

**Elisa Alfonsi  
Armando Mammino  
Federico Panciera**

**“La Diga del Molato: storia, tecnica  
e ripristino di una grande opera”**

I fregi simbolici sommitali, dal loro volto orientato a valle, verso il lago artificiale, recano su una bronzea stele la frase che il dott. Pier Carlo Brunelli, il quale ha governato il Consorzio di Bonifica Bacini Tidone Trebbia per oltre undici anni, ha voluto epigrafare al centro del coronamento della diga, dopo averla scritta di sua mano a memoria per i posteri:

*NEGLI ANNI VENTI  
DEL SECOLO CHE VOLGE AL TERMINE  
VENNE ERETTA QUESTA DIGA PER  
DARE SICUREZZA ALLE GENTI DI VALLE  
E PERCHÉ LE ACQUE DEL TIDONE  
PROVVIDAMENTE REGOLATE  
ALIMENTASSERO LE OPERE DELL'UOMO.  
ALLE SOGLIE DEL TERZO MILLENNIO  
SI VOLLE DONARE NUOVA  
VITA ALLA DIGA AFFINCHÉ  
POTESSE ANCORA CONSENTIRE  
IL SUO APPORTO FECONDO.*

*UT IN OMNIBUS  
GLORIFICETUR DEUS*

*GIUGNO 1999*

*PCB*

Autori e sostenitori di questo libro, e ci auguriamo tutti quanti lo avranno nella loro biblioteca, potranno condividere tale adamantino senso etico dell'Ingegneria.

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>4</b>
<b>1 STORIA DELL'IDEAZIONE E DELLA PROGETTAZIONE DELLA DIGA DEL MOLATO.....</b>	<b>5</b>
1.1 CONTESTO IN CUI PRESE FORMA L'IDEAZIONE DELLA DIGA .....	5
1.1.1 <i>Premessa</i> .....	5
1.1.2 <i>Condizioni agricole in Italia tra il XIX° ed il XX° secolo</i> .....	6
1.1.3 <i>Il quadro fondamentale delle norme di bonifica ed interventi idrici</i> .....	8
1.1.4 <i>Realizzazione di Dighe e opere di sbarramento fluviale in Italia</i> .....	9
1.1.5 <i>La bonifica in Emilia Romagna e nella Provincia di Piacenza in modo particolare</i> .....	10
1.2 DESCRIZIONE E COMPARAZIONE DEI VARI PROGETTI SVOLTI TRA IL 1912 E IL 1922.....	12
1.2.1 <i>Premessa</i> .....	12
1.2.2 <i>Il progetto del 1912</i> .....	12
1.2.3 <i>Il progetto del 1914</i> .....	13
1.2.4 <i>Il progetto del 1920</i> .....	17
1.2.5 <i>Produzione di corrente elettrica</i> .....	18
1.2.6 <i>Zona irrigabile e rete di distribuzione</i> .....	21
1.2.7 <i>Bacino di compensazione del Lentino</i> .....	23
1.2.8 <i>Variante al Progetto esecutivo del 1922</i> .....	24
1.2.9 <i>Disponibilità idrica per l'irrigazione</i> .....	25
1.2.10 <i>Produzione di corrente elettrica nel corpo-diga del Tidone</i> .....	25
1.3 STUDI GEOLOGICI CONDOTTI SULLA VAL TIDONE FINO AL 1925.....	25
1.3.1 <i>Premessa</i> .....	25
1.3.2 <i>Studi geologici sulla Val Tidone prima e durante la realizzazione della Diga</i> .....	26
1.3.3 <i>Formazioni geologiche del sottosuolo della Val Tidone</i> .....	29
1.3.4 <i>Campagne di sondaggi effettuati sul sottosuolo della Val Tidone</i> .....	31
1.3.5 <i>Condizioni generali del sottosuolo della Val Tidone e necessità costruttive</i> .....	34
1.4 STESURA DEI PROGETTI PER LA DIGA DEL MOLATO: IL CALCOLO STRUTTURALE.....	42
1.4.1 <i>Premessa</i> .....	42
1.4.2 <i>Conoscenze diffuse nei primi decenni del XX° secolo sulle opere di sbarramento</i> .....	43
1.4.3 <i>Studio strutturale per il progetto del 1914: la Relazione Generale</i> .....	47
1.4.4 <i>Studio strutturale per il progetto del 1920: la Relazione Generale</i> .....	49
1.5 BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 1 .....	99
<b>2 STORIA DELLA COSTRUZIONE DELLA DIGA DEL MOLATO.....</b>	<b>101</b>
2.1 MODIFICHE AL PROGETTO DECISE ED ATTUATE IN CORSO D'OPERA .....	102
2.1.1 <i>Premessa</i> .....	102
2.1.2 <i>Proposte di variante documentate ma non realizzate</i> .....	102
2.1.3 <i>Una proposta di variante documentata e realizzata: l'armatura delle voltine</i> .....	104
2.1.4 <i>Varianti realizzate ma non documentate</i> .....	105
2.2 IL CANTIERE DELLA DIGA DEL MOLATO .....	108
2.2.1 <i>Evoluzione storica del cantiere</i> .....	108
2.2.2 <i>Fasi successive della costruzione</i> .....	109

2.3	TECNOLOGIA IMPIEGATA NEL CANTIERE DELLA DIGA DEL MOLATO .....	110
2.3.1	<i>Cause responsabili della scarsa qualità del calcestruzzo realizzato in cantiere</i> .....	112
2.4	DESCRIZIONE DELL'OPERA REALIZZATA .....	113
2.4.1	<i>Premessa</i> .....	113
2.4.2	<i>Diga a gravità alleggerita della tipologia a speroni e voltine</i> .....	113
2.4.3	<i>Spalle laterali a gravità massiccia</i> .....	115
2.4.4	<i>Opere accessorie</i> .....	115
2.4.4.1	Scarico di fondo .....	115
2.4.4.2	Scarico di mezzofondo .....	115
2.4.4.3	Scarico di superficie .....	115
2.4.4.4	Apparecchi di misura .....	116
2.4.4.5	Opere di presa della centrale idroelettrica .....	117
2.4.4.6	Casa dei custodi .....	117
2.4.4.7	Briglie d'inghiaamento .....	117
2.4.4.8	Considerazioni sull'opera definitiva .....	117
2.5	GLI ARTEFICI DELLA PROGETTAZIONE E DELLA REALIZZAZIONE DELLA DIGA DEL MOLATO .....	118
2.5.1	<i>Premessa</i> .....	118
2.5.2	<i>L'Ing. Augusto Ballerio</i> .....	118
2.5.3	<i>L'Ing. Arturo Danusso</i> .....	119
2.5.3.1	Arturo Danusso come docente, uomo di scienza e costruttore: un percorso attraverso le fonti ....	122
2.6	BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 2 .....	126
<b>3</b>	<b>PROBLEMI SUBITI DALLA DIGA IN FASE DI ESERCIZIO</b> .....	<b>261</b>
3.1	MOVIMENTI DELLA DIGA VERIFICATISI NEL 1930 E PROVVEDIMENTI CORRETTIVI ATTUATI .....	261
3.1.1	<i>Movimenti degli speroni osservati a gennaio del 1930</i> .....	261
3.1.2	<i>Fattori secondari generati dai movimenti differenziali</i> .....	262
3.1.3	<i>Cause imputabili dello spostamento</i> .....	264
3.1.4	<i>Primi interventi adottati e proposti</i> .....	265
3.1.5	<i>Campagna di indagini eseguite dal Consorzio di Bonifica</i> .....	266
3.1.5.1	Rilievi degli spostamenti .....	266
3.1.5.2	Modello in scala di uno sperone .....	268
3.1.5.3	Valutazione delle sottopressioni .....	268
3.1.5.3.1	Formazione di una cortina di drenaggi .....	269
3.1.5.3.2	Posa di un contrappeso all'interno dei vani della diga .....	269
3.1.5.3.3	Determinazione dei riempimenti occorrenti per contrastare le sottopressioni .....	271
3.1.6	<i>Conclusioni</i> .....	272
3.2	LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE DEGLI ANNI '60 .....	273
3.2.1	<i>Premessa</i> .....	273
3.2.2	<i>Considerazioni sullo stato di fatto</i> .....	273
3.2.3	<i>Interventi di ristrutturazione previsti</i> .....	274
3.2.3.1	Opere di rafforzamento della diga a gravità in sponda sinistra .....	274
3.2.3.2	Stato delle dighe a gravità prima dei lavori .....	274
3.2.3.3	Opere di rafforzamento e sostituzione .....	275
3.2.4	<i>Verifiche di stabilità</i> .....	275
3.2.4.1	Diga a gravità in sponda destra .....	275
3.2.4.2	Diga a gravità in sponda sinistra .....	276
3.2.4.2.1	Opere di risanamento della diga a volte multiple .....	277
3.2.4.2.2	Riduzione delle sottopressioni .....	278
3.3	BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 3 .....	316
<b>4</b>	<b>INTERVENTI DI RIPRISTINO REALIZZATI FRA IL 1986 ED IL 2005</b> .....	<b>317</b>
4.1	LA SICUREZZA DELLA DIGA .....	317
4.2	NUOVE INDAGINI GEOLOGICHE DEGLI ANNI '80 .....	320
4.2.1	<i>Premessa</i> .....	320
4.2.2	<i>Il ciclo di indagini compiute dall'Impresa Rodio: 1986-1990</i> .....	323
4.2.2.1	Sondaggi meccanici .....	324

4.2.2.1.1. Sondaggio S1.....	324
4.2.2.1.2. Sondaggio 2.....	325
4.2.2.1.3. Sondaggio 3.....	325
4.2.2.1.4. Sondaggi 4+30.....	325
4.2.2.2. Considerazioni sui risultati dei sondaggi.....	326
4.2.2.3. Prove di permeabilità Leugeon.....	327
4.2.2.3.1. Considerazioni per la lettura dei grafici.....	328
4.2.2.3.2. Conclusioni sulle prove Leugeon.....	328
4.2.2.4. Considerazioni finali sui risultati dell'indagine compiuta dall'Impresa Rodio.....	329
4.3. LAVORI DI RIPRISTINO: DESCRIZIONE DEI 4 STRALCI ESEGUITI TRA IL 1996 ED IL 2005.....	330
4.3.1. Premessa.....	330
4.3.2. Lavori del I° Stralcio.....	331
4.3.2.1. Trattamento superficiale dei calcestruzzi.....	331
4.3.2.2. Verifica degli scarichi.....	331
4.3.2.2.1. Scarico di fondo.....	332
4.3.2.2.2. Scarico di mezzofondo.....	334
4.3.3. Lavori della perizia suppletiva.....	336
4.3.3.1. Sperimentazione sui calcestruzzi.....	336
4.3.3.1.1. Caratteristiche del calcestruzzo esistente.....	336
4.3.3.1.2. Progettazione dei nuovi calcestruzzi.....	338
4.3.3.2. Monitoraggio.....	339
4.3.4. Lavori del II° Stralcio.....	340
4.3.4.1. Premessa.....	340
4.3.4.2. Scarico di superficie ausiliario.....	340
4.3.4.2.1. Imbocco.....	340
4.3.4.2.2. Galleria.....	341
4.3.4.2.3. Restituzione.....	342
4.3.5. Lavori del III° Stralcio.....	343
4.3.5.1. Risanamento e impermeabilizzazione degli speroni e del paramento di monte delle dighe laterali a gravità.....	343
4.3.5.2. Impermeabilizzazione delle voltine.....	345
4.3.5.3. Soletta di chiusura in sommità delle voltine.....	346
4.3.5.4. Schermi di impermeabilizzazione e drenaggio.....	347
4.3.5.5. Impermeabilizzazione.....	349
4.3.5.6. Drenaggio.....	349
4.3.6. Lavori del IV° Stralcio.....	350
4.3.6.1. Progettazione dei nuovi muri laterali e divisori e della soletta di fondo dello scarico di superficie in corpo-diga.....	350
4.3.6.1.1. Definizione delle portate idrauliche.....	350
4.3.6.1.2. Definizione della geometria dei muri divisori dello scivolo.....	351
4.3.6.1.3. Misura delle pressioni idrauliche sui muri divisori.....	352
4.3.6.1.4. Azione sismica.....	352
4.3.6.1.5. Combinazioni di carico.....	353
4.3.6.1.6. Dimensionamento della soletta di fondazione.....	354
4.3.6.1.7. Dimensionamento della parte alta dello scivolo.....	356
4.3.6.2. L'appesantimento della diga.....	356
4.3.6.2.1. Caratteristiche fisico-meccaniche dei calcestruzzi.....	357
4.3.6.2.2. Parametri termici.....	357
4.3.6.2.3. Condizioni di carico.....	357
4.3.6.2.4. Carico sismico.....	358
4.3.6.2.5. Smaltimento del calore da idratazione dei nuovi getti e ritiro.....	358
4.3.6.2.6. Convenzioni e simbologie.....	358
4.3.6.2.7. Modellazione della situazione di riferimento.....	358
4.3.6.2.8. Modellazione della soluzione n.1.....	358
4.3.6.2.9. Modellazione della soluzione n.2.....	359
4.3.6.2.10. Modellazione della soluzione n.3.....	359
4.3.6.2.11. Considerazioni sulle precedenti proposte di consolidamento.....	359
4.3.6.2.12. Soluzione definitiva.....	360
4.3.6.2.13. Effetti di peso proprio e carico idrostatico.....	360
4.3.6.2.14. Effetti del carico termico stagionale.....	361

4.3.6.2.15. Effetti termici sui contrafforti dovuti allo sviluppo del calore di idratazione associato al nuovo getto.....	361
4.3.6.2.16. Verifica sismica.....	361
4.3.6.2.17. Modello complessivo.....	362
4.3.6.2.18. Ripristino dei traversi.....	362
4.3.6.2.19. Risultati dell'analisi sismica ad invaso pieno.....	363
4.3.6.2.20. Verifica di stabilità allo scorrimento.....	363
4.3.6.2.21. Conclusioni.....	453
4.4. BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 4.....	453
<b>5 IPOTESI ESPLORATIVE PER UNO SPAZIO MUSEALE ALL'INTERNO DELLA DIGA .....</b>	<b>455</b>
5.1 PREMessa .....	455
5.2 L'IPOTESI PROGETTUALE ELABORATA DALLO STUDIO MARCELLO.....	455
5.3 IPOTESI PROGETTUALE FINALIZZATA ALL'ALLESTIMENTO DI UN MUSEO DELLE OPERE IDRAULICHE .....	456
5.4 IPOTESI SUGLI SCHEMI DI FINANZIAMENTO POSSIBILI PER IL MUSEO INTERNO ALLA DIGA .....	459
5.5 BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 5.....	474