

Dighe

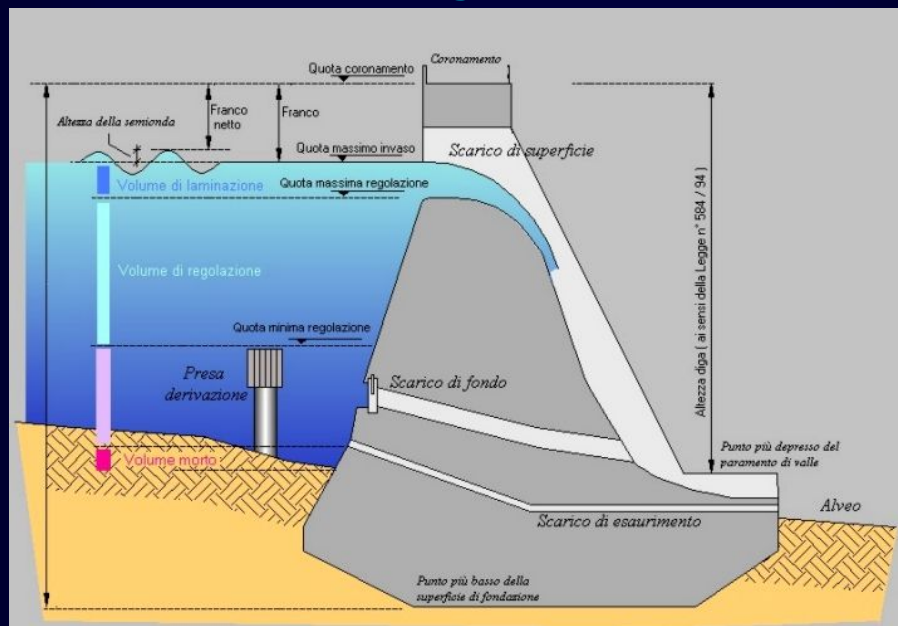
Le dighe sono opere di sbarramento, a una valle o a un corso d'acqua, che determinano la formazione di un invaso o lago artificiale. Le finalità di una diga sono:

- creare una riserva d'acqua (per produzione di energia, irrigazione, uso potabile o industriale);
- regolare le portate fluviali;
- intercettare il corso di un fiume e facilitare la captazione dell'acqua fino alla portata che si intende derivare;
- trattenere il materiale solido trasportato dal corso d'acqua.

Se l'opera di sbarramento non comporta un dislivello notevole tra monte e valle si parla di dighe per derivazione o traverse fluviali, di norma di altezza inferiore a 10 m, che possono essere fisse o mobili.



Dighe



Scelta dell'ubicazione di una diga

Aspetti morfologico-economici

"Gole" molto strette ed incassate precedute da ampie vallate capaci di contenere bacini idrici tali da rendere l'opera economicamente conveniente

Aspetti idrologici

- tipo ed evoluzione del reticolo idrografico
- volume d'acqua d'afflusso (tramite l'analisi climatologica)
- misure delle portate solide
- quantità d'acqua estraibile



La valutazione dei suddetti aspetti conduce ad una preliminare scelta dell'ubicazione dell'opera, per la quale procedere in seguito a verifiche geologico-tecniche per giungere, infine, ad un giudizio sulla fattibilità dell'opera.

Problemi geologici relativi alle dighe

Impermeabilità dell'invaso

Stabilità delle sponde e dei versanti dell'invaso

Interrimento dell'invaso

Studio della sezione di sbarramento ai fini della scelta del tipo di diga e per il controllo della tenuta idraulica

Impermeabilità della soglia sulla quale va ubicata la diga

Reperimento dei materiali da costruzione

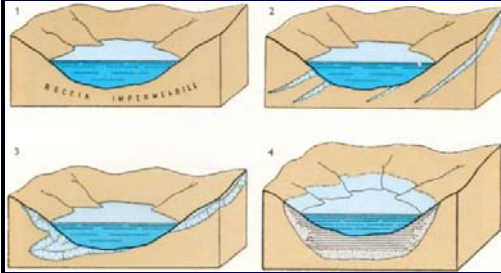
Condizioni geologiche inerenti le opere ausiliarie

Impermeabilità dell'invaso - 1

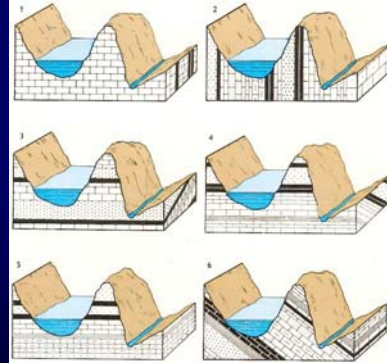
Le acque che si raccolgono a monte dello sbarramento non devono poter sfuggire lateralmente o dal fondo in quantità tali da rendere l'opera poco conveniente, dal punto di vista economico, o addirittura inutile.

Causa delle perdite:

- permeabilità (per porosità o per fratturazione) dei materiali che costituiscono il sottofondo della zona che ospiterà il serbatoio artificiale;
- disposizione dei piani di stratificazione, scistosità, fratturazione che possono costituire vie preferenziali per il deflusso delle acque anche verso valli attigue;



Esempi di condizioni di tenuta dei serbatoi. Le zone punteggiate indicano le rocce permeabili, mentre i tratteggi orizzontali indicano dei depositi impermeabili

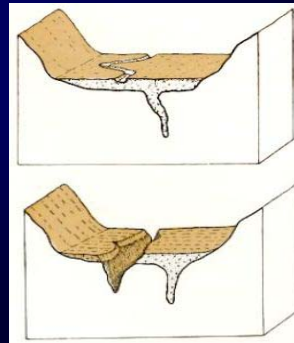
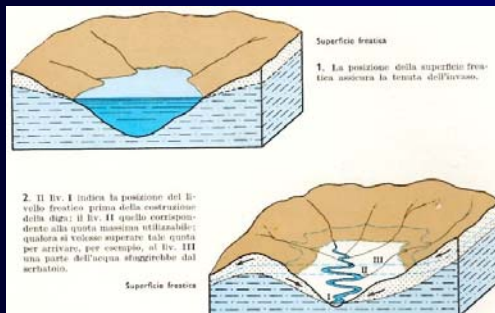


Giacitura della stratificazione in relazione alla tenuta dell'invaso e al rapporto con le valli attigue: 1, 3 e 4 sfavorevole, 2 e 5 favorevole, 6 incerte. I livelli in nero rappresentano strati permeabili.

Impermeabilità dell'invaso - 2

Causa delle perdite:

- presenza di condotti carsici;
- presenza di un'antica conca lacustre, di cui è necessario accertare le cause dello svuotamento;
- andamento della superficie piezometrica, che deve avere spartiacque sotterranei sono posti sempre a quote superiori rispetto a quelle di massimo invaso;
- presenza di paleoalvei a fianco degli alvei attuali, rimasti sepolti sotto depositi recenti, alluvionali, morenici o detritici e caratterizzati da elevate permeabilità;
- stile tettonico: in presenza di pieghe lo spartiacque sotterraneo può non coincidere con quello superficiale, le faglie comportano talora contatti non stratigrafici tra rocce permeabili e impermeabili nonché aree cataclastiche.



Stabilità delle sponde e dei versanti dell'invaso

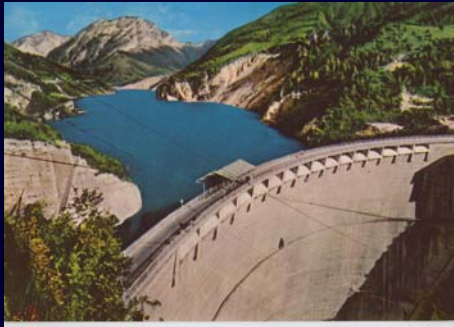
Quando viene realizzato uno sbarramento, si deve porre particolare attenzione alle conseguenze che la creazione del lago artificiale può comportare sulla stabilità dei terreni costituenti le sponde e i fianchi della valle sovrastante l'invaso, nonché l'influenza che la costruzione della diga ha sui pendii di imposta delle spalle.

Nella zona di fluttuazione del lago, soggetta a periodiche inondazioni o all'azione degli agenti atmosferici, l'acqua può influire negativamente sull'equilibrio del pendio in diversi modi:

- in fase di invaso: aumenta il peso specifico apparente dei terreni; elimina le tensioni superficiali da cui spesso dipende la coesione apparente propria di materiali sciolti a grana fine; può provocare fenomeni di dissoluzione o di liquefazione.
- in fase di svuotamento: può creare, in presenza di terreni poco permeabili e se l'abbassamento del lago avviene abbastanza velocemente, delle sovrappressioni che diminuiscono gli sforzi efficaci e quindi la resistenza al taglio del terreno:

Nella zona soprastante il livello di massimo invaso, i pendii incumbenti sulla diga sono soggetti alla sola azione degli agenti meteorici e in essi vanno evidenziate:

- frane in atto e zone potenzialmente instabili;
- frane quiescenti e relitte;
- aree valanghive



Diga del Vajont



Diga del Vajont



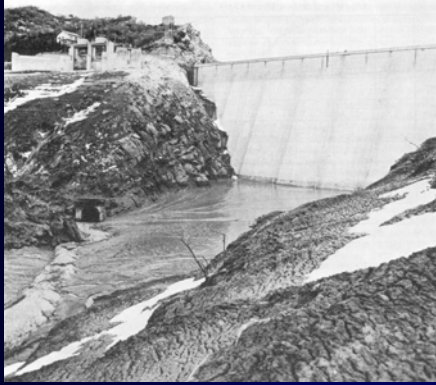
Interrimento dell'invaso

La vita media di un bacino artificiale dipende essenzialmente dal suo interrimento e quindi del trasporto solido, la cui entità dipende da vari fattori. Si definisce **tempo di interrimento** la perdita di capacità dell'invaso a causa dell'immissione nel bacino di materiale trasportato dal corso d'acqua principale e dai suoi affluenti, in un dato periodo di tempo.

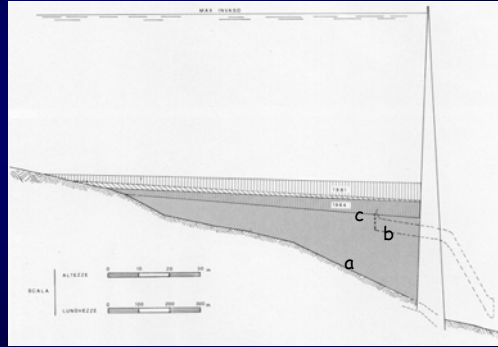
Numerosi sono i fattori che influenzano il tempo di interrimento di un invaso. I più importanti di essi sono:

- natura litologica delle rocce che affiorano nell'area sottesa dal bacino;
- grado di alterazione delle rocce stesse;
- regime idrologico del corso d'acqua interessato dall'opera di sbarramento e dei suoi affluenti;
- climatologia, e in particolare regime delle precipitazioni e delle temperature;
- tipo di vegetazione: la copertura erbosa trattiene il terreno mentre il bosco rallenta la caduta dell'acqua;
- stabilità dei versanti;
- disboscamento.

Interrimento dell'invaso



Interrimento a ridosso della diga di Ancipa, "rivelata" da un'operazione di svaso



Interrimento dell'invaso di Ancipa con il deposito residuo al 1984 (a) e le "spillate" degli anni 1964 (b) e 1981 (c).

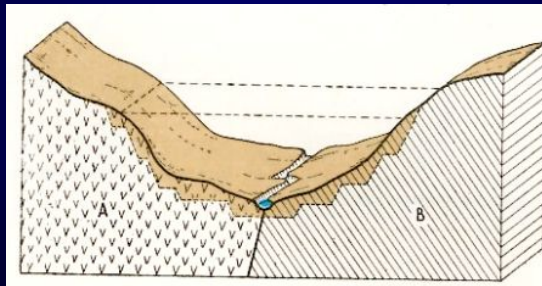
Entità dell'interrimento e stima dell'erosione specifica nei bacini artificiali lungo il Fiume Simeto, Sicilia (dati da Amore & Giuffrida, 1984)

Sbarramento	Capacità invaso	Volume totale interrimento	Periodo interrimento	Apporto solido unitario	Bacino imbrifero sotteso	Entità erosione specifica
	(m ³)	(m ³)	(anni)	(m ³)	(km ²)	(mm)
Ancipa	30* 10 ⁶	4.400.000	1952-1982	145.000	100	1,45
Pozzillo	150*10 ⁶	29.440.000	1952-1982	980.000	580	1.69
Nicoletti	19*10 ⁶	1.500.000	1972-1984	125.000	100	1.25
Ogliastro	110*10 ⁶	1.000.000	1967-1984	59.000	470	0.12

Studio della sezione di sbarramento ai fini della scelta del tipo di diga e per il controllo della tenuta idraulica

La stabilità del substrato di fondazione della diga dipende da vari fattori, quali:

- **natura litologica del terreno di fondazione:** rocce molto fragili, come i gessi, o soggette a fenomeni carsici, come i calcari, le dolomie ecc., possono dar luogo a cedimenti o a crolli localizzati, causando lesioni nello sbarramento;
- **caratteristiche tecniche delle rocce:** coesione, resistenza a compressione, resistenza al taglio, modulo elastico, indice di qualità della roccia, spessore dello strato di alterazione.
- **omogeneità del terreno di fondazione:** disomogeneità litologiche o nelle proprietà tecniche possono determinare deformazioni differenziali nella struttura.



Studio della sezione di sbarramento ai fini della scelta del tipo di diga e per il controllo della tenuta idraulica - 2

La stabilità del substrato di fondazione della diga dipende ancora da:

- **Disposizione dei piani di stratificazione, scistosità o fratturazione degli ammassi rocciosi**
 - condizioni strutturali favorevoli:
 - ammassi rocciosi massicci, senza fratturazioni o discontinuità;
 - piani di discontinuità inclinati verso monte, a reggipoggio;
 - strati verticali o subverticali perpendicolari all'asse vallivo (privi di litoclasti inclinate verso valle);
 - condizioni strutturali sfavorevoli:
 - piani di stratificazione o di fratturazione immergenti verso il fondovalle (strati a franapoggio meno inclinati del pendio);
 - condizioni strutturali intermedie:
 - piani di stratificazione o di fratturazione paralleli all'asse della valle;
 - piani di stratificazione o di fratturazione orizzontali (la pressione esercitata dall'acqua contro la diga tende a farne scorrere la base verso valle).
- **Condizioni tettoniche, come la presenza di faglie, di pieghe, di sovrascorrimenti ecc.**
- **Fenomeni di sottopressione, legati alla spinta idrostatica esercitata sulla base della diga sia dalle acque salienti sia dalle acque dell'invaso che filtrano attraverso le discontinuità della roccia di fondazione.**

Influenza della giacitura delle discontinuità

condizioni strutturali favorevoli

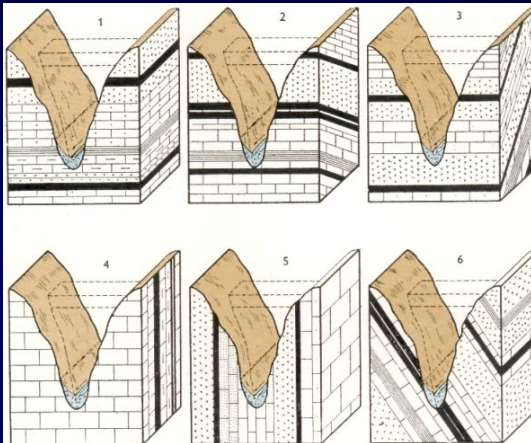
- ammassi rocciosi massicci, senza fratturazioni o discontinuità;
- piani di discontinuità inclinati verso monte, a reggipoggio;
- strati verticali o subverticali perpendicolari all'asse vallivo (privi di discontinuità inclinate verso valle);

condizioni strutturali sfavorevoli

- piani di stratificazione o di fratturazione immergenti verso il fondovalle (strati a franapoggio meno inclinati del pendio);

condizioni strutturali intermedie

- piani di stratificazione o di fratturazione paralleli all'asse della valle;
- piani di stratificazione o di fratturazione orizzontali (la pressione esercitata dall'acqua contro la diga tende a farne scorrere la base verso valle).



Condizioni di stabilità del terreno di fondazione di una diga in relazione alla giacitura dei giunti di stratificazione: 1, 4, 5 favorevoli; 2 molto favorevoli; 3 sfavorevoli; 6 sfavorevoli sul fianco destro e favorevoli sull'altro.

Tenuta idraulica della soglia dello sbarramento

Generalmente in corrispondenza della soglia si possono presentare tre diverse condizioni geologiche:

• Alveo e sponde di roccia in posto

L'impermeabilità dipende dalla natura, dalla struttura e dalla fratturazione della roccia, nonché dall'andamento dei piani di scistosità o dei giunti di stratificazione.

Condizioni molto precarie sono offerte dai calcari, dalle dolomie e dai gessi. Questi ultimi, oltre a essere solubili, hanno bassa resistenza alla compressione e rendono le acque circolanti in essi particolarmente aggressive.

• Alveo alluvionale e sponde di roccia in posto

Per quanto riguarda le sponde, il problema è analogo a quello visto in precedenza, mentre per l'alveo si devono considerare due casi:

1. alluvioni poco potenti: le fondazioni raggiungono direttamente la roccia in posto;
2. alluvioni molto potenti: le fondazioni non possono raggiungere la roccia in posto, per cui si dovranno valutare attentamente le perdite conseguenti.

• Alveo alluvionale e sponde di roccia incoerente

Problemi di tenuta del bacino e di fondazioni.

Dighe: tipologie

Dighe murarie

Dighe a gravità: si oppongono alla spinta dell'acqua con il proprio peso, predominano gli sforzi compressivi.

- a gravità massiccia
- a speroni
- a gravità alleggerita
- a volte multiple
- a lastre

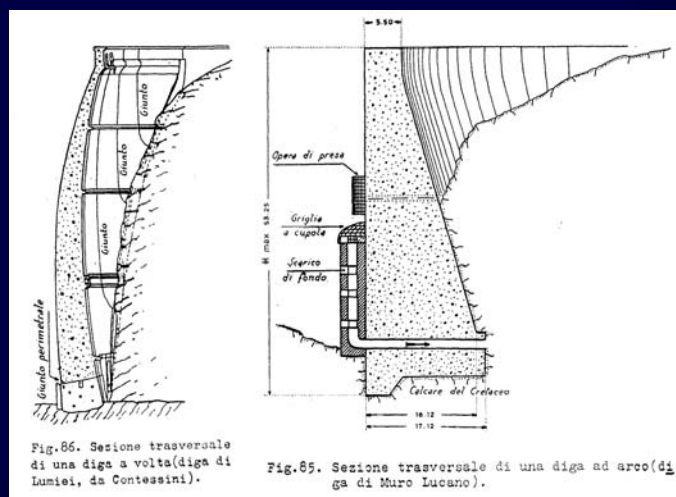
Dighe ad arco: la pressione idrostatica, per l'effetto arco, viene scaricata sulle spalle della stretta da sbarrare.

- ad arco semplice
- ad arco-gravità
- a doppia curvatura (arco-volta)

Dighe in materiale sciolto

- In terra: adatte a terreni sciolti coesivi e non coesivi
- In muratura a secco: indicate per terreni rocciosi eterogenei fratturati e/o alterati
- In pietrame (scogliere), indicate per terreni rocciosi eterogenei fratturati e/o alterati.

Dighe: tipologie



Dighe: tipologie

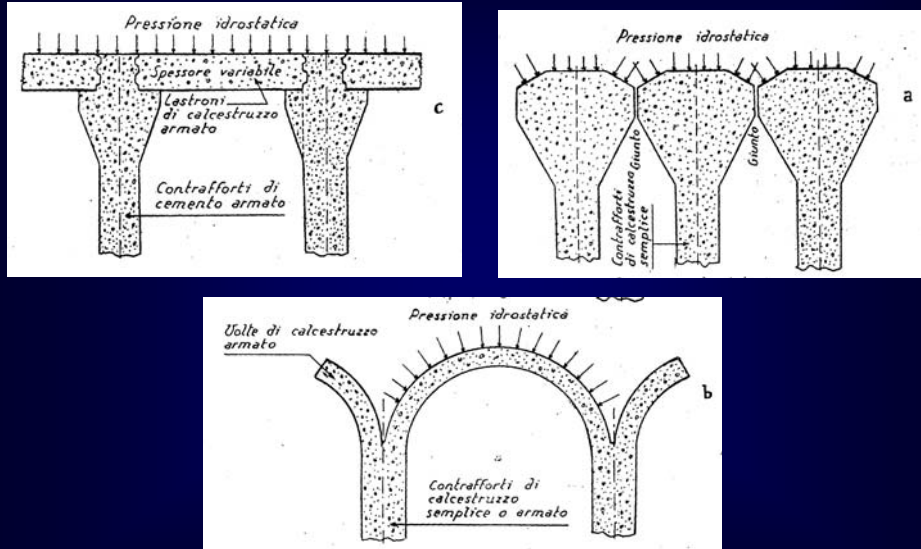
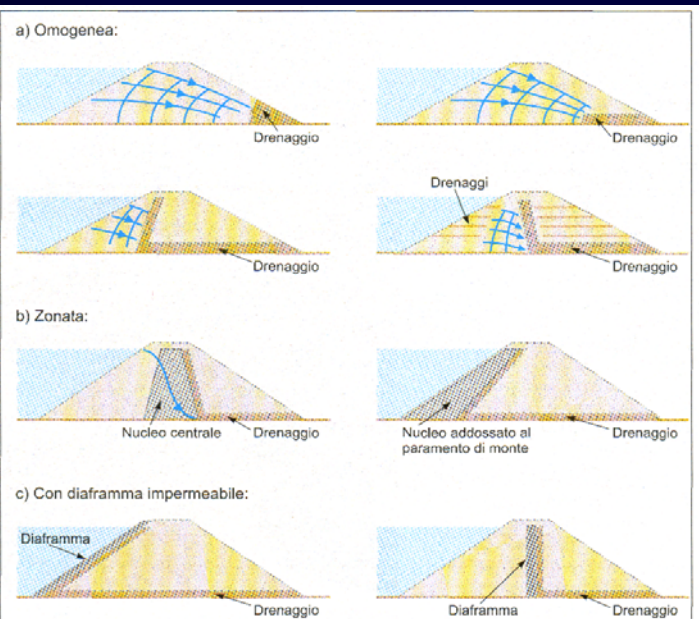


Fig.84. Sezioni orizzontali schematiche di dighe a speroni di vario tipo: a)alleggerita; b) ad archi multipli; c) a lastre (da Contessini).

Dighe: tipologie



Tipologie di dighe in terra

Dighe in terra



Fig.87. Sezione trasversale di una diga a scogliera (diga di Gela, da Contessini).

Geologia Applicata

Reperimento materiali da costruzione

La realizzazione di una diga necessita l'impiego di grandi quantitativi di materiali naturali da costruzione che, a seconda del tipo di sbarramento, devono possedere ben precise caratteristiche fisiche e meccaniche. Nella maggior parte dei casi si cerca di reperire tale materiale in prossimità dell'opera che deve essere costruita, per non incidere eccessivamente sui costi.

Dighe in muratura a secco e a gravità

massi e pietrame aventi: elevato peso specifico apparente; basso coefficiente di imbibizione; basso coefficiente di dilatazione termica; buona resistenza a compressione (40-50 MPa); bassa gelività; facile lavorabilità.

Dighe in calcestruzzo

inerti appartenenti a ben definite classi granulometriche provenienti da rocce: non alterate chimicamente; non gelive; non cataclosate; con bassa percentuale di sostanze argillose.

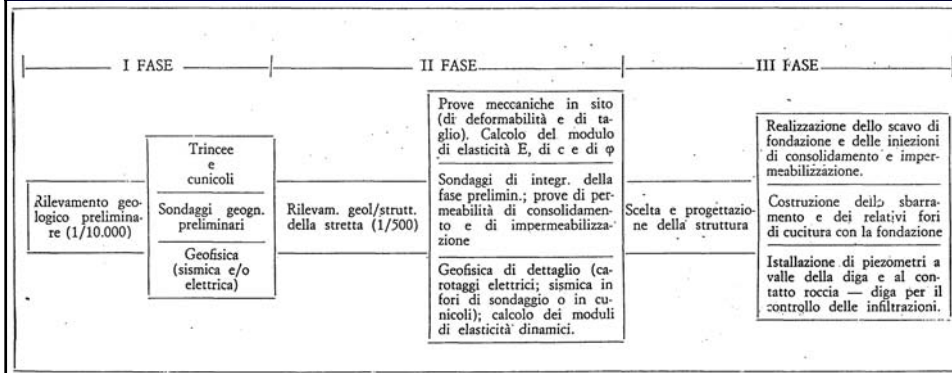
Dighe a scogliera

pietrame di non ben definita pezzatura derivante da rocce: poco alterate chimicamente; difficilmente disgregabili.

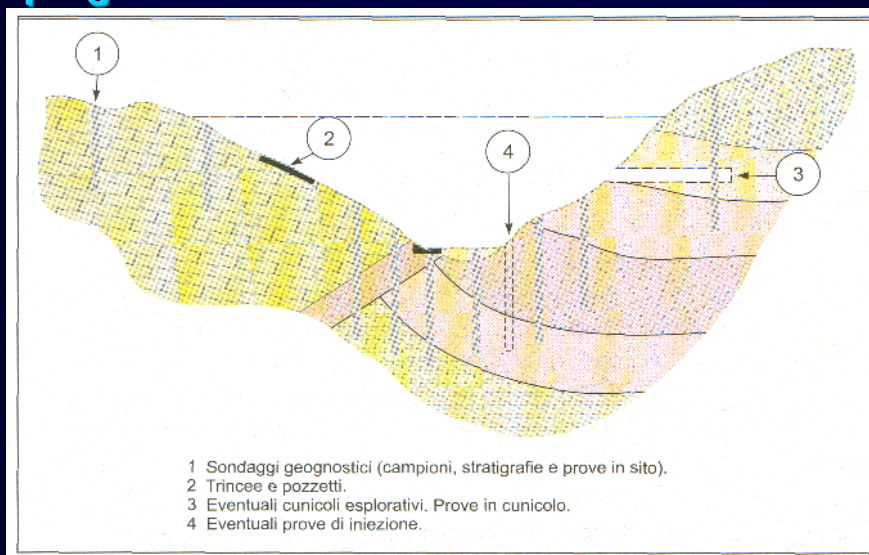
Dighe in terra

limi, sabbie e ghiaie ma soprattutto argille, particolarmente utili anche per effettuare impermeabilizzazioni varie e per la costruzione di diaframmi.

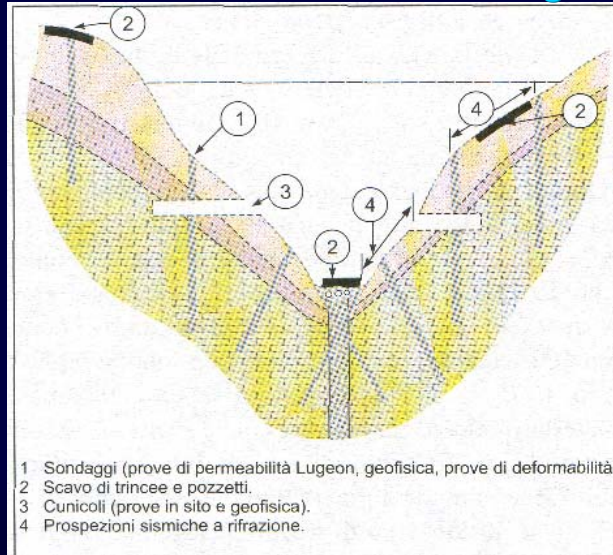
Fasi delle indagini geologico-tecniche per la progettazione di uno sbarramento artificiale



Indagini geologico-tecniche per la progettazione di uno sbarramento artificiale

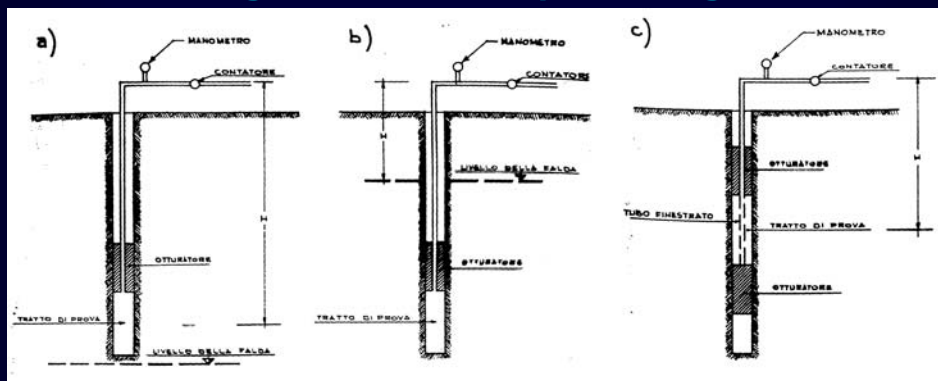


Schema generale delle indagini da eseguire lungo la sezione di sbarramento di una diga muraria



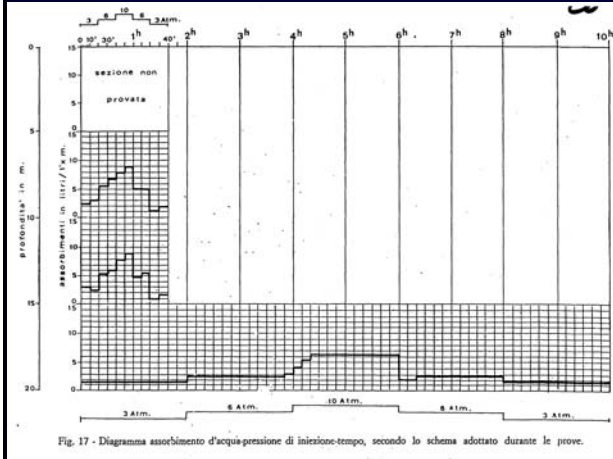
Gonzalez de Vallejo (2005)

Indagini in sito – Le prove Lugeon



Si tratta di prove di permeabilità eseguite per iniezione di acqua in pressione in tratti di fori di sondaggio ($L = 5$ m), con pareti libere, isolati dal resto del sondaggio mediante pistoni e registrando gli assorbimenti d'acqua in funzione della pressione d'iniezione. La prova si svolge "a gradini di pressione" (di norma, 3 o 4), iniziando con 2-3 atm e mantenendo la pressione costante finché gli assorbimenti non si stabilizzano, per poi passare al gradino successivo. I gradini si predispongono in modo da raggiungere e superare, nell'ultimo gradino, la pressione di 10 atm in corrispondenza del baricentro del tratto di prova. La prova si effettua con gradini prima crescenti e poi decrescenti (es.: 3-6-10-6-3 atm). Possono poi eseguirsi anche gradini di lunga durata, per meglio definire le caratteristiche di permeabilità dei terreni alle varie pressioni. Si perviene in tal modo ad un **coefficiente di permeabilità equivalente**, valido per le specifiche condizioni di prova ed espresso in funzione delle cosiddette **Unità Lugeon**.

Indagini in sito – Le prove Lugeon



Un' **Unità Lugeon** è uguale all'assorbimento di 1 litro al minuto per metro lineare provato, sotto una pressione effettiva di 10 atm. Il **coefficiente di permeabilità equivalente (k)**, in condizioni di moto laminare, è uguale a:

$$K = 6 \cdot 10^{-9} \log (2 L / d) \cdot UL$$

con:

L = lunghezza del tratto di prova (m),
d (m) diametro sondaggio;
UL = Unità Lugeon.

1 UL corrisponde all'incirca a 10-5 cm/s

Di norma, si ammette che, per dighe di altezza superiore ai 30 m, la permeabilità dei terreni d'imposta non debba superare 1 UL. Per valori superiori occorre prevedere interventi di impermeabilizzazione.

Zonazione geologico-tecnica della sezione di sbarramento

