Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani

A CURA DELLA COMMISSIONE ANIDEL PER LO STUDIO DEI PROBLEMI INERENTI ALLE DIGHE

VOLUME PRIMO

TECNICA DELLE DIGHE DI RITENUTA IN ITALIA

UNIVERSITÀ D. STUDI DI TRENTO ★ BIBLIOTECA

ANIDEL

ASSOCIAZIONE NAZIONALE IMPRESE PRODUTTRICI E DISTRIBUTRICI
DI ENERGIA ELETTRICA • ROMA

1961

INDICE GENERALE DELLA MATERIA

Prefazione al volume XI
Indice generale della materia XV
Indice delle tabelle XXVII
Indice delle figure XXIX
Indice delle tavole fuori testo XLIII

CAPITOLO I

Cenni sui caratteri geoidrologici dell'Italia in relazione con la creazione dei serbatoi

I–A) Lineamenti geologici dei serbatoi e dei terreni di fondazione delle dighe (a cura del prof. dott. ARDITO DESIO)

I–A–1. Premesse . . . . . pag. 3
I–A–2. Le condizioni geomorfologiche 4
I–A–3. Le condizioni geolitologiche 8
I–A–4. I principali caratteri geologici dei serbatoi 8
I–A–5. Notizie sui terreni di fondazione delle dighe
0) Premesse 13
1) Regione Alpina 15
2) Regione Appenninica 24
3) Grandi Isole (Sicilia e Sardegna) 27
4) Perdite attraverso le rocce di fondazione 30
I–A–6. Riferimenti bibliografici di carattere generale (*) 31

I–B) Note sui caratteri idrologici dei corsi d'acqua italiani e sulla idrologia dei serbatoi

I–B–1. Cenni di carattere generale sui principali regimi idrologici (a cura del prof. ing. LUIGI GHERARDELLI)
0) Premesse 32
1) Principali fattori del regime idrologico 32
2) Trasporto solido 34
3) Regime idrologico dei bacini italiani 35
4) Caratteri di variabilità dei regimi idrologici e problemi della regolazione 39
5) Conclusioni 41

(*) Nei repertori bibliografici riportati alla fine dei capitoli o paragrafi sono elencate opere italiane o, comunque, attinenti a dighe italiane, mentre i richiami alle opere straniere sono generalmente riportati nelle note a piè pagina.
Nei testi i richiami ai repertori bibliografici sono racchiusi in parentesi quadre.

I–B–2. Idrologia dei serbatoi (a cura del prof. ing. DINO TONINI).
1) Metodologia in uso per le determinazioni tecniche
1–0. Premesse . . . . . pag. 42
1–1. Serbatoi di regolazione 43
1–2. Serbatoi a servizio assegnato 46
1–3. Sistemi di serbatoi 50
1–4. Estensione delle osservazioni 51
2) Determinazione delle massime piene e dimensionamento delle opere di scarico
2–0. Premesse 52
2–1. Formule statistico-sperimentali 53
2–2. Formule cinematiche 55
2–3. Formule basate sulla capacità d'invaso degli alvei . 58
2–4. Procedimenti probabilistici 61
2–5. Appendice: Capacità degli scarichi di piena di alcuni serbatoi italiani 62

I–B–3. Riferimenti bibliografici 72

CAPITOLO II

Evoluzione dei tipi di dighe e dei particolari costruttivi

(a cura del Comitato di Redazione, su precedenti note sommarie del dott. ing. CARLO SEMENZA e del dott. ing. ANGELO TESTA).

II–A) Generalità sull'evoluzione dei tipi

II–A–1. Cenni storici introduttivi . . . . . pag. 77

II–A–2. Notizie statistiche
1) Specificazioni sui tipi 81
1–1. Dighe a gravità alleggerite 81
1–2. Dighe ad arco e ad arco-gravità 82
1–3. Dighe in materiali sciolti 82
1–4. Dighe in blocchi di calcestruzzo 83
2) Dati statistici 85

II–A–3. Lineamenti del processo evolutivo 88

II–A–4. Fasi dell'evoluzione dei tipi 90

II–B) L'evoluzione dei tipi nei vari periodi

II–B–1. Dagli inizi al 1922 93
1) Dighe a gravità 93
2) Dighe a contrafforti e lastroni o volte multiple 97

3) Dighe ad arco . . . . . pag. 100
4) Dighe in muratura di pietrame a secco 101
5) Dighe in terra 104

II–B–2. Il periodo dal 1923 al 1934 104
1) Dighe a gravità 106
2) Dighe a volte multiple e speroni 109
3) Dighe ad arco 112
4) Dighe in muratura di pietrame a secco 115
5) Dighe in terra 116

II–B–3. Il periodo dal 1935 al 1946 117
1) Dighe a gravità massicce 118
2) Dighe a gravità alleggerite 120
3) Dighe ad arco 123
4) Dighe in muratura di pietrame a secco 124
5) Dighe in terra 125

II–B–4. Il periodo dal 1947 al 1959 125
1) Dighe a gravità massicce 127
2) Dighe a volte multiple e strutture alleggerite varie . . . 131
3) Dighe a gravità alleggerite 131
3–1. Diga ad elementi cavi « tipo Marcello » 131
3–2. Strutture a speroni 138
4) Dighe del tipo ad arco 147
4–1. Dighe ad arco gravità 148
4–2. Dighe ad arco 164
5) Dighe in pietrame a secco ed in blocchi di calcestruzzo
5–1. Dighe in muratura a secco 187
5–2. Dighe in pietrame alla rinfusa (a scogliera) 189
5–3. Dighe in blocchi di calcestruzzo 192
6) Dighe in terra 197

II–C) L'evoluzione dei particolari costruttivi

II–C–1. Dighe in calcestruzzo e in muratura di pietrame
1) Giunti
1–0. Premesse . . . . . pag. 208
1–1. Giunti di dilatazione o permanenti 208
1–2. Giunti di costruzione 213
2) Protezione contro le infiltrazioni
2–0. Premesse 218
2–1. Protezione dei paramenti di monte 218
2–1–1. Intonachi 219
2–1–2. Rivestimenti in conci di pietra 220
2–1–3. Rivestimenti con sostanze bituminose . . . 222
2–1–4. Rivestimenti in lamiera metallica 222
2–1–5. Paramenti in calcestruzzo 226

2–2. Protezione dei paramenti di valle . . . . . pag. 226
2–3. Dispositivi di drenaggio 226

II–C–2. Dighe in pietrame a secco
1) Manti di tenuta 228
2) Dispositivi di drenaggio e di ispezione 232

II–C–3. Dighe in blocchi di calcestruzzo
1) Manti di tenuta 237
2) Giunti lubrificati, sistema drenante 239

II–C–4. Dighe in terra
1) Rivestimenti dei paramenti
1–1. Paramenti di monte 240
1–2. Paramenti di valle 240
2) Dispositivi drenanti 240

II–C–5. Sopralzi 243
1) Sopralzi di strutture costruite senza previsione di successivi innalzamenti 243
2) Costruzione per fasi successive 244

II–D) Riferimenti bibliografici 249

CAPITOLO III

Materiali e metodi costruttivi

(a cura del Comitato di Redazione, su precedenti note sommarie del dott. ing. GIULIO GENTILE e del dott. ing. MARIO SCALABRINI).

III–A) Cenni sugli aspetti generali del problema costruttivo pag. 259

III–B) Fondazioni

III–B–1. Indagini geognostiche 260
1) Richiami ai metodi di indagine diretti e semidiretti . . . 260
2) Richiami ai metodi di prospezione geofisici 265

III–B–2. Opere di deviazione delle acque 268

III–B–3. Scavi ed opere di fondazione 276
1) Scavi 276
2) Sottostrutture, diaframmi ed opere varie di fondazione . 285

III–B–4. Trattamento dei terreni di fondazione con iniezioni . . . 299
1) Consolidamento 299
2) Impermeabilizzazione 305
3) Cenni su alcune applicazioni 311

III–C) Dighe in calcestruzzo ed in muratura di pietrame con malta

III–C–1. Materiali . . . . . pag. 335
1) Acque 335
2) Leganti 336
3) Pietrame per murature e per inerti 340
4) Muratura di pietrame e malta 341
5) Calcestruzzi
5–1. Evoluzione dei tipi di calcestruzzo 341
5–1–1. Calcestruzzi a consistenza di terra umida . . 342
5–1–2. Calcestruzzi colati 342
5–1–3. Calcestruzzi ciclopici 342
5–1–4. Calcestruzzi a consistenza plastica e vibrati 342
5–2. Studi e ricerche sui calcestruzzi 346
5–3. Caratteristiche dei calcestruzzi
5–3–1. Composizioni granulometriche 346
5–3–2. Dosaggio di cemento e di acqua 348
5–3–3. Resistenza a compressione 349
5–3–4. Altre proprietà dei calcestruzzi 350

III–C–2. Organizzazione dei cantieri
1) Vie d'accesso e mezzi di trasporto 351
2) Approvvigionamento degli inerti 364
3) Preparazione degli inerti e confezione dei calcestruzzi
3–1. Preparazione degli inerti 373
3–2. Confezione del calcestruzzo 388
4) Trasporto e posa in opera dei materiali 404
4–1. Recipienti per il trasporto del calcestruzzo 406
4–2. Alimentazione degli impianti di distribuzione . . . 407
4–3. Impianti di distribuzione
4–3–1. Torri e canalette 409
4–3–2. Pontili 411
4–3–3. Gru a ponte 413
4–3–4. Blondins (Gru-teleferiche) 417
4–3–5. Dispositivi sospesi di distribuzione 423
4–3–6. Gru mobili a torre 430
4–3–7. Gru fisse a sbraccio (Derricks) 434
5) Esecuzione dei getti di calcestruzzo 444
5–1. Casseforme 444
5–2. Esecuzione dei getti, vibrazione 450
6) Servizi
6–1. Energia elettrica 455
6–2. Acqua 457

6–3. Aria compressa . . . . . pag. 459
6–4. Laboratori e officine 461
6–5. Alloggi 461

III–D) Dighe in muratura di pietrame a secco - in pietrame alla rinfusa (a scogliera) - in blocchi di calcestruzzo ed in terra

III–D–1. Dighe in muratura di pietrame a secco ed in pietrame alla rinfusa 462
1) Materiali
1–1. Pietrame 462
1–2. Malte, calcestruzzi e materiali vari 462
2) Costruzione
2–1. Approvvigionamento del pietrame e cave 463
2–2. Esecuzione dei rilevati 463

III–D–2. Dighe in blocchi di calcestruzzo 468
1) Materiali
1–1. Calcestruzzi 468
1–2. Ghiaie per i giunti trasversali 468
1–3. Rivestimento del paramento di monte 469
2) Costruzione 470

III–D–3. Dighe in terra 472
1) Materiali 472
2) Costruzione 476

III–E) Riferimenti bibliografici 485

CAPITOLO IV

Opere di scarico e di presa

(a cura del Comitato di Redazione, su note del dott. ing. GIUSEPPE CANDIANI e su precedenti note sommarie del prof. ing. CARLO DRIOLI e del dott. ing. FRANCESCO HARRAUER).

IV–A) Generalità . . . . . pag. 495

IV–B) Scarichi di superficie

IV–B–1. Disposizione delle opere
1) Scarichi di superficie sul corpo della diga 497
1–1. Scarichi sovrastanti l'alveo 497
1–2. Scarichi in posizione laterale rispetto all'alveo . . 507

2) Scarichi di superficie separati dalla diga
2–1. Scarichi in sponda dei serbatoi . . . . . pag. 521
2–2. Scaricatori a pozzo 535
2–3. Opere particolari 542

IV–B–2. Opere di imbocco
1) Soglie sfioranti libere o con organi di intercettazione
1–1. Scaricatori a soglia libera 544
1–2. Scarichi con organi di intercettazione 545
1–3. Profilatura delle soglie 545
2) Scaricatori a sifone 546

IV–B–3. Organi di intercettazione
1) Paratoie piane
1–0. Generalità 548
1–1. Paratoie piane a corpo unico 548
1–2. Paratoie piane a più elementi 550
1–3. Paratoie anulari 551
2) Paratoie a settore 551
3) Paratoie a ventola 553
4) Paratoie composte varie 555

IV–B–4. Canali di scarico 559
IV–B–5. Dissipatori di energia 562

IV–C) Scarichi profondi

IV–C–1. Disposizione delle opere
1) Scarichi attraversanti la struttura della diga 565
2) Scarichi separati dalla diga 568

IV–C–2. Organi di intercettazione
1) Paratoie
1–0. Premesse 578
1–1. Paratoie piane 578
1–2. Paratoie a settore 583
2) Valvole
2–0. Generalità 584
2–1. Saracinesche 585
2–2. Valvole a farfalla 585
2–3. Valvole a fuso 586
2–4. Valvole d'altri tipi 586

IV–D) Opere di presa 588

IV–D–1. Disposizione delle opere
1) Opere attraversanti la struttura della diga 588
2) Opere separate dalla diga 588

IV–D–2. Organi di intercettazione . . . . . pag. 594
1) Paratoie piane 594
2) Paratoie a settore 595
3) Valvole 595
4) Dispositivi accessori 596

IV–E) **Riferimenti bibliografici** 597

CAPITOLO V

Contributi italiani alla evoluzione dello studio statico delle dighe

V–A) **Studi teorici e analitici** (a cura del prof. ing. FILIPPO ARREDI).

V–A–1. La struttura a gravità e i tipi derivati
1) Il periodo formativo . . . . . pag. 601
2) Gli affinamenti nel secolo attuale 610
3) Le sottopressioni 614
4) Le strutture derivate 625

V–A–2. Le strutture arcuate
1) Le schematizzazioni della struttura ad arco 632
2) La struttura per archi indipendenti 633
3) La struttura reticolare archi-mensole 637
4) La struttura continua 640
4–1. La struttura chiusa di rotazione 640
4–2. Gli effetti dei vincoli d'imposta 642

V–A–3. I problemi termo-elastici
0) Generalità 650
1) I problemi della trasmissione del calore 651
2) Lo stato elastico indotto dai fenomeni termici 654

V–A–4. Conclusioni 657
V–A–5. Riferimenti bibliografici 661

V–B) **Prove su modelli** (a cura del prof. ing. GUIDO OBERTI).

V–B–1. Premesse 667
V–B–2. I fondamenti della teoria dei modelli
1) Analisi dimensionale 668
2) Dimensionamento del modello 669

V–B–3. L'applicazione della teoria ai modelli strutturali e alle dighe
1) Impostazione dei problemi statici . . . . . pag. 670
2) Introduzione della variabile tempo: problemi elasto-viscosi e problemi dinamici 671
3) I modelli termici 672
4) I metodi di prova 673

V–B–4. Tecnica sperimentale pei modelli delle dighe
1) Schema esecutivo delle prove a carico normale 677
2) Ordini di grandezza dei rapporti comunemente adottati . 679
3) Attrezzature per l'applicazione dei carichi ai modelli per prove statiche 680
4) Strumenti di misura delle deformazioni 684
5) Esecuzione dei modelli 685

V–B–5. Le esperienze italiane su modelli di dighe e i loro risultati
1) Prime esperienze su modelli per dighe italiane 686
2) Modelli di dighe ad arco per lo sbarramento di ampie vallate 690
3) Modelli di dighe ad arco per lo sbarramento di gole strette 694
4) Altri modelli per dighe ad arco 697
5) Modelli per dighe ad arco-gravità 703

V–B–6. Conclusioni 715

V–B–7. Riferimenti bibliografici 719

CAPITOLO VI

Le misure per il controllo delle dighe in Italia

(a cura del prof. ing. DINO TONINI).

VI–A) Scopi delle misure, metodi e strumenti . . . . . pag. 723

VI–B) Misure del clima 724

VI–C) Misure della temperatura

VI–C–1. Generalità e strumenti 726
VI–C–2. Misure della temperatura dell'aria 726
VI–C–3. Misure delle temperature interne delle strutture 727
VI–C–4. Propagazione del calore nelle strutture in calcestruzzo - Richiami teorici
0) Generalità 728
1) Equazioni fondamentali 728
2) Propagazione delle onde termiche 731
3) Espressioni approssimate 732
4) Confronti con i risultati sperimentali 736

VI–D) Misure della umidità

VI–D–1. Generalità e strumenti . . . . . pag. 737
VI–D–2. Risultati sperimentali 738

VI–E) Misure delle azioni dirette

VI–E–1. Peso proprio e carico idrostatico 739
VI–E–2. Spinta del ghiaccio 740
VI–E–3. Pressioni interstiziali - Sottopressioni 740
VI–E–4. Movimenti sismici 743

VI–F) Misure degli spostamenti

VI–F–1. Generalità 745
VI–F–2. Reti di triangolazione 745
VI–F–3. Reti di livellazione 748
VI–F–4. Misure di collimazione 749
VI–F–5. Misure con aste e fili 751
VI–F–6. Misure con deformometri 752
VI–F–7. Misure clinometriche 754
VI–F–8. Misure con coordimetri 756
VI–F–9. Misure relative agli spostamenti dei giunti 764

VI–G) Misure delle deformazioni

VI–G–1. Generalità 764

VI–G–2. Strumenti a variazione di frequenza 767
VI–G–3. Strumenti a variazione di resistenza 769
VI–G–4. Strumenti a variazione di induttanza e di capacità 772
VI–G–5. Installazione degli estensimetri 772

VI–H) Misure delle pressioni e delle sollecitazioni

VI–H–1. Strumenti per la misura delle pressioni 776
VI–H–2. Strumenti per la misura delle sollecitazioni 777

VI–I) Misure delle caratteristiche elastiche del terreno e delle strutture in terra

VI–I–1. Caratteristiche elastiche del terreno
0) Generalità 781
1) Strumenti e metodi di ricerca 783

VI–I–2. Stato di coazione delle rocce
0) Generalità 787
1) Strumenti e metodi di ricerca 788

VI–I–3. Caratteristiche dei terreni incoerenti
1) Strumenti e metodi di ricerca . . . . . pag. 789

VI–L) Misure delle caratteristiche elastiche delle strutture in calcestruzzo

VI–L–1. Comportamento elasto-plasto-viscoso del calcestruzzo . . . 792
VI–L–2. Deformazioni elastiche ed anelastiche 794
VI–L–3. Ricerca delle tensioni principali
1) Disposizione degli estensimetri 797

VI–M) Progettazione dei complessi di misura e montaggio degli apparecchi. Raccolta, elaborazione ed interpretazione dei risultati

VI–M–1. Progettazione delle reti di controllo e di misura 801
VI–M–2. Installazione degli strumenti 802
VI–M–3. Raccolta ed elaborazione delle osservazioni 803
VI–M–4. Considerazioni conclusive 804

VI–N) Riferimenti bibliografici 805

APPENDICE

Elenchi delle dighe italiane incluse quelle in costruzione al 31 dicembre 1959

1) Per tipi costruttivi, in ordine decrescente di altezza pag. 813
2) Per bacini idrografici 835
3) In ordine cronologico di inizio della costruzione 863

Indice alfabetico delle dighe 881

Indice alfabetico delle persone 895

Indice alfabetico degli Enti 897

INDICE DELLE TABELLE

CAPITOLO I

Cenni sui caratteri geoidrologici dell'Italia in relazione con la creazione dei serbatoi

Tab.		*Pag.*
I	Capacità degli scarichi di piena di alcuni serbatoi italiani: catena Alpina	66
II	Capacità degli scarichi di piena di alcuni serbatoi italiani: Alpi Marittime e Appennini	69
III	Capacità degli scarichi di piena di alcuni serbatoi italiani: Isole	71

CAPITOLO II

Evoluzione dei tipi di dighe e dei particolari costruttivi

Tab.		*Pag.*
I	Dighe ultimate nei decenni suddivise per finalità	79
II	Ripartizione delle dighe dei vari tipi nei sistemi orografici e nelle Isole	80
III	Dighe ultimate nei decenni suddivise per tipi	80
IV	Dighe esistenti al termine di ogni decennio	81
V	Dighe ultimate nei decenni suddivise per altezze	82
VI	Dighe dei vari tipi suddivise per altezze	83
VII	Dighe dei vari tipi di altezze superiori a determinati valori	86
VIII	Elenco nominativo delle dighe di altezza maggiore od uguale a 100 m	87
IX	Dighe dei vari tipi suddivise per altitudine s. l. m.	89
X	Dighe costruite sino al 1922: suddivisione per tipi e per altezze	93
XI	Dighe costruite dal 1923 al 1934: suddivisione per tipi e per altezze	105
XII	Dighe in costruzione nel 1923: suddivisione per tipi e per altezze	105
XIII	Dighe costruite dal 1935 al 1946: suddivisione per tipi e per altezze	118
XIV	Dighe costruite ed in costruzione dal 1947 al 1959: suddivisione per tipi e per altezze	125
XV	Dighe costruite ed in costruzione dal 1947 al 1959; opere dei vari tipi di altezze superiori a determinati valori	126
XVI	Particolari costruttivi di alcune dighe in pietrame a secco	233

CAPITOLO III

Materiali e metodi costruttivi

Tab.		*Pag.*
I	Principali caratteristiche degli schermi di impermeabilizzazione realizzati per alcune importanti dighe italiane	308
II	Principali dighe italiane realizzate in calcestruzzo di cemento pozzolanico e caratteristiche fisiche e meccaniche del cemento adottato	337
III	Caratteristiche dei calcestruzzi di alcune dighe	343

Tab. *Pag.*

IV Caratteristiche di alcuni impianti di confezione del calcestruzzo 402
V Dati caratteristici di alcune installazioni di gru a ponte 417
VI Dati caratteristici di alcune installazioni di blondins 422
VII Dati caratteristici di alcune installazioni di gru mobili 432
VIII Dati caratteristici di alcune installazioni di gru fisse (derricks) 443
IX Installazioni per l'approvvigionamento di energia elettrica in alcuni cantieri . . 456
X Installazioni per l'approvvigionamento idrico in alcuni cantieri 458
XI Installazioni per aria compressa in alcuni cantieri 460
XII Caratteristiche dei materiali e metodi di costipamento per alcune dighe in terra . . 478

CAPITOLO V

Contributi italiani alla evoluzione dello studio statico delle dighe

Tab. *Pag.*

I Ricerche su modello per alcune dighe italiane 716

CAPITOLO VI

Le misure per il controllo delle dighe in Italia

Tab. *Pag.*

I Disposizioni più usate per le rosette estensimetriche 798