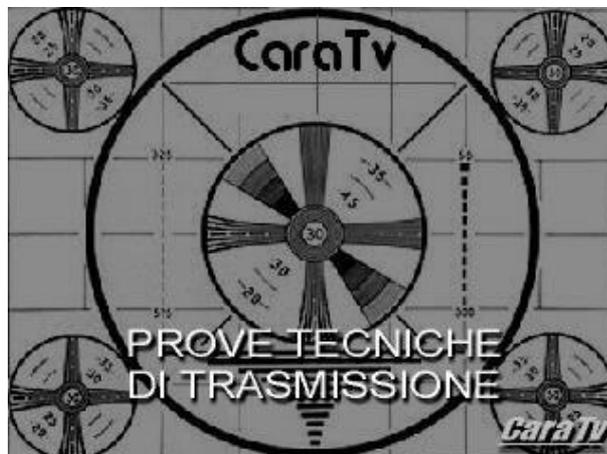
***QUANDO LA SICUREZZA E'  
UNA PRIORITA'***



## DIGA SUL TORRENTE LOCONE

*Tratto interrato dell'acquedotto romano di Canosa (~143 d.C.) scoperto nel corso dei lavori.  
Lungo oltre 30 km, l'acquedotto era dotato di notevoli manufatti tra i quali gallerie e ponti canale.*





# PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA

STRUTTURE

IN FASE DI COSTRUZIONE (OPERE SOTTO FALDA)

IN ESERCIZIO

**LIQUEFAZIONE**

PENDII IN FALDA

OPERE DI SBARRAMENTO

CASE HISTORIES



STORIE D'INGEGNERIA TRA TERRA E MARE:

DA CORINTO A PANAMA PASSANDO PER SUEZ

# CASI SIGNIFICATIVI DI CONSOLIDAZIONE PER SUBSIDENZA IN ITALIA



## MILANO - LA "FABBRICA DEL DUOMO"



*O mia bella Madunnina ...*



Il più famoso caso – in Italia - di cedimento di consolidazione per abbassamento della falda

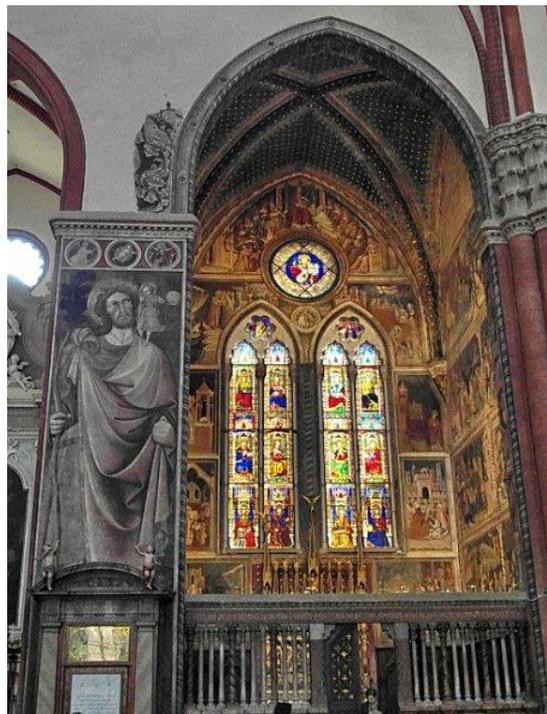


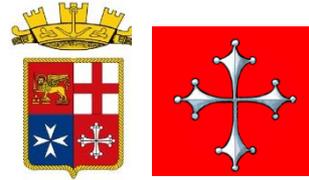
IL GOTICO ITALIANO "BLASONATO"



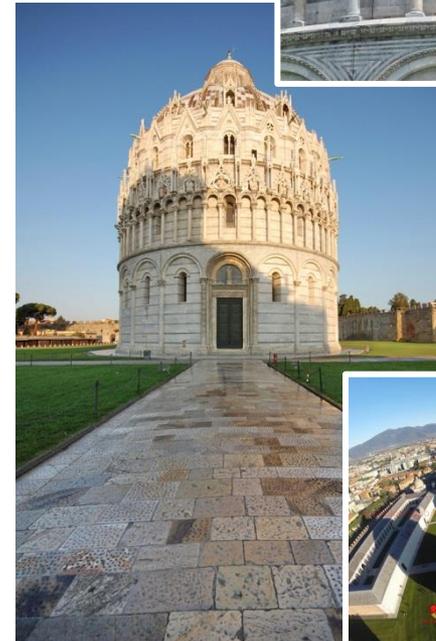


IL GOTICO ITALIANO "BLASONATO"



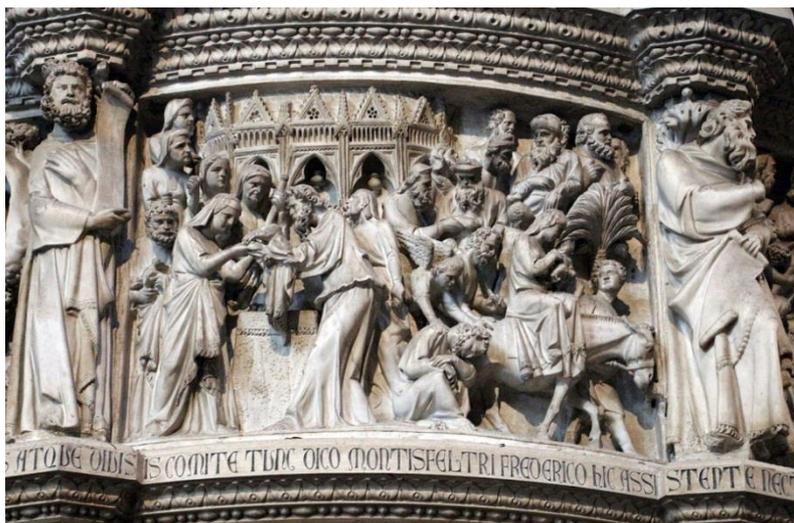


IL GOTICO PISANO





## IL GOTICO PISANO



### DUOMO DI PISA

PERGAMO DI GIOVANNI PISANO (1302-1311)

Forse la più importante opera  
scultorea del gotico italiano



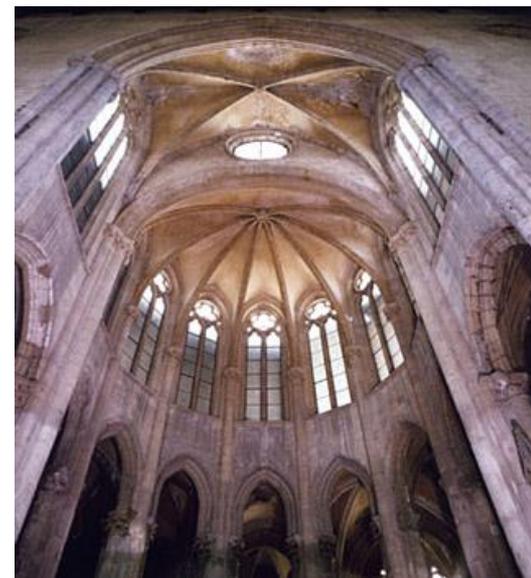


DUOMO DI SAN GENNARO

IL GOTICO NELLA NAPOLI (ANCHE) ANGIOINA



SAN LORENZO MAGGIORE



SAN PIETRO A MAIELLA





BASILICA DI SANTA CATERINA D'ALESSANDRIA - GALATINA



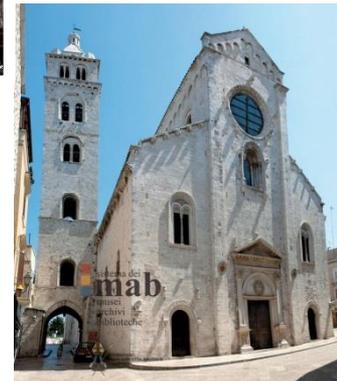
CATEDRALE DI OSTUNI

## IL GOTICO IN PUGLIA

BASILICA DEL SANTO SEPOLCRO - BARLETTA



SANTA MARIA MAGGIORE - BARLETTA





SANTA MARIA DEL CASALE - BRINDISI



DUOMO DI LUCERA

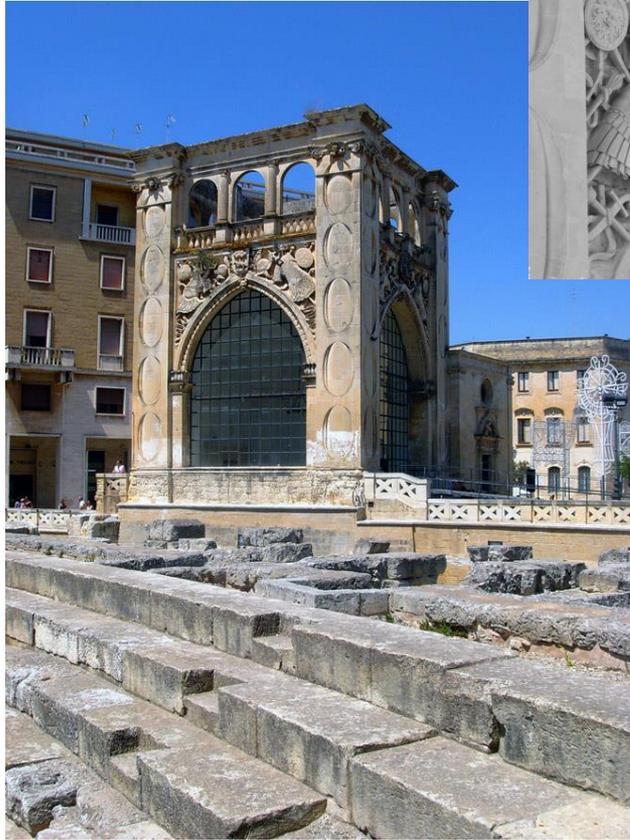


## IL GOTICO IN PUGLIA



SAN DOMENICO MAGGIORE - TARANTO





IL SEDILE - LECCE (TARDO GOTICO)

## IL GOTICO IN PUGLIA



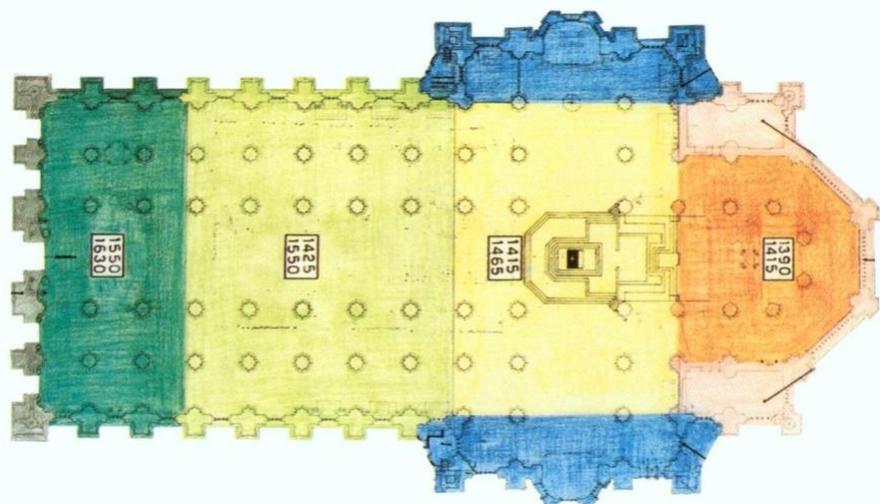
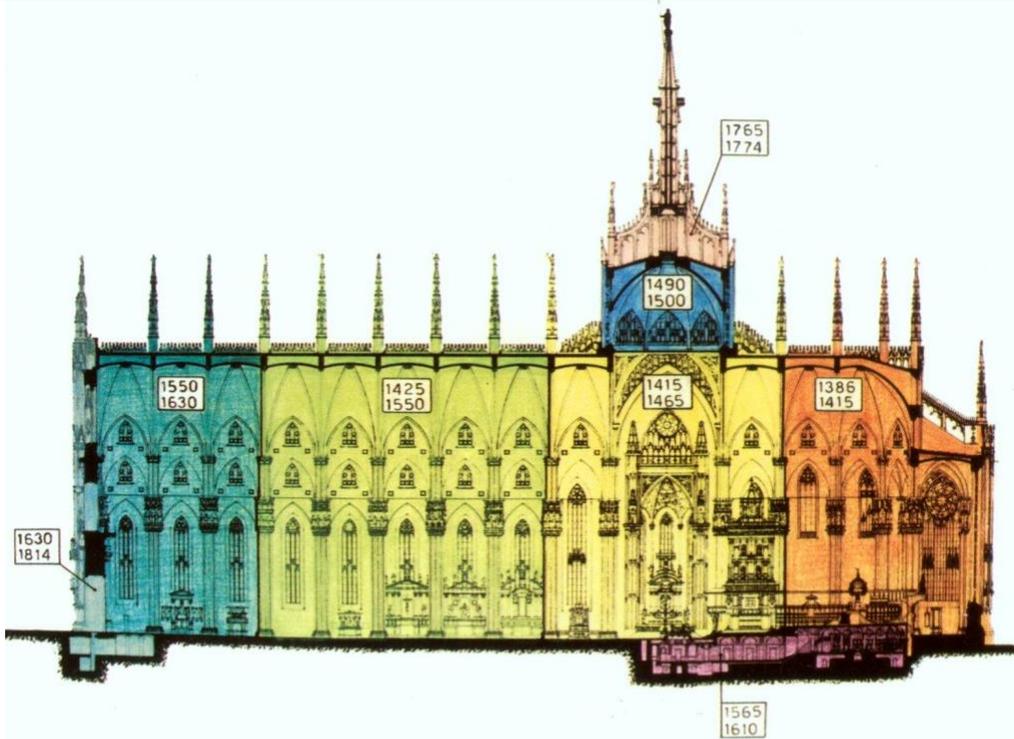
DUOMO DI CERIGNOLA (NEOGOTICO)



SANTA MARIA DEL FIORE - FIRENZE



DUOMO DI CERIGNOLA (NEOGOTICO)

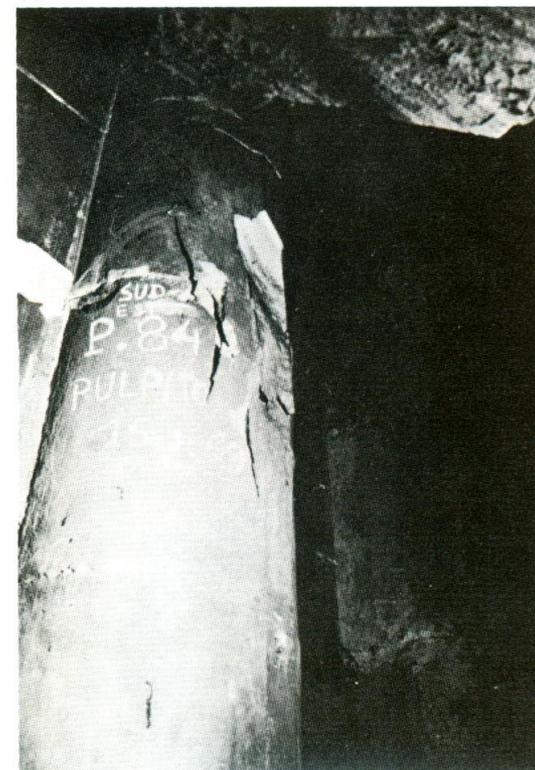


### "FABBRICA" DEL DUOMO DI MILANO

1386 – 1500

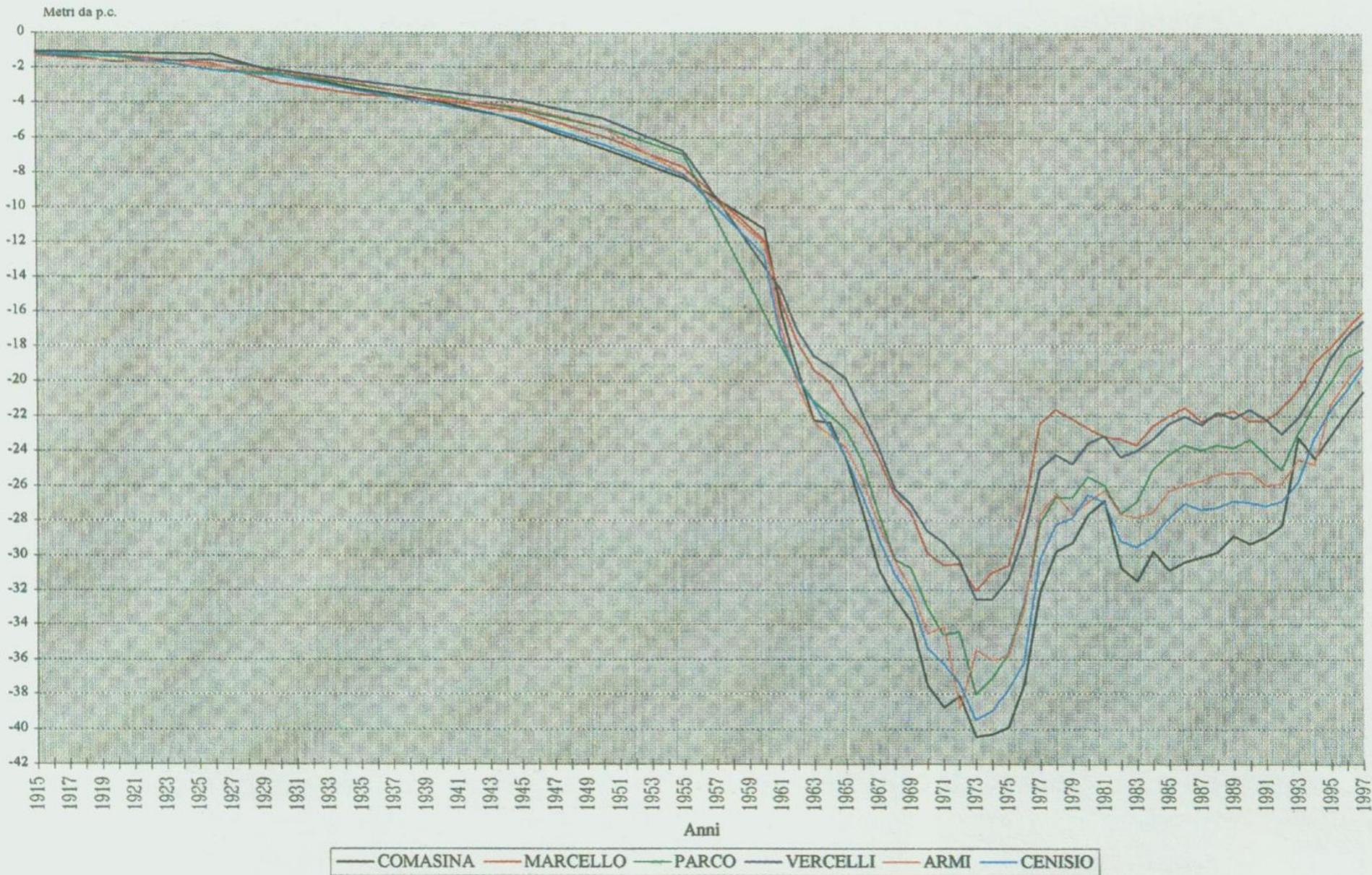
(nel 1774 viene ultimato il pinnacolo sul tiburio)

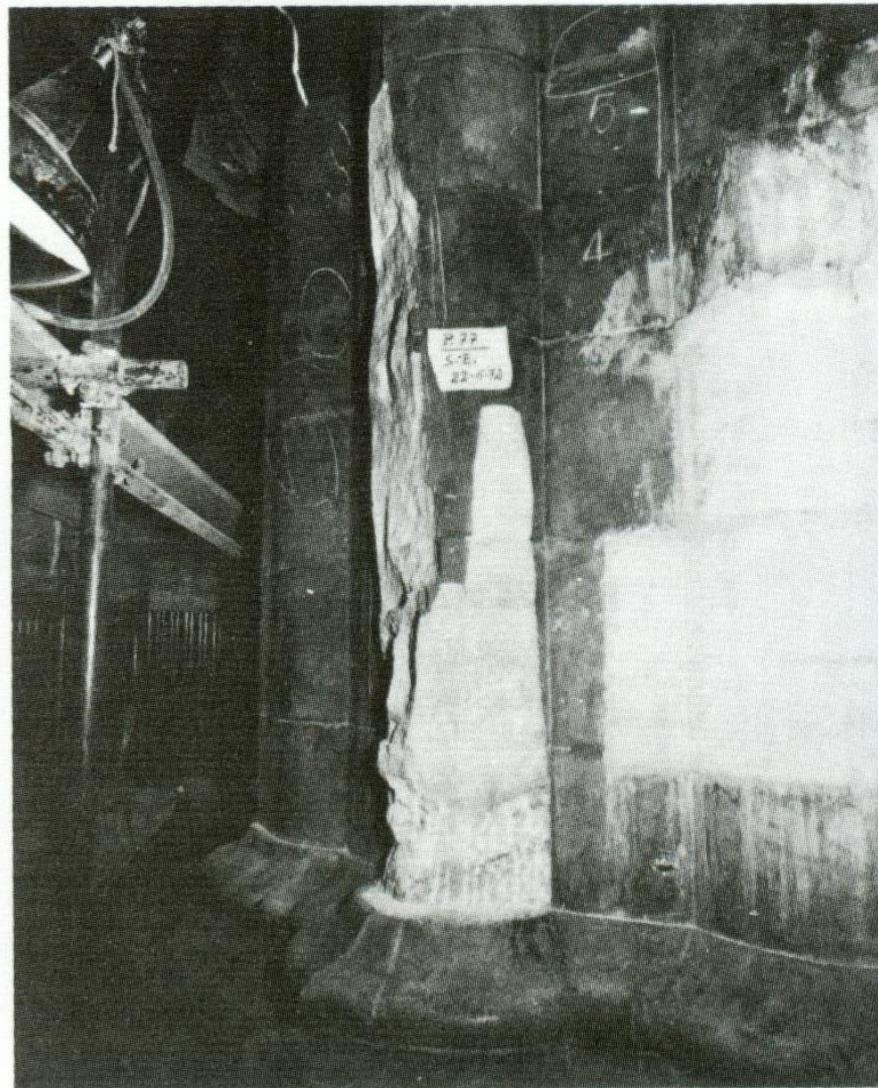
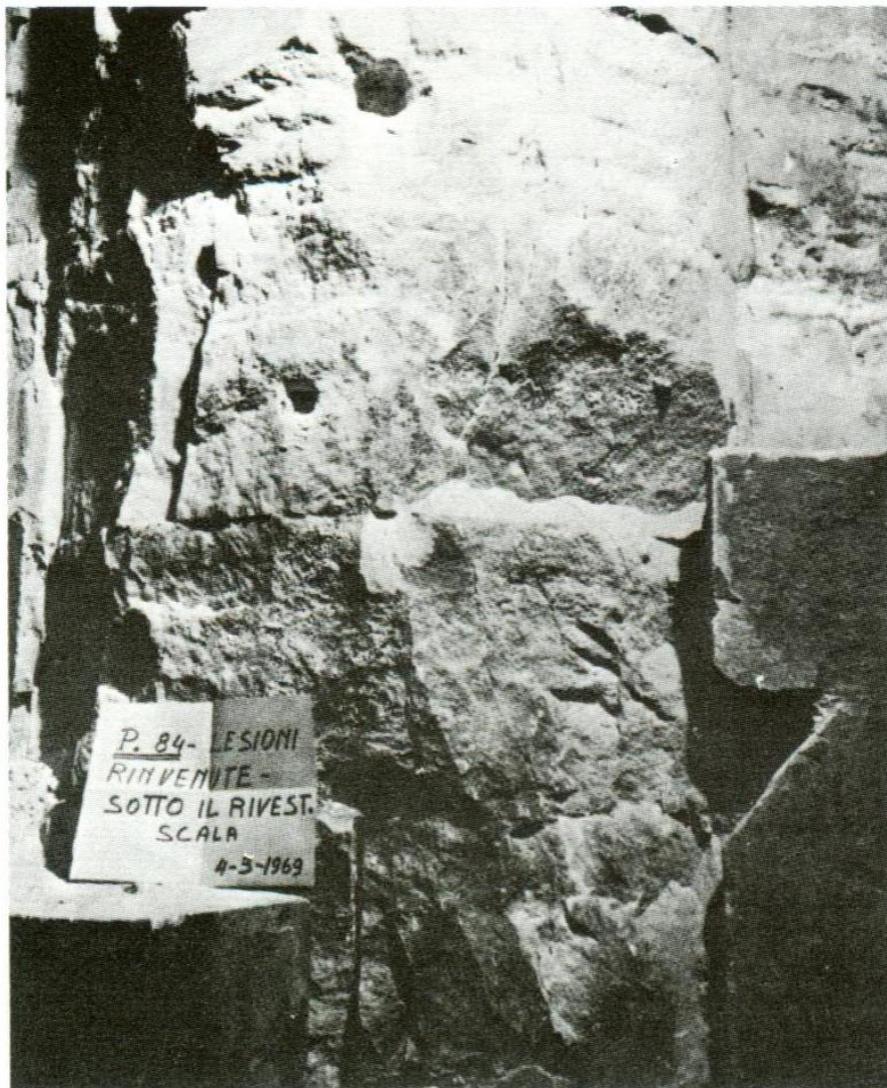
42



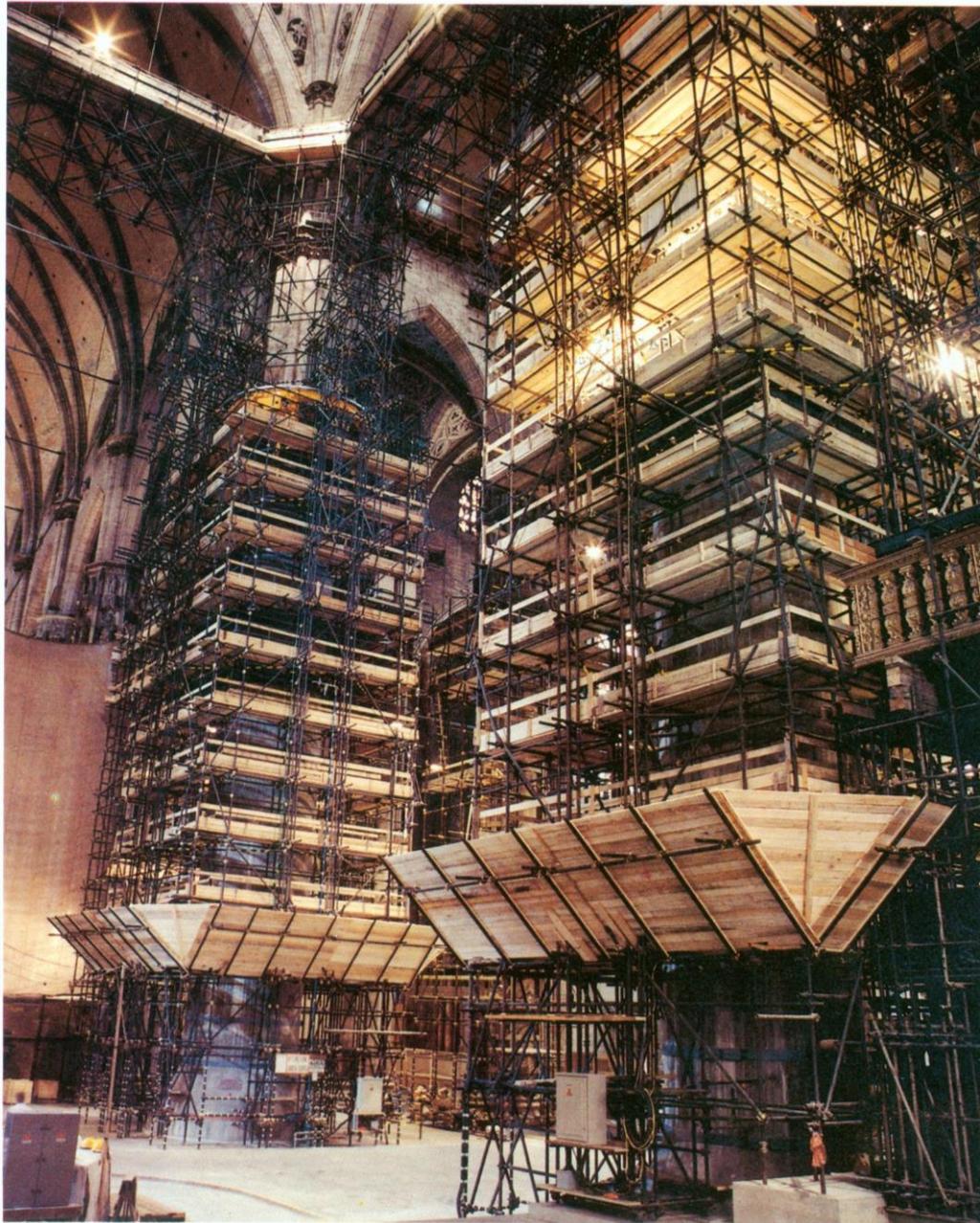
42.-43. *The Milan Cathedral.* Severe cracks in pylon 84 of the tiburium (1969).

## Livello medio della falda freatica dal 1915 al 1997





*“FABBRICA” DEL DUOMO DI MILANO  
Lesioni ai piloni del tiburio*



*DUOMO DI MILANO  
LAVORI DI CONSOLIDAMENTO DEI PILONI  
DEL TIBURIO.*

*Inizio : 1969  
Termine: 1986 (a 600 anni dalla  
fondazione della Fabbrica)*



MODENA - PALAZZO DUCALE

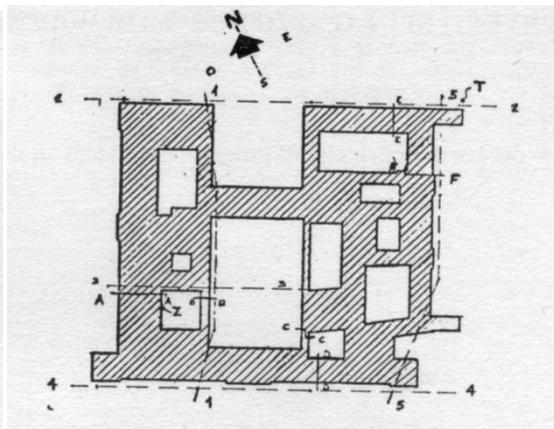


Non solo prosciutti...





Foto 1: Prospetto su P.zza Roma.



## PALAZZO DUCALE DI MODENA

Dissesti per subsidenza, dovuta ad un abbassamento della falda di circa 7 – 9 m

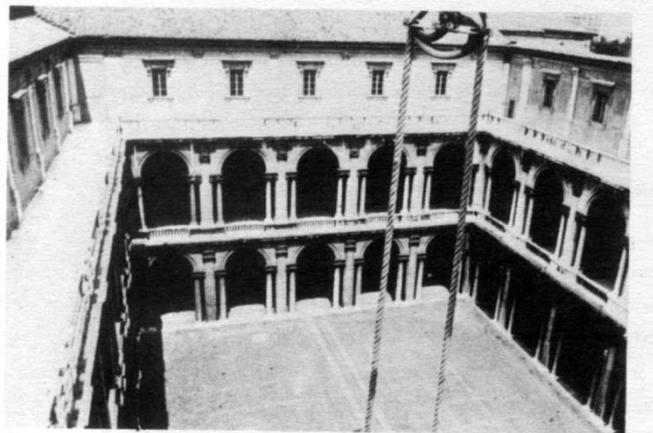
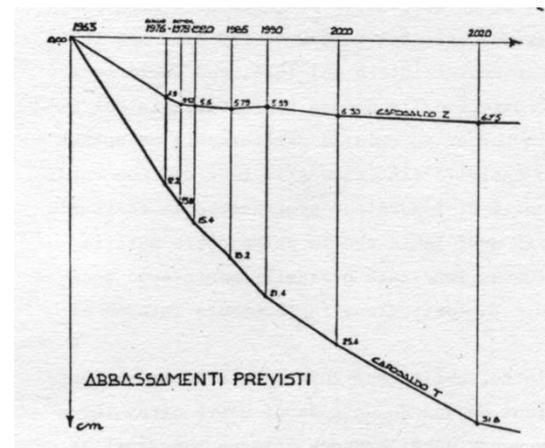


Foto 2: Cortile D'Onore.



Anno iniziale di riferimento per i cedimenti : 1963  
 Cedimento massimo atteso nell'anno 2000 : ~ 30 cm

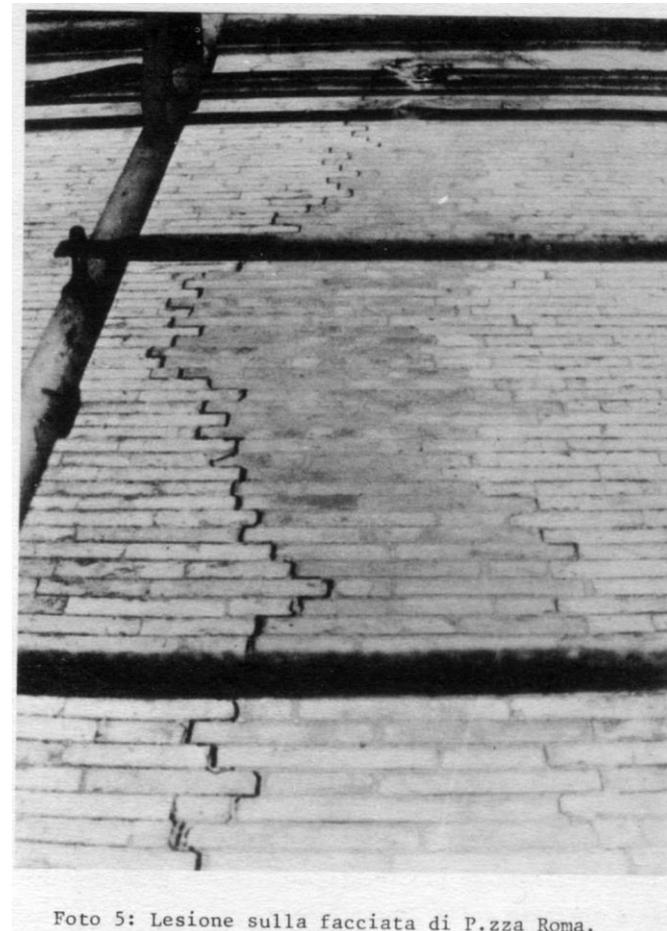
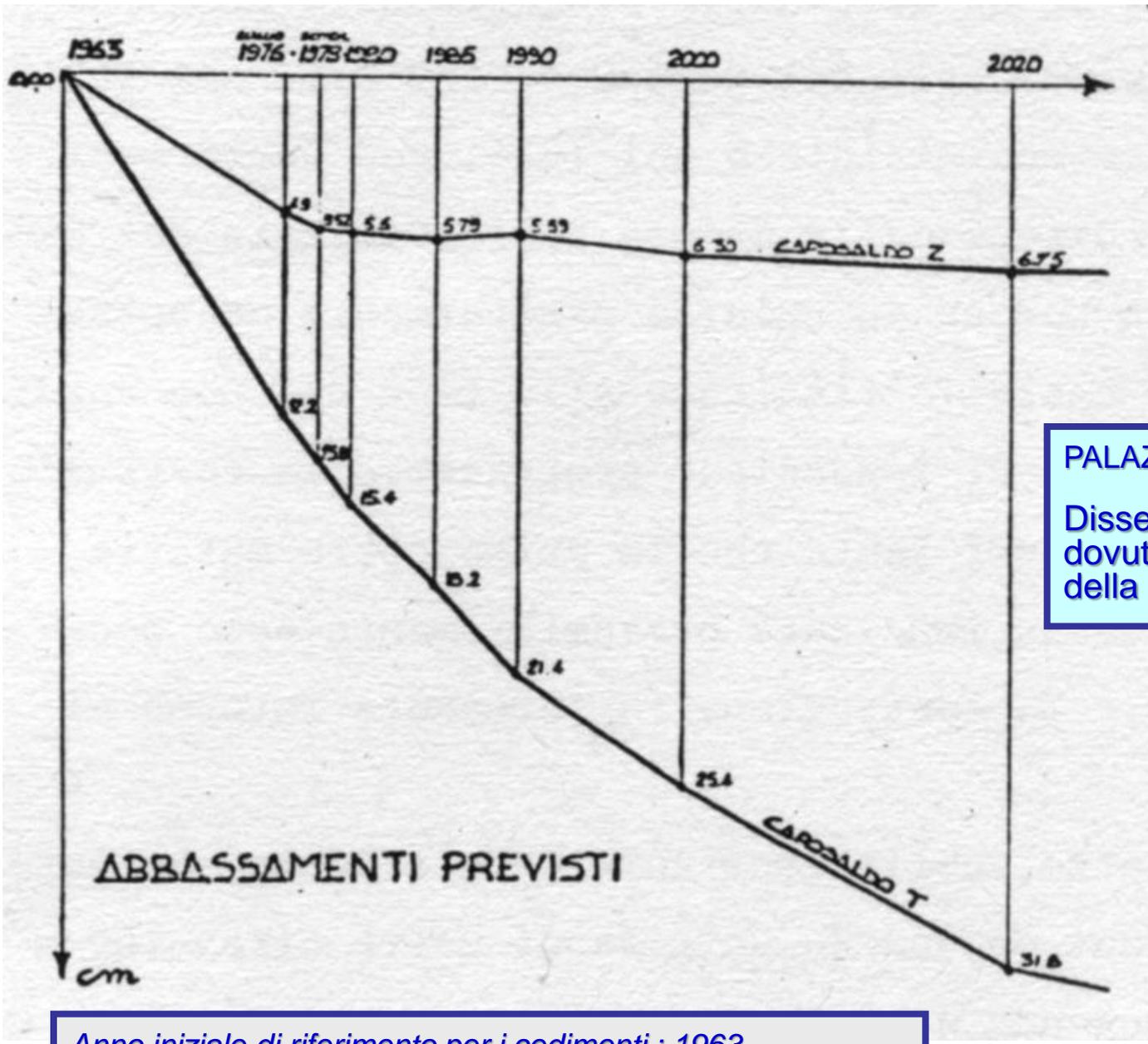


Foto 5: Lesione sulla facciata di P.zza Roma.



**PALAZZO DUCALE DI MODENA**  
 Dissesti per subsidenza dovuta ad un abbassamento della falda di circa 7 – 9 m

Anno iniziale di riferimento per i cedimenti : 1963  
 Cedimento massimo atteso nell'anno 2000 : ~ 25 cm

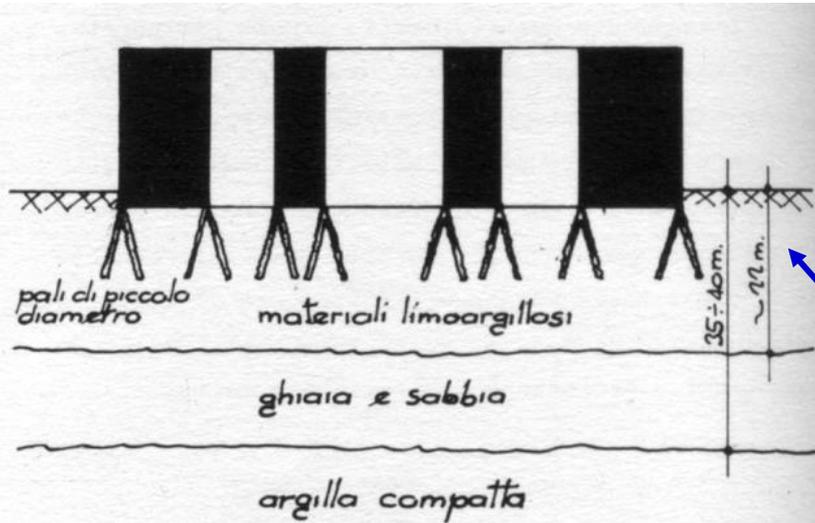


Fig. 10: Sottofondazione con pali di piccolo diametro.



Fig. 11: Stabilizzazione della falda.

## POSSIBILI INTERVENTI

- sottofondazione con micropali
- isolare le fondazioni dalle variazioni della falda
- rinforzare la struttura perché possa resistere all'evoluzione dei cedimenti
- giuntare la struttura

(in modo da ridurre lo stato di tensione e renderla meno sensibile ai futuri cedimenti differenziali)



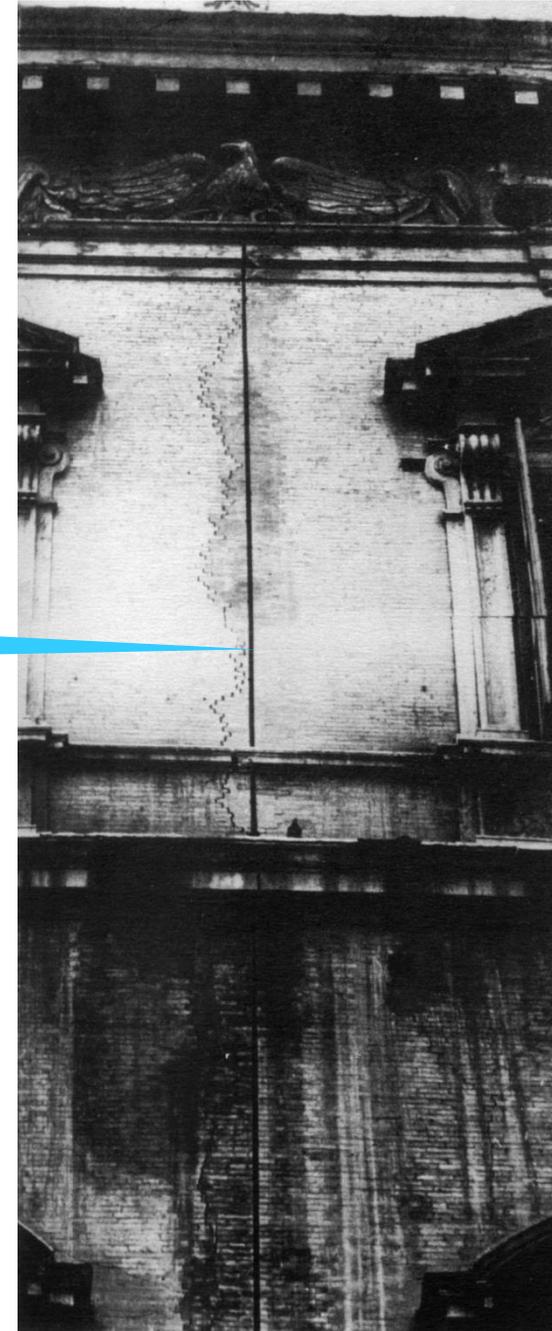
## MODENA - PALAZZO DUCALE

### INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO (Progettista Prof. Ing. Giorgio Croci)

La scelta è stata quella di

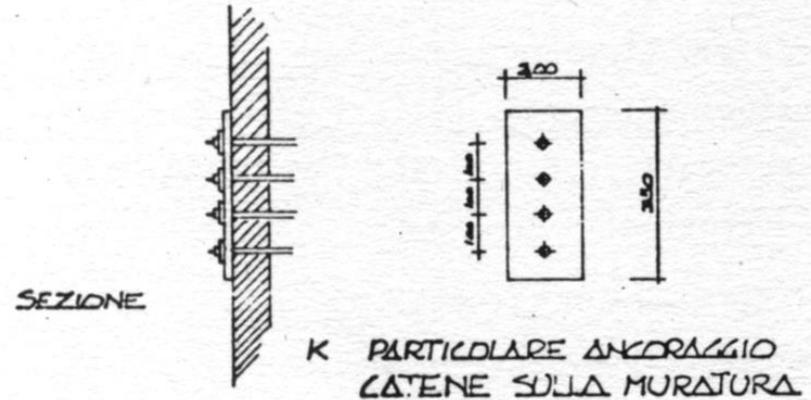
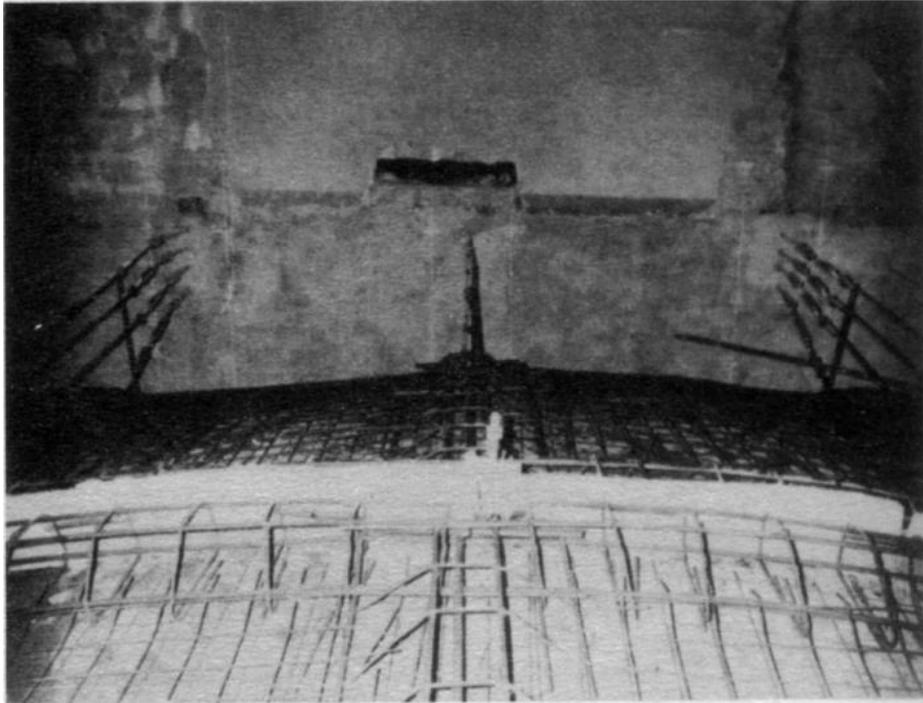
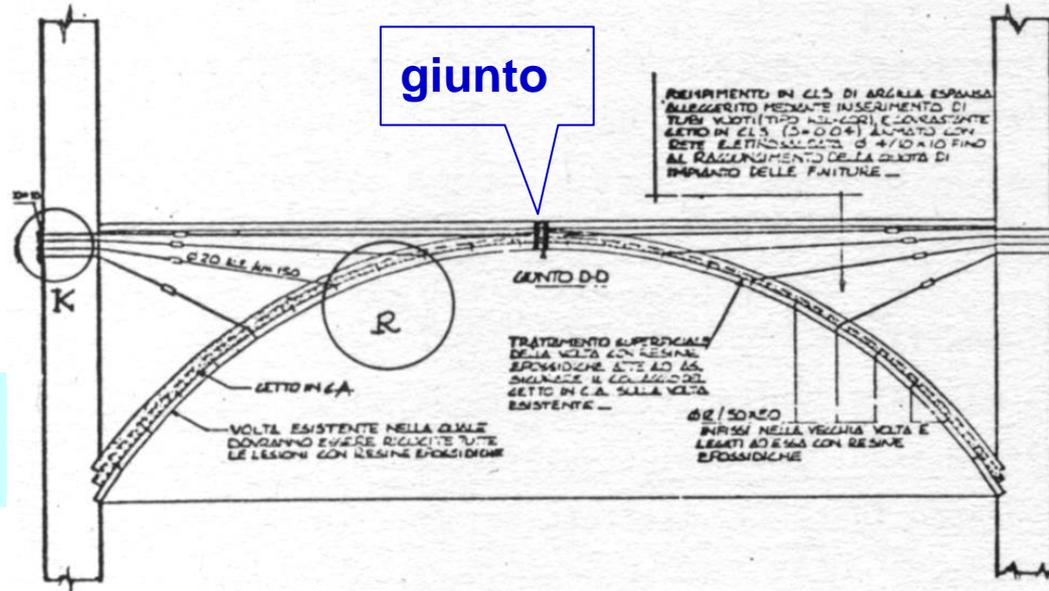
*"creare dei giunti, seguendo sostanzialmente le lesioni già createsi e completando con taglio delle murature l'apertura delle lesioni, in modo da annullare le tensioni esistenti in tali zone e ridurre le coazioni presenti nelle altre."*

GIUNTO





# PALAZZO DUCALE DI MODENA INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO



progetto e lavori eseguiti  
tra il 1975 ed il 1984





PALAZZO DUCALE DI MODENA - INTERNI



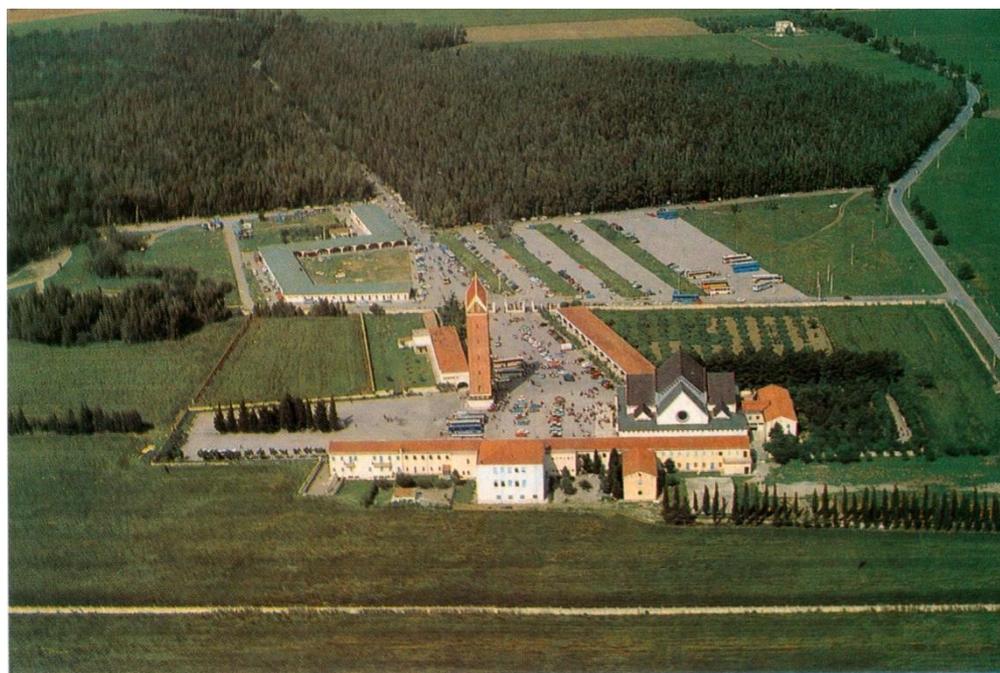
# PRIMI CASI DI SUBSIDENZA PER EMUNGIMENTO DA POZZI IN PUGLIA IL SANTUARIO DELL'INCORONATA (FG)



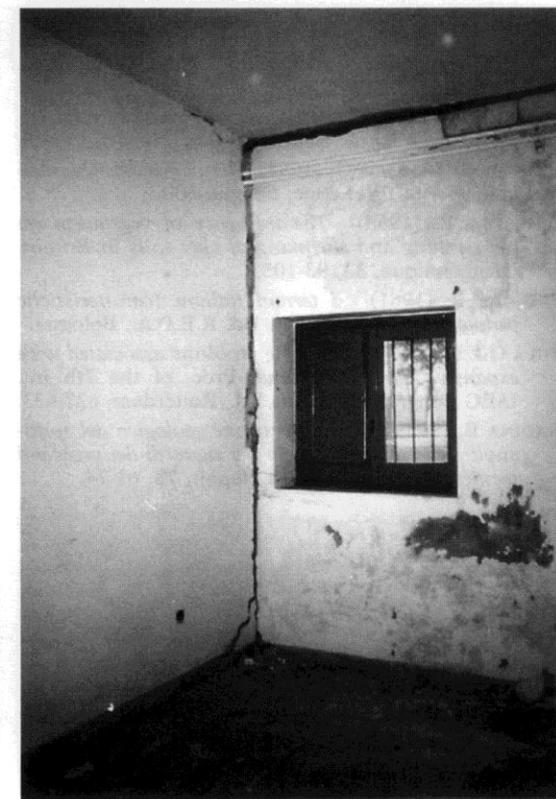
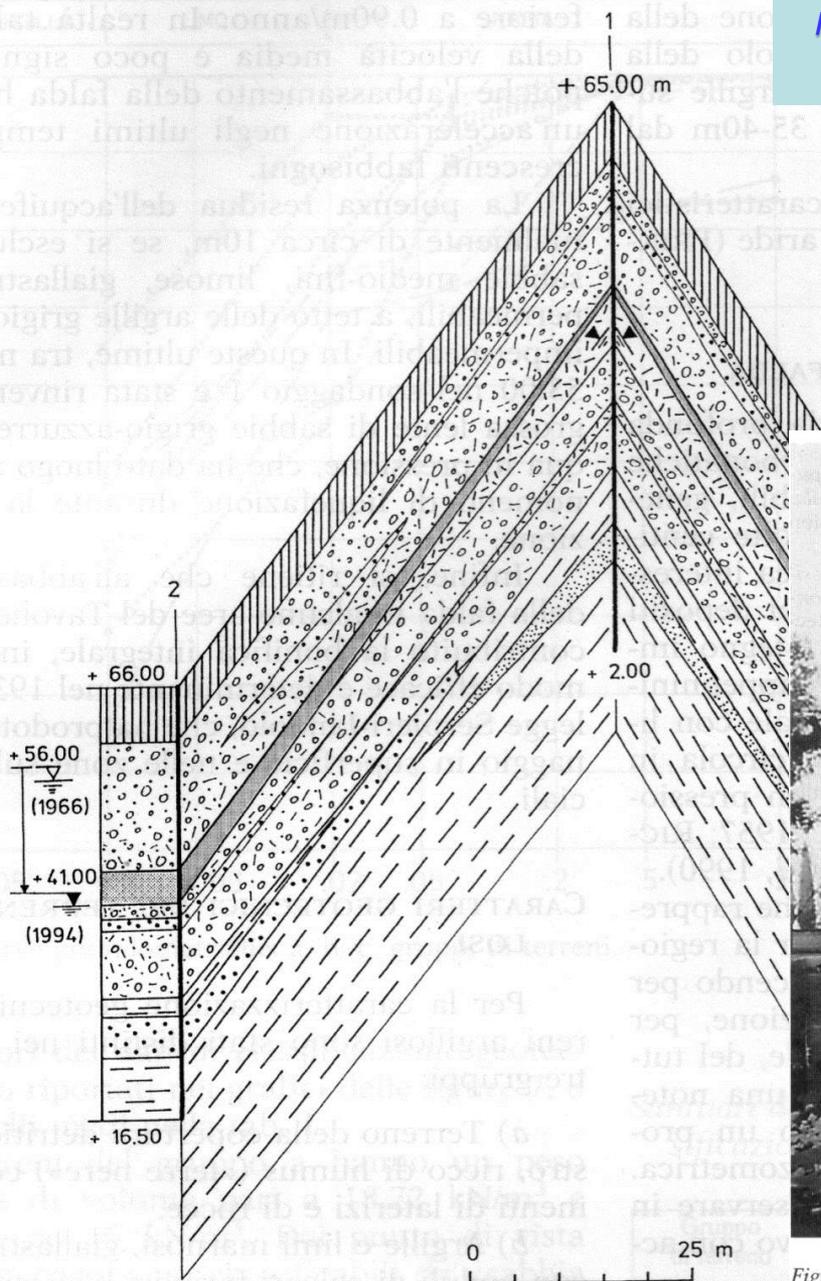
**PRIMI CASI DI SUBSIDENZA PER EMUNGIMENTO DA  
POZZI IN PUGLIA :  
IL SANTUARIO DELL'INCORONATA (FG)**



*Fig. 3 - Antico tempio dell'Incoronata, un tempo abazia, demolito per costruire la nuova Basilica; in primo piano, sulla destra, il caratteristico pozzo (anno 1950). Fotografia dell'Archivio del Santuario.*

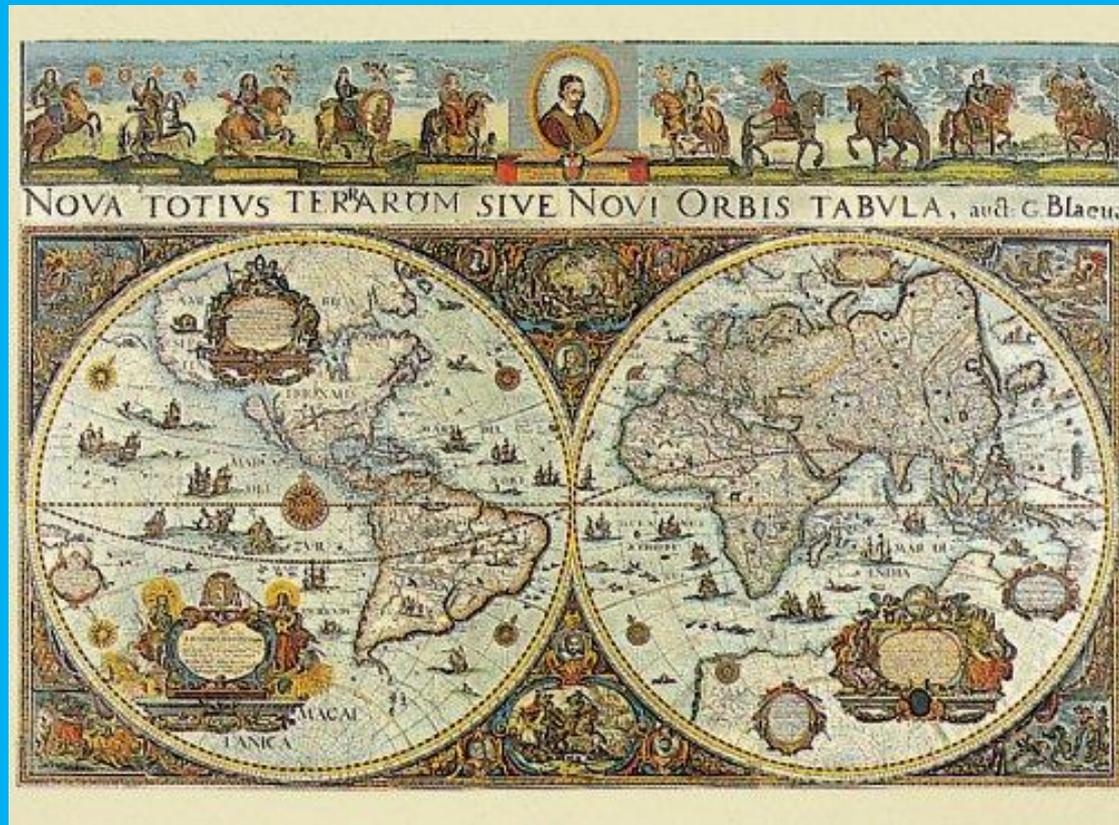


## PRIMI CASI DI SUBSIDENZA PER EMUNGIMENTO DA POZZI IN PUGLIA : IL SANTUARIO DELL'INCORONATA (FG)

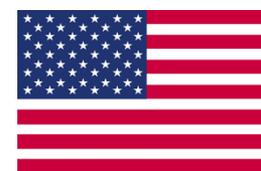


Figg. 11 e 12 - Santuario dell'Incoronata di Foggia: alcuni particolari del quadro fessurativo all'esterno ed all'interno della casa canonica.

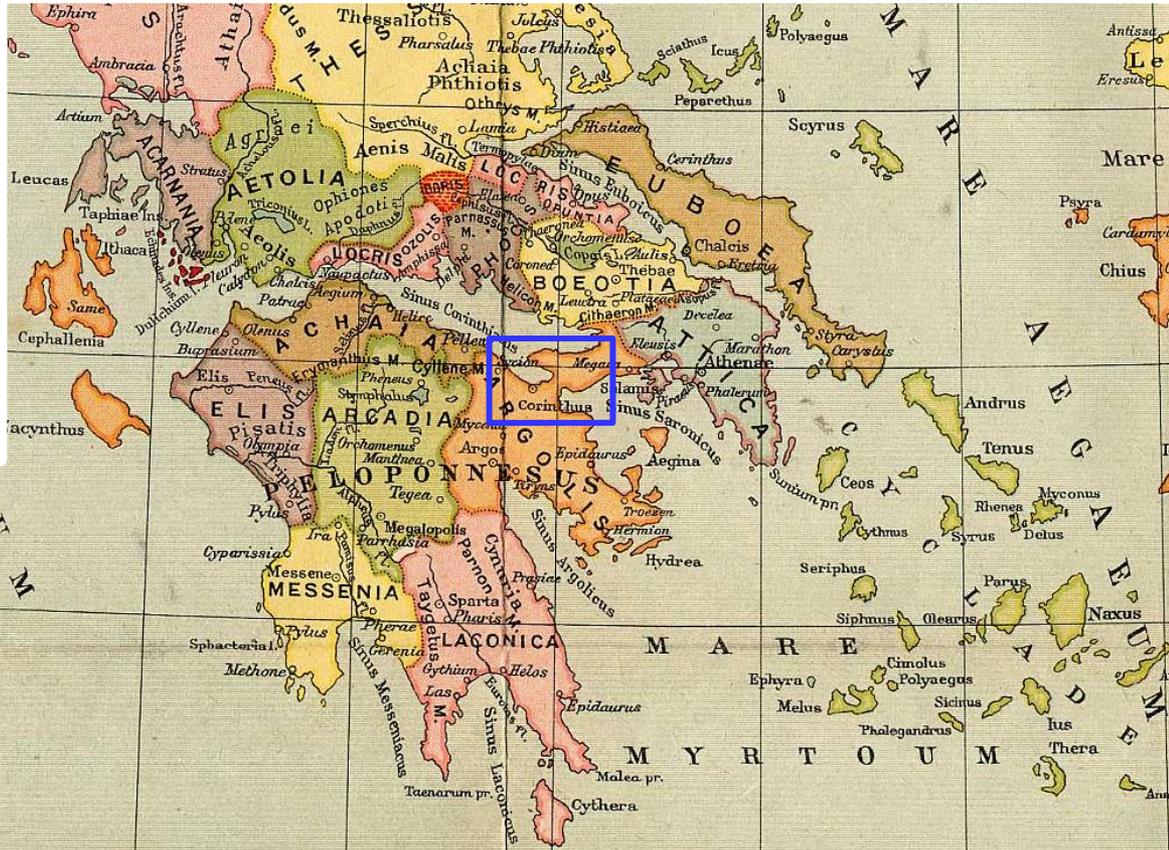
# STORIE D'INGEGNERIA TRA TERRA E MARE



DA CORINTO A PANAMA (PASSANDO PER SUEZ)



	Periodo di costruzione	Lunghezza (km)	L x H (m)	Costruttore
CANALE DI CORINTO	67 d.C. 1882 - 1893	6.3	24 x 8	SOCIETÀ DEL CANALE DI CORINTO
CANALE DI SUEZ	1859 - 1869	163	52 x 8	COMPAGNIE UNIVERSELLE DU CANAL MARITIME DE SUEZ De Lesseps
CANALE DI PANAMA	1878 - 1914	81.2	90 x 12	U.S.A.

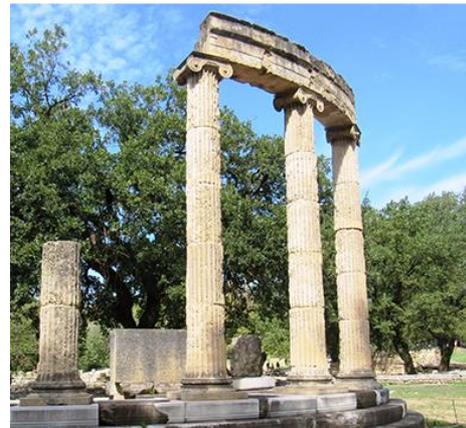


CORINTH Isthmos

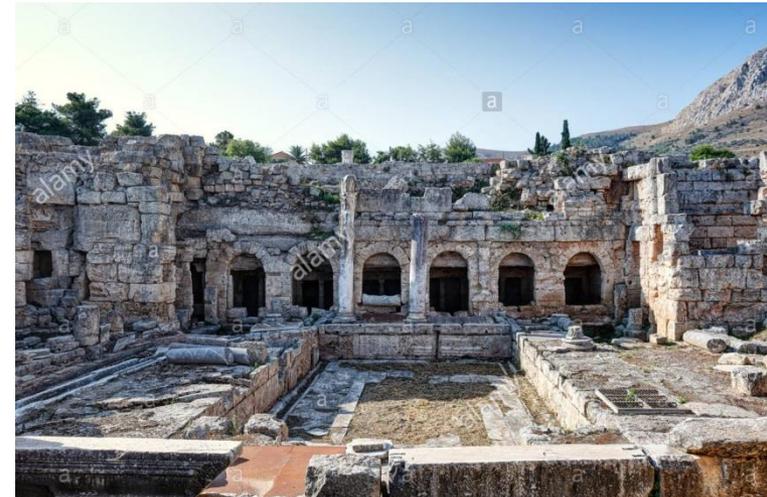
# IL CANALE DI CORINTO DA NERONE A GIORGIO I DI GRECIA (67 - 1893)



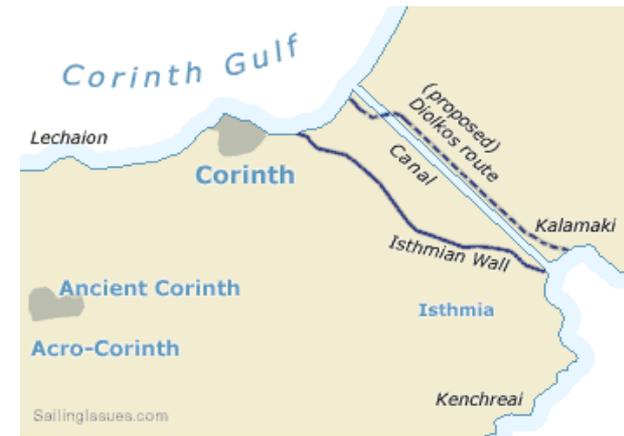
# Κόρινθος



Corinto era fra le più importanti città greche, grazie anche alla sua posizione geografica che ne fece un importante centro commerciale e culturale.



## IL DIOLKÒS (602 a.C.)

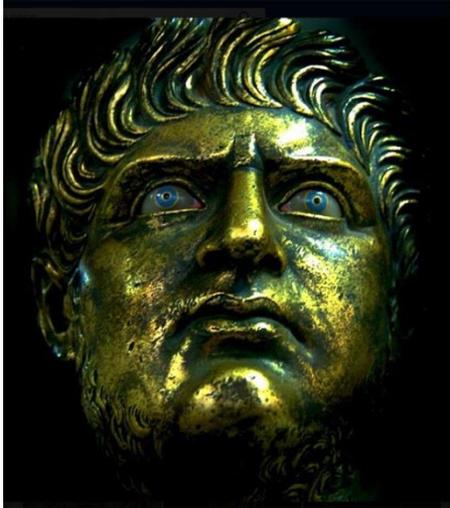


Nell'antichità, le navi che provenivano dall'Egeo verso il Mediterraneo Occidentale dovevano necessariamente circumnavigare il Peloponneso, impiegandovi circa 10 giorni.

Le difficoltà di navigazione e dei trasporti mercantili via terra spinsero nel 602 a.C. il Tiranno di Corinto Periandros a costruire il diolkòs (διολκός), una pista lastricata sulla quale le navi venivano trainate per attraversare l'istmo da una costa all'altra, mentre le merci venivano trasportate con animali da soma.



## IL CANALE DI NERONE (67 d.C.)



Durante l'epoca Romana anche Giulio Cesare e Caligola progettaronò l'apertura dell'istmo senza però dar luogo alla realizzazione. Su quei progetti si basò Nerone che nel 67 d.C. inaugurò personalmente l'inizio dei lavori dando il primo colpo nella terra dell'Istmo con un'accetta d'oro.

I lavori iniziarono da entrambi i lati dell' istmo e vi furono impiegati circa seimila schiavi.

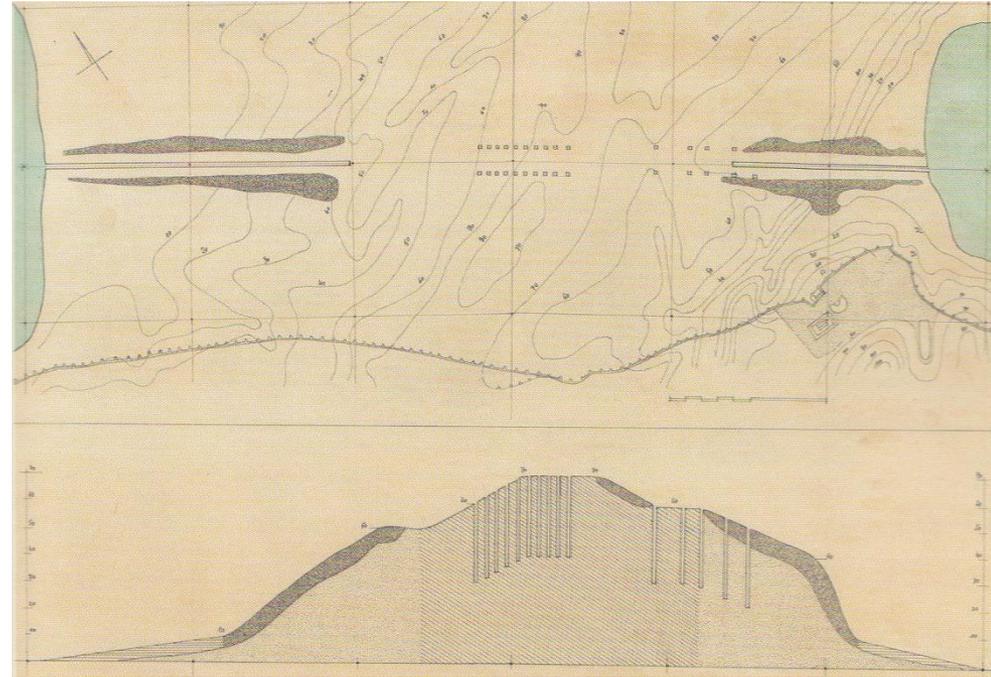
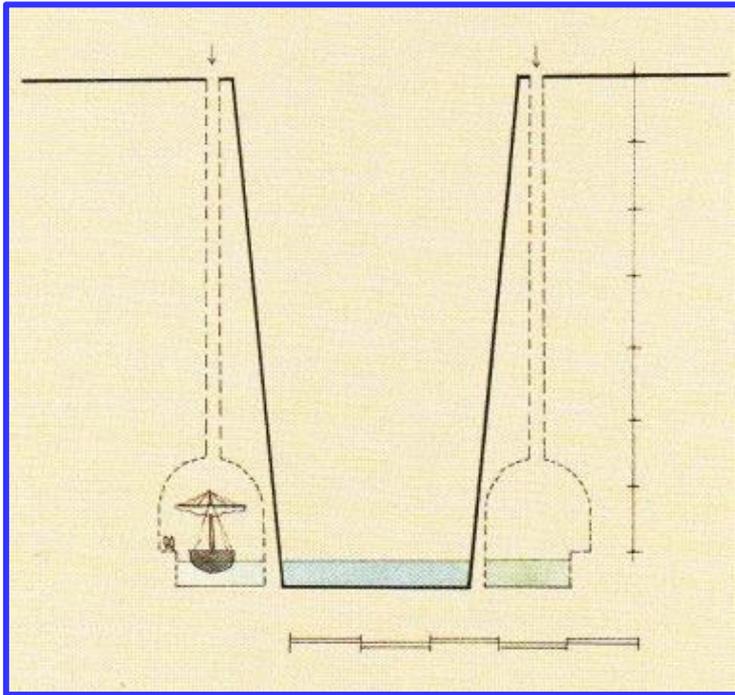
Con la morte di Nerone - avvenuta l'anno successivo - il progetto fu abbandonato: gli scavi delle due trincee erano arrivati a 3.300 metri di lunghezza per 40 di larghezza.

Secoli dopo, Veneziani e Bizantini tentarono di riprendere l'impresa, ma desistettero quasi subito per le difficoltà.

La conferma del tentativo di Nerone è testimoniata dal fatto che durante l'apertura definitiva del canale, nel 1882, furono trovati 26 pozzi sperimentali di 10 metri ciascuno.



## IL CANALE DI NERONE (67 d.C.)



Il progetto di Nerone prevedeva una soluzione estremamente originale. Dopo i due tratti iniziali, relativamente poco profondi, la parte centrale del canale, se scavata a cielo aperto, avrebbe comportato la rimozione di una quantità di roccia troppo grande anche per i pur notevoli mezzi tecnici e finanziari dei romani. Si decise pertanto di scavare due gallerie – una per ogni via di corsa - mediante una serie di pozzi d'accesso verticali , secondo tecniche ormai consolidate.

In effetti, durante i lavori di scavo del canale di fine '800, sono stati trovati 26 pozzi profondi 10 metri, distribuiti su due file parallele all'asse del canale.

## IL CANALE OTTOCENTESCO

Sull'onda dell'entusiasmo per l'apertura del Canale di Suez, nel 1869 il Governo greco approvava una legge per la costruzione del canale di Corinto, affidandone la realizzazione ad una società francese, che però dopo qualche anno fallì.

Nel 1881, il governo greco aggiudicò una concessione di 99 anni per la costruzione e lo sfruttamento del canale al generale ungherese Stefano Tyrr, che costituì la "SOCIETÀ INTERNAZIONALE DEL CANALE MARITTIMO DI CORINTO" ed iniziò i lavori il 23 aprile del 1882.

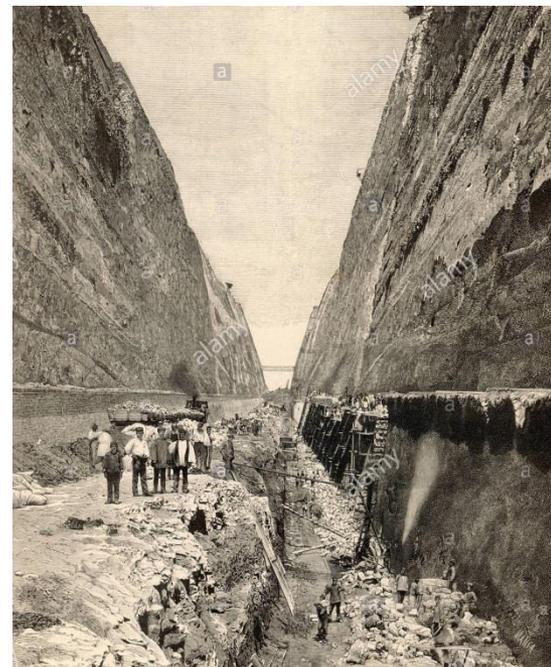
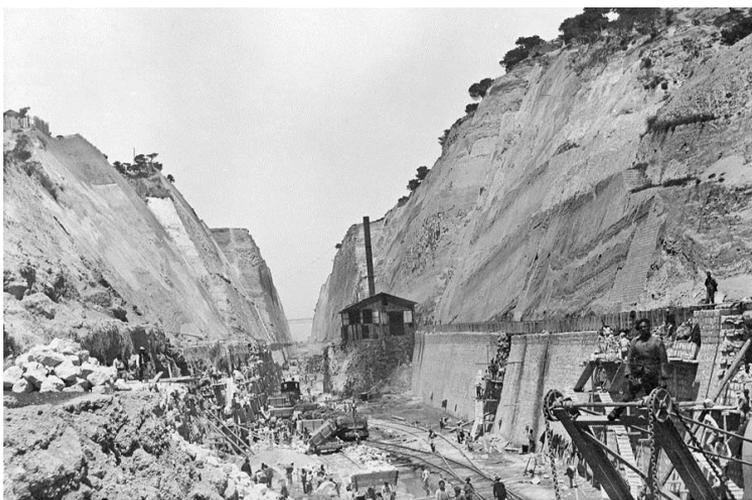
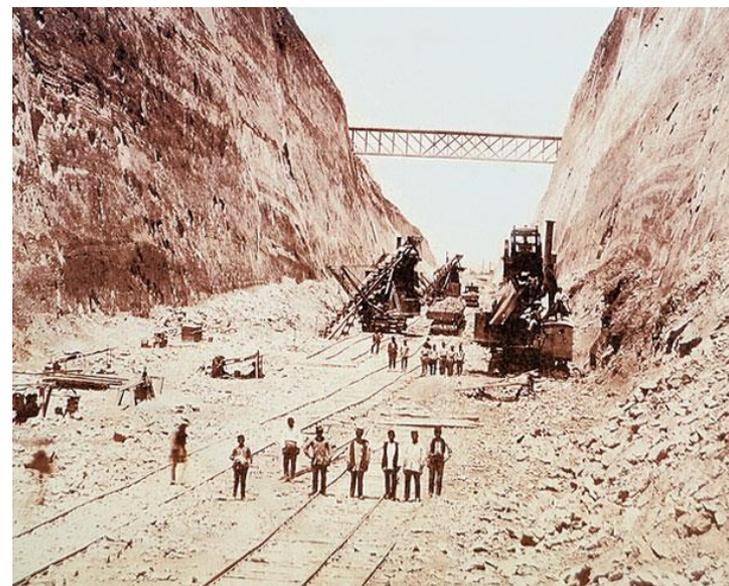
In fase studio del progetto, si decise di adottare lo stesso tracciato iniziato da Nerone risultato il più corretto ed economico.

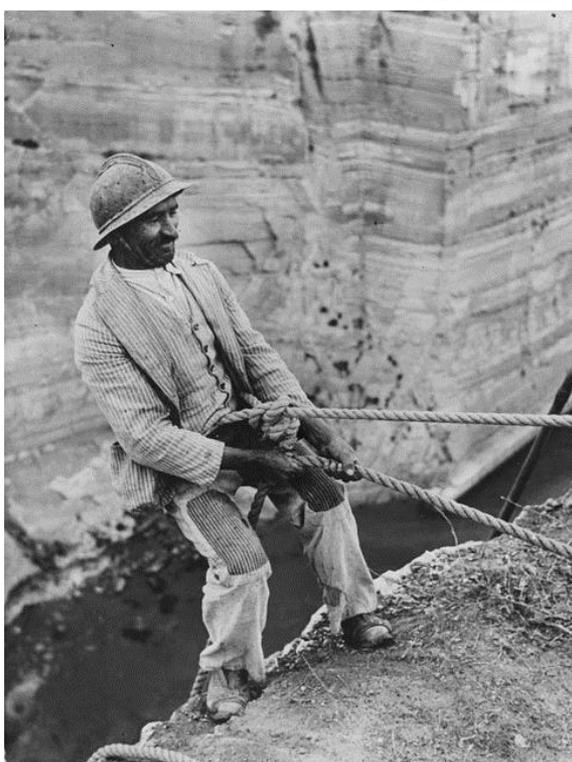
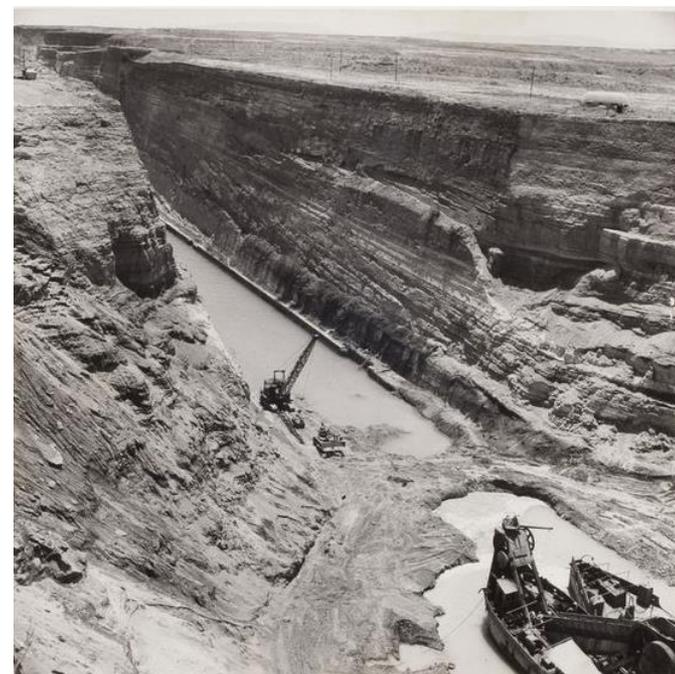
Nel 1890 la società di Tyrr interruppe i lavori per difficoltà economiche, e subentrò la "SOCIETÀ DEL CANALE DI CORINTO", di Andreas Syngros, che completò l'opera.

Il 25 Luglio 1893 avvenne l'inaugurazione del Canale, alla presenza di Re Giorgio I.



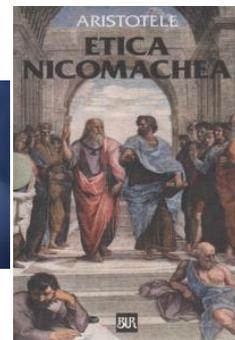
# I LAVORI DI COSTRUZIONE: 1882 - 1893





# INAUGURAZIONE DEL CANALE DI CORINTO : 25 LUGLIO 1893

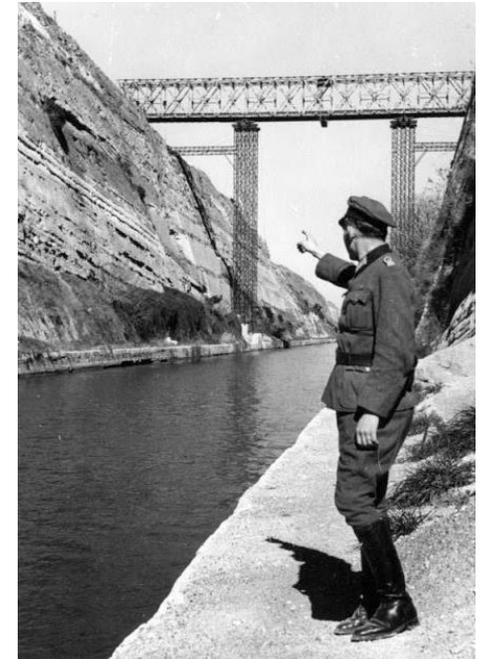




## IL CANALE TRA FRANE E BOICOTTAGGI

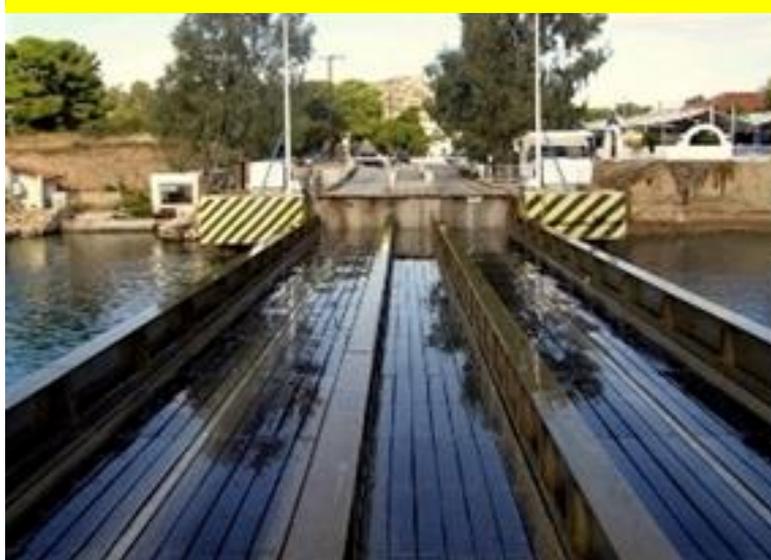
La presenza di un sistema di fratture subverticali che intersecano l'asse del canale ha causato, negli anni, la caduta di grandi volumi di roccia.

Dall'apertura fino al 1940 diverse frane hanno causato la chiusura del Canale per circa quattro anni complessivi. La frana di maggiore rilevanza fu quella del 1923, di oltre 41.000 metri cubi di roccia: il Canale restò chiuso per due anni.



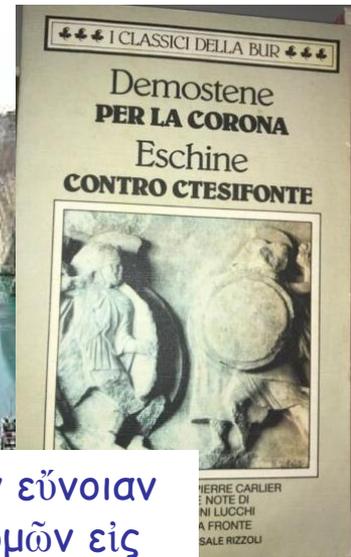
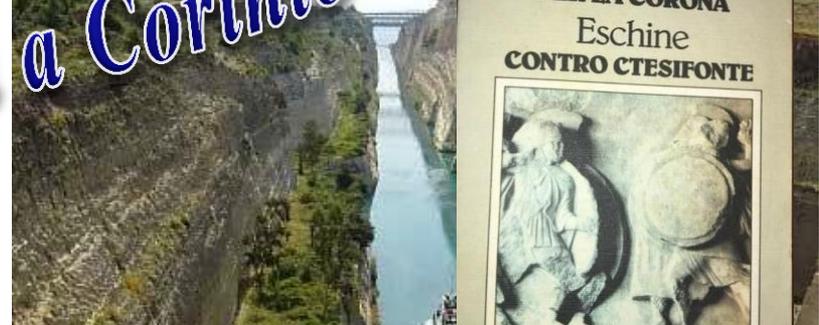
Nel 1944 i tedeschi in ritirata minarono il canale causando una frana di 60.000 metri cubi di terreno. A completare il sabotaggio, prima dell'esplosione, vi affondarono numerosi veicoli ferroviari per rendere ancora più difficile l'opera di riapertura, che durò cinque anni (1944 - 1949).

## IL PONTE SOMMERSO AD UNO DEGLI IMBOCCHI DEL CANALE





*αντίο στην Κόρινθο  
arrivederci a Corinto*



Πρῶτον μὲν, ὦ ἄνδρες Ἀθηναῖοι, τοῖς θεοῖς εὐχομαι πᾶσι καὶ πάσαις, ὄσσην εὐνοίαν ἔχων ἐγὼ διατελῶ τῇ τε πόλει καὶ πᾶσιν ὑμῖν, τοσαύτην ὑπάρξαι μοι παρ' ὑμῶν εἰς τουτονὶ τὸν ἀγῶνα ...

DEMOSTENE , Orazione per la corona (330 a.C.)

*Per prima cosa, o Ateniesi, prego tutti gli dei e tutte le dee che quanta benevolenza io nutro costantemente per la città e per tutti voi, altrettanta mi sia accordata da parte vostra in questo processo ....*

# IL CANALE DI SUEZ DAL FARAONE A DE LESSEPS (1859 - 1869)



Teatro dell'Opera del Cairo

Per la sera del 24 dicembre 1871  
PRIMA RAPPRESENTAZIONE DELL'OPERA NUOVA

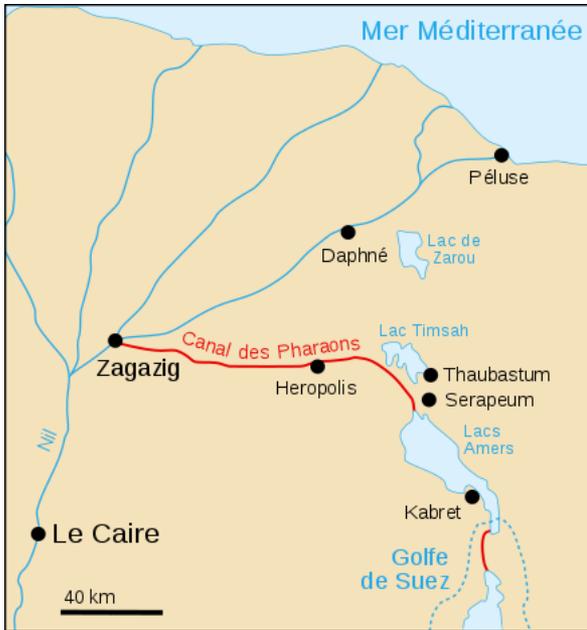
# AIDA

Libretto di Antonio Ghislanzoni  
Musica di  
**GIUSEPPE VERDI**

Personaggi:  
Aida: Antonietta Pozzoni Anastasi  
Radames: Pietro Mongini  
Eleonora Grossi e Francesco Steller

Direttore GIOVANNI BOTTESINI

Soggetto da uno spunto di A. Mariette  
rielaborato da C. Dulce



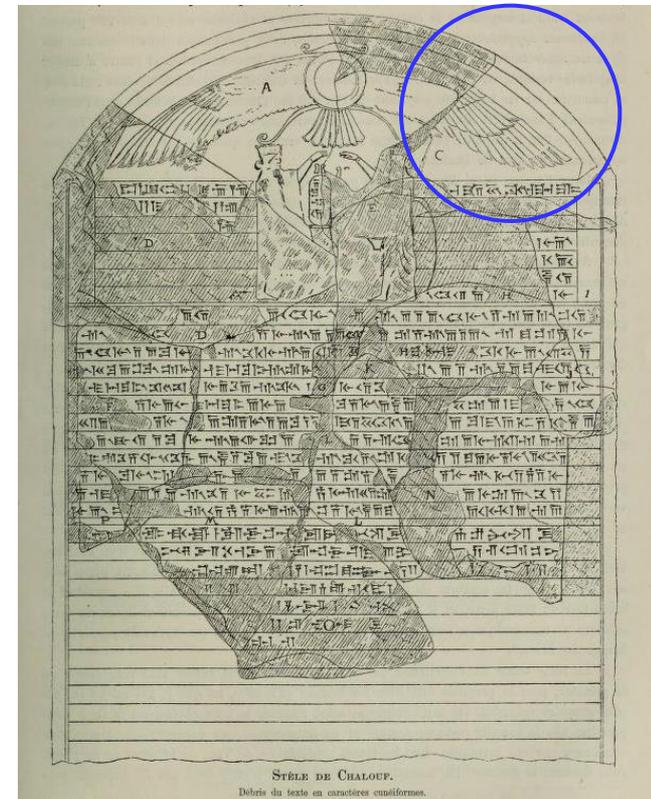
«IL RE DARIO \* HA DETTO : IO SONO PERSIANO. OLTRE ALLA PERSIA, HO CONQUISTATO L'EGITTO. ORDINAI DI SCAVARE QUESTO CANALE DAL FIUME CHIAMATO NILO CHE SCORRE IN EGITTO AL MARE CHE INIZIA IN PERSIA. QUANDO QUESTO CANALE FU SCAVATO COME IO AVEVO ORDINATO, NAVI SONO ANDATE DALL'EGITTO FINO ALLA PERSIA, COME IO AVEVO VOLUTO.» Stele di Kabret (Chalouf)

Il canale fu restaurato dal faraone Ellenistico Tolomeo II nel 250 a.C.

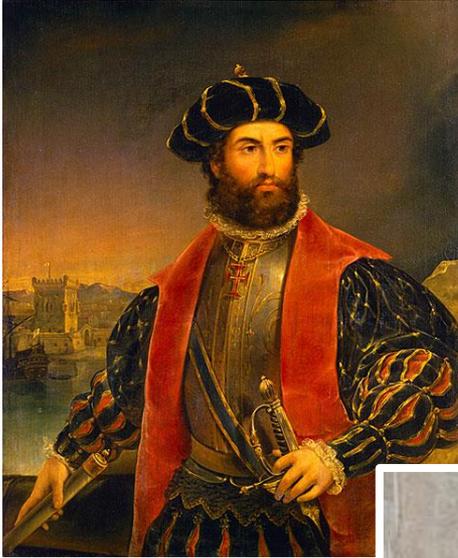


\* Dario (521-486 a.C.)

## IL CANALE DEI FARAONI

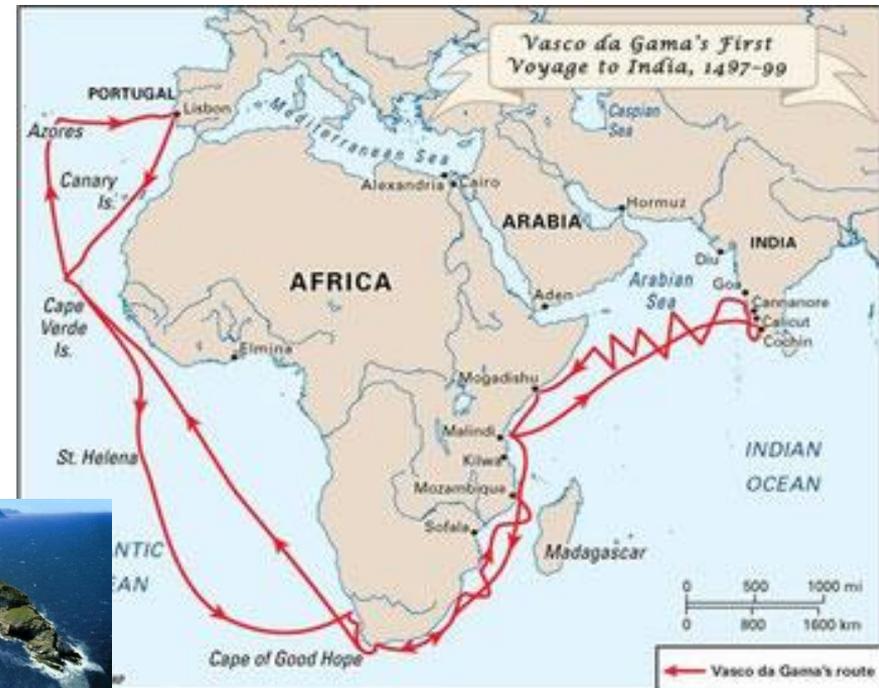


## LA "ROTTA DELLE INDIE" DI VASCO DA GAMA (1497)



Nel 1497 il portoghese Vasco da Gama aprì la via marittima delle Indie doppiando il Capo di Buona Speranza.

Questa nova rotta avrebbe presto messo in crisi le tradizionali vie carovaniere che dall'oriente raggiungevano il Mediterraneo e, in prospettiva, avrebbe tolto importanza a questo stesso mare. Ma solo sino all'avvento del Canale di Suez.





in principio fu San Marco:  
e la Serenissima guardò all'Egitto



Sopra: Il "Faro di Alessandria"  
(III secolo a.C. - 1323) in una stampa  
antica.



A sinistra: Il trafugamento del corpo di  
S. Marco (828 d.C) in un mosaico  
della omonima basilica a Venezia

## *i precedenti storici*



Agli inizi del '500 la Serenissima, per far fronte ai nuovi scenari creatisi con l'apertura della rotta delle Indie di Vasco da Gama, si proponeva di scavare un canale navigabile tra il Mediterraneo e il Mar Rosso:

*"Far una chava dal mar rosso che mettesse a drectura in questo mar de qua, come altre volte etiam fo rasonado de far: la qual chava se potria assegurar al una et l'altra bocha cum do forteze per modo che altri non potrian entrar ne ussir, salvo quelli volesseno el Signor Soldan..." (24 maggio 1504)*

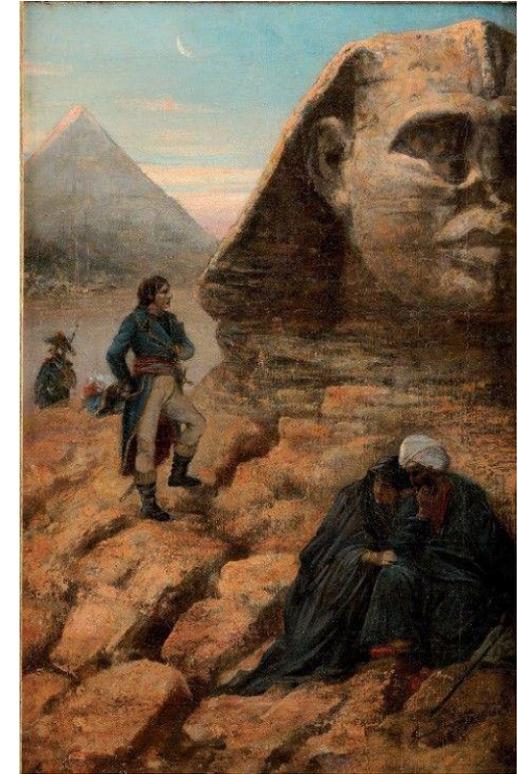
# LA "NUOVA ROTTA DELLE INDIE" PASSA PER SUEZ

**se accorci risparmi  
(e fai prima)**



## IL CANALE DI SUEZ : STUDI PRELIMINARI

Nel 1799, durante la spedizione in Egitto, Napoleone contemplò l'idea di costruire un canale, ma un rilievo preliminare concluse erroneamente che il dislivello fra i due mari fosse di 10 metri, il che avrebbe reso necessario un sistema di chiuse.



Nel 1846 fu costituita una "SOCIÉTÉ D'ÉTUDE POUR LE CANAL DE SUEZ", che rilevò con grande precisione la topografia della zona del canale, dimostrando che la differenza d'altitudine tra le superfici dei due mari era trascurabile.

## IL CANALE DI SUEZ : 1859 - 1869



Progetto: nel 1854 l'ingegnere italiano Luigi Negrelli redige il progetto del canale

Lavori in concessione: i lavori iniziano il 25 aprile 1859 e dureranno 10 anni: li dirige il francese Ferdinand de Lesseps, che ha fondato la COMPAGNIE UNIVERSELLE DU CANAL MARITIME DE SUEZ ottenendo da Said Pascià, Kedivè d'Egitto, la concessione di 99 anni a far data dall'apertura.

L'impresa è finanziata per il 56 per cento con capitali francesi e per la restante parte con fondi egiziani.

Inaugurazione ufficiale : 17 novembre 1869

Arrivano gli inglesi: la gestione franco-egiziana cambia però nel 1875, quando l'Egitto, per una grave crisi di liquidità, cede la sua quota di azioni al Regno Unito che così si assicura il controllo della rotta delle Indie.

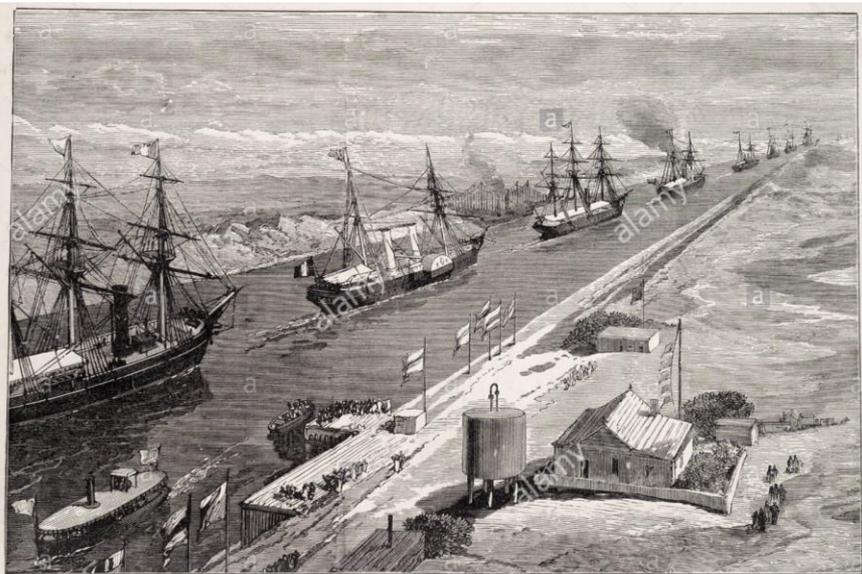
Crisi di Suez: nel 1956 Nasser - che ha bisogno di finanziare la costruzione della diga di Assuan - nazionalizza il canale, con ben 14 anni d'anticipo rispetto alla scadenza della concessione. Scoppia la guerra di Suez : Francia, Regno Unito e Israele attaccano l'Egitto, ma vengono fermati dagli americani e dai russi; il canale resterà chiuso per circa un anno.





I LAVORI : 1859 - 1869





OPENING OF THE SUEZ CANAL—PROCESSION OF SHIPS.



Cerimonia d'inaugurazione



INAUGURAZIONE DEL CANALE DI SUEZ  
17 NOVEMBRE 1869



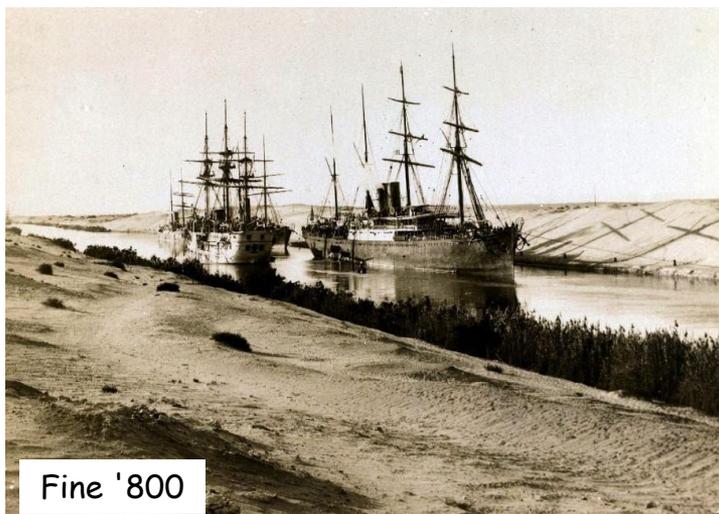
Monumento a De Lesseps a Porto Said

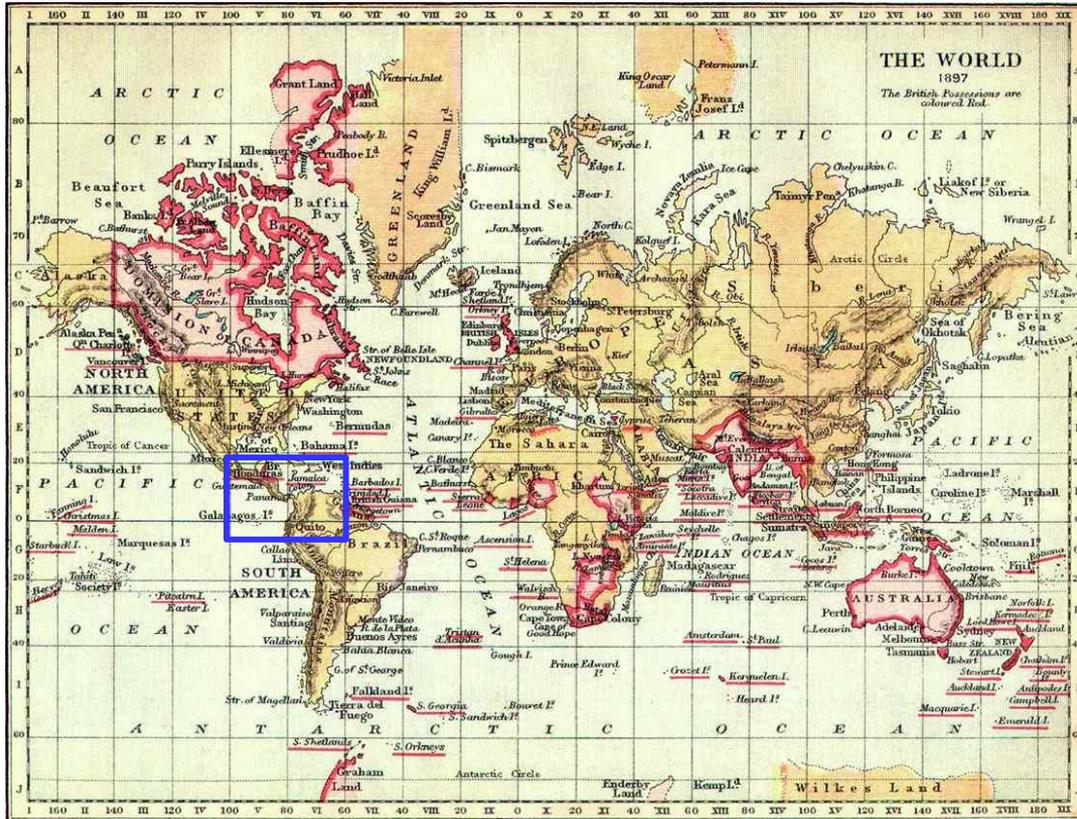
La sede della Compagnia del Canale A Porto Said



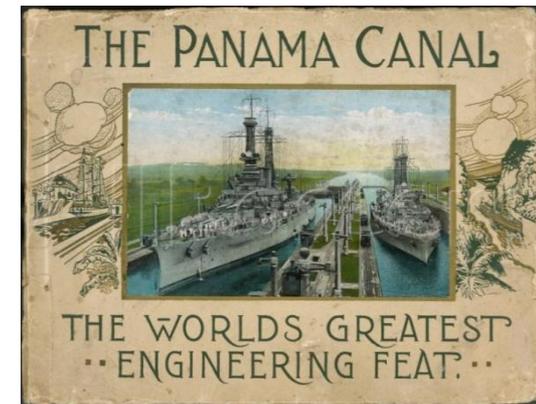
Il Teatro dell'Opera del Cairo, inaugurato nel 1871 con la prima dell'Aida







# IL CANALE DI PANAMA DA CARLO V A TEDDY ROOSEVELT (1514 / 1878 - 1914)

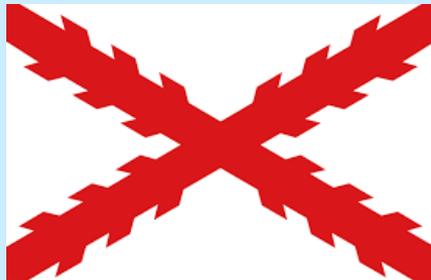


## XVI SECOLO : L'IMPERO SU CUI NON TRAMONTA MAI IL SOLE

L'istmo di Panama fu scoperto, quasi per caso, nel 1513 da un navigatore ed esploratore spagnolo, Vasco Nunez de Balboa, che fu il primo ad "affacciarsi" sulla più vasta distesa di mare del pianeta: l'Oceano Pacifico.



L'anno seguente l'allora sovrano di Spagna Carlo V d'Asburgo ordinò al Governatore di Panama una ricognizione dell'istmo per trovare una via navigabile tra una costa e l'altra. Poco dopo questi riferì che tra fiumi, dislivelli e vegetazione fittissima, **mai uomo avrebbe potuto costruire un passaggio sicuro per le navi in quella zona.**

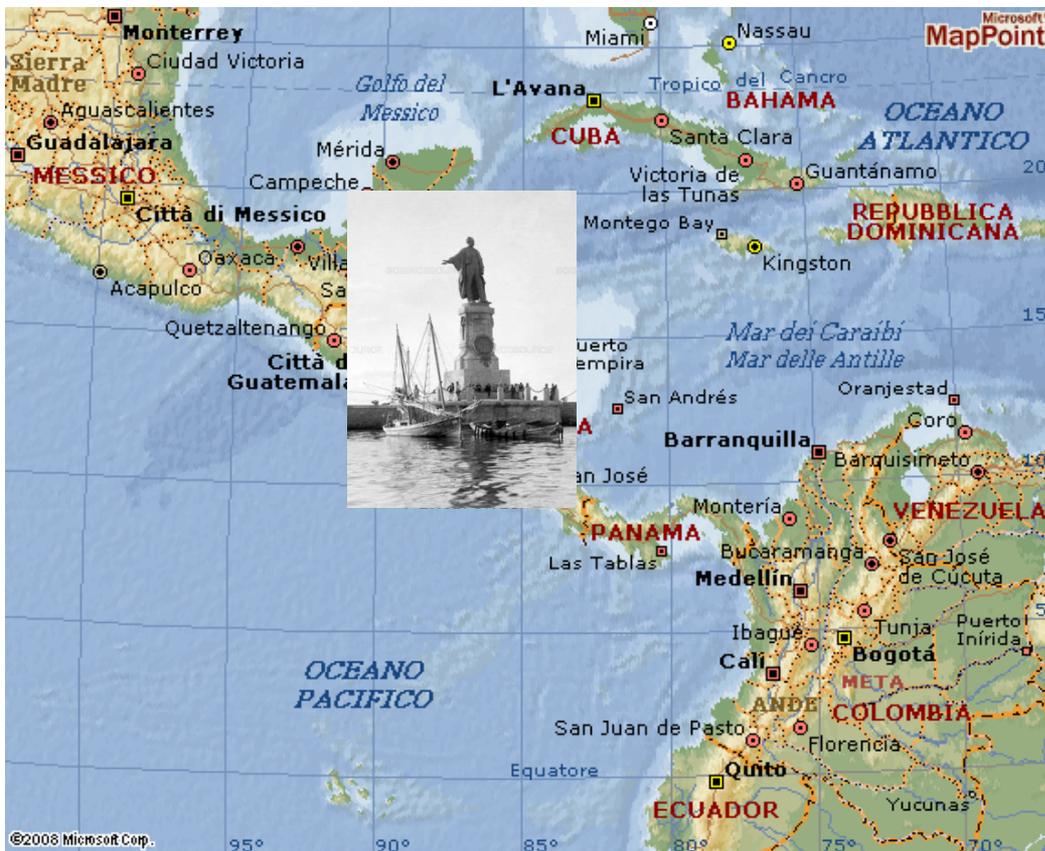


Raramente una previsione fu, nello stesso tempo, più giusta e più azzardata.



# DA SUEZ A PANAMA

## L'IMPEGNO FRANCESE PER IL CANALE DI PANAMA



Il 17 Novembre 1869 De Lesseps aveva assistito all'inaugurazione del "suo" Canale di Suez.

Una non piccola statue gli era stata (o si era) eretta a Porto Said (vedi foto).

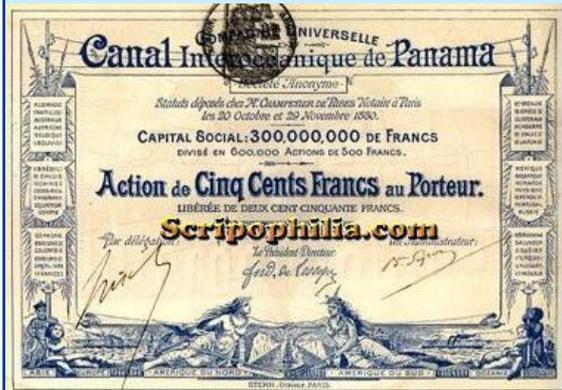
Non gli sarebbe dispiaciuto che, dopo lo scavo del Canale di Panama, un'altra gliene venisse eretta, abbastanza alta da potersi vedere da due oceani.

Ha così inizio l'avventura francese per il Canale di Panama.



## 1878 -1898 : IL PERIODO FRANCESE

Nel 1878 la "Société Civile Internationale du Canal Interocéanique par l'Isthme du Darien" ottiene dalla Colombia la concessione per l'attraversamento dell'istmo di Panama.



Nel 1880 De Lesseps fonda la «Compagnie Universelle du Canal Interocéanique De Panama» e, dopo aver acquistato dalla Società Civile i diritti di concessione, nel 1881 inizia i lavori per la costruzione di un canale a livello del mare.

Ben presto le difficoltà tecniche ed ambientali fanno lievitare i costi oltre ogni previsione e nel 1889 la società dichiara il fallimento, coinvolgendo circa 800.000 azionisti.

Al suo posto, per non perdere i diritti di concessione, viene costituita nel 1894 la «Compagnie Nouvelle du Canal de Panama » che cambia il progetto inserendo una serie di chiuse e riprende i lavori per sospenderli definitivamente nel 1898: sarà poi rilevata dagli Stati Uniti.

Erano stati scavati circa 46 milioni di metri cubi di roccia, ed erano stati spesi più di 287 milioni di dollari. I morti erano più di 20.000.

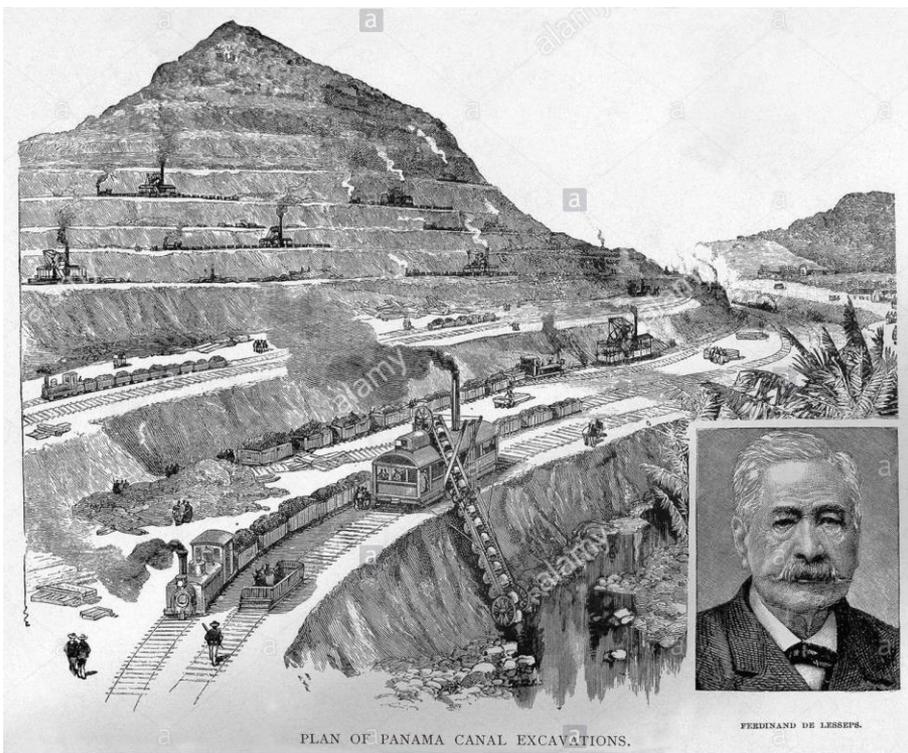
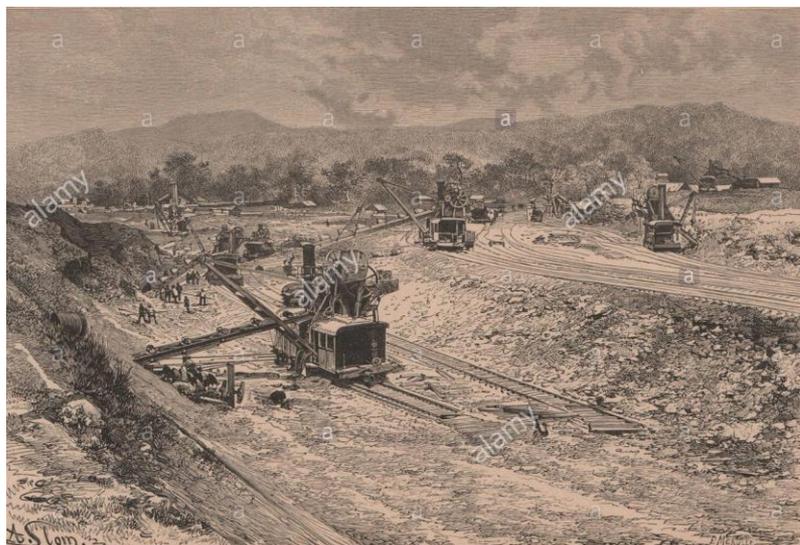


FOTO DEL PERIODO FRANCESE

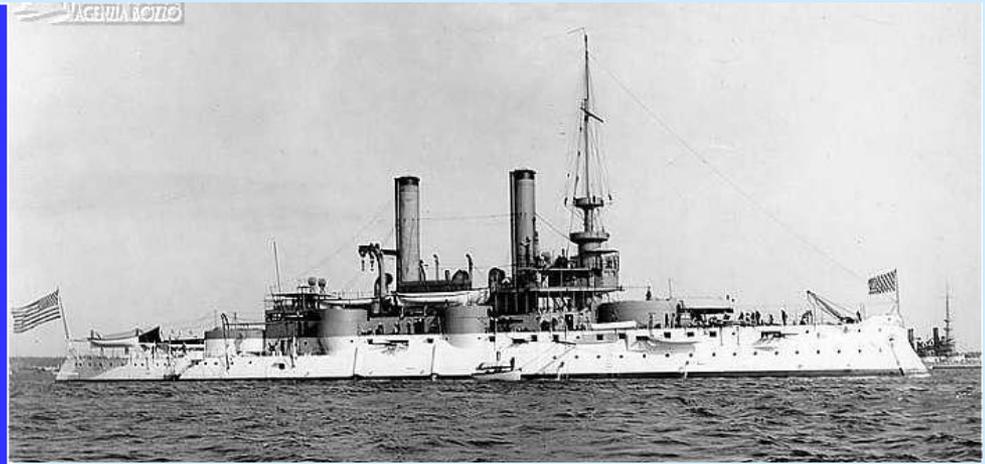


## 1898-1904 : IL PERIODO DI TRANSIZIONE

Nel 1898 i francesi abbandonano definitivamente l'impresa ed intessono contatti con gli Stati Uniti che ricomprano la concessione, le azioni e le proprietà della Compagnia nouvelle.

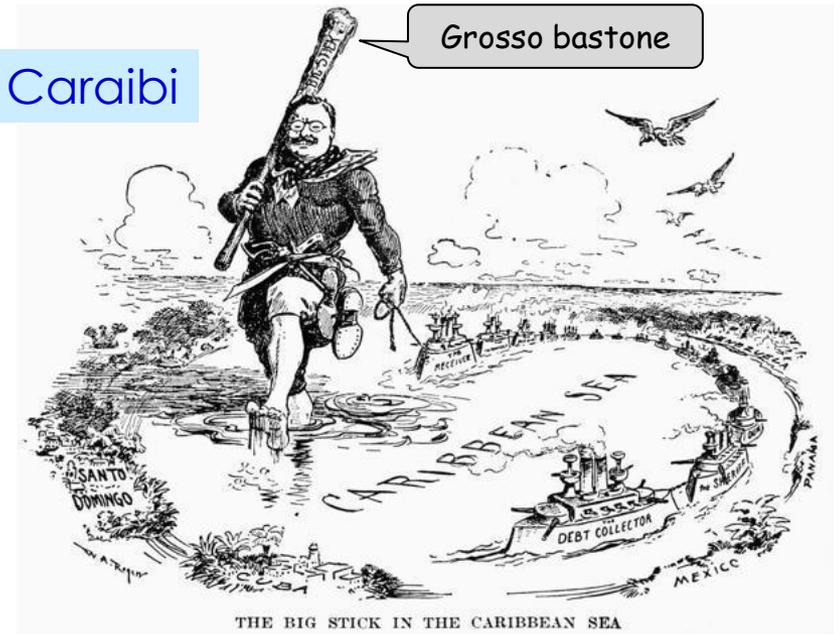
Nel 1903 la Colombia rifiuta di concedere i diritti di costruzione del canale agli Stati Uniti, che sobillano la secessione di Panama garantendone l'indipendenza con la propria presenza militare.

Il nuovo Stato concede agli USA i diritti di costruzione e gestione del canale per 100 anni : verrà restituito, con qualche anno in anticipo, il 31 Dicembre 1999.





Vignette umoristiche sulla politica USA nei Caraibi



## IL CANALE DI PANAMA



### 1904-1914 : LO SFORZO AMERICANO

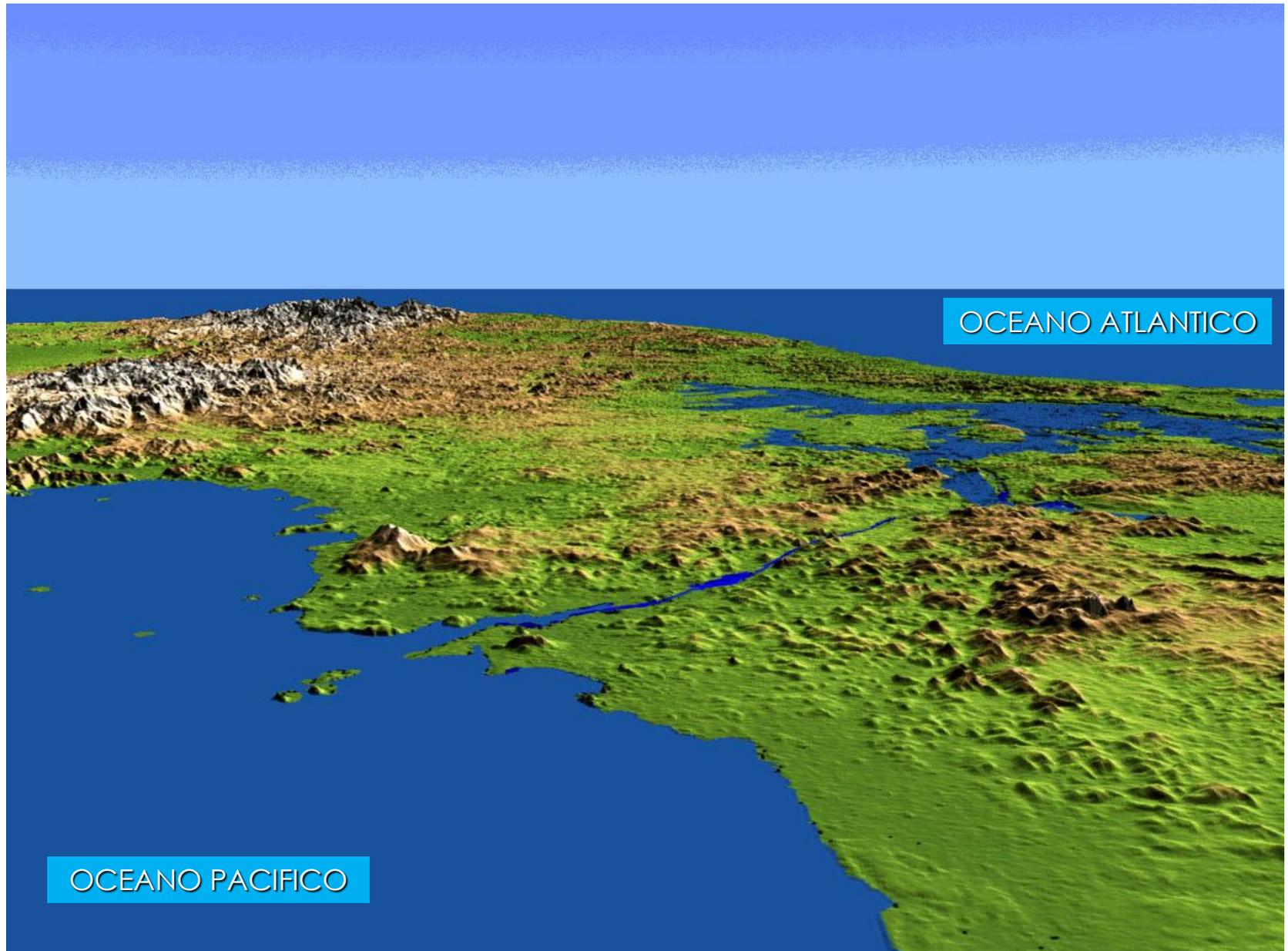
La costruzione del canale viene gestita direttamente dal governo federale USA ed avrà il suo più convinto ed efficace sostenitore in Theodore Roosevelt, presidente dal 1901 al 1909.

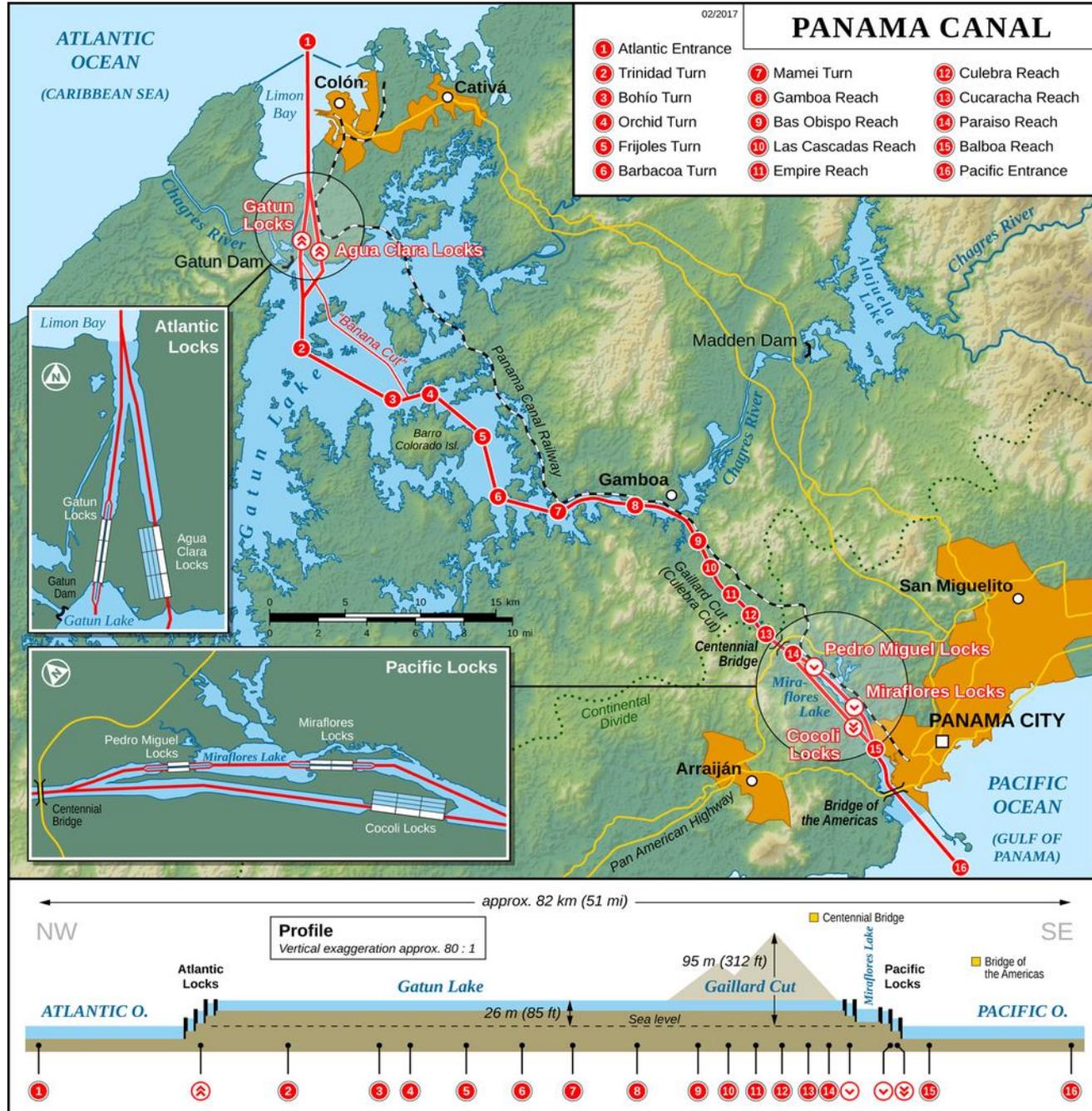
Gli americani iniziano i lavori nel 1904, affidandoli al Genio Militare (responsabile federale dei lavori civili riguardanti le vie d'acqua), e li completano nel 1914. Per i primi due anni gli sforzi vengono concentrati sugli aspetti igienico-sanitari per il debellamento delle malattie tropicali, e sull'organizzazione generale dei cantieri.

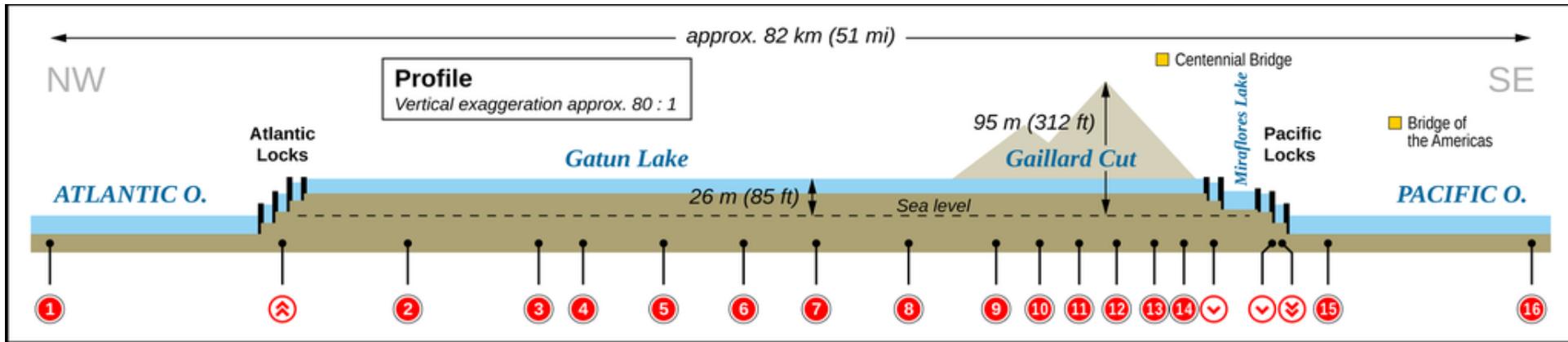
Nel 1906 viene approvato un progetto di canale con chiuse, per un costo stimato di 150 milioni di dollari (a consuntivo diventeranno più del doppio) e tempo di completamento di circa 10 anni. Tale soluzione prevede la creazione di tre laghi artificiali (quello di Gatun e Miraflores come vie d'acqua, e quello di Madden per alimentare le chiuse): per questo furono sbarrati due fiumi e costruite 3 dighe, di cui quella di Gatun era allora la diga in terra più grande del mondo.

Il 15 agosto 1914 il Canale viene ufficialmente aperto alla navigazione: il viaggio inaugurale lo compie la nave **Ancona**, della società «Navigazione Generale Italiana di Genova».

## VISTA D'INSIEME DEL CANALE DI PANAMA







PROGETTO FRANCESE

Canale a livello mare



Maggior volume di scavo

PROGETTO USA

Canale con chiuse + laghi artificiali

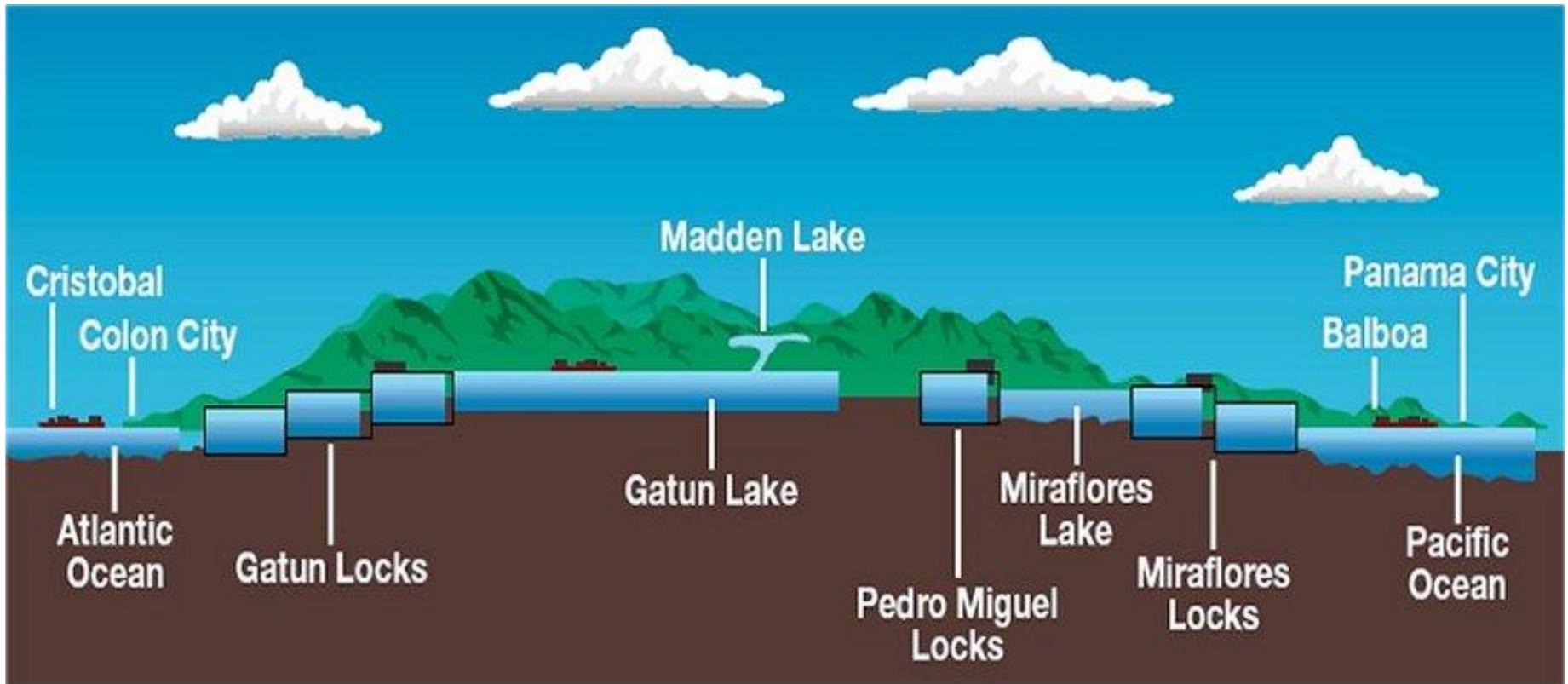


Minor volume di scavo

## IL PROFILO ED IL SISTEMA DI CHIUSE DEL VECCHIO CANALE DI PANAMA

Il dislivello tra i due oceani ed il lago Gatun è di 26 m  
Il Canale è lungo poco più di 80 km

(Il progetto iniziale francese, incompiuto per il fallimento della Compagnia, prevedeva di scavare il canale al livello del mare, con un battente di 9 m)



## LO SFIORATORE DELLA DIGA DI GATUN

La capacità di sfioro è di  $\approx 3920$  mc./sec.

La diga di Gatun fu la più grande diga in terra dell'epoca. Sbarra il fiume Chagres formando un lago di  $430$  km<sup>2</sup>.



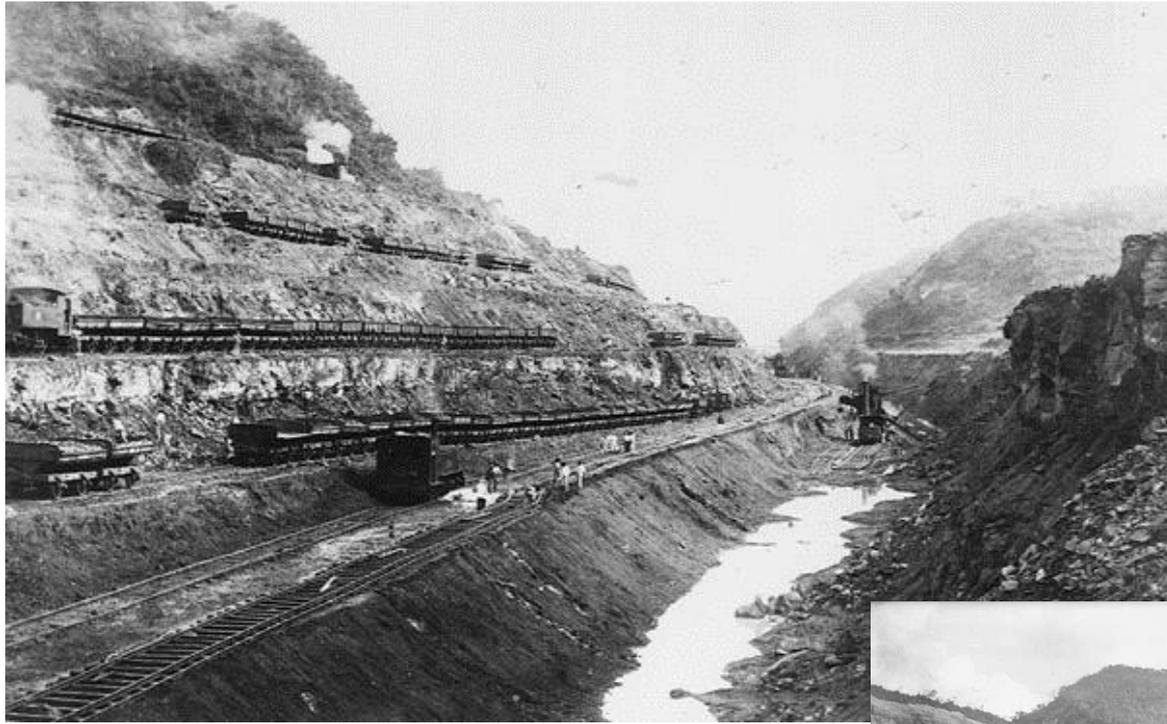


IL CANTIERE DEGLI  
AMERICANI

## CULEBRA CUT (nota anche come GAILLARD CUT)

Per la trincea, lunga oltre 14 km e con profondità massima di  $\approx 90$  m, furono scavati in totale  $\approx 74$  milioni di metri cubi di materiale, utilizzando 68 escavatori a vapore Bucyrus ed un complesso sistema di treni su più binari paralleli ideato da John F. Stevens, ingegnere capo dei lavori.

In alcune sezioni gli escavatori erano dispiegati a sette diverse quote, mentre erano impiegati contemporaneamente sette treni su sette binari paralleli.



## CULEBRA CUT

Il cantiere organizzato con più livelli di binari per lo scavo e l'allontanamento del materiale.



## CULEBRA CUT

Trivellazioni dei fori da mina per l'approfondimento del fondo scavo. La produzione media mensile era di 100 km di fori da mina, con utilizzo di 182 tonnellate di esplosivo.





Un escavatore Bucyrus al lavoro nella trincea di Culebra. L'organizzazione del lavoro messa a punto da Stevens prevedeva il frequente spostamento dei binari a servizio degli escavatori e dei treni : in un anno-tipo venivano spostati più di 1.600 km di binari.



Il Presidente Teddy Roosevelt, in visita ai lavori, immortalato su un Bucyrus.



Un escavatore Bucyrus al lavoro mentre carica lo smarino sul treno.

Dalla trincea di Culebra furono scavati circa 74 milioni di metri cubi di materiale.



Draghe e pontoni al lavoro per completare lo scavo del canale, ormai parzialmente allagato dopo il completamento delle chiuse.



## FRANE A CULEBRA CUT

Le frane furono il più serio problema tecnico nello scavo della trincea. Sui lati orientale ed occidentale se ne verificarono due del volume, rispettivamente, di 2.300.000 m<sup>3</sup> e 4.600.000 m<sup>3</sup>. In totale si verificarono 22 grandi frane.





13-X<sup>97</sup>-Gaillard Cut. Culebra Slides, east and west banks. Looking south. Oct. 5, 1915.

La frana del 1915, che causò la chiusura del canale per sette mesi.



## I LAVORI ALLE CHIUSE

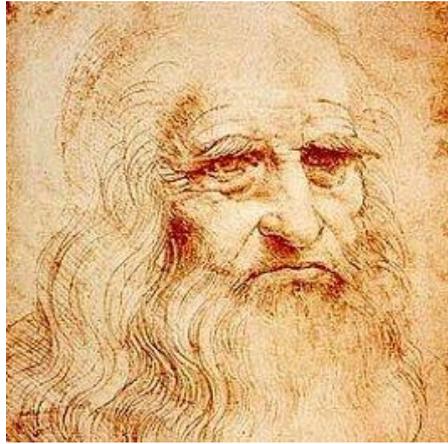
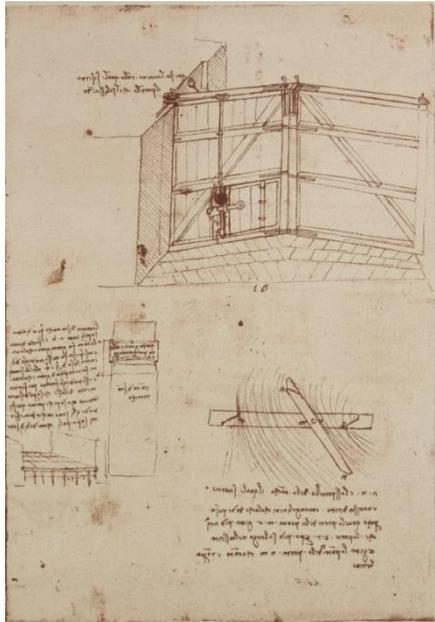


Il costo del canale impegnò per oltre 10 anni buona parte del bilancio federale degli Stati Uniti.

Prima del termine dei lavori la mano d'opera raggiunse il numero di 48.000 persone.

# MONTAGGIO DI UNA PARATOIA : LA LUCE È DI 33.50 m

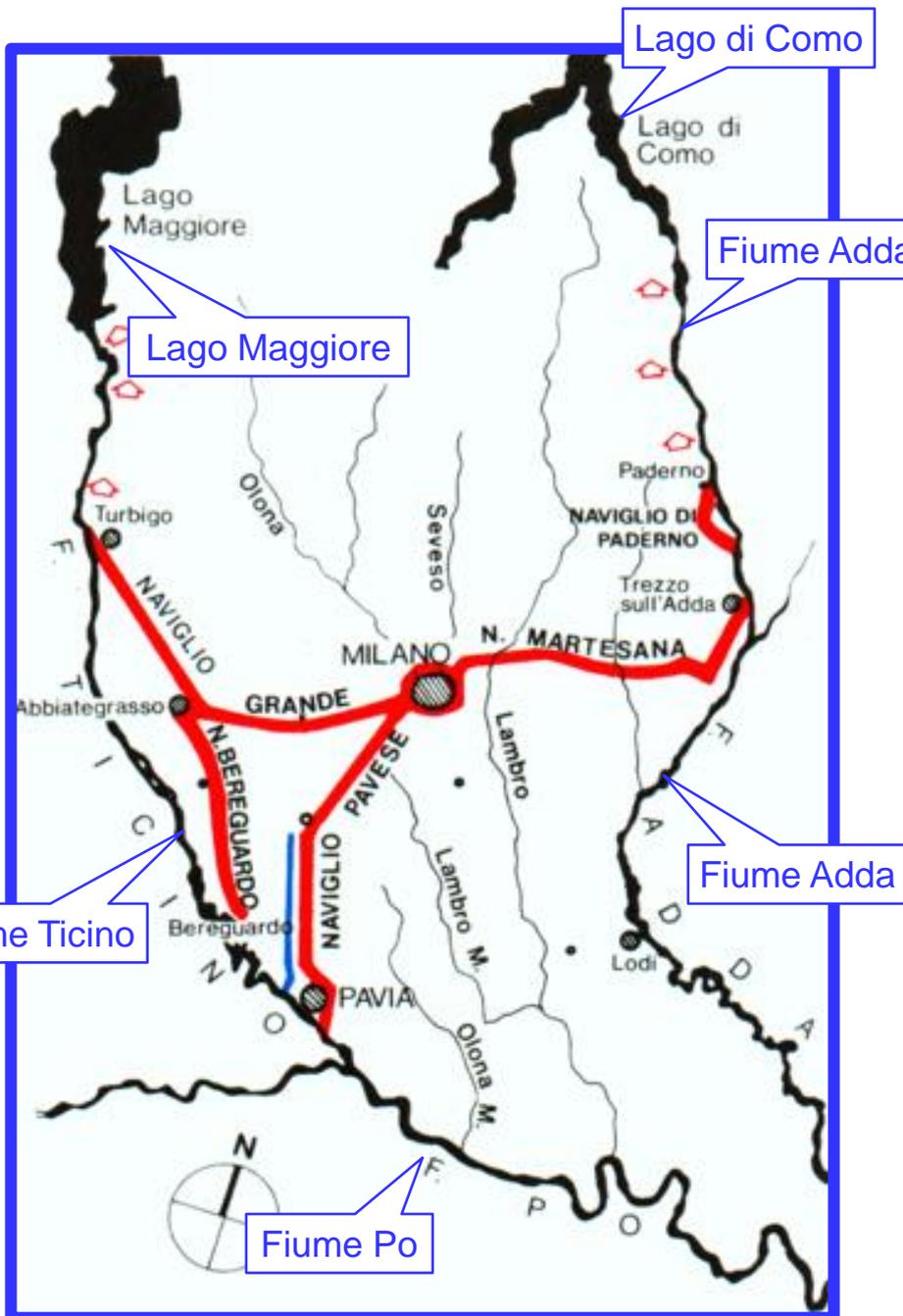




Forse non le ha inventate Leonardo  
ma le chiuse a cerniera si chiamano  
"vinciane"

Milano, Naviglio San Marco.  
Conca dell'Incoronata (1496)  
di Leonardo da Vinci





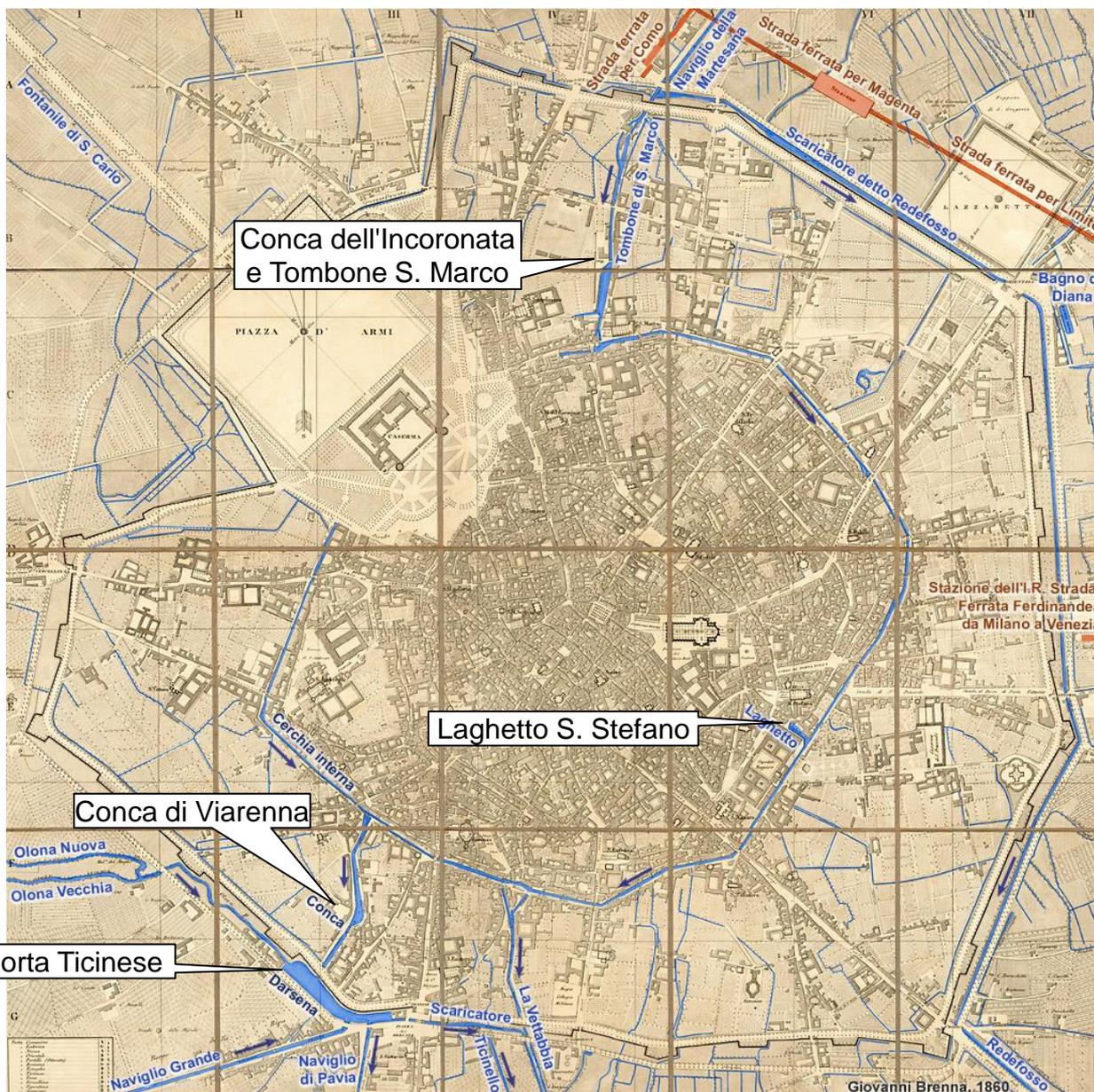
## MILANO E I SUOI NAVIGLI

- ❑ Naviglio Grande (? ÷ 1272)
  - 50 km
- ❑ Naviglio Martesana (1454÷1496)
  - 38 km
- ❑ Naviglio di Paderno (1515/1591/1773÷1777)
  - 2.6 km
- ❑ Naviglio Pavese (1359/1601÷1610/1812÷1819)
  - 33 km
- ❑ Cerchia dei Navigli (1156÷1387)

## STORIA DI MILANO

- ❑ Ducato dei Visconti e Sforza : 1277 ÷ 1500
- ❑ Contesa tra Francia e Spagna: 1500 ÷ 1525
- ❑ Spagna: 1525 ÷ 1700
- ❑ Asburgo d'Austria: 1700 ÷ 1796
- ❑ Francia di Napoleone: 1796 ÷ 1815
- ❑ Asburgo d'Austria: 1815 ÷ 1859

## I NAVIGLI DELLA "CERCHIA INTERNA" A MILANO



## LA DARSENA DI PORTA TICINESE

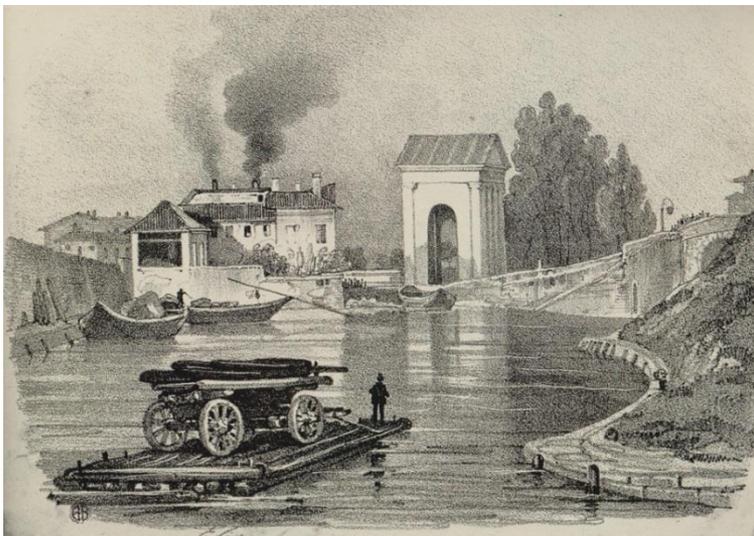


Il Naviglio Grande entra in darsena (sullo sfondo) dal Ponte dello Scodellino

La Darsena di Porta Ticinese fu realizzata nel 1603 dagli spagnoli come trasformazione ed ampliamento del preesistente laghetto di Sant'Eustorgio.

Ha come immissario il Naviglio Grande e l'Olona, come emissario il Naviglio Pavese e come scolmatore il Ticinello.

Misura 750 metri di lunghezza e 25 metri di larghezza.



In una stampa di inizio '800



La darsena nel 1880, con le mura spagnole e, sotto il ponte, la foce del Canale Vallone

## LA DARSENA DI PORTA TICINESE



inizio '900



inizio '900



anni '20



≈ 1910

## LA DARSENA DI PORTA TICINESE

sotto la neve, anni '20



anno 1954

La Darsena è stata per secoli lo snodo più importante per il traffico fluviale commerciale di Milano: nel 1953 era al terzo posto nella classifica dei porti nazionali italiani per tonnellaggio.

anni '60



anni '60



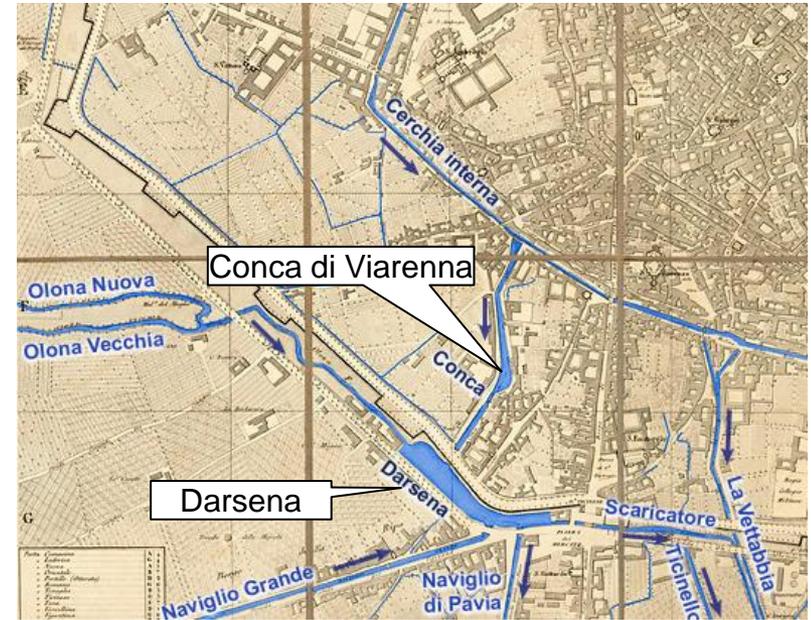
Milano - Darsena di Porta Ticinese

L'ultimo barcone che trasportava merci entrò in Darsena il 30 marzo 1979, ponendo fine alla secolare storia del trasporto commerciale lungo le vie d'acqua milanesi e all'ambiente portuale che vi gravitava intorno.

# LA DARSENA DI PORTA TICINESE, OGGI



# LA CONCA DI VIARENNA : DOVE LE NAVI PASSAVANO "AD UFO"



La Conca di Viarenna venne realizzata nel 1438 per superare il dislivello di circa due metri tra la Cerchia dei Navigli e la Darsena di Porta Ticinese (allora Laghetto di S. Eustorgio).

E' stata forse la prima conca di navigazione costruita in Europa.

Con tutta la Cerchia dei Navigli, è stata interrata nel 1929 - 1930.

# LA CONCA DI VIARENNA : DOVE LE NAVI PASSAVANO "AD UFO"



La conca di Viarenna oggi, con l'edicola recante il decreto ducale del 1497.



Veduta della conca di Viarenna (1938)  
Giovanni Colombo (1908-1972)

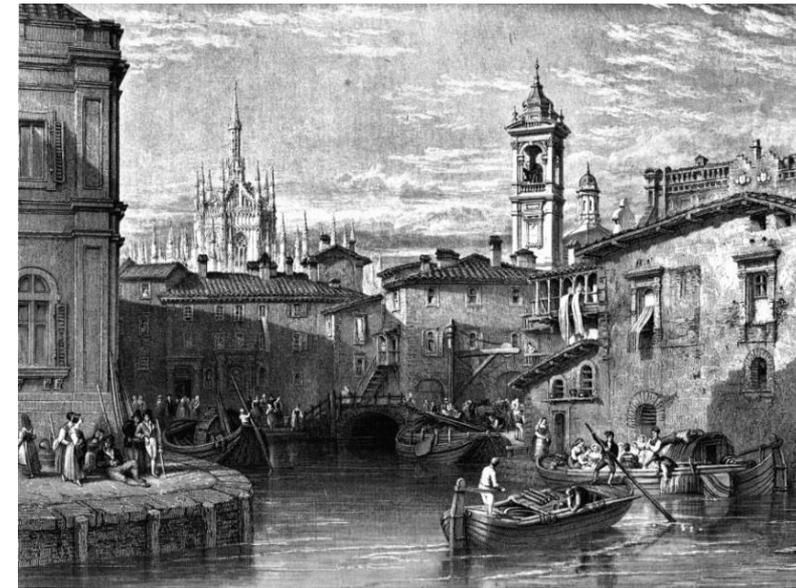


Dopo l'interramento, ad una delle estremità della conca è stata ricollocata l'edicola che riporta il Decreto Ducale del 1497 che esentava dal pedaggio e dal dazio i barconi destinati al trasporto dei marmi per la costruzione del Duomo, recanti la scritta AUFO (Ad Usum Fabricae Opus). Da cui "a ufo" (senza pagare).

## IL LAGHETTO DI SANTO STEFANO



Fu costruito nel 1388 come un piccolo porto per abbreviare il trasporto via terra dei marmi di Candoglia destinati alla Fabbrica del Duomo (che si intravede nei quadri), che prima venivano scaricati dai barconi alla darsena di Porta Ticinese.



Venne interrato nel 1857 per motivi di igiene pubblica, data la vicinanza con l'Ospedale Maggiore di Milano.

# MILANO E I SUOI NAVIGLI



il laghetto (conca) di S. Marco



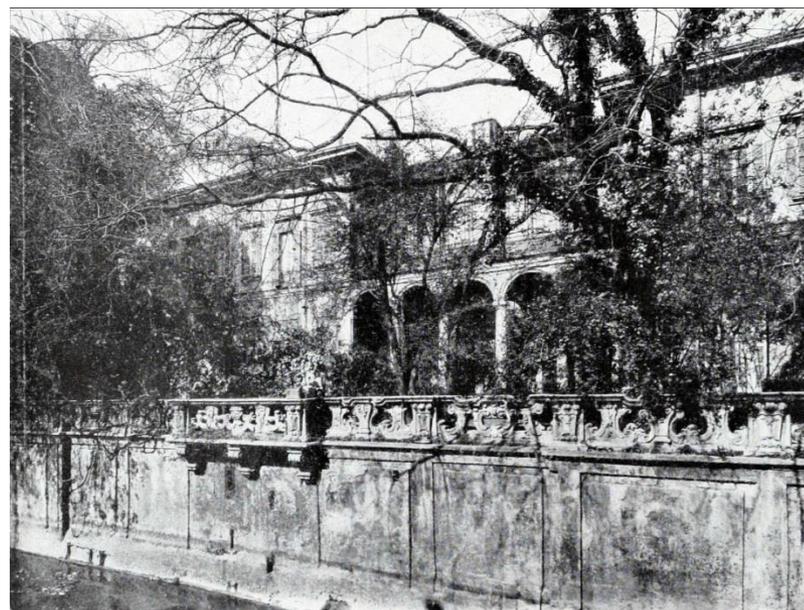
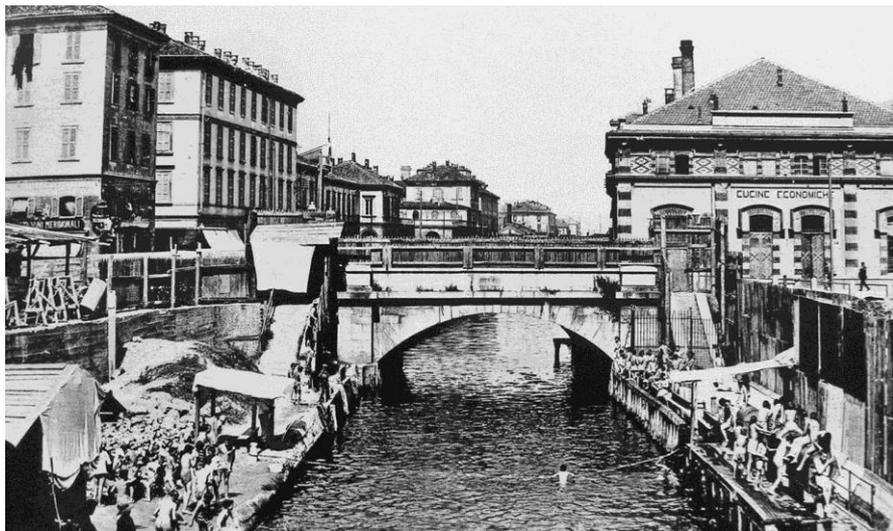
# MILANO E I SUOI NAVIGLI



# MILANO E I SUOI NAVIGLI



# MILANO E I SUOI NAVIGLI



# MILANO E I SUOI NAVIGLI



## CANOTTIERI SUI NAVIGLI



Gli chalet della Canottieri Olona (a sin) e della Canottieri Milano (a dx) alla darsena, ad inizio '900



Canottieri in darsena, anni '20

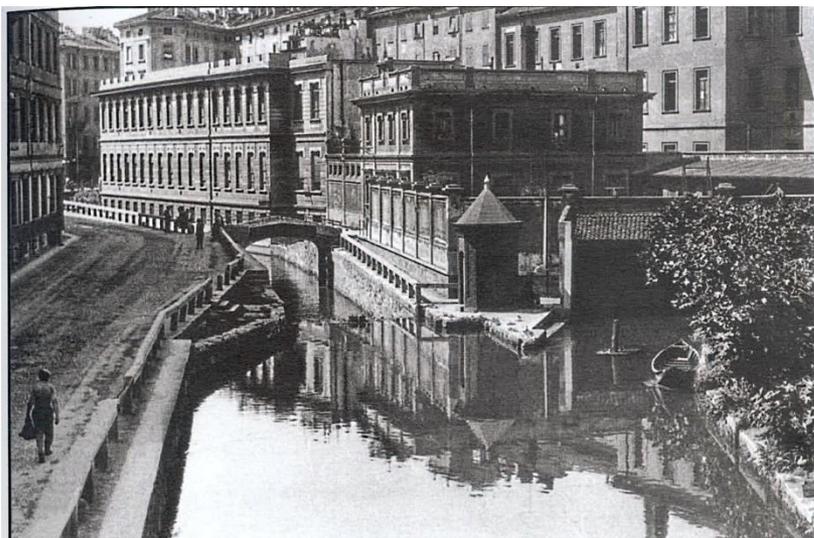


Gara di nuoto tra la Canottieri Milano e la Canottieri Olona - 1903

# OGGI È GIORNO DI BUCAIO



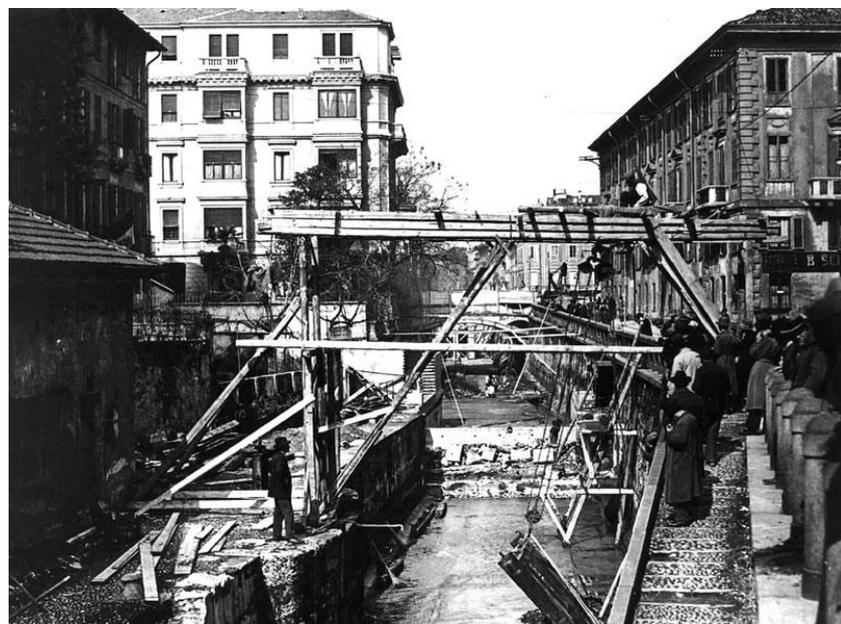
# MILANO E I SUOI NAVIGLI



# COPERTURA DEI NAVIGLI DELLA "FOSSA INTERNA" E DEL NAVIGLIO VALLONE 1929-1930



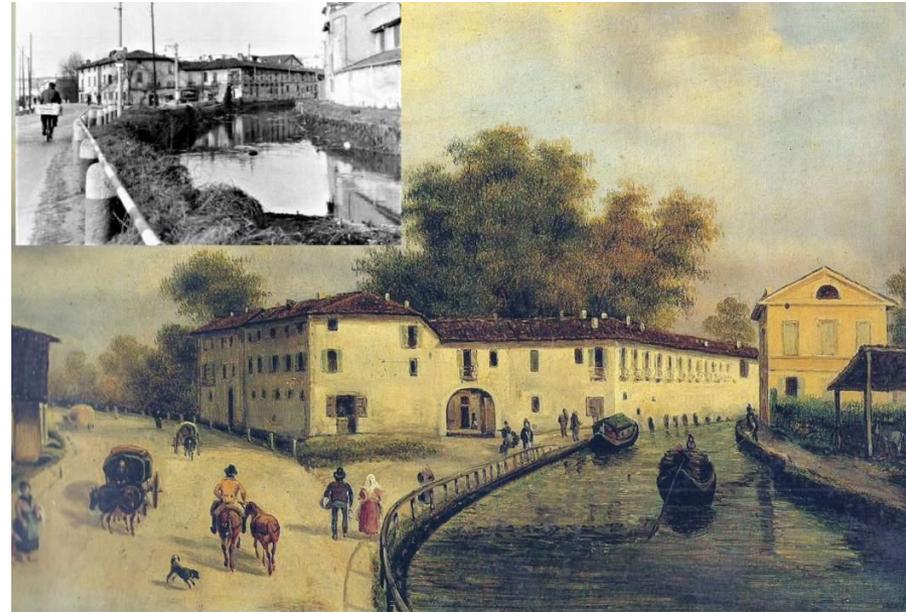
# COPERTURA DEI NAVIGLI DELLA "FOSSA INTERNA" E DEL NAVIGLIO VALLONE 1929-1930



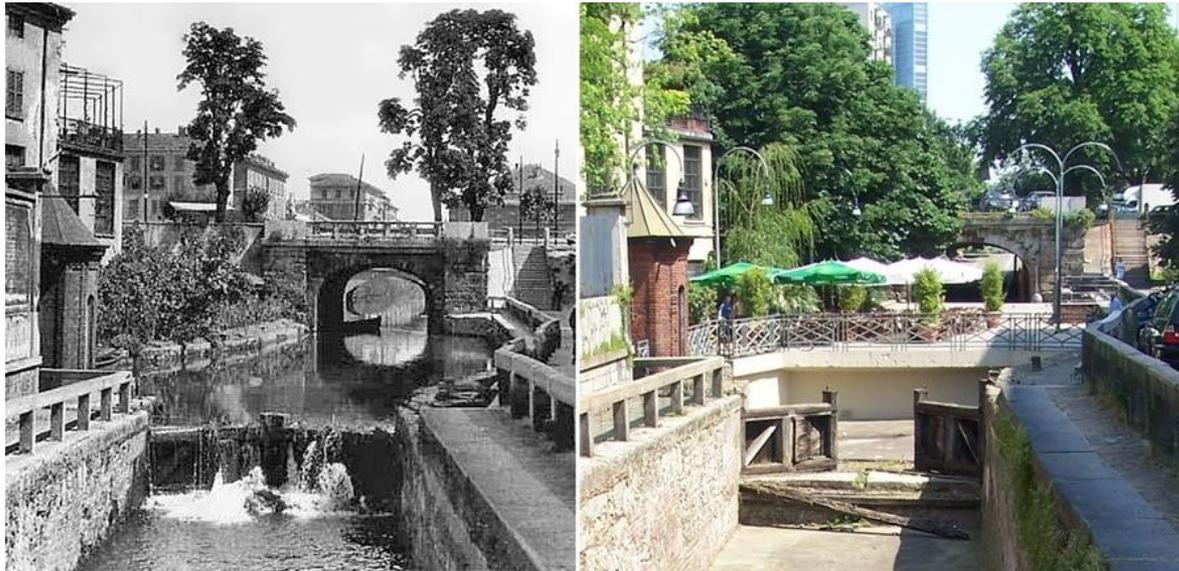
## COPERTURA DEL NAVIGLIO DELLA MARTESANA - ANNI '60



# IERI ED OGGI: COME ERAVAMO



Lo stesso scorcio in un quadro dell'800 ed in una foto di metà '900



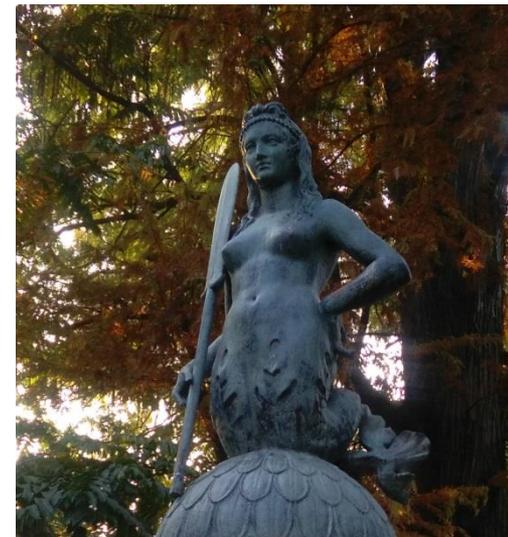
Le chiuse a Ponte delle Gabelle

# I NAVIGLI "RESTITUITI"



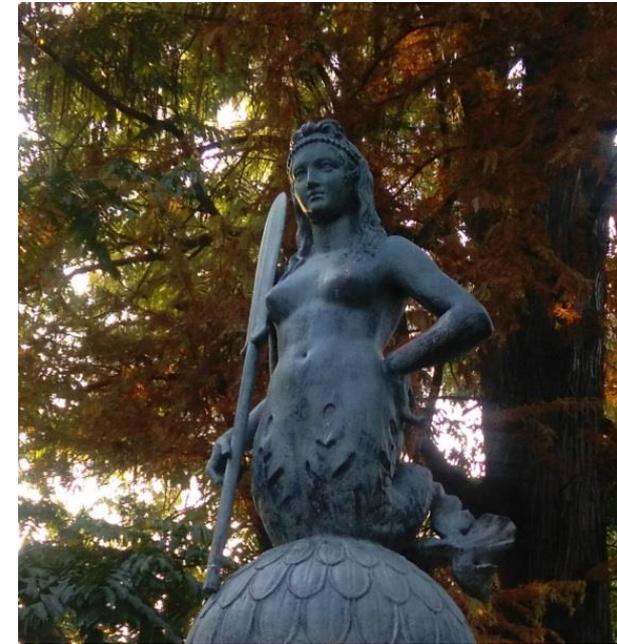
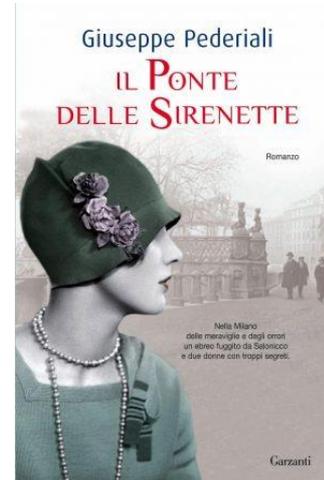
# PER NON DIMENTICARE: IL PONTE DELLE SIRENETTE

Ponte in ferro ottocentesco, ornato da quattro statue di sirene in ghisa, superava il Naviglio in via Visconti di Modrone.



Il ponte rimontato nel Parco del Sempione





Le sirene erano familiarmente chiamate  
*"sorelle Ghisini"*  
o anche  
*"i sorei del pont di ciapp"*



LASCIAMO  
LA MILANO DEI NAVIGLI  
E TORNIAMO A PANAMA





# INAUGURAZIONE DEL CANALE

15 AGOSTO 1914

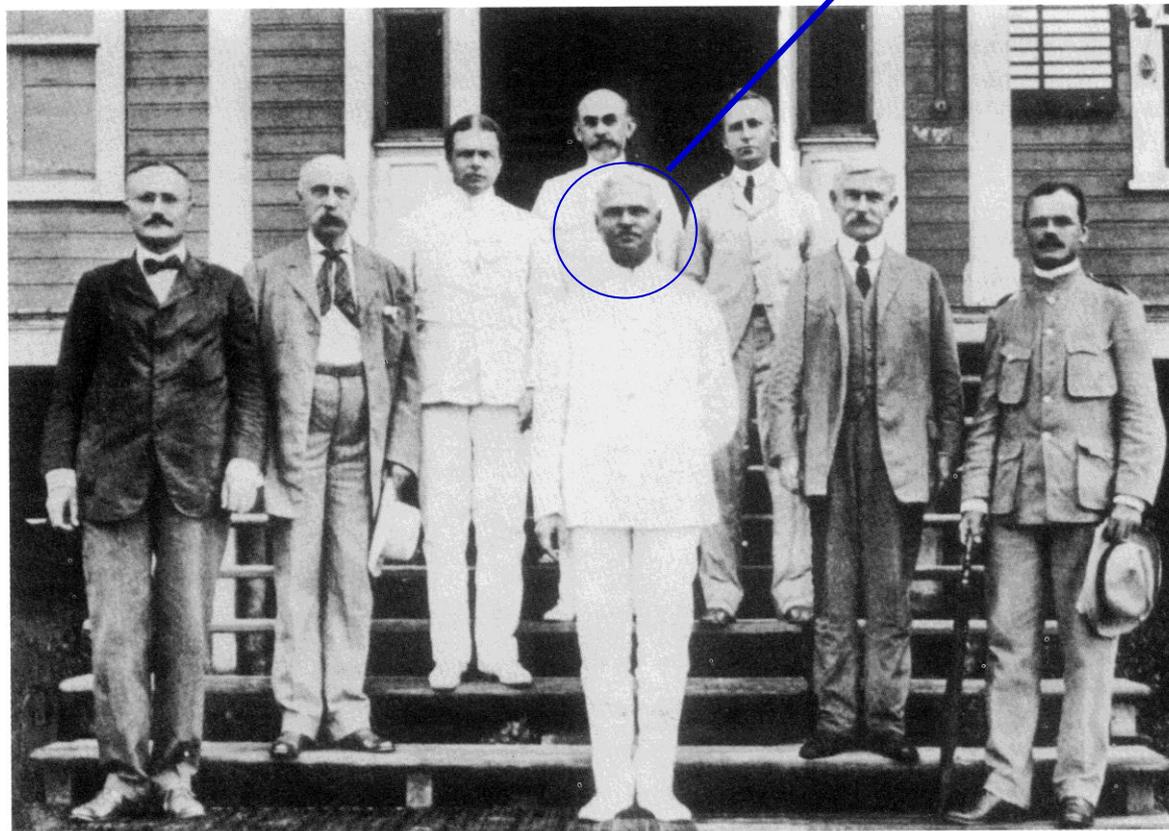
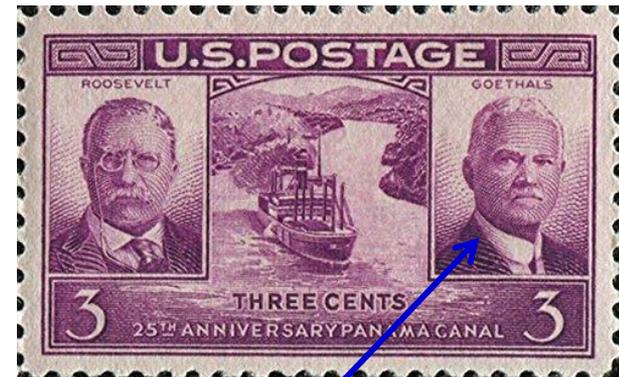


IL PIROSCAFO ANCONA  
COMPIE IL VIAGGIO INAUGURALE

Appartiene alla società  
«Navigazione Generale Italiana di Genova»

[www.agenziabozzo.it](http://www.agenziabozzo.it)

ONORE AI COLLEGHI DEL "CORPS OF ENGINEERS"  
CHE HANNO PROGETTATO E DIRETTO I LAVORI DEL  
CANALE DI PANAMA



*Fig. 6. La squadra di Goethals (al centro, in primo piano),  
in fila da sinistra: Sibert, ignoto, Ronescan, Bishop, Hodges, Gorgas, Gaillard*

# IL CANALE DI PANAMA

Lago Gatun



Le 3 chiuse che dall'Atlantico (in basso nella foto) portano al lago Gatun (in alto) superando un dislivello di 26 m.



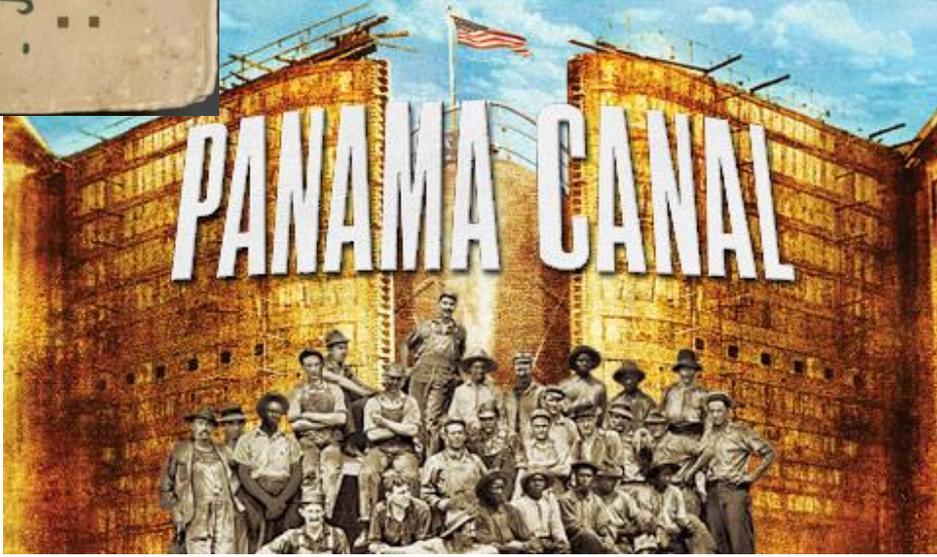
# IL CANALE DI PANAMA

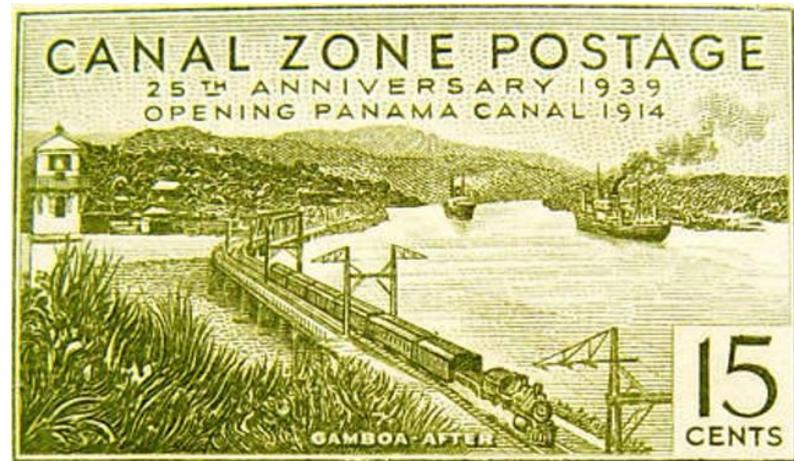
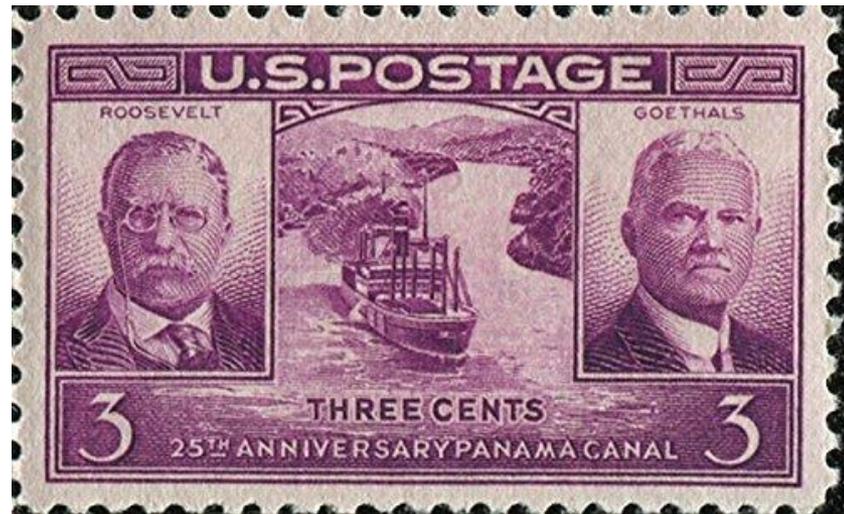


Le locomotive utilizzate per movimentare le navi dentro le chiuse : sono ancora quelle originali



IL CANALE  
NELL'IMMAGINARIO COLLETTIVO





# IL CANALE NELL'IMMAGINARIO COLLETTIVO

IL CANALE DI PANAMA Gli scavatori a vapore.

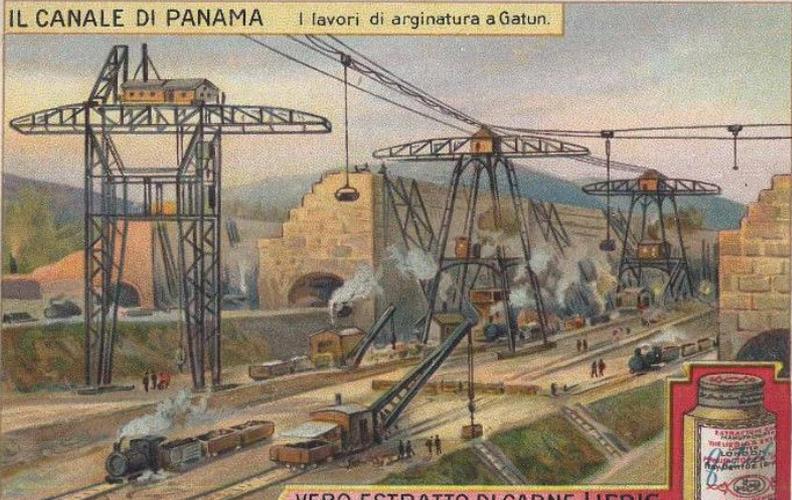


VERO ESTRATTO DI CARNE LIEBIG.

Riproduzione vietata. Spiegazione a tergo.

Detailed description: This illustration shows a large steam-powered excavator with a long boom and bucket, positioned on a dirt path. Several workers in period clothing are gathered around the machine. In the background, other construction equipment and a hilly landscape are visible. A small inset image of a Liebig's Meat Extract tin is located in the bottom right corner of the illustration.

IL CANALE DI PANAMA I lavori di arginatura a Gatun.



VERO ESTRATTO DI CARNE LIEBIG.

Riproduzione vietata. Spiegazione a tergo.

Detailed description: This illustration depicts a large-scale engineering project featuring several tall, lattice-structured towers or cranes. A railway line with steam locomotives and freight cars runs through the scene. The background shows a massive stone dam under construction. A small inset image of a Liebig's Meat Extract tin is located in the bottom right corner of the illustration.

IL CANALE DI PANAMA Lavori di perforazione nelle rocce di Culebra.



VERO ESTRATTO DI CARNE LIEBIG.

Riproduzione vietata. Spiegazione a tergo.

Detailed description: This illustration shows a group of workers engaged in rock drilling. They are using large, tripod-mounted drilling machines. The workers are dressed in various work clothes, including hats and boots. The scene is set in a rugged, rocky environment. A small inset image of a Liebig's Meat Extract tin is located in the bottom left corner of the illustration.

IL CANALE DI PANAMA Entrata del canale a Cristobal.



VERO ESTRATTO DI CARNE LIEBIG.

Riproduzione vietata. Spiegazione a tergo.

Detailed description: This illustration shows a busy harbor scene with numerous ships, including large steamships and smaller boats. The ships are docked at a pier or are in the water. In the background, a large stone structure, likely a lighthouse or part of the canal's infrastructure, is visible. A small inset image of a Liebig's Meat Extract tin is located in the bottom left corner of the illustration.



LA DOMENICA DEL CORRIERE  
del 26 Ottobre 1913

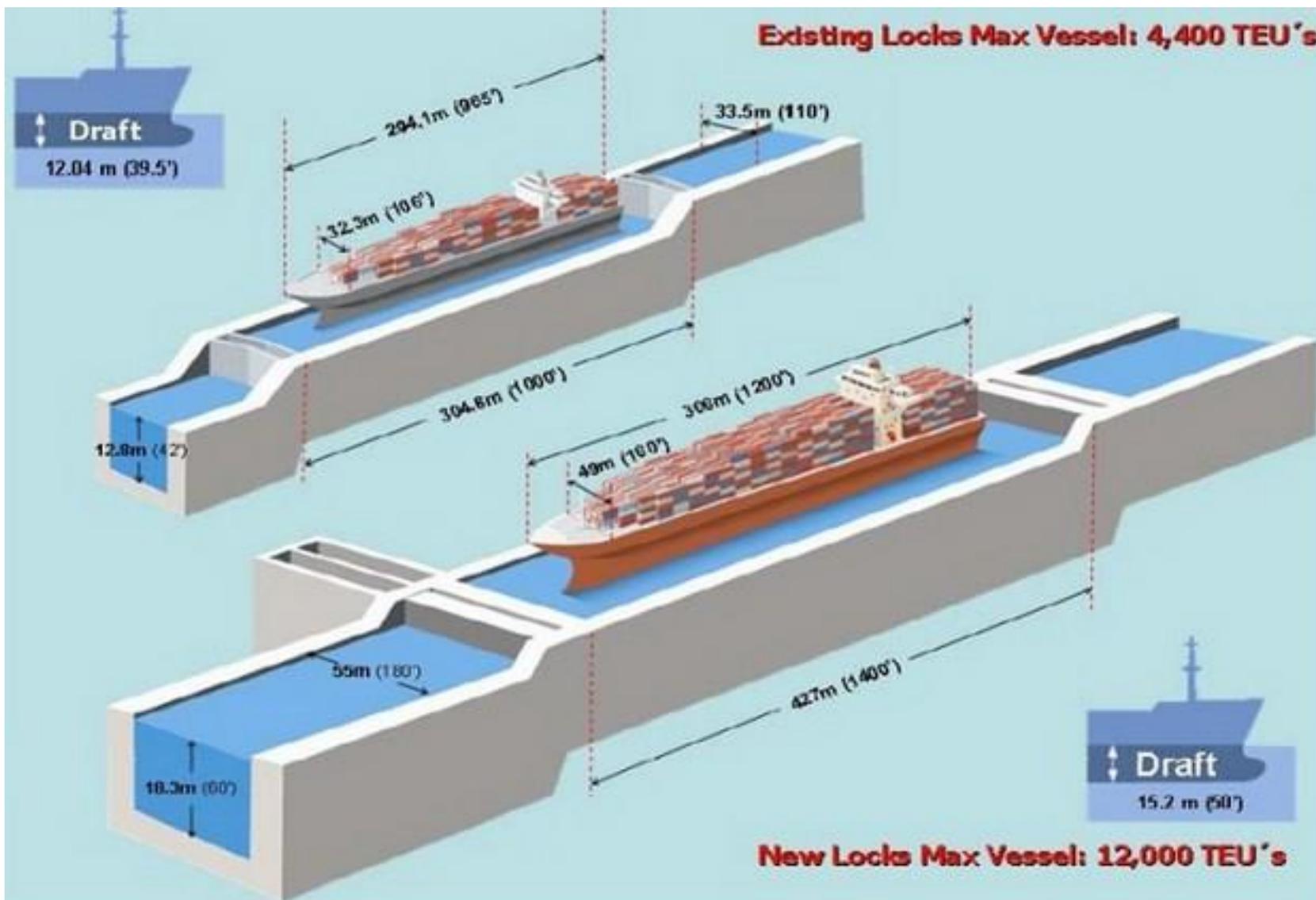
*"Il Presidente Wilson fa scattare la scintilla  
che manda in aria a quasi 600 km di distanza  
l'ultima barriera del Panama".*

IL CANALE  
NELL'IMMAGINARIO COLLETTIVO

*Il «Panama»  
uno dei cappelli più usati e famosi al mondo.*



# IL NUOVO CANALE DI PANAMA



Comparison of existing Panama Canal locks and new Panama Canal locks

## IL VECCHIO (A SIN) ED IL NUOVO CANALE DI PANAMA (A DX) IN PROSSIMITA' DELL'OCEANO ATLANTICO (IN ALTO).



OCEANO ATLANTICO

LAGO GATUN

IL VECCHIO (A DX) ED IL NUOVO CANALE DI PANAMA (A SIN)  
IN PROSSIMITA' DELL'OCEANO PACIFICO (IN BASSO).  
SI PUÒ NOTARE CHE IL NUOVO CANALE BYPASSA IL LAGO MIRAFLORES



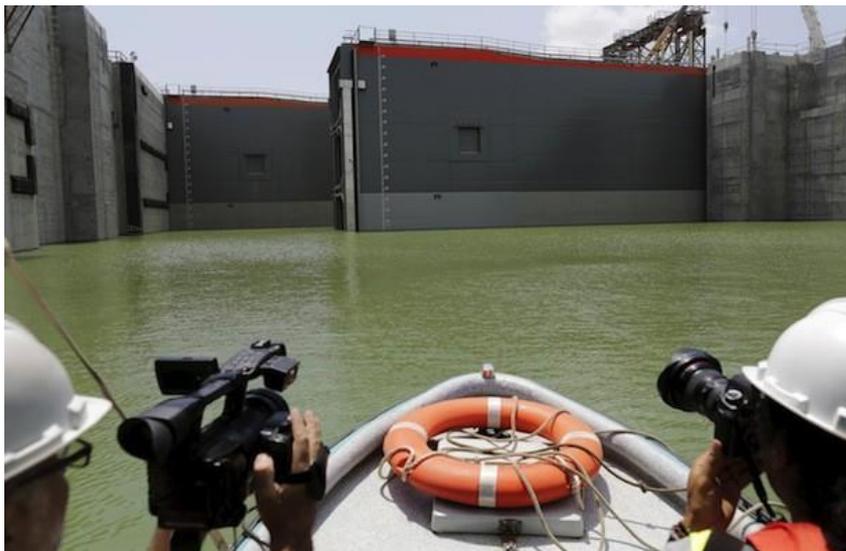
# C'È UN PÒ D'ITALIA NEL NUOVO CANALE DI PANAMA





LE PARATOIE SONO STATE REALIZZATE DALLA CIMOLAI





LE PARATOIE DELLA CIMOLAI

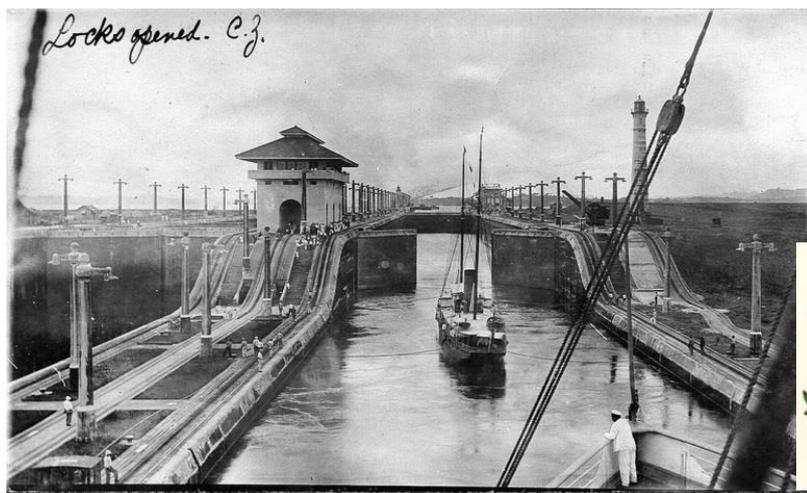


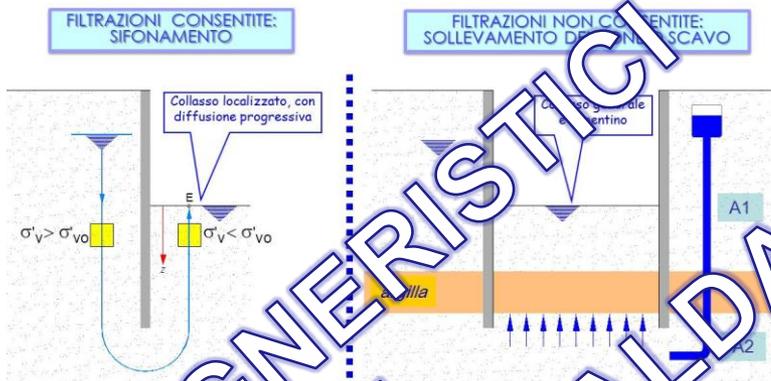
LAGO GATUN

SALINI - IMPREGILO  
HA REALIZZATO LE CHIUSE  
SUL VERSANTE ATLANTICO



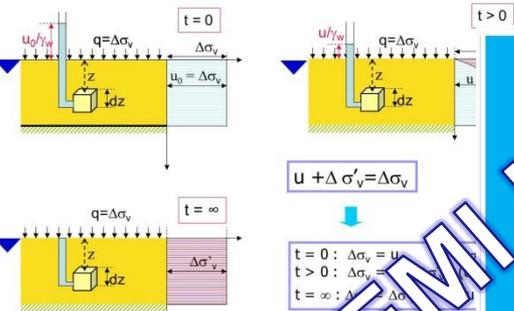
*la storia siamo noi..*





SCHEMA DEL PROCESSO DI CONSOLIDAZIONE

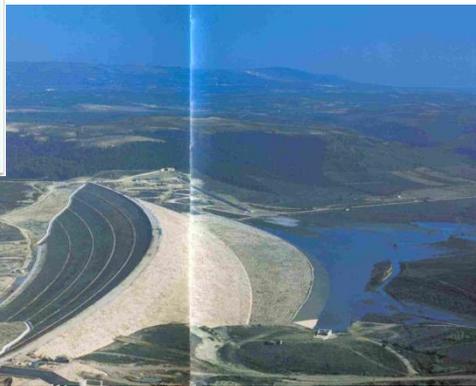
cedimenti finali  
evoluzione nel tempo



STORIA D'INGEGNERIA TRA TERRA E MARE



DA CORINTO A PANAMA (PASSANDO PER SUEZ)



PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA