

Ch. Comolli  
Italiano Grand.

FILIPPO ARREDI

Prof. Ordinario di Costruzioni Idrauliche nella Facoltà di Ingegneria di Torino

Arredi  
omaggio  
all' A.

# COSTRUZIONI IDRAULICHE

*Volume secondo*

Parte seconda

Le opere di regolazione e di derivazione

Tomo primo

*Seconda edizione*



UTET

U. S. DEPARTMENT OF INTERIOR - BUREAU OF RECLAMATION, *Treatise on Dams*, Denver.

VARLET H., *Barrages réservoirs*, Eytolles, 1966 (due volumi).

WEGMANN E., *The Design and Construction of Dams*, VIII ediz., Wiley, New York, 1927.

# INDICE

## LE OPERE DI REGOLAZIONE E DI DERIVAZIONE

CAPITOLO I. — La regolazione dei deflussi dei corsi d'acqua naturali		Pag.	1
1 - La funzione generale della regolazione . . . . .	»		1
2 - Il potere regolatore dei laghi naturali . . . . .	»		8
3 - Criteri di base della regolazione dei serbatoi artificiali . .	»		12
4 - L'impostazione deterministica e l'impostazione probabi- listica del problema della regolazione . . . . .	»		13
5 - Rappresentazioni sintetiche dell'effetto regolatore . . . .	»		14
6 - I parametri fondamentali del regime dei serbatoi . . . .	»		19
7 - Capacità di regolazione totale per obiettivo portata di deflusso costante . . . . .	»		22
8 - Capacità di regolazione totale quando obiettivo è portata di deflusso variabile con andamento prestabilito . . . . .	»		23
9 - Regolazione parziale quando obiettivo è portata di deflusso costante . . . . .	»		24
10 - Regolazione parziale quando obiettivo è portata di deflusso variabile con andamento prestabilito . . . . .	»		26
11 - Seconda specie dei problemi di regolazione . . . . .	»		31
12 - Osservazioni generali sui procedimenti di analisi della regolazione che qui precedono . . . . .	»		37
13 - Le determinazioni probabilistiche. Caratteri generali . . .	»		38
14 - I processi stocastici; i processi marcoviani . . . . .	»		40
15 - Il processo della regolazione in un serbatoio . . . . .	»		40
<i>Bibliografia</i> . . . . .	»		54
CAPITOLO II. — Caratteri generali dei serbatoi artificiali e delle dighe . . . . .		»	57
1 - Le condizioni generali per la realizzabilità dei laghi artificiali	»		57
A) La conca di invaso: morfologia, tenuta dell'acqua, in- terramento . . . . .	»		57
B) Le condizioni geologiche della stretta . . . . .	»		59
C) Le indagini geognostiche . . . . .	»		61

2 - Le quote e le capacità caratterizzanti i laghi artificiali . . . . .	Pag.	69
3 - Le dighe, le altezze che le caratterizzano e le diverse specie strutturali . . . . .	»	70
4 - Le opere complementari . . . . .	»	75
5 - Alcuni fattori della evoluzione dei diversi tipi di dighe ed il problema della relativa scelta . . . . .	»	78
6 - Le azioni attive. Le spinte dell'acqua, del fango, del ghiaccio . . . . .	»	82
7 - Le azioni sismiche . . . . .	»	84
8 - La sismicità indotta . . . . .	»	113
9 - Il moto ondoso sulla superficie del lago . . . . .	»	114
<i>Bibliografia</i> . . . . .	»	123
<b>CAPITOLO III. — Le fondazioni delle dighe.</b> . . . . .	»	127
1 - Le caratteristiche tecniche delle rocce lapidee . . . . .	»	127
A) Omogeneità, isotropia, peso di volume, porosità . . . . .	»	128
B) Caratteri meccanici . . . . .	»	128
C) La fratturazione . . . . .	»	140
D) Le alterazioni . . . . .	»	142
2 - I mezzi ausiliari delle indagini geognostiche . . . . .	»	145
A) Trincee, pozzetti, cunicoli, pozzi . . . . .	»	146
B) I sondaggi . . . . .	»	147
C) La prospezione sismica . . . . .	»	153
D) La misura diretta in sito della celerità di propagazione di onde di perturbazione primarie e secondarie . . . . .	»	163
E) I sondaggi elettrici . . . . .	»	165
F) Le prove meccaniche in sito . . . . .	»	168
a) Le prove di deformabilità . . . . .	»	169
b) Le prove di resistenza al taglio . . . . .	»	177
c) Il rilevamento dello stato di tensione proprio della roccia . . . . .	»	179
3 - Le impermeabilizzazioni e i consolidamenti . . . . .	»	180
A) Lo schermo di impermeabilità nelle rocce lapidee . . . . .	»	180
B) I muri di taglio . . . . .	»	193
C) I diaframmi nelle formazioni sciolte . . . . .	»	195
D) Lo schermo di iniezioni nei terreni sciolti . . . . .	»	204
E) Il flusso di filtrazione intorno ad un diaframma verticalmente incompleto . . . . .	»	220
F) I consolidamenti delle fondazioni . . . . .	»	237
<i>Bibliografia</i> . . . . .	»	244
<b>CAPITOLO IV. — Materiali ed esecuzione delle dighe murarie</b> . . . . .	»	245
1 - Il calcestruzzo di cemento . . . . .	»	245
A) Caratteristiche generali del calcestruzzo delle dighe . . . . .	»	245
B) Il cemento portland . . . . .	»	249
C) Il cemento pozzolanico . . . . .	»	254
D) I cementi di loppa . . . . .	»	255
E) La struttura del cemento idratato . . . . .	»	258
F) L'acqua di impasto . . . . .	»	263
G) Gli aggregati . . . . .	»	264
H) Il rigonfiamento e il ritiro . . . . .	»	271
I) Il modulo elastico . . . . .	»	276

L)	La deformazione viscosa . . . . .	Pag.	279
M)	La rottura . . . . .	»	283
N)	La permeabilità . . . . .	»	291
O)	Il coefficiente di dilatazione . . . . .	»	292
P)	Il coefficiente di conduttività, il calore specifico, il coefficiente di diffusività . . . . .	»	295
Q)	La gelività . . . . .	»	298
R)	Prove preliminari e di controllo sui calcestruzzi delle dighe . . . . .	»	301
	a) Determinazione del calore di idratazione del cemento col metodo thermos . . . . .	»	302
	b) Misura della consistenza del calcestruzzo . . . . .	»	303
	c) Prova di rottura a flessione . . . . .	»	305
	d) Misura del modulo dinamico . . . . .	»	306
	e) Prova di rottura a trazione (prova brasiliana) . . . . .	»	307
	f) Misura della permeabilità . . . . .	»	308
S)	Il proporzionamento del calcestruzzo . . . . .	»	309
2 -	La esecuzione dei lavori . . . . .	»	323
A)	Caratteri particolari del lavoro esecutivo delle dighe murarie . . . . .	»	323
B)	L'approvvigionamento degli aggregati . . . . .	»	324
C)	Operazioni preliminari. I servizi . . . . .	»	325
D)	La diversione provvisoria del corso d'acqua . . . . .	»	326
E)	Gli scavi di fondazione . . . . .	»	328
F)	Gli impianti di cava . . . . .	»	329
G)	Gli impianti di preparazione degli aggregati e di confezione del calcestruzzo . . . . .	»	331
H)	La posa in opera del calcestruzzo . . . . .	»	336
I)	La installazione delle valvole nelle opere di scarico . . . . .	»	345
3 -	Particolari strutturali e costruttivi . . . . .	»	346
A)	I giunti . . . . .	»	346
B)	I drenaggi ed i cunicoli . . . . .	»	352
C)	Provvedimenti particolari nei riguardi della impermeabilità, delle sottopressioni, delle coazioni termiche e delle azioni del gelo . . . . .	»	353
D)	I profili delle fondazioni . . . . .	»	354
E)	Il pulvino delle dighe ad arco . . . . .	»	354
	<i>Bibliografia</i> . . . . .	»	356

**CAPITOLO V. — Le basi della analisi statica delle dighe murarie.** » 359

1 -	I criteri generali della stabilità e della sicurezza . . . . .	»	359
2 -	Elementi di algebra matriciale . . . . .	»	363
A)	Le matrici . . . . .	»	364
B)	Matrici che possono essere tratte da una matrice data . . . . .	»	366
C)	Operazioni algebriche sulle matrici . . . . .	»	367
D)	Determinanti delle matrici . . . . .	»	374
E)	Sottomatrici . . . . .	»	375
F)	Equazioni lineari ordinarie ed omogenee. Autovalori e autovettori . . . . .	»	377
G)	Forme lineari e trasformazione delle coordinate . . . . .	»	379
H)	Le matrici come variabili indipendenti. Polinomi di matrici e sviluppi in serie di funzioni di matrici . . . . .	»	383
I)	Derivate ed integrali di matrici . . . . .	»	384
L)	Matrici operazionali . . . . .	»	384

3 - Le relazioni di elasticità in espressioni matriciali. I teoremi del lavoro . . . . .	Pag.	387
4 - Il procedimento di analisi per elementi finiti . . . . .	»	394
A) Generalità . . . . .	»	394
B) Il procedimento in elasticità piana . . . . .	»	402
C) Cenno sul procedimento per regime elastico tridimensionale . . . . .	»	421
D) La formazione della matrice di rigidità generale . . . . .	»	432
5 - Cenno sulla analisi dinamica . . . . .	»	435
6 - I cedimenti di fondazione . . . . .	»	442
7 - Le variazioni di temperatura . . . . .	»	460
<i>Bibliografia</i> . . . . .	»	486
<b>CAPITOLO VI. — Caratteristiche generali ed analisi statica delle dighe a gravità . . . . .</b>	<b>»</b>	<b>489</b>
1 - La evoluzione delle caratteristiche strutturali e dei criteri dell'analisi statica . . . . .	»	489
2 - La teoria dell'elemento indefinito di profilo angolare . . . . .	»	518
3 - Le sottopressioni . . . . .	»	538
4 - Il procedimento tecnico del dimensionamento . . . . .	»	571
5 - Gli effetti elastici delle variazioni di temperatura . . . . .	»	589
6 - Il procedimento di analisi per elementi finiti . . . . .	»	595
<i>Bibliografia</i> . . . . .	»	597
<b>CAPITOLO VII. — Caratteristiche generali ed analisi statica delle strutture derivate dalla diga a gravità . . . . .</b>	<b>»</b>	<b>601</b>
1 - Le dighe a contrafforti con lastroni o con volte multiple e le dighe a speroni . . . . .	»	601
2 - L'analisi statica dei contrafforti . . . . .	»	648
3 - L'analisi statica empirica degli speroni . . . . .	»	660
4 - L'analisi statica di speroni con superfici laterali conoidali . . . . .	»	665
5 - Il metodo di analisi per elementi finiti . . . . .	»	677
6 - Il regime termico degli speroni cavi . . . . .	»	677
<i>Bibliografia</i> . . . . .	»	688
<b>CAPITOLO VIII. — L'evoluzione dell'analisi statica e delle forme delle dighe a volta. Le equazioni generali del regime elastico di lastra . . . . .</b>	<b>»</b>	<b>689</b>
1 - La evoluzione dei criteri di analisi statica delle dighe a volta . . . . .	»	689
2 - L'evoluzione delle forme delle dighe a volta . . . . .	»	695
3 - Richiami di geometria delle superfici . . . . .	»	759
4 - Le equazioni generali dell'equilibrio elastico e le condizioni al contorno per le lastre a doppia curvatura . . . . .	»	777
A) Gli sforzi e i momenti unitari . . . . .	»	778
B) Le equazioni di equilibrio . . . . .	»	779
C) Le correlazioni fra spostamenti e deformazioni . . . . .	»	782
D) Variazioni di curvatura . . . . .	»	783
E) Variazioni di temperatura . . . . .	»	785

F) Relazioni fra deformazioni e sforzi . . . . .	Pag.	786
G) Espressioni matriciali . . . . .	»	786
H) Superficie di rivoluzione . . . . .	»	789
I) Superficie cilindrica circolare . . . . .	»	791
L) Caso generale, con riferimento alle lunghezze sulle curve parametriche . . . . .	»	792
M) Le condizioni al coronamento . . . . .	»	795
N) Le condizioni in fondazione . . . . .	»	797
5 - Le tensioni principali . . . . .	»	795
<i>Bibliografia</i> . . . . .	»	804

CAPITOLO IX. — L'analisi statica per archi indipendenti delle dighe a volta . . . . .

1 - Gli effetti delle variazioni di temperatura in un arco elementare circolare di spessore uniforme . . . . .	»	807
2 - L'analisi statica dell'arco indipendente, circolare, di spessore costante, incastrato ad imposte rigide, caricato da pressioni normali alla fibra media, di valore uniforme . . . . .	»	817
3 - Richiami di alcuni tentativi di diversa impostazione della teoria dell'arco nelle dighe . . . . .	»	827
4 - Le modifiche in prossimità delle imposte dell'arco incastrato, circolare, di spessore uniforme, sollecitato da pressione uniforme . . . . .	»	830
5 - Analisi statica dell'arco circolare simmetrico, a tre centri, spessore costante nella parte centrale e spessore comunque variabile nelle parti laterali . . . . .	»	838
6 - Indagine sulla influenza della deformabilità della roccia di imposta e della modifica dell'estremità dell'arco sulle tensioni in chiave ed alle imposte . . . . .	»	849
7 - Le teorie dell'arco soggetto anche ad azioni attive derivanti da forze inerziali ovvero dalla continuità della struttura nella direzione ad esso ortogonale . . . . .	»	855
8 - La teoria dell'arco gravato da pressioni normali, tangenziali e momenti flessionali continui, nella impostazione con la ipotesi di lastra . . . . .	»	856
9 - La teoria generale dell'arco circolare gravato da pressioni normali, tangenziali e da momenti di flessione nella normale impostazione completa della scienza delle costruzioni . . . . .	»	870
<i>Bibliografia</i> . . . . .	»	892