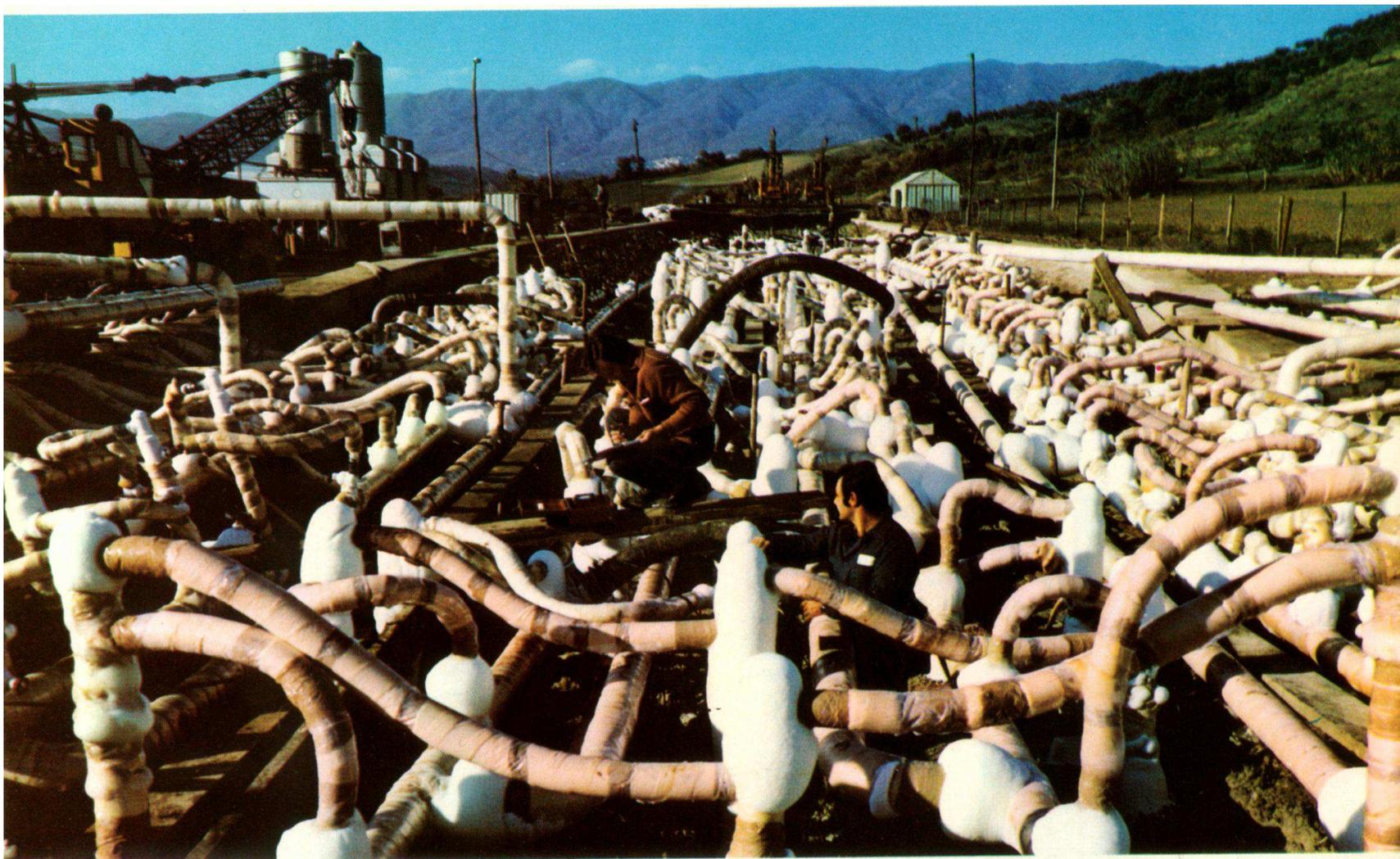
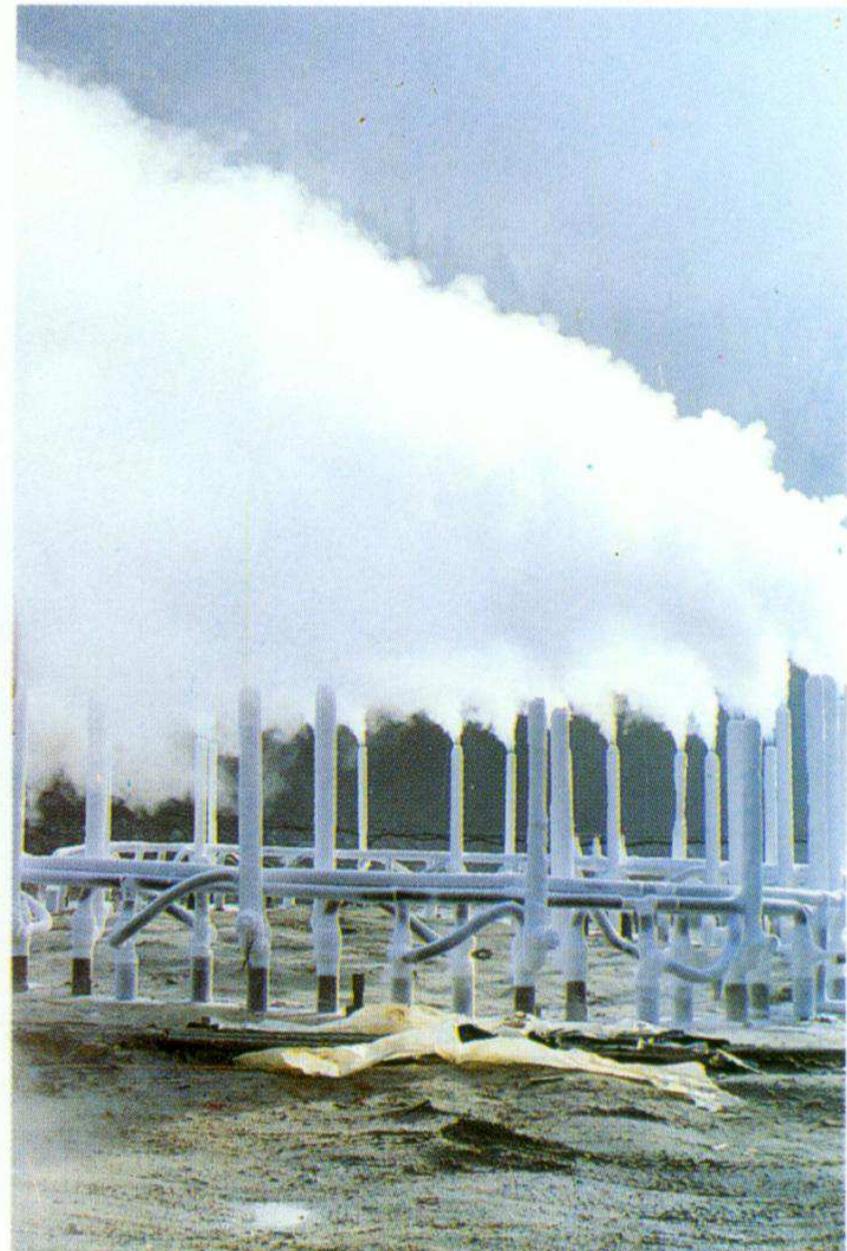
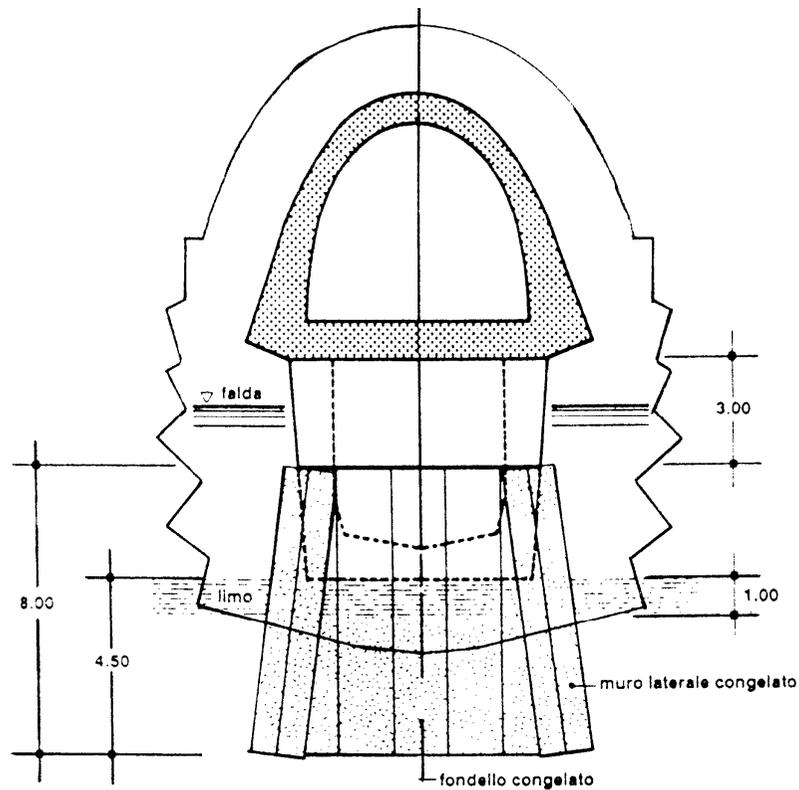


**1973 – 74 Ferrovia Paola-Cosenza Galleria Santomarco - Impresa RODIO**



**Fig. 10 - Galleria Ferroviaria Paola-Cosenza - Dettaglio dei circuiti in fase di congelamento nella zona del camino lato Cosenza. Due tecnici stanno rilevando la temperatura del terreno tramite la sonda termometrica calata in appositi fori riempiti con alcool. Notare l'ottima coibentazione dei collettori principali e di tutti i tubi di collegamento tra le teste delle varie sonde congelatrici (queste ultime non coibentate perché dotate di saracinesche per la regolazione del flusso di salamoia)**



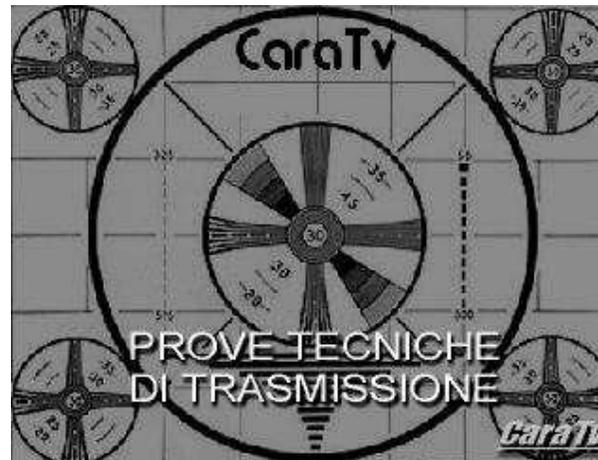


1987 – 88  
Metropolitana Milanese Lotto 2B  
Impresa RODIO

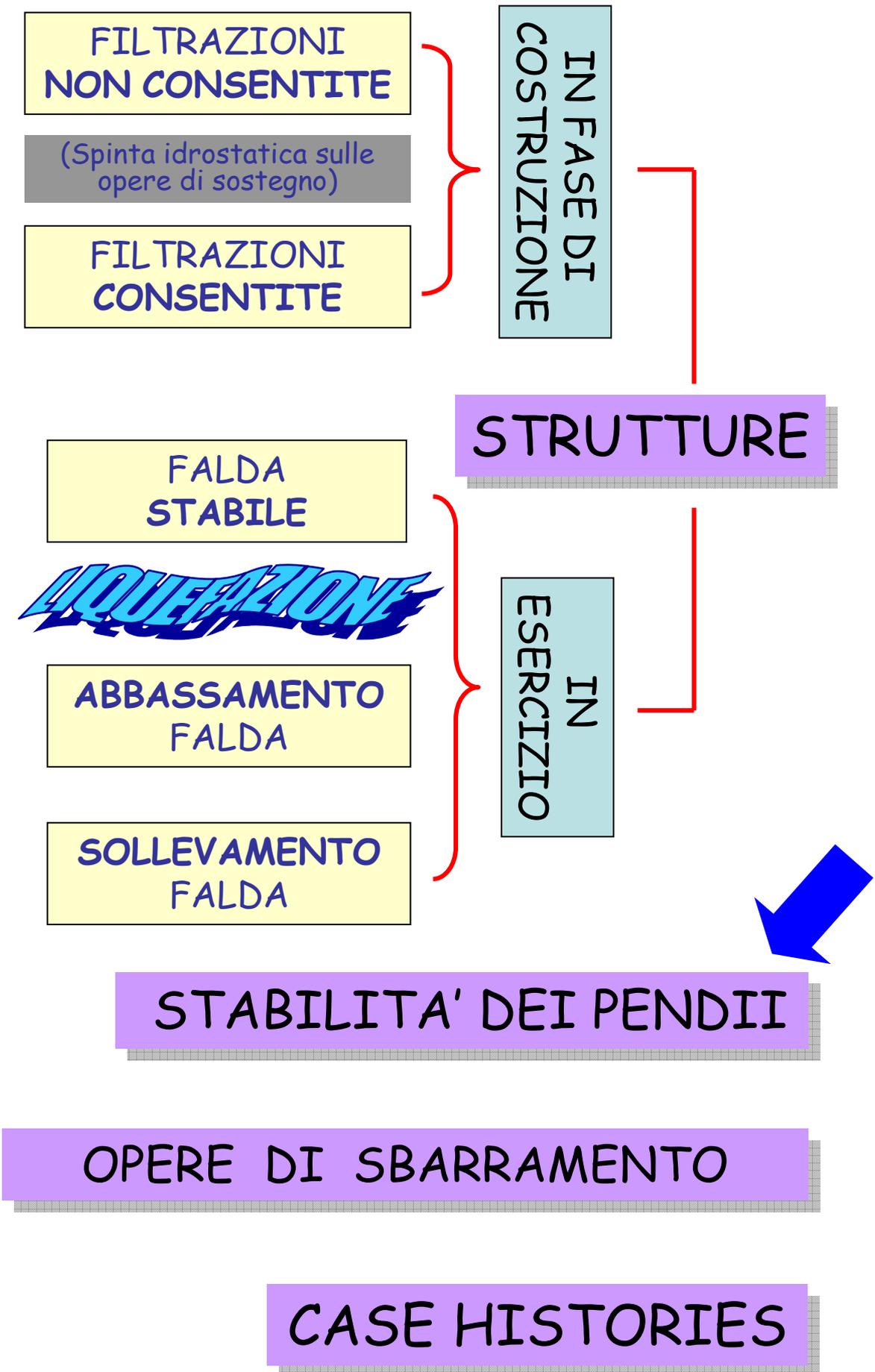
"azoto liquido"

- procedimento diretto
- ciclo aperto
- semplice scambio





PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA



## ALCUNE CRITICITA'

## NELLO STUDIO DELLE FRANE

- a. Geometria della frana
- b. Causa / cause più probabili
- c. Livello di conoscenza iniziale (geologico e geotecnico)
- d. Livello di conoscenza ottenibile a costi e tempi ragionevoli
- e. Conoscenza della "sensibilità" del modello matematico (codice di calcolo) che si intende utilizzare per l'analisi
- f. Studi parametrici
- g. Riserve di sicurezza, anche in relazione a possibili evoluzioni fisiche (escursione della falda, variazione delle condizioni al contorno, etc.)
- h. Efficacia delle tecnologie possibili
- i. Possibilità di efficaci monitoraggi (specie considerando chi li dovrà gestire nel tempo) e di successivi interventi integrativi

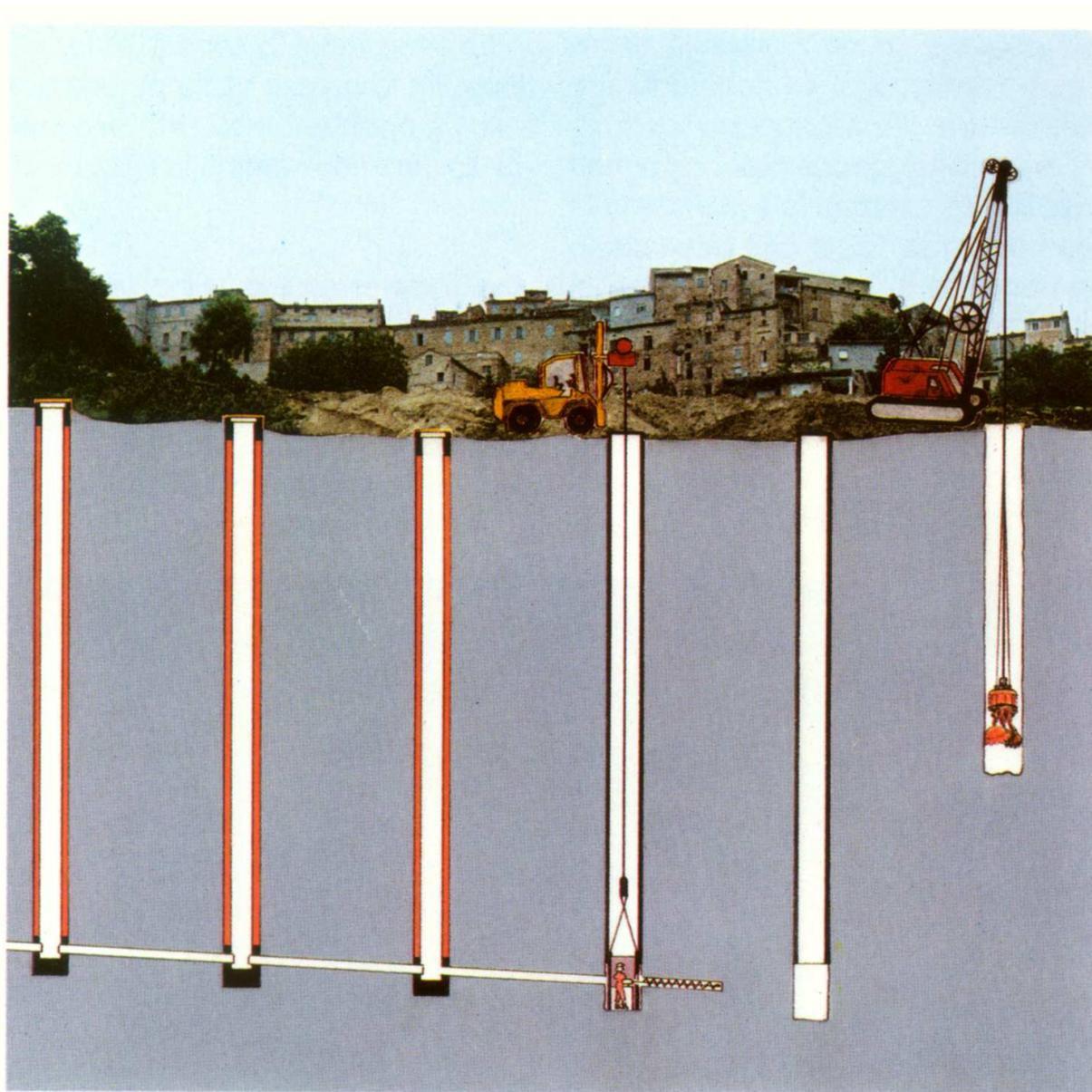
COMPrensione DEL  
FENOMENO FISICO

ATTENDIBILITA' DELLA  
"MODELLAZIONE"  
FISICO - MATEMATICA

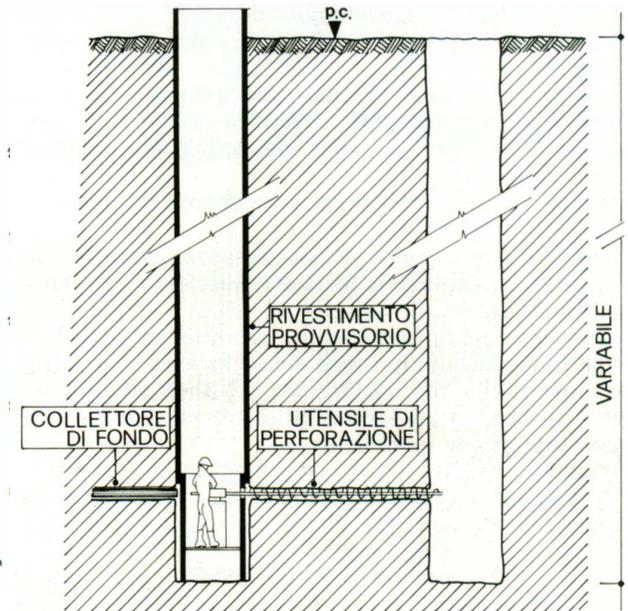
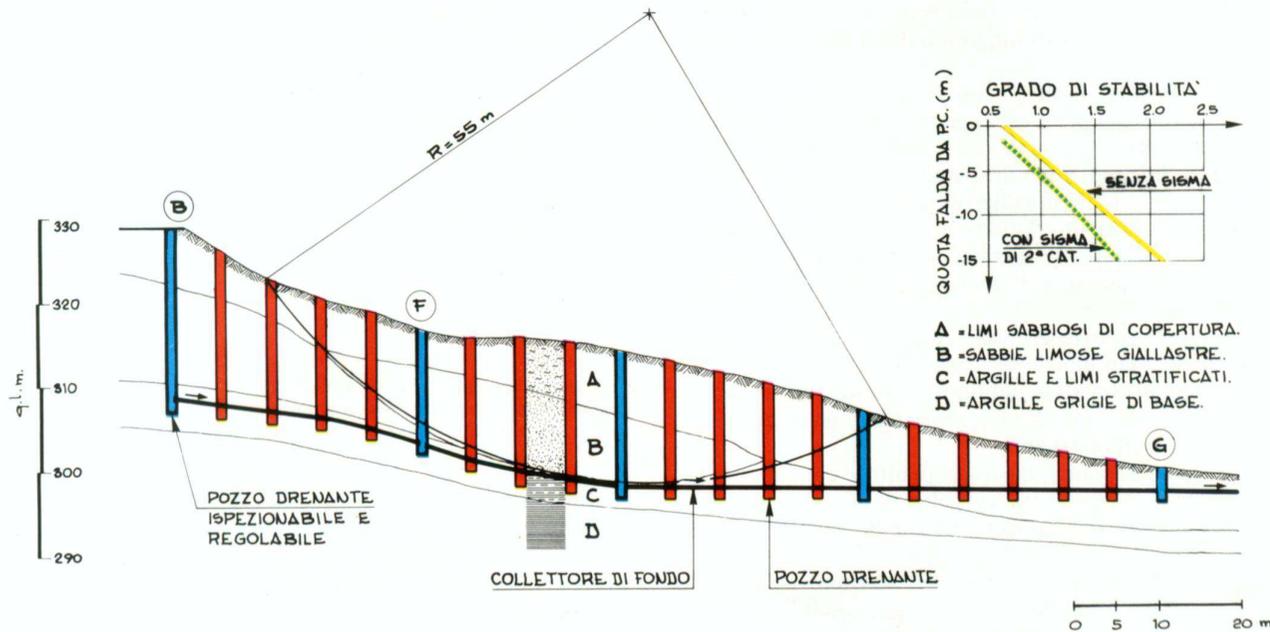
TECNOLOGIE E  
CANTIERISTICA



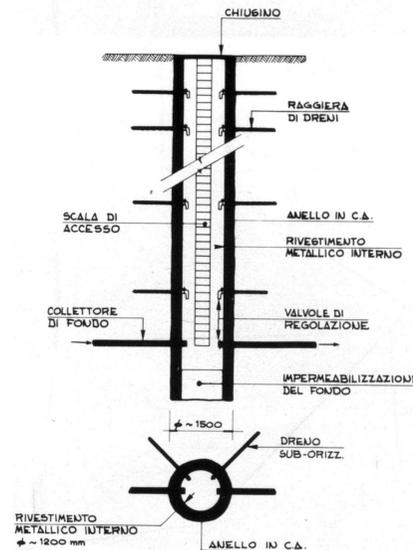
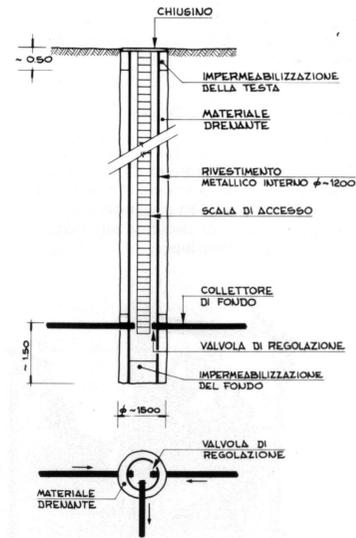
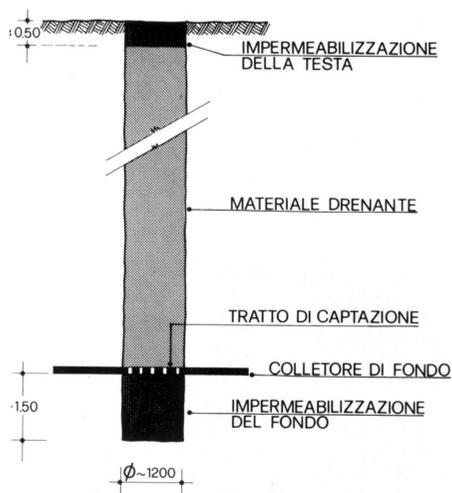
Possibilità di



*Regimazione permanente  
dei livelli di falda per la  
stabilizzazione di corpi di  
frana*



Regimazione permanente dei livelli di falda per la stabilizzazione di corpi di frana



## EFFETTI DELLA FILTRAZIONE SULLA STABILITA' DI UN PENDIO INDEFINITO

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

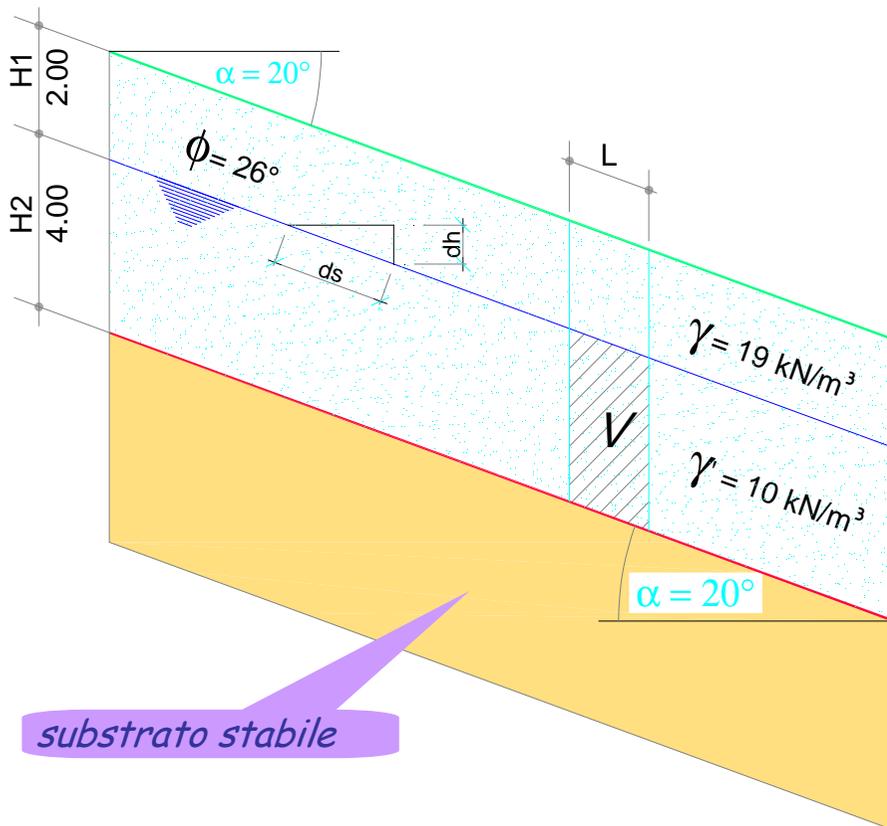
$$W = \gamma H_1 L \cos \alpha + \gamma' H_2 L \cos \alpha$$

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

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

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

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



se poniamo

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

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

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

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

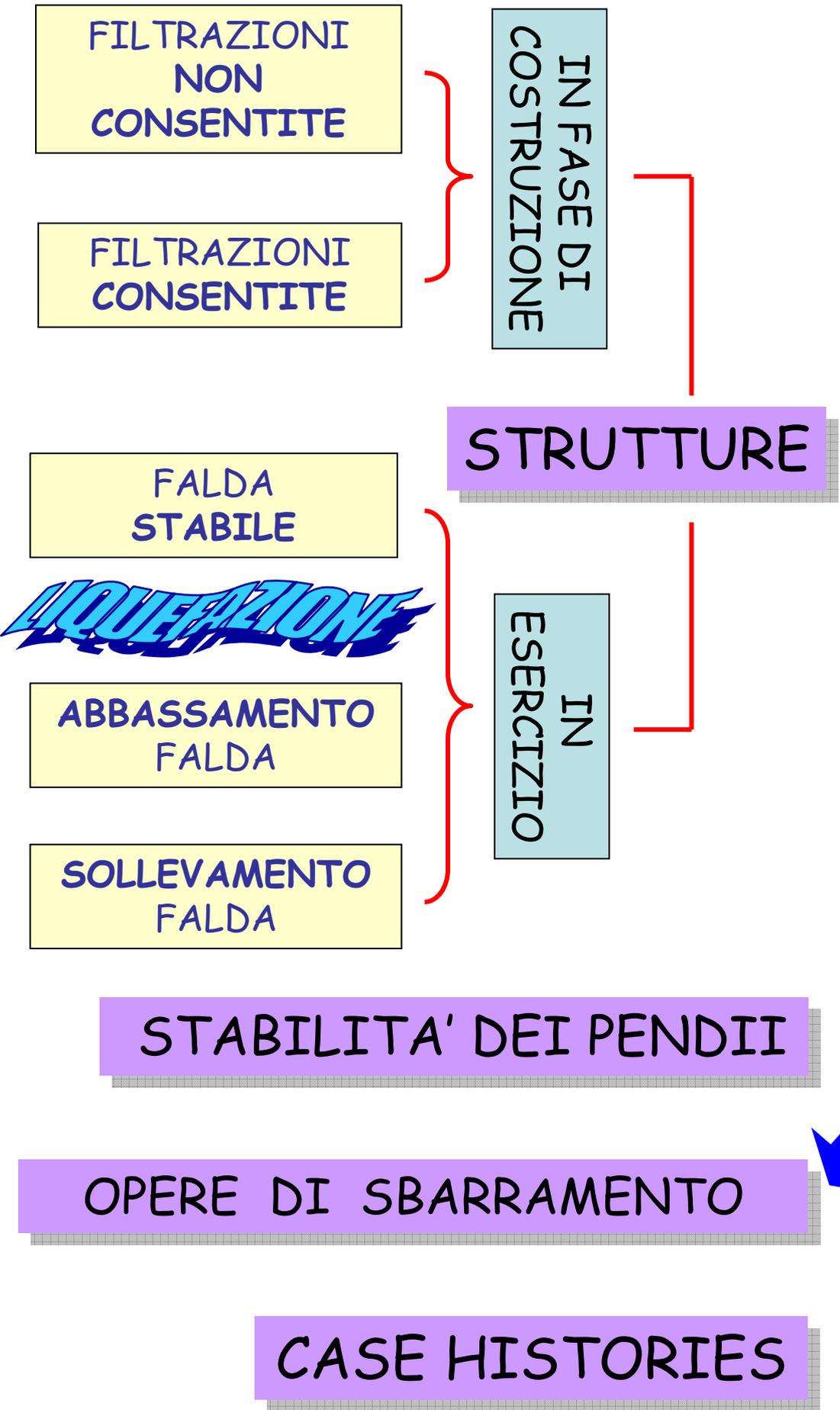
$$W \operatorname{sen} \alpha = 25,07 \text{ kN/m}$$

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

considerando la forza di filtrazione

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

PROBLEMI INGEGNERISTICI COLLEGATI ALLA PRESENZA DI FALDA



FILTRAZIONI  
NON  
CONSENTITE

FILTRAZIONI  
CONSENTITE

IN FASE DI  
COSTRUZIONE

STRUTTURE

FALDA  
STABILE

LIQUEFAZIONE

ABBASSAMENTO  
FALDA

IN  
ESERCIZIO

SOLLEVAMENTO  
FALDA

STABILITA' DEI PENDII

OPERE DI SBARRAMENTO

CASE HISTORIES

DIGHE (IN MURATURA)  
FONDATE SU ROCCIA

✓ filtrazioni all'esterno  
del corpo diga

☐ schermi d'iniezione  
in roccia

FILTRAZIONI Vs  
TIPOLOGIE DIGHE

DIGHE IN  
MATERIALI SCIOLTI

✓ filtrazioni all'esterno  
del corpo diga

✓ filtrazioni all'interno  
del corpo diga

☐ forma della diga  
☐ nucleo impermeabile  
☐ diaframmi o schermi  
d'iniezione  
☐ dreni

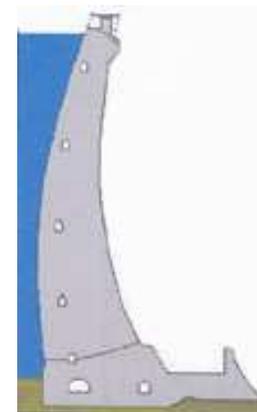
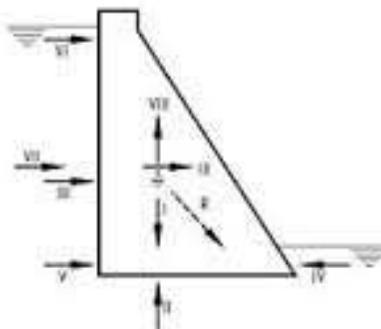
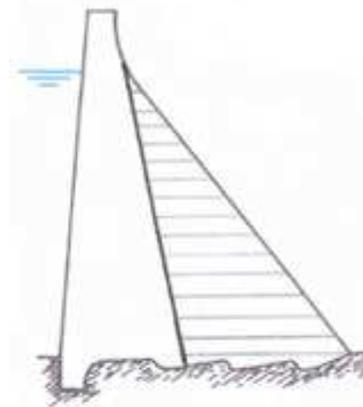
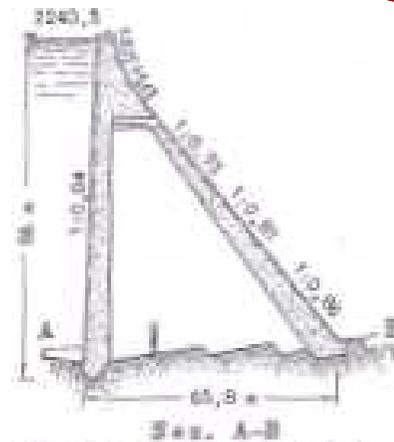
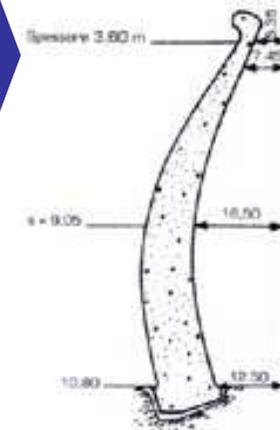
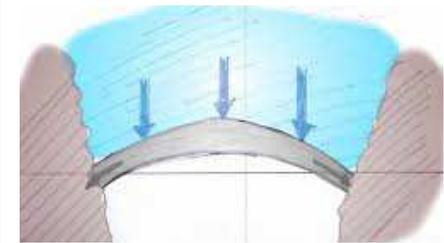
DIGHE IN MURATURA

✓ A GRAVITA'

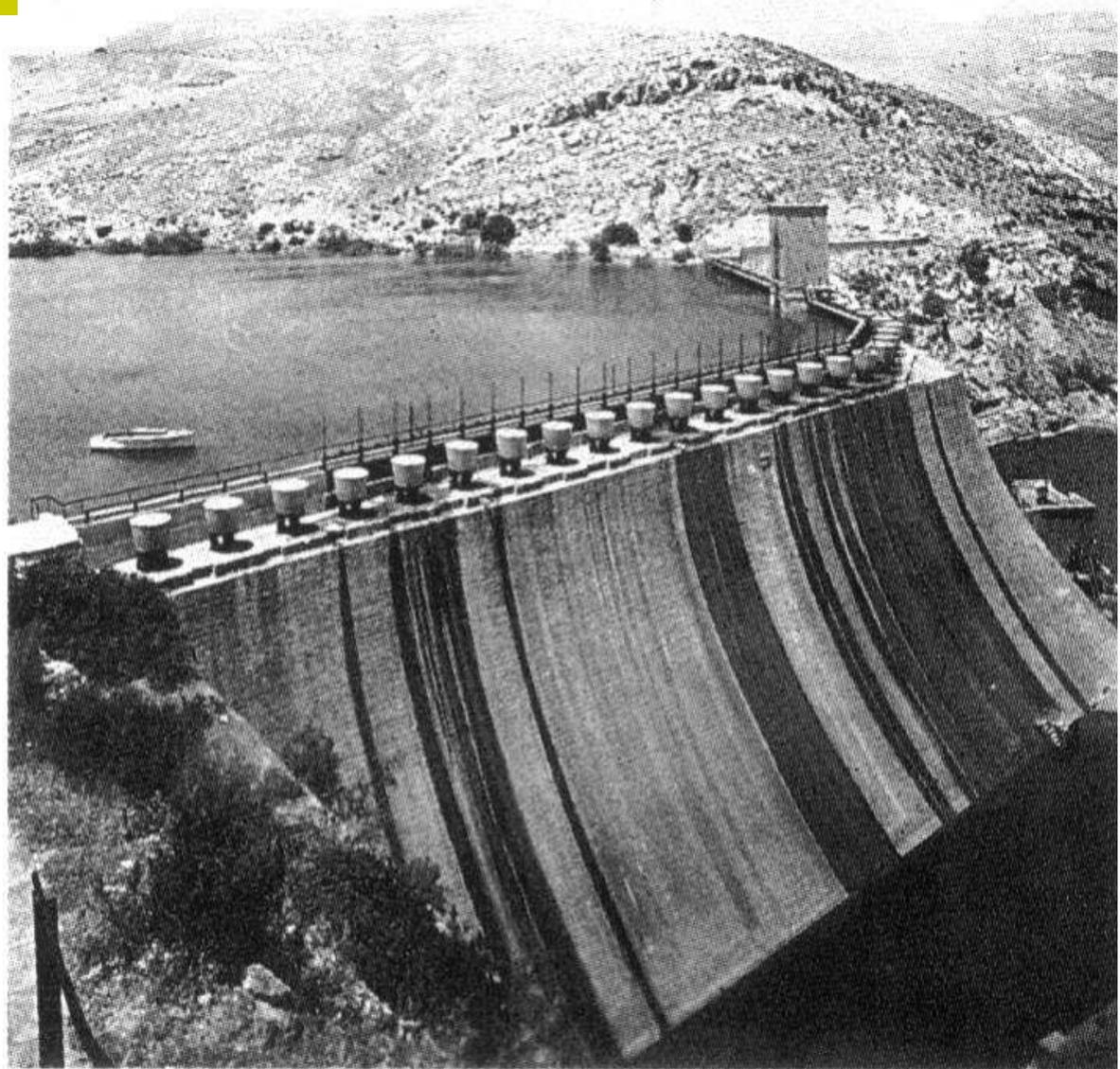
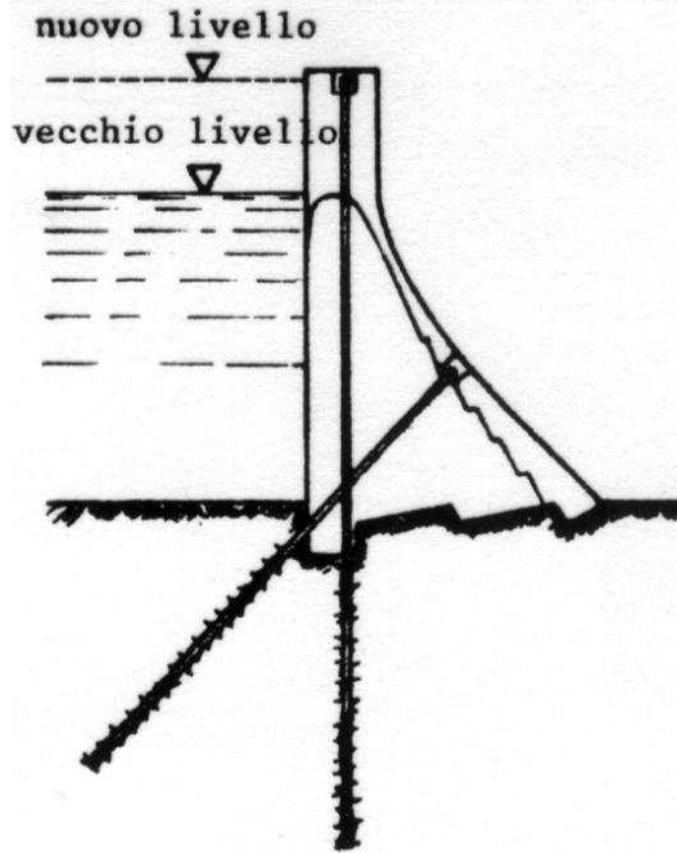
- Ordinaria (piena)
- Alleggerita
- A contrafforti

✓ AD ARCO

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



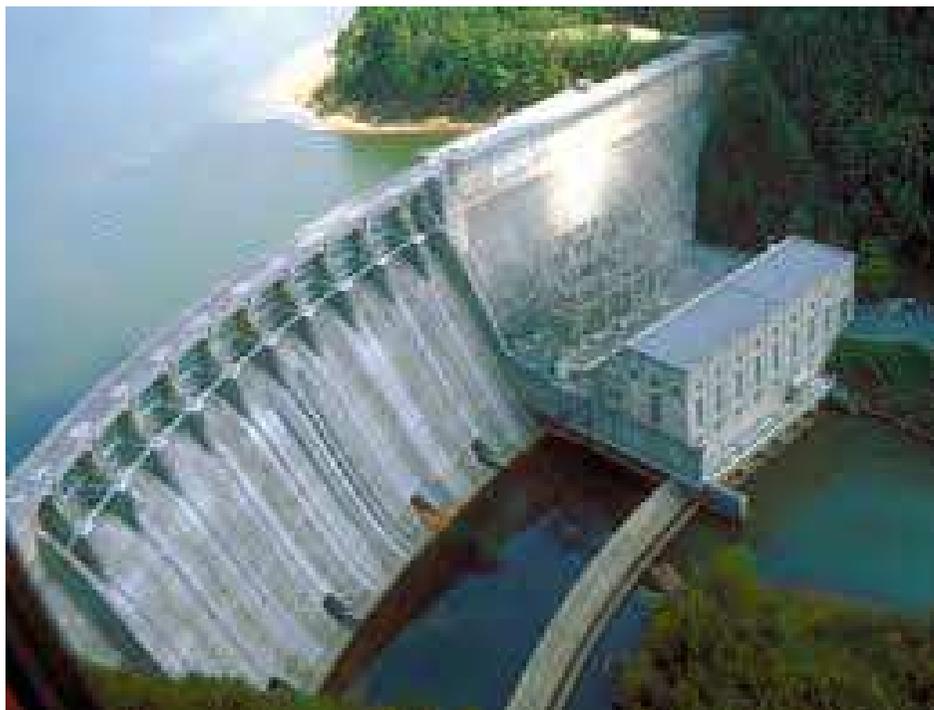
**DIGHE IN MURATURA A GRAVITA'**



*I lavori di rinforzo necessari ad innalzare la diga descrivono efficacemente il comportamento statico di una diga a gravità.*

*Diga di Cheurfas -ALGERIA - 1935  
Incremento del peso con tiranti da 1.000 t*

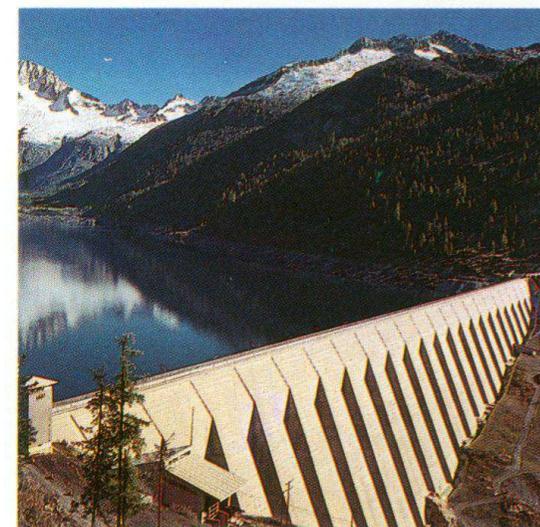
**DIGHE IN MURATURA A GRAVITA'**



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



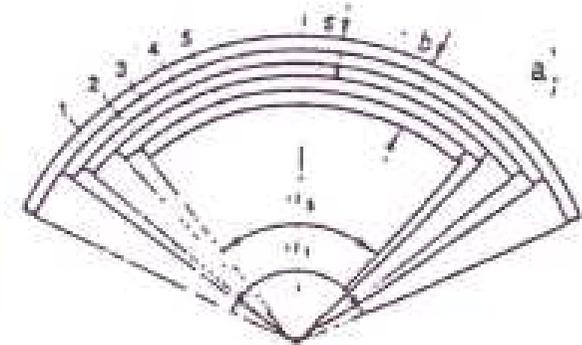
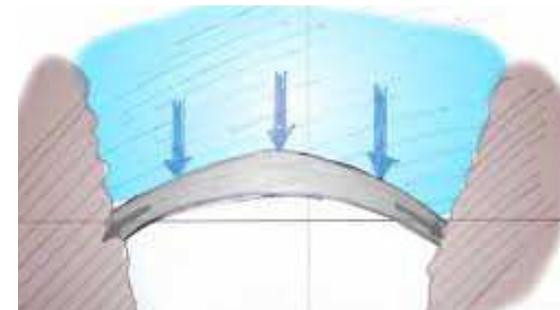
*Tipiche dighe a gravità*



*Diga a speroni Malga Bissina ITALIA 1956/59*

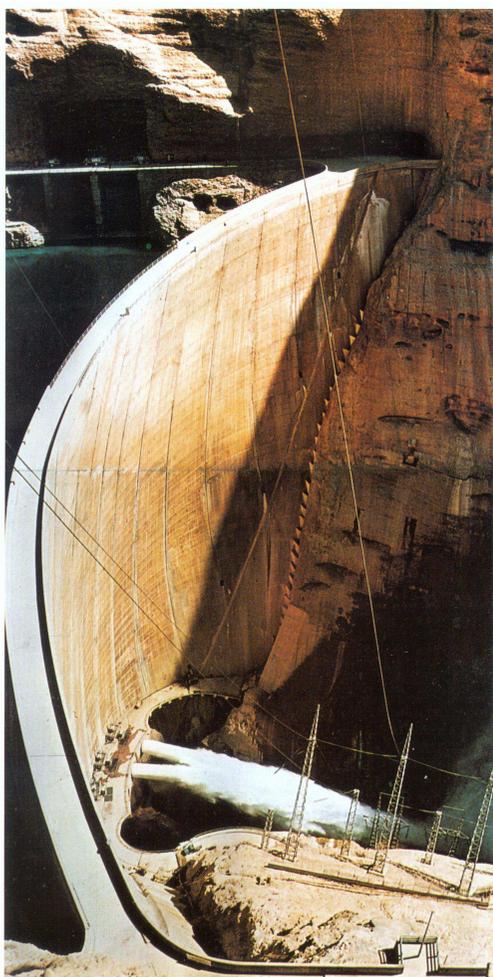
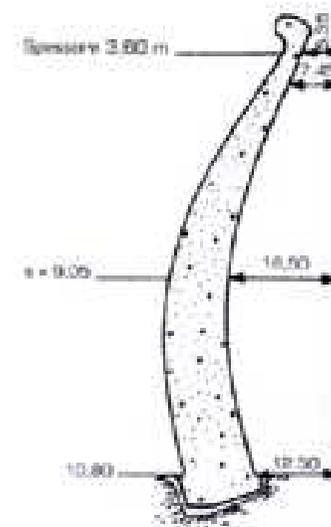
## DIGHE IN MURATURA AD ARCO

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

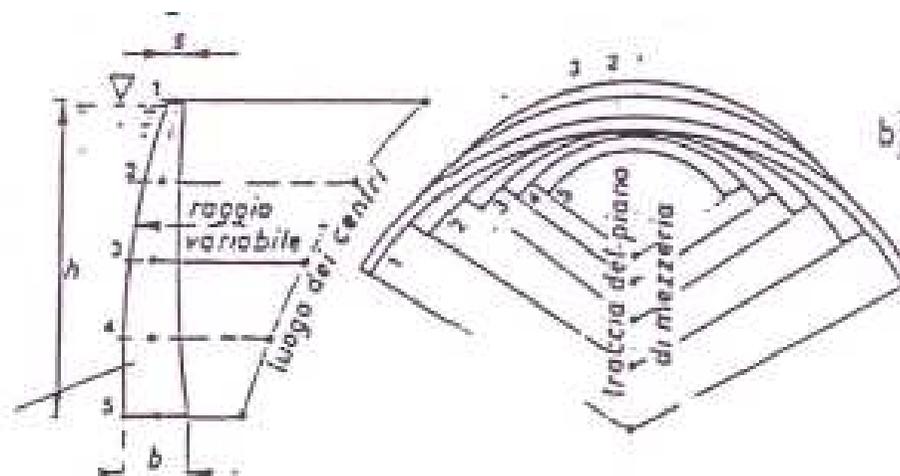


## DIGHE IN MURATURA A VOLTA (ARCO-CUPOLA)

- 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



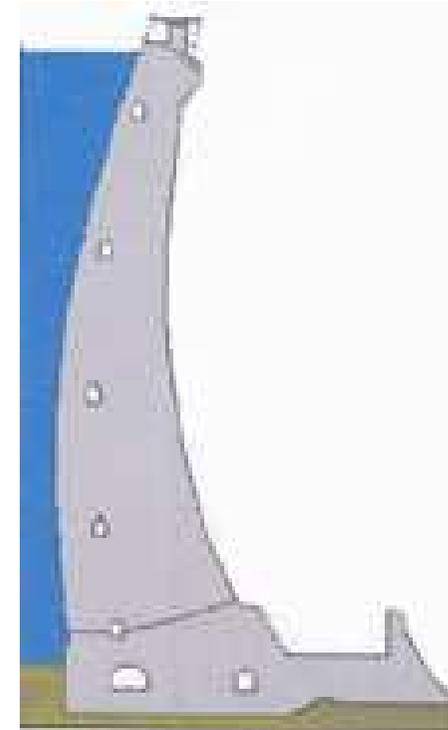
## DIGHE IN MURATURA AD ARCO-GRAVITA'

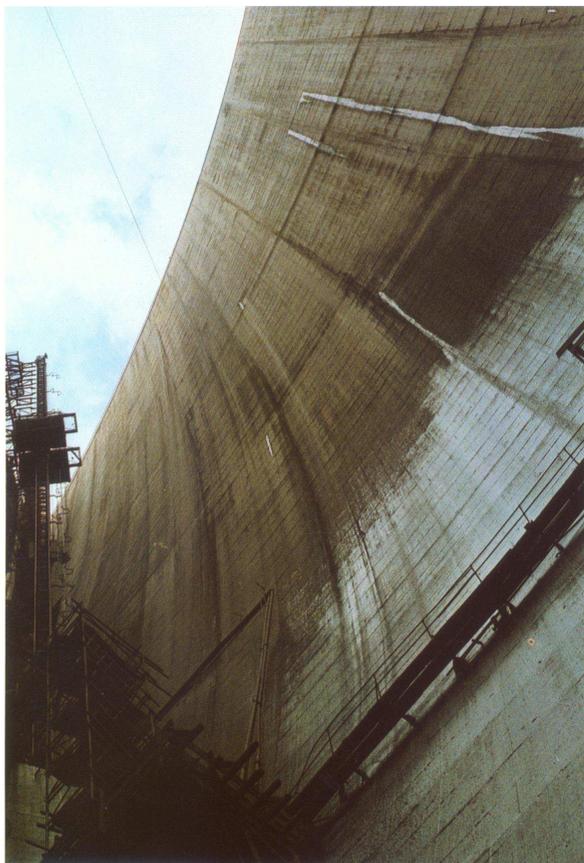
▪ la forma ed i rapporti dimensionali sono tali da innescare la resistenza alle spinte attraverso l'azione congiunta offerta dalla curvatura orizzontale, da quella trasversale di mensola e dal peso proprio

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



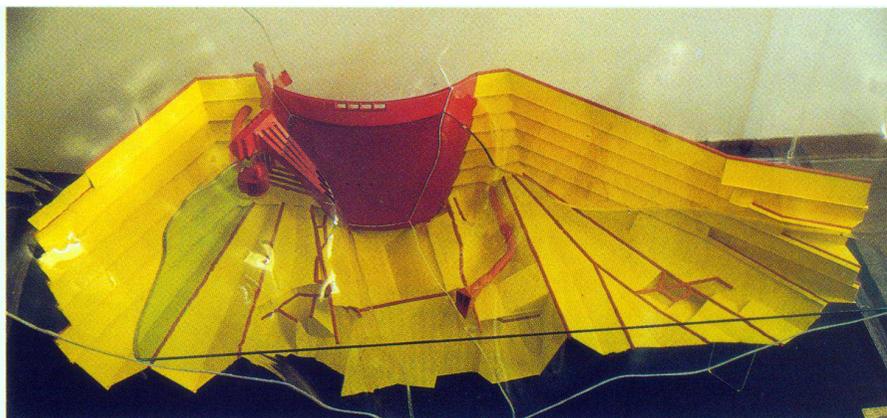


SCHEMI D'INIEZIONE  
IN ROCCIA



© 1985, William L.B.J. Dekker

### El Cajon - HONDURAS 1980/85

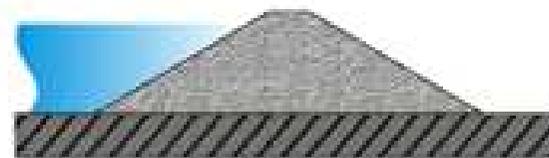


#### DIGA A VOLTA :

- ❑ 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)



## DIGHE IN MATERIALI SCIOLTI

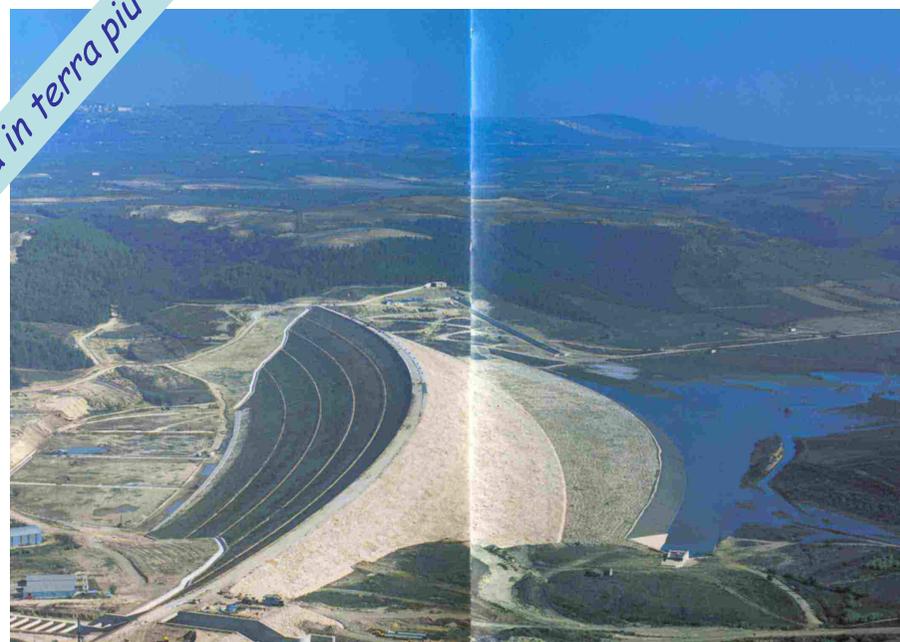
Diga di Zoccolo - ITALIA 1964



- diga in terra con manto
- altezza diga : 64 m
- capacità : 33 Mmc
- uso : idroelettrico
- anno di fine costruzione : 1964

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

Diga del Locone - ITALIA 1986



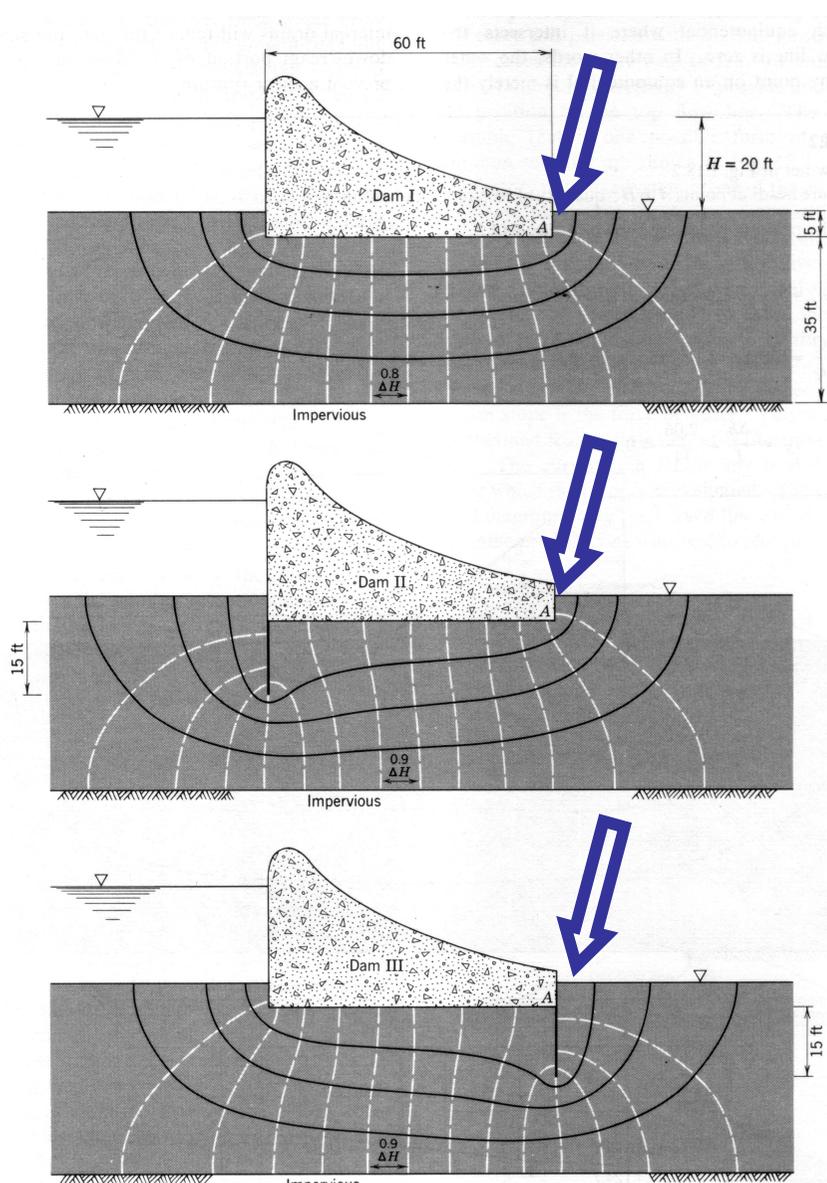
- diga in terra, zonata
- altezza diga dal p.c. : 54 m
- capacità : 115 Mmc
- uso : irriguo
- costruzione : 1982 - 86



*Diga di TARBELA sul fiume Indo ('1974/82) : la più grande diga in rockfill del mondo*

## FILTRAZIONI NELLE DIGHE FONDATE SU TERRENI

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

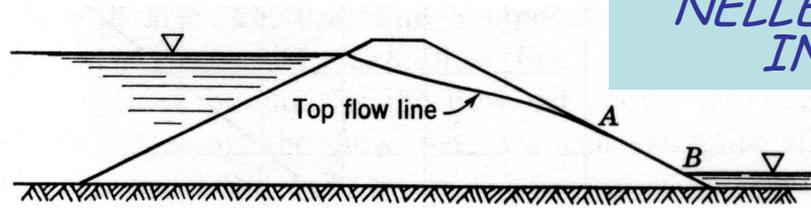


### FLUSSO ALL'ESTERNO DEL CORPO DIGA

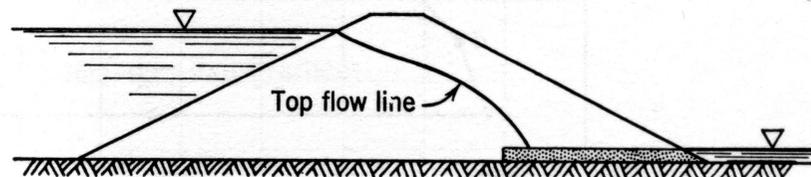
- ❑ ai fini del sifonamento la sezione critica è la superficie del terreno a valle
- ❑ si può giocare sulla dimensione trasversale della diga o sulla posizione e profondità dei taglioni

## FILTRAZIONI NELLE DIGHE IN TERRA

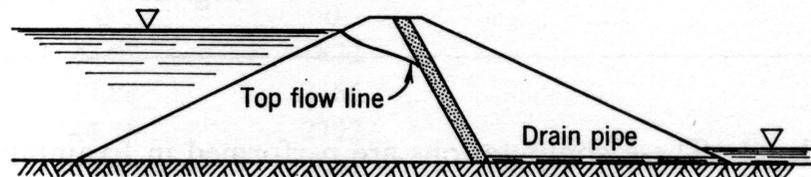
flusso all'esterno del corpo diga  
flusso all'interno del corpo diga



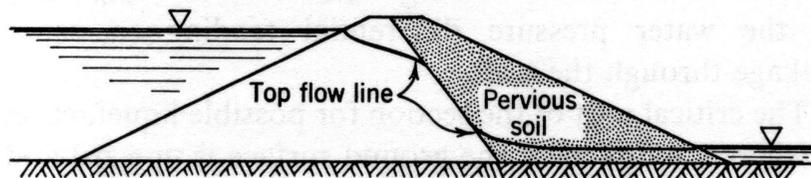
(a)



(b)



(c)



(d)

## 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.

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.

## DIGHE IN MATERIALI SCIOLTI

### DIGA DI SENISE SUL FIUME SINNI 1970 - 1980

Ente Generale Irrigazione Puglia - Lucania - Irpinia  
Progettisti : Prof. Ing. Arrigo Croce et al.  
Impresa costruttrice : LODIGIANI

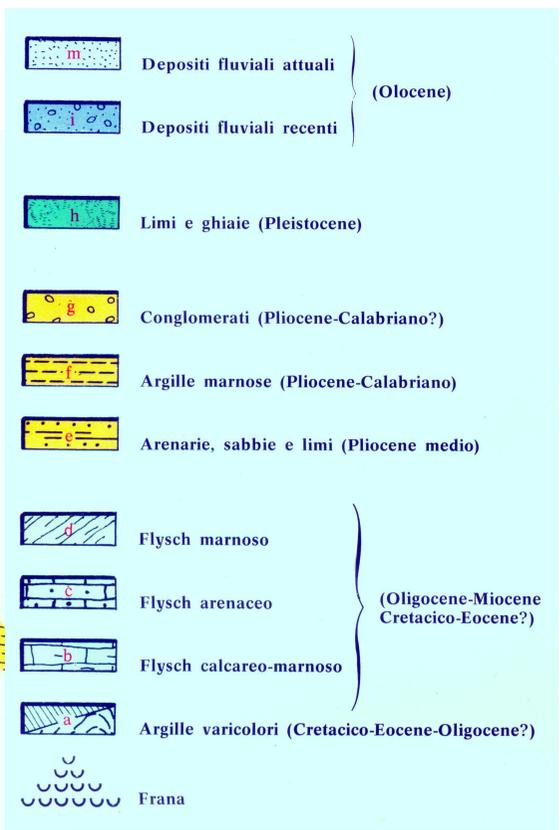
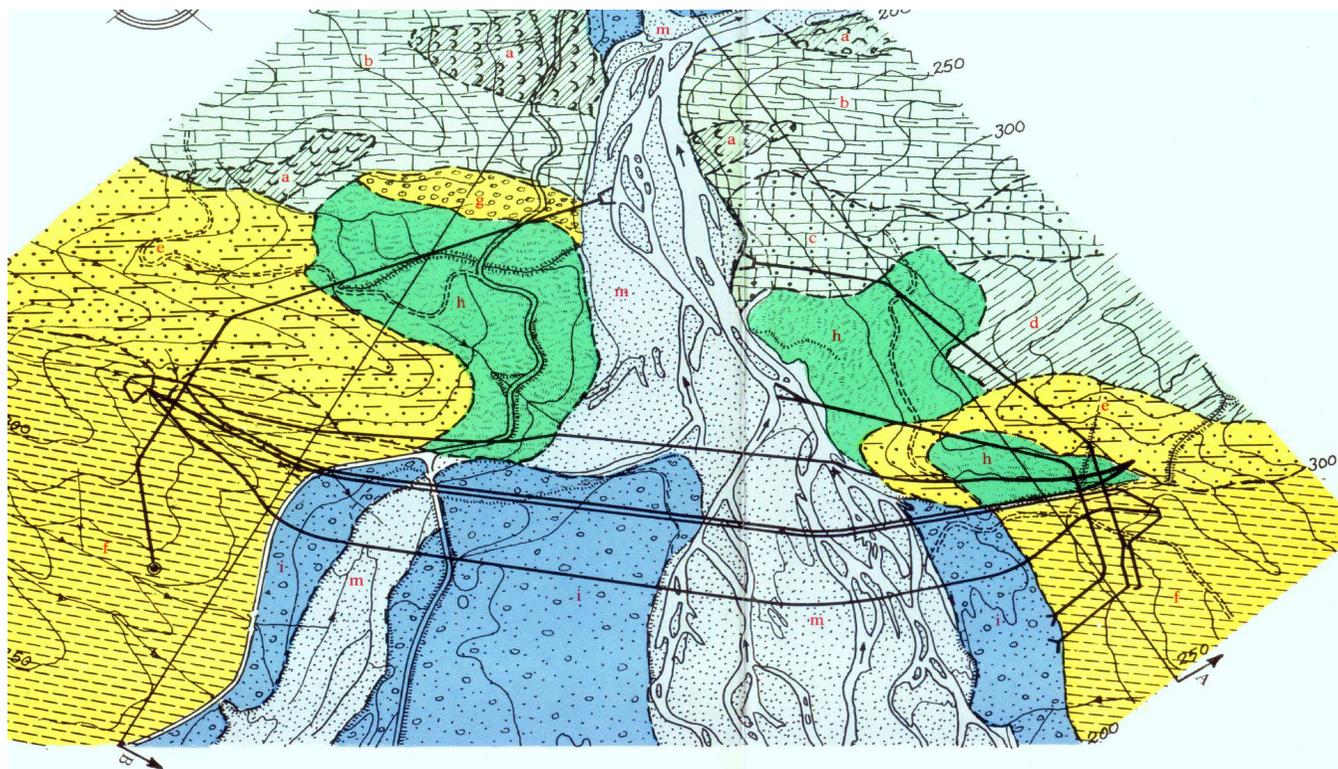
- diga in terra, con paramento impermeabile
- altezza diga : 70 m
- larghezza max alla base : 265 m
- lunghezza al coronamento : 1.850 m
- volume del rilevato : 11,6 Mmc
- capacità : 530 Mmc
- regolazione pluriennale
- bacino sotteso : 804 kmq
- superficie specchio liquido : 18,5 kmq
- uso : plurimo
- quota max. invaso : + 255,80 m slm



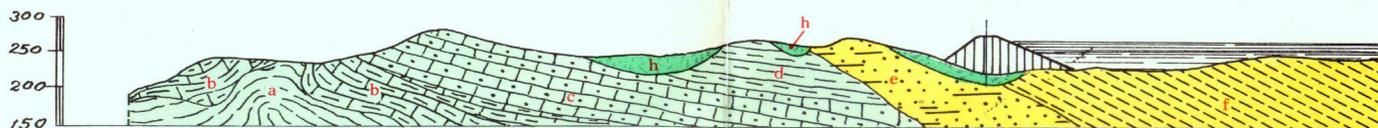
*La più grande diga in  
terra d'Europa.  
(per altezza e volume  
del rilevato)*



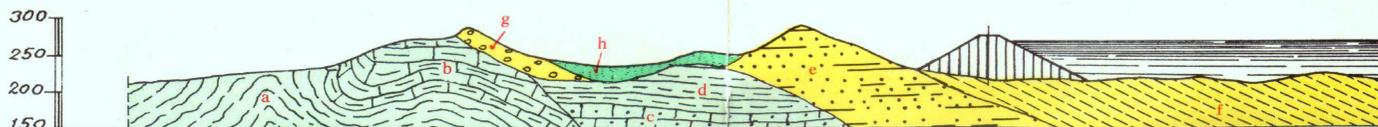
DIGA DI SENISE - PLANIMETRIA E SEZIONI GEOLOGICHE



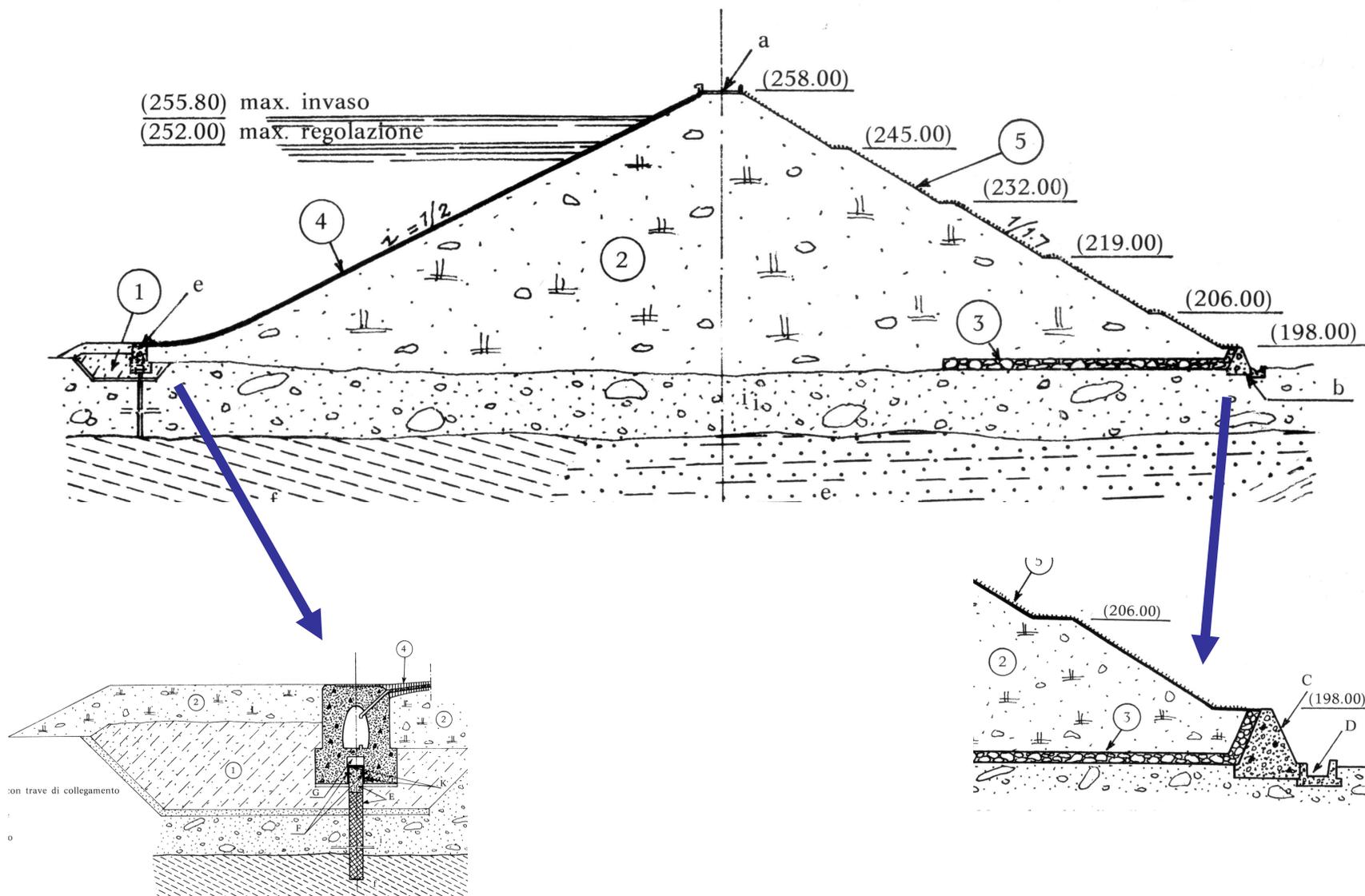
Sezione A - A



Sezione B - B



# DIGA DI SENISE SUL FIUME SINNI



## DIGHE IN MATERIALI SCIOLTI

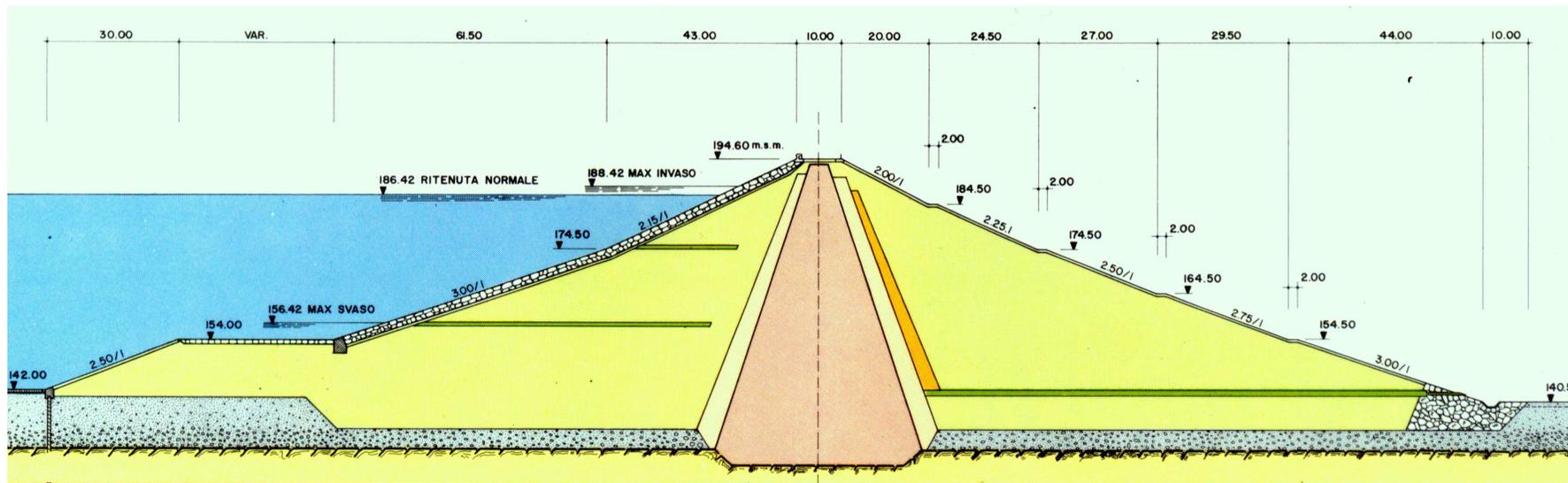
### DIGA SUL TORRENTE LOCONE 1982 - 1986

Consorzio di Bonifica Apulo - Lucano Bari

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

Impresa costruttrice : ITALSTRADA - CMC

- 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



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**

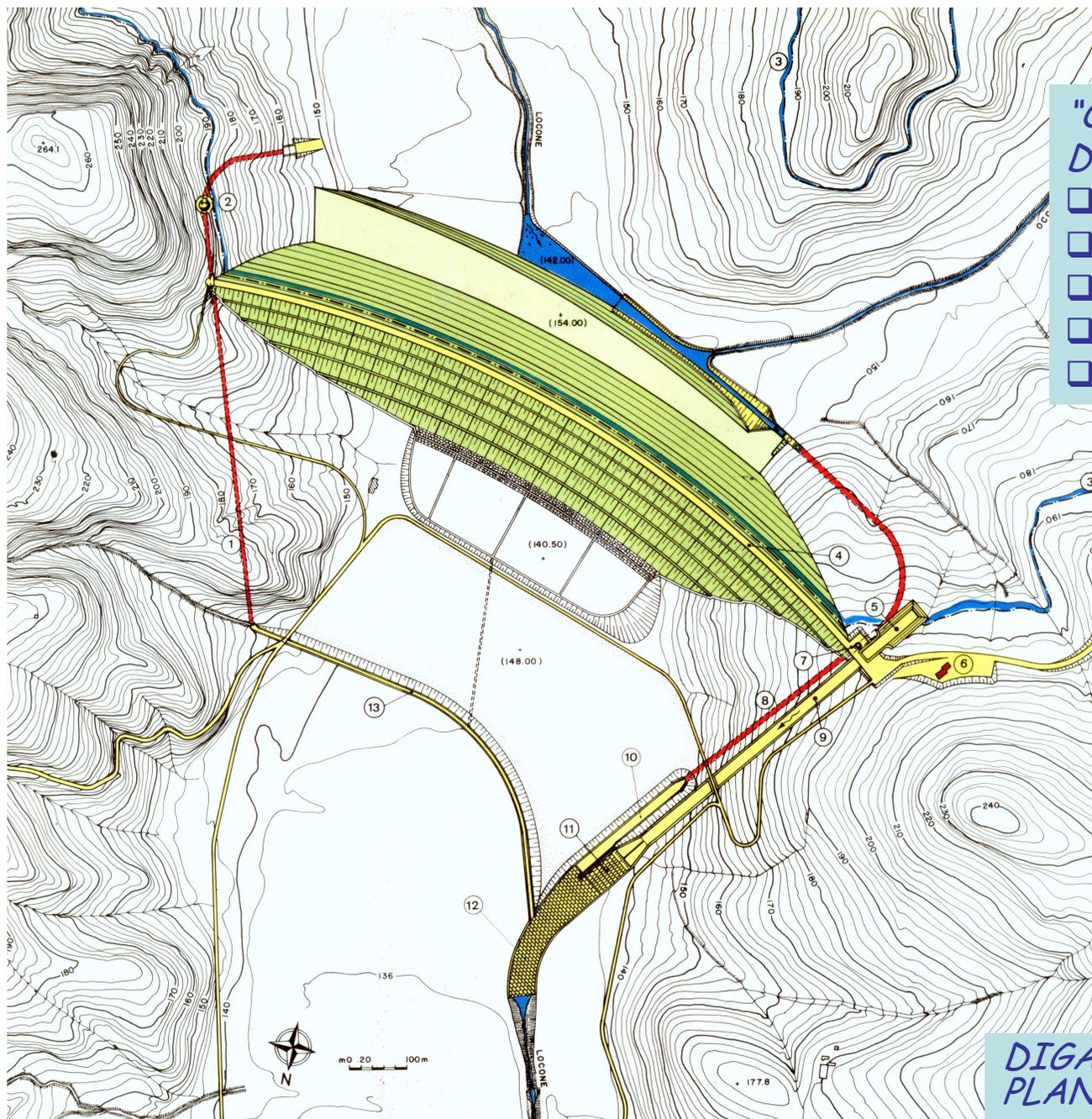
*Foundation soils*

 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:**
- Scarico di fondo
  - Opera di presa
  - Sfiatore
  - Vasca di dissipazione
  - Canale di restituzione

**DIGA DEL LOCONE  
PLANIMETRIA GENERALE**

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



*Scavo di fondazione del nucleo visto dalla spalla dx.  
Sullo sfondo sono visibile le argille plioceniche.*



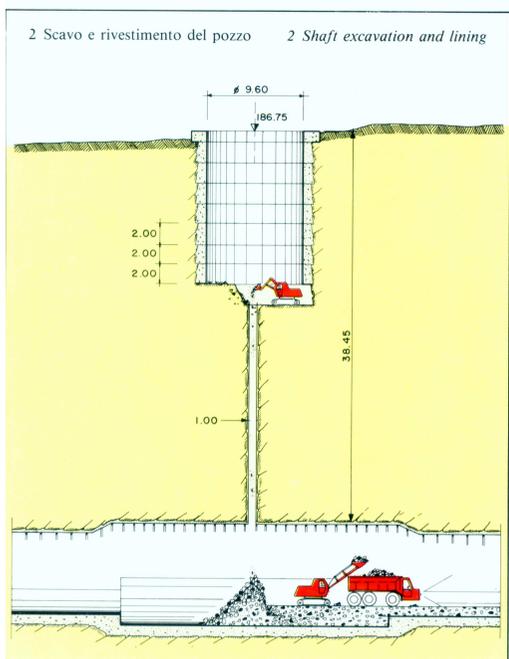
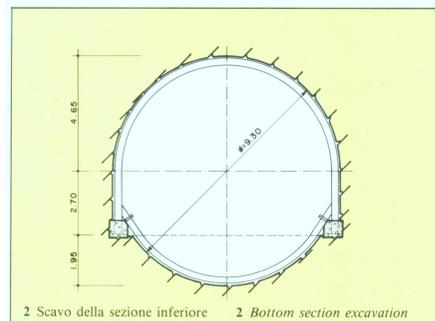
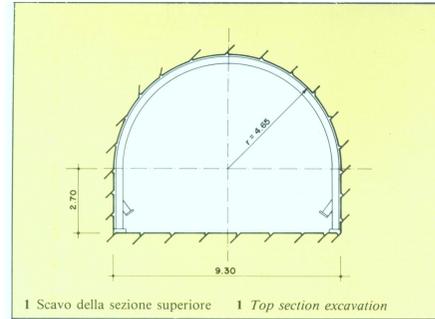
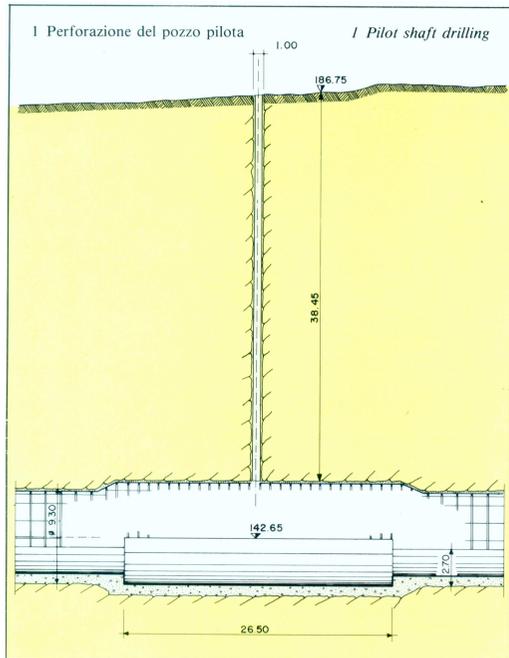
*Scavo di fondazione del nucleo e  
posa in opera del materiale*

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

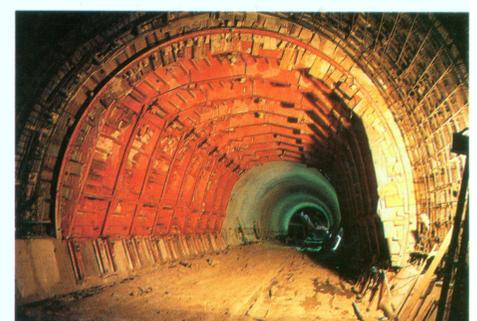
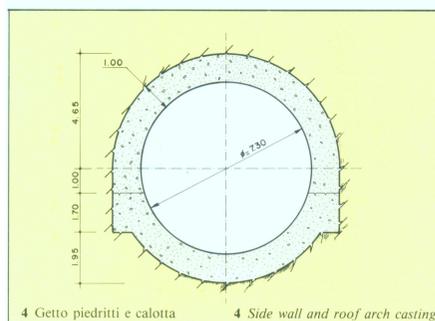
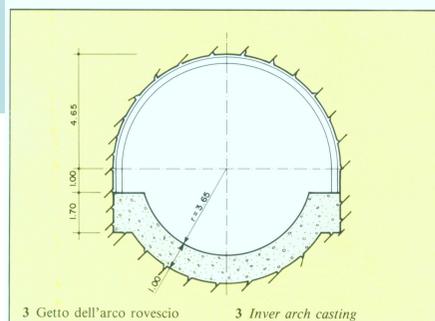
Compattazione del nucleo  
Core compaction.



*Compattazione del nucleo*

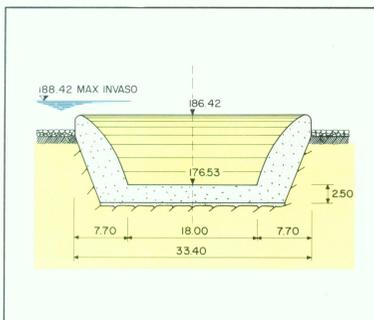


**DIGA DEL LOCONO**  
 Galleria scarico di fondo  
 e pozzo di manovra

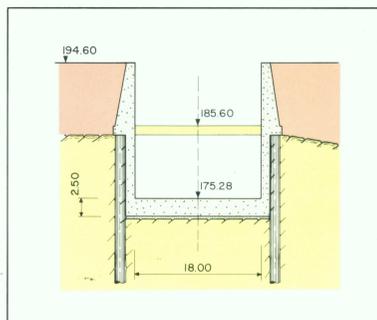


## DIGA DEL LOCONO : SCARICO DI SUPERFICIE ED OPERE ANNESSE

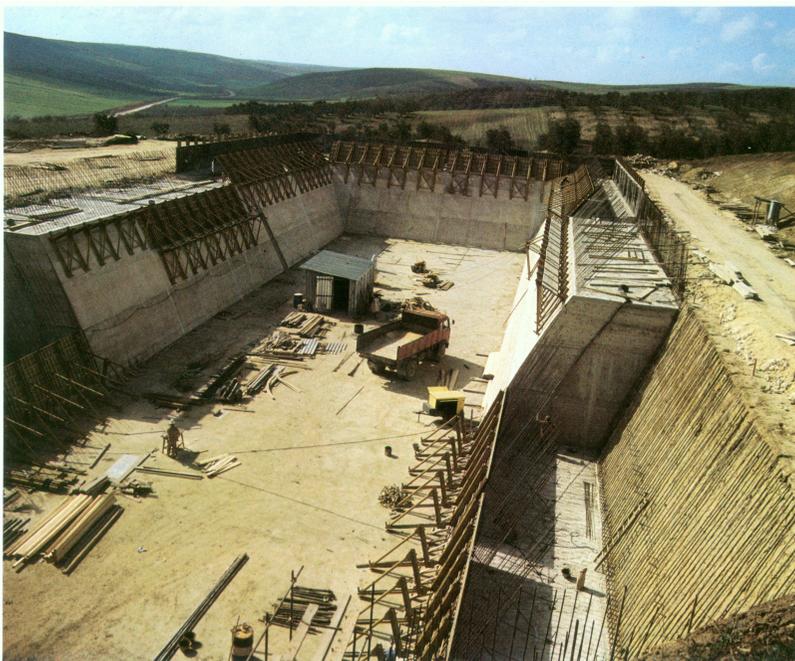
Sfioratore



Canale di scarico di superficie



Sfioratore in fase di costruzione (visto da valle)



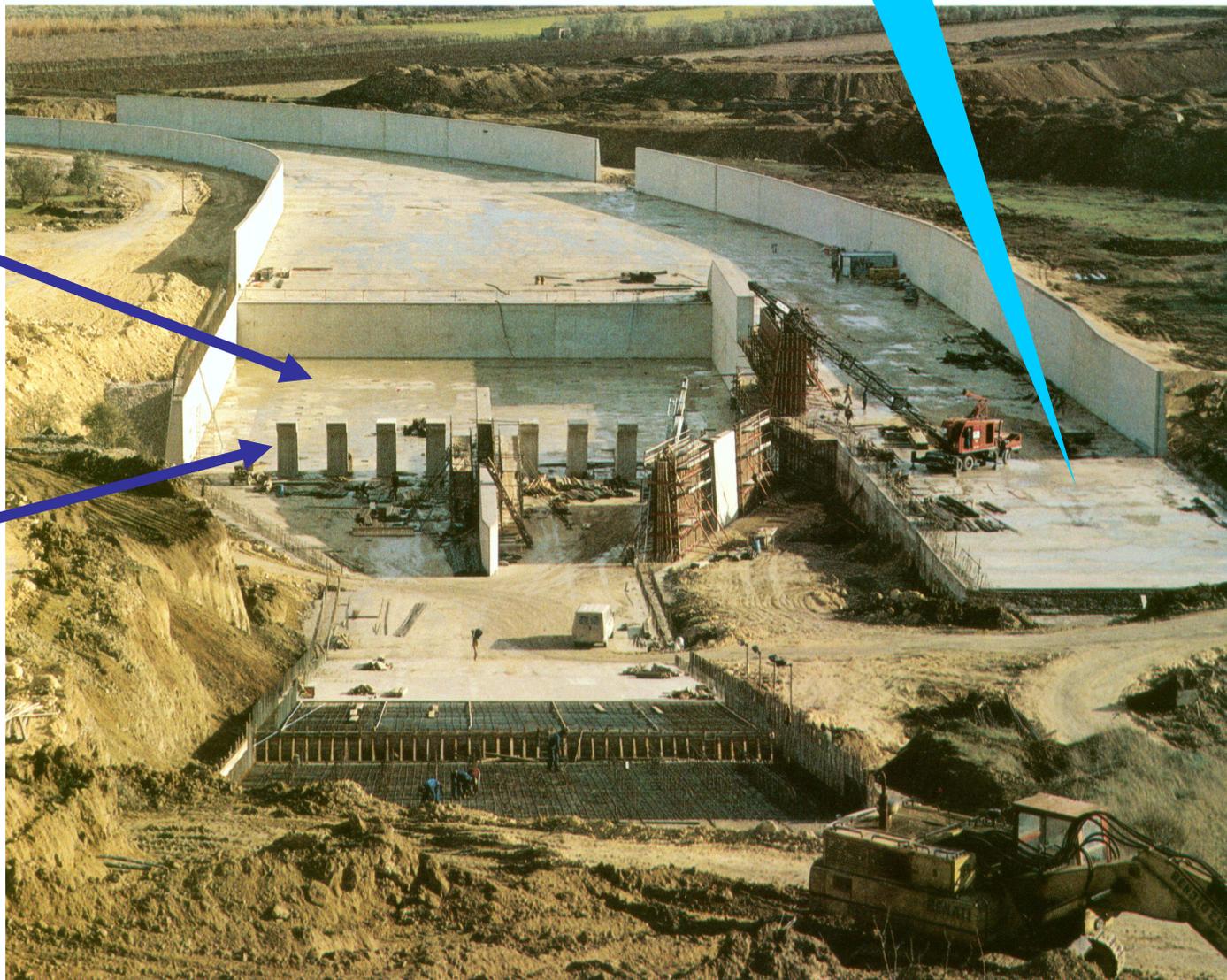
Vulture



Il canale di restituzione, la vasca di dissipazione 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



Sbocco dello  
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 LOCONO

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.

