

DIGHE

→ E' uno sbarramento su un corso d'acqua naturale che crea un invaso.



Diga di Ridracoli (FC) - $h=103,5$ m - Invaso circa 33 milioni di m^3

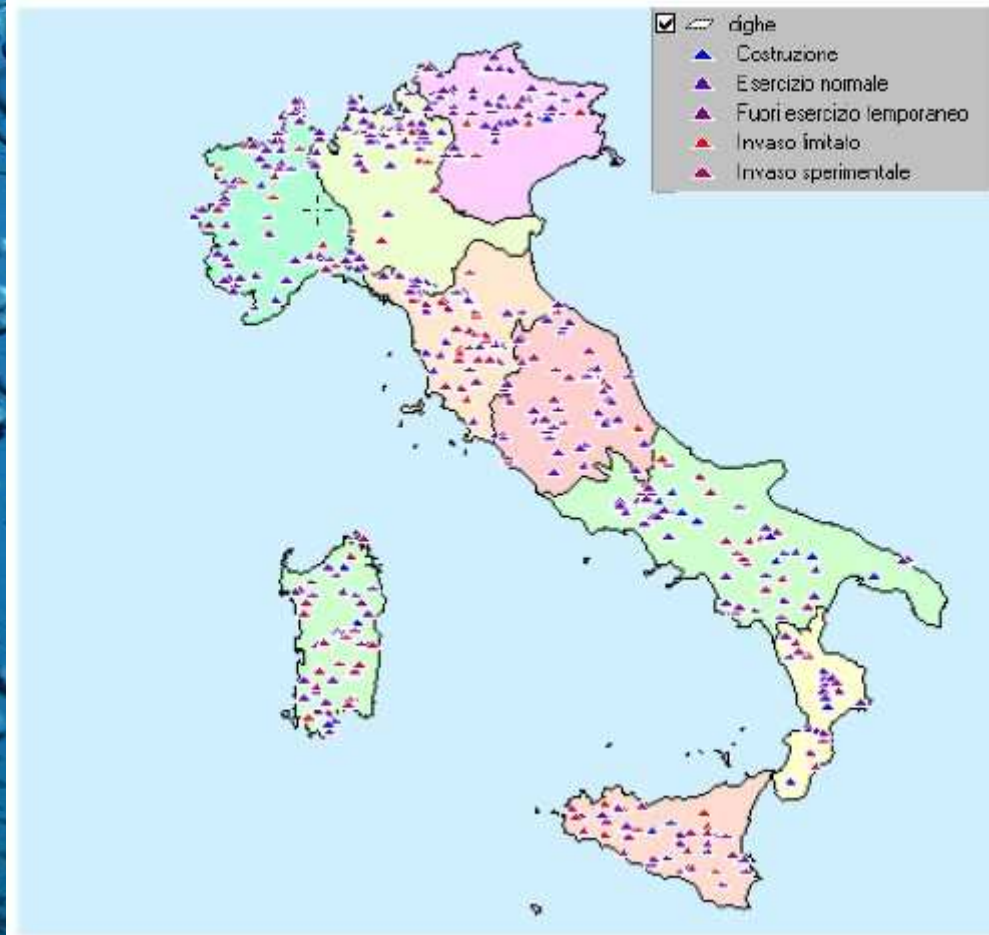
DIGHE IN ITALIA

- “Il Registro Italiano Dighe provvede, ai fini della tutela della pubblica incolumità, all'approvazione tecnica dei progetti delle grandi dighe (quelle che superano i 15 metri di altezza o che determinano un volume superiore al 1.000.000 di metri cubi), tenendo conto anche degli aspetti ambientali e di sicurezza idraulica derivanti dalla gestione del sistema costituito dall'invaso, dal relativo sbarramento e da tutte le opere complementari e accessorie; provvede inoltre, alla vigilanza sulla costruzione delle dighe di competenza e sulle operazioni di controllo e gestione spettanti ai concessionari”.

DIGHE IN ITALIA

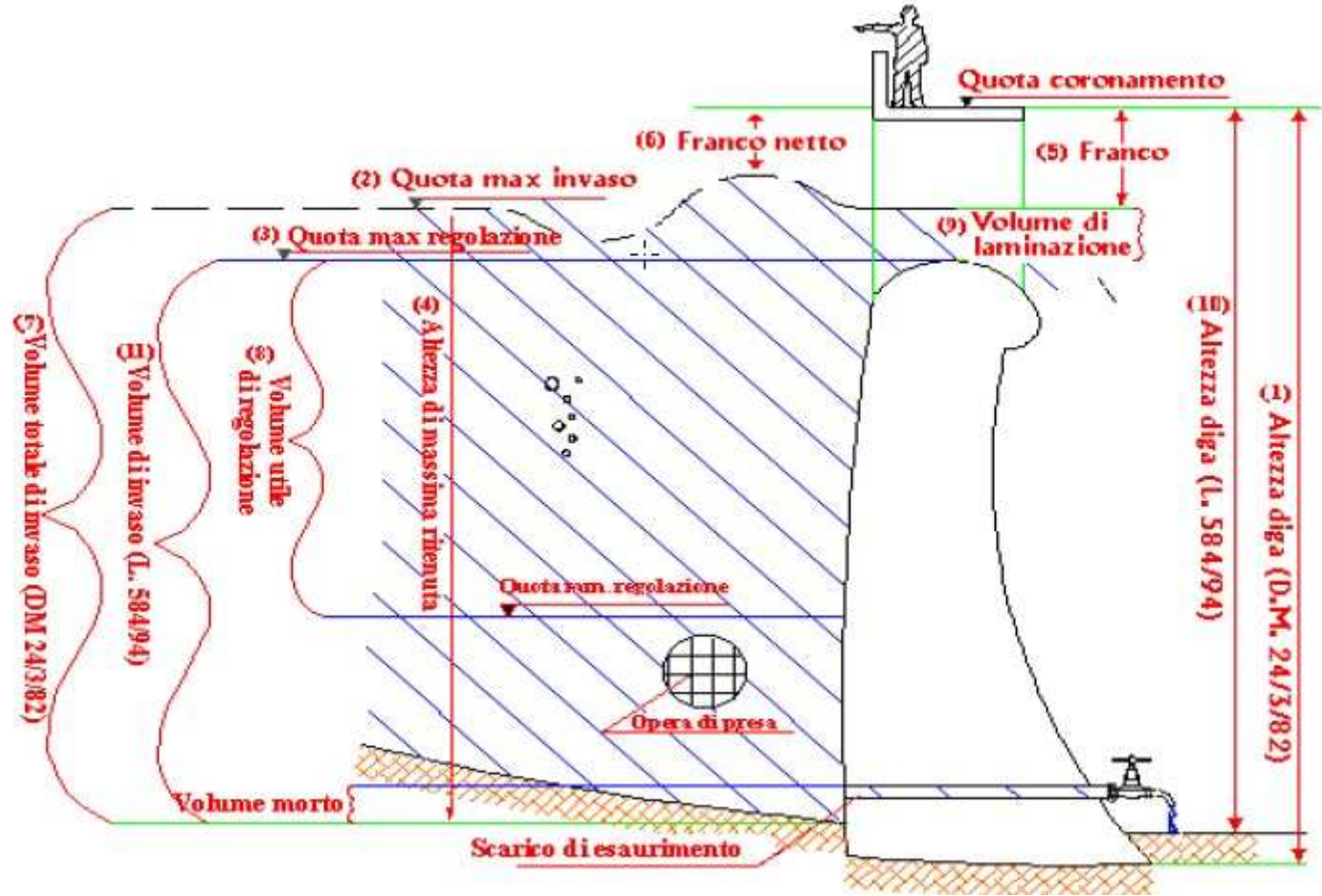
- L'attività istituzionale del R.I.D. è disciplinata, per gli aspetti procedurali ed autorizzativi, dal D.P.R. 10.11.1959, n.1363 "Approvazione del regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta" nonché, per quanto concerne la normativa tecnica di settore, dal D.M. LL.PP. 24.3.1982. All'Ente è affidato il compito di predisporre la normativa tecnica in materia di dighe.
- Il R.I.D. è ente pubblico non economico, soggetto alla vigilanza del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti.

DIGHE IN ITALIA

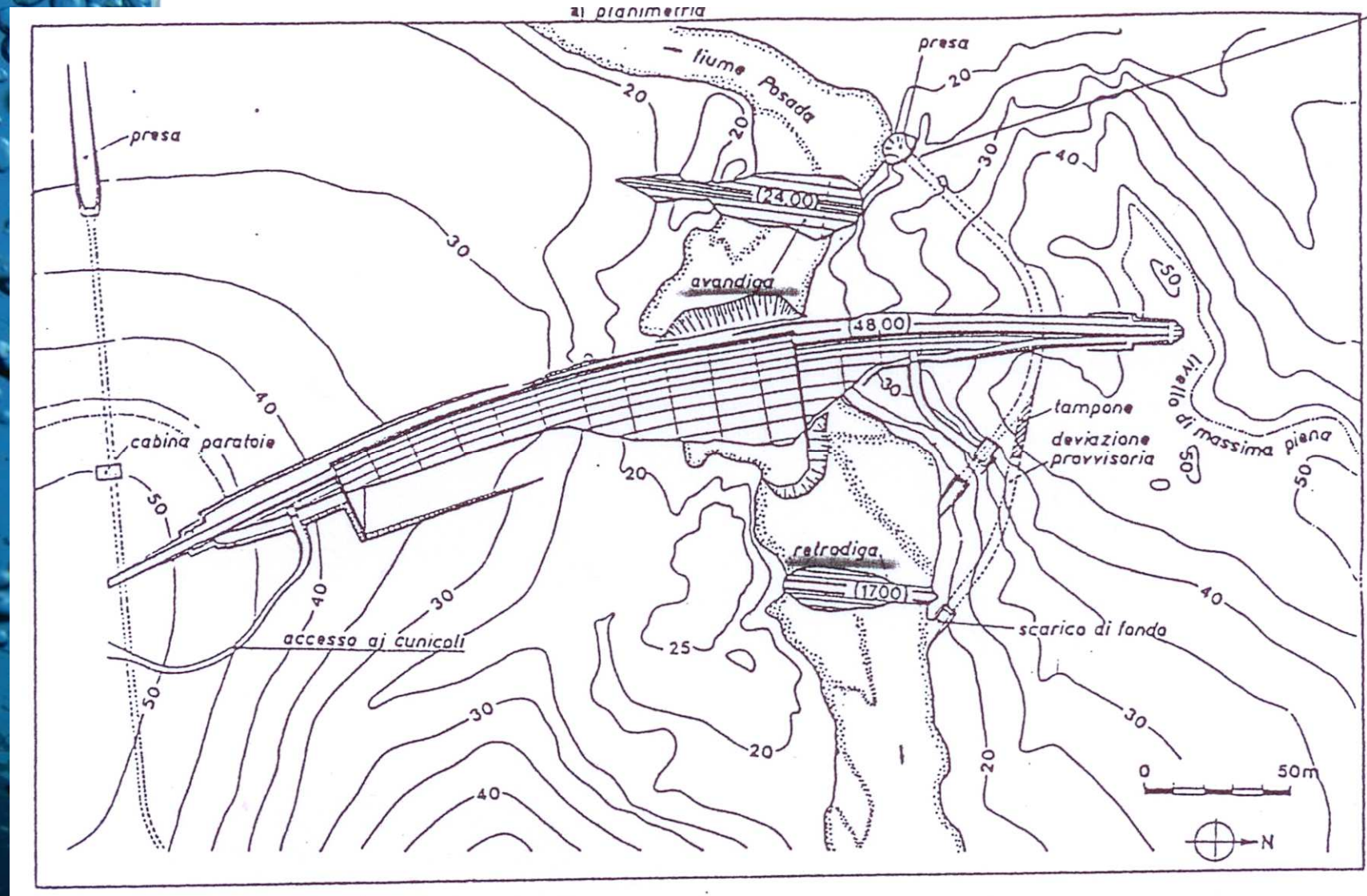


- Le grandi dighe italiane, di competenza statale, sono attualmente 541 (dato aggiornato a giugno 2008).
- Per la consultazione della distribuzione geografica delle grandi dighe, è disponibile il servizio di Cartografia interattiva del R.I.D., che visualizza la localizzazione delle opere di sbarramento, evidenziando le caratteristiche del reticolo idrografico, le caratteristiche antropiche e i limiti amministrativi del territorio.

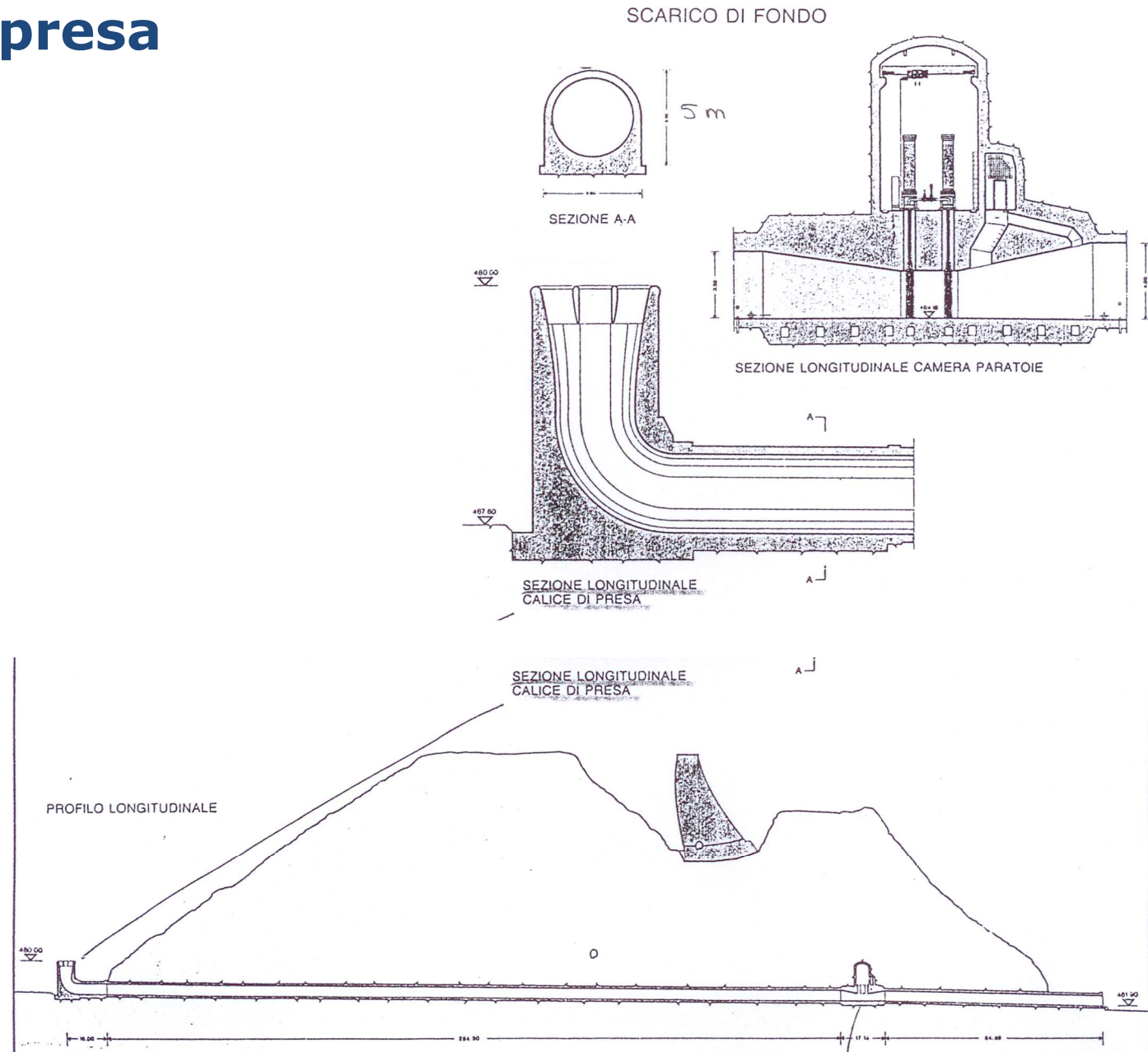
DIGHE



Diga di Maccheronis - Sardegna

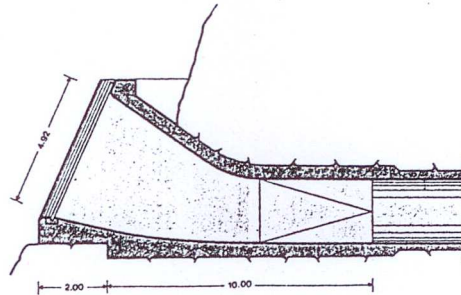


Dighe: calice di presa

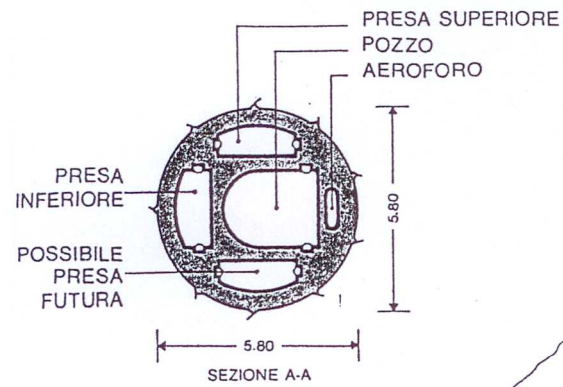


Dighe: opere di presa

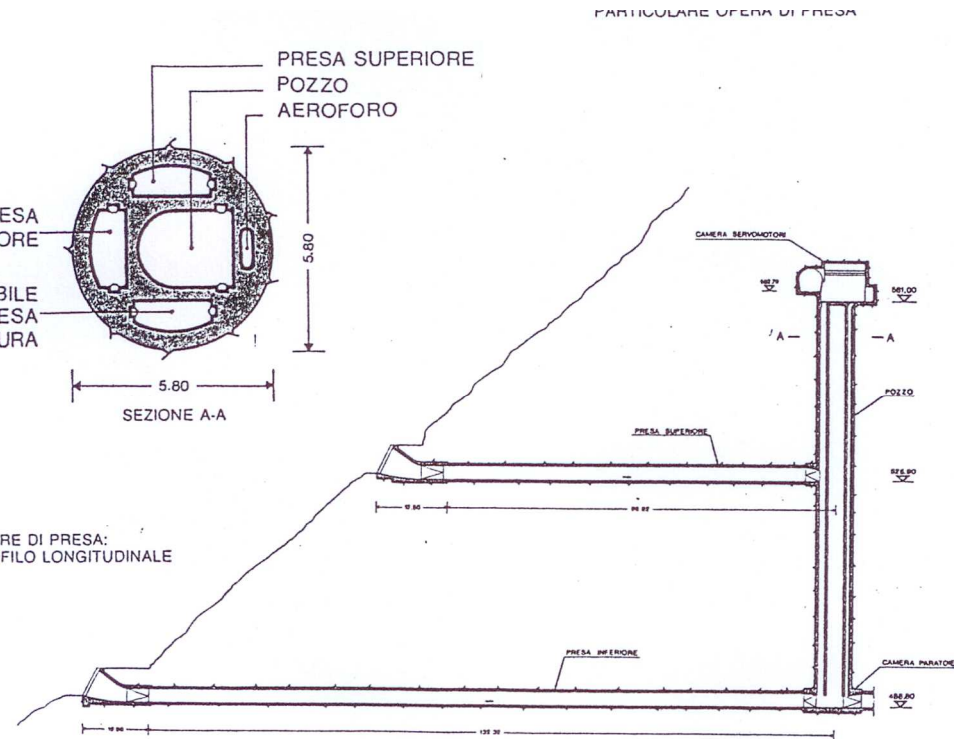
OPERE DI PRESA



PARTICOLARE OPERA DI PRESA



OPERE DI PRESA:
PROFILO LONGITUDINALE



ANALISI DI FATTIBILITA'

Aspetti morfologico-economici:















- gole rocciose molto strette precedute da ampie vallate capaci di contenere bacini idrici tali da rendere l'opera economicamente conveniente.

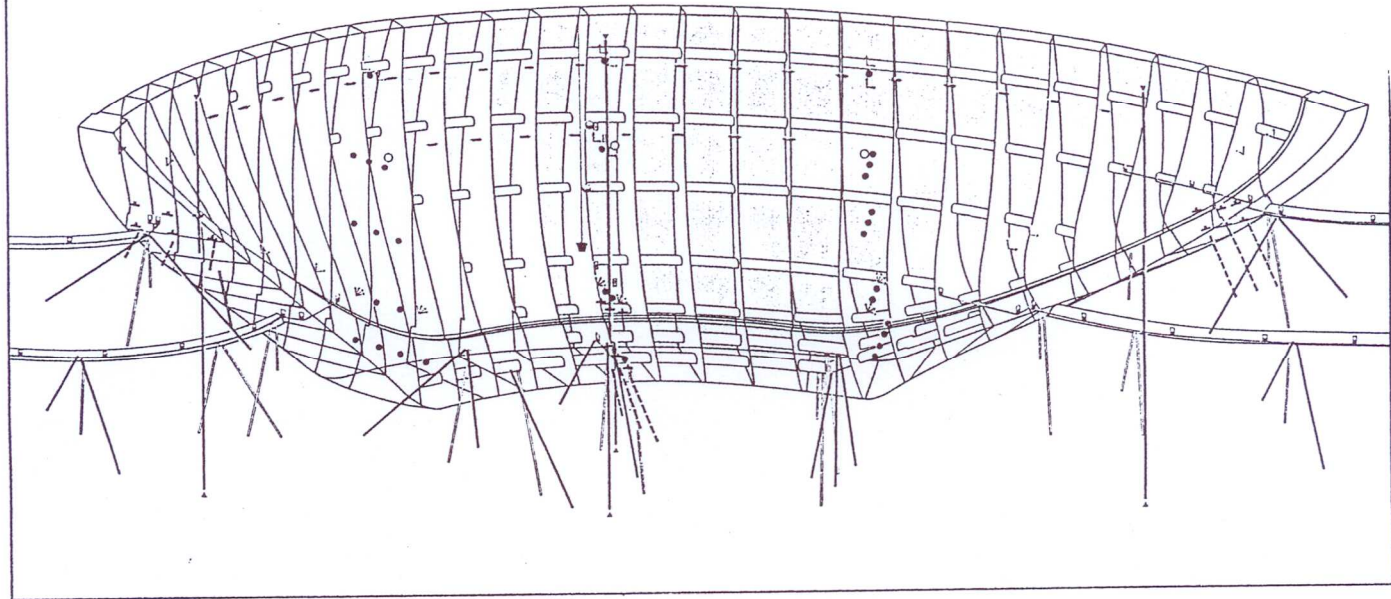
Problemi geologico-tecnici:

- impermeabilità dell'invaso,
- stabilità sponde e fianchi dell'invaso,
- interrimento dell'invaso,
- stabilità e tenuta idraulica della sezione di imposta,
- caratteristiche meccaniche della roccia di fondazione,
- **scelta della struttura – reperimento dei materiali.**

Monitoraggio del corpo diga

UBICAZIONE STRUMENTI DI MISURA

	TELEDILATOMETRO		PENDELO DIRETTO
	TERMOMETRO PER ARIA		PENDELO ROVESCIO
	TERMOMETRO PER ACQUA		BILANCIA DINAMOMETRICA
	TERMOMETRO PER CALCESTRUZZO		LIVELLO A VASI COMUNICANTI
	ESTENSIMETRO ISOLATO		PIEZOMETRI
	ROSETTA DI ESTENSIMETRI		ESTENSIMETRI A BASE LUNGA
	CAPSULE ESTENSIMETRICHE		ESTENSIMETRI "GALILEO"



DIGHE

- Gli interventi attuali sono rivolti prevalentemente alla manutenzione di dighe esistenti (es. sedimenti a monte della diga).

Diga sul fiume Adda-Valdidentro (SO)– Lombardia – capacità invaso 64 Mm^3 – $h=91,5\text{m}$



Utilizzazione delle dighe

- Per uso potabile (consumi/disponibilità variabili in funzione del tempo),
 - per irrigazione,
 - per scopi idroelettrici,
 - per motivi idrologici (laminazione delle piene).
- In genere più utilizzi contemporaneamente.

Tipologie di dighe

	di calcestruzzo			di materiali sciolti
	semplice o leggermente armato	precompresso*	armato	
a gravità	massicce**		a speroni e lastre	<ul style="list-style-type: none"> • di muratura di pietrame a secco • di terra • di scogliera
	alleggerite in blocchi			
spingenti	ad arco a cupola			
a effetto combinato	ad arco-gravità			
	a volte multiple***			

•La precompressione è stata finora applicata soltanto in lavori di rinforzo o di sopraelevazione di dighe a gravità di modesta altezza (la più alta è la diga indiana di Tansa di 57 m) e nella costruzione di speroni di alcune dighe a volte multiple. Allo stato attuale della tecnica il suo impiego nelle dighe alte non appare prudente (per i dubbi che sussistono sulla durata) né economici.

•**Molte dighe di questo tipo sono di muratura di pietrame con malta, procedimento costruttivo oggi non più in uso.

•***Il più antico esempio di diga a volte multiple è di muratura di pietrame con malta e in alcune altre dighe lo sono gli speroni.

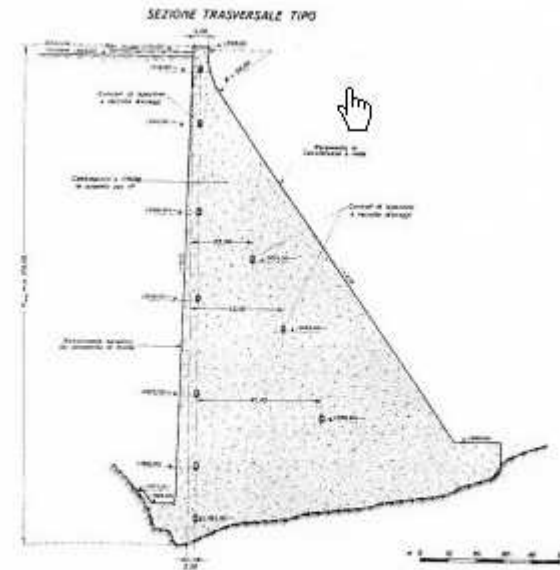
Tipologie di dighe

• La seconda parte del Regolamento dighe (DPR 1363/59) tratta espressamente le norme tecniche, per il calcolo e la costruzione, dei diversi tipi di dighe. Le vigenti norme tecniche, emanate con DM 24 marzo 1982, riportano la seguente classificazione delle dighe:

Tipologia dighe		
Dighe murarie	a gravità <small>si oppongono alla spinta dell'acqua con il proprio peso</small>	ordinarie (massicce); a speroni, a vani interni;
	a volta	ad arco <small>la pressione idrostatica, per l'effetto arco, viene scaricata sulle spalle della stretta da sbarrare</small>
		ad arco-gravità
		a cupola
	a volte o solette, sostenute da contrafforti.	
Dighe di materiali sciolti	in terra <small>adatte a terreni sciolti coesivi e non coesivi</small>	
	in pietrame (scogliere) <small>indicate per terreni rocciosi eterogenei fratturati e/o alterati</small>	
	di terra e/o pietrame, zonate, con nucleo di terra per la tenuta	
	di terra permeabile o pietrame, con manto o diaframma di tenuta di materiali artificiali	
Sbarramenti di tipo vario		
Traverse fluviali		

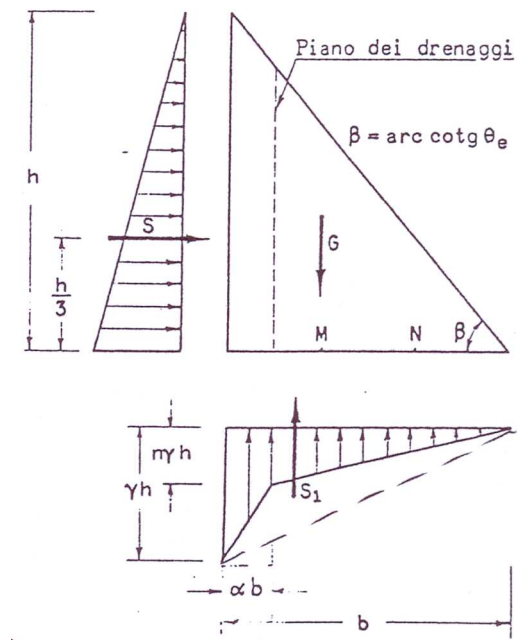
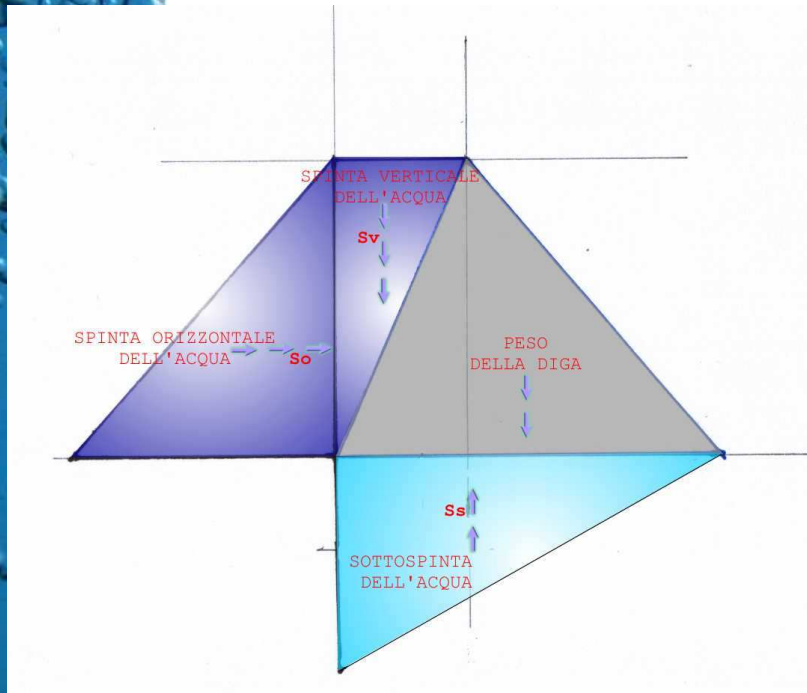
Diga muraria a gravità ordinaria

- La struttura della diga è ad asse planimetrico rettilineo o a debole curvatura, con profilo trasversale fondamentale triangolare a sezioni orizzontali piene. La resistenza alla spinta dell'acqua - ed eventualmente del ghiaccio ed alle azioni sismiche - è sopportata per effetto del solo peso proprio.



Sezione tipica di una diga a gravità massiccia

Diga muraria a gravità ordinaria: forze in gioco



Immaginiamo che il cls sia impermeabile, ma in realtà ci sono dei moti di filtrazione che creano una sottospinta destabilizzante: per questo si realizzano delle canne di drenaggio schematizzabili come una cavità verticale lungo la quale l'acqua potrà scivolare verso il basso modificando l'andamento della spinta.

Diga muraria a gravità alleggerita

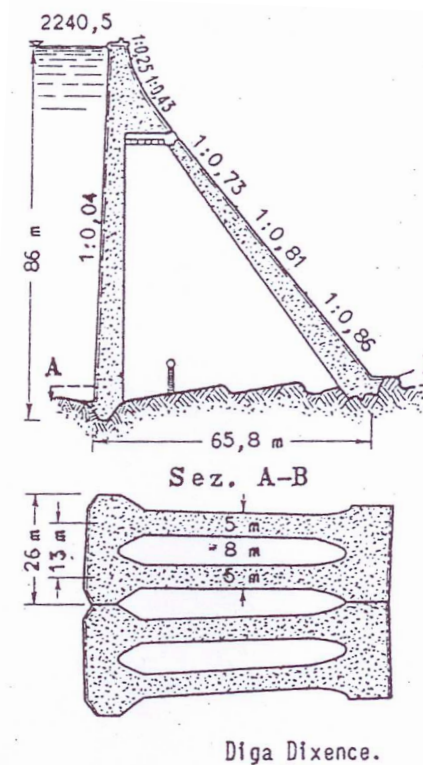
- La diga a gravità alleggerita è in sostanza un grande muro di spessore relativamente ridotto appoggiato a dei contrafforti. I contrafforti relativamente sottili conducono gli sforzi fino alle fondazioni. Questo tipo di costruzione consente chiaramente di raggiungere dimensioni notevoli, e al tempo stesso di risparmiare una grande quantità di calcestruzzo. Confrontandola con la diga a gravità massiccia si può facilmente immaginare che lo studio che deve stare dietro a questo tipo di diga sia nettamente maggiore in quanto la diga è nettamente più fragile.

Diga muraria a gravità alleggerita

Problematiche dello sbarramento alleggerito rispetto a quello a gravità:

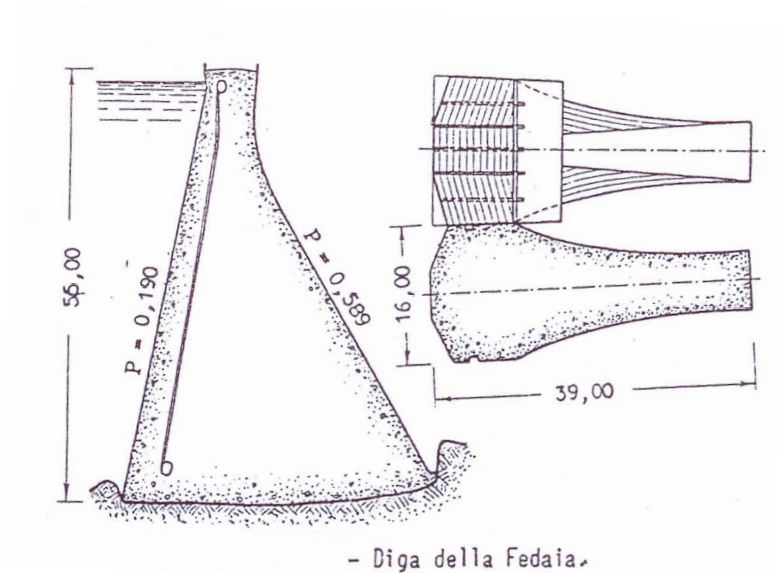
- lo sbarramento pesa molto meno, quindi stando alla teoria delle forze già analizzate sulla diga a gravità massiccia non possiamo avere una pressione sottostante elevata. Si deduce che la zona su cui poggia la fondazione deve essere molto più impermeabile rispetto alla DGM;
- la spinta orizzontale del bacino si scarica sui contrafforti/speroni che a loro volta la trasferiscono sul terreno mentre nelle DGM tutte le spinte sono sopportate dal proprio peso. Se le fondazioni non sono progettate in modo adeguato, queste non sono in grado di scaricare la spinta dell'acqua sul terreno causando tensioni su tutto il corpo diga.

Diga muraria a gravità alleggerita



Diga Grande Dixence (1961-1972)– Svizzera – A gravità in cls - h=285m

Diga muraria a gravità alleggerita: a speroni pieni



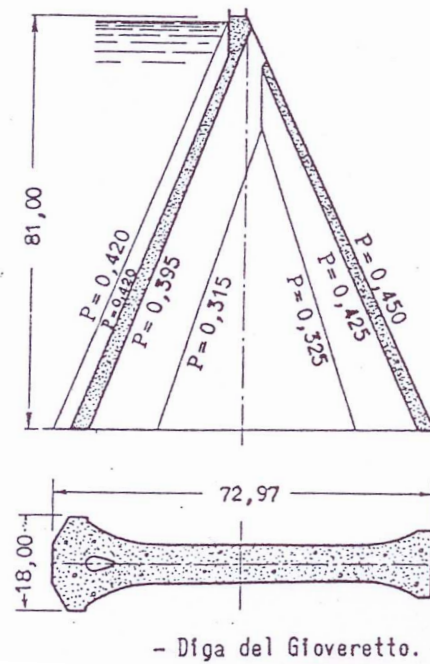
Diga della Fedaia sul fiume Avisio – Trentino Alto Adige – $h=63,9$ m

Diga muraria a gravità alleggerita: a speroni pieni



Diga sul fiume Avisio – Trentino Alto Adige

Diga muraria a gravità alleggerita: a speroni pieni



*Diga del Gioveretto – Trentino Alto Adige –
h=83 m con 17 speroni larghi 18 m ciascuno.*



Diga muraria a gravità alleggerita: a vani interni



Diga sul fiume Liscia – Sardegna – $h=69m$

Diga muraria ad arco o a volta

- Tipiche delle vallate alpine, raggiungono dimensioni notevoli: la quarta diga più alta del mondo è una diga ad arco sul fiume Inguri in Georgia con 271.5 m di altezza e con uno sviluppo al coronamento di 680 m, mentre con i suoi 261.6 m la diga del Vajont (Diga del Colomber) è la quinta al mondo.

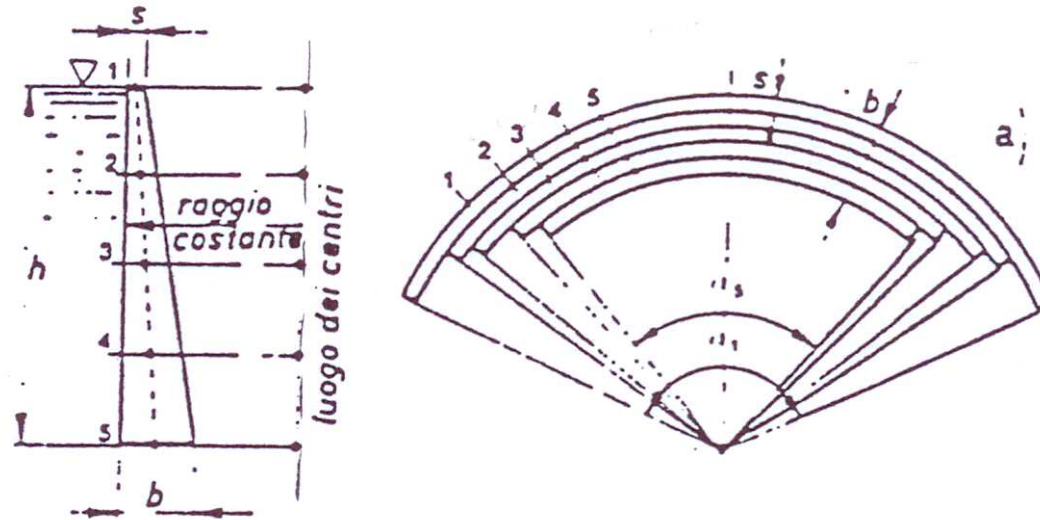


*Diga sul fiume Inguri – Georgia –
h=271.5m*

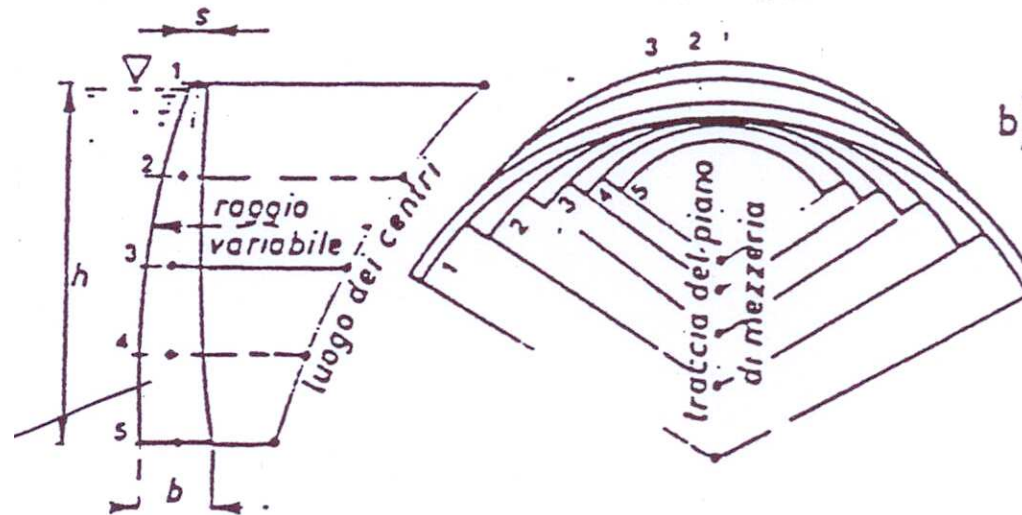


Diga del Vajont– Veneto – h=261.6m

Diga muraria ad arco o a volta



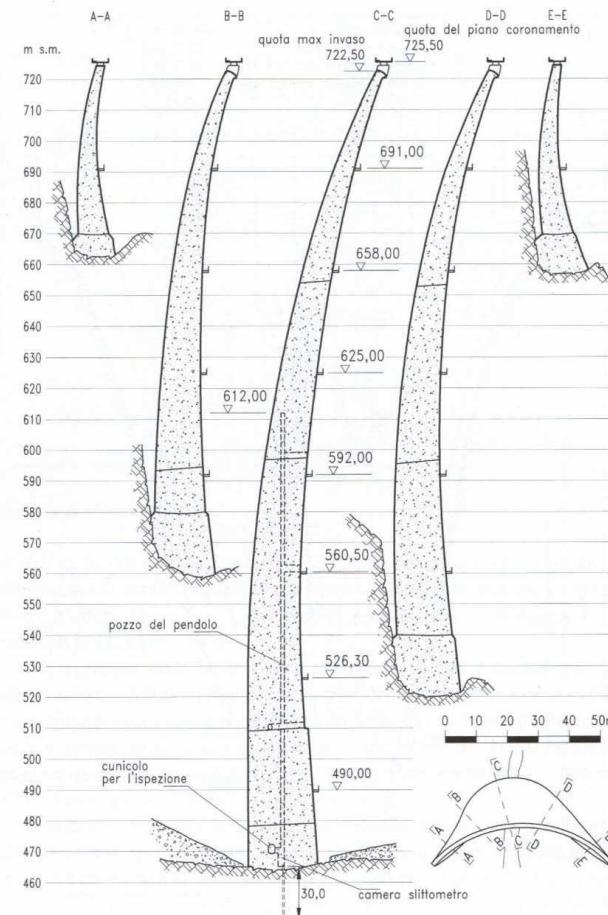
Diga ad arco: il luogo dei centri è allineato sulla verticale



Diga a volta: il luogo dei centri si allontana dalla diga procedendo verso l'alto. In questo caso particolare gli angoli al centro sono costanti.

Diga muraria ad arco o a volta

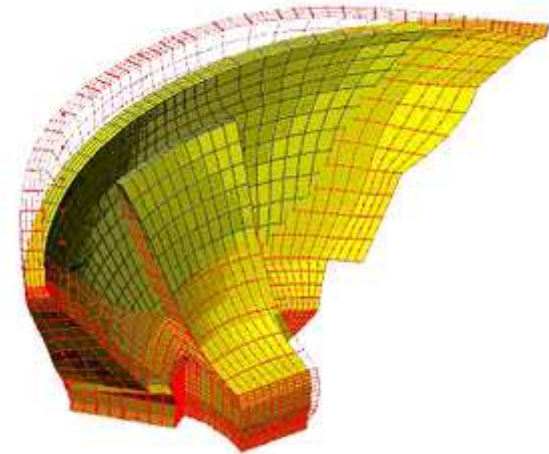
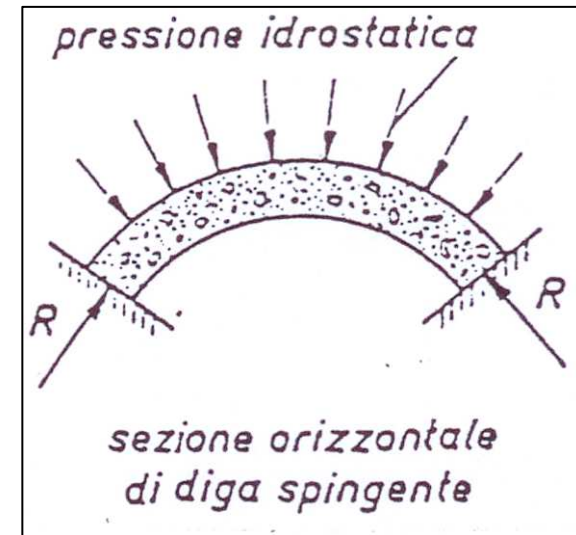
- La struttura è costituita da una parete in calcestruzzo arcuata in senso orizzontale, e nel caso di diga a volta, anche in senso verticale.
- Lo sbarramento è relativamente sottile se rapportato con la sua altezza e rispetto ai tipi di diga a gravità. I lati del corpo diga sono appoggiati direttamente ai monti ai due lati della valle e su di essi scaricano la pressione esercitata dall'acqua.



Sezioni Diga del Vajont- Veneto - $h=261.6m$

Diga muraria ad arco o a volta

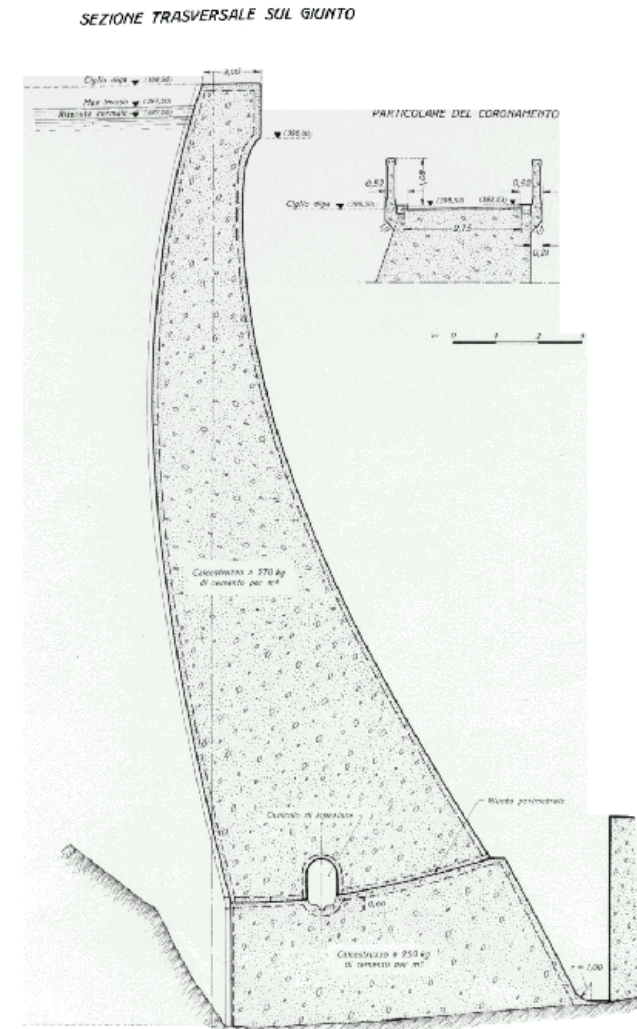
- Per le dighe ad arco, la resistenza alla spinta dell'acqua - ed eventualmente del ghiaccio ed alle azioni sismiche - è sopportata in grande prevalenza per effetto della curvatura longitudinale (arco).
- Nel caso delle dighe a cupola parte della spinta viene dissipata anche verso il basso.
- Dato che la diga "spinge" sui lati della valle è particolarmente importante preoccuparsi della solidità di questi ultimi mettendo in atto eventualmente opere di consolidamento.



Analisi delle deformazioni subite dal corpo diga soggetta alla spinta dell'acqua

Diga muraria ad arco/gravità

- Una diga si definisce ad arco/gravità quando la forma e i rapporti dimensionali risultano tali da permettere la resistenza alle spinte attraverso l'azione congiunta offerta dalla curvatura longitudinale, da quella trasversale di mensola e dal peso proprio.
- Quindi la resistenza alla spinta dell'acqua - ed eventualmente del ghiaccio ed alle azioni sismiche - è sopportata sia per effetto della curvatura longitudinale (arco) sia per il peso proprio della sezione trasversale (mensola).



Diga di Piaganini - Abruzzo

Diga muraria ad arco/gravità



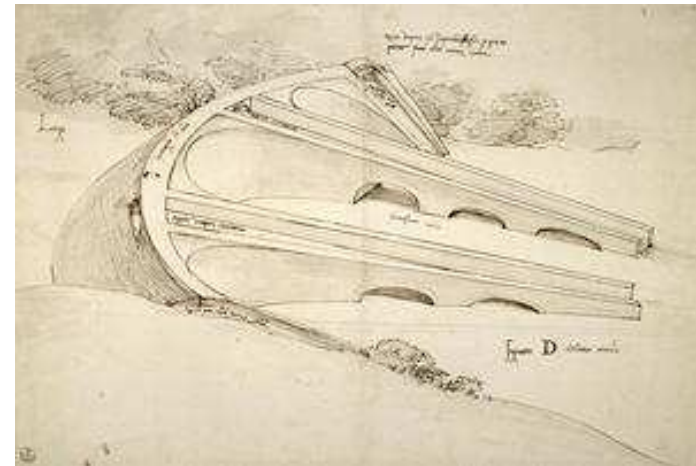
Diga di Ridracoli – Emilia Romagna



Diga sul Rio Mulargia, chiamata di "Monte su Rei" - Sardegna – $h = 94\text{m}$



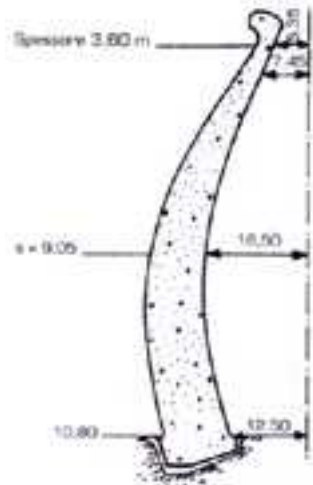
Diga di Hoover (anche conosciuta come Boulder Dam-Diablo) situata nel Black Canyon del fiume Colorado, sul confine tra lo stato dell'Arizona e del Nevada negli USA - $h = 221\text{ m}$.



Rinascimento: diga ad arco-gravità con convessità a monte e quattro sfioratori

Diga muraria a cupola (o a doppia curvatura)

- Una diga si definisce a cupola quando la forma e i rapporti dimensionali sono tali che la risposta elastica è assimilabile a quella di una lastra a doppia curvatura.



Diga di Speccheri – Trentino Alto Adige –

$h = 157\text{m}$ – invaso 10 Mm^3

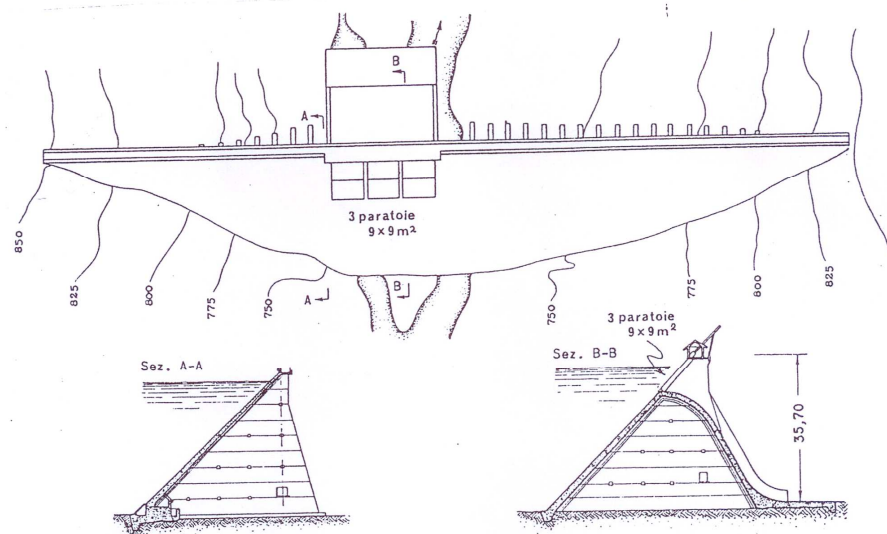


Diga Isolato – Lombardia - $h = 35\text{ m}$

Diga muraria a soletta sostenute da contrafforti

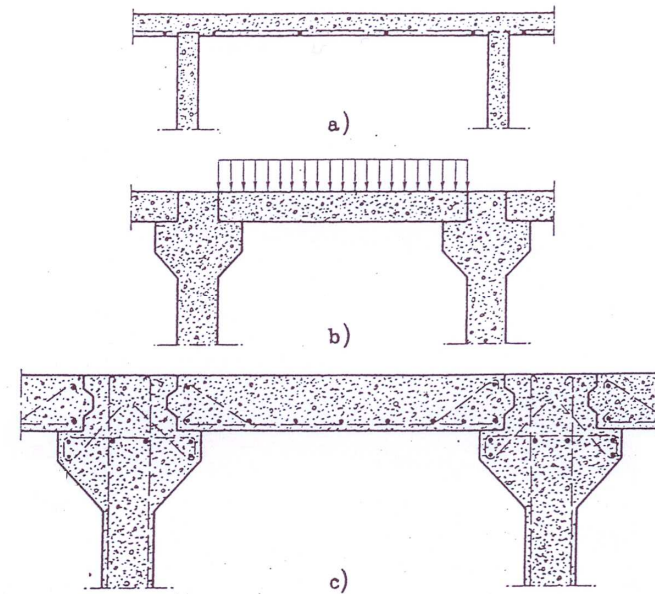


Diga Stony Gorge - California

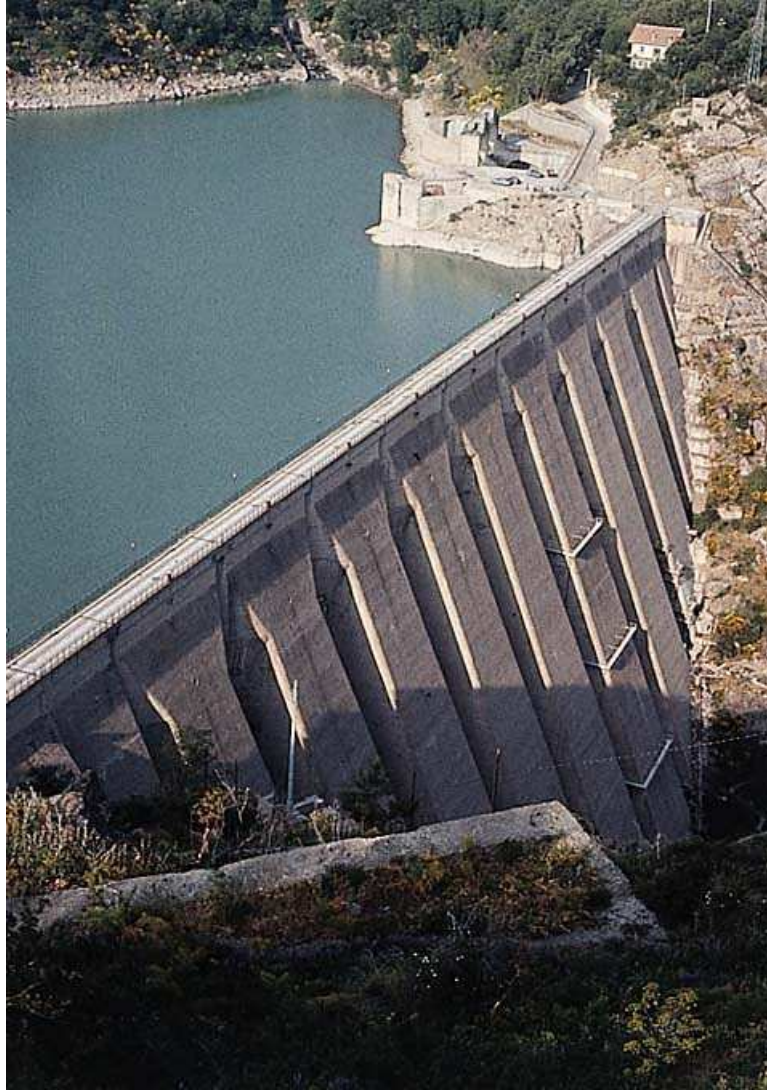


Diga muraria a soletta sostenute da contrafforti

- Il contrafforte può essere dimensionato come un muro di sostegno che reagisce con il suo peso mentre la lastra è dimensionata per reagire alla flessione indotta dalla spinta dell'acqua.



Diga muraria a soletta sostenute da contrafforti



*Diga sul fiume Ancipa – Sicilia – capacità
invaso 30 Mm³ – h=111m*

- Tali dighe hanno una parete rivolta verso monte che sorregge le acque dell'invaso, e una serie di contrafforti o muri verticali triangolari che sorreggono la parete e scaricano il peso dell'acqua sulla fondazione. Queste dighe talvolta sono chiamate dighe a gravità cave perché richiedono solo dal 35 al 50% del calcestruzzo necessario per costruire una normale diga a gravità di pari dimensioni.
- Pur richiedendo l'impiego di una quantità notevolmente inferiore di calcestruzzo, le dighe a contrafforti non sono necessariamente meno costose di quelle a gravità. Il costo della lavorazione di forme in calcestruzzo più complesse e l'impiego dell'acciaio per armare il calcestruzzo generalmente compensano l'economia fatta nei materiali da costruzione.

Diga muraria a volte sostenuta da contrafforti ad arco

- Tali dighe possono rivelarsi necessarie, tuttavia, nei luoghi in cui il substrato su cui si deve edificare la struttura non è abbastanza consistente. La diga di Daniel Johnson, completata nel 1968 sul fiume Manicouagan, in Canada, è un'enorme struttura a contrafforti ad archi multipli. È lunga 1306 m e con i suoi 214 m di altezza è una delle dighe più alte del mondo. Invaso circa 142 Mm³.



Diga muraria a volte sostenuta da contrafforti



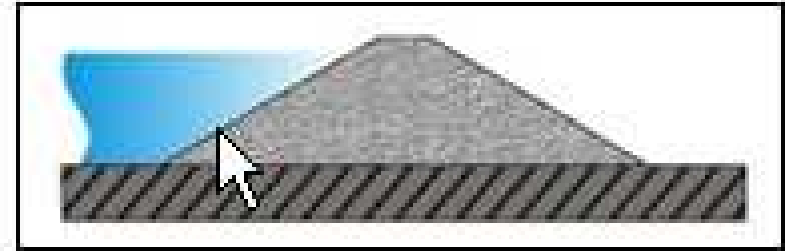
*Diga del Molato (1928) – Emilia Romagna – capacità invaso
8,5 Mm³ – h=55 m*

Diga di materiali sciolti

- Rappresentano opere di sbarramento realizzate per mezzo di un rilevato costituito da materiali litoidi sciolti di varia granulometria e inerti costipati, dove la tenuta viene garantita da un nucleo interno costituito da materiali argillosi o da altri materiali con caratteristiche di permeabilità adeguate, e da manti impermeabilizzanti. Vengono classificate in relazione al materiale impiegato, alle caratteristiche costruttive, e alle soluzioni progettuali di impermeabilizzazione.

Diga di materiali sciolti: in terra

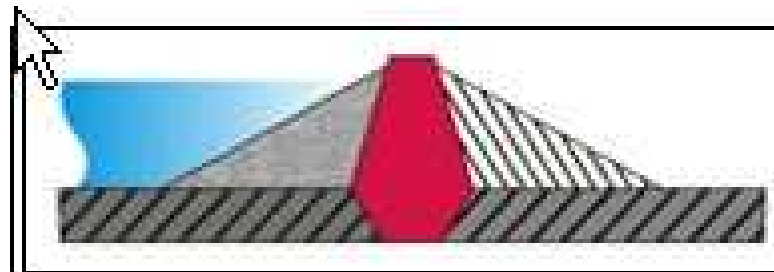
- Costituite totalmente da terra omogenea caratterizzata da permeabilità uniforme e tale da garantire da sola la tenuta. Normalmente si impiega tale tipologia per altezze del rilevato non superiori ai 30m.



Diga di Resia – Trentino Alto Adige – h=29m

Diga di materiali sciolti: in terrae/o pietrame, zonate con nucleo in argilla per la tenuta

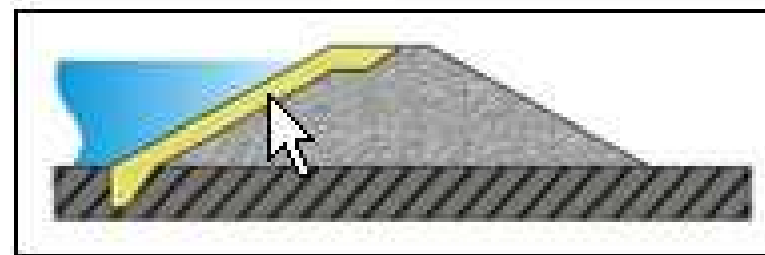
- Costituite da materiali naturali di varia tipologia, organizzati e disposti in zone ben precise della sezione in funzione delle caratteristiche di permeabilità, disponendo le zone permeabili all'esterno e quelle impermeabili all'interno per la tenuta.



Diga di Bilancino – Toscana – h=42m

Diga di materiali sciolti: in terra o pietrame con manto di rivestimento in materiali artificiali

- Costituite da materiali naturali di vario tipo e granulometria, dove la tenuta viene garantita mediante un manto di rivestimento posto sul fianco interno.



*Diga di Zoccolo – Trentino Alto Adige –
h=64m*

Diga di materiali sciolti: in pietrame alla rinfusa (scogliere) o muratura litoide a secco

- Costituite da blocchi litoidi di varia granulometria che formano il rivestimento e stabilizzano il rilevato in base al loro angolo di riposo e al peso proprio dell'ammasso.



*Diga di Lago Verde – Trentino Alto Adige –
h=87m*

Dighe più alte al mondo

... - Le più alte dighe esistenti o in costruzione (dati desunti da [70] e [71] con integrazioni).

Diga	Paese	Tipo	Altezza (m)	Anno di ultimazione
1. Nurekskaya (v. fig. 2-30)	URSS	materiali sciolti	310	previsto 1976
2. Grande Dixence (v. fig. 2-2)	Svizzera	massiccia	284	1962
3. Ingurskaya	URSS	arco	272	(*)
4. Vajont (v. fig. 3-3)	Italia	arco	262	1961
5. Mica	Canada	materiali sciolti	244	(*)
6. Mauvoisin	Svizzera	arco	237	1958
7. Sayanskaya	URSS	scogliera	236	(*)
8. Oroville	USA	materiali sciolti	236	1968
9. Chirkeyskaia	URSS	arco	233	(*)
10. Contra	Svizzera	arco	230	1965
11. Bhakra	India	massiccia	226	1963
12. Hoover (v. fig. 4-1)	USA	arco-gravità	221	1936
13. Mratinje	Iugoslavia	arco	220	(*)
14. Dworshak	USA	massiccia	219	(*)
15. Glen Canyon	USA	arco-gravità	216	1964
16. Toktogulskaya	URSS	arco-gravità	215	(*)
17. Daniel Johnson	Canada	volte multiple	214	1968
18. Keban	Turchia	materiali sciolti	211	(*)
19. Luzzone	Svizzera	arco	208	1963
20. Auburn	USA	cupola	207	(*)

Diga più alta del mondo



Diga Nurek sul fiume Vakhsh (1961-1972)– Tagikistan - In terra, zonata, con ricoprimento in pietrame sui paramenti - h=300m

Diga più alta del mondo



La seconda diga più alta del mondo



Diga Grande Dixence (1961-1972)– Svizzera – A gravità in cls - h=285m

La seconda diga più alta del mondo



DICAM
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, AMBIENTALE E DEI MATERIALI



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Dighe in materiali sciolti

- Altezze massime raggiunte dalle dighe di materiali sciolti.

Anno	Diga	Paese	Altezza (m)
circa 2900 a.C.	Kosheish	Egitto	15
circa 240 a.C.	Gukov	Cina	30
1123 d.C.	Daimonike	Giappone	32
1500	Mudduck Masur	India	33
1675	St. Ferréol	Francia	36
1840	Entwistle	Inghilterra	38
1867	Maday	India	44
1892	San Leandro	USA	47
1909	Nexaca	Messico	56
1911	Bull Corral	USA	73
1924	Dix River	USA	84
1931	Salt Springs	USA	100
1939	San Gabriel	USA	115
1948	Mud Mountain	USA	130
1950	Anderson Ranch	USA	139
1958	Swift	USA	156
1962	Trinity (*)	USA	164
1968	Oroville	USA	236
in costruzione	Nurekskaya (*)	URSS	310
in progetto	Ragum	URSS	321

Dighe in muratura di pietrame e materiali sciolti

– Altezze massime raggiunte dalle dighe di muratura di pietrame e di calcestruzzo (dati desunti da [69], [70] con integrazioni).

Anno	Diga	Paese	Tipo	Altezza (m)
circa 700 a.C.	Kosh	Iraq	massiccia	3
sec. XII d.C.	Almonacid	Spagna	massiccia	29
1539	Tibi (*)	Spagna	massiccia	46
1866	Gouffre d'Enfer (*)	Francia	massiccia	56
1904	Cheeseman	USA	massiccia	72
1905	New Croton	USA	massiccia	91
1910	Shoshone	USA	arco	99
1915	Arrowrock	USA	arco-gravità	107
1924	Schräh	Svizzera	massiccia	112
1929	Diablo	USA	arco	119
1932	Owyhee	USA	arco-gravità	127
1934	Chambon (**)	Francia	massiccia	136
1936	Hoover (***)	USA	arco-gravità	221
1958	Mauvoisin	Svizzera	arco	237
1961	Vajont (****)	Italia	arco	262
1962	Grande Dixence (**)	Svizzera	massiccia	284

Laghi artificiali

- I più grandi laghi artificiali esistenti, [70].

Diga	Paese	Capacità (hm ³)(***)	Anno di ultimazione	Utilizzazione dell'acqua(****)
1. Owen Falls	Uganda	204 800(*)	1954	E
2. Bratskaya	URSS	169 400	1964	EN
3. Assuan (Saad-El-Aali) (fig. 2-30)	Egitto	164 000	(**)	IER
4. Kariba	Rodesia-Zambia	160 368	1959	EIP
5. Akosombo (fig. 2-30)	Ghana	148 000	1965	EIP
6. Daniel Johnson	Canada	141 975	1968	E
7. Krasnoyarskaya	URSS	73 300	(**)	EN
8. W. A. C. Bennett	Canada	70 100	1968	E
9. Zeya	URSS	68 000	(**)	EIP
10. Sanmen Hsia	Cina	65 000	1962	promiscua
11. Ust-Ilim	URSS	59 300	(**)	E
12. Volga (V. I. Lenin)	URSS	58 000	1955	EN
13. Bukhtarminskaya	URSS	53 000(*)	1960	EN
14. Tankiangkow	Cina	51 600	1962	promiscua
15. Irkutskaya	URSS	46 000(*)	1956	ENA
16. Hoover (fig. 4-1)	USA	38 296	1936	PIENA
17. Churchill Falls Storage	Canada	37 037	(**)	IEN
18. Volga (22° Congresso)	URSS	33 500	1958	IENA
19. Glen Canyon	USA	33 304	1964	E
20. Valerio Trujano	Messico	32 000	1964	I

(*) Incremento artificiale della capacità di un lago naturale.

(**) In costruzione nel maggio 1970.

(***) 1 hm³ = 10⁶ m³.

(****) E, produzione di energia idroelettrica; A, acquedotto potabile; I, irrigazione; P, modulazione delle piene; R, scopo ricreativo; N, navigazione.