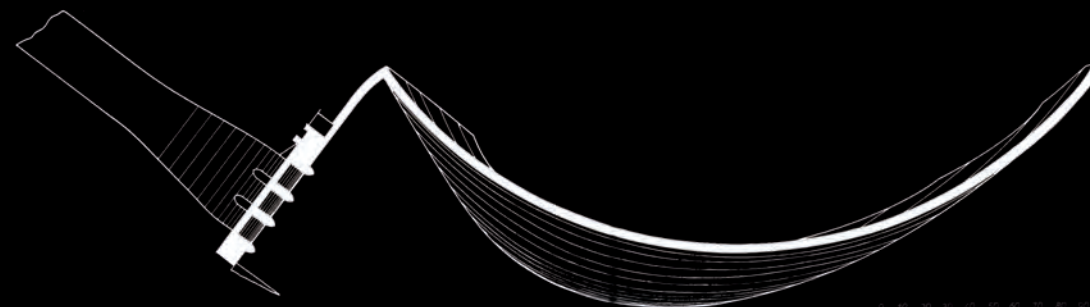
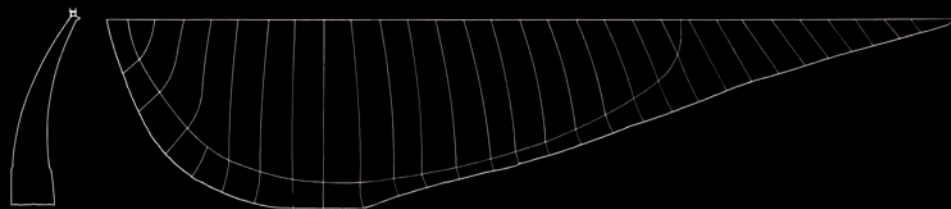




UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DOTTORATO DI RICERCA IN ARCHITETTURA - XXIV CICLO
ICAR / 10

ARCHITETTURE PER IL GOVERNO DELL'ACQUA
L'INFRASTRUTTURA RILETTA: IL SISTEMA IDRICO DEL TALORO

PRESENTATA DA: ALESSANDRO SITZIA
COORDINATORE E TUTOR: PROF. ING ANTONELLO SANNA
CO-TUTOR: ING. NICOLETTA SALE (E.N.A.S.)



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 m



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DOTTORATO DI RICERCA IN ARCHITETTURA - XXIV CICLO
ICAR / 10

ARCHITETTURE PER IL GOVERNO DELL'ACQUA
L'INFRASTRUTTURA RILETTA: IL SISTEMA IDRICO DEL TALORO

PRESENTATA DA: ALESSANDRO SITZIA
COORDINATORE E TUTOR: PROF.ING ANTONELLO SANNA
CO-TUTOR: ING. NICOLETTA SALE (E.N.A.S.)

dedicato a Michele, Berenice e Antonella

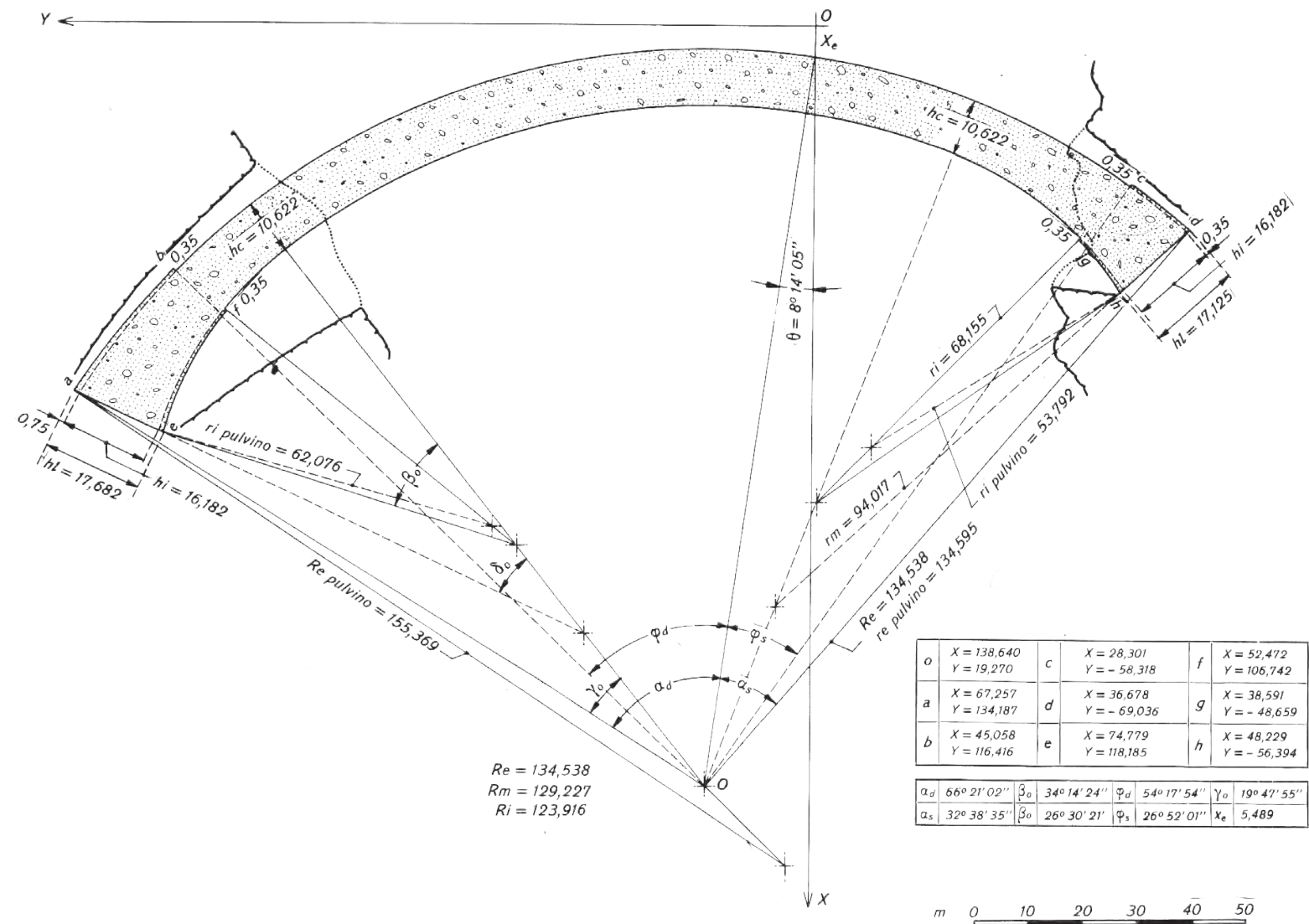
La scienza delle costruzioni è una scienza di verifica. Per risolvere lo stesso problema ci sono dieci maniere, tutte identiche dal punto di vista statico, funzionale, economico e sociale. La scelta definitiva fra le tante trascende dunque il fatto puramente tecnico: è una scelta di carattere spirituale, artistico
(R. Morandi)

Indice

10	0 L'EQUAZIONE
11	1 PREMESSA
11	1.1 Incipit
14	1.2 L'urgenza di una riflessione sui sistemi di invaso artificiali
14	1.3 L'intervento normativo
17	1.4 Decadimento e utilità
18	1.5 Utilità e conservazione
24	2 Un filone di ricerca
30	3 CONTESTO STORICO DELLE ORIGINI DEL GOVERNO DELLE ACQUE E IL LORO SFRUTTAMENTO IN SARDEGNA
38	Elenco e caratteristiche principali delle dighe della Sardegna
52	4 Le grandi strutture in calcestruzzo nella storia dell'ingegneria moderna italiana
52	4.1. Ascesa e declino dell'ingegneria strutturale italiana
55	4.2. Per una storia della costruzione di dighe
58	4.3. Le principali innovazioni costruttive
61	4.4 L'ISMES e la modellazione strutturale
65	4.5. La modellazione idraulica
68	5 IL SISTEMA INQUIETO
70	5.1. CARATTERI TIPOLOGICI
70	5.1.1 Definizioni del Regolamento Italiano Dighe
71	5.1.2 classificazione tipologica
71	5.1.3 Dighe a gravità
76	5.1.4 Dighe a volta
81	5.1.5 Dighe a volte o solette sostenute da contrafforti
81	5.1.6 Dighe di materiali sciolti
84	5.2. DEGRADO DELLO SBARRAMENTO
85	5.2.1 dighe in calcestruzzo e in muratura in pietrame e malta
96	5.2.2 dighe in materiali sciolti
99	5.2.3 opere annesse

100	5.3 DEGRADO DELL'INVASO
102	5.4 IL MONITORAGGIO DEL SISTEMA
104	5.6 Decommissioning
104	5.6.1 premessa
106	5.6.2 Le condizioni a contorno
107	5.6.3 La dismissione
110	5.6.4 Esame dei casi italiani e stranieri
114	5.6.5 le problematiche connesse alla dismissione delle dighe italiane
120	6 L'ESTETICA DELLA DIGA
121	6.1 Fenomenologia di un'intuizione
122	6.2 Natura e intelletto
125	6.3 L'armonia delle forme
126	6.4 L'armonia spontanea della virgola di calcestruzzo
130	7 LA DIGA COME LANDMARK
130	7.1 L'indifferenza della infrastruttura.
130	7.2 Il paesaggio.
132	7.3 L'infrastruttura indiscreta
136	7.4 Il landmark silente ed il sistema inquieto.
140	8. UN MODELLO CONOSCITIVO: IL SISTEMA IDRICO DEL TALORO (SARDEGNA)
141	8.1 La storia del Taloro nelle parole dell'Ing. Aldo Maffei.
166	8.2 La struttura della diga di gusana.
178	8.3 L'ESTETICA PLASTICA DEL CALCESTRUZZO
185	8.4 Utilizzo presente e futuro di un sistema dinamico
185	8.4.1 Attuali usi industriali/energetici
186	8.4.3. Usi turistici dell'invaso in riferimento ad alcuni casi di studio
192	8.4.4 Utilizzi futuri dell'invaso.
196	9. CONCLUSIONI
209	BIBLIOGRAFIA

SEZIONE ORIZZONTALE A QUOTA 600 m s. m.



diga di Gusana sul Taloro (Sardegna), schema del tracciamento a quota 600 m.s.l.m. (P.TAL, P.ENEL)

0. L'EQUAZIONE

$$\sigma_{amm} = \frac{p \cdot r}{s_h} = \frac{r_h \cdot h \cdot \gamma_a}{s_h}$$

ovvero: fissati r (raggio di curvatura) ed s_h (spessore dell'arco alla quota h) aumenta lo sforzo vincolare negli archi inferiori, fissati invece h (profondità dell'anello in esame a partire dal massimo livello idrico dell'invaso) ed s_h (spessore dell'anello alla profondità h), diminuisce al diminuire del raggio di curvatura r .

Inoltre dalla sopracitata formula di Mariotte (valida per $s/r < 1/20$) si deduce che, all'aumentare della profondità, e quindi della pressione $p = h \cdot \gamma_a$ sull'arco, se gli archi hanno raggio r sempre costante, occorre aumentare lo spessore s in proporzione alla profondità h ; se gli archi hanno raggio r decrescente con la profondità, lo spessore s può crescere meno che proporzionalmente rispetto alla profondità h .

Essendo l'arco di riferimento un arco di cerchio, detto φ il semi-angolo al centro e C la semicorda dell'arco abbiamo:

$$\tan\varphi = \frac{r_h}{c_h}$$

Il volume di calcestruzzo è dato dalla:

$$V = 2\varphi \cdot r_h \cdot s_h$$

Da cui:

$$V = \frac{2\varphi \cdot r^2 \cdot \gamma_a}{\sigma}$$

Nel caso in cui la gola abbia corda costante segue che:

$$C = r \cdot \text{sen}\varphi$$

Da cui:

$$V = \frac{2\varphi \cdot r^2 \cdot \gamma_a \cdot C^2}{\sigma \cdot \text{sen}^2\varphi}$$

Supponendo di prendere un anello generico alla profondità fissata e tenendo costanti le variabili γ_a , C e $\sigma = \sigma_{amm}$ Segue che il volume dell'anello sarà proporzionale a

$$\frac{\varphi}{\text{sen}^2\varphi}$$

Imponendo che tale quantità sia minima abbiamo:

$$\frac{\varphi \cdot V}{\varphi \cdot \varphi} = 0$$

Da cui:

$$\frac{\varphi \cdot V}{\varphi \cdot \varphi} = \frac{\text{sen}^2\varphi \cdot 2\varphi \text{sen}\varphi \cos\varphi}{\text{sen}^4\varphi} = 0$$

Da cui:

$$2\varphi = \text{tang}\varphi$$

Risolvendo:

$$2\varphi = 133^\circ$$

Per alvei a forma triangolare abbiamo due scelte: tenere costante r e variare φ , oppure tenere costante φ e variare r . Nel primo caso avremo una diga a curvatura semplice (una porzione di cilindro), nel secondo una diga a doppia curvatura (una porzione di cupola)

Tenendo costante l'arco si ottiene un asse dei centri lungo un asse verticale corrispondente al paramento a monte o a valle, oppure su una linea regolare tale da ottenere un paramento a monte pressoché verticale ma con leggera concavità verso il basso.

Ulteriori precisazioni concorrono al discorso se si tiene in considerazione l'elasticità dell'arco, le reazioni vincolari sulle sponde e sull'alveo e dal peso proprio del materiale.

Questo è, in estrema sintesi e al netto di ulteriori approfondimenti, la sintassi matematica del principio fisico che sta alla base della forma di una diga ad arco (arco semplice o a doppia curvatura).

1. PREMESSA

1.1 Incipit. L'analisi multidisciplinare del "sistema diga" è la conseguenza di un approccio che individua nel complesso manufatto la risultante di rapporti complessi tra fattori diversi ed eterogenei: ambientali, antropici, sociali e politici, industriali, fisici, chimici, geologici.

Solo lo sguardo d'insieme su questi elementi può coglierne pesi e modalità proprie di ciascuno e compartecipate tanto da generare la dinamicità che definisce come sistema "inquieto" quello che gravita attorno alla formazione prima, e alla gestione poi, di un invaso acquifero artificiale.

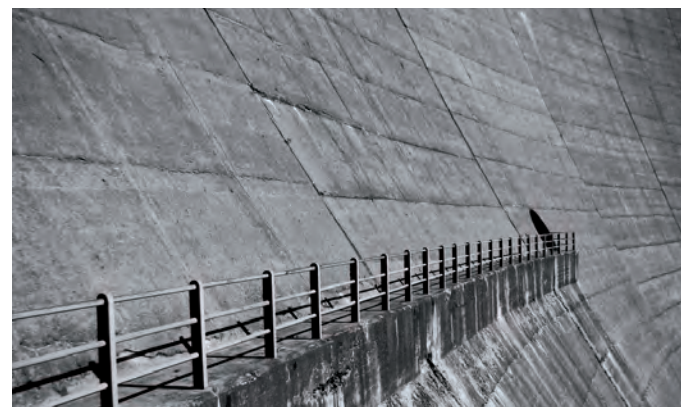
La lettura è mediata dalle lenti proprie dell'Architettura intesa come disciplina alla base dell'organizzazione dello spazio a qualsiasi scala in cui vive l'essere umano.

Questo approccio delinea il perimetro di una sfida intrigante: risemantizzare la grande infrastruttura progettata sulla base di fatti puramente tecnici: il principio di azione e reazione, che la colloca là dove le rocce sono più tenaci, dove la portata d'acqua è più favorevole, alle quote più opportune affinché la gravità spinga la massa liquida con velocità sufficiente a mutare il proprio in energia meccanica e quindi elettrica, con capacità di invaso tali da consentire un più sicuro e continuativo uso da parte dell'uomo per fini civili e agricoli.

La diga, e tutto ciò che le gravita attorno, è dunque il mezzo, mai il fine.

Il muro di pietra o di calcestruzzo è l'oggetto e lo strumento di quel fine ma, se l'architettura è la scienza del progettare e costruire allora i grandi sbarramenti sono Architettura.

Collimando l'analisi con il mirino fornito da questo approccio la diga appare come un elemento architettonico inserito nel landscape secondo precisi elementi qualitativi che ne hanno governato la progettazione e la costruzione e che ora



in alto
diga ad arco-gravità di Monticello, California, USA; terminata nel 1953, alta 93m per 312m di coronamento e con una capacità di invaso di 1.9 miliardi di mc
(FLICKR)

al centro
diga a speroni pieni di Cancano nella Valle di Fraele in Lombardia, Italia; terminata nel 1953, alta 91.5m per uno sviluppo massimo di 965m per 123 Mmc di capacità di invaso.
(PROG.D.)

sotto
dettaglio dell'ingresso al tunnel di ispezione e drenaggio di una diga ad arco-gravità
(FLICKR)

devono ancora guidare un possibile giudizio estetico.

La diga è spontanea.

Si colloca là dove è chiamata a reagire al meglio alle sollecitazioni a cui deve rispondere e si conforma nella maniera più consona al luogo in cui si adagia così come un arbusto si adatta al meglio ai luoghi che lo ospitano formandosi e strutturandosi secondo le azioni che la natura gli impone.

La diga è acritica.

E' il risultato apparente di interazioni oggettive che la strutturano su forme e disegni derivanti da conoscenze, giudizi, convinzioni e principi fisici totalmente condivisi.

La diga è formale e tipologica.

Le sue infinite declinazioni, perché infiniti sono i parametri che di volta in volta entrano in gioco e ne governano la forma, non escludono la sua appartenenza a precise categorie tipologiche.

Ma soprattutto la diga è funzionale.

Il suo ruolo è opporre una reazione all'azione dell'acqua punto per punto, la forma complessiva è dunque il risultato di questa interazione.

Risultato solo apparentemente governato in maniera automatica dal progettista che ha risolto la dinamica descritta dal binomio azione/reazione governandone e indirizzandone la geometria verso schemi esecutivi piuttosto che altri.

Se la reazione incarna il principio finalistico che deve bilanciare la spinta dell'acqua, la sua diretta conseguenza ne è la forma come espressione del come farlo in un rapporto che declina perfettamente il caposaldo della triade vitruviana dove la *venustas* è naturalmente acquisita (C. Perrault) ed il muro di calcestruzzo diventa oggetto di soggettiva lettura alla ricerca di regole di bellezza ed armonica proporzione delle parti.

« Tutte queste costruzioni devono avere requisiti di solidità, utilità e bellezza. Avranno solidità quando le fondamenta, costruite con materiali scelti con cura e senza avarizia, poggeranno profondamente e saldamente sul terreno sottostante; utilità, quando la distribuzione dello spazio interno di ciascun edificio di qualsiasi genere sarà corretta e pratica all'uso; bellezza, infine quando l'aspetto dell'opera sarà piacevole per l'armoniosa proporzione delle parti che si ottiene con l'avveduto calcolo delle simmetrie. (Vitruvio, De Architettura, terzo libro) » .





a sinistra
confronto dimensionale tra alcuni noti edifici storici e contemporanei con le tre dighe detentrici di primato di altezza per tipologia; da sinistra: la diga a gravità massiccia di Grande Dixence in Svizzera, la diga a doppio arco del Vajont in Italia e la diga in terra di Nurek in Tajikistan.

a destra
diga a doppia curvatura di Katse nel Lesotho, Africa australe; terminata nel 2009, alta 185m per uno sviluppo massimo di 710 metri per 350 Mmc di capacità di invaso.

Si notino: lo sfioratore di superficie sul corpo della diga, lo sbocco delle condotte in pressione per l'azionamento delle turbine (produzione energia elettrica), la traversa per la formazione del bacino di regimentazione delle acque tracimate dal coronamento; in basso a destra si noti la condotta di deviazione del fiume per la costruzione dello sbarramento e, qualche metro più in quota, lo scarico di fondo dell'invaso.

(WIKI)

1.2 L'urgenza di una riflessione sui sistemi di invaso artificiali. Si calcola che nel territorio italiano vi siano in esercizio 545 grandi dighe (su circa 9.000 sbarramenti), ovvero strutture di altezza superiore a 15 metri e con capacità di invaso superiore al milione di metri cubi. La Sardegna secondo i dati del 2006, ad oggi, può contare su un patrimonio costituito da 59 dighe, di cui 4 dismesse o non invasabili e 3 in costruzione per un volume di acqua invasata superiore ai due miliardi di mc.

La costruzione di dighe in epoca moderna, dall'inizio '900 ad oggi, è stata conseguenza, nel nostro come in altri Paesi, dei cambiamenti economici e sociali legati ai processi di industrializzazione. In Italia, le fasi in cui più intensi sono stati i processi realizzativi hanno coinciso con il periodo 1920-1940 (quindi tra le due guerre mondiali) ed il periodo post-bellico 1950-1970. Ne consegue che una parte significativa di dighe abbia largamente superato quella che era ritenuta, all'epoca della costruzione, la vita utile dell'opera (stimata in 50-60 anni). Il processo di invecchiamento delle dighe esistenti è, inevitabilmente, accompagnato dal manifestarsi di fenomeni sia fisiologici sia patologici che impongono già oggi interventi volti alla conservazione della condizione di pieno esercizio. In proiezione futura, qualche decina d'anni, occorrerà prendere in considerazione, attraverso un approccio razionale e generalmente codificato, la dismissione delle dighe non più in grado di assolvere con sicurezza o con soddisfacente ritorno economico le funzioni previste all'atto della loro progettazione e realizzazione. Allargando l'orizzonte a considerazioni di tipo generale è da sottolineare che, mentre il fabbisogno di riserve idriche è in continua crescita, la costruzione di nuove dighe nei paesi più industrializzati (salvo poche eccezioni come ad es. la Spagna) è un fatto sempre più raro per mancanza di siti favorevoli, per vincoli legati all'intensa antropizzazione del territorio, per una diffusa ostilità da parte di molti settori della pubblica opinione.

Dunque già oggi si pone e si porrà sempre più nel futuro, la necessità di trovare soluzioni ad una contraddizione che è destinata a divenire sempre più marcata.

Si pongono quindi le condizioni affinché l'oggetto diga divenga sempre più una risorsa intesa come investimento volto a salvaguardare un bene difficilmente convertibile. Lo è nella pratica: interventi come la demolizione in loco, il trasporto in altra sede del materiale di risulta, il ripristino ambientale dei luoghi e la loro messa in sicurezza con il ripristino della perfetta funzionalità idraulica, a fronte di un volume stimato di calcestruzzo di qualche centinaia di migliaia di metri cubi sono di tale portata ed impegno finanziario ed impongono la pianificazione di complesse macchine organizzative che possono essere confrontate a quelle impiegate per l'edificazione. A queste considerazioni vanno accompagnate altre di natura economica e giuridica legate alla proprietà della struttura, al gestore, e a tutti quei soggetti interessati e gravanti a valle del bacino.

All'affollata platea dei soggetti direttamente interessati alla gestione del futuro del sistema-diga va aggiunto un nuovo portatore d'interessi che, a seguito della avvenuta storicizzazione del manufatto, si pone quale ulteriore interlocutore chiamato a tutela del bene. Accade così che ai sensi del decreto Urbani (D.Lgs 42/2004), invasi con più di 70 anni (ovvero edificati prima del 1942) siano sottoposti a verifica di interesse culturale da parte del Ministero per i Beni e le Attività Culturali che, in alcuni casi, si tradurrà nell'imposizione del vincolo di tutela.

1.3 L'intervento normativo. Il Decreto Legge n°79 del 29 marzo 2004 individua la straordinaria necessità ed urgenza di emanare disposizioni per la messa in sicurezza delle grandi dighe per le quali risulti assente il concessionario di derivazione o il richiedente la concessione e per le quali non abbia avuto luogo la dismissione definitiva. Questo tenu-



a sinistra:
diga di Corongiu, Sinnai - Sardegna; completata nel 1866 con struttura in muratura di pietra, era, prima della demolizione, la più antica diga "moderna" in Italia;

Laghi di Corongiu, con le dighe Corongiu II (a gravità in muratura di pietra alta 19.50m, terminata nel 1915) e la Corongiu III (a gravità in muratura di pietra alta 41m, terminata nel 1937); sono sorte per l'approvvigionamento idrico della città di Cagliari;

a destra:
Diga di Tibli, presso Alicante - Spagna; datata alla fine del '500 è la più antica in europa ancora in pieno servizio; è una diga ad arco-gravità alta 43 m per una capacità di 4,5 Mmc.
(RID.C., WIKI)

Il Registro Italiano Dighe è stato abolito con D.L. 262/2006 convertito con legge 286/2006 e le sue funzioni trasferite al Ministero delle Infrastrutture

to conto che le stesse dighe costituiscono un potenziale rischio per le popolazioni a valle da salvaguardarsi ai fini della pubblica incolumità, nonché la indifferibilità di effettuare aggiornate verifiche sismiche ed idrologiche per consentire il completamento delle attività di rivalutazione delle condizioni di sicurezza delle grandi dighe esistenti sul territorio nazionale, nonché per altri interventi ed iniziative relativi a compiti istituzionali e di sicurezza della collettività, affidati alla Protezione civile.

L'art. 1 del decreto incarica il Registro italiano dighe entro trenta giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto di predisporre un apposito elenco con l'indicazione delle caratteristiche tecniche e dello stato delle opere, le dighe fuori esercizio, per le quali non sia stata rinnovata o richiesta la concessione e per le quali non abbia avuto luogo la dismissione definitiva della diga, così da costituire una condizione di rischio per le popolazioni a valle. Ai fini delle disposizioni di cui al presente comma, per dismissione definitiva di una diga si intende la demolizione anche parziale dell'opera di sbarramento purché risulti garantita la sicurezza del sito. Tale elenco delle opere è comunicato dal Registro alle Regioni, alle Province Autonome e alle Autorità di bacino territorialmente interessate, anche in relazione al rischio idraulico a valle.

I compiti assegnati al Registro Italiano Dighe è in tal senso emblematico. Esso è chiamato a provvedere altresì:

- all'approvazione dei progetti delle opere di derivazione dai serbatoi e di adduzione all'utilizzazione, comprese le condotte forzate nonché alla vigilanza sulle operazioni di controllo che i concessionari saranno tenuti ad espletare sulle medesime opere (art.6, comma 4 bis, della legge 1.8.2002, n.166, come integrato dall'art.5 bis, comma 1, della legge 24.11.2003, n.326; art.10, comma 2, del D.P.R. 24.3.2003, n.136);
- al monitoraggio delle grandi dighe concernenti, fra

l'altro, gli aspetti di sicurezza idraulica, anche nell'interesse del Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri (art.3, comma 3, del decreto legge 29.3.2004, n.79 convertito con legge 28.5.2004, n.139);

- all'esame delle rivalutazioni delle condizioni di sicurezza sismica ed idraulica delle grandi dighe, presentate dai concessionari in conseguenza della variata classificazione sismica dei siti ovvero dei ridotti franchi di sicurezza (art.4 del decreto legge 29.3.2004, n.79 convertito con legge 28.5.2004, n.139);
- all'affiancamento tecnico-scientifico delle Autorità di Protezione Civile, per il governo delle piene nei corsi d'acqua (Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27.2.2004);
- all'assistenza tecnica, alla consulenza e perizia tecnica per le opere non soggette alla successiva approvazione da parte della Direzione Generale, su richiesta di amministrazioni, enti pubblici o privati (art.10, comma 4, lettera "b" del D.P.R. 24.3.2003 n.136);
- all'organizzazione di corsi di formazione ed aggiornamento su argomenti interessanti il campo delle dighe (art.10, comma 4, lettera "a" del D.P.R. 24.3.2003 n.136);
- alla promozione di studi e conferenze ed alla stipula di accordi con organismi, anche esteri, nelle materie di proprio interesse (art.10, comma 4, lettera "d" del D.P.R. 24.3.2003 n.136);
- all'individuazione dei codici di calcolo automatico di verificata attendibilità per la definizione e lo sviluppo dei progetti e l'indicazione delle modalità di rappresentazione dei relativi risultati (art.10, comma 5, lettera "b" del D.P.R. 24.3.2003 n.136);
- alla definizione dei requisiti tecnici, costruttivi e funzionali per l'omologazione della strumentazione per il controllo delle dighe (art.10, comma 5, lettera "d" del

D.P.R. 24.3.2003 n.136);

- all'individuazione delle modalità di trattamento e archiviazione informatica dei dati sperimentali e della loro trasmissione alla banca dati della Direzione Generale (art.10, comma 5, lettera "e" del D.P.R. 24.3.2003 n.136).

Risulta chiaro come, a ridosso della questione diga, si stiano sommando diverse e specifiche questioni che trovano la propria cuspide nel binomio Decadimento-Utilità.

1.4 Decadimento e utilità. Il manufatto invecchia: il materiale che lo costituisce, il calcestruzzo nelle sue molteplici declinazioni di miscele e componenti, interagisce con l'ambiente naturale e i suoi elementi aggressivi, si logora e lavora. Su di esso agiscono interazioni chimiche e fisiche che, dal momento della sua preparazione, proseguono ininterrotte e che, lentamente, ne modificano lo stato e l'equilibrio facendolo diventare un'altra cosa, di certo non dissimile dalla condizione di partenza ma comunque diversa, con diversi parametri di resistenza a flessione, a taglio e a compressione; cambiano, anche se di poco, la capacità di rispondere ai severi gradienti di temperatura. Cambiano anche le condizioni a contorno: se il manufatto si muove mutando continuamente conformazione geometrica e spaziale, il sistema all'interno del quale è inserito segue regole ancora più dinamiche. I versanti vibrano e le fondazioni reagiscono alla spinta delle falde sottostanti.

Ciò che non cambia sono le sollecitazioni massime di utilizzo. Una diga di sbarramento costruita negli anni '20 del secolo scorso era soggetta ad una pressione idrostatica sulle sue pareti che esercitava una spinta pari a $S=1/2 \cdot \gamma \cdot L \cdot H^2$ (dove γ è il peso specifico fissato in circa 1000 kg/m², L è la larghezza dello sbarramento e H l'altezza). Se dunque al principio della sua messa in esercizio tale struttura contrastava una spinta pari a svariate centinaia di tonnellate per



diga ad arco-gravità di Kolnbrein, Carinzia, Austria; terminata nel 1979, alta 200m per 626m di coronamento e con una capacità di invaso di 205 Mmc.

La pressione generata dall'invaso, circa 20 bar alla base del paramento a monte, hanno prodotto una infiltrazione di acqua con un aumento anomalo della sottopressione nelle fondazioni; alcune parti della diga, all'attacco con le rocce hanno iniziato a lavorare sotto l'azione di uno stato tensionale che ha prodotto profonde fessurazioni già nel corso del primo invaso di collaudo.

Si dovette svuotare completamente il bacino e intervenire a monte per il ripristino della continuità strutturale, e a valle cambiando geometria alla diga appesantendola con uno zoccolo in calcestruzzo e mutando la tipologia dei primi 20-30m in una diga a gravità ordinaria nel tentativo (riuscito) di contrastare la spinta dal basso della falda acquifera.

In totale i costi della riparazione ammontarono a 19 (FLICKR, simscience.org);

metro quadro, oggi, a distanza di circa un secolo, la stessa identica struttura è chiamata a rispondere delle medesime sollecitazioni; nel mentre il muro ha lavorato sotto le sollecitazioni interne ed esterne che ne hanno mutato, sempre in negativo, la risposta prestazionale. Si potrebbe quindi ipotizzare un intervento volto al ripristino funzionale della struttura o, quantomeno, individuare i processi di deterioramento e opporvi una strategia di conservazione dello stato di fatto.

Comunque l'ipotetico intervento deve muovere dalla soluzione data al riconoscimento del valore della diga come bene, inteso nella sua accezione di valore acquisito, dalla diga in quanto oggetto o in quanto infrastruttura. La diga in sé, è bene ricordarlo, non è il fine ma il mezzo attraverso cui si struttura il sistema complesso di un invaso artificiale. In questo caso il bene è la massa di acqua invasata nel bacino (bene materiale) e, ad essa strettamente correlato, il tempo necessario per il suo deflusso ed il successivo rinvaso (bene temporale). Inoltre occorre restituire un equo fattore quantitativo e qualitativo a tutti quei servizi inattuabili in assenza del volume di acqua: mancata produzione di energia elettrica che dovrà essere prodotta in altre sedi e con altri costi (bene monetario); l'inattuabilità di strategie per l'uso irriguo del bacino in periodi di stagionale aridità (bene strategico), la mancanza di un bene primario per l'uso potabile (bene comune). A questi va aggiunto una serie di problematiche tecniche correlate allo svuotamento e rinvaso del bacino sia a monte che a valle e che trovano ulteriori spazi di approfondimento nelle pubblicazioni scientifiche di settore.

Il processo di Decommissioning (dis-missione, ovvero cambio di missione) o demolizione totale o parziale interviene dunque sull'oggetto in sé e, di riflesso, sul sistema generale. Si intuisce così facilmente come le variabili dell'organismo dinamico descritto siano posti sui due piatti della bilancia: da una parte i costi diretti e indiretti di un intervento di ri-

funzionalizzazione, dall'altra i vantaggi economici derivanti da una più semplice rimodulazione del sistema che, pur con margini di operatività ridotti, consenta un opportuno ritorno di utili.

1.5 Utilità e conservazione. Si pone dunque l'urgenza di una riflessione sull'oggetto: In quanto manufatto dell'uomo, per quanto funzionale e puramente meccanicista, è ascrivibile alla lista dei beni culturali di cui preservare la memoria e, eventualmente, la matericità? La diga è architettura?

Un esempio emblematico sul come sviluppare questa riflessione è l'acquedotto romano. La parola deriva dai due termini aqua ("acqua") e ducere ("condurre") e indica un'opera più o meno complessa avente la funzione di trasportare l'acqua, anche per lunghe distanze, per diversi usi legati alla antropizzazione del territorio e l'approvvigionamento dei centri urbani. La sua più evidente manifestazione è il ponte: elemento indispensabile per superare dislivelli e avvallamenti consentendo al flusso dell'acqua una pendenza sempre costante (non più di qualche decina di centimetri al chilometro). Esempi di queste strutture, a distanza di più di due millenni, sono tuttora esistenti, preservati, restaurati e pienamente inseriti nel paesaggio circostante come dimostrano gli esempi di Terragona e Segovia in Spagna o Ponte du Gard in Francia. Sono opere certamente imponenti, se rapportate al sistema costruttivo relativamente semplice, e raggiungono altezze fino a cinquanta metri. Gli acquedotti romani nascono come infrastruttura: l'uso dell'arco a tutto sesto e la snellezza generale del disegno è frutto di un sapiente controllo della tecnica costruttiva volta a massimizzare il risultato minimizzando al contempo l'impiego di risorse umane, tecniche e materiali; uno schema identico che si ripete pressoché all'infinito in cui a dominare è la necessità di mantenere una pendenza costante. L'assonanza con la diga di sbarramento è forte: entrambi nascono come



Acquedotto romano di Pont du Gard, sul fiume Gardon - Francia; eretto intorno al 19 a.c. per l'approvvigionamento della città di Nîmes, ha una altezza massima di 49m per una lunghezza di 275m; si calcola sia stato in uso per circa 5 secoli;

Acquedotto di Segovia - Spagna; costruito nella prima metà del I sec. d.C., ha una altezza massima di 28,5m; rimaneggiato e consolidato nel corso dei secoli è oggi il simbolo della città ed una delle immagini più conosciute della Spagna. Entrambe le opere sono patrimonio dell'Umanità protette dall'Unesco. (WIKI)

infrastrutture, entrambe fanno uso della tecnica costruttiva migliore disponibile al momento della loro costruzione (intesa su un piano di rapporto tra costo e beneficio), entrambe sembrano tralasciare qualsiasi componente estetica in favore di una funzionalità estrema.

Risulta chiara e ovvia l'opinione che una struttura quale un ponte di un acquedotto romano non possa essere messa in discussione anche se ha dismesso la sua funzione di veicolare l'acqua. La ragione più evidente è la storicizzazione del manufatto divenuto parte integrante di qualsiasi ambiente naturale o antropizzato che lo intersechi.

Risulta assai poco chiaro se il medesimo approccio possa essere dedicato ad una diga quando essa esaurisce la sua funzione di sbarramento; ancora meno quando questa è in esercizio.

Un caso di cui spesso si riutilizzerà la sua validità di esempio è la diga di Santa Chiara costruita sul Tirso (Sardegna) tra il 1918 e il 1924 con una struttura a voltine in calcestruzzo armato e speroni in muratura. Con i suoi 70 metri di altezza e i 400 milioni di mc invasati è stato a lungo il più esteso bacino artificiale d'Europa ed è tuttora la più alta struttura in riferimento al sistema costruttivo. Fu esempio e icona della operosità del Regime Fascista nelle politiche di bonifiche ambientali e della nascente industrializzazione del meridione d'Italia. Una diga dunque carica di significati in cui l'interazione tra la storicizzazione in quanto bene identitario di una intera regione ed una felice soluzione formale, la cui forma arche tipa dell'acquedotto romano la rende parte integrante e familiare del paesaggio – come se fosse sempre stata in quei luoghi –, produce un oggetto che è in sé affettivo e architettonico, ovvero una icona. Tuttavia a seguito di lesioni manifestatesi sui contrafforti si è ritenuto di operare una dismissione della stessa dimezzandone la capacità di invaso nel 1970 ponendo in essere le condizioni perché la struttura perdesse interesse economico e la piena

funzionalità. Si è ritenuta strategica la costruzione di una nuova diga più a valle detta "La Cantoniera" alta 120 metri e con una capacità di invaso di circa 792 milioni di mc. Attualmente risultano autorizzati per ragioni legate al collaudo circa 455 mc. Invasando circa il 61% del volume disponibile oggi la diga di Santa Chiara risulta quasi del tutto sommersa dalle acque del nuovo lago che di fatto l'ha cancellata dal paesaggio rimodellato del nuovo invaso. La struggente antinomia tra necessità e memoria raccontata da questa vicenda è stata affrontata a diversi livelli. Da una parte si riconosce la necessità strategica di conservare, se non ampliandola, il bene acqua con una nuova infrastruttura capace di colmare, sostituendola in toto, i limiti della precedente. Dall'altra si riconosce altresì il valore storico della diga di Santa Chiara. Cosicché si decide di non demolirla ed attivare su essa un intenso programma documentale grazie a due lungometraggi: il primo "Adiosu Diga Addio" del regista Franco Taviani commissionato dall'Enel (il gestore della diga) e "La diga del Tirso" per la regia di Marco Kuveiller per SardegnaDigitalLibrary. Si tenta quindi un'operazione di fissaggio della memoria nelle immagini in movimento che raccontano le storie, i volti le parole e i suoni del microcosmo umano e tecnico gravante attorno lo diga anche raccogliendo le storie delle ultime testimonianze viventi della sua edificazione. Si opera quindi affinché resti un documento del bene perduto sotto le acque.



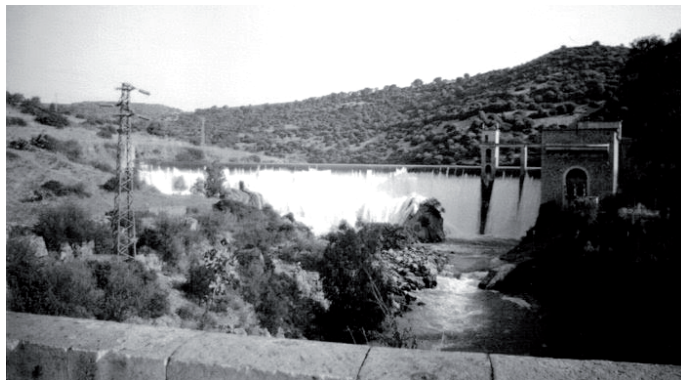
In senso antiorario:

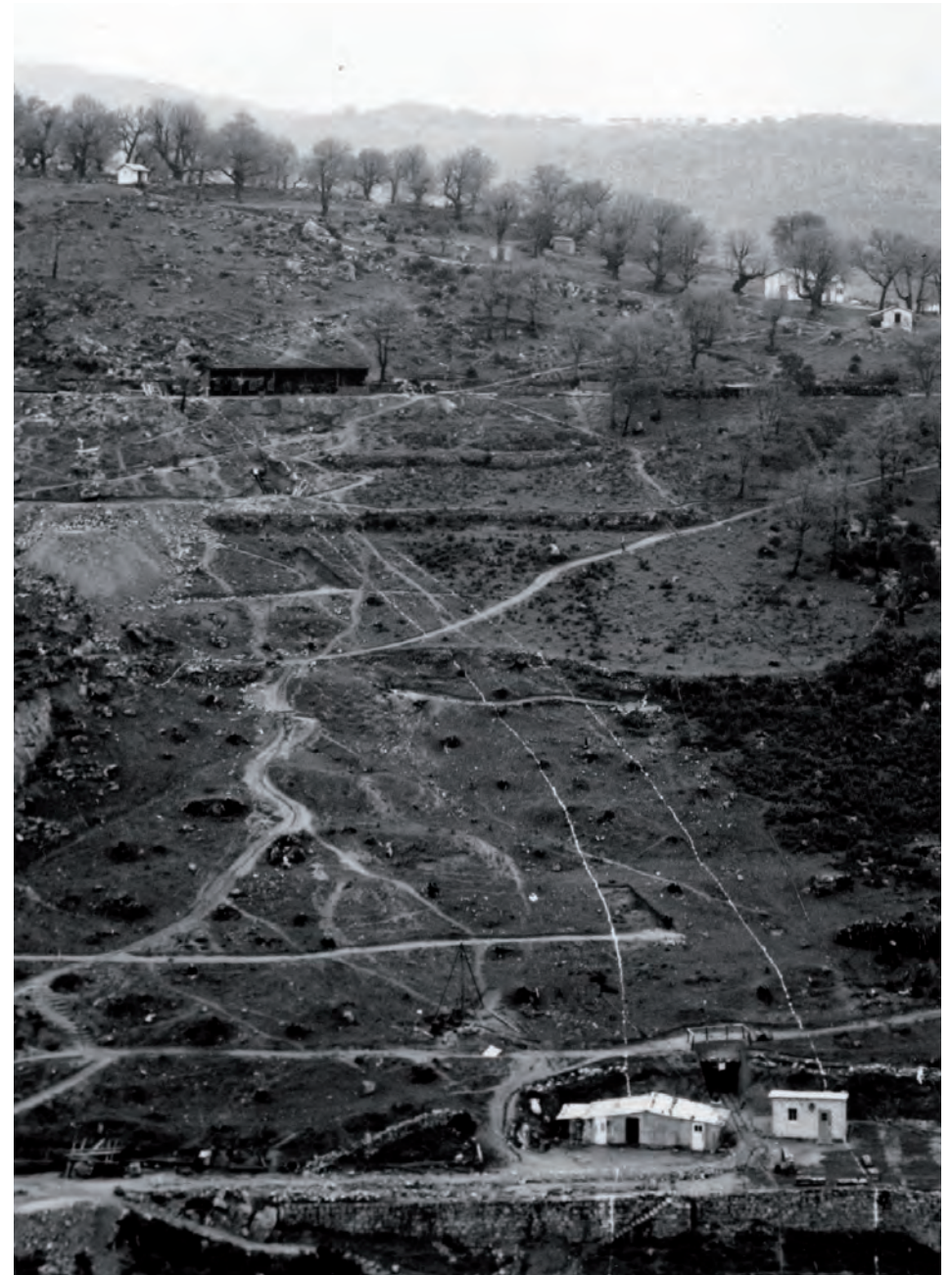
Diga di Santa Chiara sul Tirso – Sardegna; terminata nel 1924 su progetto dell'Ing. Kambo, è una diga a gravità alleggerita in speroni di muratura di pietrame e voltine in cls armato; è alta 63,40m e con una capacità di invaso di 403 Mmc; questa è la prima diga in Sardegna finalizzata alla fornitura di acqua potabile/irrigua e alla produzione di energia elettrica (immagine degli anni '20)

Traversa Busachi, sorta su progetto dell'ing. Omodeo nel 1925, è situata pochi km a valle della Santa Chiara ne condivide le finalità; è una diga a gravità ordinaria in muratura di pietrame alta 26m, per una capacità di invaso di 1,9 Mmc; oggi è completamente sommersa dalle acque del nuovo invaso sotteso più a valle dalla recente diga Cantoniera. (Immagine del 1996)

La diga Santa Chiara come si presenta oggi, semi-sommersa dalle acque (immagine del 2006). Per consentire il passaggio dell'acqua attraverso le sue strutture si è proceduto alla demolizione tramite filo diamantato di alcune porzioni di volte alla sua base ;

La diga Cantoniera, terminata nel 1996 è una diga a gravità alleggerita con vani interni, alta 93.25m per una capacità di invaso di 748 Mmc; gestita dall'ENEL, essa riprende le funzioni del precedente sbarramento.





2 UN FILONE DI RICERCA

E' necessario assumere un nuovo punto di vista nel lavoro di studio e ricerca proprio dell'ingegneria idraulica e strutturale specificamente dedicato alle grandi infrastrutture per il governo delle acque e in particolare delle loro manifestazioni più evidenti e simboliche quali sono le dighe di ritenuta. Nel descrivere e praticare una metodologia di lavoro adatta verranno utilizzate, in corpi teorici ovviamente ridotti, una serie di questioni proprie della disciplina ingegneristica al fine di esplicitare l'argomento e descriverne al meglio le implicazioni costruttive, tecnologiche e formali. Tali argomentazioni verranno poi rilette attraverso le lenti disciplinari dell'architettura secondo i due focus della conservazione e ri-uso di un oggetto ora inteso come bene culturale in forza sia della fascinazione tecnologica che strutture così imponenti possiedono, che del valore del rapporto paesaggistico instaurato col territorio e della relazione con l'equilibrio antropologico delle comunità che su questo insistono.

Questi valori sono da intendere come dinamici non solo perché legati alla soggettività del giudizio ed allo scorrere della storia degli uomini ma perché dinamico ed "inquieto" è il sistema diga che li genera.

Un muro arcuato in calcestruzzo alto 120 metri e largo 316 al coronamento (dimensioni della diga di Nuraghe Arrubiu sul Flumendosa in Sardegna) garantisce una prima impressione di estrema solidità e permanenza nel tempo; il lago da esso sotteso, con i suo 20km di sviluppo per 260 milioni di mc, offre anch'esso una immagine di immutabilità.

Ma se riflettiamo che lo stesso immutabile specchio d'acqua sia generato da uno sbarramento che ha già superato ogni previsione di vita utile immediatamente ci viene restituita la realtà intima dell'oggetto che ne rivela invece la fragilità materiale e sistemica

La metafora del colosso con i piedi di argilla non è certamente la più consona a rappresentare la realtà degli attuali invasi artificiali, ma si avvicina non poco alla rappresentazione di un sistema dinamico e inquieto che deve al fattore temporale una componente fondamentale della sua instabilità.

Dunque la lettura completa e consapevole di questo sistema complesso ed "inquieto" offre una serie di questioni aperte che contribuiscono a perimetrare un filone di ricerca finora poco esplorato: l'architettura dei sistemi di governo delle acque.

Punto di partenza della ricerca deve essere la descrizione del contesto storico nel quale prende corpo la politica energetica in Italia e alla sua principale fonte di energia motrice: l'acqua immagazzinata dalle primissime dighe costruite a supporto di una evoluzione industriale che, abbandonato il vapore, evolveva verso le nuove possibilità offerte dall'elettricità. A questa vicenda si intreccia la capacità di cogliere opportunità di sfruttare l'introduzione delle nuove tecnologie anche al fine di meglio infrastrutturare il territorio italiano, in particolar modo quello meridionale, grazie ad una intensa attività di bonifiche, specie in Sardegna, volte a riconvertire all'agricoltura ampi settori strappati alle paludi. In questo senso la costruzione dei primi invasi artificiali è stato coerente con la duplice necessità di offrire acqua per usi civili (slegata dalle evoluzioni stagionali) con una costante produzione di energia motrice.

Lo sfruttamento delle grandi infrastrutture di contenimento è la storia dell'evoluzione ingegneristica di queste strutture: una storia la cui complessità deriva dai molteplici rimandi ad altre discipline non potendo ascrivere queste costruzioni ad una specifica figura o ad una materia di studio codificata. Nell'assenza di una Ingegneria delle Dighe sono derivate strategie progettuali molteplici e reciprocamente condizionate da discipline tra loro eterogenee la cui complessità si

nella pagina precedente
 diga di Gusana sul Taloro: tracciamento in gesso del profilo sulla sponda destra e primi scavi di sbancamento (1959-1960) (A.OMOD, P.TMM)
 a destra
 diga ad arco-gravità; particolare dell'attacco tramite pulvino alla sponda (A.OMOD)

rileva in ogni singolo manufatto, o sistema considerandolo nel suo complesso, differente dagli altri per materiali, storia geologica dei terreni, orografie, caratteristiche climatiche ed altro ancora: di fatto ogni diga è in grado di raccontare una storia esaustiva e particolare, difficilmente oggettivabile al fine di perfezionare una conoscenza generale.

Ciò nonostante all'accorta analisi storica e tecnica è possibile riconoscere un filo sottile ma costante che collega il lavoro di progettisti, geologi e, in maniera ancora più evidente, le strategie industriali delle aziende produttrici tanto da poter delineare distintamente una Storia dell'Ingegneria Idroelettrica a partire dalle origini fino alla nazionalizzazione dell'industria elettrica avvenuta tra il 1962 e il 1963.

Una volta delineato il quadro storico e la sua evoluzione, appare centrale il tema dell'invecchiamento di infrastrutture chiamate, a rispondere nel tempo alle medesime sollecitazioni strutturali e alle medesime funzioni. A tali considerazioni è opportuno premettere ancora che una diga di ritenuta non è un manufatto isolato, ma è parte di un complesso sistema, nel quale le opere dell'uomo si intrecciano con quelle della natura.

Questo sistema è composto di sottosistemi naturali (bacino, terreni, versanti, sponde, alveo, territorio) ed artificiali (diga, serbatoio, scarichi, allacciamenti, derivazione, utilizzazione, restituzione, interconnessioni); si estende dall'atmosfera, che fornisce la risorsa, alle case, ai campi ed agli impianti industriali, che ne traggono beneficio; comprende il bacino imbrifero a monte e le opere, con le quali l'acqua viene in parte restituita al fiume.

Nel sistema l'invecchiamento dei manufatti, i franamenti dei terreni, l'interramento del serbatoio, l'antropizzazione dell'alveo a valle evolvono in misura e con velocità diverse come la sedimentazione, che ha per effetto un graduale accrescimento del deposito solido nel serbatoio; la consolidazione del rilevato e dei terreni di fondazione che governa

la sicurezza del manufatto; la corrosione dei ferri, che contribuisce all'invecchiamento; il decorso degli spostamenti di un versante lambito dall'invaso; e tanti altri spunti di riflessione tecnica descrivono la complessità del sistema.

Questi fenomeni si presentano di rado isolati; al contrario, essi si combinano e interagiscono in misura complicata. L'invecchiamento è il risultato di una famiglia di fenomeni elementari che hanno origine in momenti diversi della vita del manufatto ed evolvono interagendo in archi di tempo su scale differenti; fra questi, le filtrazioni e le fessurazioni. L'ottimale esercizio dell'impianto, in un quadro di fenomeni che evolvono con differenti velocità, richiede la considerazione di una varietà di fattori definiti in differenti aree di conoscenza, da cui consegue la difficile ricognizione e la rimozione del fattore critico, che temporaneamente governa il comportamento del sistema.

Fenomeni, come quelli citati, sono ampiamente studiati con metodi, che si ispirano ai principi della Meccanica Applicata e della Fisica Matematica, ma in discipline diverse e con risultati non sempre confrontabili.

Al complicato quadro dei fenomeni fisici si sovrappone un articolato sistema di leggi e disposizioni amministrative, che nel tempo hanno subito evoluzioni non sempre nel senso appropriato ad una responsabile guida di un processo di invecchiamento, che miri alla salvaguardia della risorsa ed al rispetto della sicurezza.

Si analizzeranno quindi le implicazioni legate al termine anglosassone della "Decommissioning", ovvero dismissione, nella sua accezione di significato legato al cambio di destinazione d'uso, ovvero alla impossibilità per una diga di rispondere con efficacia (tecnica, gestionale ed economica) e con un margine di sicurezza accettabile, alla missione per cui venne costruita (idroelettrica, civile o laminazione e controllo delle piene). Si vedrà come tali processi siano eventi ancora troppo sporadici affinché si possa fare riferi-



mento ad una letteratura e ad una esperienza universalmente condivisa, a maggior ragione in riferimento al fatto che le esperienze finora maturate riguardano piccoli invasi creati da dighe di ridotte dimensioni se confrontate con la media delle grandi dighe presenti tuttora in Italia.

Un passo successivo sarà la riappropriazione del valore del manufatto secondo un punto di vista architettonico; attraverso l'analisi delle forme (su un piano prettamente estetico) coinvolgerà rimandi culturali più universali per meglio comprendere le radici della fascinazione estetica operata da oggetti progettati su leggi fisiche e attraverso procedure condivise nella letteratura corrente pur essendo, ripeto, ogni invaso un caso unico a se stante.

Parallelamente all'estetica della grande infrastruttura in calcestruzzo, verrà inquadrato il tema della sua collocazione all'interno di un contesto paesaggistico fortemente modificato dall'innalzarsi delle acque che, come una sorta di superficie equipotenziale ingloba e cancella le preesistenze, siano esse strade o case, piuttosto che muri a secco di terreni o sentieri della transumanza, disegnando, al contempo, la linea frastagliata del nuovo litorale montano.

Il sistema del Taloro offrirà un esempio concreto di storia dell'ingegneria legata al caso singolo. Le tre dighe poste a sbarramento del torrente Taloro, affluente del fiume Tirso, completano un sistema ipotizzato già nel 1929 al fine di implementare la produzione di energia elettrica della già esistente diga di Santa Chiara elevando il "salto" a quota 642 m. s.l.m. con un sistema di invasi e condotte in pressione.

L'opera maggiore di questo sistema è la diga di Gusana, la prima a doppio arco fortemente asimmetrica costruita in Italia e, forse, nel mondo fino al 1963, giacché, come scrive lo stesso Aldo Maffei (l'ingegnere a capo dell'ufficio tecnico) per la progettazione dell'opera ci si dovette affidare alla creazione di 14 modelli sperimentali, alcuni testati a rottura nei laboratori dell'ISMES di Bergamo allora diretta dal

Prof. Oberti.

Una progettazione raffinata che produce infine un oggetto la cui linea asciutta e pulita dell'arco sotteso tra i due pendii unita alla discreta linea d'ombra del coronamento, lo fanno assomigliare più ad un oggetto di design che ad una infrastruttura idraulica. Oggetto architettonico e culturale dunque il cui valore non sta solo nel design ma anche nell'indiscutibile fatto che la sua costruzione segna, in occidente e in Italia in particolare, la prima forma compiuta di rilancio dell'industria dei consumi di cui l'energia idroelettrica è stata identificata come il volano iniziale.

Si è delineato lo snodarsi metodologico di un complesso e strutturato sistema di aperture interdisciplinari a riferimenti tra loro apparentemente disgiunti che consente di acquisire una consapevolezza più ampia, sebbene apparentemente eterogenea, delle questioni aperte dal sistema dinamico che gravita attorno all'oggetto diga.

La questione centrale è la creazione di una Storia della Ingegneria delle Dighe, elevata a settore disciplinare autonomo, al fine di acquisire un set di informazioni storiche e culturali, ma anche tecniche e metodologiche, che possano guidare le scelte dei futuri tecnici o architetti chiamati a intervenire sulle opere per meglio conservare il presente sia come bene culturale, sia come risorsa strategica per l'intero territorio.

E' sul territorio che il sistema diga impone la modifica estesa del paesaggio, le sue trasformazioni al variare repentino dei livelli degli invasi (e i alcuni casi alla loro completa scomparsa nell'arco di una o due generazioni), alle modifiche delle economie locali legate al lavoro della terra, alle possibilità offerte dalle nuove condizioni.

Se tutto questo è vero, provato e descrivibile, allora è possibile dare una risposta, seppur ancora imperfetta, alle domande: la diga è architettura? Questi oggetti hanno la forza per riuscire a storicizzarsi elevandosi al rango di eventi culturali?

F.Murgia, L'importanza del Bacino del Taloro per l'avvenire economico della Sardegna, discorso pronunciato alla assemblea costituente nella seduta del 6 novembre 1947 – Tipografia Camera dei Deputati

a destra
diga di Gusana sul Taloro: coronamento, ottobre 1961
(A.OMOD, P.TMM)





Filippo Figari: il Tirso e la Grande Diga (allegoria), Cagliari, Sala della Società Tirso (SAR.D.L.)

a destra

Giulio Cisari: le opere del Fascismo,
Diga di Santa Chiara d'Ula
(EMP - vol. LXIII)

3. CONTESTO STORICO DELLE ORIGINI DEL GOVERNO DELLE ACQUE E IL LORO SFRUTTAMENTO IN SARDEGNA

La costruzione di sbarramenti per la creazione di invasi acquiferi artificiali ha avuto in Sardegna, fin dal principio, una doppia chiave di lettura riferita a questioni drammaticamente ancora attuali per l'Isola: la lotta alla siccità la ricerca di un conveniente apporto energetico all'industrializzazione dell'isola.

Il primo ordine di problemi si inquadra nella scarsa attitudine del territorio sardo a trattenere le acque piovane nei periodi estivi e più in generale per la frequenza dei periodi di scarse precipitazioni. L'Ing. Angelo Omodeo, figura di spicco nazionale e primo protagonista dell'avvio della produzione idroelettrica in Sardegna, pubblica nel 1923 un fascicolo allegato alla rivista *Problemi Italiani* (anno II, fasc.4°) dal titolo: "Nuovi orizzonti della Idraulica Italiana – Sardegna"

in cui fornisce una prima immagine critica della questione dell'uso delle acque parametrizzata sui dati geologici e morfologici, nonché abitativi ed economici dell'isola; da quelle pagine emerge una condizione di forte ritardo circa i temi di un uso "industrializzato" del suolo legato alla mancanza di strutture strategiche.

Non è certamente un caso che le prime dighe costruite in Sardegna siano state concepite per uso civile ed in prossimità dei due più grandi centri dell'isola: la diga di Corongiu I (1866) costruita in territorio di Sinnai per l'approvvigionamento idrico di Cagliari e la diga di Bunnari Bassa (1879) in territorio di Sassari (a lungo di proprietà delle rispettive municipalità fino alla istituzione, con Legge Regionale 6/12/2006 n° 19, dell'ENAS, Ente Acque della Sardegna).

La seconda questione, quella idroelettrica, giungerà in Sardegna in forte ritardo rispetto alle repentine evoluzioni del

nord Italia: la prima centrale idroelettrica in Italia, quella di Acquoria sulle cascate dell'Aniene, venne installata a Tivoli nel 1892, ed è stata la prima al mondo ad utilizzare la corrente continua (fino a 185kw nel 1887) e successivamente la corrente alternata consentendo il primo trasporto industriale di energia elettrica per diverse decine di Km fino a Roma (corrente monofase generata e trasmessa a 5000v, potenza installata 2100hp). Seguirono a questa i grandi impianti del nord Italia a partire dalla centrale di Paderno sull'Adda (Milano) nel 1898, costruita dalla società Edison e quella di Vizzola Ticino della Società Lombarda di Distribuzione di Energia (1900).

Al 1898 esistevano, in Italia, impianti elettrici in 410 comuni su un totale di 8262; di essi 366 hanno una illuminazione stradale elettrica almeno parziale. La distribuzione territoriale degli impianti dà la prevalenza assoluta all'Italia settentrionale, la quale dispone di oltre i due terzi della potenza complessivamente installata, in massima parte in impianti idroelettrici e misti.

Nel 1916 il "decreto Bonomi" rinnovò profondamente la disciplina giuridica dell'utilizzazione delle acque pubbliche rendendo più rapido e facile l'ottenimento delle concessioni al fine di consentire un più intenso e razionale sfruttamento della risorsa idrica nazionale.

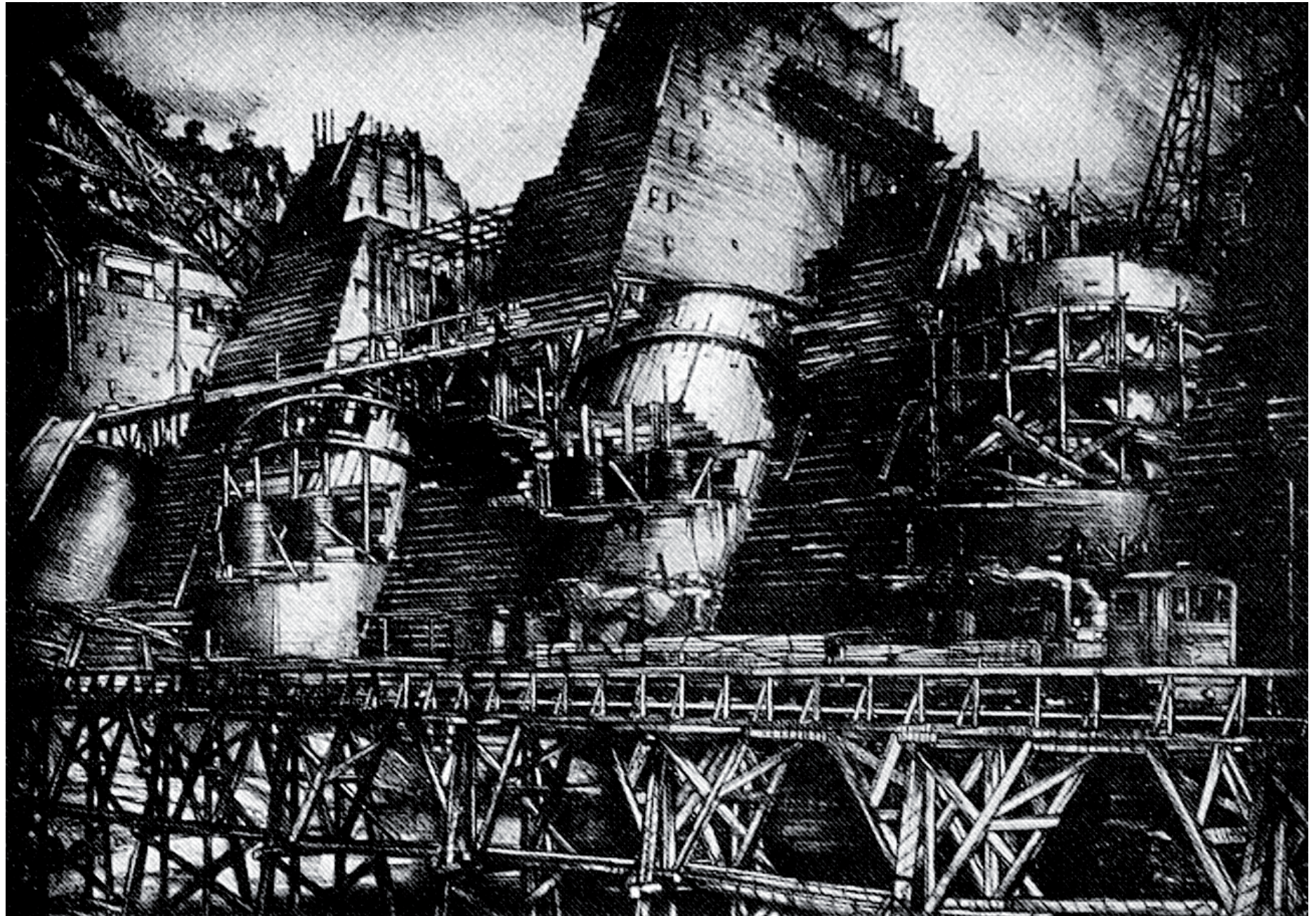
Tale decreto, poi rifiuto in una legge del 1919 e nel testo unico sulle acque e sugli impianti elettrici del 1933, stabilì il passaggio gratuito allo Stato, dopo 60 anni dalla data di concessione, di tutte le opere idrauliche, nonché il diritto di riscatto, dopo lo stesso periodo, degli edifici, macchinari ed altre opere idrauliche.

Nella primissima fase di sviluppo dell'industria elettrica, furono realizzati soprattutto impianti di piccole dimensioni e con pochi addetti, sovente presso piccoli villaggi vicini ai corsi d'acqua. Le prime centrali vere e proprie si diffusero negli ambienti più favorevoli, generalmente nel Nord del

(Nato a Mortara, in provincia di Pavia, Omodeo si era laureato al Politecnico milanese nel 1899. Per la biografia dell'ingegnere cfr. A.F. Soda, "Introduzione. L'ingegnere Omodeo e la storia d'Italia nel Novecento. Per un profilo biografico", in *Angelo Omodeo. Vita, progetti, opere per la modernizzazione* a cura di A.F.Saba, Laterza, 2004

MANETTI, D. (1992): "La legislazione sulle acque pubbliche e sull'industria elettrica", in Mori, G. (a cura di): *Storia dell'industria elettrica in Italia*. 1. Le origini. 1882-1914, Roma-Bari, Editori Laterza, pp. 111-154.

A. Aquarone, *L'Italia giolittiana*. 1896-1915. Le premesse politiche ed economiche, il Mulino, Bologna 1981, p.131.





sopra
Ritratto di Angelo Omodeo, Milano febbraio 1930, autore E.Sommariva (Fondo Sommariva, Milano)

A.Omodeo, *Nuovi Orizzonti dell'Idraulica Italiana*, Problemi Italiani, anno II, fasc.4, 1923

(A. Omodeo, *Le forze idrauliche in Italia*, in *Critica sociale*, n_ 5, 1 marzo 1901, ora in A.F. Saba (a cura di), *Angelo Omodeo. Vita, progetti, opere per la modernizzazione. Una raccolta di scritti*, Roma-Bari, Laterza, 2004, p. 163.)

Congresso degli Ingegneri ed Architetti Italiani, Atti del decimo congresso degli ingegneri ed architetti italiani in Cagliari. Ottobre 1902, Cagliari, Tipo-litografia commerciale, 1905.)

M. L. De Felice in *Dighe della Sardegna*, ed. Ilisso, 2011

Paese, dove la portata dei corsi d'acqua è costante e dove lo sviluppo industriale era già avviato.

Il Sud in relazione allo sviluppo industriale complessivo del Paese oltre all'effettiva situazione di inferiorità strutturale, scontava la difficoltà rappresentata dal dissesto idrogeologico, determinato da secoli di sfruttamento dissennato del patrimonio boschivo. Le zone di montagna erano franose e insidiose: d'inverno l'acqua non era trattenuta dal terreno e precipitava velocemente e pericolosamente a valle, mentre le zone in pianura erano infestate dalla malaria.

Con la legge del 29 marzo 1903 sulla municipalizzazione dei pubblici servizi si dà facoltà ai Comuni di assumere, fra l'altro, la gestione dei servizi di "produzione e distribuzione di forza motrice idraulica ed elettrica" e la costruzione dei relativi impianti. Diversi Comuni, fra i maggiori: Milano, Roma, Torino provvidero rapidamente alla costruzione di centrali, prima termoelettriche e subito dopo anche idroelettriche. Nel 1909 nasce l'PAEM di Milano che costruisce la Centrale di Grosotto entrata in attività nel 1910 e, successivamente, la centrale di Grosio con una linea di trasporto a 220000 V a doppia terna che transita per il passo Mortirolo. Il dibattito tecnico riferito alle grandi prospettive offerte dalla veloce evoluzione della produzione dell'energia elettrica legata al moto dell'acqua, aveva avuto una prima discussione tra gli ingegneri italiani nel loro congresso nazionale di Genova nel 1896. Ne avrebbero dibattuto nuovamente, con ancor maggiore convinzione, nel 1902 nei lavori del congresso celebratosi a Cagliari, in cui sarebbe emersa la figura di Angelo Omodeo, un ingegnere idraulico di grande fama, deciso assertore dell'industria idro-elettrica come principale forza di sviluppo e di progresso per un Paese, povero di prodotti energetici.

Sarebbe partito proprio da quel congresso il convincimento di un gruppo di illuminati tecnici e tecnocrati cagliaritari che l'isola poteva trarre grande giovamento da quegli im-

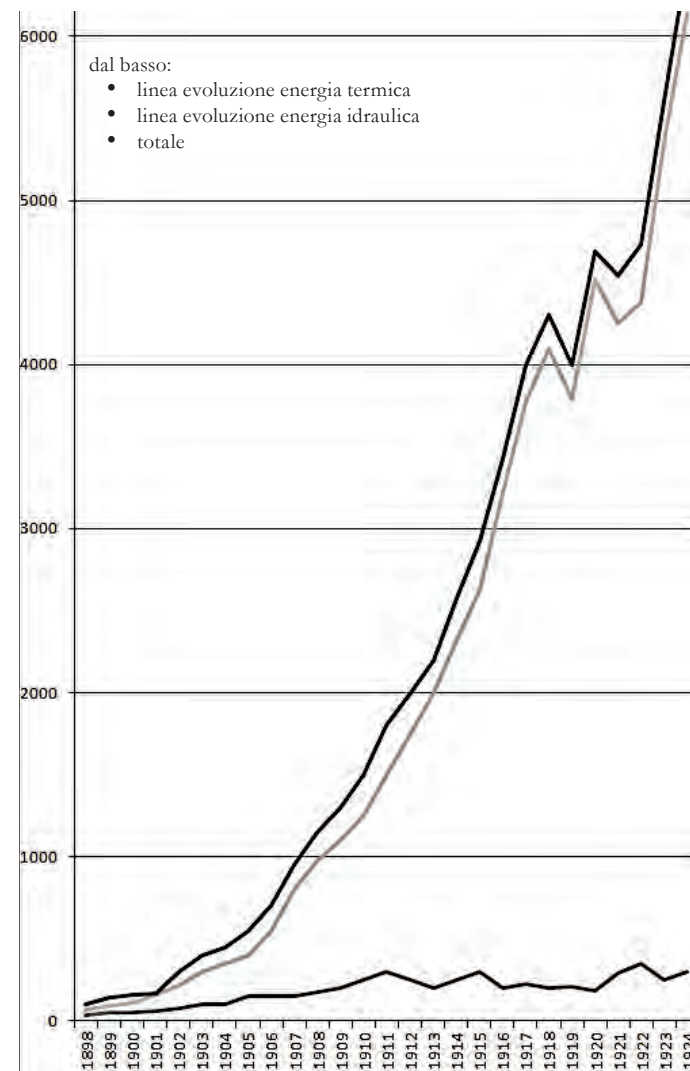
pianti. D'altra parte il governo delle acque fluviali (per l'irregolarità delle piogge) era da tempo un problema importante per il governo della bonifica di molti territori dell'isola. La costruzione di grandi serbatoi artificiali avrebbe permesso, attraverso l'utilizzazione ai fini agricoli e industriali delle acque, di tracciare e percorrere, dopo tanti secoli di arretratezza feudale, quella "via sarda" alla conquista dell'elettricità e del progresso. Raggiungendo così quello status sociale di tipo continentale, che era da sempre la grande aspirazione della gente sarda.

«L'acqua, che spumeggia e canta per le vallate dei nostri monti, sperpera, per la sola delizia di pochi indigeni od esotici alpinisti, corrodendo rocce, rotolando massi, aumentando la propria temperatura, una forza viva immensa; deviata da opportuni canali, lanciata su turbine veloci, essa trasformerebbe da potenziale in attuale la propria energia. Le dinamo azionate dalle motrici suscitano, mercé le variazioni magnetiche, le onde elettriche nell'etere, che trasportano fulminee l'energia via via per lenti fili di rame, fino alle industri città della pianura, spingendo treni e tramvie, animando macchine, distribuendo calore alle industrie elettrotermiche, e accendendo le miriadi di lampade sparse per le case e le vie cittadine».

L'immagine di progresso, capace di trasformare una natura dissipatrice di energie in una vantaggiosa e intensa azione economica, affiora prepotente dalle pagine di Angelo Omodeo. L'ingegnere di Mortara pubblicava il saggio su *Le forze idrauliche in Italia* nel 1901, nella *Critica sociale*, il giornale di Filippo Turati. Il contributo intendeva fare il punto sulle possibilità di espansione dell'energia elettrica in Italia, ma anche incalzare l'attenzione e l'intervento dei socialisti sulle questioni "tecniche", premessa, per Omodeo, di ogni sviluppo sociale, economico e politico. Egli sollecitava la modifica della legislazione sulle derivazioni delle acque pubbliche, risalente al 1884: ne reclamavano l'esigenza i progressi dell'elettrotecnica, delle trasmissioni elettriche dell'energia a distanza, ma anche gli appetiti delle imprese interessate

anno	idraulica	termica	totale
1898	66 MKw/h	34	100
1899	90	50	140
1900	110	50	160
1901	160	60	170
1902	220	80	300
1903	300	100	400
1904	350	100	450
1905	400	150	550
1906	550	150	700
1907	800	150	950
1908	975	175	1150
1909	1100	200	1300
1910	1250	250	1500
1911	1500	300	1800
1912	1750	250	2000
1913	2000	200	2200
1914	2325	250	2575
1915	2625	300	2925
1916	3225	200	3425
1917	3775	225	4000
1918	4100	200	4300
1919	3790	210	4000
1920	4520	180	4690
1921	4250	290	4540
1922	4380	350	4730
1923	5360	250	5610
1924	6140	300	6450

evoluzione della produzione in Italia di energia elettrica in milioni di Kw/h; alla data di entrata in esercizio della diga di Santa Chiara in Sardegna la produzione nazionale era quasi esclusivamente di provenienza idroelettrica (fonte ENEL)



(P. Fadda, *Alterne vicende nella modernizzazione nell'isola*, articolo pubblicato sul numero 1/2001 di *Sardegna Economica*)

L. Cafagna, *La formazione di una base industriale fra il 1896 e il 1914*, in A. Carracciolo, *La formazione dell'Italia industriale*, Laterza, Bari 1963, p. 152.

L'economia italiana tra guerra e dopoguerra a cura di L. De Rosa, Laterza, 1993

la SES, Società Elettrica Sarda viene fondata a Livorno il 4 novembre 1911 con un capitale sociale di lire 600.000 divise in seimila azioni con Alberto Lodo nella figura di amministratore delegato. Nel 1913 compariva in scena la Società Imprese Idrauliche ed Elettriche del Tirso, sempre con il supporto della Banca Commerciale Italiana e la Bastogi; l'azienda aveva un capitale iniziale di 3,5 milioni di lire; scopo della nascente impresa era l'esplicita costruzione di bacini artificiali per la produzione di energia idroelettrica (M.Cadoni, *La Società elettrica sarda dalla sua fondazione alla crisi degli anni Trenta*, Laterza)

alle speculazioni offerte dalla produzione e dalla vendita del prezioso "carbone bianco".

Lo sviluppo dell'industria elettrica in Italia, a differenza di altri Paesi come la Gran Bretagna, ove la fonte termica era predominante, si caratterizzò principalmente per l'uso delle fonti idriche, alleggerendo la dipendenza dai Paesi esportatori di carbone. Molti autori sottolineano l'importanza anche psicologica che rivestì lo sviluppo di quest'industria, grazie alla quale fu contrastata e indebolita "la convinzione, ancora abbastanza radicata, di una impossibilità per l'Italia di darsi un avvenire industriale per deficienza di base energetica: lo slogan allora diffuso di carbone bianco esprimeva questo stato d'animo"

L'occasione si sarebbe trovata qualche anno dopo (1908), allorché proprio l'ingegner Omodeo avrebbe messo a punto, in sintonia con quell'élite urbana cagliaritano insediata attorno alla locale Camera di Commercio, un importante programma di opere pubbliche incentrato sulla realizzazione di diversi bacini artificiali nei principali fiumi. Egli infatti collegava il riscatto socioeconomico della Sardegna ad una trasformazione irrigua delle campagne ed alla costruzione di centrali idroelettriche. La disponibilità di elettricità, in quantità ed a buon mercato, avrebbe poi offerto grandi possibilità di sviluppo al settore della chimica industriale (per produrre concimi per l'agricoltura irrigua) e della metallurgia (per trasformare in metalli i minerali piombozinciferi dell'Iglesiente). A dare concretezza operativa a quel programma sarebbe intervenuta la legislazione a forte valenza meridionalista, voluta nel 1907 da Francesco Saverio Nitti, che affidava la realizzazione delle grandi opere elettro-irrigue nelle regioni meridionali all'intervento del capitalismo privato. Anche la "questione sarda" avrebbe quindi potuto risolversi in quello che lo statista lucano definiva un progetto di "democrazia industriale", fondato sull'alleanza tra gli industriali elettrici del Nord, tecnocrati riformatori e politici

illuminati del Sud.

L'occasione di matrimonio tra capitali privati venne colta dalla Banca Commerciale Italiana che, nel 1906 aprirà la prima sede filiale a Cagliari sotto la direzione dell'ing. Giulio Dolcetta e dalla società Bastogi, nome col quale veniva identificata in borsa la Società Italiana per le strade ferrate meridionali, tramite la realizzazione di un vaso artificiale sul fiume Tirso. La prima era allora diretta (e fondata) da un tedesco di Danzica, Otto Joel, stabilitosi in Italia nel 1887, convinto assertore della necessità di intervento dei capitali privati al fine di colmare i ritardi nel processo di industrializzazione, su modello tedesco, specie in un paese come il nostro in cui gran parte della borghesia non era ancora propensa a investire il proprio denaro in titoli azionari e imprese industriali.

L'isola era fortemente in ritardo sui temi legati all'uso delle risorse elettriche e l'illuminazione pubblica con lampade ad incandescenza a Cagliari verrà installata solo nell'aprile del 1914, trent'anni circa dopo Milano. La prima centrale termoelettrica da 1.715 kW era stata costruita in pieno centro, proprio di fronte alla Darsena, al termine della via Roma, dove oggi sorge l'attuale palazzo dell'ENEL. Ma già dal 1888 i cagliaritano avevano potuto apprezzare il miracolo della luce elettrica per via delle 200 lampadine Edison, alimentate da una piccola dinamo, installate per dare luce al teatro Civico.

Nel luglio del 1913 una nuova legge "speciale" aveva autorizzato il governo a concedere ad un gruppo privato per la durata di sei decenni la costruzione e l'esercizio di serbatoi artificiali sul Tirso (Ula Tirso e Busachi), destinati a fornire acqua per l'irrigazione e produrre energia elettrica. L'opera sarebbe stata realizzata con una procedura - allora avveniristica - di project financing (al costruttore l'opera sarebbe stata data in concessione sessantennale, con in più l'esenzione decennale dai carichi tributari oltre a sovvenzioni annue ed

a contributi a fondo perduto); nacque così la Società Imprese Idrauliche ed Elettriche del Tirso che 10 anni dopo diverrà titolare del più grande bacino acquifero artificiale d'Europa ed esempio, a livello mondiale di una metodo di intervento complesso sul territorio capace di coniugare lo sfruttamento industriale delle risorse con la bonifica del territorio grazie alle acque dell'invaso. Nel 1915 fu pronto il progetto esecutivo dell'impianto a firma di Omodeo, nella veste, inoltre, di consulente esterno alla neonata azienda.

Alle capacità della tecnica ingegneristica per la costruzione di un'opera così importante, si sarebbe dovuta aggiungere una altrettanto notevole disponibilità finanziaria, capace di fornire gli oltre 350 milioni di lire occorrenti (dato che i contributi pubblici, pari a circa 145 milioni di lire, sarebbero stati erogati in diverse annualità), circa 1,5 miliardi di euro attuali.

Il progetto iniziale subì diverse modifiche fino al 1918 quando presero il via i lavori di costruzione con un nuovo progetto a firma dell'Ing. Kambo che prevedeva una rivoluzionaria struttura in speroni e voltine, volta a minimizzare l'impiego di materiale a scapito di un elevato fabbisogno di manodopera, a quel tempo a buon mercato.

La legislazione vigente a suo tempo, consentendo l'ingresso del capitale privato nella costruzione e soprattutto nella gestione poi della risorsa idroelettrica, portò, dagli albori e fino alla nazionalizzazione dell'energia avvenuta nel 1963, alla concentrazione delle ricchezze provenienti dalla gestione del patrimonio energetico, in grandi monopoli. A parte le aziende municipalizzate e alcuni impianti gestiti da auto produttori, il territorio nazionale venne spartito fra quattro grandi società che controllavano nel 1941 e per il 95%, una galassia di 200 società private: La Edison, leader del settore, che controllava le imprese operanti in Piemonte, Lombardia, Liguria, Emilia e Trentino; la Sade (Società adriatica di elettricità), la cui influenza si concentrava prevalentemente



1926 - diga di Muzzone sul Coghinas, Oschiri (SS), progetto preliminare di A.Omodeo e esecutivo a cura di L.Kambo (A.OMOD)

nell'area veneto-emiliana; il Gruppo La Centrale, società finanziaria che impiegava più della metà del suo capitale in imprese elettriche operanti per la maggioranza in Toscana e Lazio; infine il Gruppo Strade Ferrate Meridionali, holding composta da tre società, tra cui la Sip e la Sme. Ognuna di queste società si configurava come un gruppo multiplo, che controllava a sua volta un complesso di aziende elettriche minori o di diversa natura. La struttura industriale risultava così estremamente complessa, ma il suo controllo era concentrato nelle mani di circoli assai ristretti della finanza e dell'industria.

Questa concentrazione finanziaria era dovuta non solo agli ingenti investimenti necessari, ma anche alle esigenze tecniche legate alla distribuzione dell'energia: lo sviluppo di questo settore fu determinato innanzitutto dalla possibilità di trasportare l'energia a grandi distanze, per cui era più economico che i produttori di energia si suddividessero le zone di influenza, al fine di garantire la razionalizzazione delle reti di distribuzione.

In Sardegna si riscontrano alla data di entrata in vigore della legge sulla nazionalizzazione dell'energia, circa 33 imprese produttrici tra cui: la Società Imprese Idrauliche ed Elettriche del Tirso, la Società Elettrica Sarda, la Società Idroelettrica Alto Flumendosa, la Società Elettrica del Taloro, più le Imprese Elettriche dei comuni di Tiana, Pattada, Ula Tirso, Burcei, Mogorella, S.Teodoro, Tadasuni, Aggius, Nuoro, Osilo; compaiono in lista numerose aziende di privati tra cui la Ditta Francesco Guiso Gallisai di Nuoro.

Il 4 novembre 1911 si costituiva la Società elettrica sarda S.E.S. sostenuta dalla B.C.I. e dalla Società strade ferrate meridionali. Scopo principale: esercizio di centrali generatrici d'energia elettrica da erogarsi come forza motrice per trazione ed altri usi industriali, ferrovie e tranvie. Determinante il concorso di Angelo Omodeo il quale, su incarico della B.C.I. e della S.E.S., presenterà progetti ai fini della

regolamentazione delle acque del Tirso con la costruzione di una diga che permetterà l'utilizzazione della corrente elettrica (carbone bianco) e l'irrigazione del Campidano, fra cui il Terralbese affacciato sul Golfo d'Oristano. Nel 1962, in seguito alla nazionalizzazione dell'energia elettrica, la società fu assorbita dall'ENEL (suisa.archivi.beniculturali.it) le cronache dell'epoca raccontano che, nel mentre si terminava la diga di Santa Chiara, emerse con forza la necessità di implementare la dotazione idrica per uso irriguo in quanto la compresenza degli usi energetici e civili del nascente bacino, in riferimento anche alle giovani esperienze nazionali, avrebbe favorito il primo a scapito della vocazione irrigua della riserva idrica, specie nei periodi estivi o di siccità dove la domanda crescente di energia elettrica fornita continuamente avrebbe intaccato i livelli dell'invaso rendendolo incapace di offrire la propria risorsa per altri fini; perciò nel 1918 venne avanzata, dalla holding Comit-Bastogi, la domanda di concessione per la costruzione della diga di Muzzone, sul Coghinas in comune di Oschiri. Dopo un lungo iter amministrativo, al quale intervenne lo stesso Mussolini, i lavori partirono nel 1923 per terminare nel 1925 su progetto di massima di Omodeo e l'esecutivo di Luigi Kambo, con funzioni irrigui, potabili, idroelettrici e industriali, funzioni che detiene a tutt'oggi. Nello stesso anno venne terminata anche la più piccola diga di Busachi, a valle della diga di Santa Chiara, oggi dismessa, per scopi irrigui e produzione di energia elettrica (progetto di Omodeo).

Di seguito, a parte due episodi di piccole dighe per usi potabili a La Maddalena e Sassari (Bunnari alta) datate rispettivamente 1935 e 1932, ed una falsa partenza nel 1926 con l'innovativa diga a speroni e vani interni di Bau Muggeris (terminata solo nel 1949 su progetto esecutivo dell'ing. Claudio Marcello), occorrerà aspettare il dopoguerra per vedere terminata la prima diga ad uso idroelettrico della nuova Repubblica: lo sbarramento di Bau Mela in territorio di Villa-

R. Coriasso, Il sindacato elettrico della Cgil 1945-1970, Ediesse, Roma 1985, p. 109.

L'invaso del Coghinas aveva una capacità di 250 milioni di Mc con una potenzialità produttiva di 90 mKw/anno; esso fu collegato all'invaso del Tirso per risolvere le questioni ancora irrisolte circa l'irrigazione del Campidano di Cagliari e di Oristano.

elenco delle imprese considerate a bilancio al 31 dicembre 1965 – Atti Parlamentari della Camera dei Deputati, IV legislatura

grande Strisaili terminata nel 1948 per la neonata Società Idroelettrica dell'Alto Flumendosa (poi incorporata nella Società Elettrica Sarda). Quest'ultima è anche, di fatto, la prima diga per usi idroelettrici non progettata da Angelo Omodeo, scomparso nel 1941; ad occuparsi della progettazione fu Velio Princivalle, ingegnere romano già attivo nell'ambito delle bonifiche dell'oristanese. Di seguito inizierà la nuova stagione delle grandi dighe sotto l'impulso delle risorse della Cassa del Mezzogiorno e del nuovo Ente Autonomo del Flumendosa, sorto nel 1946 e chiamato a mettere in pratica lo studio di massima per l'utilizzazione dei deflussi del medio Flumendosa, per l'irrigazione del Campidano di Cagliari, per usi potabili e per la produzione dell'energia elettrica elaborato dal Ministero dei Lavori Pubblici.

L'attività dell'EAF - dispiegata per sessant'anni, prima che a esso subentrasse l'ERIS (Ente Risorse Idriche della Sardegna) poi ENAS (Ente Acque della Sardegna), con la legge regionale 6 dicembre 2006 n. 19 - si sarebbe sviluppata solo in parte nel solco dei programmi di Omodeo, modificati dalla politica economica nazionale e regionale, e aggiornati dall'aumentata domanda idrica, seguita all'incremento demografico, alla diffusione di colture irrigue, industriali e specializzate, alla nascita dei grandi complessi industriali e allo sviluppo dell'urbanizzazione. Nel rispetto dei compiti istituzionali e delle indicazioni della politica nazionale - per la quale il Mezzogiorno tornava ad associare il proprio sviluppo in primo luogo all'agricoltura, di contro a quanto si era ottenuto sul piano industriale con l'attuazione, seppure parziale, del progetto elettro-irriguo -, l'EAF operò per rispondere alle crescenti esigenze agricole e civili. La realizzazione degli impianti veniva di seguito a una pluridecennale attività tecnico-scientifica, che, a partire dall'analisi topografica e agro-pedologica del territorio, dallo studio della trasformazione irrigua del Campidano di Cagliari, s'indirizzava verso la razionale utilizzazione delle acque del Flumen-

dosa. Nel 1958 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici approvava il Piano di massima per la razionale utilizzazione a scopo irriguo del bacino idrografico del medio Flumendosa, detto anche Piano generale di irrigazione (redatto nel 1957), al quale seguiva nel 1969 un nuovo Piano regolatore generale per soddisfare la richiesta globale d'acqua del Campidano di Cagliari, che, elaborato dall'EAF, sarebbe stato alla base della progettazione successiva.

Nel secondo Novecento i problemi della modernizzazione dell'Isola, che per Omodeo si sarebbero avviati a soluzione attraverso la tutela dei boschi, la «creazione» dei fiumi e la più generale sistemazione dei bacini idrografici, vennero affrontati da diverse prospettive e attraverso l'attività di enti che posero fine all'azione unitaria, la sola in grado di conseguire gli obiettivi preposti, secondo l'ingegnere. La gestione della produzione e distribuzione elettrica venne monopolizzata dalla SES fino al 1963, quando con la nazionalizzazione a essa subentrò l'ENEL.

M. L. De Felice in *Dighe della Sardegna*, ed. Ilisso, 2011

Ente Autonomo del Flumendosa, "La valle del Campidano. Gli obiettivi previsti nel piano di irrigazione dell'Ente Flumendosa", in *Sardegna fieristica*, a. 1969, n. 8.

Elenco e caratteristiche principali delle dighe della Sardegna ordinate per numero R.I.D. e ricadenti sotto la competenza del Registro Italiano Dighe (aggiornamento luglio 2006)

Prov	Comune	N° R.I.D	Sub	N° iscrizione R.I.D	Inizio costruzione	Fine costruzione	Ente concessionario e/o gestore	Denominazione della diga	altra denominazione	Corso d'acqua	Tipo di diga (rif. D.M.LL.PP. 24/3/82)	Altezza (L584/94) [m]	Quota coronamento [m s.l.m.]	Volume di invaso (L584/94) [M.m.c.]
CA	Sinnai	87				1866	Comune di Cagliari	Corongiu II		Rio Bau Filizi - Rio Corre Cerbu	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Aa1)			
CA	Sinnai	87	A	467	1913	1915	Comune di Cagliari	Corongiu II		Rio Bau Filizi - Rio Corre Cerbu	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Aa1)	19,50	156,50	0,38
CA	Sinnai	87	B	468	1931	1937	Comune di Cagliari	Corongiu III		Rio Bau Filizi	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Aa1)	41,00	203,00	4,30
SS	Sassari-Cullo	88		471	1874	1879	Comune di Sassari	Bunnari Bassa		Rio Bunnari	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Ac)	27,50	287,50	0,46
OR	Ula Tirso	89			1917	1924	Dichiarata "fuori esercizio definitivo" (nota n. SD1/1806/LICCE del 12.03.01)	Santa Chiara		Fiume Tirso	A volte in calcestruzzo armato sostenute da contrafforti in muratura di pietrame (Ac)	63,40	112,00	402,66 prima dell'apertura dei varchi
OR	Busachi	90			1923	1925	Dichiarata "fuori esercizio definitivo" (nota n. SDI/2919A.ICCE del 4.05.00)	Busachi		Fiume Tirso	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Aa1)	26,00	58,00	(1,88)
SS	Oschiri	91		159	1924	1926	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Muzzone	Coghinas	Fiume Coghinas	A gravità ordinaria a strati alternati di muratura di pietrame e di calcestruzzo (Aa1)	54,00	170,00	258,74
NU	Villagrande Strisaili	114	A	130	1948	1949	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Bau Muggeris	Alto Flumendosa	Fiume Flumendosa	A gmvità a speroni con vani interni in calcestruzzo (Aa2)	58,70	802,00	61,44
NU	Villagrande Strisaili	114	B	129	1942	1948	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Bau Mela		Rio Bau Mela	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Aa1)	25,50	813,00	0,24
NU	Villagrande Strisaili	114	C	181	1942	1949	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Sa Teula		Rio Sa Teula	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	21,70	242,00	0,11
NU	Villagrande Strisaili	114	D	128	1942	1949	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Bau Mandara		Rio Bau Mandara	A cupola in calcestruzzo leggermente armato (Ab3)	19,25	807,30	0,31
SS	Sassari-Osilo	155		472	1930	1932	Comune di Sassari	Bunnari Alta		Rio Bunnari	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (MI)	27,60	315,10	1,21

	Quota di massimo invaso [m s.l.m.]	Quota autorizzata [m s.l.m.]	Utilizzazione	Stato del collaudo	Stato dell'autorizzazione all'invaso	Progettista	Impresa realizzatrice	Direttore dei Lavori
					Demolita	Ing. Felice Giordano (1858)	The Cagliari Gas and Water Company Limited	
	155,00	svaso totale per lavori	Potabile	Collaudata in data 31 / 3 / 1921	Invaso non autorizzato	Ing. Dino De Gioannis (1911)	Impresa Ing. Carlo Ansoldi	
	203,00	201,00	Potabile	Collaudata in data 7 / 5 / 1937	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ingg. De Gioannis e Crespi (1924)	Impresa Pietro Cidonio - Roma	
	287,50	ordine di svaso	Potabile	Collaudata nell'anno 1880	Invaso non autorizzato	Ing. Claudio Ferrero (1870)	Impresa F.lli Fumagalli - Milano	Ing. Claudio Ferrero
	110,00 prima dell'apertura dei varchi	92,00, prima dell'apertura dei varchi	In passato idroelettrica e irrigua	Collaudata in data 18 / 6 / 1926	Diga dismessa	Ing. Angelo Omodeo (1912, progetto di massima); Ing. Luigi Kambo (1920, ultimo progetto esecutivo)	Società Imprese Idrauliche ed Elettriche del Tirso (in economia)	Ingg. Giulio Dolcetta, Ottavio Gervaso e Felice Costamagna
	(56,00)		In passato idroelettrica e irrigua	Collaudata in data 2/3/1927	Diga dismessa	Ing. Angelo Omodeo (1923)	Società Imprese Idrauliche ed Elettriche del Tirso (in economia)	Ing. Felice Costamagna
	166,00	164,00	Idroelettrica, irrigua, industriale e potabile	Collaudata in data 26 / 2 / 1927	Autoprizz, 3ta la quota massima di regolazione	Ing. Angelo Omodeo (progetto di massima); Ing. Luigi Kambo (1925, ultimo progetto esecutivo)	Società Elettrica Sarda (in economia, attraverso la Ditta F.lli Costamagna)	Ingg. Giulio Dolcetta, Felice Costamagna e Domenico Dettori
	800,50	800,00	Idroelettrica	Collaudata in data 26 / 7 / 1950	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Velio Princivalle (1926-29, progetto di massima); Ing. Claudio Marcello (1947, progetto esecutivo)	Impresa Lodigiani - Milano per la diga ed opere annesse; Impresa Rodio - Milano per i lavori di impermeabilizzazione	Ing. Giorgio Forli
	812,00	806,75	Idroelettrica	Collaudata in data 26 / 7 / 1950	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Velio Princivalle (1926-29, progetto di massima); Ing. Velio Princivalle (1942, progetto esecutivo)	In economia, la Società Idroelettrica Alto Flumendosa (successivamente incorporata nella Società Elettrica Sarda)	Ing. Nullo Albertelli
	240,90	239,50	Idroelettrica	Collaudata in data 26 / 7 / 1950	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Velio Princivalle (1926-29, progetto di massima); Ing. Velio Princivalle (1942, progetto esecutivo)	In economia, la Società Idroelettrica Alto Flumendosa (successivamente incorporata nella Società Elettrica Sarda)	Ing. Giorgio Forli
	806,80	803,30	Idroelettrica	Collaudata in data 26 / 7 / 1950	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Velio Princivalle (1926-29, progetto di massima); Ing. Carlo Semenza, in collaborazione con gli Ingg. Umberto Capra e Luciano Di Brai (1941, progetto esecutivo)	Impresa Lobbia-Pecol-Zenari - Verona per la diga ed opere annesse; Impresa Rodio - Milano per i lavori di impermeabilizzazione	Ing. Giorgio Forli
	313,43	312,18	Potabile	Collaudata in data 9 / 2 / 1934	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Domenico Dettori (1927)	Società Immobiliare Sarda	

OR	Ollastra Simaxis	166		389	1929	1930	Consorzio di Bonifica dell'Oristanese	Santa Vittoria		Fiume Tirso	Traversa fluviale in calcestruzzo (D)	12,00	23,40	1,48	
OR	Mogoro	193		426	1932	1933	Consorzio di Bonifica dell'Oristanese (gestore, titolare è la R.A.S.)	Mogoro		Rio Mogoro	A gravità ordinaria in muratura di pietrame su una base di calcestruzzo (Aa1)	21,50	67,80	(10,500) non som- mabile	
NU	Olzai	198		240	1962	1962	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Benzone		Fiume Taloro	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	18,80	154,00	1,39	
NU	Ollolai - Teti	198	A	263	1961	1962	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Cucchinadorza		Fiume Taloro	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	45,50	351,50	18,80	
NU	Gavoi	198	B	274	1959	1961	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Gusana		Fiume Taloro	A cupola in calcestruzzo (Ab3)	81,50	645,00	60,25	
SS	La Maddalena	258		470	1931	1935	Comune di La Maddalena	La Maddalena	Puzzoni	Fosso Vena Lunga e Fosso Cambino	A gravità ordinaria in muratura a sacco (Aa1)	20,50	17,50	0,55	
CA	Tratalias	341		416	1947	1950	Consorzio di Bonifica del Basso Sulcis	Monte Pranu		Rio Palmas	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Aa1)	32,45	46,50	50,00	
NU	Fonni	469		451	1947	1955	Consorzio per l'Acquedotto sul Rio Govossai	Govossai		Rio Govossai	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Aa1)	33,12	921,12	3,06	
SS	Santa Maria Coghinas	539		135	1949	1963	Concessionario: ENEL S.p.A.; gestore: ENEL Produzione S.p.A.	Casteldoria		Fiume Coghinas	A gravità ordinata in calcestruzzo (Aa1)	26,60	29,00	8,03	
NU	Orroli - Siurgus Donigala	572		398	1951	1958	EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Monte Su Rei	Mulargia	Rio Mulargia	Ad arco-gravità in calcestruzzo (Ab2)	94,00	260,00	332,00	
CA	Arbus	579		6	1949	1950	Comune di Arbus	Donegani	Guido Donegani	Rio Manna	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	28,00	311,00	0,31	

	19,75	16,05	Irrigua	Collaudata in data 6/11/1931	Invaso limitato	Siemens (1926); Progetto definitivo, con varianti rispetto a quello della Siemens, a firma dell'Ing. Velio Princivalle (1927)	Siemens Bau Union - Berlino	Prima l'Ing. Deubner (Siemens); quindi, dall'aprile 1930, l'Ing. W. Willelm (Siemens), con la collaborazione, in qualità di sostituto, dell'Ing. Enrico Pettinau (SBS)
	66,80		Laminatone	Collaudata in data 21 / 7 / 1934	Diga non invasabile	Ing. Dionigi Scano (1923-31)	Società Bonifiche Sarde (in economia)	Ing. Carlo Avanzini fino al luglio 1932; quindi Ing. Renato Mesirca
	152,50	151,50	Idroelettrica	Collaudata in data 16 / 9 / 1964	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Aldo Maffei (1958)	Imprese Lodigiani - Milano e Società Italiana per Condotte d'Acqua - Roma per gli scavi e le opere civili; Impresa di Costruzioni Opere Specializzate (ICOS) - Milano per le iniezioni	Ingg. Corradino Corrado e Sandro Del Rio
	349,00	348,00	Idroelettrica	Collaudata in data 16 / 9 / 1964	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Aldo Maffei (1958)	Imprese Lodigiani - Milano e Società Italiana per Condotte d'Acqua - Roma per gli scavi e le opere civili; Impresa di Costruzioni Opere Specializzate (ICOS) - Milano per le iniezioni	Ing. Corradino Corrado
	643,50	642,50	Idroelettrica	Collaudata in data 15 / g / 1964	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Aldo Maffei (1958)	Imprese Ing. G. Pietrobon - Belluno e Lodigiani per gli scavi; Imprese Lodigiani - Milano e Società Italiana per Condotte d'Acqua - Roma per le opere civili; Impresa di Costruzioni Opere Specializzate (ICOS) - Milano per le iniezioni	Ing. Corradino Corrado
	16,60	16,00	Potabile	Collaudata in data 12 / 2 / 1937	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Domenico Dettori (1930)	Prima l'Impresa Ferruccio Cacciari; quindi, a seguito del fallimento di questa, l'Impresa Ing. Mario Beer	Ing. Giuseppe Virno fino al 29/10/34; quindi Ing. Mario Tenaglia fino all'ultimazione
	45,50	43,50	Irrigua, industriale e potabile	Collaudata in data 5 / 6 / 1953	Autorizzata la quota massima di regolazione	Primo progetto esecutivo: Ing. Emilio Battista (1934); Ultimo progetto esecutivo: Ing. Antonio Salaris (1947)	Impresa Tudini-Talenti - Roma	Ing. Antonio Salaris
	920,12	915,00	Potabile	Collaudo in corso	Invaso limitato	Ingg. Francesco Sensidoni e Giuseppe Paziienza (1946)	1° lotto (fondazioni e corpo murario della diga fino a quota 900 m s.l.m.): Impresa Francesco Bianchi; 2° lotto (completamento corpo murario e accessorie): Impresa M.Z.A. Lavori Idroelettrici e Industriali S.p.A. - Roma; Montaggio colonna di presa e scarico di fondo: Impresa C.E.L.P.I. S.p.A. (Compagnia per la Esecuzione di Lavori Pubblici in Italia)	1° lotto: in un primo tempo l'Ing. Mario Primavera, poi l'Ing. Umberto Messina fino al completamento; 2° lotto: Ing. Mario Primavera; Montaggio colonna di presa e scarico di fondo: Ing. Mario Coinu
	26,00	26,00	Idroelettrica, irrigua, industriale e potabile	Collaudata in data 1 / 2 / 2003	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Umberto Messina (1947)	Società Imprese Industriali - Roma	Ing. Luciano Pinna
	259,00	258,00	Inigua, potabile e industriale	Collaudo in Corso	Autorizzata la quota massima di regolazione	Prof. Ing. Filippo Arredi (1949)	Società generale immobiliare di lavori di utilità pubblica ed agricola (SOGENE) - Roma	Ing. Giovanni Audoly
	310,00	309,00	Potabile (in passato anche industriale)	Collaudata nell'anno 1951	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Mario Manfredi (1949)	Impresa ing. Mario Manfredi - Cagliari per le opere civili; Impresa di Costruzioni Opere Specializzate (ICOS) - Milano per i sondaggi e le iniezioni	Ing. Filippo Minghetti (Soc. Montevecchio)

SS	Bessude	602		381	1952	1959	Gestore: EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Bidighinzu		Rio Bidighinzu	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	39,50	334,00	12,55	
SS	Luras	635		425	1958	1962	Consorzio di Bonifica della Gallura	Liscia		Fiume Liscia	A gravità a speroni con vani interni in calcestruzzo (Aa2)	65,00	180,00	105,13	
CA	Iglesias	641		499	1953	1954	Consorzio di Bonifica del Cixerri	monteponi	Bellicai	Rio Bellicai	Ad arco-gravità in calcestruzzo (Ab2)	30,00	367,50	0,98	
NU	Oroli	649		397	1953	1959	EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Nuraghe Arrubiu	Medio Flumendosa	Fiume Flumendosa	Ad arcogravità in calcestruzzo (Ab2)	112,00	270,00	299,27	
SS	Uri	653		11	1956	1974	Consorzio di Bonifica della Nurra	Cuga	Nuraghe Attenta	Rio Cuga	In pietrame a secco, zonata, con nucleo di terra per la tenuta (Bb)	45,40	114,40	34,92	
SS	Buddusò	662		382	1956	1959	Gestore: EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Sos Canales		Fiume limo	A speroni con spalle a gravità, in calcestruzzo (Aa2)	47,00	712,50	4,34	
OR	Bosa	668		484	1956	1961	Consorzio per la sorveglianza della diga sul fiume Temo (gestore, titolare è la R.A.S.)	Monte Crispu	Bosa, Basso Temo	Fiume Temo	Ad arco-gravità in calcestruzzo (Ab2)	57,00	69,80	(28,850) non sommabile	
NU	Torpè	688		370	1956	1960	Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale	Maccheronis		Fiume Posada	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	31,00	48,00	27,80	
CA	Uta - Assemini	702			1956	1957	Planimesu Azienda Agricola (P.A.A.) s.r.l.	Gutturu Manna	Assemini, S. Antonio	Rio Gutturu Mannu	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	20,50	154,50	0,20	
CA	Iglesias	745		88	1959	1964	Consorzio di Bonifica del . Crxerd	Punta Genarta		Rio Canonica	A cupola in calcestruzzo (Ab3)	57,00	257,50	12,60	

	333,00	330,00	Potabile	Collaudata in data 13 / 5 / 1966	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Sante Serafini (1950-51)	Prima la SA.F.I.E. S.p.A. (Società Fondiaria e per Imprese Edili) - Milano; quindi, a seguito della sospensione dei lavori e rescissione del contratto, la I.CO.RI. S.p.A. (Impresa Costruzioni e Ricostruzioni) - Milano	Ing. Ambrogio Angelo Longinotti, della Cassa per il Mezzogiorno
	177,65	177,50	Potabile, irrigua e industriale	Collaudo in corso	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Claudio Marcello (1957, progetto sbarramento originario); Prof. Ing. Filippo Arredi (1978-80, provvedimenti cautelativi di rinforzo)	Sbarramento originario: Impresa Pietro Cidonio - Roma; Provvedimenti cautelativi di rinforzo: prima la SA.F.I.E. S.p.A. (Società Fondiaria e per Imprese Edili) - Milano; poi, a seguito della rescissione del contratto, l'associazione temporanea di Imprese COGEFAR Impresit S.p.A., Milano - Vibrocesa (Vibrocemento Sarda) S.p.A. - Cagliari	Provvedimenti cautelativi di rinforzo: Ing. Paolo Porceddu
	366,50	ordine di svaso	In passato industriale	Collaudata in data 20/6 / 1955	Invaso non autorizzato	Ingg. Michele e Carlo Viparelli (1952-53)	FERROCEMENTO S.p.A - Roma	Ing. Carlo Costa, della Società Monteponi
	269,00	267,00	irrigua, idroelettica, industriale e potabile	Collaudo in Corso	Autorizzata la quota massima di regolazione	Prof. Ing. Filippo Arredi (1953)	Società Italiana per Condotte d'Acqua - Roma	Ing. Giovanni Audoly
	113,50	108,00	Irrigua, potabile	Collaudo in COM	Invaso sperimentale	Ingg. Giuseppe Sapienza e Velio Princi- valle (1955, progetto sbarramento origina- rio); Ing. Samuele Paolo Algranati (1969, rinfiacco di monte)	Impresa Ing. Antonio & Pasquale Di Penta S.p.A. - Roma	1ª fase (1956-64): Ing. Luciano Pin- na; 2ª fase (1966-70): Ing. Luciano Pitzurra; 3ª fase (1971-74): Ing. Lu- ciano Pitzurra fino al 4/9/72; quindi Ing. Saverio Baccini
	711,50	709,00	Potabile	Collaudata in data 19 / 4 / 1968	Autorizzata la quota massima di regolazione	Prof. Ing. Filippo Arredi (1953)	Prima l'Impresa Guffanti - Milano, che realizzò l'avandiga, la galleria di deviazione provvisoria (da trasformarsi poi in scarico di fondo) e parte degli scavi di fondazione; quindi l'Impresa Pietro Cidonio - Roma, che terminò gli scavi e realizzò lo sbarramento, compresi gli scarichi e le opere sussidiarie	Ing. Gustavo Ruffini
	69,60		Laminazione	Collaudo in corso	Diga non invasabile	Ingg. Giuseppe Sapienza e Lamberto Canali (1955-59, diga e scarico di fondo principale); Ingg. Lamberto Canali e Giorgio Pietrangeli (1967-70, sfioratore a calice e scarico di alleggerimento)	SA.F.I.E. S.p.A. (Società Fondiaria e per Imprese Edili) - Milano	Ufficio del Genio Civile di Nuoro, nella persona dell'Ing. Lorenzo Battino
	46,50	43,00	idroelettrica	Collaudata in data 18 / 8 / 1967	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. R. Boschini, dello Studio S.D.D. - Milano (1954)	I.CO.RI. S.p.A. (Impresa Costruzioni e Ricostruzioni) - Milano	Ing. Francesco Scalfati
	154,00	ordine di svaso	In passato industriale	Collaudata in data 10/ 1 / 1958	Invaso non autorizzato	Ing. Vittorio Francesconi (1955)	Impresa Geom. Ercole Borriore - Cagliari	Ing. Vittorio Francesconi
	255,30	255,00	Inigua e potabile	Collaudata in data 26 / 7 / 1971	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Nullo Albertelli (1958)	Impresa Giovanni Ghella - Colleretto Castelnuovo (TO)	Ing. Giovanni Berretta

CA	Villacidro	921		200	1976	1987	Consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale	Rio Leni		Rio Leni e Rio Bidda Scema	In tema, con manto di tenuta in conglomerato bituminoso (Bc)	54,03	252,50	20,00	
CA	Furtei	935		399	1960	1962	EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Sa Forada de S'Acqua		Rio Sa Forada	In pietrame compattato con manto di tenuta in calcestruzzo bituminoso e geomembrana in PVC (Bc)	27,00	190,50	1,41	
								Sa Forada de S'Acqua (diga ausiliaria)			A gravità ordinaria in calcestruzzo ciclopico (M1)	18,50	190,50		
NU	Tiana-Tonara	1005		383	1970	1976	Gestore: EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Torrei		Rio Torrei	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	43,00	871,00	0,96	
SS	Pattada	1006		390	1971	1980	Consorzio di Bonifica del Nord Sardegna	Monte Lerno	Rio Manna di Pattada	Rio Manna di Pattada	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	61,50	564,50	76,00	
SS	Monteleone Roccadoria	1039		12	1971	1984	Consorzio di Bonifica della Narra	Alto Temo	Monteleone Roccadoria	Fiume Temo	A gravità alleggerita in calcestruzzo (Aa2)	54,10	228,00	91,10	
CA	Sarroch	1094		482	1970	1976	Azienda agricola Manca di Villahermosa	Sarroch	Pento Mulas	Rio Bacch'e linna	in terra omogenea (Ba)	22,80	84,30	0,28	
CA	Siliqua - Nuxis - Narcao	1095		384	1968	1972	Gestore: EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Bau Pressiu		Rio Manna di Narcao	A vani intemi con spalle a gravità, in calcestruzzo (Aa2)	52,90	252,80	8,50	
NU	Lula	1121		371	1963	1964	Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale	Minghetti		Rio Istiti	A gravità ordinaria in calcestruzzo (M1)	25,00	364,00	0,10	
CA	Villacidro	1130		474	1966	1967	Comune di Villacidro	Rio Coxinas	Villacidro	Rio Coxinas	A gravità ordinaria in calcestruzzo (M1)	22,30	506,30	0,19	
NU	Dorgali	1141		372	1964	1994	Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale	Pedra 'e Othoni		Fiume Cedrino	In pietrame omogeneo con manto di tenuta in ferro Amico (Bc)	73,70	129,70	20,03	
SS	Alghero	1172		496	1966	1968	ERSAT (Ente Regionale di Sviluppo e Assistenza Tecnica in agricoltura)	Surigheddu		Rio Quidongias	In terra omogenea (Ba)	15,75	45,00	1,93	
CA	Sinnai	1192		475	1967	1969	Comune di Sinnai	Sinnai	Sinnai IL Culli Is Coccus	Rio Santa Barzolu	A gravità ordinaria in calcestruzzo (M1)	25,20	293,00	0,22	
NU	Villagrande Strisaili	1255		420	1978	1985	Consorzio di Bonifica dell'Ogliastra	Santa Lucia		Rio Sa Teula	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1) + spalla sinistra in pietrame con manto di tenuta in c.a. con interposto telo in PVC	28,50	64,50	3,70	

	250,57	243,24	Irrigua, industriale e potabile	Collaudata in data 15 / 12 / 2004	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ingg. Giuseppe Manca, Roberto Binagli e Federico Castia (1973)	Impresa Lodigiani S.p.A. - Milano	Ing. Giovanni Audoly
	189,00	189,00	Irrigua, idroelettrica, industriale e potabile	Collaudata in data 9 / 4 / 1968	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ingg. Filippo Pasquini ed Ercole Luchini (1959)	Impresa Ing. Antonio & Pasquale Di Penta S.p.A. - Roma	Ing. Roberto Binagli, con la consulenza del Prof. Ing. Filippo Arredi
	869,50	865,50	Potabile	Collaudo in corso	Invaso sperimentale	Ingg. Sante Serafini e Fabio Cruciani, con la collaborazione dello Studio Ing. Carlo Lotti - Roma (1963-65)	Impresa COGECO S.p.A. - Roma	Ing. Enzo Petriconi
	563,50	560,50	Irdgua e idroelettrica	Collaudata in data 30 / 10 / 2001	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ingg. Dino Malossi e Francesco Sensidoni (1968)	DIPENTA S.p.A. - Roma	Prima l'Ente Autonomo del Flumendosa; quindi, dall'aprile 1975, l'Ing. Mario Cappai
	226,00	220,00	Irrigua, potabile, laminazione	Collaudo in corso	Invaso sperimentale	Ing. Giorgio Pietrangeli (1969)	SA.F.I.E. S.p.A. (Società Fondiaria e per Imprese Edili) - Milano	Ing. Giorgio Pietrangeli
	84,00	ordine di svaso	Irrigua	Non collaudata	Invaso non autorizzato	Ing. Josto Musio (1968)	Impresa Mario Manca di Villahermosa - Sarroch (CA)	Ing. Josto Musio
	251,80	249,00	Potabile	Collaudata in data 29 / 6 / 2005	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Sante Serafini, con la collaborazione dello Studio Ing. Carlo Lotti - Roma (1962-64)	Impresa Vianini S.p.A. - Roma	Ing. Fabio Cruciani
	364,00	ordine di svaso	Industriale	Collaudata in data 30/4 /1968	Invaso non autorizzato	Ing. Giorgio Bonservizi (1963)	Impresa Costruzioni Ing. G.B. Bosazza S.p.A. - Cagliari per gli scavi e le opere civili; Impresa di Costruzioni Opere Specializzate (ICOS) - Milano per le iniezioni	Ing. Rodolfo Pavan
	505,00	ordine di svaso	Inigua e potabile	Collaudo in corso	Invaso non autorizzato	Ingg. Roberto Binagli e Francesco Matta (1962)	Impresa Costruzioni Ing. Carlo Nurchi - Cagliari	Ing. Roberto Binagli
	127,50	103,00	Potabile, irrigua, industriale, lardnazione e Idroelettrica	Collaudata in data 15 / 7 / 1997	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ingg. A. Vecellio, F. Casara e A.G. Minghetti, dello Studio S.D.D. - Milano (1962-63, progetto originario); Ing. Giancarlo Tomasi (1967-70, sopraelevamento della diga e manto metallico); Ing. Giancarlo Tomasi (1975-78, progetto delle tre opere di scarico superficiale)	DIPENTA S.p.A. - Roma	Ing. Giancarlo Tomasi
	43,00	42,00	Inigua e potabile	Collaudata in data 15 / 2 / 1971	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Velio Princivale (1960, progetto di massima); Ingg. Velio e Francesco Princivale (1962, progetto esecutivo)	A.P.I. S.p.A. - Milano	Ing. Francesco Princivale
	292,00	289,00	Potabile	Collaudo in corso	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Giorgio Marini (ultima versione: 1965)	DIPENTA S.p.A. - Roma	Ing. Luigi Binagli
	62,00	59,40	Inigua e industriale	Collaudo in corso	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ingg. Gian Paolo Rocco e Giovanni Sallusto, dello Studio Ingegneri Associati (S.I.A.) - Milano, Roma, Palermo	Impresa Gelfi Costruzioni S.p.A. - Brescia	Ing. Stelio Terenzio

CA	Villa S. Pietro	1293			1998	Lavori di costruzione sospesi	Consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale	Monte Nieddu	Sa Stria	Rio Monte Nieddu	A gravità ordinata in calcestruzzo rullato (MI)	78,19	146,70	(36,00)	
CA	Siliqua	1298		89	1981	1990	Consorzio di Bonifica del Cixerri	Medau Ziri-milis		Rio Casteddu	In materiali sciolti con manto di tenuta in bitume (Bc)	52,00	151,00	17,20	
		Carru Segau	In materiali sciolti con manto di tenuta in bitume (Bc)	20,00				150,00							
CA	Pula	1419		422	1972	1976	Società Mita S.p.A.	Rio Perdosu		Rio Perdosu	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1l)	20,00	53,00	0,35	
OR	Busachi	1436		387	1982	1996	Consorzio di Bonifica dell'Oristanese	Cantoniera	Eleonora d'Arborea	Fiume limo	A gravità alleggerita in calcestruzzo (Aa2)	93,25	120,00	748,20	
OR	Fordongia-nus	1438		388	1978	1983	Consorzio di Bonifica dell'Oristanese	Pranu Antoni		Fiume limo	Traversa fluviale in calcestruzzo localmente armato (D)	20,80	46,80	9,00	
NU	Seui - Ulassai	1466		396	1976	1984	EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Flumineddu	Capanna Silicheri	Rio Flumineddu	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	40,30	285,80	1,94	
CA	Quarta S. Elena	1495		400	1978	1985	EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Simbirizzi (diga muraria)		Stagno Simbirizzi	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1l)	12,56	35,00	30,30	
								Simbirizzi (diga in terra n°1)			In materiali sciolti con manto di tenuta in materiali artificiali (Bc)	9,85	35,50		
								Simbirizzi (diga in terra n°2)			In materiali sciolti con manto ritenuto in materiali artificiali (Bc)	10,53	35,50		
								Simbirizzi (diga in terra n°3)			In materiali sciolti con manto in di tenuta materiali artificiali (Bc)	7,94	35,50		
CA	Uta - Villaspeciosa	1519		401	1980	1992	EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Genna in Abis	Diga Cixeni	Fiume Cixeni	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	24,00	42,00	25,41	
								Genna in Abis (diga ausiliaria n°1)			In materiali sciolti con manto di tenuta in PVC e protezione in lastre di calcestruzzo (Bc)	6,50	42,50		
								Genna is Abis (diga ausiliaria n°2)			In materiali sciolti con manto di tenuta in PVC e protezione in lastre di calcestruzzo (Bc)	8,50	42,50		

	144,70	nessuna (diga non costruita)	Inigua e potabile	Diga in costruzione	Invaso non autorizzato	Prof. Ing. Costantino Fassò (1988), con la collaborazione degli Ingg. Roberto Binaghi e Franco Casara	Associazione temporanea di Imprese DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES S.A. (Capogruppo) – FOMENTO DE CONSTRUCCIONES Y CONTRATAS S.A. – GRANDI LAVORI FINCOSIT S.p.A. per la diga ed opere annesse; Impresa Rodio - Milano per i lavori di impermeabilizzazione	Prof. Ing. Costantino Fassò, con la collaborazione, in qualità di sostituto, dell'Ing. Mario Mulas
	146,70	135,00	Irrigua	Collaudo in COISO	Invaso sperimentale	Ing. Giorgio Pietrangeli (1972), con la collaborazione dell'Ing. P.A. Pallavicini	Impresa Pizzarotti & C. S.p.A. - Parma	Ing. Giovanni Berretta
	52,00	51,00	Potabile	Collaudata in data 30 / 8 / 1977	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Roberto Binaghi (1971-72)	Impresa Costruzioni Ing. G.B. Bosazza S.p.A. - Cagliari	Ing. Andrea Mulas
	118,00	103,50	Inigua, potabile e idroelettrica	Collaudo in corso	Invaso sperimentale	Prof. Ing. Filippo Arredi, in collaborazione con il Prof. Ing. Ugo Ravaglioli e con l'Ing. Augusto Pinto (1978)	Grassetto Costruzioni S.p.A. - Tortona	Prima l'Ing. Francesco Scalfati; quindi, dal 1991, l'Ing. Luigi Sanna
	45,30	45,00	Irrigua e idroelettrica	Collaudo in corso	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Roberto Binaghi (1972-73, progetto originario); Ing. Giancarlo Tomasi (1978, modifiche della struttura e delle fondazioni)	I.CO.RI. S.p.A. (Impresa Costruzioni e Ricostruzioni) - Milano per le opere civili; Impresa di Costruzioni Opere Specializzate (ICOS) - Milano per i sondaggi e le iniezioni; Riva Calzoni S.p.A. - Bologna per paratoie e relativa centrale oleodinamica	Ing. Giancarlo Tomasi
	284,60	276,50	Irrigua, potabile, industriale e idroelettrica	Collaudo in corso	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ingg. Roberto Binaghi e Mario Mulas (1975)	Impresa Costruzioni Idrauliche Ferroviarie Autostradali (CIFA) - Rovigo	Ing. Giorgio Pettinau
	33,50	29,50	Irrigua, potabile	Collaudo in corso	Invaso limitato	Ing. Mario Mulas (1975)	DIPENTA S.p.A. - Roma	Ing. Giorgio Pettinau
	40,50	39,00	Irrigua, industriale e potabile	Collaudata in data 2 / 5 / 2002	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Mario Mulas (1977), con la collaborazione degli Ingg. Salvatore Cantone, Vittorio Dessi e Francesco Frongia	DIPENTA S.p.A. - Roma	Prima l'Ing. Mario Mulas; quindi, dall'ottobre 1991, l'Ing. Rinaldo Cau

NU	Isili	1572		402	1985	1991	EAF (Ente Autonomo del Flumendosa)	Is Barrocos		Fiume Fluminimannu di Cagliari	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	35,00	416,00	12,24	
SS	Tempio Pausania	1595			1987	2006	Consorzio Zona Industriale di Interesse Regionale	Monti di Deu		Rio Pagghiolu	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	45,50	517,50	3,19	
NU	Orgosolo	1619		452	1989	2002	Consorzio per l'Acquedotto sul Rio Govossai	Olai		Rio Olai	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	51,6	937,60	16,21	
NU	Orgosolo	1670			1989	costruzione in corso	Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale	Cumbidanovu		Fiume Cedrino	A gravità ordinaria in calcestruzzo (Aa1)	66,73	411,73	(11,02)	
CA	Villa S. Pietro	1721			2000	Lavori di costruzione sospesi	Consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale	Is Canargius	Medau Aingiu	Rio Is Canargius	Traversa fluviale in calcestruzzo ordinario (D)	24,06	168,60	(0,24)	
SS	La Maddalena	1811		469	1915	1916	Direzione del Genio Militare per la Marina (MARIGENIMIL)	Caprera	Fosso Stefano	Fosso Stefano	A gravità ordinaria in muratura di pietrame (Aa1)	16,70	31,18	0,04	

Dighe riportate in e elenco: 59, di cui 4 dismesse o non invasabili, e 3 in costruzione.

Delle 52 rimanenti, sono 33 quelle collaudate e 19 quelle il cui collaudo non si è ancora concluso.

Delle 33 dighe collaudate, sono 7 quelle con invaso limitato o non autorizzato.

Il volume utile complessivo delle 33 dighe collaudate, ammonta a 637,4 Mmc, di cui 635,1 Mmc (99,6% del totale) autorizzati.

Sommatoria volumi di invaso ai sensi della L.584/94 2389 Mmc

Delle 19 dighe il cui collaudo non è concluso, sono 10 quelle con invaso autorizzato in parte o non autorizzato. Il volume utile complessivo delle 19 dighe il cui collaudo non è concluso, ammonta a 1642,2 Mmc, di cui 1268,8 Mmc (77,3% del totale) autorizzati.

Escludendo Cantoniera, il volume utile complessivo delle rimanenti 18 dighe non collaudate ammonta a 897,2 Mmc, di cui 838,8 Mmc (93,5% del totale) autorizzati.

	414,55	413,00	Potabile	Collaudo in corso	Autodzzata la quota massima di regolatone	Ingg. Roberto Binaghi, Mario Mulas, Vittorio Dessì, Roberto Silvano, con la consulenza generale del Prof. Ing. Costantino Fassò e del Prof. Giuseppe Pecorini (1978-83)	Impresa To.Co. S.r.l., società costituita tra le imprese Torri di Milano e Co.Ge. (Costruzioni Generali Parma) S.p.A. di Parma, per la diga ed opere annesse; Impresa Ettore Corongiu - Nuragus (NU) per gli scavi; Laziale Sarda Fondazioni per le iniezioni	Ing. Bruno Demurtas
	515,92 (per T=1000 anni) 516,40 (per T=10000 anni)	483,00	Industriale, potabile	Collaudo in corso	Invaso sperimentale	Ing. Roberto Binaghi (1981)	Associazione temporanea di Imprese GELFI S.p.A. - ITA.VIE S.r.l. - MONTALBANO COSTRUZIONI S.r.l.	Ing. Gian Piero Cassitta
	936,00	933,00	Potabile	Collaudo in COMO	Autorizzata la quota massima di regolazione	Ing. Giancarlo Tomasi (1981)	Prima la SA.F.I.E. S.p.A. (Società Fondiaria e per Imprese Edili) - Milano; quindi, a seguito del fallimento della SA.F.I.E., dal 1998 la So.Ge. Cos. S.r.l. - Cagliari	Ing. Giancarlo Tomasi
	410,15	nessuna (diga non costruita)	Irrigua	Diga in costruzione	Invaso non autorizzato	Ing. Giancarlo Tomasi (1985-86)	Prima la FERROCEMENTO S.p.A. - Roma; quindi, dopo la rescissione del contratto d'appalto con la FERROCEMENTO, nel 2003 i lavori sono stati appaltati alla I.R.A. Costruzioni Generali S.r.l. - Catania	Ing. Giancarlo Tomasi
	166,60	nessuna (diga non costruita)	Inigua e potabile	Diga in costruzione	Invaso non autorizzato	Prof. Ing. Costantino Fassò (1988), con la collaborazione degli Ingg. Roberto Binaghi e Franco Casara	Associazione temporanea di Imprese DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES S.A. (Capogruppo) - FOMENTO DE CONSTRUCCIONES Y CONTRATAS S.A. - GRANDI LAVORI FINCOSIT S.p.A. per la diga ed opere annesse; Impresa Rodio - Milano per i lavori di impermeabilizzazione	Prof. Ing. Costantino Fassò, con la collaborazione, in qualità di sostituto, dell'Ing. Mario Mulas
	30,58	nessuna (diga censita solo recentemente)	Potabile	Data collaudo non conosciuta	invaso non autorizzato			

CLASSIFICAZIONE PER TIPOLOGIA SECONDO I CODICI ENEL	
Codice Enel	TIPOLOGIA
Aa1,c	MURARIA; A GRAVITA' ORDINARIA (IN CALCESTRUZZO)
Aa1,m	MURARIA; A GRAVITA' ORDINARIA (IN MURATURA)
Aa2,s	MURARIA; A GRAVITA', A SPERONI
Aa2,v	MURARIA; A GRAVITA', A VANI INTERNI
Ab1	MURARIA; AD ARCO
Ab2	MURARIA; AD ARCO-GRAVITA'
AB3	MURARIA; A CUPOLA
Ac,v	MURARIA; A VOLTE SOSTENUTE DA CONTRAFFORTI
Ac,s	MURARIA; A SOLETTE SOSTENUTE DA CONTRAFFORTI

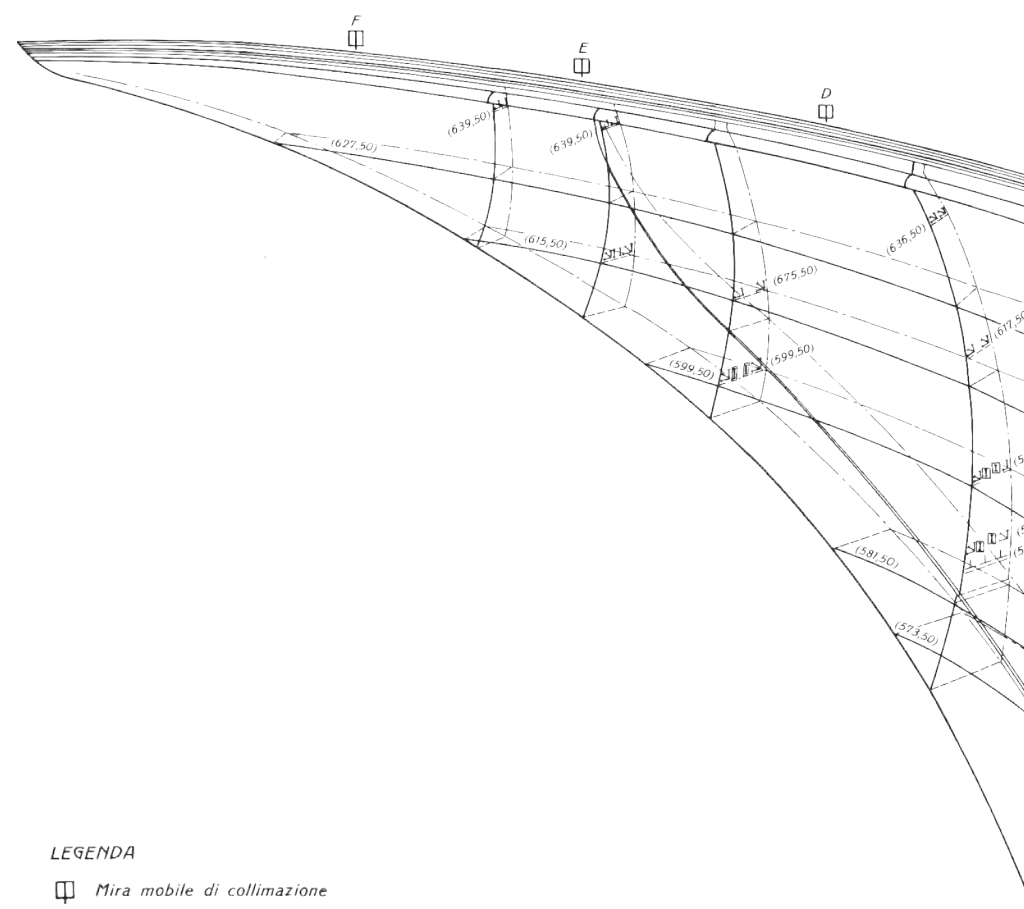
Ba	MATERIALI SCIOLTI;DI TERRA,OMOGENEA
Bb,t	MATERIALI SCIOLTI;DI TERRA,ZONATA,NUCLEO DI TERRA PER TENUTA
Bb,p	MATERIALI SCIOLTI;PIETROME,ZONATA,NUCLEO DI TERRA PER TENUTA
Bc,tm	MATERIALI SCIOLTI;TERRA PERMEABILE,MANTO TENUTA ARTIFICIALE
Bc,td	MATERIALI SCIOLTI;TERRA PERMEABILE,DIAFRAMMA MAT.ARTIFICIALI
Bc,pm	MATERIALI SCIOLTI;PIETROME,MANTO TENUTA MAT.ARTIFICIALI
Bc,pd	MATERIALI SCIOLTI;PIETROME,DIAFRAMMA TENUTA MAT.ARTIFICIALI
C	SBARRAMENTO DI TIPO VARIO
D	TRAVERSA FLUVIALE
Aa1,c (D)	MURARIA; A GRAVITA' ORDINARIA (TRAVERSA IN CALCESTRUZZO)
Aa1,m (D)	MURARIA; A GRAVITA' ORDINARIA (TRAVERSA IN MURATURA)



5. IL SISTEMA INQUIETO

Al cospetto dell'osservatore una diga di sbarramento fluviale appare come un oggetto monolitico e immutevole, fortemente ancorato all'alveo e alle reni montuose; il materiale che lo costituisce, il calcestruzzo nella maggioranza dei casi, amplifica questa idea di invulnerabilità dell'opera. L'idea che un bacino acquifero artificiale sia qualcosa di statico, tutt'al più soggetto alla ciclica variazione del livello dell'acqua, è anch'essa un'idea piuttosto diffusa. In realtà, ad una analisi più approfondita, appare sorgere ciò che in questo capitolo ho definito come un "sistema inquieto": ovvero un sistema (diga-invaso) dinamico e mutevole. Il corpo della diga si muove, assecondando elasticamente i carichi a cui è soggetta, le fondazioni collaborano anch'esse rispondendo secondo la loro natura fisica e chimica, l'acqua dell'invaso interagisce con le sponde erodendole lentamente e penetra nel corpo nella diga facendosi strada tra le giunture dei conci e modificandone chimicamente il calcestruzzo o imbibendo il materiale sciolto di cui alcune tipologie di dighe sono composte. L'acqua lavora al di sotto delle fondazioni creando una pressione dal basso capace a volte, se non attentamente controllata, di scalzare intere porzioni dello sbarramento, così come accaduto in Francia nella diga di Malpasset (Frèjus), collassata nel 1959 col bacino al massimo livello causando diverse centinaia di morti, o nel caso del disastro del Gleno in Italia (val Camonica) quando nel 1923 una diga a speroni e voltine collassò per cedimento strutturale spazzando via diversi centri abitati a valle.

Per comprendere quanto una diga sia oggetto instabile se soggetta a spinta costante di un liquido, basti citare il caso della diga di Ridracoli costruita nel 1982 nei territori di Forlì – Cesena: su essa sono attualmente installati 971 punti di misura, 259 sensori connessi al sistema automatico di mo-



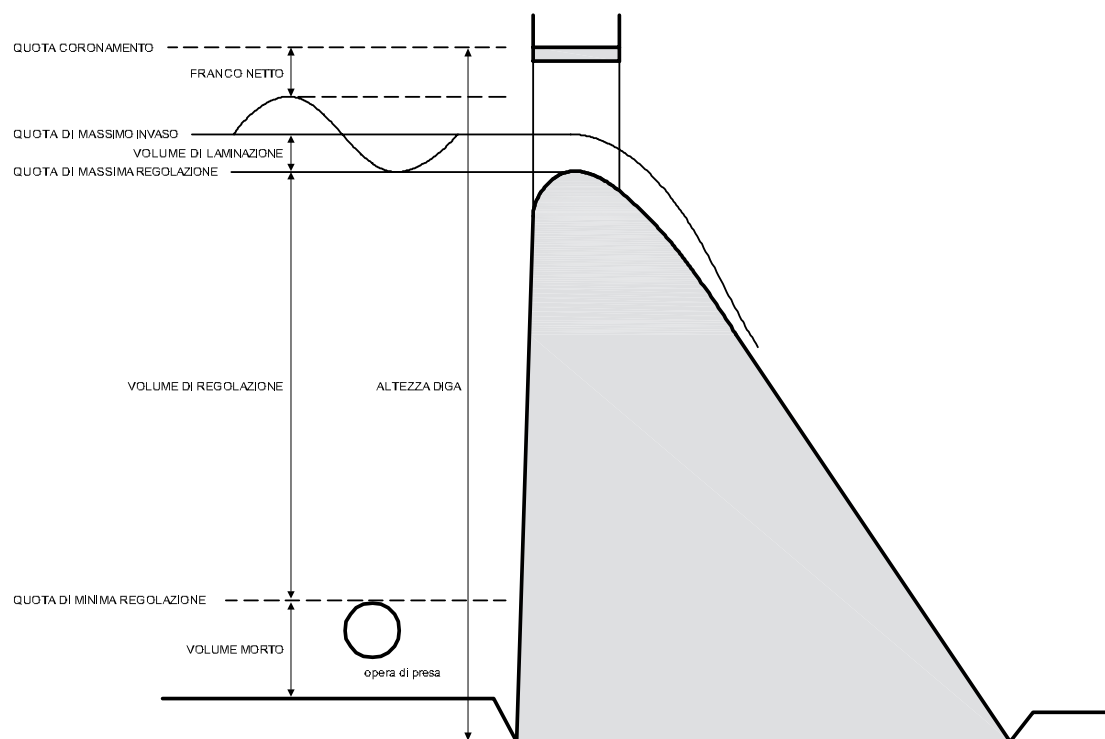
LEGENDA

- Mira mobile di collimazione
- ⊠ Gruppo di estensimetri (orizzontali – verticali – inclinati 45°) estensimetro isolato
- ⊥ Pressimetro
- Termometro in aria
- Termometro in acque
- Termometro nel calcestruzzo

5.1. CARATTERI TIPOLOGICI

5.1.1 Definizioni del Regolamento Italiano Dighe:

- **Altezza della diga:** è il dislivello tra la quota del piano di coronamento (esclusi parapetti ed eventuali muri frangionde) e quella del punto più basso della superficie di fondazione (escluse eventuali sottostrutture di tenuta).
- **Quota di massimo invaso:** è la quota massima a cui può giungere il livello dell'acqua dell'invaso ove si verifichi il più gravoso evento di piena previsto escluso la sopraelevazione da moto ondoso.
- **Quota massima di regolazione:** è la quota del livello d'acqua al quale ha inizio, automaticamente, lo sfioro dagli appositi dispositivi.
- **Altezza di massima ritenuta:** è il dislivello tra la quota di massimo invaso e quella del punto più depresso dell'alveo naturale in corrispondenza del paramento di monte.
- **Franco:** è il dislivello tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso.
- **Franco netto:** è il dislivello tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso aggiunta a questa la semiampiezza della massima onda prevedibile nel serbatoio.
- **Volume totale di invaso:** è la capacità del serbatoio compresa tra la quota di massimo invaso e la quota minima di fondazione; per le traverse fluviali è il volume compreso tra il profilo di rigurgito più elevato indotto dalla traversa ed il profilo di magra del corso d'acqua sbarrato.
- **Volume utile di regolazione:** è il volume compreso fra la quota massima di regolazione e la quota minima del livello d'acqua alla quale può essere derivata, per l'utilizzazione prevista, l'acqua invasata.
- **Volume di laminazione:** è il volume compreso fra la quota di massimo invaso e la quota massima di regolazione, ovvero, per i serbatoi specifici per laminazione delle piene, tra la quota di massimo invaso e la quota della soglia inferiore dei dispositivi di scarico.
- **Volume morto:** è il volume compreso tra la quota dello scarico di esaurimento e la quota minima della fondazione



schema delle definizioni secondo il DMLP 24/03/82 "norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento"

5.1.2 classificazione tipologica:

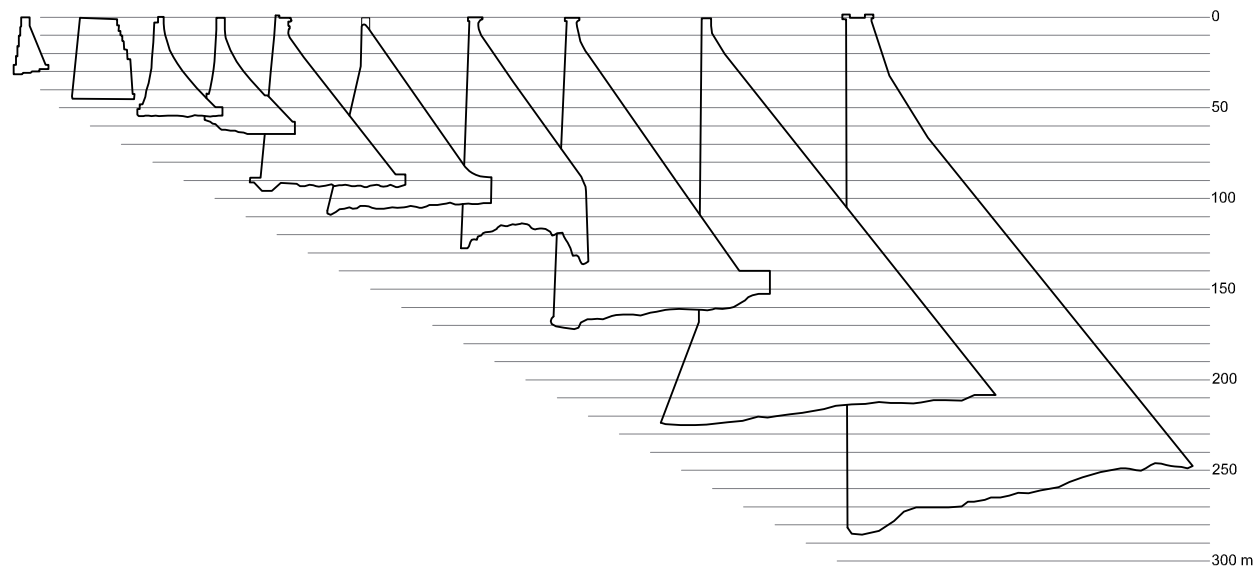
Il decreto 24 Marzo 1982, “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento”, gli sbarramenti sono classificati nei tipi seguenti:

- **Dighe murarie:**
 - a. a gravità:
 - i. ordinarie (ovvero a gravità massiccia);
 - ii. a speroni, a vani interni (a lastre e speroni);
 - b. a volta:
 - i. ad arco;
 - ii. ad arco-gravità;
 - iii. a cupola (a doppia curvatura);
- **A volte o solette, sostenute da contrafforti.**
- **Dighe di materiali sciolti;**
 - a. di terra omogenea;
 - b. di terra e/o pietrame, zonate, con nucleo di terra per la tenuta;
 - c. di terra permeabile o pietrame, con manto o diaframma di tenuta di materiali artificiali;
- **Traverse fluviali.**

5.1.3 Dighe a gravità

Dighe a gravità ordinaria. sono strutture massicce in conglomerato di calcestruzzo dalla geometria molto semplice: generalmente una sezione triangolare con paramento a monte verticale o sub-verticale. Altrettanto semplice è il funzionamento: la diga oppone resistenza alla spinta dell'acqua grazie alla risultante tra il peso proprio e l'attrito tra le fondazioni della diga e gli strati rocciosi su cui è costruita.

A questa tipologia appartengono la Grande Dixence, in Svizzera, alta 284m con uno sviluppo di coronamento di 695m per un totale di 6 milioni di mc di cemento. La diga di maggior volume realizzata è la diga delle Tre Gole a Wuhan, Cina, che ha uno sviluppo in coronamento di 2,4 km a fronte di un'altezza di 185 m. In Sardegna esempi di dighe a gravità ordinaria sono il gruppo delle dighe “Corongiu” (muratura in pietrame, altezza tra 20 e 40m) in territorio di Sinnai (CA), tra le più antiche presenti nell'isola, o le più recenti del sistema del Taloro (provincia di Nuoro) di cui si discuterà ampiamente in seguito: la “Benzone” (18.80m) e “Chuchinadorza” (45.50m).

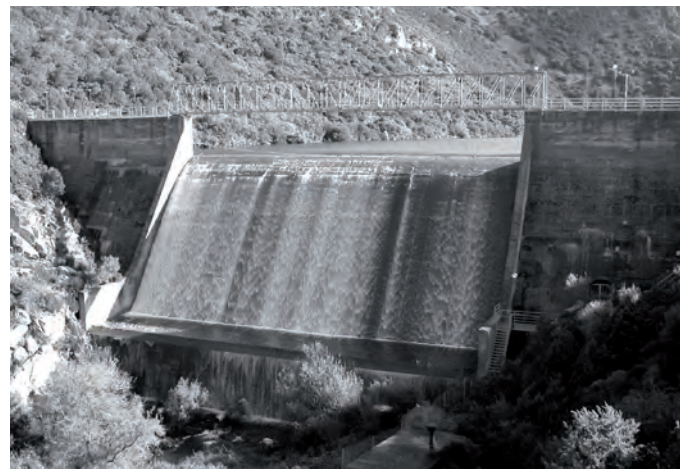


schema comparativo tra alcuni esempi di dighe a gravità ordinaria.

Da sinistra verso destra:

Bunnari	Italia	1879	32m
tibi	Spagna	1580	46m
Gouffre d'Enfer	Spagna	1866	56m
Le Mesce	Italia	1917	65m
Sulviana	Italia	1932	98m
Salto	Italia	1940	108m
Chambon	Francia	1935	129m
Alpe Gera	Italia	1964	172m
Bhakra	India	1963	225m
Grande Dixence	Svizzera	1961	285m

(POLIMI)



in alto a sinistra: Diga Grande Dixence, Svizzera; è una diga a gravità ordinaria alta 285m terminata nel 1961. (FLICKR.it)

in basso a sinistra: Diga di Agaro, Piemonte, Italia; è una diga a gravità ordinaria alta 57.6m terminata nel 1940. (PROG.D.)

in alto a destra: Diga di Sinnai, Sardegna, Italia; è una diga a gravità ordinaria alta 29.2m terminata nel 1969. (RID.C)

al centro a destra: Diga delle Tre Gole, Cina; diga a gravità ordinaria alta 185m terminata nel 2006. (WIKI)

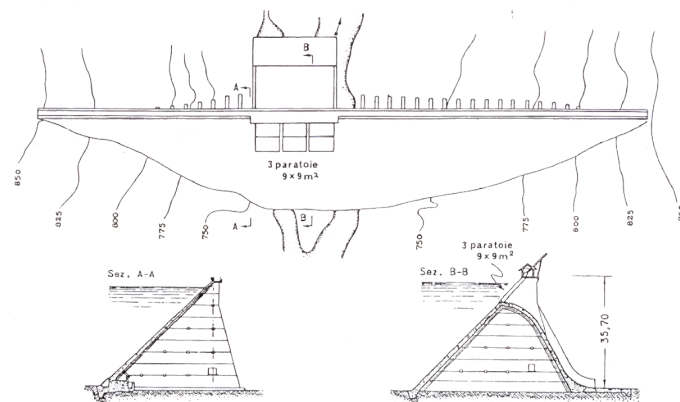
in basso a destra: Diga di Monte Pranu, Sardegna, Italia; diga a gravità ordinaria alta 34.50m terminata nel 1950. (RID.C)

Dighe a speroni, a vani interni (a lastre e speroni). sono basate su un sistema costruttivo volto a minimizzare l'impiego del calcestruzzo in una struttura il cui funzionamento è essenzialmente assimilabile ad una diga in gravità ordinaria. Il disegno della sezione trasversale è ancora triangolare, con paramento a monte maggiormente inclinato per bilanciare il peso dell'acqua avendo una minore forza peso dovuta alla riduzione di massa. La spinta agente sul paramento a monte viene incanalata alle fondazioni lungo gli speroni. Tecnicamente più complesse da realizzare e con livelli di criticità maggiori dovuti alle forze concentrate agenti su fondazioni di minore estensione rispetto una diga a gravità ordinaria. Coerentemente al principio di alleggerimento della struttura, si hanno diverse varietà di tipi:

- **A lastre e speroni (tipo Ambursen)**: in cui il paramento a monte, essenzialmente piano, è formato da lastre in calcestruzzo armato a reggere gli sforzi di taglio e flessione agenti sulle pareti a contatto con l'acqua. Questi

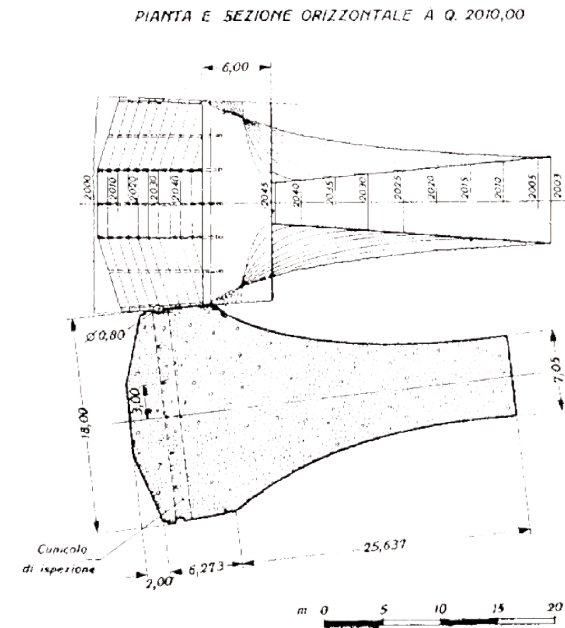
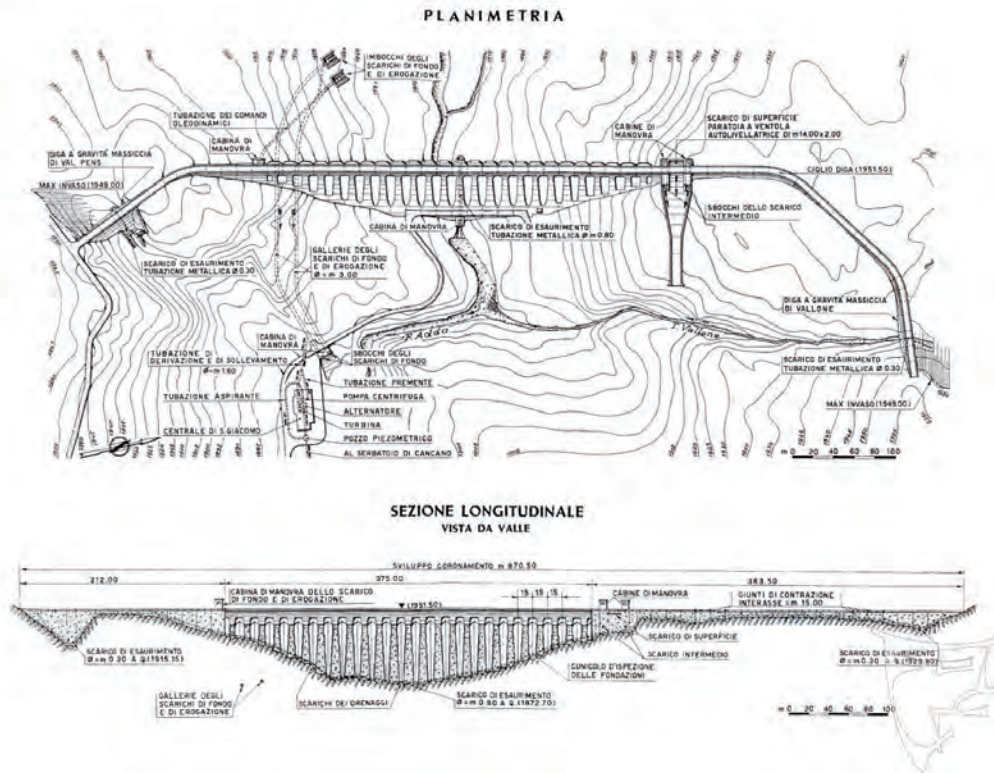
trasmettono gli sforzi agli speroni, che possono essere in muratura o anch'essi in cls armato, e quindi a terra, lungo le fondazioni. Esempi di queste strutture sono rintracciabili essenzialmente negli Stati Uniti (es: diga di Stony Gorge in California)

- **Diga a speroni pieni (tipo Niccolai o Baticle-Arredi)**: è formata da una successione di speroni a forma di "T" in cui si racchiude in un unico elemento le funzioni di reazione alla spinta sul paramento a monte e lo scarico sulle fondazioni della risultante delle forze agenti su ogni singolo sperone. A fronte di un risparmio di calcestruzzo fino al 40%, queste strutture presentano alcune criticità come la giunzione tra gli speroni. (es. diga San Giacomo di Fraele sull'Adda in Lombardia)
- **Dighe a elementi cavi (tipo Marcello)**: è formata dalla successione di elementi indipendenti cavi il cui funzionamento è analogo ai casi precedenti. (es. diga di Malga Bissina sul Chiese in Trentino Alto Adige)



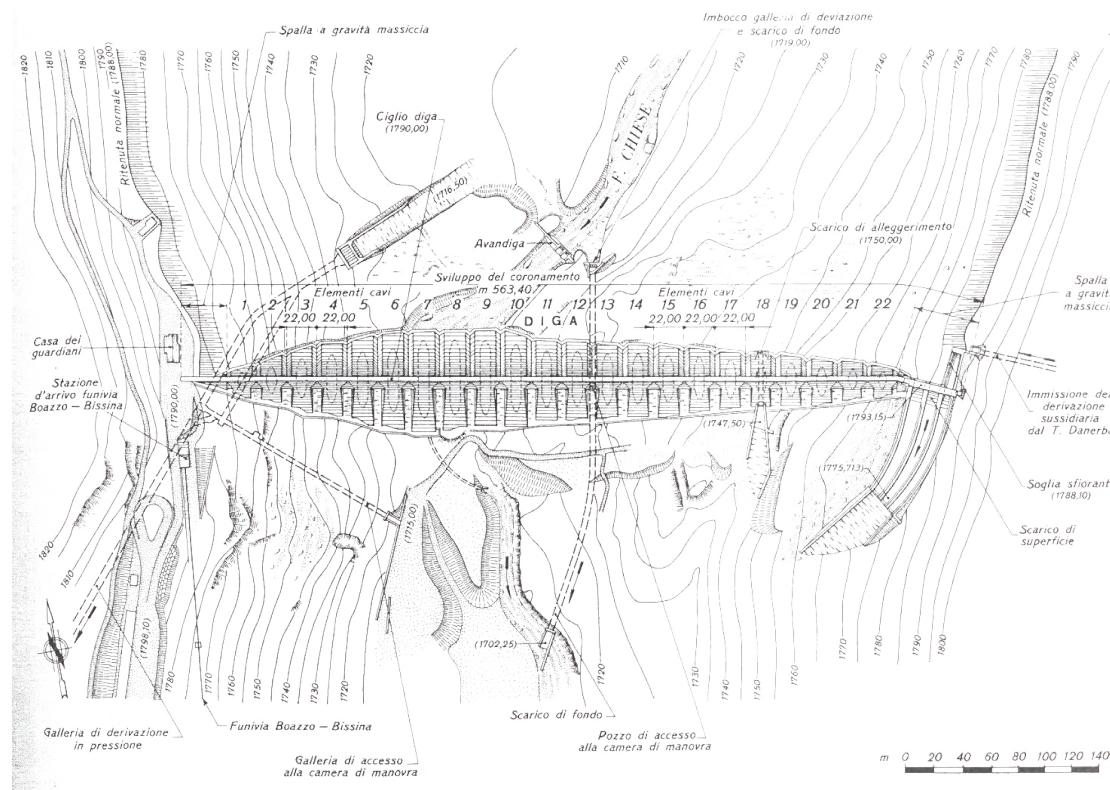
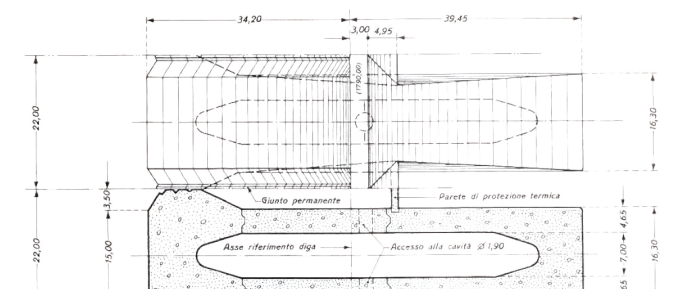
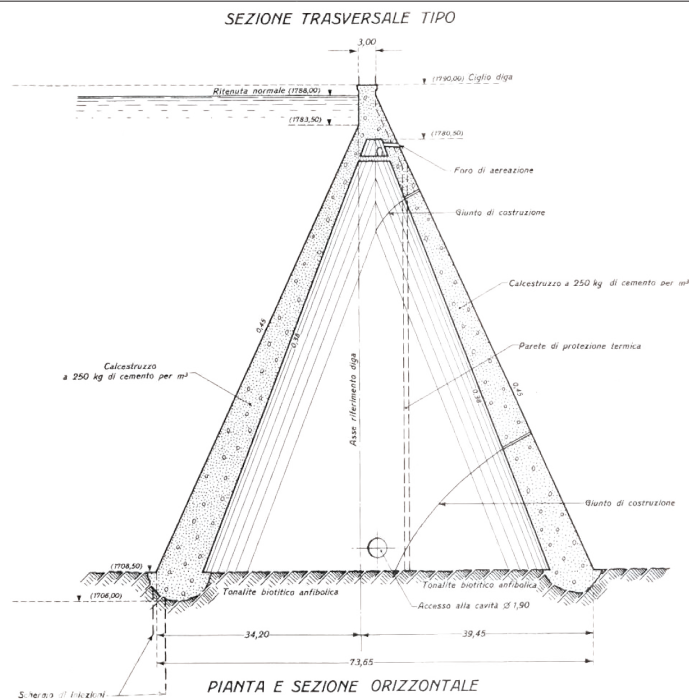
Diga di Stony Gorge, California, USA; diga a gravità alleggerita del tipo a speroni e piastra alta 42.40m terminata nel 1928. (WEB)

Pianta e sezione della diga di San Giacomo ANIDEI

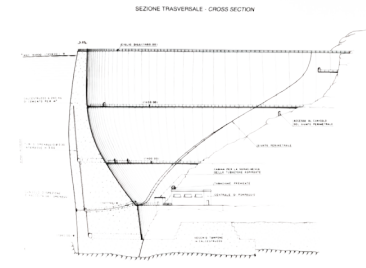
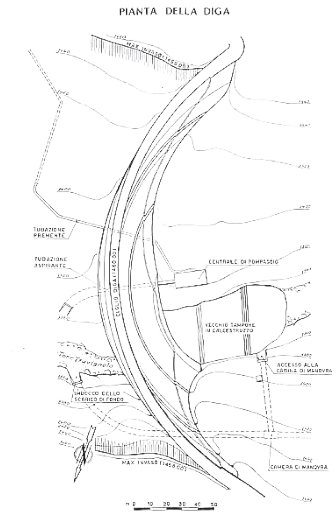
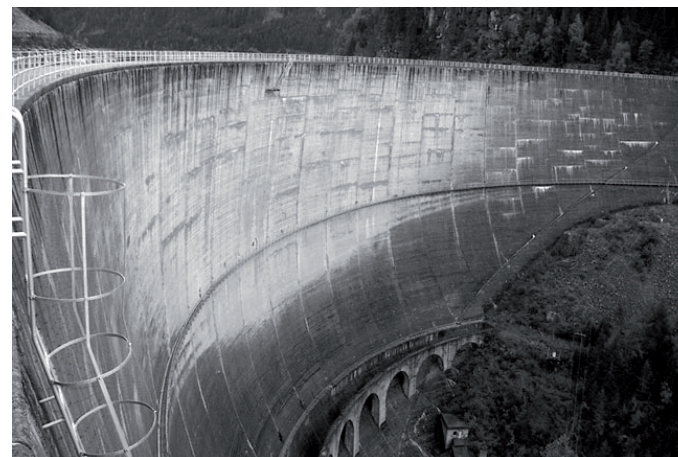
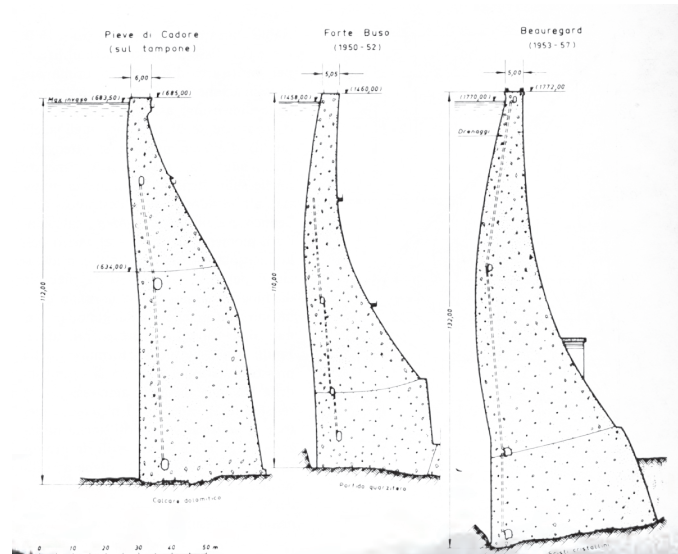


a sinistra: diga di San Giacomo di Fraele, Lombardia, Italia; diga a gravità alleggerita del tipo a speroni pieni, alta 83.5m estata ultimata nel 1950 (PROG.D.)
a destra: diga di Fedaia, Trentino Alto-Adige, Italia; diga a gravità alleggerita del tipo a speroni pieni, alta 63.9m è stata ultimata nel 1955 (PROG.D.)





diga di Malga Bissina, Trentino Alto-Adige, Italia; diga a gravità alleggerita del tipo a vani interni, alta 81.0m è stata ultimata nel 1957 (PROG.D.)



in alto a sinistra: Diga di Nuraghe Arribiu, Sardegna; tipologia arco-gravità, alta 119m, terminata nel 1959. (RID.C)

al centro a sinistra: Diga di Pieve di Cadore, Veneto; tipologia arco-gravità, alta 108m, terminata nel 1948. (PROG.D)

in basso a sinistra: Diga di Monte Crispu, Sardegna; tipologia arco-gravità, alta 62m, terminata nel 1961. (RID.C)

a destra: Diga di Forte Buso, Trentino Alto Adige; tipologia arco-gravità, alta 105m, terminata nel 1953 (PROG.D)

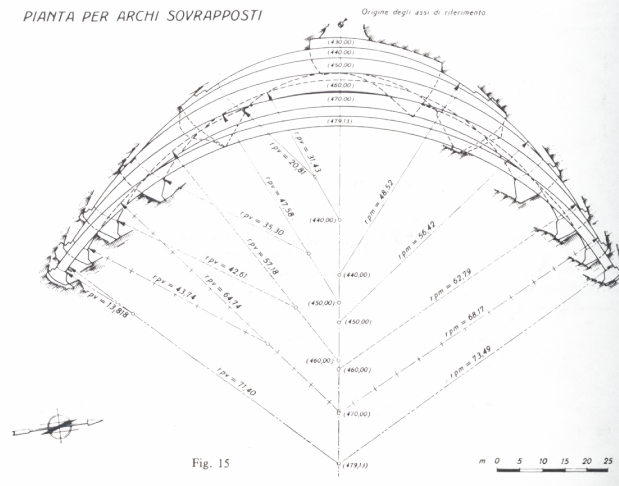
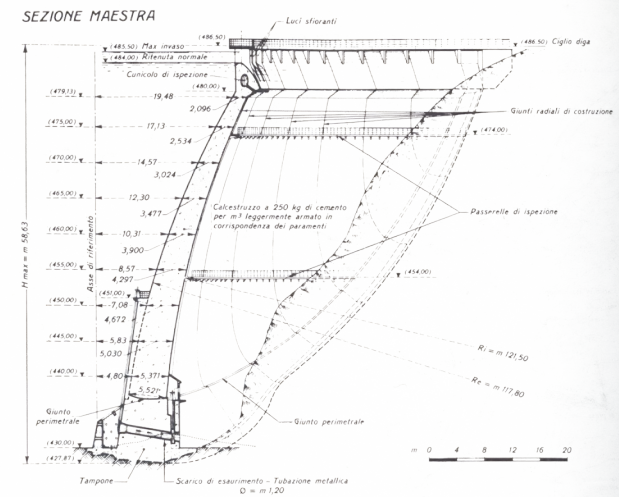
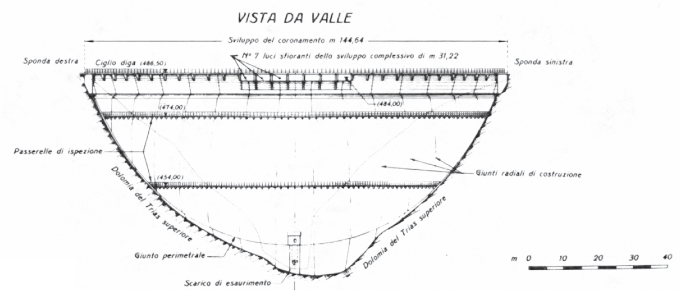
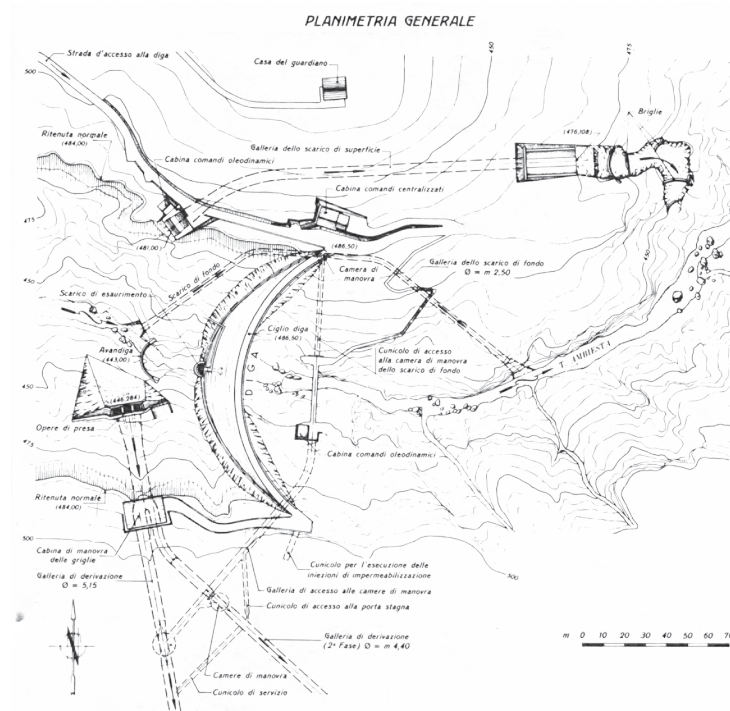
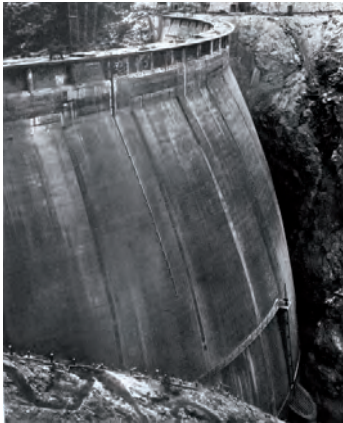
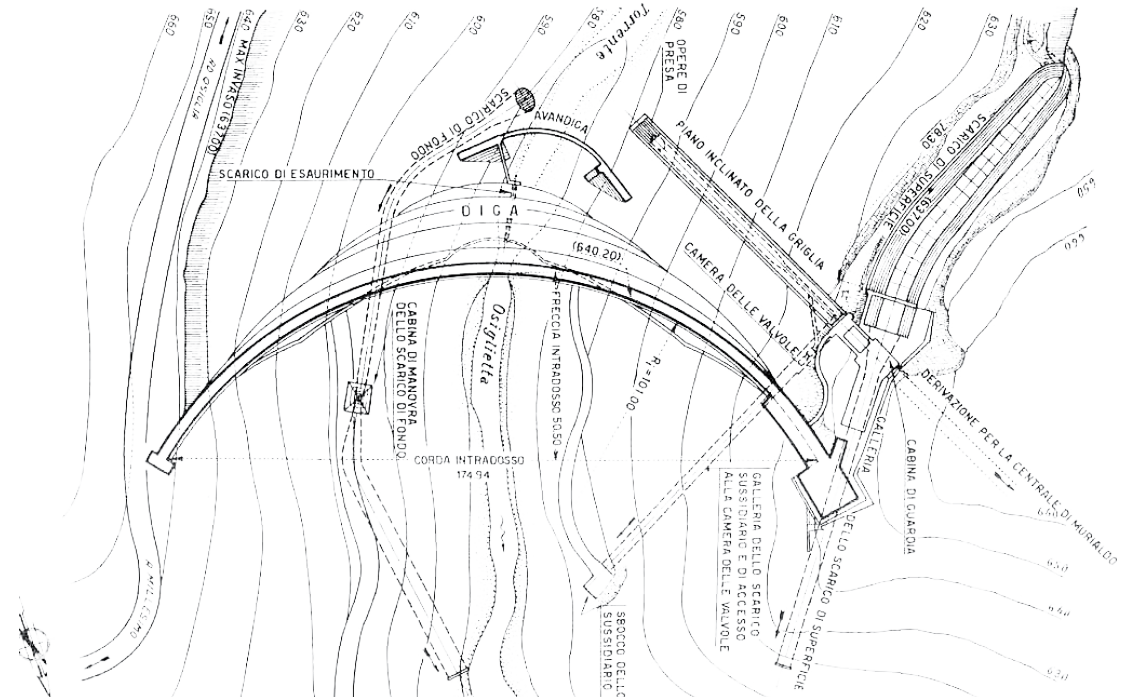
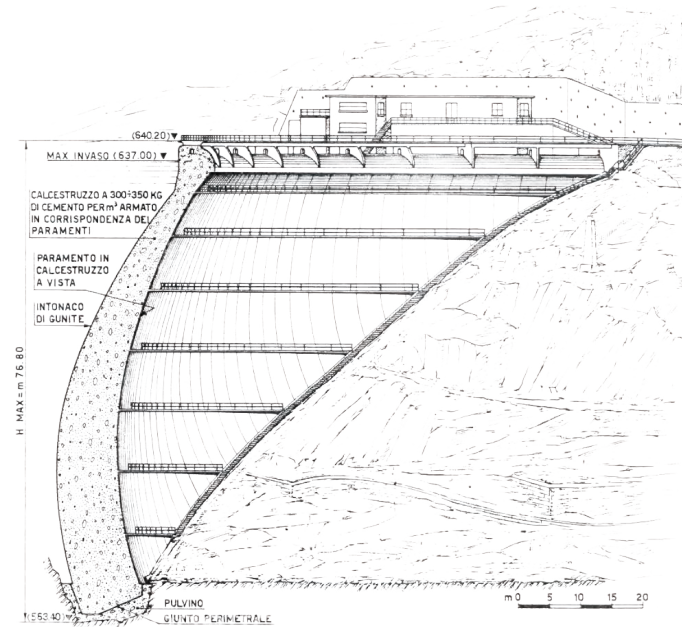


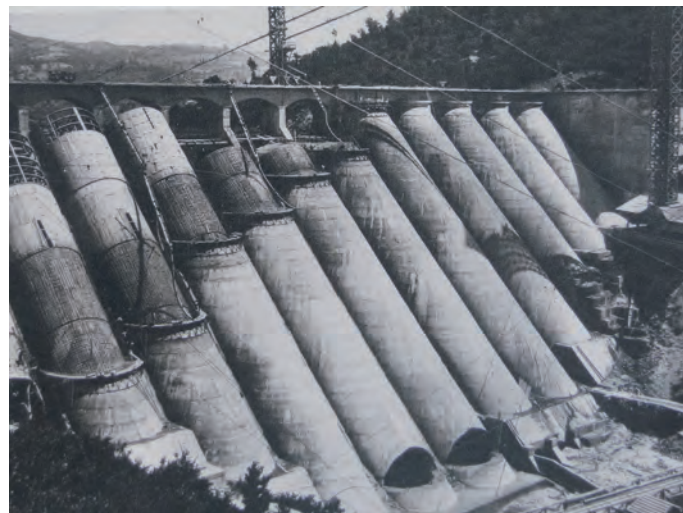
Fig. 15

Diga Ambiesta, Friuli-Venezia-Giulia;
tipologia a cupola, alta 57.00m, termi-
nata nel 1959
(PROG.D)

sbarrare e può variare da una sezione di cilindro (dighe ad arco) a uno spicchio di cupola. Possono raggiungere fattori di snellezza paragonabili al guscio di un uovo che le fa assimilare, per schema statico, a quello di una lastra curva. (es.: diga di Gusana sul Taloro in Sardegna, la diga del Vajont nel Veneto, la diga dell'Ambiesta sul torrente omonimo in provincia di Udine)



Diga di Osiglietta, Liguria; tipologia a cupola, alta 70.70m, terminata nel 1939 (PROG.D)



in alto a sinistra: Diga del Molato, Lombardia ; è una diga a gravità alleggerita con speroni in cls voltine in cls armato alta 55m terminata nel 1928.

(PROG.D)
in basso a sinistra: Diga del Molato in costruzione.

(WEB)
a destra: Diga di Santa Chiara, Sardegna, Italia; è una diga a gravità alleggerita con speroni in muratura e voltine in cls armato alta 70.5m terminata nel 1924.

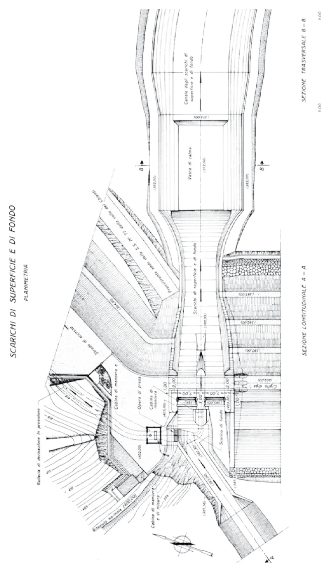
(RID.C, SAR.D.L.)

5.1.5 Dighe a volte o solette sostenute da contrafforti.

sono un caso del tutto analogo alle strutture appartenenti alla tipologia delle dighe a gravità alleggerita a lastre e speroni in quanto il funzionamento statico è basato sulla distinzione funzionale tra paramento a monte, chiamato a ricevere le spinte dell'invaso e speroni, chiamati a scaricare sulle fondazioni le forze risultanti. Se il funzionamento statico è paragonabile, differenze si hanno nella geometria generale della sezione trasversale influenzata dai materiali e dal metodo costruttivo: esse sperimentano la crescente necessità di una maggiore capacità di invaso attraverso metodi volti a minimizzare il materiale (in riferimento alle dighe a gravità massiccia), "ingegnerizzando" lo schema statico anche alla luce del sempre più crescente interesse per il cemento armato nel campo delle infrastrutture civili. Essenzialmente sono composte da un sistema ripetuto di speroni in calcestruzzo o muratura nella duplice funzione di scaricare a terra le forze e offrire l'imposta alla serie di volture calcestruzzo armato a monte. Intrinsecamente fragili, sono state presto abbandonate per la complessità costruttiva e per l'eccessiva eterogeneità delle parti che le rendevano più complesse da manutentare e meno sicure a lungo termine. Di fatto i pochi esempi rimasti in uso operano in sicurezza grazie all'abbassamento del livello massimo di invaso, come nel caso della diga di Santa Chiara sul Tirso in Sardegna (recentemente dismessa e in parte sommersa dalle acque di un nuovo invaso) e la diga del Molato sul Tidone tra la Lombardia e l'Emilia Romagna oggetto di un'intensa campagna di lavori volti al risanamento strutturale, funzionale ed estetico della struttura.

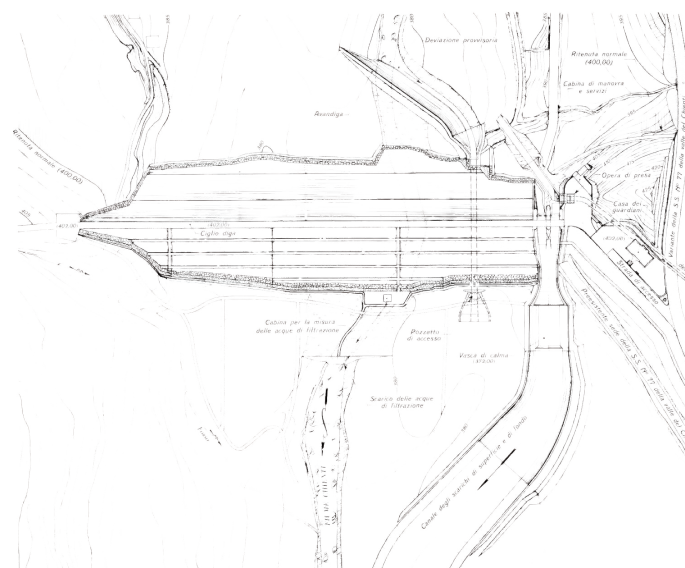
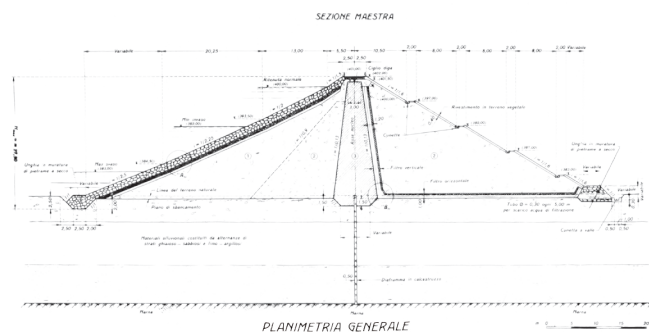
5.1.6 Dighe di materiali sciolti.

sono una tipologia che comprende dighe in terra, in muratura a secco e in pietrame (rock-fill o scogliere). Sempre più diffuse per via dei costi più contenuti, rappresentano l'unica

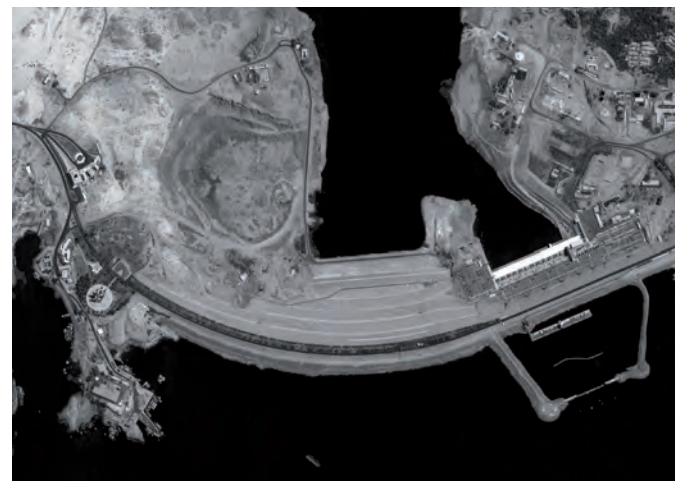


a sinistra: Diga della Polverina, Marche; alta 27.5m, terminata nel 1967 è una diga della tipologia in terra con nucleo di tenuta in argilla e rivestimento a monte in pietra. (MAN.I.H)
a destra in alto: Diga di Nurek, Tajikistan; alta 300m, terminata nel 1980, è una diga in terra zonata con ricoprimento in pietra sui paramenti. (RID.C)
a destra in basso: Diga di Assuan, Egitto; alta 111m, terminata nel 1970 è una diga in terra e pietra con nucleo in terra. (RID.C)

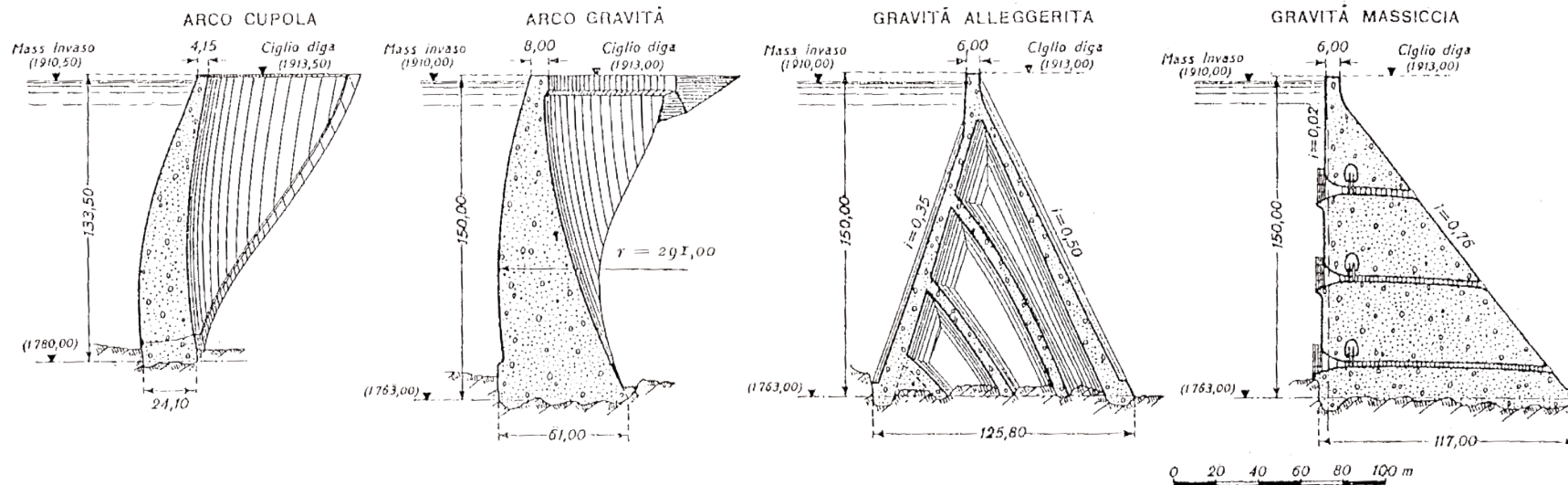
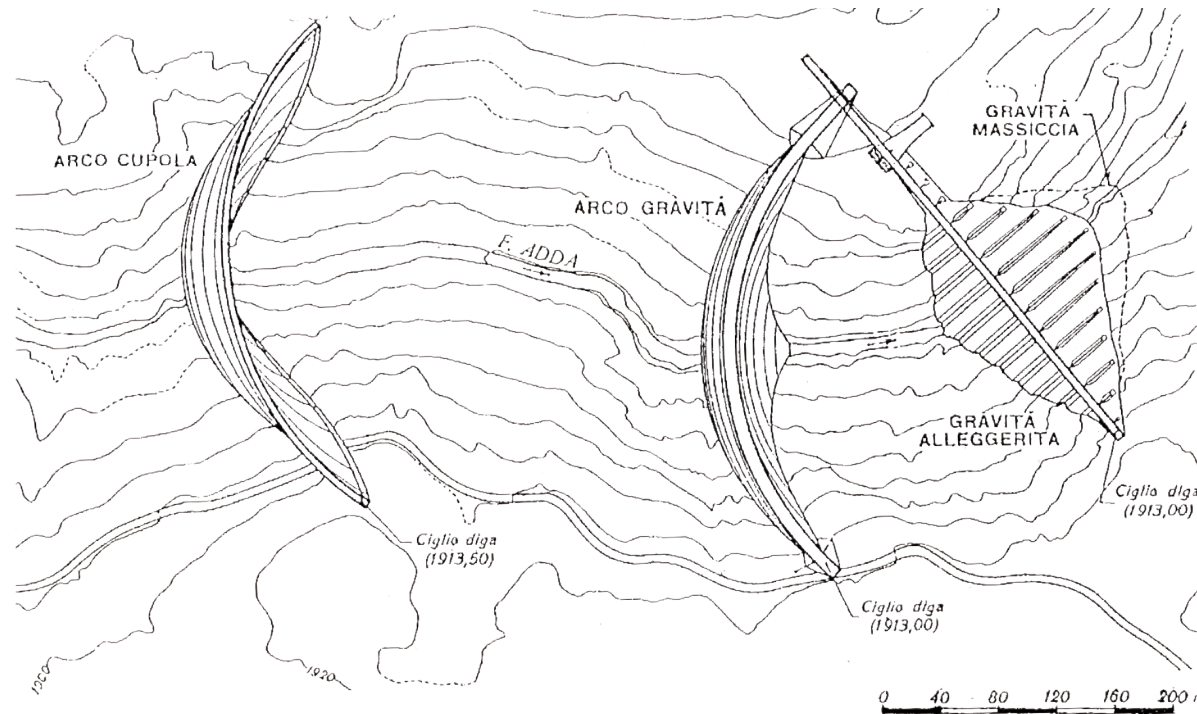
tipologia utilizzabile nei casi in cui il terreno di fondazione non sia compatibile con altri tipi di sbarramenti. In particolare il grado di incoerenza del sottofondo fa preferire l'uso di una diga in terra piuttosto che una diga in pietra. A prescindere dalla tipologia usata, le dighe di materiali sciolti vengono progettate e realizzate sul principio della non perfetta impermeabilizzazione che impone una linea di saturazione (ovvero la frontiera libera delle acque filtranti) sempre ricadente all'interno della base di appoggio. Altra caratteristica è l'impossibilità di tracimazione attraverso la medesi-



ma opera, evento che, per la particolare natura incoerente del materiale di costruzione, risulterebbe dannosa per la stabilità della diga stessa. Occorre quindi prevedere opportuni scarichi di fondo e sistemi di sfioro (es. sfioratori a calice) per il controllo degli eventi di piena. Appartiene a questa tipologia la diga più alta attualmente in esercizio: la diga di Nurek sul fiume Vakhish in Tadjikistan, una struttura mista in pietra e terra alta 300 metri. La diga in terra più nota è certamente quella di Assuan sul Nilo in Egitto alta 111 metri e lunga 3600 per 980 metri di larghezza alla base.



schema comparativo tra diverse tipologie di sbarramenti. (POLIMI)



5.2. DEGRADO DELLO SBARRAMENTO

Considerazioni generali. L'invecchiamento è definito come quella categoria di deterioramenti, che si sviluppano nel corso del tempo in condizioni di normale esercizio dell'opera e che, provocando l'alterazione delle proprietà dei materiali del complesso diga-fondazioni, possono portare a conseguenze negative per la sicurezza dell'opera in tempi più o meno lunghi.

Le cause delle alterazioni sono insite spesso nella concezione e costruzione dell'opera. Il tempo è il fattore che condiziona l'insorgere ed il progredire delle alterazioni.

Sono quindi esclusi dalla presente trattazione gli effetti conseguenti ad azioni impreviste od eccezionali (piene, sismi, ecc.); ed anche le situazioni, che pure costituiscono un aspetto dell'invecchiamento, in cui sia necessaria una revisione delle opere a causa dell'evoluzione dei criteri di dimensionamento, della modifica delle condizioni di carico, della variazione di normative dettate dall'Autorità.

L'invecchiamento comprende dunque i deterioramenti, che si verificano a partire da alcuni anni (convenzionalmente 5 anni) dopo il primo riempimento totale del serbatoio, e si estende a tutta la vita dell'opera, fino alla sua dismissione o demolizione.

Le proprietà dei materiali qui considerate sono quelle geometriche, fisiche (meccaniche, idrauliche, termiche) e chimiche (reattività, solubilità).

La conoscenza della formazione e dello sviluppo dei fenomeni di deterioramento è necessaria al fine di individuare il tipo di invecchiamento e il suo grado di sviluppo, di valutare le conseguenze sull'agibilità dell'opera e sulla sua sicurezza, infine per decidere l'adozione di provvedimenti di risanamento appropriati.

Per "processo di invecchiamento" si intende la catena di

cause ed effetti che portano come conseguenza al degrado e deterioramento delle proprietà delle opere.

Le "cause" sono i fattori che determinano le condizioni favorevoli per l'inizio e lo sviluppo nel tempo del processo e, per quanto detto, sono legate a condizioni locali (topografia, geologia, clima, caratteri delle acque, ecc.), al progetto (concezione, geometria, specifiche, ecc.), alla costruzione (qualità dei materiali, controllo, tecnologia di lavorazione, ecc.), alla gestione (esercizio dei livelli del serbatoio, procedure operative, prove periodiche, ecc.) ed alla manutenzione. Le cause inducono sulle opere certe "azioni" ed attraverso queste influiscono sulle loro proprietà. Le azioni sono i fatti od eventi che determinano l'insorgere e l'evoluzione del processo; possono essere interne alla struttura, ambientali, operative (per esempio rispettivamente: rigonfiamento del calcestruzzo, attacco chimico delle acque, energia della corrente liquida).

Le azioni producono "effetti" sia diretti (es. forze di volume e superficie, distribuzioni temperatura, filtrazioni) sia indiretti nel comportamento della struttura (es. sforzi, deformazioni, spostamenti).

Sono gli effetti a rivelare che un processo di invecchiamento è in atto.

Il perdurare delle azioni e degli effetti porta nel medio termine a conseguenze di carattere negative più o meno pronunciato (es. erosione, perdite, fessurazione); le conseguenze ultime possono essere di natura meccanica (es. ribaltamento, scivolamento, disintegrazione) o idraulica (es. sifonamento, svuotamento), ma negli schemi si è tenuto conto del fatto che, normalmente, interventi di risanamento vengono intrapresi prima.

I processi analizzati di seguito comprendono:

- dighe in calcestruzzo e pietrame-malta:
 - o processi relativi alla fondazione;
 - o processi relativi al corpo diga

questi schemi riguardano principalmente: perdita di tenuta, alterazione di proprietà fisico-chimiche;

- dighe in materiali sciolti:
 - o processi relativi alla fondazione;
 - o processi relativi al rilevato;

riguardano principalmente: flusso di filtrazione, assestamenti, alterazione di proprietà fisico-chimiche;

- opere annesse:
- processi riguardanti l'energia della corrente liquida.

5.2.1 dighe in calcestruzzo e in muratura in pietrame e malta

processi relativi alla fondazione / deterioramento della fondazione per carichi alternati.

Variazioni del livello di invaso sono causa di sforzi alternati nella fondazione e di variazioni di gradiente idraulico nei giunti della roccia a monte. Alle quote di invaso più elevate, gli sforzi portano a deformazioni permanenti della fondazione, movimento dei giunti della roccia ed inizio di propagazione di fessure; il processo può essere accompagnato ed amplificato dall'alternanza di fasi di imbibizione e prosciugamento del materiale di riempimento dei giunti.

In genere la roccia è abbastanza resistente da consentire che la struttura adotti un nuovo stato di equilibrio conseguente alle deformazioni permanenti che si possono verificare dopo parecchi anni di servizio. Tuttavia in alcuni casi può persistere nel tempo una evoluzione irreversibile, come pure questa può manifestarsi dopo un lungo periodo di reversibilità.

Questo scenario si presenta principalmente su strutture sottili, fortemente sollecitate e con elevati gradienti idraulici, e su strutture a sbarramento di valli assai larghe, con elevato rapporto lunghezza/ altezza.

Il carattere irreversibile del fenomeno è spesso associato ad un gradiente idraulico caratterizzato da ampie fluttuazioni;

i movimenti dei giunti diventano significativi e si verifica dilavamento del loro materiale di riempimento; ciò causa deformazione permanente della fondazione o aumento dell'ampiezza dei movimenti reversibili. I relativi effetti sono:

- a monte, i giunti roccia tendono ad aprirsi sia per lo stato di sforzo, sia per la pressione idrica pari al livello di invaso;
- a valle, la roccia è assoggettata ad elevata compressione ed a sforzi di taglio, specialmente nel caso di dighe ubicate in valli larghe.

Tali variazioni di natura strutturale sono accompagnate da incrementi rapidi ed importanti della portata di filtrazione e della sotto-pressione. Ciò può portare a manifestazioni rilevanti di sifonamento; ad instabilità di masse di roccia delimitate da piani di discontinuità o faglie, a seguito di spinte di sottopressione; a redistribuzione di sforzi nella fondazione, con possibili rotture locali, in particolare per sforzi di taglio.

Nel caso di dighe ad arco, è ammissibile che la parte a monte della fondazione rimanga soggetta a compressione nulla ed esposta alla piena pressione idrica dell'invaso; tuttavia ciò può portare a monte alla rottura dello schermo di iniezioni ed a filtrazioni di entità non accettabile, ed a valle ad eccessivi sforzi di taglio, con impedimento della funzione di drenaggio e conseguente aumento delle sottopressioni.

aumento del livello di falda nelle spalle. Nel caso di fondazione costituita da rocce permeabili (arenarie, calcari) o da rocce caratterizzate da giunti a geometria e riempimento particolari, il riempimento del serbatoio determina la formazione di falde nelle sponde ed attorno alla fondazione della diga, ovvero l'aumento del livello di falda già esistente.

Possono passare parecchi anni, fino a qualche decennio, prima che il fenomeno si stabilizzi; limitato è l'effetto del sistema drenante della diga, tanto più se questo è di modesta

estensione (es. fori corti).

Il nuovo livello idrico può determinare:

- aumento di sottopressione a monte e compressione a valle. con effetti di apertura dei giunti verticali di costruzione e conseguente tendenza ad instabilità della struttura;
- aumento di spinta nelle sponde in direzione del serbatoio e modifica dell'equilibrio di masse di roccia, in dipendenza della natura e geometria di faglie e giunti della roccia;
- forte gradiente idraulico sullo schermo e perdite della sua tenuta.

dissoluzione o erosione. Il fenomeno di dissoluzione si manifesta in rocce nelle quali lo scheletro litico o il materiale di riempimento dei giunti sono chimicamente solubili a seguito dell'azione aggressiva delle acque del serbatoio ed anche delle sponde. Il venir meno di materiale solido apre la via ad un aumento del flusso di filtrazione, ed il fenomeno confluisce in quello di erosione.

Il fenomeno di erosione dipende dalla possibilità che l'acqua provochi alterazioni fisiche nella roccia a seguito della natura di queste (gesso, argilla, calcare) o della presenza di disturbi geologici (faglie, milonite) o di cavità e carsismi, con formazione di sostanze erodibili e dilavabili.

Ne consegue aumento del flusso di filtrazione ed allargamento delle vie; ciò porta al cedimento della massa rocciosa sovrastante ed a stati di sforzo inammissibili nella struttura. Ne conseguono deformazione, fessurazione e sconnessione della struttura fino alla condizione estrema della sua rovina. I due fenomeni sono facilitati da insufficienza o perdita di efficienza dello schermo di iniezioni e del sistema di drenaggio.

deterioramento dello schermo di iniezioni. L'efficienza dello schermo di tenuta, realizzato mediante iniezione di materiali entro la fondazione diga, dipende dalle sue ca-

ratteristiche (dimensioni, qualità del materiale, procedura di iniezione) in relazione alle caratteristiche della roccia (idriche, geologiche, meccaniche, chimico-fisiche).

Ove la realizzazione dello schermo sia stata inadeguata o il medesimo abbia sofferto deterioramento nel tempo, nelle discontinuità sottostanti la diga si instaura un regime di filtrazione difforme dalla normalità, esso presenta pressioni elevate immediatamente a valle dello schermo e flusso di filtrazione in aumento; ciò può determinare fuoriuscita di materiali chimici adottati nella iniezione attraverso le fessure delle rocce ed il sistema di drenaggio della diga.

Azioni di degrado sullo schermo sono comunque esercitate da:

- soluzione o erosione del materiale di iniezione;
- sforzi e deformazioni nella fondazione, dovuti alle variazioni di livello nel serbatoio.

Provocano movimento dei giunti roccia, rottura della stessa e dello schermo; nel caso di dighe ad arco, si può avere rottura della parte superiore dello schermo, il sistema di drenaggio può allora entrare in contatto diretto con l'acqua del serbatoio.

In ogni caso, la conseguenza è l'aumento del flusso di filtrazione e di perdita dei dreni; perdite a valle diga possono verificarsi ed assumere una certa rilevanza economica.

Instabilità di masse di roccia e della struttura stessa sono le situazioni che possono verificarsi a lungo termine.

deterioramento della rete di drenaggio. Il deterioramento della rete di fori di drenaggio di una diga può avvenire secondo tre principali vie:

può avvenire che particelle di argilla o limo siano trasportate dalle acque di falda o filtrazione e decantino nei fori; che i prodotti solubili già presenti nelle acque oppure derivanti dall'attacco del calcestruzzo e cemento di iniezione, precipitino in carbonati insolubili all'interno del sistema drenante; che ioni ferro presenti nelle acque precipitino perché ossida-

ti. In tali casi si ha formazione di depositi al fondo dei fori ed ostruzioni dei corrispondenti meati della roccia, attraverso i quali scorre la filtrazione.

Segue un aumento della pressione idrica in fondazione, di questo fenomeno tuttavia spesso non si è in grado di rendersi conto per ostruzione anche del complesso di misura, salvo l'affioramento delle acque di filtrazione a valle diga. L'instabilità della struttura e di masse di roccia a valle sono la diretta conseguenza.

Passano comunque parecchi anni prima che si verifichi l'ostruzione; in climi freddi, la formazione di un tappo di ghiaccio entro il foro può comportare il medesimo effetto di cui sopra. L'azione del gelo può inoltre determinare dislocazione e rottura di tubi di drenaggio ubicati sotto lastroni corrodanti opere annesse (vasche di smorzamento, scivolo di sfioratori), provocando il sollevamento di questi e consentendo l'inizio di processi di erosione e sifonamento; una progettazione inadeguata, l'impiego di materiali (tubi, filtri) non affidabili, esecuzione di scadente qualità e mancata pulizia dei fori portano ad un regime di filtrazione alterato rispetto a quello di progetto e conseguentemente a pressioni idriche in fondazione superiori rispetto al previsto.

È anche da segnalare che il deterioramento della roccia e la possibile rottura di schermo portano ad un cortocircuito delle acque del serbatoio sui drenaggi, la cui portata può aumentare rapidamente fino a valori non accettabili.

Del sistema di drenaggio possono far parte gallerie ricavate entro la fondazione, che peraltro possono considerarsi casi particolari.

processi relativi al corpo diga

reazione alcali-aggregati. Deterioramento del calcestruzzo può verificarsi a causa del ri-gonfiamento osmotico della parte gelatinosa Bilico-alcalina che si forma tra gli alcali (Na_2O e K_2O) liberati dall'idratazione del cemento ed alcune rocce silicee e minerali costituenti gli aggregati. Anche

gli alcali provenienti dagli aggregati possono risultare deleteriamente reattivi.

I parametri chiave regolanti la RAA sono:

- a) tasso di umidità del calcestruzzo; esso è variabile: massimo sul parametro monte; vario nel corpo diga, in dipendenza della circolazione dell'acqua proveniente da monte, ma anche dalla fondazione;
- b) diffusione dell'alcali nella pasta di cemento;
- c) reattività della silice contenuta nell'aggregato.

Lo sviluppo della reazione è eterogeneo. Si verificano:

- sforzi di compressione nella direzione confinata, che è quella sp. destra - sp. sinistra su dighe rettilinee a gravità; su dighe arcuate si ha invece una certa libertà di deformazione;
- rigonfiamento con sollevamento del coronamento anche di parecchi mm/anno e suo spostamento trasversale (di norma verso monte);
- conseguentemente possono comparire fessurazioni sotto forma di ragnatela sui paramenti; inoltre su dighe rettilinee, fessure orizzontali sotto coronamento sui paramenti di valle e di monte, e più in basso sul paramento di monte; su dighe arcuate, fessure orizzontali al piede valle, che essendo vincolato alla roccia non può seguire la deformazione;
- sulla parete interna dei pozzi e canne di drenaggio, nel piano diametrale coincidente con quello di compressione destra-sinistra, si formano elevati sforzi di trazione, e conseguentemente fessure verticali, peraltro non molto profonde.

Il fenomeno è irreversibile e non si arresta spontaneamente; quale intervento difensivo è adottato, con le dovute cautele, il rivestimento del paramento di monte; si ha qualche esempio di intagli realizzati nel corpo diga al fine di conferire una capacità supplementare di deformazione.

Alcune conseguenze non sono del tutto negative:

- le fessure alte sul paramento di valle sono drenanti e ubicate in zona di resistenza generalmente sovrabbondante; la reazione laterale generale è fortemente stabilizzatrice; su dighe arcuate, compare un effetto volta stabilizzatore.

Conseguenze negative sono invece:

- eccessiva componente tangenziale degli sforzi di confinamento, se le sponde sono a debole pendenza; quindi tendenza della struttura a scivolare sulla fondazione;
- tendenza della struttura a scollamento e sollevamento dalla fondazione, dove il profilo della sponda presenta convessità verso l'alto;
- deformazione del calcestruzzo supportante o confinante a paratoie, specie se queste equipaggiano scarichi di superficie; conseguenze negative se l'orientamento delle fessure è sfavorevole e se gli sforzi nelle zone non fessurate sono troppo elevati.

attacco di acque aggressive. Le caratteristiche delle acque variano durante l'anno; la maggiore concentrazione di sali presenti nelle acque si ha nella stagione asciutta, ma determinante ai fini dell'attacco è il ricambio di acqua nel serbatoio, conseguente al bilancio apporti-utilizzazione. Acque aggressive possono peraltro provenire anche dalla fondazione.

L'attacco può svilupparsi anzitutto sul paramento monte, nelle aree esposte a fluttuazione del livello di invaso; nella parte più bassa della diga dove il differenziale di pressione è più elevato; indi su fessure, giunti deteriorati, passaggi d'acqua, riprese di getto; sulle zone di calcestruzzo debole o poroso, nelle zone di concentrazione delle armature.

L'attacco è facilitato dall'elevata permeabilità di calcestruzzo e malta riscontrabile su vecchie dighe.

Il flusso d'acqua da monte rimuove i prodotti dell'attacco, il ricambio di acqua fresca è in grado di rinnovarli.

I calcestruzzi e malte più esposte sono quelli di calce idrau-

lica e di cemento Portland.

L'attacco di acque pure o contenenti solfati conduce a perdita di resistenza e peso del calcestruzzo e malta, ma in genere la diga è abbastanza massiva e può sopportare tali perdite. Sottopressioni si formano su piani di ripresa nel corpo diga. La perdita di peso e l'aumento di sottospinte possono risultare pregiudizievoli della stabilità nel caso di dighe a gravità. Altra conseguenza è la corrosione di armature metalliche lasciate scoperte.

Acque Pure

Hanno basso contenuto di sali disciolti e presenza di anidride carbonica CO₂ (pH <7), e sono tipiche di zone di montagna, dove si raccoglie acqua di neve o ghiaccio.

L'azione aggressiva consiste nelle dissoluzioni dei componenti della pasta di cemento, specie dell'idrossido Ca(OH)₂ che è il più solubile. Questo reagisce con CO₂ presente nell'acqua o nell'atmosfera e dà carbonato CaCO₃ insolubile. La parte di CO₂ in eccesso ai fini della reazione, si combina con l'acqua e dà il bicarbonato

Ca(HCO₃)₂ altamente solubile e facilmente removibile.

I due processi anzidetti portano anche separatamente a decomposizione dei silicati e alluminati di calcio presenti nella pasta con formazione di ulteriore Ca(OH)₂.

Tipici sono i depositi ed efflorescenze di carbonato CaCO₃ lasciati dall'acqua lungo i suoi passaggi (fessure, giunti, riprese) e nella sua venuta a giorno; per contro, tali depositi possono sviluppare azione protettiva, bloccando le vie di propagazione dell'attacco.

Anche acque neutre (pH=7) possono causare gli stessi danni quando il legante è debole ed è costituito da calce o miscele di vecchio tipo a base di cemento Portland.

Le conseguenze negative dell'attacco di acque pure sono: perdita di resistenza del calcestruzzo o malta; aumento del flusso di filtrazione e di sottospinta; ridotta coesione su piani interni; effetti idraulici negativi.

Acque Contendenti Solfati

Sotto l'attacco dei solfati, si sviluppa il seguente processo:

- trasformazione dell'idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente nella pasta di cemento in solfato di calcio in cristalli; trasformazione degli alluminati e ferriti idratati in solfo-alluminati e solfoferriti. Tutti questi prodotti sono insolubili ed espansivi; le reazioni comportano rigonfiamento, che è la causa principale della perdita pressoché totale delle caratteristiche meccaniche del materiale e della conseguente disintegrazione dell'impasto nel giro anche di qualche mese o anno.
- quando è presente solfato di magnesio (acque marine), oltre che nella trasformazione precedente, esso reagisce col silicato di calcio ed abbassa il pH della pasta innescando un processo di dissoluzione dell'idrossido di calcio simile al caso delle acque pure. Si ha quindi decomposizione dei silicati di calce idrati e conseguente perdita di resistenza.

L'azione dei solfati dipende dalla loro concentrazione, dalle condizioni particolari di sito e di origine dei solfati.

Legante di elevata alcalinità favorisce l'attacco dei solfati. Quando i prodotti risultanti sono dilavabili dal flusso d'acqua, si ha un aumento della permeabilità del calcestruzzo e malta.

reazioni producenti contrazione, ritiro, fluage. Fenomeni interni alla massa del calcestruzzo sono causa di contrazione del medesimo. In genere sono importanti solo nei primi anni di vita della diga; questo scenario riguarda i casi in cui la contrazione continua per anni e influisce sulla struttura in modo significativo. Comprendono:

- reazioni chimiche e fisico-chimiche interne.
- scorrimento viscoso (fluage, creep): è importante solo sotto sforzi di compressione elevati e prolungati.
- ritiro: si manifesta per un periodo di qualche anno. In qualche caso però può durare ancora una o più deci-

ne di anni. Gli effetti della contrazione sono in genere meno importanti sulle dighe a gravità che su dighe ad arco, archi multipli, speroni. La contrazione del calcestruzzo ha effetti simili a quelli di un calo di temperatura.

dighe ad arco

La contrazione per ritiro produce accorciamento degli archi. I punti di chiave subiscono uno spostamento progressivo irreversibile verso valle, con valore massimo al coronamento, che è pure sommità della mensola centrale. Si ha un basculamento delle mensole più alte verso valle, la porzione di monte della relativa fondazione viene a trovarsi scaricata; si verifica sollevamento della parte di monte del piede diga, e scollamento della fondazione su aree anche estese.

L'effetto mensola è aumentato dalla diminuzione dell'effetto arco nella parte bassa della diga. Si hanno le seguenti conseguenze:

- meccaniche: maggiori sollecitazioni di compressione sono esercitate sulla parte a valle della fondazione, la reazione d'appoggio tende a spostarsi a valle, a prendere una direzione meno inclinata rispetto al piano di fondazione e aumenta in valore assoluto. Si ha quindi un'importante modifica delle condizioni d'appoggio della diga;
- idrauliche: nella zona sollevata di monte penetra la pressione idrostatica dell'invaso. La zona scollata può progredire fino ad interessare direttamente i drenaggi. Oltre all'aumento dei gradienti idraulici si può quindi determinare un brusco aumento delle perdite dei drenaggi con punte massime quando la diga si trova nella posizione più a valle (serbatoio pieno, stagione fredda).

La stabilità non è forzatamente messa in discussione, tanto più che le maggiori dighe sono progettate per sopportare il diagramma di totale sottospinta; ma si verificano inconvenienti pratici importanti.

Sotto il forte gradiente idraulico che si viene ad instaurare, si può verificare sifonamento di materiale di riempimento delle discontinuità della roccia e deterioramento dello schermo.

dighe ad archi multipli

Hanno comportamento alquanto diverso dalle precedenti causa l'inclinazione della generatrice degli archi della volta (in genere) e la loro elevata altezza rispetto alla corda.

Poiché la fondazione degli archi è rigidamente vincolata, nelle sue vicinanze l'effetto arco è molto ridotto.

La tendenza a scollamento della fondazione è meno marcata.

Si ha piuttosto lo sviluppo di una certa fessurazione degli archi in fondazione, in dipendenza delle situazioni geometriche locali. Tali fessure di norma non mettono in discussione la stabilità.

dighe a speroni ed a vani interni

Nella parte inferiore, causa i legami a geometria variabile con la fondazione, i singoli speroni possono non adattarsi alla contrazione del calcestruzzo; il ritiro determina in effetti fessurazioni alla loro base.

Le fessure hanno andamento sub-verticale a partire dal piano di fondazione, si sviluppano sulle facce degli speroni o gambi e per le dighe a vani interni anche sulle facce di monte e di valle.

Le fessure sono aperte in basso, tendono a chiudere nella loro parte alta; quelle sugli speroni o gambi possono essere passanti.

L'apertura è stabilizzata in genere dopo alcuni anni dalla costruzione, le oscillazioni successive sono dovute a variazioni termiche. Le fessure sono giunti di costruzione naturali, auto-generati nel periodo di dissipazione del calore di idratazione e di sviluppo del ritiro. Di norma l'applicazione del carico idrico determina deformazioni dello sperone o gambo che riducono l'apertura della fessura e ne stabilizzano la evoluzione.

La nocività delle fessure dipende dalla loro geometria e dal fatto che arrivino a tagliare completamente lo sperone.

dighe a gravità

Una fessurazione tipo quella degli speroni può svilupparsi all'interno del corpo diga a partire dal piano di fondazione. L'apprezzamento all'esterno di tale stato fessurativo è però di fatto impossibile essendo questa diga priva, per definizione, di vani interni nei quali osservare il fenomeno.

aumento della permeabilità

L'alterazione più importante che la pasta cementizia può subire per azioni dell'ambiente esterno è quella della permeabilità, in quanto facilita la penetrazione di agenti dannosi dentro il corpo diga.

L'alterazione è più marcata sulle strutture:

- costituite da materiali inadeguati e/o messi in opera con tecnologie primitive
- sottili
- ubicate in zone a condizioni climatiche severe
- soggette ad attacco di acque aggressive.

La permeabilità intrinseca di calcestruzzo e malta dipende principalmente da:

- caratteristiche dell'impasto; compattezza, tipo e quantità di cemento, granulometria degli inerti, rapporto acqua/cemento, impiego di additivi
- metodo di posa in opera e compattamento
- modalità di maturazione.

Vecchie dighe presentano permeabilità più elevata.

La propagazione di acqua e gas entro calcestruzzo e malta è possibile se i pori sono superiori ad una dimensione minima (10⁻⁶ m) e se sono tra loro comunicanti.

Il meccanismo di propagazione è regolato come segue:

si ha diffusione entro i pori collegati tra loro, e successivamente trasporto nella rete di pori;

- assorbimento capillare o a pressione idraulica.

Velocità ed entità dell'alterazione della permeabilità dipen-

dono da tale meccanismo.

L'aumento della permeabilità è a sua volta all'origine di processi di degrado dovuti a:

- azione di agenti aggressivi esterni
- fenomeni di alterazione fisica, quale gelo/disgelo

Questi fatti a loro volta determinano ulteriore aumento della permeabilità

La permeabilità globale della massa muraria dipende peraltro da:

- permeabilità intrinseca
- presenza di fessure
- alveolature e porosità, difetti dei giunti, riprese di getto ecc... La maggior parte delle filtrazioni riscontrabili è dovuta alle situazioni elencate nelle due ultime voci.

A seguito dell'aumento della permeabilità, filtrazioni si riscontrano sul paramento valle, specie di dighe a gravità in pietrame e malta e sull'intradosso di archi sottili in corrispondenza di riprese di getto.

Sui piani di ripresa di getto si formano forze di sottospinta che riducono la stabilità.

degrado per variazioni della temperatura esterna

Sui paramenti di dighe, emersi ed esposti a forte insolazione o in zone di clima freddo, si verificano salti termici elevati, pulsanti con frequenza giornaliera.

La temperatura del nucleo interno del corpo di una diga in esercizio è prossima a quella media annuale dell'ambiente esterno.

Tra gli strati superficiali di calcestruzzo ed il nucleo interno del corpo diga si stabilisce un gradiente termico elevato.

Poiché in fase di raffreddamento, la contrazione della pasta cementizia è maggiore di quella dell'aggregato ed è da questo impedita, la pasta risulta tesa. Anche la differenza di temperatura tra strato superficiale e nucleo interno del corpo diga induce sforzi di compressione nel secondo e sforzi di trazione nel primo.

L'inverso accade in fase di riscaldamento.

Si ha dunque, in particolare nello strato superficiale, alternanza di sforzi trazione/compressione.

Si forma fessurazione in dipendenza delle caratteristiche locali meccaniche (resistenza a trazione) e deformative (modulo elastico, fluage). L'effetto di scorrimento viscoso riduce gli sforzi di trazione.

Le fessure sono capillari, profonde pochi centimetri; possono nascere già nel primo periodo di vita del calcestruzzo e malta, favorite dal ritiro.

Si sviluppano sulla superficie del calcestruzzo con andamento ramificato, specie dove sono presenti debolezze del materiale; secondo i letti di malta e contornando le pietre, nel caso della muratura in pietrame e malta.

Su archi sottili, si ha piuttosto la tendenza ad apertura delle riprese di getto, con conseguente possibilità di travernazioni a valle.

L'azione di carichi esterni può creare concentrazione di tensioni in corrispondenza delle fessure, e favorirne la penetrazione verso l'interno diga.

Le microfessure non rappresentano pericolo statico diretto. Costituiscono però una via di più facile penetrazione dell'acqua e relativi agenti aggressivi disciolti, e facilitano l'azione disgregante di gelo/disgelo.

perdita di resistenza causa azioni permanenti o ripetute

L'inadeguatezza di alcune dighe a sopportare le azioni determinate da normali condizioni di esercizio (carico idrico e temperatura) si manifesta tramite fessurazione. Lo sviluppo di fessure comincia talvolta già durante la costruzione, ma l'influenza sul comportamento della diga può risultare significativa anche dopo parecchi anni.

Riempimento ed esercizio del serbatoio comportano un'azione permanente e ripetuta del carico idrico; essa si traduce in campi di pressione e forze che sollecitano la struttura e la

sua fondazione.

La temperatura influenza il comportamento della diga in dipendenza del tipo di sbarramento, delle caratteristiche termiche dei materiali e delle variazioni della stessa temperatura ambiente.

dighe a gravità.

Le variazioni del livello d'invaso sono la principale causa che produce ripetute variazioni di spinta idrostatica e sottospinta, che sono tra le forze più importanti agenti su una diga a gravità.

Quando la sottopressione o pressione interstiziale supera le sollecitazioni indotte dai pesi verticali, si sviluppano sforzi di trazione sul paramento monte. Ove la resistenza a trazione è superata ed in assenza di appropriate armature, si formano fessure orizzontali nel calcestruzzo o si aprono i giunti tra le pietre nelle muratura.

La fessura procede gradualmente verso l'interno del corpo diga e porta a perdite anche elevate sul paramento di valle ed al relativo piede diga.

Nei casi registrati, la ragione di questo tipo di deterioramento è stata l'inadeguatezza del vecchio progetto, che non ha tenuto conto dell'effetto delle sottopressioni e pressioni interstiziali nel corpo diga.

dighe a vani interni ed a speroni.

L'applicazione del carico idrico stabilizza l'evoluzione delle fessure sub-verticali caratteristiche di questo tipo di dighe; le variazioni termiche possono invece determinarne un progresso.

Il ciclo termico stagionale causa sul piano orizzontale dello sperone o gambo, delle sollecitazioni cicliche di flessione bi-assiale, in forza della differenza di temperatura tra superfici opposte degli speroni e tra facce esterne-interne dei vani.

La somma di tali sollecitazioni con quelle per carichi permanenti dà luogo ad elevate sollecitazioni orizzontali di trazione sulle pareti di speroni e vani.

Tali sollecitazioni, variando, inducono fenomeni di fatica sulle labbra ed apici delle fessure, e concentrazione di tensioni; sono importanti, poiché restano invariate nel loro ciclo anche dopo avvenuta la fessurazione.

Le fessure subiscono alternanza di apertura-chiusura, piccoli scorrimenti, quindi usura e logorio.

Lungo la fessura si può mobilitare un'elevata resistenza tangenziale, che è sufficiente a consentire una distribuzione di sforzi poco diversa da quella di una struttura integra.

La struttura a speroni è quindi da ritenere stabile sotto i carichi permanenti.

La struttura a vano interno, quando la fessurazione la divide in 2 semi-elementi, gode delle medesime condizioni statiche della struttura integra, salvo per quanto riguarda le azioni sismiche.

Fattori determinanti per lo stato fessurativo sono: qualità del calcestruzzo ed ubicazione in zona di elevate variazioni termiche stagionali.

dighe a volta.

L'inadeguatezza di dighe a volta a sopportare azioni ripetute porta ad un tipo di degrado che dà luogo ad una caratteristica fessurazione evolutiva.

Il degrado è sempre dovuto a:

- inadeguatezza del progetto, per ipotesi di calcolo poco realistiche relativamente alla fondazione o perché la struttura è troppo ardita; costruzione carente di buona pratica ingegneristica;
- insufficiente qualità del calcestruzzo, più spesso riprese di getto malamente saldate.

Fessure possono peraltro comparire anche su dighe ben progettate e ben costruite o essere presenti su dighe, senza che ciò costituisca reale inconveniente per la struttura.

La configurazione delle fessure può essere varia:

fessure orizzontali, in corrispondenza di riprese di getto male saldate fessure in prossimità delle imposte e normali a

queste: compaiono presto e non hanno tendenza ad evolvere fessure con andamento casuale

fessure in zone molto iperstatiche o in corrispondenza del confine tra zone di marcata differenza di deformabilità fessure ubicate in corrispondenza della separazione tra zone di differente inerzia e marcata differenza di deformabilità fessure delimitanti zone dotate di armature.

Spesso l'apertura delle fessure presenta andamento che tende a stabilizzarsi raggiungendo nel tempo una posizione di relativo bi-lanciamento, senza però che si possa escludere un ulteriore progresso.

In caso di sviluppo della fessurazione, il rischio da temere è quello di ritrovarsi con una porzione della diga separata dal resto, e in condizioni tali che la sua stabilità non è assicurata, ciò dipende dalle caratteristiche geometriche delle fessure; importante è quindi un'esatta individuazione delle fessure.

Quando le fessure sono passanti, danno luogo a filtrazioni con possibile attacco di acque aggressive.

dighe a volte multiple.

L'andamento delle isostatiche di compressione a carico idrostatico massimo (per il quale è stato dimensionato) procede entro il contrafforte da monte verso la fondazione secondo linee arcuate. Le tensioni normali a tali isostatiche sono minime, e possono risultare di trazione specie nella zona bassa del contrafforte.

A massimo livello d'invaso, una rilevante spinta idrostatica si concentra sul contrafforte che è sottile; per livelli minori, cambiano entità e direzione della forza risultante agente sullo sperone, e conseguenti sollecitazioni. Si verifica un flusso di tensioni periodicamente variabili entro una struttura sottile.

Per superamento della resistenza a trazione, si formano nel tempo fessure alla base dei contrafforti; esse sono in genere inclinate verso monte; quando il materiale è indebolito da altri deterioramenti vi è la possibilità che le fessure si esten-

dano col tempo verso l'alto e che possano compromettere la situazione statica del contrafforte.

Zone staticamente pericolose possono risultare quelle di raccordo tra espansione a monte e gambo del contrafforte. Assestamenti e particolari comportamenti della roccia di fondazione possono incrementare il fenomeno di fessurazione.

azione del gelo

I cicli naturali di gelo-disgelo producono deterioramento o meno se si presentano opportune combinazioni di fattori interni ed esterni, che sono:

le proprietà di calcestruzzo e malta:

- porosità, sia della pasta di cemento, che dell'aggregato; è il principale fattore
- permeabilità
- resistenza meccanica
- variabilità del modulo elastico nel tempo
- caratteristiche termiche
- qualità dell'aggregato
- modalità di posa in opera
- le condizioni ambientali cui la struttura è esposta:
- posizione geografica e altitudine della località
- temperature minima-massima raggiunte durante il ciclo; durata del ciclo; gradiente di raffreddamento
- contenuto di umidità del calcestruzzo al momento della formazione del ghiaccio
- azione erosiva del campo di ghiaccio

È determinante la struttura, tipo, dimensione e distribuzione dei pori. Il congelamento dell'acqua avviene soprattutto nei pori capillari a temperatura molto basse, che dipendono dalla dimensione dei pori.

Il calcestruzzo è più soggetto ai danni del gelo quando la sua umidità è elevata e raggiunge la saturazione; il passaggio da acqua a ghiaccio comporta aumento di volume; ciò causa dilatazione del materiale oltre il suo limite elastico, soven-

te fessurazione superficiale fino a completa disintegrazione della porzione di calcestruzzo interessata dal fenomeno.

Sul paramento di monte, il deterioramento è in genere limitato alla zona di oscillazione del livello d'invaso; può verificarsi anche nella parte alta, per cattiva qualità dell'aggregato. Su paramenti in pietrame-malta si verifica allentamento e distacco di pietre. Sensibili al deterioramento sono spigoli, i giunti di contrazione e le riprese di getto. Nella parte bassa di paramenti di valle soggetti a travenazione importante, il calcestruzzo può essere in permanenza totalmente saturo, e vi si può verificare distacco di placche e squame.

Le conseguenze dell'azione del gelo sulla sicurezza dipendono dalla massività della struttura.

degrado del sistema di tenuta dei giunti strutturali

Il degrado preminente sui giunti verticali di costruzione e sui giunti perimetrali di dighe ed arco coincide con il deterioramento del sistema di tenuta.

Il sistema di tenuta è genericamente costituito da un elemento nastroforme di tenuta (waterstop) di norma annegato nel calcestruzzo a cavallo del giunto ed a conveniente distanza dal paramento di monte, e da un eventuale travetto copri-giunto in calcestruzzo, disposto a filo del paramento e poggiante su feltri.

La porzione di calcestruzzo compresa tra waterstop e paramento di monte ha comportamento strutturale di mensola.

La mensola ed il travetto, già realizzati in condizioni di getto difficoltoso, sono soggetti ad azioni esterne (elevate variazioni di temperatura e umidità, gelo e disgelo, lastra di ghiaccio nel serbatoio) che determinano il loro deterioramento. Ne segue la perdita di efficienza dei materiali di appoggio e sigillanti ed anche l'allentamento del waterstop.

I due spigoli a monte dei conci adiacenti al giunto possono contrastare uno con l'altro in fase di chiusura del giunto o per differenti comportamenti anche di fondazione dei due conci, fino a fessurazione delle corrispondenti mensole.

In ambedue i casi si verifica un afflusso d'acqua del serbatoio verso l'interno del giunto ed un aumento di percolazione nelle canne di drenaggio. Sono quindi determinanti una corretta progettazione e scelta dei materiali, e soprattutto una precisa posa di questi ed un getto molto accurato delle corrispondenti parti in calcestruzzo.

degrado dei rivestimenti di monte

sono illustrati i principali tipi di rivestimento impiegati per assolvere la funzione di tenuta sulla diga prima che, attorno al 1950, si generalizzasse il paramento di monte in calcestruzzo di getto; inoltre il rivestimento in geomembrana sintetica flessibile che attualmente trova largo in particolare impiego per interventi di ripristino della tenuta.

a) rivestimento in gunite armata

Il rivestimento è costituito da uno strato di malta proiettata a pressione, di spessore fino a circa 10 cm, provvisto di armatura metallica ed ancorato al corpo diga.

Deterioramenti tipici sono: fessurazione diffusa; distacco di placche.

La fessurazione è conseguente a sforzi di trazione nella malta determinati a causa del vincolo di solidarietà con il corpo diga che impedisce la sua libera deformazione di ritiro ed a seguito di variazioni termiche rapide. Attraverso le fessure, l'acqua di serbatoio porta la sua azione negativa contro il corpo diga ed il rivestimento stesso.

Il distacco di placche trova innesco in difetti di costruzione, mancata pulizia della faccia di applicazione, distorsioni dell'armatura metallica, vespai nello spessore che consentono percolazione di acqua.

Abbassandosi il livello del serbatoio, a tergo del rivestimento in gunite si può sviluppare una contro-pressione che determina il distacco. La zona di paramento più danneggiata è in effetti quella di oscillazione del livello di invasore, ove si aggiunge l'azione abrasiva della eventuale lastra di ghiaccio. In climi freddi il deterioramento porta il rivestimento in gu-

nite a rovina in un periodo di 10-20 anni.

b) rivestimento in bolognini squadrati a giunti stilati

È costituito da un manto di masselli, in pietra di elevate caratteristiche meccaniche, di spessore 40-60 cm, legati tra loro da giunti in malta cementizia, formanti campi corrispondenti ai conci della diga. Si ritrova solo su dighe costruite prima del 1960.

Nel caso delle dighe in pietrame e malta, il rivestimento è spesso collegato al corpo diga mediante uno strato di transizione perché in genere realizzato successivamente a quello; è invece ammorsato nel caso delle dighe in calcestruzzo in quanto eseguito contemporaneamente al getto.

Ove la solidarietà col corpo diga è limitata (corpo in pietrame e malta), nello spessore del rivestimento sono indotti sforzi che risultano gravosi per le sezioni di minor resistenza (i giunti), con conseguente fessurazione della malta; a ciò contribuiscono anche le rapide variazioni di temperatura ambiente. Tra campi di rivestimento relativi a conci adiacenti, si è riscontrato l'insorgere di forze di contrasto determinate dall'elemento a copertura del giunto diga, e conseguente allentamento e distacco di estese zone di rivestimento.

Su dighe in calcestruzzo, deterioramenti simili sono piuttosto dovuti alla differenza di caratteristiche elastiche e termiche esistente tra malte e bolognini costituenti il rivestimento.

Questo rivestimento si è dimostrato molto efficace contro l'azione di rottura del gelo e quella abrasiva di lastre di ghiaccio.

La durata può valutarsi in almeno 40 anni su dighe in pietrame e malta ed ancor più su quelle in calcestruzzo.

c) rivestimento in geomembrane sintetiche flessibili

Tranne che in un caso, risalente al 1969, l'esperienza italiana è riferita all'impiego di geomembrane a base di PVC.

Il rivestimento è costituito da una geomembrana in strato sottile (fino a 3 mm), ancorata al corpo diga in modo idoneo

per mezzo di fissaggi meccanici (16 casi in Italia, secondo la medesima tecnologia applicativa e qualità del materiale, ed 8 all'estero, a partire dal 1970), od in modo continuo per mezzo di incollaggio su tutta la superficie (2 casi, nel 1969 e nel 1992). Nella maggior parte dei casi, la geomembrana ingloba uno strato drenante a tergo. Nel caso di dighe in pietrame e malta, od in generale in presenza di paramenti con notevoli asperità, viene spesso installato uno strato di transizione, con funzioni di antipunzonamento e di aumento della capacità drenante.

Nel caso di manti totalmente solidali con il sottostante paramento, e quindi privi di una intercapedine drenante, l'azione delle differenze di temperatura a breve termine, in seguito alla formazione di ghiaccio e/o vapore, può portare ad un parziale distacco nel collegamento tra membrana e corpo diga, con parziale perdita di efficienza del manto impermeabilizzante e locale degrado del calcestruzzo del paramento di monte.

Sulla superficie della geomembrana a contatto con l'acqua dell'invaso, l'azione meccanica dovuta alla presenza di lastre di materiali di trasporto di grandi dimensioni (frane e valanghe) e/o alla presenza di lastre di ghiaccio in climi rigidi, può causare rotture locali peraltro facilmente riparabili, essendo la membrana a vista.

Per quanto riguarda l'azione dei raggi ultravioletti e dell'ozono, le condizioni dei manti attualmente in esercizio fanno ritenere che il degrado delle proprietà iniziali sia un'eventualità rientrante esclusivamente nelle conseguenze a lungo termine (oltre 30 anni).

5.2.2 dighe in materiali sciolti processi relativi alla fondazione perdita di resistenza, aumento di sottopressione, variazione dello stato di sforzo.

Sono fenomeni associati con la rottura meccanica del terreno di fondazione, specie per taglio, e possono manifestarsi contemporaneamente.

- La perdita di resistenza si verifica generalmente in materiali coesivi, a seguito di saturazione ed eccessiva deformazione, in particolare in:
 - o argille che subiscono riduzione di coesione se sature;
 - o terreni argillosi deformati oltre la loro resistenza di picco; le conseguenti rotture in seno alla fondazione determinano l'instabilità del rilevato.
- Aumento di sottopressione si verifica dove il flusso abituale di filtrazione trova una ostruzione o subisce un improvviso incremento, e nei terreni non coesivi dove può avvenire una migrazione di parti fini. In questo caso, per ostruzione dei dreni, si verifica un aumento di sottopressione sotto il piede di valle dell'opera.

Fondazioni caratterizzate da bruschi passaggi della natura e permeabilità del terreno, e da rocce degradate e fratturate, con giunti aperti o riempiti di materiale erodibile, sono soggette a tali processi.

Allentamenti e rotture di fondazione fino ad innesco di sifonamento e formazione di sacche cedevoli sotto il rilevato sono le conseguenze che portano a compromettere la stabilità dell'opera.

Più rari sono i casi di variazione dello stato di sforzo; tra questi vale citare:

- consolidazione di un rilevato omogeneo o di un nucleo in argilla, ubicati in una valle stretta e soggetti ad un effetto
- arco, con progressivo trasferimento del carico contro

le sponde e riduzione degli sforzi verticali; a causa di questi fenomeni possono allora aprirsi pericolose vie di filtrazione;

- sforzi alternati di taglio ed apertura dei giunti nei terreni rocciosi sul fondo del serbatoio, a seguito delle variazioni del livello di invaso.

degrado della fondazione. È l'alterazione delle caratteristiche e proprietà della fondazione, che portano a perdite di resistenza al taglio o ad incremento della permeabilità. Il veicolo primario di tali processi è la filtrazione.

L'alterazione consegue a processi chimici di dissoluzione o fisici di deterioramento, che possono verificarsi già al primo riempimento del serbatoio o progressivamente nel tempo in terreni ad essi sensibili. I primi riguardano certi minerali solubili unitamente alle caratteristiche chimiche dell'acqua di filtrazione; i secondi riguardano, le argille dispersive per effetto di acqua pura, i terreni a bassa coesione quando saturi, i terreni non coesivi a grana discontinua.

Il moto di filtrazione promuove tali processi di dissoluzione e deterioramento dei materiali, i quali possono poi essere facilmente dilavati, incrementando il volume dei vuoti in fondazione; il fenomeno di erosione ne risulta accelerato.

D'altra parte, la perdita di resistenza può portare a cedimenti per rotture interne alla fondazione.

erosione interna. L'erosione interna è il processo di invecchiamento più comune nelle fondazioni di dighe in materiali sciolti. Esso può verificarsi anche molti anni dopo il primo riempimento del serbatoio, benché sia da mettere in relazione con inadeguatezza di progettazione e di procedimenti costruttivi.

A seguito della filtrazione, un vuoto può facilmente verificarsi nelle fondazioni in roccia, che siano caratterizzate da materiale di riempimento dei giunti tenero ed alterabile o da disturbi geologici, ovvero nel caso di terreno sciolto il cui assortimento granulare discontinuo comporti tendenza ad

instabilità interna. In ambo i casi, operazioni sommarie di scavo, che abbiano lasciato uno strato soffice a contatto del rilevato (giunti dilavati, meati non costipati) facilitano l'innescamento del fenomeno.

L'acqua si propaga attraverso la rete di giunti o pozzi ed il flusso può aumentare perché nei casi sopraddetti la mobilitazione degli elementi fini è agevole; altri fattori possono contribuire, quali il degrado dei materiali (ved. processo 16), l'invecchiamento dello schermo e simili.

La velocità di filtrazione può raggiungere valore tale da determinare trascinarsi di particelle ed innescare un sifonamento che può comportare pericolose conseguenze sul rilevato.

processi relativi al rilevato / deformazione del rilevato.

Le principali cause della deformazione del rilevato sono il processo di consolidazione ed il riempimento del serbatoio. La consolidazione è il processo di assestamento verticale continuo del rilevato a seguito del peso del materiale impiegato; dipende dalla natura e dimensioni di quest'ultimo e dalle caratteristiche della posa in opera (densità, umidità); la consolidazione è influenzata da azioni ambientali (sisma, precipitazioni) ed anche operative (variazioni di livello del serbatoio, traffico sul coronamento).

La spinta idrica comporta una deformazione soprattutto orizzontale in direzione valle.

La ripidezza delle sponde è responsabile di spostamenti longitudinali nel rilevato.

Il processo di deformazione complessivo dura molti anni; esso può portare ad alcune conseguenze negative:

- deformazioni differenziali, con formazione di fessure nel corpo del rilevato;
- apertura del contatto con strutture murarie adiacenti;
- riduzione del franco, con pericolo di possibile tracimazione in caso di piena.

perdita di resistenza. La perdita di resistenza è uno scena-

rio importante, genera abitualmente deformazioni ed instabilità dei paramenti, specie quello di valle. Essa è dovuta ai seguenti processi:

- La saturazione del rilevato imperfettamente compattato porta a perdite di coesione e di resistenza a taglio. A seguito di una forza di compattazione insufficiente a ridurre il volume dei vuoti, anche in situazioni di saturazione incompleta (ristagni) è possibile un ampio riorientamento delle particelle del materiale. Se la sottocompattazione riguarda una grande parte del rilevato, si hanno grandi assestamenti di questo, in genere al primo riempimento del serbatoio o subito dopo; se riguarda porzioni occasionali, si hanno assestamenti differenziali e di conseguenza possibile fessurazione, travenazioni e zone ad elevata pressione interstiziale. Tali problemi possono richiedere parecchi anni prima di diventare visibili.
- Terreni aventi elevata resistenza al taglio e coesione se asciutti, ma soggetti a forte perdita di coesione se bagnati. L'instabilità a valle è funzione della filtrazione nel rilevato, della filtrazione dalle sponde verso il materiale di valle, dell'intensità e durata delle precipitazioni e richiede tempo per manifestarsi.
- Cambiamento dello stato di sforzo. Una perdita di resistenza può manifestarsi in rilevati costruiti con materiali di bassa resistenza o secondo metodi di costruzione (es. procedimento idraulico) che impediscono al materiale di sviluppare la sua piena resistenza.

Cicli di secco/umido hanno influenza su materiale argilloso molto plastico. Col disseccamento si formano fessure per trazione; il ripresentarsi dell'acqua determina rigonfiamento e distacco di particelle dalle pareti delle fessure. Conseguono instabilità delle facce inclinate, su modeste profondità, ma col pericolo di ridurre nel tempo la larghezza efficiente del rilevato.

aumento di pressione interstiziale. L'aumento su tempi lunghi della pressione interstiziale è legato alla progressiva apertura di fessure trasversali (direzione monte-valle) entro il nucleo o nell'intero rilevato.

Le fessure possono avere varia origine:

- assestamenti differenziali di fondazione o al contatto con strutture murarie, per trasferimento di sforzi (archings, deformazione del rilevato, zone di trazione al coronamento), nucleo argilloso sottile;
- degrado del materiale, quale dissoluzione di argille dispersive, zone deboli del nucleo, posa in opera difettosa;
- dipendenti dal livello idrico nel serbatoio: fratturazione idraulica, essiccamento della parte superiore del nucleo, zona di valle non autodrenante.

Le fessure offrono una via alla filtrazione, che si propaga verso valle, a meno che sia intercettata da filtro o dreno. Nella zona di valle si ha incremento di pressione interstiziale, con dannose conseguenze sulla stabilità di tale parte del rilevato. Si manifestano zone bagnate e franamenti sul paramento valle, assestamento di porzioni di materiale saturo, formazione di inghiottitoi.

erosione interna. In genere è un processo che si sviluppa lentamente nel tempo e può rimanere a lungo inosservato poiché ha carattere regressivo, sviluppandosi da valle verso monte. Si manifesta soprattutto nel nucleo, al contatto nucleo-fondazione, nella porzione di valle del rilevato.

Ha origine per insufficienze di progetto e di costruzione e si verifica in rilevati suscettibili di fessurazione, sifonamento, erosione. Le cause dirette possono essere svariate:

- al contatto rilevato-fondazione: roccia fessurata o solubile, suscettibile di erosione;
- nel nucleo: fessurazione, elevato gradiente di filtrazione, danni su parete monte (svaso rapido), argille dispersive;

- in corpo omogeneo: instabilità interna (terreni morenici);
- degrado e dissoluzione del materiale.

Influiscono anche i cedimenti della fondazione.

Il processo si sviluppa come segue:

- la fessura offre una via di passaggio e la filtrazione si propaga e trova sbocco a valle; aumentando la velocità, alcune particelle sono rimosse, la filtrazione diviene torbida. Avvengono assestamenti, possono aversi rotture locali con formazione di inghiottitoi ed innescano sifonamento.
- In rilevato internamente instabile ed a granulometria discontinua, una filtrazione innescata da piani di debolezza determina migrazione del fino e causa rottura della matrice grossolana, a meno che il fino sia trattenuto da idoneo filtro.
- In argilla dispersiva, dove si sia innescata una perdita ed il gradiente elevato impedisca che la via possa ostruirsi, si verifica rottura (inghiottitoio) quando una sufficiente quantità di materiale è stata rimossa.

La filtrazione, che determina erosione nel rilevato, può anche provenire dalla zona di monte della fondazione quando sia costretta ad emergere entro il rilevato dall'ostacolo costituito dal sistema di tenuta e sia ovviamente di entità adeguata.

degrado del rilevato. È l'alterazione delle caratteristiche e proprietà dei materiali del rilevato, che porta a perdite di resistenza al taglio e ad incremento delle permeabilità.

La filtrazione attraverso il rilevato è l'agente primario dell'alterazione, che si sviluppa in materiali degradabili (sensibili a dispersione, soluzione, rigonfiamento, processi termici e chimici) essenzialmente nei seguenti modi:

- rimozione di materiale erodibile o solubile;
- perdite di resistenza per saturazione, soprattutto in argille dispersive.

I detti processi sono riscontrabili su vecchi rilevati; i rilevati attuali sono assai meno soggetti, poiché sono compattati con mezzi pesanti e fruiscono quindi di bassa permeabilità e resistenza al taglio adeguata.

Inoltre, materiali che a contatto di aria ed intemperie ed in condizioni non confinate subiscono disgregazione, quali gli scisti argillosi, danno luogo a crollo degli elementi più smiuzzati entro i vuoti interni, causa il carico della porzione di rilevato sovrastante. Risulta aumento della permeabilità, riduzione della resistenza e deformazioni superficiali del rilevato.

Il contatto diretto di nucleo e filtro di una diga con la fondazione di materiale degradabile favorisce il verificarsi di tali fenomeni in quanto sede potenziale di sifonamento.

perdita di collegamento tra rilevato e strutture murarie. Spostamenti nelle zone di contatto tra rilevato e strutture murarie (parte di sbarramento in calcestruzzo, opera dello scarico di superficie, cunicoli di ispezione al piede monte o sotto nucleo) sono in genere dovuti ad assestamenti del materiale del rilevato (specie per erosione interna, insufficiente compattazione) ed a cedimenti di fondazione (insufficiente trattamento).

Questi movimenti sono in genere differenziali e portano allo sviluppo di effetti arco con riduzione degli sforzi effettivi in talune parti del rilevato, originando fessurazioni interne.

La filtrazione si diffonde in tali fessure e lungo la parete di contatto, promuovendo erosione interna e rottura sulla parte di rilevato adiacente.

Ove la zona di contatto è col nucleo, le dimensioni trasversali ridotte di questo e la scarsa efficienza del sistema dei filtri possono creare condizioni favorevoli allo sviluppo del fenomeno.

5.2.3 opere annesse

erosione per dissipazione di energia cinetica.

È causata dall'impatto delle acque contro il fondo vallivo in occasione dell'evacuazione di grosse piene da organi scaricatori.

L'energia cinetica della corrente idrica viene dissipata di norma al piede di valle della diga in un bacino costituito da terreno in posto, preferibilmente roccia viva, o da una vasca di calma in calcestruzzo; l'energia viene in parte assorbita dal fondo e dalle pareti del bacino, in parte va dispersa sotto forma di calore.

L'impatto determina severi sforzi, azione erosiva e sottopressioni nelle parti in cui si verifica lo smorzamento e ciò può portare alla sotto-escavazione del piede di valle della diga in particolare se lo scarico e la disposizione non sono stati adeguatamente studiati (ad es. con modello) in sede di progetto.

Fattori influenti sul processo sono: altezza di caduta della corrente, qualità del terreno che riceve l'impatto, distanza tra zona di impatto e diga, frequenza d'uso dello scarico, entità e durata delle piene.

Se il terreno costituente il bacino di impatto è tenero, non ha caratteristiche meccaniche adeguate o non è protetto, l'escavazione di una grande fossa è un pericolo effettivo. La sollecitazione di compressione sulla parte di valle della fondazione della diga può arrivare a valori pericolosi, con rischio di slittamenti e ribaltamento di elementi della diga per rottura della fondazione. Nelle vasche di calma in calcestruzzo si ha erosione quando le dimensioni della vasca sono insufficienti e la platea di fondo non è abbastanza resistente, e cioè di insufficiente spessore, priva di armatura e non drenata; i lastroni formanti platea possono sollevarsi, le strutture di dissipazione essere asportate.

L'azione erosiva illustrata può essere incrementata da effetti di abrasione ed urto, quando la piena trasporta materiale

solido proveniente da erosione dei terreni a monte, oppure corpi solidi galleggianti. L'azione del materiale solido nel bacino di dissipazione è incrementata dalla formazione di moti vorticosi, dipendenti in genere da una dissimetria nell'apertura delle paratoie sovrastanti e dalla geometria del bacino di dissipazione e se l'evacuazione del materiale solido più a valle risulta difficoltosa.

erosione per abrasione. Si verifica in genere in occasione di piene, quando la corrente idrica evacuata del serbatoio trasporta particelle solide (in sospensione o al fondo). Queste sviluppano azione erosiva per urto e sfregamento contro le pareti del condotto e vasca; l'effetto è più pronunciato se la corrente è vorticoso ed animata da moti rotazionali.

La presenza di terreni erodibili a monte del serbatoio favorisce il processo e la sua persistenza.

Sedi tipiche dell'erosione sono:

sezioni di scarico, specie se sono presenti bruschi cambiamenti di direzione; soglie e zone a valle di paratoie; vasche di calma al piede di scivoli di scarichi di superficie: l'azione abrasiva del materiale solido è favorita dalla formazione di moti vorticosi per dissimetrica apertura di paratoie, e nel caso che non sia facilitata l'evacuazione del materiale solido verso valle.

Abrasione è causata anche da urto di corpi flottanti in occasione di piene.

erosione per cavitazione. Il fenomeno di cavitazione avviene quando, in prossimità delle pareti solide di un condotto, una importante caduta di pressione si verifica in seno alla corrente idrica. Si ha separazione di aria disciolta e violento sviluppo di vapore acqueo in forma di bolle, il cui continuo formarsi e distruggersi dà luogo a rapidissima successione di scoppi ed urti, che sottopongono le pareti ad una intensa azione erosiva.

Cavitazione si manifesta:

- a valle di paratoie degli scarichi in pressione e di super-

ficie, per motivi di aerazione della vena o per variazioni brusche della geometria del condotto, specie se le paratoie sono utilizzate in parziale apertura;

- sugli scivoli di scarichi di superficie, per distacco della vena causa una inadatta geometria dello scivolo.

5.3 DEGRADO DELL'INVASO

La realizzazione di uno sbarramento su di un corso d'acqua crea una ritenuta, che può trattenere buona parte del materiale solido normalmente trasportato dalla corrente. E' importante stimare la quantità di sedimenti che si depositerà nel serbatoio e il periodo di tempo in cui il volume occupato dai sedimenti non intaccherà la sua capacità utile.

I processi di sedimentazione in un bacino di accumulo sono abbastanza complessi e dipendono da un gran numero di fattori variabili. Tra questi, i più importanti sono:

- le fluttuazioni naturali della portata e del contenuto dei sedimenti dell'immissario;
- la granulometria dei sedimenti;
- lo scopo a cui è destinato l'invaso;
- la dimensione e la forma del serbatoio;
- la possibilità di effettuare operazioni di cacciata del materiale depositato.

Altri fattori importanti, che influenzano il processo della sedimentazione, sono: il tipo di vegetazione caratterizzante il bacino imbrifero della diga, le correnti di densità, l'erosione del materiale già depositato e la sedimentazione nei pressi delle sponde del serbatoio.

In genere, se il serbatoio è piccolo, la zona di massima deposizione si trova in prossimità o a ridosso dello sbarramento; di conseguenza il serbatoio deve essere sottoposto a periodiche operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria,

per garantire la sicurezza del sistema, il recupero del volume utile d'invaso e la funzionalità degli scarichi.

L'interrimento nei serbatoi provoca anche problemi di natura statica, in quanto produce un aumento delle pressioni sul paramento di monte della diga (spinta di sedimento e acqua, invece della sola spinta di acqua), e una differente risposta sismica della diga.

Strategie per la riduzione dell'interrimento.

- Riduzione della produzione di materiale solido nel bacino idrografico. Si realizza migliorando la copertura vegetale del bacino imbrifero sotteso allo sbarramento mediante sistemazioni agro-forestali, quali colture boschive e bassa vegetazione a cespuglio, ed idraulico –forestali per la riduzione dell'erosione di superficie.
- Trattenuta del trasporto solido a monte dell'invaso. A monte degli immissari, vengono posti bacini o vasche di trattenuta per la sedimentazione del materiale più grossolano. Tale intervento deve prevedere una viabilità di servizio per la periodica rimozione del materiale depositatosi nelle vasche.
- Controllo della sedimentazione. L'acqua carica di particelle sospese viene rilasciata a valle dello sbarramento, prima che inizi il processo di sedimentazione. In tal modo si ha una riduzione dell'erosione dovuta alla mancanza di apporto solido nell'alveo a valle della diga. Sluicing e Venting sono due tecniche per il controllo della sedimentazione. Il metodo dello sluicing consiste nel mantenere basso il livello del serbatoio nella fase iniziale della piena aprendo completamente gli scarichi, in modo da scaricare a valle la corrente idrica che, avendo elevata velocità, non permette la sedimentazione del materiale. La corrente scaricata, corrispondente alla prima fase della piena e caratterizzata da un carico più elevato di sedimenti rispetto alla fase finale, dà anche luogo all'erosione dei sedimenti depositati. La tecnica

venting si basa sulla formazione, durante le piene più intense, di correnti di densità che, avendo una densità superiore a quella dell'acqua del serbatoio nel quale entra, si immergono al di sotto del pelo libero e procedono sul fondo dirigendosi verso gli scarichi di fondo, che, opportunamente aperti, permettono di scaricare il materiale a valle.

- Cacciate Il metodo si basa sull'apertura degli scarichi di fondo, in assenza di eventi di piena in atto, per la fuoriuscita della corrente liquida che, avendo grande velocità, trasporta con sé i sedimenti depositatisi sul fondo. Tale tecnica però non è applicabile in Italia, dove la normativa ambientale vigente consente l'apertura degli scarichi di fondo solo per operazioni di manutenzione e gestione degli stessi e non per lo sfangamento;
- Dragaggio o scavo con mezzi meccanici. Vengono utilizzate delle draghe per l'eliminazione dei sedimenti dal serbatoio. Tale tecnica è tuttavia molto costosa. In alternativa si può procedere allo svuotamento totale dell'invaso e poi alla rimozione dei sedimenti impiegando escavatori e pale meccaniche. Tale operazione può essere eseguita in periodi siccitosi, poiché si evita lo spreco della risorsa idrica. I sedimenti raccolti devono essere analizzati ed eventualmente trattati per lo stoccaggio o la raccolta in discarica;
- Idrosuzione a gravità (sifonatura) o con pompaggio. E' una tecnica basata sulla rimozione di una miscela acqua-sedimenti dal fondo dell'invaso attraverso una tubazione tra le cui sezioni di estremità si determina un dislivello energetico. In corrispondenza della sezione iniziale della tubazione viene calata una fresa, che consente la disgregazione del sedimento già compattato. Qualora la lunghezza della tubazione sia molto elevata da non permettere l'utilizzo della sola energia idraulica, si può ricorrere ad un sistema di pompaggio.

5.4 IL MONITORAGGIO DEL SISTEMA

Lo scopo essenziale del monitoraggio e delle attività d'ispezione a esso correlate è di garantire la sicurezza dell'opera. Il progetto della strumentazione deve essere adattato al tipo di opera e deve prendere in considerazione tutti gli scenari sfavorevoli possibili. Esso si deve riferire ai valori e ai parametri realmente utili e facilmente interpretabili, sia in vista della sicurezza, sia della manutenzione dell'opera. La strumentazione dovrebbe essere: utile; affidabile; efficace e robusta; funzionale a lungo termine (ovvero sostituibile); ridondante.

I risultati del monitoraggio assumono un significato solo se sono oggetto di un'adeguata interpretazione, che essenzialmente consiste nella ricerca della causa dell'anomalia constatata.

Di seguito, al fine di meglio rappresentare la complessità dei sistemi e delle metodologie di controllo, sono accennate le descrizioni degli strumenti che vengono generalmente installati nelle dighe. Per un approfondimento specifico caso per caso si rimanda alla letteratura scientifica di settore.

Assestimetri. L'assestimetro a piastra è lo strumento più semplice per il rilievo dei cedimenti di punti ubicati sulla superficie topografica.

Esso è concepito in maniera tale da collocare la base di misura alla base dell'opera prima della sua realizzazione e, per mezzo di prolunghe giuntabili, rilevare eventuali cedimenti durante l'esecuzione dell'opera nelle sue varie fasi.

Le letture e i rilievi vengono realizzati con sistemi topografici di elevata precisione.

Assestimetro magnetico. permette di rilevare spostamenti verticali tra varie quote nel terreno.

Assestimetro multibase. E' utilizzato per la verifica delle deformazioni degli strati di terreno ed è quindi impiegato

per l'analisi e la risoluzione di molte problematiche di carattere geotecnico. L'assestimetro multibase è uno strumento di misura realizzato per rilevare movimenti del terreno in senso assiale alla perforazione in cui è inserito. Il vantaggio di avere più basi di misura si traduce nella possibilità dello strumento di valutare i cedimenti differenziali degli strati di terreno posti a profondità differenti.

Assestimetro USER. fornisce gli assestamenti del terreno di fondazione e in più punti interni del rilevato. Si usa in rilevati in costruzione; invece è sconsigliata l'applicazione in rilevati già costruiti.

Vasi comunicanti. Tale principio assicura un valido mezzo per la misura semplice e precisa di spostamenti relativi, verticali, tra due o più punti lontani fra loro. Esso viene spesso usato anche come clinometro per il controllo di rotazioni di strutture rigide.

Gli estensimetri a corda vibrante. Vengono direttamente incorporati nelle strutture in calcestruzzo. Sono costituiti da due flange di estremità collegate da un tubo di sostegno; fra le due testate è fissata la corda vibrante. L'eccitazione e la rilevazione delle vibrazioni della corda sono date da un elettromagnete, le cui bobine costituiscono un termometro elettrico a variazione di resistenza, fornendo così anche il valore della temperatura. Il collegamento alle centrali di misura viene effettuato a mezzo di cavo ad alto isolamento, adatto per essere direttamente annegato nel calcestruzzo.

I pendoli dritti o rovesci. Vengono utilizzati per la misurazione delle rotazioni e traslazioni dello sbarramento. Il sistema di misura con filo a piombo diritto fornisce gli spostamenti relativi fra punti inizialmente allineati lungo una stessa verticale. E' particolarmente indicato per il controllo delle rotazioni e delle deformazioni della diga.

Il sistema di misura con pendolo rovescio fornisce gli spostamenti relativi di punti inizialmente allineati lungo una stessa verticale rispetto a un punto fisso. E' particolarmente

indicato per il controllo delle traslazioni di una struttura rispetto a un punto del terreno, profondo e sicuramente fisso, su cui questa è ubicata.

Clinometro a corda vibrante. Permette di controllare le rotazioni di una struttura (anche in punti non accessibili all'operatore).

Clinometro a livella torica. Rileva, con elevata precisione, piccole rotazioni o variazioni di inclinazione. E' costituito da una livella, molto sensibile, le cui rotazioni sono comandate da un sistema di amplificazione meccanica con leve e vite micrometrica. L'osservazione della bolla è fatta con un sistema ottico a prismi, che affianca le immagini delle due estremità della bolla, mettendo in evidenza la coincidenza di queste nelle condizioni di centratura. Questo sistema assicura un'elevata precisione e costanza della lettura; si rilevano spostamenti della bolla fino a 0,2 mm.

Collimatore ottico di allineamento. Permette di rilevare gli strumenti di uno o più punti della diga rispetto a due punti lontani supposti fissi, cioè il punto stazione e il punto in cui viene installata la mira fissa. Il collimatore d'allineamento è richiamato sempre nello stesso punto di stazione poiché appoggia su dei richiami geometricamente determinati. Quando viene puntato sulla mira fissa (p piazzata lontana dalla struttura), stabilisce un allineamento fisso e invariabile.

Termometri elettrici. Riportano la misura della temperatura a una misura di resistenza ohmica.

I termometri per l'acqua permettono la misura della temperatura dell'acqua del bacino..

Piezometro Casagrande o a tubo aperto. E' previsto per la misura della pressione dell'acqua in terreni permeabili. La misura del livello di falda è eseguita con la "sonda elettrica", che viene calata nel tubo di misura per mezzo del cavo di collegamento centimetrato

Inclinometri. Per il controllo dei movimenti di grosse mas-

se terrose, per esempio dighe in materiali sciolti, vengono utilizzati inclinometri fissi e colonne inclinometriche. Il primo sistema è raccomandato in tutti i casi in cui siano sufficienti controlli su alcuni punti del rilevato; il secondo sistema, a colonne inclinometriche, si rende necessario quando è previsto di estendere il controllo a strati sottostanti il rilevato, oppure quando è una necessità ottenere un profilo continuo della sezione controllata.

Deformometri removibili. Si tratta di strumenti particolarmente adatti per i seguenti impieghi:

- rilievo di spostamenti relativi tra due punti di una struttura, in particolare su fessure, giunti, elementi adiacenti;
- rilievo delle deformazioni elastiche di una struttura in calcestruzzo, acciaio (ecc.) con il variare dei carichi applicati.

Sistemi automatici di acquisizione. Un sistema di controllo, formato da più strumenti e/o sensori, di qualunque tipo essi siano, può essere controllato e gestito in uno o più punti remoti, da sistemi di centralizzazione completamente automatizzati.

Nella diga di Ridracoli (FC) il sistema di controllo statico è costituito da: 971 punti di misura, 259 sensori connessi al sistema di monitoraggio automatico, 40 sensori analizzati in tempo reale (ogni ora). Il sistema di controllo sismodinamico è composto da una terna sismometrica, 4 terne accelerometriche e da 5 stazioni di controllo micro-sismico. Numerosi strumenti sono stati installati per i controlli durante la costruzione e i primi invasi.

5.6 DECOMMISSIONING

Il termine "Dis-missione" di una diga può assumere un'ampia gamma di significati differenti:

- Cambio di "missione" dell'opera (ad esempio conversione da scopi di produzione idroelettrica a scopi di protezione dalle piene del corso d'acqua, con cambiamento radicale della gestione dell'invaso);
- Demolizione parziale;
- Demolizione totale e ripristino, nei limiti del possibile, dell'alveo naturale del corso d'acqua.

Nella letteratura anglosassone la distinzione viene fatta esplicitamente con l'uso di due termini differenti: *dam decommissioning* (opposto all'atto di *commissioning* che sancisce l'autorizzazione all'esercizio dell'opera), e *dam removal* che denota l'eliminazione fisica (parziale o totale) dello sbarramento.

E' chiaro che sia le implicazioni tecniche ed economiche, sia le responsabilità civili e penali dei vari attori, sono completamente diverse, qualitativamente e quantitativamente, tra i vari casi.

Nel testo si useranno i termini "dismissione" e "decommissioning" come sinonimi, utilizzando esplicitamente il termine "rimozione" quando si fa riferimento alla demolizione totale dell'opera.

L'eventuale decisione di procedere alla dismissione (decommissioning, con terminologia inglese) di una diga presuppone che sia stata data soluzione a tutta una serie di problemi normativi, legislativi, tecnici, economico-finanziari variamente interconnessi e sino ad ora non sempre chiaramente esplicitati.

Nel nostro Paese (ma anche nella maggior parte dei paesi europei) sinora non è stata posta chiaramente in luce la necessità di fare ordine in questo campo (anche perché i casi di effettiva dismissione sono stati ad oggi estremamente scarsi) e, come del resto è accaduto anche in altri Paesi europei, si è implicitamente accettata la pratica del "caso per caso"; pratica imposta tra l'altro dall'assenza di normativa specifica. Tuttavia il progressivo invecchiamento del parco dighe, e il manifestarsi di situazioni singole in cui potevano ravvisarsi gli estremi per proporre una dismissione, stanno portando queste problematiche all'attenzione dei sistemi interessati (i cosiddetti *stakeholders*), preminenti tra questi il sistema elettrico, i consorzi di sfruttamento non energetico delle acque e le Autorità di controllo. Anche l'opinione pubblica, stimolata da istanze ambientali, spesso orientate verso soluzioni estreme (come l'eliminazione delle opere di sbarramento di un sistema fluviale allo scopo di riportare il sistema allo stato naturale), fa pesare le sue esigenze vere o presunte. In questo quadro indubbiamente complesso si colloca la necessità primaria da una parte di impostare correttamente un comprensivo esame concettuale dei fattori in gioco, dall'altra di studiare le soluzioni adottate in Paesi che hanno vissuto più numerose esperienze di dismissione e che hanno maturato procedure consolidate da anni o decenni di pratica applicazione.

5.6.1 premessa. La costruzione di dighe di ritenuta in epoca moderna (datandola dall'inizio '900 ad oggi) è stata conseguenza, nel nostro come in altri Paesi, dei cambiamenti economici e sociali legati ai processi di industrializzazione. In Italia, le fasi in cui più intensi sono stati i processi realizzativi hanno coinciso con il periodo 1920-1940 (quindi tra le due guerre mondiali) ed il periodo post-bellico 1950-1970. Ne consegue che una parte significativa di dighe abbia largamente superato quella che era ritenuta, all'epoca della costruzione, la vita utile dell'opera (stimata in 50-60 anni). Il processo di invecchiamento delle dighe esistenti è, inevitabilmente, accompagnato dal manifestarsi di fenomeni sia fisiologici sia patologici che impongono in alcuni casi già oggi, ma molto di più nel prossimo futuro, di prendere in considerazione, e di pianificare razionalmente, la dismissione delle dighe non più in grado di assolvere con sicurezza o con soddisfacente ritorno economico le funzioni previste all'atto della loro progettazione e realizzazione. D'altro canto, mentre il fabbisogno di riserve idriche è in continua crescita, la costruzione di nuove dighe nei paesi più industrializzati (salvo poche eccezioni come ad es. la Spagna) è un fatto sempre più raro per mancanza di siti favorevoli, per vincoli legati all'intensa antropizzazione del territorio, per una diffusa ostilità da parte di molti settori della pubblica opinione. Si pone, quindi, e si porrà sempre più nel futuro, la necessità di trovare soluzioni ad una contraddizione che è destinata a divenire sempre più marcata.

Nasce, sostanzialmente da queste considerazioni l'iniziativa del Comitato Italiano delle Grandi Dighe (ITCOLD) di costituire un Gruppo di Lavoro (GdL) sul tema della dismissione delle dighe.

Una prima considerazione emersa all'atto della costituzione del GdL ha riguardato la "prospettiva di osservazione" del processo di decommissioning, ovvero se fosse opportuno esaminare tale processo dando per scontata la decisione

della dismissione, concentrando quindi l'attività del gruppo sull'approfondimento dei passi tecnici, economici ed amministrativi conseguenti, oppure se fosse più opportuno fare riferimento alla fase che precede la decisione, prestando maggiore attenzione agli aspetti socio-economici e politici che condizionano le scelte.

Appare necessario, infatti, distinguere la diga, intesa come infrastruttura civile, dall'invaso e dalla funzione che questo assolve. I problemi di sicurezza della struttura, che normalmente riguardano le dighe di più antica realizzazione, non si identificano automaticamente con un decadimento di interesse per la funzione del serbatoio. Le istanze di decommissioning sembrano per lo più emergere a seguito di una riconosciuta inadeguatezza delle opere di sbarramento ai fini della sicurezza, con il Gestore che non ritiene più economica la gestione dell'opera in relazione agli interventi di adeguamento necessari. Gli esempi che si sono concretamente manifestati in Italia sembrano tutti orientati in tal senso; i casi di dismissione per decaduto interesse del serbatoio sembrano limitati e sono per lo più relativi al caso di piccole dighe e, conseguentemente, piccoli invasi.

La non economicità dell'impianto per il Gestore è, ovviamente, il primo momento di valutazione, certamente importante, ma che preso a se stante potrebbe non essere ancora decisivo per la decisione. Il Gestore opera a valle di un esame finanziario, non riconoscendo, sulla base dei potenziali ricavi, condizioni per il recupero dell'investimento necessario per il mantenimento in esercizio e in sicurezza della diga. Qualora il quadro normativo lo consentisse, lo stesso Gestore potrebbe sviluppare e verificare in termini di analisi economica costi-benefici la sussistenza di un possibile bilancio positivo per la funzione del serbatoio, prevedendo i costi per i lavori di adeguamento della diga o per la sua sostituzione con una nuova opera, formulando una proposta in tal senso ai soggetti (sia pubblici, sia privati) potenzial-

mente interessati.

In Italia - per i noti motivi legati alla diffusa antropizzazione, alle problematiche ambientali e relative opposizioni, alle difficoltà finanziarie associate ai lunghi tempi di ritorno degli investimenti nei settori idrico e idroelettrico - non sembrano sussistere, salvo rare eccezioni, le condizioni per la realizzazione di nuovi serbatoi. Ne consegue che andrebbero opportunamente valorizzate le infrastrutture esistenti in termini di presenza di serbatoi sul territorio facendo riferimento alle numerose funzioni assolte che possono essere così riassunte:

- funzione di regolazione dei serbatoi: tale funzione, tenuto conto dei crescenti fabbisogni in termini di quantità, ma anche di qualità delle acque (si pensi alla quota di approvvigionamento idropotabile da pozzi non ritenuta più adeguata in termini qualitativi), sarà sempre più importante; tale rilevanza è confermata, inoltre, considerando le sempre più frequenti criticità determinate dalle variazioni climatiche degli ultimi anni;
- funzione di laminazione dei serbatoi: tale funzione è sempre più richiesta per finalità di gestione delle piene nei territori a valle che, anche a causa della presenza delle dighe esistenti, si sono sostanzialmente modificati per quantità e tipologia degli insediamenti rispetto all'epoca di costruzione. Infatti, in numerosi casi, proprio la presenza delle dighe a monte ha di fatto accresciuto la fruibilità, in maniera inconsapevole, inopportuna e forse illegittima, dei territori di valle. In caso di decommissioning andrebbero valutati i costi di un rischio che sarebbe sicuramente accresciuto.
- funzione di produzione idroelettrica: tale funzione, di riconosciuta primaria importanza nel contesto delle energie rinnovabili, è oggi soggetta a mutevoli condizioni al contorno e contrastanti elementi di indirizzo politico-normativo. Elementi di incentivazione (Certi-

ficati Verdi, criteri di valorizzazione economica dell'energia) ed elementi di restrizione (disposizioni sui minimi vitali, importi dei canoni, obblighi di altra natura) coesistono e non sempre consentono la necessaria stabile prospettiva di medio lungo periodo necessaria per la valorizzazione della funzione. Si pensi agli impianti di piccola taglia (minihydro) prima dismessi o non eserciti e recentemente ritornati di attualità grazie a modifiche normative (certificati verdi) che li hanno resi competitivi sul piano economico.

- funzione irrigua ed idropotabile: è noto che, a fronte della sua sempre crescente importanza, tale funzione incontra problemi organizzativi del settore a causa delle frequenti difficoltà economiche in cui versano i Gestori (generalmente Consorzi di Bonifica o Enti). Le criticità gestionali, con frequenti ricadute anche sul versante della sicurezza, non possono essere risolti con la dismissione delle opere in contesti territoriali in cui la risorsa idrica è vitale.

Alla luce delle considerazioni sopra riportate, il Gruppo di Lavoro ha ritenuto di redigere il rapporto di attività partendo dall'esame del quadro normativo nazionale e internazionale e dall'esame di casi di decommissioning che potessero rivestire interesse generale. Quindi, l'attenzione si è concentrata sull'analisi delle problematiche socio-economiche, ambientali, tecniche e giuridiche nell'ottica di fornire agli stakeholders del settore elementi di conoscenza che possano essere di ausilio nella definizione dell'approccio metodologico da adottare nei processi di dismissione e per fornire alle Autorità coinvolte utili elementi di riflessione.

5.6.2 Le condizioni a contorno. Nei Paesi di più antica industrializzazione, mentre i fabbisogni di riserve idriche sono in continuo aumento (sia per la crescita dei consumi individuali sia per le variazioni climatiche in atto), la costruzione di nuove dighe è un fatto sempre più raro per mancanza di siti favorevoli, per vincoli legati all'intensa antropizzazione del territorio, per una diffusa ostilità da parte di molti settori della pubblica opinione. Per contro l'invecchiamento delle dighe esistenti, con il connesso manifestarsi di fenomeni in parte fisiologici (interrimento dei serbatoi), in parte patologici (degrado e invecchiamento dei materiali), pone per ora in casi isolati, ma porrà sempre più frequentemente in futuro, il problema di prendere in considerazione, e di pianificare razionalmente, il decommissioning delle dighe non più in grado di svolgere con sicurezza o con soddisfacente ritorno economico le funzioni previste all'atto della loro progettazione e costruzione. Il decommissioning può assumere varie modalità nei singoli casi a seconda delle circostanze: dalla demolizione dello sbarramento e restituzione dell'ambiente alla sua originaria destinazione naturale, alla demolizione parziale ed eventuale costruzione di nuove opere per continuare ad alimentare la derivazione idrica. In ogni caso, comunque, per la dismissione si pongono complessi problemi non solo ingegneristici, ma altresì di pianificazione territoriale e finanziaria, di iter burocratico/amministrativo, di relazioni pubbliche, ecc. Detti problemi richiedono un attento studio che necessita, pur rifacendosi a criteri generali, di essere condotto caso per caso con l'intervento ed il coordinamento di numerose competenze.

L'attività svolta dal Gruppo di Lavoro sul Decommissioning delle Dighe costituito in ambito ITCOLD e illustrata nel presente rapporto fa riferimento preliminarmente alle linee guida metodologiche che sono state elaborate in Paesi dove si sono avvertite prima che nel nostro la necessità e l'urgenza di studiare il problema della dismissione e di proporre

I membri del Gruppo di Lavoro della ITCOLD sono:

Guido Mazzà (CESI RICERCA), coordinatore Massimo Amato (Università Bocconi), Ezio Baldovin (Progettista), Sergio Ballatore (CVA), Silvia Castelli (Regione Lombardia), Michele Fanelli (Consulente), Aldo Marcello (Progettista), Carlo Ricciardi (Ministero Infrastrutture), Giovanni Ruggeri (ENEL)

In tale contesto è da osservare che quanto previsto dalla Legge 139/05 in materia di dismissione di dighe fuori esercizio per le quali non è stata rinnovata o richiesta la concessione (si vedano i § 4.1.2 e § 4.1.3), è stato definito a fronte di specifiche situazioni caratterizzate dal pluriennale persistere di condizioni di potenziale pericolosità associata ad incertezze sulla gestione. Pur rappresentando un evento importante nel contesto della normativa nazionale, tuttavia tale iniziativa non può ritenersi rappresentativa di un ponderato processo decisionale di dismissione.

criteri organici atti a favorire, da parte delle autorità pubbliche di controllo e con l'attiva collaborazione dei responsabili e degli aventi diritto, l'emanazione di norme e regolamenti che introducano razionalità ed uniformità di condotta da parte dei concessionari e delle pubbliche amministrazioni, salvaguardando per quanto possibile il pubblico interesse e l'equità verso tutte le parti in causa.

5.6.3 La dismissione. La dismissione di una diga si può definire nel modo più semplice e più ampio come l'iter progettuale, finanziario, amministrativo, esecutivo, ispettivo e documentario da percorrere quando la diga non possa continuare nelle sue funzioni utili per qualsiasi valido motivo. Esso può seguire molteplici opzioni includendo quindi implicitamente un insieme di prassi e di regole in evoluzione, influenzate dai mutamenti tanto del tessuto territoriale e socioeconomico quanto del pensiero tecnico, legislativo ed amministrativo. I principali fattori che stanno imponendo la dismissione delle dighe all'attenzione dei gestori e dei regolatori sono:

- il progressivo invecchiamento di molte opere che si avvicinano alla scadenza della concessione,
- il manifestarsi di situazioni di degrado o di insufficienze (strutturali, idrauliche, ecc.) difficili da correggere in modi che consentano la continuazione dello sfruttamento con adeguato ritorno economico,
- la cessata economicità dello sfruttamento, anche a seguito di oneri/limitazioni aggiuntivi imposti all'esercizio,
- il fallimento o la latitanza del gestore/proprietario,
- l'imposizione della dismissione da parte delle Autorità per il venir meno delle condizioni tecniche, economiche e ambientali che ne giustificano l'esercizio,
- la richiesta della dismissione da parte di gruppi di pressione per vie efficaci e per motivi plausibili.

La discussione razionale sull'argomento impone di considerare come il decommissioning di una diga debba essere visto sotto vari aspetti, tra cui i principali possono essere riassunti da una serie di domande, peraltro non esaustive:

- quando e per quali motivi occorra prevedere il decommissioning ed in quali forme;
- quali alternative si possano proporre, e se del caso come si debba giustificare e documentare la decisione del decommissioning in base ad un'oggettiva analisi-istruttoria dei bilanci costi/benefici delle varie alternative, che deve essere garantita contro atti di arbitrio;
- come pianificarlo nel quadro di una gestione integrata rispettosa dell'ambiente;
- da parte di chi (e sotto la responsabilità di chi) esso debba essere attuato;
- con quali mezzi finanziari (forniti o predisposti da chi?) si debba procedere alla dismissione;
- quali principi tecnico-organizzativi generali debbano presiedere al decommissioning;

La dismissione di una diga, una volta riconosciuta la necessità, può esplicarsi sostanzialmente secondo le seguenti modalità:

- abbandono dell'utilizzazione assumendo quei provvedimenti che garantiscono le condizioni di sicurezza, inclusa l'eventuale demolizione parziale atta a lasciare l'opera inutilizzata, o con cambiamento della destinazione d'uso (ad esempio, creazione di un'area ricreativa o faunistica), ma in accertate condizioni di sicurezza,
- demolizione totale ed eventuale ripristino di condizioni ambientali accettabili (dam removal, soluzione adottata più frequentemente per opere di piccole dimensioni).

In ogni caso la dismissione ha un costo (funzione delle modalità con cui essa viene attuata) e da essa si attendono dei benefici: un'analisi costi/benefici è pertanto lo strumento razionale per scegliere le opzioni, che vanno attentamente

pianificate dal punto di vista tecnico, amministrativo e finanziario.

Nei Paesi europei si va imponendo l'esigenza di abbandonare la logica del "caso per caso" seguita finora nelle poche effettive situazioni di dismissione e di istituire, se non ancora una vera e propria regolamentazione della materia, almeno una prassi e delle linee guida atte ad orientare gli attori del processo verso una opportuna uniformità dei principi da seguire e dei criteri per giudicare l'accettabilità dei progetti di dismissione nonché dei risultati della loro attuazione. Da rimarcare che in U. S. A., ed in parte nel Canada, dove i casi di dismissione sono assai più numerosi (più di 460 nei soli U. S. A., pur se relativi in maggioranza a piccole dighe), si è già in una fase più avanzata con l'elaborazione di norme/raccomandazioni aventi valore prescrittivo almeno parziale (ad es. le norme FERC, la Federal Energy Regulatory Commission, valide per le dighe sotto controllo federale).

Il quadro normativo nazionale. I riferimenti individuati nel quadro delle norme italiane sono di seguito riportati e commentati:

Testo Unico 1933

Art. 25, comma 1

Al termine dell'utenza e nei casi di decadenza o rinuncia, nelle grandi derivazioni per forza motrice, passano in proprietà dello Stato, senza compensi, tutte le opere di raccolta, di regolazione e di condotte forzate ed i canali di scarico, il tutto in stato di regolare funzionamento.

Art. 26, comma 1

Nell'ultimo quinquennio di durata delle utenze di grandi derivazioni per forza motrice, il Ministro dei lavori pubblici, sentito il Consiglio Superiore e di concerto col Ministro delle finanze, può ordinare, ..., l'esecuzione di quanto è necessario per la piena efficienza e per il normale sviluppo degli impianti, stabilendo l'onere eccedente l'ordinaria manutenzione che debba essere sostenuto dallo Stato in quanto non

ammortizzabile nel quinquennio.

Art. 30, comma 1

Le concessioni di piccole derivazioni, al loro termine, sono rinnovate in conformità dell'art. 28 e, in mancanza di rinnovazione, lo Stato ha il diritto di ritenere senza compenso le opere costruite in alveo, sulle sponde e sulle arginature del corso d'acqua, o di obbligare il concessionario a rimuoverle e ad eseguire a proprie spese i lavori necessari per il ripristino dell'alveo, delle sponde e delle arginature nelle condizioni richieste dal pubblico interesse.

Commenti

Quanto espresso nel Testo Unico 1933 potrebbe far ritenere che un differente comportamento sia richiesto per le grandi derivazioni rispetto alle piccole derivazioni: per queste ultime verrebbe essere imposta la rimozione delle opere al termine della concessione, mentre per le grandi derivazioni si prevedrebbe il loro passaggio in proprietà dello Stato, senza compenso, in condizioni di regolare funzionamento, senza possibile obbligo di rimozione (accettando, implicitamente, che l'ipotesi di rimozione e ripristino dell'alveo non siano possibili per le grandi derivazioni). In realtà, approfondimenti svolti al riguardo con la consulenza di un esperto legale hanno evidenziato che alla luce di altre disposizioni normative, ed in particolare per quanto espresso nelle Circolari del MLLPP n. 243 del 15/03/1972 e n. 148/233 del 6 Marzo 1975, la possibilità di obbligo della rimozione opere e ripristino luoghi si applica anche alle grandi derivazioni.

Legge 28 maggio 2005, n. 139 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 29 marzo 2004, n. 79, recante disposizioni urgenti in materia di sicurezza di grandi dighe"

Art. 1, comma 1

Il Registro italiano dighe ... individua ... le dighe fuori esercizio ... per le quali non sia stata rinnovata o richiesta la concessione e per le quali non abbia avuto luogo la dismis-

sione definitiva della diga, così da costituire una condizione di rischio per le popolazioni a valle. Ai fini delle disposizioni di cui al presente comma, per dismissione definitiva di una diga si intende la demolizione anche parziale dell'opera di sbarramento purché risulti garantita la sicurezza del sito.

Art. 4, comma 1-bis

Nel caso di dighe rispetto alle quali sia segnalato il venire meno delle condizioni tecniche, economiche e ambientali che ne giustificano l'esercizio, il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, d'intesa con il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, può avviare la procedura per la revoca della concessione di derivazione e per gli adempimenti di cui all'articolo 1.

Commenti

Nell'articolo 1 compare la definizione del termine "dismissione" come sinonimo di demolizione (parziale o totale), almeno nei casi in cui la diga "... può costituire una condizione di rischio per le popolazioni a valle...". Il GdL concorda sulla necessità di esaminare anche l'aspetto semantico per evitare che possano sussistere equivoci di interpretazione. Si conviene sulla opportunità di suggerire l'adozione dei termini:

- dismissione (in analogia con il termine anglosassone decommissioning), per indicare la cessazione della missione della derivazione idrica (indipendentemente dal tipo di finalità, ovvero per produzione elettrica, per approvvigionamento idrico o per altri usi),
- demolizione o rimozione (in analogia con il termine removal), per indicare la demolizione (totale o parziale dell'opera).

Un ulteriore commento riguarda il contenuto dell'articolo 4 nel quale viene introdotta una significativa estensione delle possibilità di revoca di una concessione (e quindi, potenzialmente, dell'avvio di una procedura di dismissione) non solo per ragioni tecniche (ad es. per mancanza dei necessari mar-

gini di sicurezza delle opere) o per rinuncia del concessionario, ma anche per concorrenti ragioni ambientali (e questo aspetto può essere considerato in linea con la maggiore attenzione delle popolazioni al tema della tutela dell'ambiente) ed economiche. Quest'ultimo aspetto costituisce un'assoluta novità che, qualora non sufficientemente esplicitato nel suo significato, potrebbe costituire elemento di fortissimo contenzioso tra i vari stakeholders.

OPCM del 24 marzo 2005. L'ordinanza richiama il decreto del PCM del 18 novembre 2004 che dichiara lo stato di emergenza in relazione alla messa in sicurezza di 14 grandi dighe¹³ per le quali non è più rintracciabile il concessionario e dispone una serie di azioni (nomine di commissari e stanziamenti) per l'attuazione di interventi urgenti finalizzati a fronteggiare situazioni di potenziale pericolo.

Commenti

Si è ritenuto opportuno contattare il Registro Italiano Dighe per avere informazioni sulle eventuali azioni orientate alla dismissione o alla demolizione di tali opere, in modo da raccogliere possibili informazioni sull'iter tecnico e amministrativo che si intende seguire. Alla data attuale non vi sono, tuttavia, novità in merito.

Normativa della Regione Lombardia. DELIBERAZIONE GIUNTA REGIONALE 5 MARZO 2001, N. 7/3699. Direttive per l'applicazione della legge regionale 23 marzo 1998, n.8 in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale

art. 15. disattivazione o dismissione delle opere di ritenuta.. Fermo restando quanto previsto dal R.D. 1775/33 per le grandi derivazioni e per le piccole derivazioni, ed acquisita la pronuncia favorevole dell'autorità idraulica competente all'approvazione del progetto ed alla successiva consegna delle opere, per la dismissione (demolizione delle opere e ripristino dei luoghi) o la disattivazione (eseguire gli in-

terventi necessari per la messa in sicurezza delle opere) di un'opera di ritenuta, ai sensi dell'art. 13 della legge regionale deve essere redatto e presentato al Genio Civile un apposito progetto che contenga "le modalità, i tempi e le condizioni" per la realizzazione di quanto previsto, con le seguenti prescrizioni tecniche:

- provvedere - nel caso di totale demolizione, cioè di annullamento di qualsiasi soglia di ritenuta - anche all'asportazione e posa a discarica del materiale solido eventualmente accumulato con il tempo nell'invaso;
- assicurare - nel caso di interventi per la messa in sicurezza delle opere - che quanto rimane in opera del manufatto sia tale da consentire il transito della portata di piena riferita ad un tempo di ritorno non inferiore a 100 anni, con un rigurgito idrico non superiore al livello di massima regolazione dell'invaso preesistente;
- le eventuali luci sotto battente per l'evacuazione della portata in arrivo devono essere private degli organi di intercettazione e devono essere dimensionate e conformate in modo da non essere soggette ad otturazione da trasporto solido e causa a valle di scarico concentrato (per esempio dotandole di elementi in grado di dissipare direttamente e completamente l'energia del getto);
- eseguire - di qualsiasi elemento strutturale rimanga in posto - una verifica statica che ne certifichi il sufficiente grado di stabilità nelle più gravose condizioni, soprattutto in assenza di presidio e di interventi manutentivi anche ordinari.

Nel caso di inadempienze del Concessionario, interviene d'ufficio il Genio Civile, addebitando i relativi oneri al Concessionario, con le procedure già utilizzate in materia di polizia delle acque.

Normativa della Regione Piemonte. DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE 9 NOVEMBRE 2004, N. 12/R. Regolamento regionale di attua-

zione della LR 6 Ottobre 2003 n. 25 (Norme in materia di sbarramenti fluviali di ritenuta e bacini di accumulo idrico di competenza regionale)

Art. 25 - Disattivazione o dismissione delle opere di ritenuta.

- Ogni modifica alle opere, compresa la demolizione delle stesse finalizzata al ripristino dei luoghi o alla messa in sicurezza dello sbarramento, deve essere descritta in un progetto che il proprietario deve trasmettere al settore regionale competente in materia di sbarramenti per ottenere, se valutata necessaria, anche l'approvazione della conferenza dei servizi istituita all'interno della Direzione Difesa del Suolo.
- Deve essere consegnata una documentazione che, in linea di massima, proponga un ripristino dei luoghi alle condizioni precedenti alla costruzione o almeno preveda l'impossibilità, per le opere rimanenti, di creare invasi o trattenute di alcun genere.
- La demolizione viene autorizzata con determinazione del settore regionale competente in materia di sbarramenti.
- La disattivazione o dismissione delle opere di ritenuta può essere imposta dal settore regionale competente in materia di sbarramenti anche a seguito di mancato pagamento delle spese di istruttoria, dei pagamenti previsti all'articolo 20 (gruppi NC, MD) o di mancata trasmissione delle integrazioni richieste e per concomitanti motivi di temuto rischio per la pubblica incolumità

5.6.4 Esame dei casi italiani e stranieri

Di seguito si riportano sinteticamente alcuni casi italiani ed europei di dismissione di cui è stato possibile recuperare documentazione. Sono esempi tra loro eterogenei, sia per le modalità con cui si è operata la dismissione, sia per le

dimensioni degli oggetti, comunque tutti di ridotte dimensioni. Dalla lettura apparirà evidente come, in caso nazionale e mondiale, non si abbia alcuna letteratura su esperienze maturate nella dismissione di grandi dighe (60-200m al coronamento).

La diga di Isollaz (Italia). Il bacino di compenso realizzato dallo sbarramento di Isollaz, di altezza 16.32 m, era ubicato nel comune di Challant St. Victor (Val d'Aosta).

L'opera fu realizzata negli anni 1941-'42, parte in scavo, parte in riporto con argini in materiali sciolti. I paramenti erano rivestiti sul lato dell'invaso con lastroni in calcestruzzo e sui paramenti esterni con muratura di pietrame e malta cementizia.

La tenuta del serbatoio era realizzata da una platea di fondo in calcestruzzo completata da un sottostante sistema drenante per la raccolta di eventuali filtrazioni

Nel 1998 il serbatoio veniva messo fuori esercizio a causa di un progressivo aumento delle perdite per filtrazioni lungo il lato sud del manufatto. L'opera, per poter essere mantenuta in esercizio, necessitava di interventi di manutenzione ritenuti troppo onerosi dal proprietario (ENEL).

Il progetto dell'intervento di dismissione prevedeva: e la riprofilatura dei pendii dei rilevati in terra che costituivano le sponde del bacino (per raggiungere pendenze in linea con la normativa vigente), la demolizione completa dell'opera di scarico posta in fregio all'alveo, la realizzazione di un varco a tutta sezione (in corrispondenza del precedente manufatto di scarico) di 6 m di larghezza delimitato da una platea di fondo e da muri di contenimento in calcestruzzo armato.

Al piede della scarpata interna è stato realizzato un manufatto in conglomerato cementizio con funzione di fermapiè. Dell'opera fa parte una canaletta di raccolta delle acque di scolo provenienti dal bacino e dai drenaggi predisposti alla base del rilevato. Tali acque vengono adeguatamente convo-



vista del bacino prima della dismissione (ITCOLD)



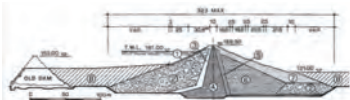
vista dell'opera di scarico prima della demolizione (ITCOLD)



vista del bacino nella fase di realizzazione dei lavori (ITCOLD)



vista dell'opera al completamento dei lavori, giugno 2003 (ITCOLD)



diga di Disueri, sezione trasversale della vecchia e della nuova opera di sbarramento (ITCOLD)



diga di Disueri, vista della breccia realizzata del corpo centrale della vecchia diga (ITCOLD)



diga di Santa Chiara a Ula Tirso, vista dell'opera in fase di costruzione e a lavori appena ultimati (ITCOLD - SAR.D.L.it)

gliate fino all'esistente scarico di esaurimento. La sezione di sbarramento è stata completata con la stesura di uno strato di terreno vegetale rivestito con rete non tessuta in materiale plastico e con l'idrosemina effettuata con essenze erbacee. Il materiale di demolizione fu trasportato in discarica. I lavori effettivi furono condotti tra l'ottobre del 2002 e l'aprile del 2003.

A seguito del parere favorevole espresso dalla IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (nel 2000) e dell'approvazione del progetto da parte del Servizio Nazionale Dighe (nel 2002), la procedura di dismissione avviata nell'ottobre del 1998 veniva completata nel giugno del 2003 con la derubricazione dell'impianto da parte dell'Ufficio Coordinamento istruttoria Progetti e vigilanza Lavori (UCPL) del Servizio Nazionale Dighe.

La diga di Disueri (Italia). Il bacino di Disueri [9] sul fiume Gela in Sicilia realizzato per l'irrigazione fu costruito con finanziamento pubblico negli anni '40 nell'immediato dopoguerra. La diga, alta 48 m, fu realizzata in pietrame a secco posizionato su una platea in calcestruzzo provvista di un tampone al piede di monte. L'impermeabilizzazione dell'opera era garantita da un paramento di monte in calcestruzzo. Sfortunatamente la necessità di mettere in servizio l'opera portò a sottostimare i problemi legati alla stabilità delle sponde. Infatti nel 1952, in seguito a forti piogge invernali, si verificò una frana che interessò la spalla destra dell'opera. I lavori eseguiti immediatamente (sistemazione idraulica superficiale, drenaggi e gabbioni al piede della frana) non conseguirono gli effetti attesi e nel 1954 si verificò una nuova frana. A valle di una campagna di indagini geotecniche che fornì un quadro geologico più chiaro sulle cause dell'evento franoso, negli anni 1955-'60 si eseguirono i necessari lavori di stabilizzazione. Tuttavia i fenomeni franosi si susseguirono in differenti zone del bacino nel corso degli invasi sperimentali. Per tali ragioni le Autorità di controllo

decisero di imporre una limitazione dell'invaso. Un ulteriore problema riguardò il notevole ed inatteso trasporto solido nel bacino che in poco più di un decennio ne dimezzò la capacità idrica. Verso la fine degli anni '60 cominciarono a sorgere i primi problemi relativi alla stabilità della diga: una serie di fessure interessarono il paramento di monte in calcestruzzo. Le cause principali furono attribuite alla spinta aggiuntiva dei sedimenti e a fenomeni di consolidamento in particolare in sponda destra. Una ulteriore riduzione dell'invaso fu quindi prescritta anche alla luce di nuove valutazioni idrologiche a fronte delle quali gli organi di scarico risultavano insufficienti. Il proprietario dell'opera (Consorzio di Bonifica della Piana del Gela) decise, quindi, di procedere all'abbandono della diga e alla predisposizione di un nuovo progetto per la realizzazione di una diga a valle di quella esistente. Il nuovo progetto venne approvato nel 1979 e l'opera venne realizzata tra il 1981 e il 1984. La vecchia diga funzionò come avandiga nella fase costruttiva della nuova opera e in essa fu realizzata una breccia per dare continuità al bacino nel 1994 quando la nuova diga fu completata.

La diga di Santa Chiara d'Ula (Italia) La diga di S. Chiara, costruita sul corso del fiume Tirso (Sardegna) tra il 1918 e 1924 per uso plurimo, idroelettrico ed irriguo (con prevalenza di quest'ultimo), è una struttura a archi multipli (in cemento armato) e speroni (in muratura), alta 70 metri e con un invaso di oltre 400 milioni di m³.

A seguito di lesioni manifestatesi in alcuni speroni della diga, nel 1968 si giunse ad una riduzione dell'invaso da 400 Mmc a 148 Mmc ed alla conseguente idea della costruzione di una nuova diga più a valle di S. Chiara.

La costruzione della nuova diga detta "Cantoniera", alta 100 m e con una capacità d'invaso di 780 Mmc, un'opera di sbarramento a gravità in calcestruzzo, comportava la sommersione della vecchia diga a monte. Il problema fondamentale era rappresentato dalla necessità di evitare che la vecchia

diga costituisse un eventuale sbarramento all'interno del nuovo lago per quote d'invaso inferiori al suo coronamento. Scartata l'ipotesi della totale demolizione della vecchia struttura, venne prescelta la soluzione di aprire due varchi su due voltine nella diga di S. Chiara, una volta ultimati i lavori della nuova diga.

La soluzione prescelta è consistita essenzialmente nell'inserimento, nelle cavità esistenti tra gli speroni X-XI e XI-XII, di una struttura scatolare di calcestruzzo armato per ciascun vano (dimensioni: larghezza m. 7.20, altezza m. 9.00; lunghezza m. 45 circa). della diga e con la demolizione della parte in calcestruzzo antistante le voltine delle stesse dimensioni dello scatolare. L'imbocco per il passaggio dell'acqua è stato realizzato aprendo le voltine alla quota 61,80 m s.m. prevista dal progetto e disponendo, in prosecuzione della calotta delle strutture scatolari, un timpano di chiusura in c.a. raccordato alle voltine stesse. I bordi superiore e inferiore dell'imbocco sono stati protetti con un rivestimento in acciaio. I fianchi dello scatolare, nella sezione di imbocco, sono stati raccordati agli spigoli degli speroni con una superficie curva. Per la realizzazione delle due aperture nelle voltine era richiesto in alternativa la realizzazione di un'opera di protezione o l'abbassamento a quota adeguata del livello del lago.

Per quanto concerne le modalità esecutive della demolizione delle voltine e della parte antistante in calcestruzzo, scartata l'ipotesi di realizzazione di una tura in terra che sarebbe risultata di notevoli dimensioni (oltre 20 metri di altezza) ed esclusa l'ipotesi di abbassamento del livello del lago mediante pompaggio a causa dei costi troppo elevati, si è previsto lo svuotamento del bacino dopo la realizzazione da valle sino al calcestruzzo antistante le voltine delle due strutture scatolari prima citate. Nei vani prescelti si è pertanto proceduto alla demolizione delle macchine ed al riempimento con calcestruzzo sino alla quota dello sbocco di valle (61,80 m s.m.)

ed alla costruzione dei due scatolari sino ad appoggiarsi a monte al calcestruzzo antistante le voltine.

Contemporaneamente, svuotata la diga sino alla quota di 73 m s.m. tramite l'esistente galleria di scarico, era necessario raggiungere anche a monte la quota di 61,80 m s.m. dello sbocco dello scatolare a valle. Si è pertanto intervenuti nel vano della macchina in sponda destra demolendo la stessa ma lasciando il condotto di scarico a valle in posizione aperta e intervenendo all'interno del condotto di monte in calcestruzzo mediante la realizzazione, da quota 73,00 m s.m. a quota 61,80 m s.m., di una serie di fori DN250 a intervalli di quota regolari nella parete di monte e nelle laterali mediante una carotatrice posizionata all'interno del condotto.

Una volta eseguito il carotaggio mantenendo in posto le carote, veniva effettuato uno sfilamento minimo (dell'ordine di alcuni centimetri) della carota per permettere l'installazione da monte di scudi circolari metallici (da parte di sommozzatori) che impedivano, sfilata completamente la carota, il passaggio dell'acqua. Successivamente gli scudi venivano rimossi, sempre con l'ausilio del sommozzatore, per strappo, consentendo il graduale svuotamento dell'invaso. La demolizione graduale e controllata delle voltine veniva, quindi, eseguita senza battente d'acqua a monte mediante un filo diamantato che passava in opportuni fori (uno superiore ed uno inferiore) ed azionato da opportune attrezzature scorrevoli poste nella parte a monte del calcestruzzo antistante le voltine e delle voltine stesse.

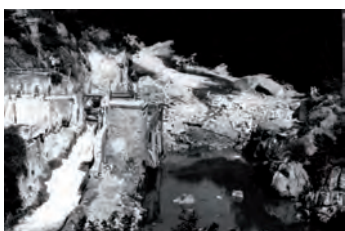
La diga di Kernansquillec (Francia). La diga di Kernansquillec in Bretagna, vecchia di 75 anni, è stata demolita nel 1996. Si trattava di una diga a volte multiple alta 15 m e con un serbatoio di 400.000 m³. Tenuto conto della vetustà dell'opera, dei rischi indotti a valle e della mancanza di un potenziale gestore al termine della concessione, la decisione di demolizione è stata presa dal Prefetto. La gestione dei sedimenti, che costituivano il 50% della capacità del serba-



diga di Santa Chiara a Ula Tirso, apertura dei varchi nel vecchio sbarramento e la nuova diga Cantoniera, più a valle. La vecchia diga è attualmente semisommersa. (ITCOLD, SAR.D.L.it)



diga di Kernansquillec a seguito della dismissione. (ITCOLD)



La demolizione con esplosivo della diga di St. Etienne de Vigan (Francia) effettuata il 24 giugno 1998 (ITCOLD - ERN)



vista aerea della diga di Coursier: è visibile la breccia praticata nella parte centrale dell'opera. (ITCOLD)

toio, fu realizzata senza interruzione delle opere di presa per le destinazioni d'uso dell'acqua (approvvigionamento idrico e itticoltura, posta ad alcune centinaia di metri a valle della diga). Lo svuotamento è stato realizzato con successo combinando: (i) l'idro-fluitazione di 90.000 m³ di sedimenti in modo da ripristinare l'antico letto del fiume, (ii) la consolidazione in posto dei sedimenti rimanenti per il lento abbassamento del livello dell'acqua, (iii) la costruzione di 4 soglie in roccia a valle dello sbarramento per la decantazione dei sedimenti al termine dello svuotamento. Il costo totale dell'operazione fu di poco superiore a 1 milione di dollari, di cui il 60% per la sola gestione dei sedimenti.

La diga di Saint-Etienne-du-Vigan (Francia). Alta circa 13 m, fu costruita alla fine del 19th secolo sul fiume Allier, il principale tributario della Loira. Si è trattato del primo caso di una diga dell'Electricité de France che è stata distrutta per ripristinare un habitat adatto alla reintroduzione dei salmoni. Prima della costruzione della diga, i villaggi dell'area basavano la loro economia prevalentemente sulla pesca e sulla lavorazione del salmone. La produzione idroelettrica dell'impianto era di circa 35 MWh, una piccola frazione della produzione elettrica dell'area. Nell'autunno del 1997 la diga venne svuotata quando una piena di 80 m³/sec spazzò via i sedimenti accumulatisi nel bacino, fortunatamente senza gravi conseguenze a valle. Il costo globale della demolizione fu stimato in 2.3 milioni di dollari, inclusi 1.2 milioni per compensare i canoni pagati da EDF. Questi importi vennero utilizzati per migliorare l'habitat e le infrastrutture turistiche.

La diga di Coursier (Canada). Collocata nella regione della British Columbia, Canada, è stata oggetto di dismissione nel 2003. Si tratta di una diga gestita dalla British Columbia Hydro, del tipo in materiali sciolti, alta 19 m (inizialmente solo 12.3 m) e lunga 685 m., costruita nel 1963 a scopo di generazione idroelettrica. Negli ultimi 36 anni (dal 1963 al

1999) la diga ha subito numerosi incidenti di eccessive perdite per filtrazione, sifonamenti, fontanazzi ecc., cosicché è stata giudicata non più sicura. La soluzione scelta (dopo avere esaminato varie alternative: riparazione, ricostruzione, esercizio con livello d'invaso ridotto...) consistette nel ripristino del vecchio corso del fiume (South Cranberry Creek) praticando una breccia attraverso la diga con l'asportazione di circa 105000 m³ di materiale del corpo diga. I materiali asportati sono stati messi a dimora in discariche appositamente identificate ed in parte (le frazioni sabbiose e ghiaiose) nelle cave da dove il materiale era stato estratto in origine. Il documento è stato redatto per ottenere il certificato d'approvazione per il decommissioning sotto l'egida del BC Environmental Assessment Act e contiene valutazioni non solo dei rischi e delle misure di mitigazione, ma altresì degli effetti ambientali (qualità delle acque, vegetazione, fauna ittica e selvatica, patrimonio culturale ed archeologico). Dopo l'attivazione di un programma di consultazione preliminare condotto da BC Hydro, l'Ufficio di Valutazioni Ambientali (Environmental Assessment Office) stabiliva un periodo di 36 giorni per raccogliere i pareri della popolazione che furono opportunamente tenuti in conto.

5.6.5 le problematiche connesse alla dismissione delle dighe italiane

Il quadro socio-economico attuale nel contesto italiano. In Italia, come in molte altre Nazioni industrialmente evolute, le acque del ciclo idro-meteorologico sono considerate dalla legislazione vigente essere un bene pubblico (demaniale) di cui lo Stato dispone nell'interesse della collettività.

Lo Stato, sempre a norma della legislazione vigente, può dare in concessione le acque di un dato bacino idrologico, per un tempo prefissato e dietro corresponsione di un canone annuo di concessione, a richiedenti che dimostrino di

voler utilizzare le acque in questione per scopi industriali, civili od agricoli in cui le Autorità concedenti ravvisino gli estremi di pubblica utilità.

Il primo problema che si pone è: cosa avviene allo scadere della concessione?

La regolamentazione vigente prevede che possano darsi fondamentalmente due casi:

- il concessionario può richiedere il rinnovo della concessione (rinnovo che può essere accordato – con eventuale revisione del canone - o rifiutato), oppure
- il concessionario rinuncia al rinnovo e le opere da esso costruite passano in proprietà allo Stato con l'obbligo al concessionario uscente di consegnarle in stato di perfetta conservazione ed efficienza (si veda più oltre per la definizione delle responsabilità finanziarie inerenti).

Nonostante quanto previsto dalla normativa, occorre segnalare che talvolta è accaduto che alcune dighe siano state abbandonate allo scadere della concessione (o in assenza di concessione per le opere abusive) senza che fossero svolti o completati i previsti iter procedurale e autorizzativo.

Una seconda categoria di problemi può sorgere qualora le Autorità di controllo ravvisino la necessità di revocare la concessione prima della scadenza naturale, per ragioni che possono essere le più varie ma tra le quali spicca la possibilità che emerga la presenza di un rischio per gli insediamenti a valle, fermo restando che le Autorità di controllo possono disporre la messa in atto di azioni per garantire la sicurezza (ad esempio prescrivendo limitazioni di invaso), indipendentemente dalla revoca della concessione. In questi casi l'eventualità di una dismissione delle opere di sbarramento è qualcosa che evidentemente rientra in modo prioritario tra i provvedimenti da adottare, fermo restando che dismissione non significa necessariamente demolizione completa delle opere, ma può includere altre opzioni, come la demolizione parziale e/o la messa in atto di condizioni di

esercizio che consentano un regime di sorveglianza limitato (ad esempio nel caso di declassamento dell'opera da grande a piccola diga).

E qui è opportuno notare che non di rado i rischi maggiori possono derivare dalle piccole dighe in quanto meno curate nell'esecuzione, meno accuratamente mantenute e meno controllate nella loro gestione e nel loro comportamento in esercizio (quando non addirittura clandestine nel senso prima detto), talché non è possibile considerare le sole grandi dighe.

Una terza categoria di problemi riguarda in generale la responsabilità e la pianificazione economico-finanziaria dei lavori di dismissione, responsabilità e pianificazione che nel nostro Paese sono attribuite al Concessionario (tranne l'ammissione che negli ultimi cinque anni della durata di concessione lo Stato debba concorrere alle spese di adeguamento in quanto non ammortizzabili da parte del gestore alla stregua delle attività di manutenzione ordinaria). Occorre, comunque, rilevare che gli impegni economici richiesti per procedere alla dismissione appaiono, in genere, così elevati da rendere necessario un esame approfondito del problema per individuare soluzioni sostenibili sul piano tecnico, economico e finanziario.

Con questo ordine di questioni sono strettamente intrecciate da un lato la necessità di effettuare attendibili analisi costi/benefici delle varie opzioni a priori concepibili, dall'altro l'analisi della loro fattibilità tecnica e della loro compatibilità ambientale e sociale.

Un quarto genere di problemi riguarda l'ambito decisionale, che in una società retta da istituzioni democratiche più o meno decentrate a livello locale non può prescindere da forme di consultazione e, ove fattibile, di partecipazione. Nei Paesi anglosassoni (in particolare negli U. S. A.) la partecipazione al processo decisionale è particolarmente capillare e ramificata, con l'istituzione per ogni caso concreto

di tavoli di discussione dove collaudate procedure di definizione consensuale dei pesi dei singoli fattori consentono una valutazione ed una classificazione quantitativa di merito delle varie soluzioni percepita da tutti gli stakeholders come sufficientemente obiettiva ed imparziale; appare chiaro che un simile modus operandi tanto coralmente partecipativo non è, allo stato attuale, proponibile in una società ancora per certi versi verticistica, frammentata e conflittuale come quella italiana, ma senza dubbio le autorità e le rappresentanze locali non potranno essere lasciate fuori dal processo decisionale, tanto più che esse vengono sempre maggiormente investite di poteri legislativi ed esecutivi delegati ad esse dall'autorità centrale.

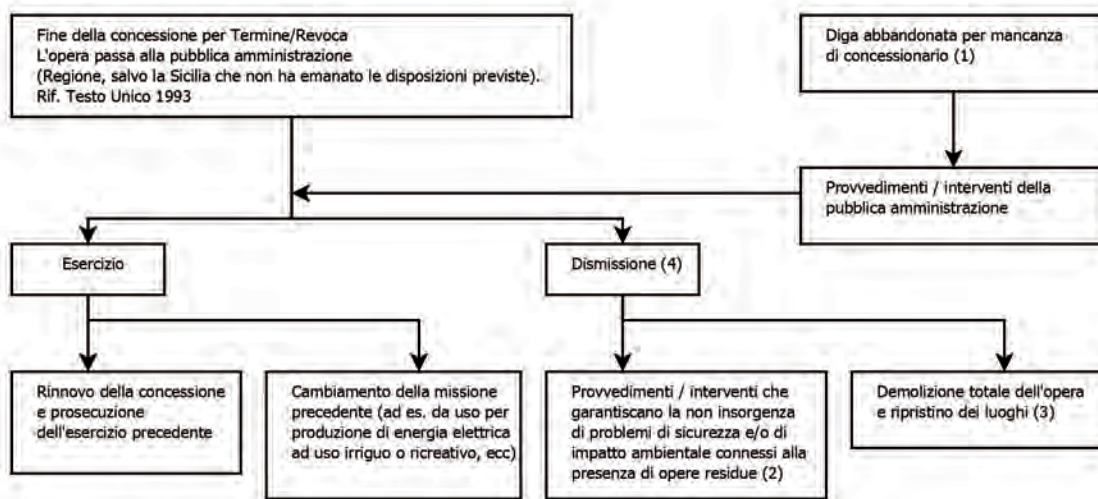
Tra gli stakeholders, è bene rimarcarlo, devono figurare – per ovvi motivi- sia l'Autorità di bacino sia la Protezione

Civile.

Infine, dalle pubblicazioni in materia emerge l'esigenza di instaurare ed aggiornare, con criteri per quanto possibile omogenei, una documentazione completa delle analisi e dell'iter di ogni singolo caso; più in generale sarebbe opportuno promuovere la formazione non solo di un archivio unificato delle singole istruttorie, ma soprattutto di una specifica cultura tecnico-amministrativa che garantisca la disponibilità di un corpus di funzionari atto a prendersi carico delle istruttorie di dismissione con modalità uniformi su tutto il territorio nazionale.

Il flow-chart a lato descrive in modo estremamente sintetico le possibilità di prosecuzione dell'esercizio o la necessità di dismissione di una diga al termine della concessione: l'esercizio dell'opera può verificarsi sia nel caso di rinnovo della concessione, sia nel caso di modifica della missione (ad esempio, da utilizzo della risorsa idrica per produzione idroelettrica a uso irriguo, ecc.). In entrambi i casi, l'esercizio può essere proseguito da parte del concessionario che si aggiudica il diritto di concessione. La dismissione interviene quando non viene rinnovata la concessione o nel caso di diga abbandonata per mancanza di concessionario. Questa seconda fattispecie, fortunatamente limitata ad un numero ridotto di casi, è presente nel nostro Paese come si evince dalla OPCM del 24/3/2005. Per quanto riguarda i provvedimenti da mettere in atto, si fa riferimento alla demolizione delle opere e al ripristino dei luoghi (soluzione praticabile di fatto per le piccole dighe, mentre per le grandi opere sono ragionevolmente ipotizzabili eventuali demolizioni parziali) e comunque, alla messa in atto di provvedimenti che garantiscano la sicurezza dei luoghi nel rispetto dell'ambiente.

considerazioni finali. Dalle varie fonti si ricava l'impressione complessiva che le conoscenze e competenze coinvolte nel decommissioning di una diga siano attualmente



note

- 1) si tratta in genere di dighe molto vecchie di cui non è più rintracciabile il commissario (Rif. OPCM 20/3/05)
- 2) anche se il T.U. 1993 e successiva legislazione non prevedono distinzioni tra grandi e piccole dighe, di fatto ci si riferisce alle grandi dighe
- 3) come nota 2, la demolizione totale è applicabile di fatto alle piccole dighe
- 4) la dismissione è a carico del concessionario (o della P.A. per le dighe abbandonate)

più un'arte interdisciplinare in continuo divenire che una disciplina scientifica in senso stretto; il crescente numero di esperienze, conseguenza del progressivo invecchiamento del parco dighe e del boom di costruzioni della seconda metà del XX° secolo, potrà consolidare e far progredire, sottraendola all'empiria ed all'improvvisazione del "caso per caso", questa non più ignorabile branca dell'ingegneria idraulica e territoriale.

Le fonti consultate, pur nei loro diversi contesti e punti di vista, mostrano una notevole concordanza sulla rilevanza di un certo numero di punti chiave, che in estrema sintesi si possono riassumere come segue:

- definire, anche attraverso lo sviluppo di apposite normative, l'iter da prevedere in caso di decommissioning;
- individuare modalità e mezzi per creare la disponibilità delle risorse necessarie per il decommissioning;
- pianificare accuratamente e tempestivamente la dismissione di ogni diga, considerando le possibili alternative, in un quadro di analisi costi/benefici, di valutazione degli impatti ambientali (incluso il contesto culturale e, se del caso, archeologico) delle varie opzioni, di una gestione integrata delle risorse e dei rischi territoriali;
- attivare un virtuoso *modus operandi* nei rapporti con gli stakeholders - in particolare con le comunità toccate sia dai benefici della diga che dalle operazioni e dalle conseguenze del decommissioning - basato sulla consultazione, sulla concertazione, sulla condivisione e trasparenza delle informazioni, sul compromesso esplicitamente accettato tra i vari punti di vista ed interessi in gioco, prevedendo il coinvolgimento del livello locale;
- attuare un attento controllo e monitoraggio della situazione sia prima che durante e dopo la dismissione;
- documentare in modo standardizzato tutti i passi dell'iter di dismissione;
- promuovere l'istituzione di corsi tecnici ed accademici

per formare e qualificare gli specialisti chiamati ad operare nel campo del decommissioning



S. Poretti, "Un tempo felice dell'ingegneria italiana. Le grandi opere strutturali dalla ricostruzione al miracolo economico", «Casa-bella», 739-740, dic.2005- gen. 2006; T. Iori, "L'ingegneria italiana del dopoguerra: appunti per una storia", in G. Mochi (a cura di), "Teoria e saperi del costruire: saperi, strumenti, modelli", Edizioni Moderna, bologna, 2005; S. Poretti, L'ingegneria e la "scomparsa delle lucciole", in A. Buccaro, G. Fabbricatore, L.M. Papa (a cura di), Storia dell'ingegneria, Atti del 1° convegno nazionale, Cuzzolin, Napoli 2006. T. Iori e S. Poretti, "Ingegneria italiana", (a cura di), numero monografico di "Rassegna di Architettura e urbanistica", Kappa, Roma, 2007, n° 121-122.

R. Capomolla, R. Vittorini (a cura di), L'architettura INA Casa (1949-1963). Aspetti e problemi di conservazione e recupero, Gangemi, Roma 2003

4. LE GRANDI STRUTTURE IN CALCESTRUZZO NELLA STORIA DELL'INGEGNERIA MODERNA ITALIANA

4.1. Ascesa e declino dell'ingegneria strutturale italiana.

Le grandi opere di ingegneria civile e gli impieghi arditi e pionieristici del calcestruzzo armato sono parte di un capitolo per molti versi incerto e contraddittorio della più generale storia dell'architettura e delle costruzioni non solo italiane. Ad oggi, per quanto autorevoli e audacemente interpretativi, gli studi che si sono posti l'obiettivo di far luce su questo filone sono tuttavia per molti versi ancora interrogativi e fondativi; si tratta di un complesso di scritti e ricerche che, esteso su diversi fronti, sta cercando di strutturare una disciplina propria ed originale, che risponde solo in modo

marginale ai canoni della più consolidata storia dell'architettura "convenzionale", e forse proprio per questo di maggior difficoltà ma anche di grande stimolo.

Nel panorama italiano, grazie al rilievo di alcune figure "monumentali" dell'ingegneria strutturale – Morandi, Nervi, Musmeci per citare quelli che godono di meritata fama anche extradisciplinare, ma molte di più sono quelle che si potrebbero riportare alla memoria – si è cominciato ormai da più di un decennio ad indagare il lento affermarsi delle costruzioni in calcestruzzo armato nella penisola, a partire dalle prime sperimentazioni legate ai brevetti Hennebique, a cavallo tra la fine dell'800 e i primi decenni del '900, passando per le sperimentazioni nel periodo dell'autarchia durante il regime fascista, per arrivare infine all'elaborazione del calcestruzzo precompresso, alla sperimentazione delle strutture a guscio ed al ferro cemento delle opere di Nervi. Tale excursus procede per alti e bassi, fino a trovare il proprio capitolo conclusivo nella stagione dell'ingegneria italiana che può, orientativamente, farsi coincidere con la ricostruzione

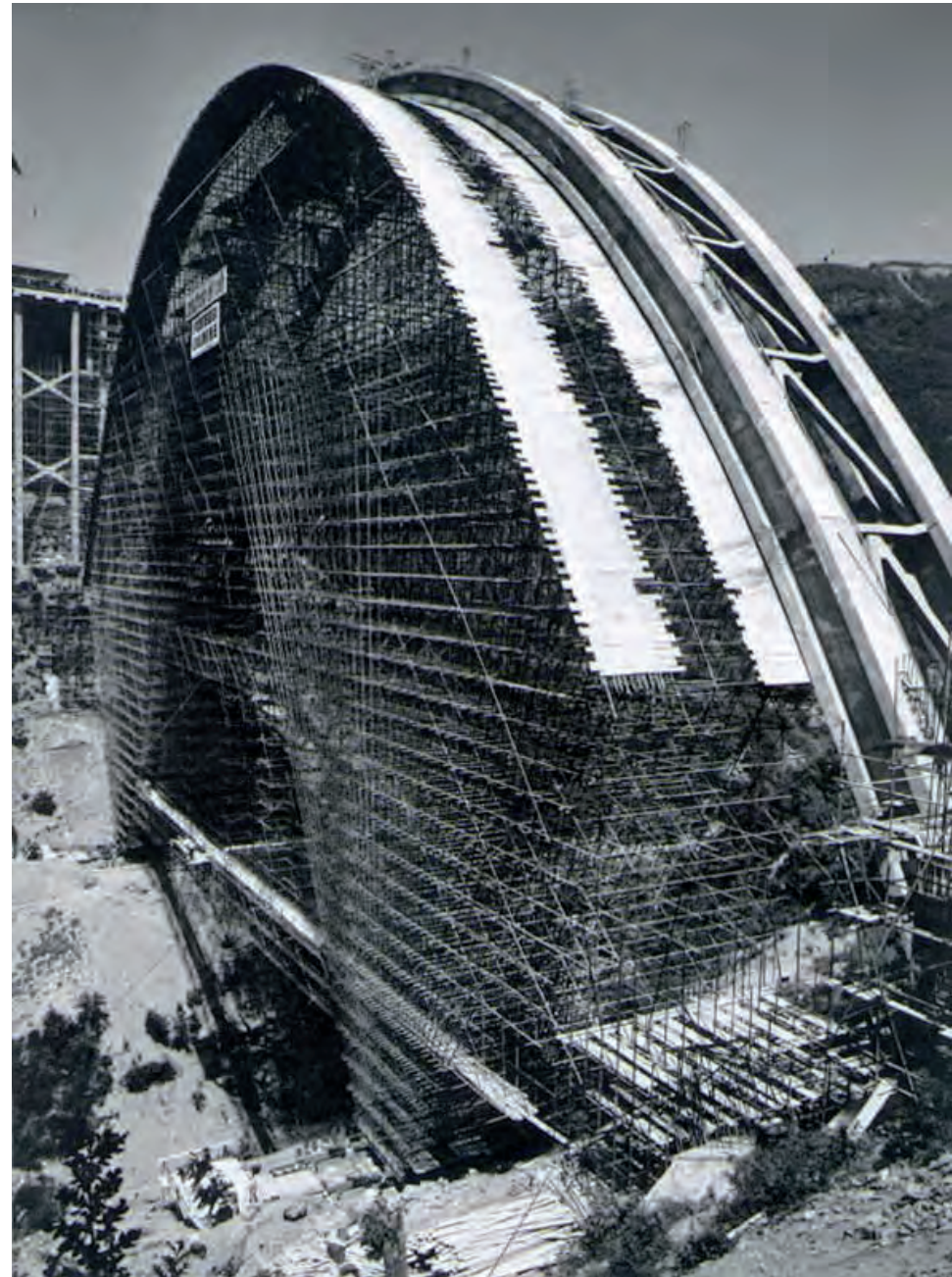
degli oltre 2600 ponti distrutti durante la guerra e con la costruzione dell'Autostrada del Sole.

Tale processo evolutivo procede in accordo con la tradizionalità tipica del cantiere edile italiano; nell'Italia appena uscita dalla Seconda Guerra Mondiale si pianifica la ripresa economica grazie ad un imponente programma di costruzione di edilizia residenziale pubblica nel quale l'artigianalità della costruzione, e quindi il conseguente impiego di manovalanza scarsamente specializzata, era il principale presupposto di riuscita; ciò nonostante, il Piano Casa (o Piano Fanfani dal nome del suo promotore, sviluppato in due settemni dal 1949 al 1963) fu un momento di grande sviluppo in termini di metri cubi realizzati ma anche di approfondimento teorico e pratico sul tema della casa e divenne l'occasione per insinuare alcuni rilevanti esempi di sperimentazione costruttiva e tipologica.

Successivamente, accanto alla necessità che il Paese si riprendesse con maggior urgenza dalle ferite della Guerra, comincia un altro filone di grandi cantieri, legato allo sviluppo delle infrastrutture e quindi in teoria intrinsecamente tecnologizzato e avanzato ma in realtà vedremo che porta ancora con se ampie tracce del cantiere tradizionale, che prese le mosse dalla costruzione dell'Autostrada del Sole e dei suoi oltre 800 tra ponti, viadotti e altre opere d'arte (la cerimonia di posa della prima pietra data al maggio del 1956 e l'inaugurazione al 1964).

Gli ingegneri italiani, bloccati sul piano operativo dallo stallo realizzativo legato agli anni della Guerra, e prima ancora dell'autarchia che disincentivò fortemente l'impiego di materiali metallici e quindi del calcestruzzo armato, avevano tuttavia sviluppato quasi clandestinamente le ricerche teoriche e le piccole sperimentazioni in attesa del momento propizio per testarle concretamente.

Fu così che appena la situazione economica si fece favorevole gli ingegneri italiani furono pronti a ripresentarsi alla



in senso orario:
R. Morandi; cantiere del viadotto Bisantis, Catanzaro (terminato nel 1962)
G. Oberti, B.Gentilini, A.Romagnoli; viadotto sull'Aglio (terminato nel 1959)
viadotto Arrestra, Genova-Savona (cantiere nel 1955)

T. Iori, *Il boom dell'ingegneria italiana: il ruolo di Gustavo Colonnetti e Arturo Danusso*, in S. D'Agostino (a cura di), *Storia dell'ingegneria, Atti del 2° convegno nazionale*, Cuzolin, Napoli, 2008.

M. Marandola, *Riccardo Morandi ingegnere 1902-1989: le sperimentazioni e le opere in cemento armato precompresso degli anni cinquanta*, tesi del Dottorato di ricerca in Ingegneria Edile - Architettura e Costruzione, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", 2006.

T. Iori, S. Poretti (a cura di), *Pier Luigi Nervi. Architettura come Sfida*. Roma. *Ingegno e costruzione*. Guida alla mostra, Electa, Milano 2010.

ribalta della costruzione di grandi strutture con un bagaglio di innovazioni che permisero di sperimentare le prime applicazioni del calcestruzzo armato precompresso, debitrici al lungo lavoro di analisi teorica e sviluppo di brevetti che fa capo a Gustavo Colonnetti ed alle esperienze innovative che ne fece Riccardo Morandi, di mettere a punto la particolare alchimia di elementi prefabbricati e getti in opera che costituisce il presupposto delle strutture geodetiche per grandi coperture di Pierluigi Nervi, ma anche di avviare il fronte della modellazione strutturale quale via empirica al superamento delle difficoltà di calcolo matematico per le strutture iperstatiche di grande complessità, grazie all'attività di Arturo Danusso e dei suoi laboratori di prove su modelli di vari materiali al Politecnico di Milano.

Le principali linee di ricerca passarono quindi per il perfezionamento e il progressivo miglioramento dei parametri proporzionali dei ponti in calcestruzzo armato con funzionamento ad arco, ma anche con l'innovativa introduzione del meccanismo delle coazioni impresse e della precompressione, che riportando il calcestruzzo in condizioni di sola compressione estendevano di molto il campo di applicazione del materiale per come era stato concepito fino ad allora; fu inoltre ampliato il range di funzionamento del calcestruzzo armato ai comportamenti plastici e non riducendolo al solo campo di deformazioni elastiche proporzionalmente definite, facilmente calcolabili ma non esaustive delle sue ben maggiori potenzialità.

Contestualmente all'evoluzione del sistema di calcolo e dimensionamento, procede anche la graduale modernizzazione del cantiere della grande struttura, inserendo sulla matrice inizialmente ancora mega-artigianale i nuovi processi di produzione industriale con la prefabbricazione a piè d'opera di intere porzioni di campata o la loro realizzazione in situ con procedimenti che standardizzano profili e dimensioni, casseforme traslanti e rampanti, accelerando quindi l'esecu-



zione dei getti in calcestruzzo e integrando anche porzioni di strutture in acciaio per trovare la miglior collaborazione tra i due diversi materiali.

L'età dell'oro dell'ingegneria strutturale italiana ha una brusca battuta d'arresto all'inizio degli anni settanta, quando si rileva un appiattimento dell'invenzione formale e struttu-

a destra:
Pier Luigi Nervi, grandi coperture

rale, con la riduzione dei modelli a pochi e reiterati schemi statici, l'assenza di innovazioni di rilievo sul piano dei brevetti d'invenzione e la scomparsa della figura professionale dell'ingegnere strutturista quale si era fino ad allora incontrata, e cioè quel particolare mix di competenza matematica, sensibilità statica e conoscenza empirica del comportamento sotto sforzo, ma anche di caratteristiche umane e personali quali l'arditezza, la tenacia e la fiducia nel progresso non solo strettamente disciplinare.

Sulle ragioni che hanno determinato questo arresto si inizia a fare le prime ipotesi: l'introduzione del calcolo matriciale e del calcolatore elettronico, la messa a punto di normative che riconducono i calcoli al rispetto rigido di coefficienti e prescrizioni, la sempre maggior multidisciplinarietà del progetto di grandi strutture e forse altre cause ancora da esplicitare.

4.2. Per una storia della costruzione di dighe. Se la nascente disciplina della storia dell'ingegneria e delle tecniche costruttive moderne dedicasse un'attenzione pari a quella rivolta ai ponti od alle coperture di grandi spazi anche alla realizzazione delle dighe, ripercorrerebbe certamente, pur con alcune eccezioni, lo stesso tipo di evoluzione teorica e pratica: a partire dalle strutture in muratura, variamente irrigidita o alleggerita e combinata con primi elementi in calcestruzzo, passando per le dighe ad arco-gravità, fino ad arrivare alle più moderne formulazioni a volta sottile, nelle quali la struttura a cupola è portata ai suoi limiti dimensionali e funzionali attraverso il rigore del calcolo e l'arditezza della sperimentazione empirica.

Sorte analoga anche nell'epilogo: la costruzione delle dighe ha un brusco arresto riconducibile al periodo degli anni settanta. Le ragioni possono essere le stesse alla base del più generale contrazione della costruzione di grandi strutture in calcestruzzo, ma si può certamente aggiungere l'eco ne-

Per una panoramica sui disastri legati agli impianti idraulici si veda G. Temporelli, *“Da Molare al Vajont”*, Erga, 2011.

gativa di alcuni fatti tragici e la saturazione del territorio nazionale con lo sbarramento della maggior parte dei bacini convenientemente sfruttabili per fini energetici od irrigui.

Il numero delle dighe in Italia è andato crescendo con velocità variabile. Nel 1910 si aggirava intorno ad una decina. Successivamente la crescita è monotona fino al 1920, quando si raggiunge il numero di 30; dopo il 1920 l'attività costruttiva si incrementa fino alle 200 unità prima della guerra. Dal 1950 il ritmo riprende e si porta a circa 10 opere/anno, tanto che nel 1970 il numero delle dighe del Paese è circa raddoppiato. Ma intorno al 1970 si è manifestata una fisiologica frenata: nei successivi 30 anni sono state costruite cento opere, con un ritmo pari a circa un terzo del precedente. La citata fonte indica che nel 1996 il numero delle dighe di competenza del Servizio Dighe si sensi della legge 584/94 era di 567.

Se si possono evidenziare analogie, è anche giusto e forse più interessante notare una delle più evidenti differenze, e cioè l'assenza dello stallo durante il ventennio fascista ed anzi un particolare sviluppo delle opere di regolamentazione idraulica durante al stagione delle grandi bonifiche in un'ottica di maggior sviluppo dell'agricoltura e quindi la necessità di una certa costanza irrigua, dell'eliminazione delle superfici stagnanti ai fini della lotta antimalarica e dello sviluppo di fonti energetiche alternative a quelle tradizionali attraverso lo sfruttamento del "carbone bianco".

È singolare, dal punto di vista di questo studio, considerare come la storia moderna della costruzione di dighe in Italia parta dalla Sardegna, sia che si consideri la prima diga costruita, lo sbarramento in muratura di Corongiu, in comune di Sinnai, del 1866 oggi demolita, sia che si consideri la più antica tra quelle oggi esistenti e cioè la diga a gravità in calcestruzzo denominata Bunnari Bassa, in comune di Sassari, risalente al 1879. Fatto non casuale e strettamente legato alla particolare combinazione di fattori fisico-geografici, econo-

mici e sociali che caratterizzano l'isola ed al suo contraddittorio processo di sviluppo.

Considerando preliminarmente i sistemi costruttivi, lo schema diga parte dall'idea di parete piena che contiene il volume idrico retrostante, tale sbarramento viene in prima battuta realizzato in muratura e, come accade nella più generale storia dell'architettura, questo apparato viene sviluppato fino alle potenzialità estreme, passando dalla statica della massa a quella discontinua degli speroni e degli irrigidimenti con archi e volte. Ad emblema della raffinatezza raggiunta nella costruzione delle dighe in muratura, citiamo il caso della Diga di Santa Chiara ad Ula Tirso in Sardegna, nella quale a partire da un primo progetto a firma di Omodeo con struttura massiccia, subentra una seconda versione a firma dell'ing. Kambo che propone una struttura discontinua costituita da alti speroni in muratura e volte a sezione di cono nella parte a monte per contrastare la spinta dell'acqua. Kambo riesce a conciliare le esigenze della committenza di rapidità ed economicità della struttura agendo sulla sottrazione di materiali attraverso lo svuotamento e integrando le voltine sottili in calcestruzzo per trasmettere e distribuire la spinta idrostatica in un periodo in cui, se la manodopera era una merce a buon mercato, l'estrazione di materiale e la sua movimentazione rappresentava invece una quota parte predominante sull'opera.

In una fase successiva dello sviluppo applicativo, la struttura muraria viene integralmente sostituita dal calcestruzzo che, quasi universalmente non armato, lavora inizialmente soprattutto a gravità, con elevati spessori e quindi corrispondente complessità di gestione del cantiere dovute alla necessità di approvvigionamento continuo dei getti.

Un'interessante analogia tra progetto di ponti e di dighe è legata all'evoluzione del cantiere e all'industrializzazione dei sistemi costruttivi. In entrambi i casi si tratta di strutture di grande dimensione che vengono realizzate in luoghi quasi

Jappelli, R. "Dalle storie di dighe ad una storia dell'ingegneria delle dighe in Italia", in *Atti del 3° Convegno di Storia dell'Ingegneria*, Napoli, 2010.

totalmente privi di infrastrutturazione primaria e che, solo grazie a queste opere, vengono incisi e definitivamente trasformati dalla mano dell'uomo.

In riferimento alla più generale situazione dell'industria di costruzione in Italia che abbiamo detto essere prevalentemente artigianale, il cantiere della diga in calcestruzzo ne estende a dismisura i margini e quindi le strutture e le esigenze. È infatti necessario un cantiere estremamente organizzato, nel quale la "catena di montaggio" delle centrali di betonaggio proceda a ciclo continuo giorno e notte e produca volumi di impasto che non hanno eguali nella realizzazione di nessuna altra struttura civile; per far ciò è indispensabile la continuità degli approvvigionamenti di aggregati dalle cave prossime all'impianto ed il loro trasporto attraverso blondins e derricks, il passaggio attraverso i frantoi ed infine la miscela e il getto del corpo della diga. I sistemi di elevazione della struttura sono diversi e a volte molto sofisticati, ma tutti basati sul concetto di continuità verticale della massa di calcestruzzo, con casseforme rampanti e traslanti che di volta in volta abbandonano i getti appena questi raggiungono una consistenza che ne permetta l'autoportanza per spostarsi verso la realizzazione del concio successivo secondo schemi in parallelo o a scacchiera.

Le principali imprese specializzate in dighe italiane sono poche e ricorrenti, tra le più note dell'epoca come la Lodigiani di Milano, la Pietrobon di Belluno, la Ferrocemento di Roma, ect. e utilizzano sistemi costruttivi codificati e serializzati, che solo in caso di particolare criticità trovano il pretesto per un avanzamento o innovamento del sistema, che mantiene altrimenti una connotazione abbastanza ripetitiva. Ancora una volta troviamo, anche se in forma "gigantesca" ed enfatizzata, il cantiere tradizionale italiano, in cui le grandi gru sostituiscono il trasporto manuale delle caldarelle e gli strumenti topografici svolgono il ruolo del filo a piombo, ma senza mutarne la natura.

Se la crescente complessità di progetto delle più generali strutture in calcestruzzo armato ha portato alla "scomparsa" della figura dell'ingegnere strutturista quale unico soggetto su cui convergeva la responsabilità dell'ideazione e della costruzione, a tanto maggior ragione l'ancor più spinta multidisciplinarietà del progetto di uno sbarramento idraulico (che contempera geologia, geotecnica, statica, idraulica, fisica, meccanica, biologia, economia e scienze sociali per dire delle principali discipline coinvolte) si può dire abbia contribuito, oltre ai già citati effetti della saturazione territoriale, alla recente crisi in materia di costruzione di dighe. Forse è dunque nella scomparsa di quella figura di ingegnere olistico, tipicamente ottocentesca e ancora presente nella prima metà del XX secolo che va ricercata la crisi regressiva del progetto di dighe e più in generale di grandi strutture.



diga a gravità in muratura di Bussari Bassa, terminata nel 1879 è alta 27.5m per una capacità di invaso di 0.46 Mmc (RID.C)

4.3. Le principali innovazioni costruttive. Dal punto di vista strettamente tecnico, rispetto allo sviluppo evolutivo che ha portato al perfezionamento della diga con schema statico a gravità, uno scatto ulteriore nel progresso tipologico e tecnico-costruttivo si ha col passaggio dalle strutture in calcestruzzo a forte spessore a quelle ad arco, nelle quali la geometria supplisce alla riduzione di volume venendo sfruttata la spinta sulle spalle della valle per contrastare quella idrostatica. Tale modello ha un particolare impulso a seguito degli studi di Guido Oberti, valente strutturista che ne elabora numerosi esemplari per la creazione di serbatoi ad uso idroelettrico al piede delle Alpi. La forma regolare e preferibilmente simmetrica delle strutture di contenimento ad arco mal si confronta con la geometria aleatoria e intrinsecamente imprecisa delle strutture di appoggio sui fianchi di valle. È a questo problema che si deve l'introduzione di uno dei principali elementi di innovazione nella progettazione e costruzione di dighe: il pulvino. Si tratta di un basamento sviluppato su tutto il profilo di scavo e che quindi arriva fino al coronamento, al quale è demandato il compito di realizzare l'interfaccia tra il contesto naturale, la fondazione vera e propria e la geometria astratta dell'arco strutturale; il pulvino si frappone fisicamente allargando e regolarizzando la base d'appoggio e diventa elemento insostituibile che permette maggiori libertà di calcolo e dimensionamento per l'elevazione in calcestruzzo. Le dighe ad arco semplice o a cupola possono raggiungere pertanto fattori di snellezza estremamente arditi, perfino superiori a quello del guscio d'uovo senza impiego di armature o introducendo raramente elementi di debole armatura in caso di raggi di curvatura particolarmente ridotti.

La diga ad arco o a cupola lavora, dal punto di vista statico, esattamente come gli omologhi murari, attraverso il rapporto di mutuo contrasto di elementi discreti, potenzialmente separati gli uni dagli altri, e soggetti a sola compressione.

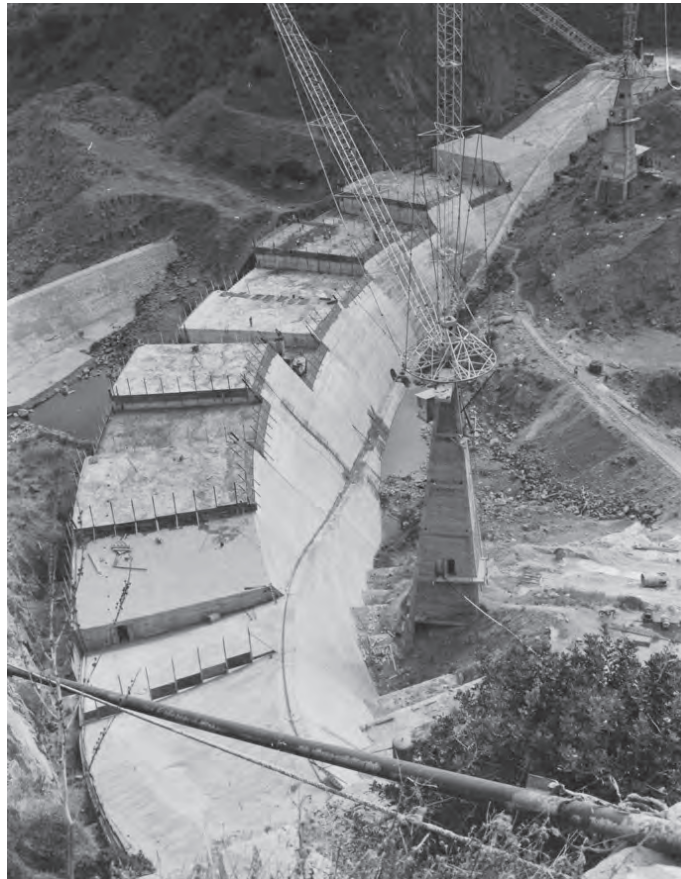
Al di là delle ovvie semplificazioni del modello teorico che non sempre riflettono la complessità dell'effettivo comportamento reale, si tratta quindi di creare un sistema che, rispetto alle necessità idrauliche di tenuta all'acqua e quindi di superficie presumibilmente continua sulla faccia a monte, risponda all'esigenza di permettere mutui assestamenti e micromovimenti tra un concio e l'altro. La tecnologia costruttiva delle dighe inventa quindi un complesso apparato di soluzioni particolari per creare dei giunti stagni tra i diversi conci, ed i materiali sono quelli delle impermeabilizzazioni ordinarie: bitumi per sigillare, lamiere metalliche per creare grembiuli e risvolti.

Dalla conciliazione tra il funzionamento a conci con giunti e le esigenze di alleggerimento ed economia di materiali nascono le cosiddette "dighe tipo Marcello", dal cognome del progettista che le ideò, l'ingegnere Claudio Marcello capostipite di una dinastia di progettisti di dighe tuttora in attività. La "diga Marcello" è costituita da un sistema di conci internamente cavi che si estendono in altezza relativamente alla propria posizione nel profilo dello sbarramento; all'interno delle cavità sono disposti dei complessi sistemi di canali di drenaggio e tunnel ed ispezione per verificarne de visu la tenuta all'acqua e controllare i sistemi di monitoraggio degli spostamenti. Un altro tipo di diga, anch'essa sperimentata dall'ing. Marcello è quella che impiega singoli blocchi di calcestruzzo e che, attraverso uno sfalsamento dei giunti verticali e l'allineamento di quelli orizzontali costituisce un corpo diga di rapida esecuzione e sufficientemente deformabile. I singoli conci sono interconnessi da un particolare tipo di giunto ad interposizione di ghiaia, al fine di consentire lo scorrimento relativo e quindi permettere piccoli assestamenti senza generare tensioni interne alla struttura, e opportunamente impermeabilizzati con iniezioni interne di bitume liquefatto e l'utilizzo di manti continui sul paramento a monte.

"Scritti di Claudio Marcello", a cura della Gallo Pomi S.p.A., Milano, 1969.

ad esempio: Diga di Bau Muggeris a Villagrande Strisaili.

Diga sul Fanaco di Platani, 1953-54 e la Diga di Pozzillo sul Salso.



Le “diga Marcello”, che cadranno in disuso a causa della eccessiva vulnerabilità del sistema, sancisce tuttavia il passaggio dall’idea della diga compatta e rigida a quella deformabile ed elastica, che garantisce maggiormente dal pericolo di eccessive tensioni interne e concentrazioni di sforzi non prevedibili in fase di progetto.

Nel tempo sono stati elaborati altri sistemi di ottimizzazione del processo costruttivo, quale per esempio l’applicazione dei sistemi di rullaggio e compattazione del calcestruzzo appena gettato (il cosiddetto rollcrete), in questo modo, anche tramite l’azione meccanica, si accelerava la fase iniziale di indurimento, si risparmiava mano d’opera potendo procedere per piccoli spessori ma grandi estensioni su tutto il corpo della diga, economizzando complessivamente il processo.

Un altro fondamentale problema è legato alla grande quantità di conglomerato che costituisce la diga ed all’enorme calore di idratazione che viene sviluppato durante il processo di maturazione e che, se non sufficientemente contrastato può portare gravi conseguenze in termini di perdita dell’acqua per evaporazione, “cottura” della miscela e conseguente perdita di caratteristiche di resistenza. Per ovviare a questo problematico inconveniente si idearono vari sistemi tra cui l’aggiunta di additivi che riducessero il calore sviluppato dalla reazione di carbonatazione e contemporaneamente accelerassero la presa per permettere di anticipare la prosecuzione verticale del getto. Una delle più famose opere americane del New Deal, la leggendaria diga di Hoover, impiegò un apparato di serpentine refrigeranti, attraversate dalla stessa acqua del fiume che si andava a regimentare, per raffreddare dall’interno i getti durante la costruzione.

Appare quindi come il processo tecnologico che ha portato al perfezionamento delle dighe in calcestruzzo abbia raggiunto un livello di perfezione ed efficienza, difficilmente superabile e che pur con l’introduzione di calcestruzzi nuovi e più performanti sembra aver trovato un punto di stallo.

L’ing. Giulio Gentile fu un antesignano di questo sistema, utilizzandolo precocemente per la diga a gravità dell’Alpe Gera nel 1958.

Diga di Hoover sul Colorado, Nevada e Arizona, 1931-36.

in alto: diga di Monte Crispu sul Temo (Bosa - Sardegna), fase di cantiere nel 1965 in cui risulta evidente la lettura del “pulvino” su cui vengono successivamente impostati i conci della struttura; si noti la collocazione dei Derricks su torri in cls armato (tuttora esistenti)
in basso: diga a gravità massiccia di Alpe Gera (Lombardia); alta 160m per 528m di coronamento, terminata nel 1964; si noti la stratigrafia dei conci fitta e regolare. (PROG.D)

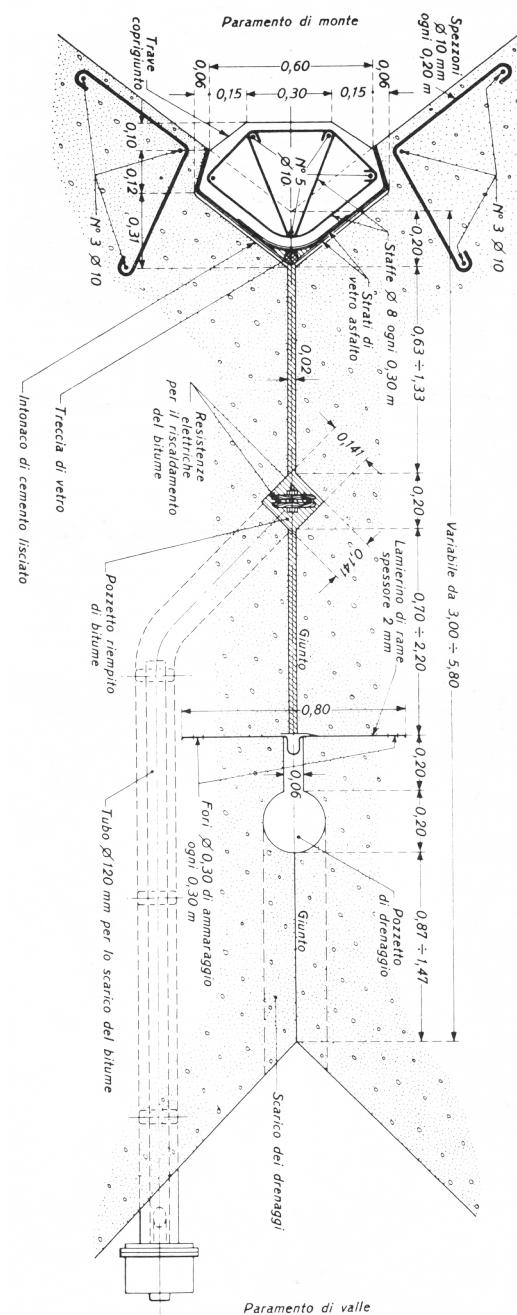
La diga di Jawa, Giordania, risalente al IV millennio a.C. era una diga a gravità in materiali sciolti con diaframma in muratura.

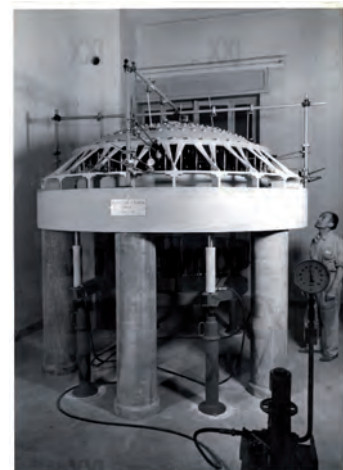
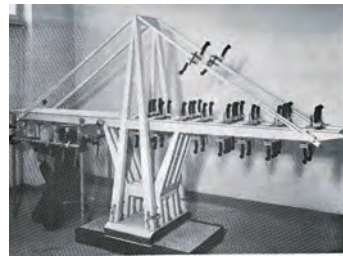
L'esempio più noto è la diga di Assuan, sul corso del Nilo in Egitto, 1970, interamente costituita da un corpo in materiali terrosi sciolti, opportunamente livellati e sagomati.

Sulla scia di queste considerazioni si è reintrodotta un tipo di diga che risale agli albori degli sbarramenti idraulici: la diga in terra o materiali sciolti. Essa è elastica, ampiamente deformabile prima di giungere a collasso, capace di ridistribuirsi internamente le tensioni e con una base d'appoggio talmente estesa da ridurre di molto i carichi sul terreno; ma la diga in materiali sciolti, quando non sia correttamente impermeabilizzata a monte, è anche permeabile, perennemente satura dell'acqua del proprio bacino e quindi anche maggiormente sollecitata e soggetta a rischi di flottazione e scivolamento.

Il rapido excursus illustrato si concentra, volutamente, sugli aspetti macroscopici della diga, pur considerando che essa è parte di un organismo eterogeneo ed articolato, nel quale opera umana e contesto naturale si combinano e interagiscono profondamente; il sistema è costituito da un complesso di sottosistemi naturali (bacino, sponde, alveo, versanti, asta fluviale) e artificiali (diga, serbatoio, scarichi, derivazioni, meccanismi di regolazione del flusso, impianti idroelettrici). Per ciascuno degli elementi realizzati dall'uomo si potrebbe ripercorrere un'analogia storica evolutiva, che testimonia lo sviluppo della scienza di costruzione delle dighe, che nella sua complessità va ben oltre i singoli aspetti disciplinari e travalica le esigenze di questo studio.

particolare del giunto tra due conci cavi della diga di Malga Bissina (Trentino Alto Adige, terminata nel 1957 è alta 81m per 563m di coronamento (PROG.D, MAN.I.H)





dall'alto:
sede dell'ISMES a Bergamo dell'epoca
in esame ;
prove sismiche sul modello della diga
di Agua del Toro - Argentina;
prove statiche sul modello del viadotto
di Polcevera - Genova;
prove sul modello dell'emicyclo della
Fiera di Milano;

4.4 L'ISMES e la modellazione strutturale. Il progetto di una diga, che abbiamo detto essere di grande complessità e eterogeneità di approcci, ha trovato tradizionalmente un fondamentale punto di snodo nell'atto della modellizzazione, tanto sul piano strutturale che idraulico.

Considerando preliminarmente il modello strutturale non si può non citare, nel contesto italiano, il fondamentale apporto del Laboratorio di prove su modelli dell'ISMES di Bergamo che, nato nel 1951 dalla costola dei laboratori di Danusso al Politecnico di Milano per volere e con i fondi dell'Italcementi e dell'Edison, ebbe nello studio delle dighe il proprio campo di applicazione principale.

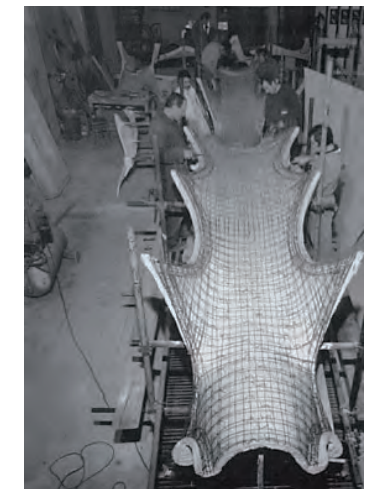
Concretizzazione di uno dei poli della querelle tutta italiana tra la speculazione teorica di Colonnetti e l'approfondimento sperimentale di Danusso, il Laboratorio ha nelle parole del suo fondatore lo scopo di esplorare "l'entità dei divari, nello stato di sollecitazione, tra i risultati effettivamente riscontrati e quelli desumibili dai calcoli tecnici", sottintendendo come, relativamente alle costruzioni in cemento armato, le frontiere cui l'ardire dei progettisti poteva aspirare non avrebbero trovato sufficiente conforto nella limitata potenza degli strumenti di calcolo dell'epoca, mentre un processo induttivo sperimentale come quello dato dal modello fisico in scala ridotta avrebbe permesso le indispensabili verifiche e legittimazioni a ipotesi di progetto solo intuitivamente postulate e spesso rivelatesi pienamente corrette.

L'ing. Fumagalli, dello staff ISMES, descrivendo le indagini relative ad un grave incidente verificatosi per il crollo improvviso di un'alta centina, peraltro perfettamente calcolata, così si esprime sull'utilità della modellazione e sulle evidenze che essa può apportare nell'indagare gli stati limite: *"Operare in regime d'estrapolazione significa operare oltre le frontiere limite toccate in regime di normali applicazioni. Stante che i procedimenti di verifica matematica non riproducono la realtà, ma raffigurano solo modelli ipotetici di comportamento, superare i limiti d'esperienze fino ad*

Chiorino M.A. e Neri G., "La modellazione strutturale del Novecento. Ragioni e diffusione dell'induttivismo sperimentale in Italia e all'estero", in Atti del 3° Convegno di Storia dell'Ingegneria, Napoli, 2010.

Bocca, G. "ISMES: Quarant'anni", Edizione fuori commercio, Bergamo, ISMES, 1993.

T. Iori, Il boom dell'ingegneria italiana: il ruolo di Gustavo Colonnetti e Arturo Danusso, in S. D'Agostino (a cura di), Storia dell'ingegneria, Atti del 2° convegno nazionale, Cuzzolin, Napoli, 2008.



ISMES: preparazione del modello del ponte sul Basenti (S.Musmeci) per le prove di carico e rottura

www.asim.it/ismes/Ismes_It/default.htm, sito storico-celebrativo dell'ISMES a cura dell'ing. Emanuele Fumagalli,

Due fenomeni fisici si dicono simili se, adimensionalizzando ciascuna delle grandezze fisiche che li caratterizzano rispetto ad opportune grandezze fisiche di riferimento omogenee e costanti, le relazioni matematiche che li descrivono risultano identiche.

“Teorema di Buckingham o del π ”, formulato dal fisico statunitense nel 1914.

www.asim.it/ismes/Ismes_It/default.htm sito storico-celebrativo a cura dell'ing. Emanuele Fumagalli, collaboratore di Danusso e Nervi all'ISMES, creato in occasione del 50° della fondazione del Laboratorio, ricco di notizie e foto storiche.

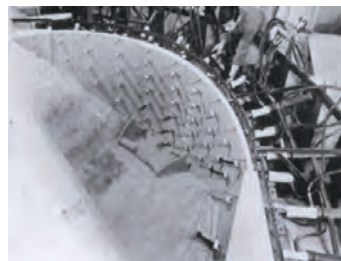
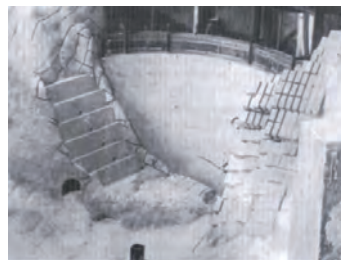
ora acquisiti può indurre in questo, come in altri esempi analoghi, alla fatalità dell'imprevisto. In casi del genere solo un'esauriente sperimentazione su modello fisico può fornire le necessarie garanzie di sicurezza.”

L'attendibilità del modello strutturale presuppone la verifica del cosiddetto principio di similitudine, cioè l'opportuna classificazione e semplificazione delle variabili in gioco, gerarchizzate in base alla loro rilevanza rispetto allo specifico fenomeno che si vuole osservare, e la loro trasformazione in parametri adimensionali al fine di rendere plausibili le rilevazioni sperimentali rispetto al comportamento fisico reale.

Relativamente alle strutture in calcestruzzo, *“basandosi sui principi dettati dalla meccanica razionale è possibile quindi riprodurre un modello in scala ridotta della struttura reale sul quale riprodurre, in similitudine, i processi deformativi in condizioni di normale esercizio e quindi ad oltranza, fino a rottura. Con apparecchi ad elevata sensibilità si misurano in tal modo le deformazioni e il regime degli sforzi ed, infine, modalità e carichi di rottura. Da questi ultimi si deduce il fattore di sicurezza, rapporto fra carichi di rottura e carichi di normale esercizio”*.

Nel Laboratorio dell'ISMES si facevano soprattutto prove su modelli di dighe ad arco o a cupola, realizzati con il cosiddetto “micro beton”, una miscela a base di inerti e leganti con granulometria ridottissima, tale da riprodurre un comportamento fisico-meccanico assimilabile a quello del calcestruzzo reale. Tale applicazione era decisamente semplificata e resa attendibile dal fatto che le strutture degli sbarramenti idraulici erano realizzate quasi esclusivamente con conglomerato cementizio non armato, quindi tendenzialmente omogeneo ed isotropo, e non si trascinarono le complessità di modellizzazione dettate dalla natura viceversa eterogenea e anisotropa del calcestruzzo armato.

La struttura della diga in scala ridotta veniva gettata entro casseforme lignee, meticolosamente calibrate, con cui si realizzavano i singoli conci e i relativi giunti di scorrimento e dilatazione. Molta attenzione era posta inoltre alla costru-





dall'alto:
diga di Ca' Selva sul torrente Silisia
(Friuli-Venezia Giulia)
modello preliminare in legno;
preparazione delle casseforme per il
getto dei conci in Microbeton;
misurazioni in corso su modello geo-
meccanico;
(www.lombardiabeniculturali.it/archivi/complessi-archivistici/MIB.A007F07/)

“Nella modellistica strutturale il Prof. Oberti ha dato importanti apporti, propugnando tra l'altro l'idea di svincolare il modello dalle strettezze degli schemi calcolativi, e di riferirlo invece direttamente e liberamente alla realtà che si intende simulare, proseguendo in tal modo, mediante applicazione affinata del principio di similitudine, significanti indagini sull'entità del coefficiente globale di sicurezza offerta dal prototipo.” Stralcio dalla motivazione per il conferimento della Medaglia d'oro di Socio Onorario dell'AICAP_ Associazione Italiana Cemento Armato e Precompresso, Venezia, 1977. Si veda anche Oberti, G. “La modellizzazione strutturale”, “Quaderni dell'ISMES”, 174, 1981.

zione del modello del terreno naturale, con le sue caratteristiche di resistenza ed elasticità, eventuale presenza di stratificazioni, faglie e al sistema di ammorsamento delle spalle alla roccia naturale.

Preliminarmente si applicava un carico verticale per restituire il peso proprio della struttura in calcestruzzo che il modello non era in grado di esercitare proporzionalmente; quindi, con un sofisticato sistema di pistoni idraulici, il paramento a monte veniva bagnato e sottoposto ad una sollecitazione che assimilasse il carico idrostatico nelle diverse condizioni di riempimento del bacino, con fasi di carico e scarico che permettevano di verificare le deformazioni in regime elastico attraverso vari tipi di estensimetri di precisione applicati alla superficie esterna della diga. Dopo aver effettuato un certo numero di cicli, veniva infine incrementata progressivamente la forza applicata, verificando l'insorgere delle prime fessurazioni e l'assestamento oltre i limiti elastici, fino a portare la struttura al collasso e rilevare quindi indirettamente i coefficienti di sicurezza ed i comportamenti a rottura.

A tale tipo di verifica vennero sottoposte un numero considerevole di progetti di dighe, non solo italiane, senza distinzione di continente né di appartenenza politica a conferma dell'autorevolezza internazionale di cui il Laboratorio bergamasco meritatamente godeva. La famosa diga Itipù sul Paranà tra Brasile e Paraguay, all'epoca l'impianto idroelettrico di maggior potenza del mondo, fu testata su modello geomeccanico a Bergamo; la diga Grancarevo in Jugoslavia, al di là della “cortina di ferro”, e molte altre in Svizzera, Spagna, Argentina ecc.

Dal 1951, anno della sua fondazione, direttore dell'ISMES fu l'ing. Guido Oberti, allievo di Danusso particolarmente specializzato in dighe ad arco e cupola e autore dell'audace viadotto autostradale sull'Aglio, che ha sicuramente influenzato anche il progetto della diga di Gusana a cupo-

www.youtube.com, “ISMES test su modello diga”, video esplicativo in cui si mostra il processo di test strutturale a collasso su un modello di diga in scala ridotta, comprende anche un'interessante intervista a Pierluigi Nervi, allora direttore dell'ISMES.

Esisteva un omologo spagnolo, il Laboratorio Modelos Reducidos del LCEMC Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del Construcción di Madrid, guidato dal Edoardo Torroja che ivi testò alcuni dei suoi più importanti progetti come la copertura dell'Ippodromo la Zarzuela e il Fronton Recoletos.

Oberti progetta e realizza, tra il 1957 ed il 1960, il viadotto sul torrente Aglio, sul tratto appenninico dell'Autostrada del Sole, costituito da una coppia di archi gemelli paralleli con unica campata di 164 m realizzati con centina in tubi Innocenti, di 8.000 quintali di peso, traslante su binari per il disarmo del primo e la realizzazione del secondo arco.

la fortemente asimmetrica sul fiume Taloro, testata su un modello in scala 1/70 proprio nel laboratorio ISMES, per cercare conforto alla geometria particolarmente complessa e quasi unica dell'impianto sardo.

Il laboratorio dell'ISMES si dotò negli anni di ulteriori e sofisticati strumenti per le verifiche strutturali, tra cui una piastra vibrante per le prove sismiche, una torre sperimentale per i modelli a grande scala e operava su molti tipi di strutture, antiche e moderne. Alcune delle più note opere di Ingegneria del novecento sono state preliminarmente testate all'ISMES: la Torre Velasca dei BBPR a Milano, il viadotto di Sergio Musmeci sul Fiume Basento a Potenza, il ponte sulla laguna di Maracaibo, Venezuela, e il viadotto sul Polcevera a Genova di Riccardo Morandi, ma soprattutto opere di Pierluigi Nervi, che ne sarà presidente e che sfrutterà le potenzialità del centro, tra le tante sue opere, per il Grattacielo Pirelli di Milano e la Chiesa di Saint Mary a San Francisco.

In Sardegna è contemporaneamente attivo il Laboratorio Grandi Modelli della Facoltà di Ingegneria di Cagliari, diretto a partire dal 1955 dal prof. Angelo Berio; è qui che vennero realizzati alcuni modelli in scala 1:500 per eseguire test supplementari sulla diga di Gusana, ad integrazione di quelli sul modello dell'ISMES.

4.5. La modellazione idraulica. Il ragionamento fin qui svolto relativamente alle sperimentazioni attraverso modelli in scala ridotta che riproducono il comportamento delle strutture sotto carico e a collasso, deve essere completato, relativamente ai sistemi di sbarramento, con analoghe indagini sui modelli idraulici. Essendo infatti l'idrodinamica ancor più empirica e sperimentale della scienza delle costruzioni, la valutazione di traiettorie di deflusso, regimi laminari o turbolenti, sovra pressioni e cavitazioni è molto confortata dalla realizzazione di modelli in scala che, opportuna-

mente tarati, permettano di simulare il comportamento del sistema. Ovviamente ciò era indispensabile prima dell'avvento della moderna fluidodinamica computazionale che permette attraverso il calcolatore elettronico la risoluzione delle equazioni di Navier-Stokes in caso di flussi turbolenti e geometrie complesse, cosa che altrimenti non sarebbe stata possibile in modo analitico, ma solo per via sperimentale. Il "Nuovo Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", emesso con DPR n.1363 del 1/11/1959, prevede espressamente le prove su modello prescrivendo che "prove idrauliche su modello circa la forma e l'efficienza delle opere di scarico di fondo e di superficie nonché sui relativi dispositivi di dissipazione di energia sono di norma necessarie."

Relativamente al progetto di una diga, ciò che viene testato idraulicamente non è tanto lo sbarramento in sé, quanto piuttosto tutti gli apparati in cui l'acqua si trovi in condizioni dinamiche, quindi sfioratori e scarichi, canali e gallerie di deflusso, sifoni di varia natura, vasche di dissipazione ecc.

"I modelli idraulici derivano direttamente dalle equazioni dell'Idraulica sono dei modelli di verifica nel senso che tra i dati di ingresso del modello risultano note le caratteristiche delle superfici e dell'evento che si vuole simulare mentre, in uscita, saranno ricercati i valori delle grandezze indagate, rilevati a prefissati intervalli temporali in determinate sezioni, nelle corrispondenti altezze idriche della corrente."

La prima fase è ovviamente la realizzazione in scala del modello dell'elemento idraulico che si vuole testare, riproducendone la geometria, per poi passare alla cosiddetta taratura: essa consiste nella verifica di alcune grandezze note, riscontrate in diverse condizioni attraverso la collocazione di uno stramazzone a valle che riproduce le altezze variabili del pelo libero. Essendo noti i dati di ingresso e di uscita, si procede per tentativi fino a trovare la loro corrispondenza ai postulati teorici variando il parametro fondamentale per la riuscita di un modello idraulico, e cioè la scabrezza delle

R. Capomolla, Il ponte sul Basento ovvero l'invenzione di una forma "ancora senza nome" in "Casabella", 739/740, dic 2005/ gen 2006.

M. Marandola, Riccardo Morandi. Il viadotto sul torrente Polcevera, Genova. Un volteggio sopra la città, in "Casabella", 739/740, dic 2005/ gen 2006.

G. Neri, "I modelli strutturali di Pier Luigi Nervi per la Cattedrale di San Francisco", in Atti del 3° Convegno di Storia dell'Ingegneria, Napoli, 2010.

Leopardi, M., "Sperimentazioni su modelli di opere idrauliche", Aracne, Roma, 2005.

superfici di flusso.

Il modello infatti può essere più o meno liscio a seconda del materiale che si impiega per realizzarlo, ed è durante la fase di taratura che si procede materialmente e progressivamente ad incollare sabbie o altro tipo di particelle tali da riprodurre la cosiddetta “scabrezza equivalente” e quindi da rendere plausibili i successivi test sperimentali.

A partire dagli anni cinquanta è attivo a Cagliari il Laboratorio di prove Idrauliche della facoltà di Ingegneria di Cagliari, nel quale vengono svolti test su commissione per opere regionali e nazionali. Proprio in questo laboratorio, sotto la direzione del prof. Costantino Fassò, nel 1961 si studiò il comportamento delle componenti a pelo libero della diga di Gusana, andando ad integrare le verifiche sul modello strutturale con quelle sui comportamenti idraulici.



Modello idraulico per la diga di Nuraghe Arrubiu sul Flumendosa - Sardegna



“egli vedrà nelle linee, nelle forme e nei simboli una incredibile varietà di forme soggiacenti” R.M.Pirsig, 1974

6. L'ESTETICA DELLA DIGA

Le categorie. Una diga di sbarramento fluviale è correttamente definito come un insieme coordinato di parti e di funzioni che concorrono a formare un organismo unico, compatto e monolitico.

La descrizione analitica di una diga nelle sue parti principali, si può ottenere come risultato di un sezionamento che porterà ad un modello di raffigurazione diviso in:

- **Corpo della diga:** esso contrasta le forze agenti su esso grazie al peso proprio e alla forma geometrica. Al suo interno trovano collocazione i cunicoli di ispezione e drenaggio delle acque.
- **Avandiga:** elemento atto a contenere le acque durante il ciclo di lavorazione delle fondazioni e degli schermi delle iniezioni di impermeabilizzazione. Di fatto funziona come una vera e propria diga che andrà sommersa al riempimento dell'invaso.
- **Opere legate allo scarico di fondo:** elemento posto ad una quota inferiore del coronamento dell'avandiga che consente di deviare il corso d'acqua incanalandolo al di sotto delle fondazioni portandolo a scaricarsi a valle della diga. Esso viene poi chiuso una volta terminati i lavori o appena la struttura può iniziare a invasare
- **Opere di presa:** complesso sistema di gallerie, cunicoli e griglie di chiusura che permettono di regolare l'efflusso di acqua verso valle al fine di governare il livello dell'invaso. Tale efflusso può avvenire direttamente a valle dello sbarramento o venire incanalato verso altri sistemi di utilizzazione della sua forza motrice, oppure utilizzato per alimentare un altro bacino artificiale, ect.
- **Scarico di superficie:** può essere collocato sia sul coronamento della diga, sia indipendente dalla struttura principale. Esso ha il compito di regolare il troppo

pieno dell'invaso e viene calcolato in funzione di parametri statistici circa il ritorno dell'ondata di piena. Può avere diverse forme o coesistere in più elementi distinti come ad esempio la presenza del “calice” con lo scarico di superficie posto ad una quota leggermente superiore.

- **Cabine e apparati di controllo:** sono locali in cui fisicamente si opera (fisicamente o tramite automazioni centralizzate in remoto) il controllo di griglie e paratie per la regolazione del flusso delle acque.

Oltre alla raffigurazione delle diga in base alle sue componenti strutturali è necessaria, al fine di ottenere la corretta definizione del manufatto, una suddivisione delle sue parti in base alle funzioni con l'individuazione di elementi finalizzati a:

- contenimento delle acque;
- passaggio delle acque a valle dello sbarramento in condizioni di normale e o di efflusso in caso di eventi di piena;
- controllo degli apparati di gestione del flusso;
- sfruttamento industriale, agricolo e civile delle acque;

La comprensione dell'oggetto diga nella sua totalità è comunque mediata da una serie di impressioni comuni all'osservatore specializzato o tecnico ed alla persona comune. La prima impressione è che una diga sia un oggetto indecifrabile senza la consapevolezza della sua funzione primaria di contenere acqua, a meno che non si sappia già come funziona. Dunque anche le impressioni immediate, che sono essenziali per una comprensione elementare, non sono immediatamente intelligibili. Rimane evidente solo la forma soggiacente.

La seconda impressione è di impenetrabilità perchè la diga non tiene conto dell'osservatore: della moltitudine di apparati di cui è composta e su cui si basa il funzionamento, nulla è visibile se gli apparati esterni.

Persino i sistemi di controllo e automazione esercitano sulla

nella pagina precedente
doppia diga a doppio arco di Hongrinn,
Svizzera; alte rispettivamente 123 e
95m, terminate nel 1970 hanno una capacità di invaso di 52 Mmc
(www.alpiq.com)

macchina delle funzioni puramente meccaniche e celate e non immediatamente comprensibili; tutto ciò che il nostro intelletto percepisce è un muro grigio con dietro molta acqua.

6.1 Fenomenologia di un'intuizione. Ma perché quella forma? Come le viene assegnata? Da chi e perché questa geometria piuttosto che un'altra?

“La forma gliela si dà e tutte le forme escono dalla mente di qualcuno; è importante rendersene conto [...] è essenzialmente un fenomeno mentale”

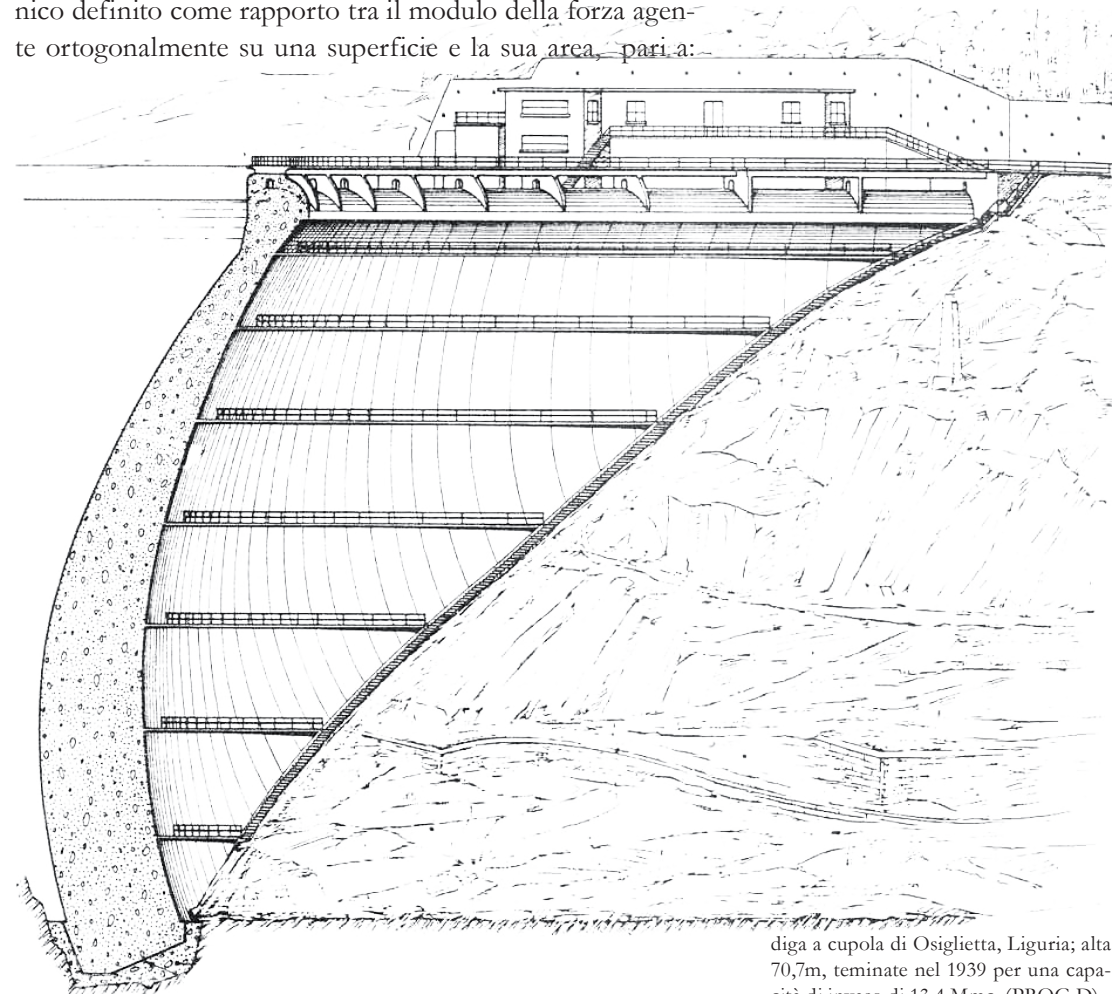
Così come è importante capire che la natura non codifica di per se le leggi tramite cui i nostri intelletti intendono arginarne la comprensione. La mela che cade forse comunica a Newton un dogma? L'accelerazione di gravità descrive un fenomeno il cui svolgimento e la cui ripetitività futura è slegata dalla propria stessa descrizione. La mela cade, a prescindere che esista o meno una legge che spieghi il moto gravitazionale di un corpo.

“l'uomo cerca di fabbricare, a suo uso e consumo un quadro del mondo semplificato e intelligibile. Poi cerca di sostituire questo suo cosmo al mondo dell'esperienza, per riuscire così a sopraffarlo [...] Egli fa di questo cosmo e delle sue costruzioni il cardine della sua vita emotiva per trovare così la pace e la serenità che sono negate dal vortice dell'esperienza personale. Il fine ultimo è arrivare a quelle leggi universali ed elementari a partire dalle quali si può costruire il cosmo per pura deduzione. Non c'è cammino logico che conduca a queste leggi; le può raggiungere soltanto l'intuizione, sorretta da una intelligenza del mondo in profonda risonanza con l'esperienza.” (Albert Einstein, 1918)

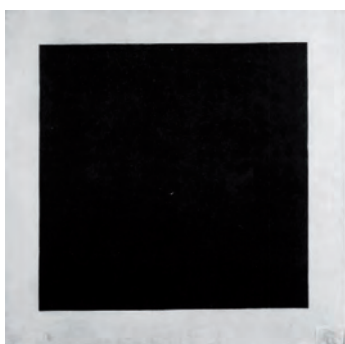
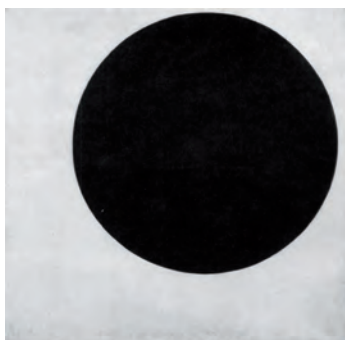
La natura fornisce solo i dati sperimentali, non le ipotesi. La mela che cade è un dato dietro cui non soggiace alcuna ipotesi che non sia il puro dato sperimentale: è caduta una mela. L'acqua ha un massa e il campo gravitazionale terrestre eser-

cita una forza su essa diretta verso il centro della Terra secondo la nota formula $F=m \cdot g$ dove $g=F/m=(G \cdot M \cdot T)/(R \cdot T)^2$. Se posta su una superficie libera e piana ogni molecola tenderà a disporsi in equilibrio su piani equipotenziali. A questo evento, sperimentalmente accessibile e intuibile in via del tutto elementare, ne è legato un secondo: se posto all'interno di un contenitore il liquido esercita sulle pareti di questo una spinta idrostatica, ovvero il potenziale meccanico definito come rapporto tra il modulo della forza agente ortogonalmente su una superficie e la sua area, pari a:

R.M. Pirsig, *Lo zen e l'arte della manutenzione della motocicletta*, Adelphi [1974]



diga a cupola di Osiglia, Liguria; alta 70,7m, terminata nel 1939 per una capacità di invaso di 13,4 Mmc. (PROG.D)



K.S. Malevic (1878, 1935)
 cerchio nero, 1913
 quadrato nero, 1915

$S = \gamma \cdot A \cdot h_0$, dove $\gamma = 9806 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$, A la superficie e h_0 l'affondamento del baricentro della superficie A . Essendo le componenti di questa in rapporto lineare, si intuisce che la spinta aumenta con l'aumentare dell'affondamento del baricentro. La fisica è essenzialmente un fenomeno mentale: essa descrive la natura e riassume in formule e leggi quanto la natura offre in termini di dati sperimentali; il processo mentale che raffina i dati in leggi applica poi queste ai prodotti dell'ingegno umano, a prescindere dall'uso, dalle finalità e dalle premesse.

Cosicché, una volta acquisito il dato che la pressione esercitata da un liquido è un rapporto diretto e lineare con la profondità di un corpo immerso, l'intelletto traduce questo assegnando alle pareti del recipiente una caratteristica fisica o geometrica che consenta al contenente di porsi in equilibrio con le spinte esercitate dal contenuto; l'intuito è sempre un processo razionale, come le sue applicazioni pratiche, teoriche o sperimentali, ovvero ingegneristiche.

Questa deduzione basterebbe a rispondere alla domanda poste come discriminante della ricerca: perché la forma?

Risposta: è la geometria che meglio si oppone alle spinte idrostatiche. Come le viene assegnata? Le viene assegnata dalla valutazione un complesso sistema di parametri definiti dall'esperienza. Da chi e perché questa geometria piuttosto che un'altra? le viene assegnata dai progettisti, ovvero da coloro che traducono i dati sperimentali decodificati attraverso l'esperienza in soluzioni del problema posto; la forma diviene, infine, autoreferenziale.

Come le viene assegnata? Le viene assegnata dalla valutazione di un complesso sistema di parametri definiti dall'esperienza. Da chi e perché questa geometria piuttosto che un'altra? Le viene assegnata dai progettisti, ovvero da coloro che traducono i dati sperimentali decodificati attraverso l'esperienza in soluzioni del problema posto; la forma diviene dunque autoreferenziale.

Ma se la forma nasce spontaneamente come ovvia conseguenza ad un dato fenomeno allora dietro essa non sembra esserci alcun gesto creativo, genericamente inteso come arte e capacità cognitiva della mente di creare e inventare. Tuttavia se la progettazione di una diga di sbarramento è un processo creativo a tutti gli effetti questo è paragonabile ad un gesto artistico che sorge dalla deduzione e implementazione di esperienze passate. E' la stessa arte del costruire che individuiamo nelle opere architettoniche e ingegneristiche prodotte dall'ingegno umano, dalla rigidità formale, proporzionale e geometricamente matematica di un tempio classico greco, alle apparentemente empiriche evoluzioni materiche dei calcestruzzi di Pier Luigi Nervi e Sergio Musmeci o degli acciai di Santiago Calatrava.

6.2 Natura e intelletto. Nel 1913 il pittore russo di nome Kazimir Severinovič Malevič dipinge un cerchio campito di nero su una tela bianca dando inizio al movimento artistico chiamato Suprematismo. Liberatasi così da fini pratici ed estetici, l'arte poté così lavorare assecondando una pura sensibilità plastica. Egli sosteneva che la pittura fino a quel momento non fosse stata altro che la rappresentazione estetica della realtà e che invece il fine dell'artista doveva essere quello di ricercare un percorso che conducesse all'essenza dell'arte: all'arte fine a se stessa. Malevic è solo un esempio di quella infinita galassia di artisti che, superato il cordone sanitario che legava l'arte ad una concezione estetica fortemente ancorata alle esperienze passate e trapassate, sfociava nel fiume in piena dell'astrattismo.

Il celebre dipinto del cerchio nero, piuttosto che il quadrato nero e relative declinazioni del medesimo autore si collega ad un'altra immagine componendo un binomio di suggestioni molto potente: la conchiglia del Nautilus Pompilius, un mollusco che vive nell'Oceano Pacifico ad una profondità di circa 500 m, ritenuto estinto già nel Paleozoico ma



osservato in vita per la prima volta solamente del 18°esimo secolo. La sezione maestra della sua conchiglia è un raro esempio di coerenza con lo sviluppo della forma geometrica della spirale logaritmica.

Il quadrato o cerchio nero su campo bianco suggeriscono la raffinatezza del pensiero critico e artistico portato agli estremi della parafrasi creativa legata alle nuove sensibilità. In esso vi è la conoscenza del mondo e delle sue regole e la provocazione nel mostrare l'elementarietà della genesi del pensiero scientifico. Il tondo prima e il quadrato poi, stanno all'arte con la stessa provocazione con cui venne presentato l'Origine du Monde di Gustave Courbet quasi mezzo secolo prima.

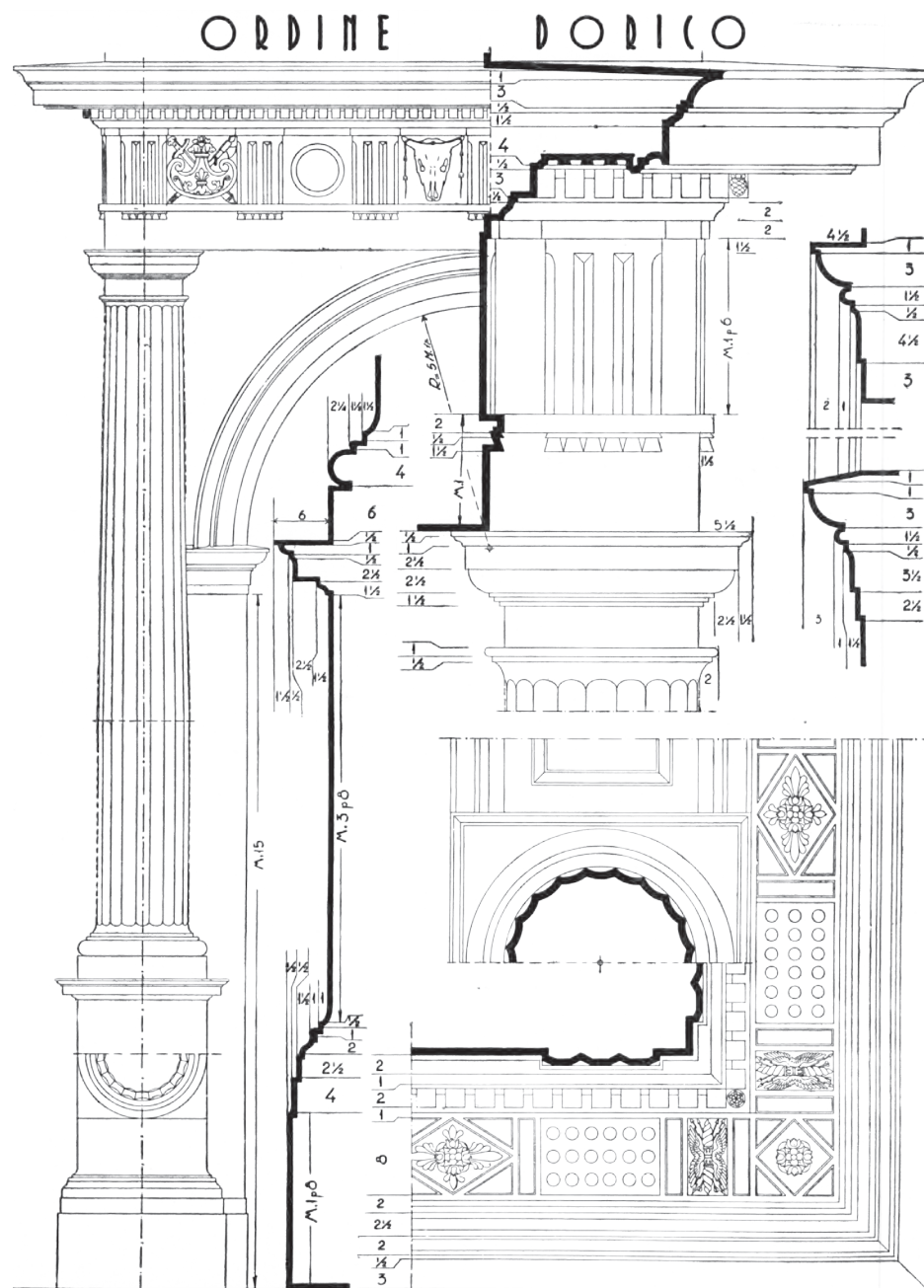
Diversi gli stili e le sensibilità, oltre che la finalità, ma la ricerca dell'essenziale è del tutto rintracciabile con pari forza in entrambi. Dunque l'essenzialità è elemento stesso dell'arte così come le regole matematiche e geometriche che la sottendono. L'incipit del Suprematismo può essere così riassunto: $A=\pi r^2$, ovvero l'area del cerchio è il prodotto del quadrato del raggio della circonferenza per π (Pi greco).

$A=\pi r^2$ possiede una eleganza essenziale, di una fortissima potenza visiva e concettuale, alla cui base è costruito l'intero edificio matematico e fisico. Essa rappresenta il tentativo, ancora vano, di quantificare l'area di una circonferenza a partire dal suo raggio. Tale incompiutezza è dovuta alla natura trascendente del π : cioè un numero irrazionale, non può cioè essere scritto come quoziente di due interi, come dimostrato nel 1761 da J. H. Lambert. Inoltre, è un numero trascendente, ovvero non è un numero algebrico. Questo implica l'inesistenza di polinomi con coefficienti razionali di cui π è radice. Di conseguenza, è impossibile esprimere π usando un numero finito di interi, di frazioni e delle loro radici.

Questo risultato stabilisce l'impossibilità della quadratura del cerchio, cioè la costruzione, con soli riga e compasso, di



sinistra
sezione maestra della conchiglia del mollusco Nautilus; viticcio di vigna, dettaglio di Aloe
sopra
conchiglia di tibia fuscus
(FLICKR)



un quadrato della stessa area di un dato cerchio.

Volendo provare ad avventurarsi oltre la seconda cifra decimale (e non oltre la 64esima) ecco come si presenta questa costante matematica:

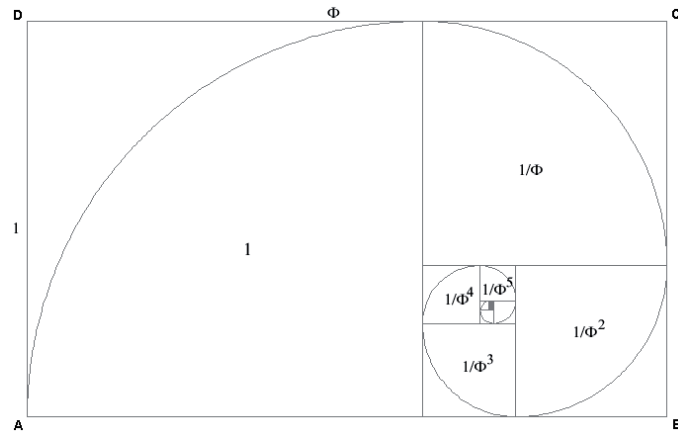
3,14159 26535 89793 23846 26433 83279 50288 41971 69399
 37510 58209 74944 592.

Il pensiero umano ha dedotto il cerchio e lo ha fatto osservando la natura con approccio empiristico; il passaggio successivo è la idealizzazione del cerchio, giacché in natura tale forma non si presenta mai nella sua perfezione. Dunque l'uomo astrae l'esperienza idealizzandola tramite un processo creativo in una forma compiuta e perfetta. Il passaggio ulteriore è l'appropriazione di questa in termini matematici al fine di riprodurre il fenomeno o utilizzarlo come elemento finito di un'astrazione più complessa; mette cioè a sistema i dati sperimentali divenuti concetti al fine di utilizzarli in un ulteriore processo creativo. Il cerchio esiste in natura in molteplici forme, la colonna dorica invece no. Eppure ad essa, alle sue forme e ai molteplici stratagemmi che l'uomo ha inventato per renderla più armoniosa, si è giunti per semplice deduzione o raffinzioni per stadi successivi a partire dalla materia (non solo materica) astratta dal quadro delle esperienze dell'universo conoscitivo.

La colonna dorica è dunque discendente diretta della costante 3,14159...ect; ma essa non si risolve col solo compito di sorreggere qualcosa sia che sia una trabeazione in marmo o la statua dell'ammiraglio Nelson a Londra. Ad essa la mente umana ha un ulteriore compito: rappresentare qualcosa di importante. Forse una codifica di una severa norma proporzionale, forse una reminiscenza ancestrale del suo equivalente ligneo, forse il ruolo di contatto con una Divinità assunta a ruolo di perfezione. Ecco che, in forza di un suo valore semantico di narrazione simbolica, la colonna diventa un gesto, oltreché ingegneristico, anche artistico. A questo riguardo occorre chiedersi quale sia il valore artistico

di un oggetto replicato, sempre uguale a se stesso migliaia di volte e inghiato in regole rigide. Il rimando ci porta lontano e imporrebbe di analizzare il rapporto tra cultura ingegneristica e cultura architettonica supponendo che, tra le due discipline, ci sia una rigida compartimentazione.

Occorre, su questo nodo, richiamare l'opera del mollusco sopracitato: il Nautilus. Apparentemente privo di qualsiasi capacità cognitiva, scientifica o artistica, l'evoluzione vitale di questo animale acquatico produce un manufatto alla cui perfezione è difficile non assegnare una qualche forma di volontà. Eppure è la natura che per misteriose leggi edifica



una forma primitiva e affascinante. Ancora una volta l'uomo, in questo caso René Descartes nel 1638, osserva, documenta e astrae il fenomeno traducendolo in formula: $r=ae^{b\theta}$ (dove r e θ sono coordinate polari). La Spira Mirabilis, come la definisce J. Bernoulli, è rintracciabile nella disposizione delle foglie di alcune piante, nelle forme delle galassie, nelle evoluzioni dei cicloni atmosferici. È una spirale logaritmica la spirale aurea che possiede un fattore di accrescimento b pari a φ , la sezione aurea ovvero, nelle arti figurative, il rapporto tra due lunghezze diseguali delle quali il maggiore è medio proporzionale tra la minore e la somma delle due;

in formule appare così: $(a+b) : a = a : b = b : (a-b)$ dove tale rapporto vale approssimativamente 1.618 e si ricava dalla seguente formula: $\varphi = (1 + \sqrt{5})/2$.

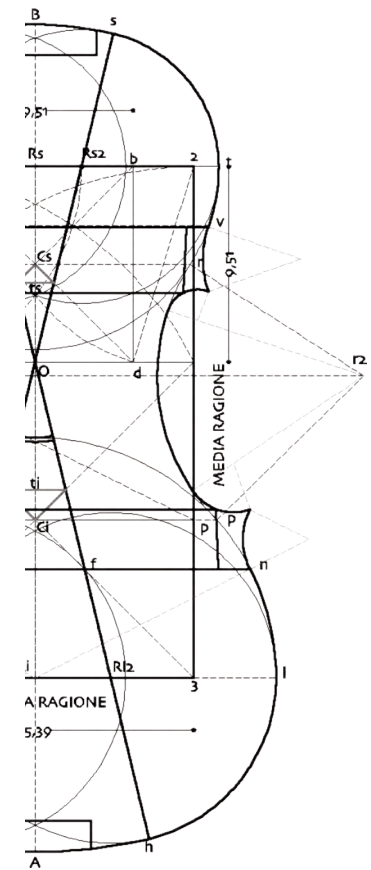
Esiste un filo che ricollega queste osservazioni e contribuisce a delineare un primo postulato: la natura offre all'uomo gli elementi della sua conoscenza in forma di dati sperimentali. L'uomo li elabora ricavandone leggi più generali, queste leggi a loro volta ricadono su tutti gli aspetti del vivere creativo, intendendo per creatività la capacità cognitiva della mente di creare e inventare attraverso un processo fortemente razionale.

Quando Malevič segna un confine tra il figurativo e l'astratto lo fa disegnando un cerchio (la forma primordiale per eccellenza) di colore nero (l'assenza di colore) su un campo quadrato bianco (la tela bianca è l'insieme di tutti i colori e, al tempo stesso, confine del cerchio). Quando i greci hanno inteso celebrare l'Atena Poliàs in forma di architettura, lo hanno fatto utilizzando le regole geometriche della sezione aurea ritenuta, allora, la più degna e divina tra le proporzioni.

In tutte queste azioni vi è una assoluta padronanza delle norme matematiche unita alla consapevolezza circa il loro uso: nel Partenone nulla è lasciato al caso, così come nel cerchio nero suprematista; in queste manifestazioni dell'intelletto non vi è spazio per le manifestazioni spontanee della natura, giacché esse, nelle loro molteplici implicazioni, sono state assunte a leggi rielaborandone i significanti.

6.3 L'armonia delle forme. L'uomo codifica le forme mutuata dalla natura in eventi estetici a cui attribuire significati ed emozioni; frecce scagliate sulle sfere emotive, a volte inconsce, attraverso forme, colori, profumi, sensazioni tattili e generalmente sensoriali.

A queste elaborazioni proprie, si associano tutte quelle espressioni della natura che rientrano nella fere emotive pur



sinistra
tavola grafica, arch. S.Rattu, *L'architettura, nel disegno, nei caratteri, nella storia*, Torino, 1960
sopra
disegno di violino di Pietro Guarneri, 1711;
sviluppo grafico della spirale logaritmica;
(FLICKR)



essendo di carattere spontaneo (nel senso di non cercato, né voluto ma semplicemente acquisito).

Così proviamo interesse per forme quali il guscio di una conchiglia, una pietra levigata, l'equilibrio di un arbusto incastonato in una roccia, una collina modellata dal tempo, un cristallo spontaneo di salgemma ect.

Esiste poi una terza categoria che media tra le due appena descritte: le architetture spontanee, ovvero quelle opere dell'intelletto rivolte alla risoluzione di un problema pratico ma che, per la loro natura essenziale e per il fatto di rispondere a leggi ingegneristiche, quindi geometriche e quindi naturali, riescono a coinvolgere la nostra sfera emotiva suscitando interesse e meraviglia.

Così lo scrittore americano R.M. Pirsig scrive della sua meraviglia per la bellezza del dispositivo meccanico della sua moto, che può essere la stessa per il meccanismo di un orologio per un orologiaio, per un pezzo meccanico ancora lucente sottratto dalla materia piena dall'abile lavoro di un tornitore che, in esso, vedrà la bellezza della perfezione. Gli esempi potrebbero essere infiniti, ma tutti si potrebbero riportare alla definizione del concetto di armonia come insieme di sensazioni di compiutezza ed equilibrio; armonia che deriva dalle regole naturali che l'intelletto umano mutua in leggi.

6.4 L'armonia spontanea della virgola di calcestruzzo.

La diga di sbarramento a doppia curvatura diventa la protagonista dell'evoluzione di questa riflessione. E' stata scelta, tra decine di geometrie, quale sintesi del rapporto intrinseco tra ingegneria, intesa come capacità creativa nell'applicare la norma, e la natura. In essa vi è un rimando alle forme ancestrali dei ventri materni scolpiti nelle pietre nuragiche o nivoliene, al guscio di una conchiglia, al gonfiarsi di una vela al vento, alla porzione di terracotta di un otre di vino; contenitori e rifugi di elementi vitali.

L'ing. Aldo Maffei, nell'atto di disegnare il profilo della diga a doppio arco di Gusana (1959-63), compie un lavoro a ritroso di matrice culturale arcaica: senza nulla aggiungere in termini di creatività, plasma la materia solida (il calcestruzzo) avendo come riferimento la sua omologa liquida (l'acqua). In questo gesto l'impronta creativa è già evidente ed esplicita e sarebbe ridondante persino pensare di poter aggiungere un di più. Tutto è definito, occorre solo applicare le leggi dedotte dalla natura e il risultato non potrà che essere ad essa affine. Il pensiero che sottende la progettazione di questa infrastruttura non è – impossibile che lo sia – seriale, meccanico o industriale, ma semmai puntuale, unico e soggettivo. Grazie ad una attenta lettura delle condizioni a contorno, la natura indica il luogo idoneo per la costruzione e impone la tipologia da adottare in funzione delle caratteristiche geofisiche del sito; ogni opera sarà così diversa poiché differenti saranno i dati iniziali. La semplice deduzione successiva è che ogni diga è un evento unico e statisticamente irripetibile, ma non lo sono di certo le regole che la sottendono, ampiamente sperimentate, accettate e condivise; d'altronde la regola dell'accrescimento secondo la spirale logaritmica è anch'essa ampiamente diffusa e condivisa nel modo naturale, sia che coinvolga un evento meteorologico piuttosto che botanico.

Rosario Assunto, nel testo "il paesaggio e l'estetica", pone una questione nodale: l'inconciliabilità tra industria e paesaggio individuando nella serialità materica, formale e intellettuale degli oggetti della produzione umana il divario incolmabile con i prodotti viventi ed eterogenei, e quindi unici, della natura.

E ancora: "quando diciamo paesaggio intendiamo un ambiente vivente, nel quale non v'è nulla che non sia vivente: per vivente intendendo l'essere molteplice e vario, non serializzabile, come non serializzabili sono i prodotti della natura, tutti i prodotti della natura" (Rosario Assunto, *il paesaggio*)

e *l'estetica*, Giannini editore – pag 104).

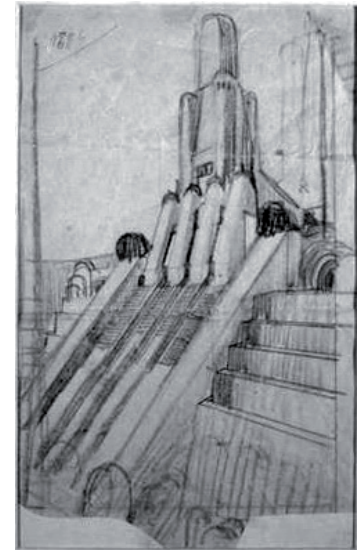
Certamente una diga non possiede i caratteri per calarsi mimeticamente nel suo ambiente: sono eccessive le dimensioni (fino e oltre i 100 metri di altezza per svariate centinaia di metri di larghezza), è artificiale la materia (benché il calcestruzzo venga confezionato con gli inerti cavati in loco) ed infine è chiaramente artefatta la forma, benché derivata da leggi cosmogoniche.

Eppure non può non suscitare meraviglia e interesse; essa si incunea nella valle instaurando con il paesaggio un rapporto paritetico dimensionale ed evocativo. Come una lama di un coltello affonda nella roccia portandone in evidenza la forma, astraendola geometricamente dal contesto (naturalmente spontaneo e casuale) per poi condensarsi nella materia grigia e liscia del calcestruzzo. A monte del coltello la superficie dell'acqua seziona l'orografia del bacino idrografico con un taglio, questa volta orizzontale, che ne rivela il profilo con un'unica e precisa curva di livello o, come visto prima, una superficie equipotenziale che divide il paesaggio in un sopra (luogo delle visioni esperibili) e un sotto (il luogo sommerso del ricordo).

Certamente l'istallazione di una diga non è un gesto gentile e indolore. Il paesaggio ne risulta sconvolto già nel corso delle lavorazioni preliminari sulle fondazioni che prevedono lo scorticamento a roccia viva in corrispondenza delle reni della costruzione, i sondaggi per l'iniezione dello schermo di impermeabilizzazione e le gallerie per gli scarichi di fondo; gli inerti del calcestruzzo vengono prelevati in loco o in cave immediatamente limitrofe, spesso con l'utilizzo di tecniche di coltivazione che poco si sposano con la tranquilla monotonia dei luoghi. Ciò che risalta, nelle immagini d'archivio che documentano l'avanzata del cantiere di qualunque invaso artificiale, è proprio lo sconvolgimento dello stato dei luoghi; segnati da percorsi camionabili, terrazzamenti, baracche o villaggi per le maestranze, discariche (a volte di

dimensioni paragonabili alla diga stessa) e quant'altra modifica fosse funzionale al solo cantiere. Tali immagini sono tanto forti quanto è ancora più evidente la differenza con lo stato attuale dei luoghi in cui la natura riprende possesso di tutti gli artifici del terreno non più funzionali ad una gestione ordinaria dell'invaso riuscendo a fornire un'immagine di grande armonia; come una vitale e lenta avanzata, la natura si riappropria delle slabbrature saldando il grande muro alle pareti dei pendii rendendo così il passaggio tra i due elementi netto e preciso. Il ruolo di grande cesoia del muro ne esce così rafforzato in quanto interamente intelligibile alla vista. Il carattere di immediata espericità della infrastruttura è forse uno degli elementi più forti alla base della analisi estetica della stessa; sono i fattori ambientali, unici nel loro genere, e le ovvie implicazioni fisiche che richiedono un muro verticale incuneato dentro una valle, a rendere immediatamente leggibile l'intera infrastruttura. Certo, di una diga vediamo solo l'intero involucro esterno, quello a valle, ma questo basta a definirne la funzione, a descriverne didascalicamente la tipologia. Qualsiasi sia la quota alla quale viene vissuta l'esperienza di contatto visivo con essa, la diga rivela sempre la sua forma grazie al gioco delle ombre portate sulle sue pareti o, più semplicemente, la linea del coronamento resa netta dal contrasto con il cielo. Nel presente caso di studio, la diga di Gusana si impone alla vista con la raffinata eleganza della sua curvatura asimmetrica (evento raro in quanto i progettisti tendono sempre a organizzare i centri di curvatura su un unico asse) ponendosi quale evento unico e riconoscibile, ma al contempo, rispettoso nelle proporzioni con i monti che la sottendono.

Tale è il prodotto dell'ingegno umano, quindi architettura.



Antonio S. Elia, Centrale (idro)elettrica 1914, (WIKI, WEB)



7 LA DIGA COME LANDMARK

7.1 l'indifferenza della infrastruttura. L'evoluzione recente della vicenda umana, in particolare riferimento a quel capitolo catalogato sotto il titolo di "Rivoluzione Industriale", ha imposto un improvviso aumento della richiesta di acqua potabile quale elemento primario a supporto dell'evoluzione demografica delle popolazioni interessate dal nascente sviluppo; l'evoluzione delle tecniche e delle quantità lavorate dalle filiere agricole hanno richiesto maggiori quantità di acqua per scopi irrigui, l'evoluzione chimica e meccanica producevano identiche necessità. L'invenzione prima ed il perfezionamento poi della produzione di energia elettrica, volano indispensabile per una ulteriore evoluzione che andasse oltre la forza motrice del vapore, ha imposto la formazione di invasi idrici artificiali sempre più numerosi. Questi li si forma là dove scorre acqua che se non intercettata, finirebbe in mare, compiendo così quel "delitto" su cui scriveva l'ing. Omodeo nei suoi scritti nei primi del '900.

Un invaso artificiale si erige a seguito di una domanda di risorse (l'acqua e la sua energia potenziale), mai a seguito dell'offerta di un bene (l'acqua). Da ciò deriva la sua sostanziale indifferenza rispetto ai "luoghi culturali" su cui si insedia, avendo come unici parametri i soli "luoghi fisici", quelli cioè formati dalla geometrie degli alvei, dalla qualità e coesione delle rocce, da complessi calcoli idrometrici e pluviometrici per stabilire quote e dimensionare tutti gli apparati a corredo di uno sbarramento.

7.2 Il paesaggio. La prima necessità è riuscire ad orientarsi sui termini da usare e su un glossario articolato e cosciente riferito ai temi presi in considerazione. Molto spesso si usano i termini paesaggio, ambiente e territorio per descrivere, studiare o semplicemente parlare della stessa realtà, come

fossero dei sinonimi.

Il paesaggio è un insieme complesso di più elementi fra loro collegati e le relazioni che lo compongono sono dinamiche e in continua evoluzione. (V. Romani "il paesaggio. Teoria e pianificazione", ed. Francoangeli, Milano, 1994).

A seguito della sottoscrizione della Convenzione Europea del paesaggio e dell'entrata in vigore del Codice (Urbani) sui beni culturali, è diventato necessario mettere a fuoco criteri operativi che traducano le politiche in progetti; tanto più in Sardegna, dove, per esplicita enunciazione della Giunta Regionale, il paesaggio è termine che incardina le politiche territoriali. "Paesaggio, Identità, Sostenibilità" sono i termini messi in stretta correlazione attraverso il progetto: il Piano Paesaggistico Regionale assume, infatti, come obiettivo del progetto di paesaggio la ricostruzione del divenire identitario dei suoi popoli che progettano e programmano il futuro secondo i principi e l'etica della sostenibilità dello sviluppo. Paesaggio è un termine complesso, che rappresenta l'insieme dei caratteri di un territorio. Esso sottintende diverse dimensioni (fisionomia, eterogeneità, percezione, comunità viventi, struttura geomorfologica, processi, interazioni) pur rimanendo elastico sulle unità spaziali, quindi valido a diverse scale spazio-temporali.

La relazione che instauriamo con il paesaggio attraverso lo sguardo è funzione variabile del tempo, mutevole non solo perché il contesto osservato e soggetto a processi evolutivi, ma soprattutto perché cambia il modo del percepire dell'uomo; è possibile interpretare il rapporto uomo-natura con l'osservazione della relazione tra un luogo che in un dato periodo viene candidato per essere occupato da un invaso artificiale e la popolazione che vive questo ambiente; questo tipo di rapporto è il risultato della "presa di possesso della natura da parte dell'uomo", che intende tutte quelle azioni antropiche compiute sul territorio.

Cosa si intende per paesaggio?

la prima necessità è quella di riuscire ad orientarsi sui termini da usare e su un glossario articolato e cosciente riferito ai temi presi in considerazione.

Per poter parlare di paesaggio è necessario per prima cosa definirlo facendo riferimento anche alla vasta letteratura sul tema.

L'equivoco è reso ancora più evidente quando associamo a questi termini degli aggettivi come “naturale” o “costruito”. Il paesaggio è un insieme complesso di più elementi fra loro collegati — composto di alberi, di case, di rocce e di campi, di acque e di economie, di uomini, di culture, di azioni, di cause ed effetti, di relazioni, eventi e processi storici — e le relazioni che lo compongono sono dinamiche in continua evoluzione.

A parte i diversi dibattiti su questi argomenti e le varie definizioni - derivanti da molteplici apporti scientifici, che molto spesso rappresentano e studiano un diverso aspetto dello stesso fenomeno - possiamo cogliere le differenze tra ciò che chiamiamo ambiente, territorio e paesaggio.

Secondo il dizionario della lingua italiana, De Mauro, Paravia, 2000, Il termine “ambiente” (*etimologia: dal lat. ambiēte(m), p.pres. di ambire “andare intorno, circondare”*), indica: l'insieme delle condizioni biologiche e fisico-chimiche in cui può vivere un organismo; l'insieme dei fattori biologici e fisico-chimici che intervengono nel processo di formazione delle rocce [...].

Il termine territorio (*etimologia: dal lat. territoriu(m), der. di “terra”*) indica la porzione di terreno di notevole estensione; zona geografica [...]; regione geografica considerata in rapporto alle caratteristiche fisiche e alle condizioni ambientali e urbanistiche che da esse si possono generare [...]; zona delimitata da un confine, che costituisce un'unità giurisdizionale e amministrativa [...]; elemento materiale dello stato sul quale viene esercitata l'autorità di governo in alcuni stati federali, regione posta sotto l'amministrazione diretta del



Diga di Luzzone, Canton-Ticino, Svizzera; diga ad arco-gravità terminata nel 1963, alta 225m per uno sviluppo di 510m. Ha una capacità di invaso di 108 Mmc.

Le immagini mostrano il sistema diviso nelle sue tre parti: a valle della diga, la diga e l'invaso a monte dello sbarramento.

Si noti la perfetta giunzione delle opere con il contesto ambientale e come le acque dell'invaso dialoghino in modo diretto con i monti amplificando l'artificialità del sistema.

(FLICKR, WIKI)

governo federale; area comprendente spec. i luoghi di riproduzione, di rifugio e di alimentazione che un individuo o un gruppo di individui di una specie animale difende dall'intrusione di altri individui della stessa specie per mezzo di segnali acustici, chimici o visivi.

Il termine "paesaggio": (*etimologia: da cfr. fr. Paysage*) indica: aspetto di un luogo, di un territorio quando lo si abbraccia con lo sguardo [...]; particolare conformazione di un territorio risultante dagli aspetti fisici, biologici e antropici [...]; dipinto, fotografia, ecc. che ha per soggetto vedute della realtà naturale [...].

Di conseguenza, paesaggio è un termine complesso, che rappresenta l'insieme dei caratteri di un territorio. Esso sottintende diverse dimensioni (fisionomia, eterogeneità, percezione, comunità viventi, struttura geomorfologica, processi, interazioni) pur rimanendo elastico sulle unità spaziali, quindi valido a diverse scale spazio-temporali.

L'unico termine che non deriva dalla lingua latina è "paesaggio".

Questo fa pensare ad una necessità da parte dell'uomo di coniare una parola per identificare qualcosa che prima non si percepiva.

Inoltre, il paesaggio è l'unico termine che, per essere definito, deve essere accompagnato da una azione percettiva dell'uomo: il paesaggio è aspetto di un luogo, di un territorio quando lo si abbraccia con lo sguardo. Gli altri termini si riferiscono a qualcosa che esiste a prescindere dall'essere percepito.

Il termine percezione: (*etimologia: dal lat. perceptio(m), v. anche percepire, cfr. sup. lat. Perceptum*), indica: il percepire attraverso i sensi, l'intuito o la mente [...]; registrazione mentale immediata di un atto, un evento o un oggetto dell'esperienza sensoriale; l'insieme degli eventi sequenziali che sono alla base dell'interazione dell'individuo con il mondo esterno o con la sua realtà interna, che vanno dal presentarsi di uno

stimolo, attraverso il formarsi della relativa sensazione, sino al suo avvertimento generalmente strutturato; esperienza conoscitiva l'atto cognitivo che implica un processo di interpretazione e organizzazione di diverse sensazioni e porta all'individuazione di un determinato oggetto reale [...].

Quindi, la relazione che instauriamo con il paesaggio attraverso lo sguardo è funzione variabile del tempo, mutevole non solo perché il contesto osservato è soggetto a processi evolutivi (come avviene per l'ambiente ed il territorio), ma soprattutto perché cambia il modo del percepire dell'uomo.

7.3 l'infrastruttura indiscreta La costruzione di una diga non è mai un atto di gentilezza nei confronti del territorio e delle genti che vi hanno installato residenza, lavoro e affetti e che usano la terra per il proprio benessere e sostentamento, per il piacere proprio condiviso a quello del visitatore.

Si può definire l'invaso artificiale ed il suo sbarramento secondo una tripartizione temporale e fisica dei luoghi:

Antecedente la costruzione. Corrisponde alla forma e agli usi insediati nella valle; essa si suddivide tra percorsi fisici quali strade e ponti, sentieri marcati e sentieri immateriali della transumanza, da un uso del suolo parcellizzato in terreni marcati da muri a secco che rivelano un meccanismo secolare, consolidato e condiviso del suolo.

Il lago interviene in questo microcosmo cancellandolo con le sue acque; ma a interrompersi non sono le sole attività che il volume va a sommergere, vengono spezzati i legami tra i territori sia in maniera fisica tramite lo specchio d'acqua, sia funzionalmente a seguito della interruzione di strade sorte anticamente per connettere tra loro popolazioni ed economie. Vengono stravolte quindi le attività di chi legava la propria sussistenza alla realtà espropriate e quindi perse per la costruzione di una infrastruttura legata ad altri usi ed a supporto di meccanismi sociali che si svolgono altrove. Si pensi che il sistema del Taboro (provincia di Nuoro) produ-

ceva originariamente elettricità trasferita a Cagliari da un elettrodotto apposito.

Durante la costruzione. Già in questo tempo il paesaggio e popolazione subiscono una trasformazione importante ed i contesti, spesso naturali e difficili da raggiungere, diventano altro: vengono antropizzati.

La fase di realizzazione della diga si concretizza con un'opera di cantierizzazione imponente che comporta la creazione di nuove cave, opere edilizie di supporto al cantiere, quali strade di accesso e strutture di appoggio per materiali e lavoratori coinvolti nella costruzione dell'opera. Già in questo tempo paesaggio e popolazione subiscono una trasformazione importante ed i contesti, spesso naturali e difficili da raggiungere, diventano altro: vengono antropizzati.

L'apertura di cave di inerti a pochi passi dal futuro sbarramento ha come esito l'erosione di interi versanti tramite coltivazione, il trasporto ai silos per l'immagazzinamento e la macinazione. A seguito dell'intero ciclo che porterà alla fabbricazione di inerti di granulometria variabile e del legante, gli scarti della produzioni verranno accumulati nel luogo stesso della produzione. Per consentire il transito delle macchine di trasporto attraverso il cantiere si procede all'apertura di strade camionabili lungo i pendii a monte e a valle dello sbarramento; sulle alture a ridosso delle lavorazioni vengono edificate le fondazioni per i derricks (particolari gru elevatrici) e i blondins (teleferiche per il trasporto del calcestruzzo), in prossimità del cantiere viene installato il villaggio per gli operai, a volte veri villaggi capaci di sopravvivere oltre il termine dei lavori.

Il taglio delle sponde è una lavorazione sempre imponente e consiste nell'asportare gli strati superficiali di terreno e rocce incoerenti al fine di arrivare alla parte più solida e stabile della roccia impostandone un profilo regolare e angolato secondo i dati progettuali. Su esso poi si interviene tramite il carotaggio prima e l'iniezione poi di specifiche



Lago di Gusana (1963) - Sardegna;
le tre immagini fanno riferimento a tre diversi livelli di invaso a partire dal 2010 fino al 2012.

La progressione delle foto non rispecchia quella cronologica: il lago è usato per la sola produzione idroelettrica ed il suo livello dipende, dall'apporto di acqua dal bacino imbrifero, ma anche dalla produzione elettrica che a sua volta dipende dalle richieste della rete nazionale; il risultato mostrato in queste immagini rende chiaro quanto sia complesso usare questo bacino per scopi turistici e sportivi per via del suo continuo dinamismo.

malte fluide a pressione per formare il cosiddetto “schermo di impermeabilizzazione”. Questa operazione produce una considerevole quantità di inerti inutilizzabili per la formazione di calcestruzzo e quindi conferiti in discarica ai margini del cantiere.

Il cantiere si conclude quindi con la rimozione delle ingombranti strutture delle stazioni di betonaggio, con lo smantellamento dei derricks e dei blondins, e con la messa in sicurezza delle cave, qualora queste si collochino all'esterno dell'invaso. A rimanere sono le tracce di queste lavorazioni: candide ed innaturali discariche di inerti, sbancamenti per piazzole e strade, opere di consolidamento delle rocce tramite cappottature in calcestruzzo e altro ancora. Il tutto suggerisce, attraverso le immagini storiche, un aspetto quasi lunare. La sensazione è quella di un ambiente turbato e ferito, se non definitivamente abbattuto.

L'invaso delle acque. le acque infine salgono celando alla vista le tracce passate dell'uso umano della valle e del recente cantiere. L'immagine finale è di assoluto ordine, il livello massimo di vaso arriva là dove il cantiere si è fermato restituendo una immagine di naturalità benché artefatta, ma comunque ordinata.

Lo diga entra in funzione e inizia a “sporcarsi”, dove gli spessori sono più ridotti, come nel caso della diga di Gusanà, a causa del trafileamento di acqua attraverso i giunti; evento normale, specie per le strutture snelle ad arco e che rappresenta l'unico segnale a valle della azione della spinta idrostatica.

La documentazione fotografica e l'esperienza diretta sui luoghi dimostrano come la natura riesca, in un lasso di tempo di pochissimi decenni, a riconquistare integralmente gli spazi a lei sottratti fermandosi solo al cospetto del calcestruzzo al punto da non riuscire più a distinguere ciò che è “naturale” da ciò che è invece frutto di un artificio orografico creato dall'uomo per fini che oggi sono illeggibili, a

meno di non aver ben chiare le immagini dei cantieri.

L'ambiente, attraverso fasi di modifiche successive, riacquista una condizione di equilibrio, appena turbato dal periodico variare delle acque dell'invaso che si manifesta attraverso la comparsa di contorni orizzontali netti e disadorni lungo le sponde del lago.

Fisicamente possiamo distinguere tre aree:

l'invaso. È questo il luogo delle acque ottenuto per giustapposizione artificiosa di acqua e montagna. L'immagine che ne deriva è un insieme di natura e artificio: un sistema in cui risulta assente la sponda, ovvero quella fascia chiamata a mediare tra l'elemento acqua ed il sistema della montagna, modificandosi tra le mutazioni stagionali della seconda e le variazioni della prima. L'artificiosità appare immediata nell'immagine del lago appena formato, con edifici rurali, strade, recinti che si inabissano improvvisamente, senza logica apparente, così come appaiono senza senso, a meno di non trovarsi in una foresta pluviale equatoriale, le chiome degli alberi in mezzo all'acqua e distanti dalle rive. La natura farà il suo corso: gli alberi sommersi marciranno, scomparendo, stessa sorte per la vegetazione residua, e le sponde verranno lavorate dal moto micro-ondoso e dalle variazioni continue di livello. Continuerà a permanere invariata l'immagine di instabilità del sistema, benché col tempo i due sistemi estranei entreranno in simbiosi (il lago artificiale del Bilancino, in Toscana è un'oasi faunistica ormai consolidata a dieci anni dalla costruzione.).

La diga. È questa l'elemento puntuale del sistema, un paesaggio artificiale verticale in cui trova spazio la materia strappata al monte vicino e lavorata in frantumi per poi essere ricompattata a formare il muro, o spostata dalle colline e ammassata in pendii più dolci ma altrettanto innaturali, nel caso di sbarramenti in materiali sciolti.

La diga segna il paesaggio e segna il sistema, come un coltello affondato nella valle, separa il luogo della natura ante-

cedente (l'alveo) dalla natura creata (l'invaso) proponendosi come elemento protagonista, unico e indiscreto.

Rivolge le spalle all'invaso, risultandone pressoché invisibile nel corso del normale esercizio del lago da essa sotteso, ma è visibile in tutta la sua dimensione da valle. Alle volte è celata, difficile da raggiungere in quanto la sua collocazione non risponde a esigenze logistiche ma unicamente tecniche, altre volte è ben visibile da decine di chilometri, quando questa si trova a chiudere vallate regolari ed estese, come nel caso della Grande Dixence in Svizzera o della Kolnbrein in Austria.

A valle della diga. È questo il luogo in cui la natura si ri-appropria degli spazi stringendo in assedio le strutture in calcestruzzo, siano esse la diga stessa, piuttosto che i residui delle strutture preposte alla costruzione dello sbarramento. Allo stesso tempo realizza una inversione completa di quanto avviene nel bacino: là dove l'acqua conquista spazi che non le competono, lo spazio immediatamente a valle dell'invaso ne è invece privato. L'acqua infatti, per esigenze legate alla costruzione e alle relative lavorazioni sulle fondazioni, viene spesso deviata attraverso un sistema di gallerie per essere liberata nuovamente a valle qualche centinaio di metri oltre l'invaso. Successivamente altre gallerie di derivazione trasportano una parte di acqua altrove, verso le turbine idroelettriche a valle o verso i sistemi degli acquedotti per usi civili. La restante è restituita all'alveo sempre più a valle dello sbarramento.

Nel caso lo sbarramento sia progettato per la tracimazione in coronamento, come è il caso della diga di Gusana sul Taloro, questo spazio si arricchisce di una valenza simbolica e paesaggistica del tutto inedita, quella della cascata artificiale. Dinamica non comune comunque, specie in regioni aride come la Sardegna, in cui tale evento si è verificato raramente, ma che testimonia quanto l'intero sistema sia dinamico e di come a seguito dell'alterazione strutturale di un intero



Diga di Osiglietta, Liguria; diga a cupola alta 70.7m per uno sviluppo di 224m, terminata nel 1939; le immagini fanno riferimento all'ultimo svuotamento completo dell'invaso avvenuto nel 2006 per lavori di manutenzione alla struttura; sono così tornati alla luce i resti dell'antico borgo sommerso, frazione di Vagli Sotto (LU). Pur essendo uno svaso temporaneo dettato da esigenze contingenti, le immagini suggeriscono un probabile scenario futuro comune a molti invasi attualmente in esercizio.

meccanismo naturale, le cicliche variazioni spontanee della natura assumano un carattere differente enfatizzandone gli effetti.

7.4 Il landmark silente ed il sistema inquieto. Avendo spostamenti valutabili in pochi millimetri, la diga è all'interno di un sistema inquieto, l'unico elemento immobile.

Inquieto in quanto è il dilatamento di un processo naturale attraverso l'intervento artificiale di formazione del bacino acquifero che amplifica non solo le dinamiche legate al ciclo della pioggia attraverso un uso, meno naturale e ciclico, delle acque per fini civili e industriali, ma perché si riflette sull'appartenenza delle acque da parte delle popolazioni limitrofe secondo un processo partito dalla secolare e lenta antropizzazione della valle e terminato in un repentino cambio di scenario dove la stessa è stata colmata di acqua; tale scenario è destinato infine a non quietarsi in una nuova condizione di equilibrio, ma continuare la sua evoluzione con lo stesso ritmo con cui varia la piezometrica.

Condizione come il toscano lago del Bilancino, o come il sistema di invasi artificiali francesi dell'asta del Verdon, sono esempi di difficile duplicabilità, sia perché generati da una condizione ambientale e orografica unica, sia perché sottesi da dighe la cui funzione non è principalmente industriale.

L'approccio al tema popolazioni/paesaggio/diga va quindi affrontato da quest'ultima; è la diga che infatti impone i tempi attraverso cui le popolazioni private del paesaggio vallivo potranno appropriarsi del nuovo scenario o, addirittura, riappropriarsi delle terre ora sommerse quando e se la diga entrerà in dismissione completa. Con l'avanzare dei decenni sono sempre più i casi di invasi costruiti tra la prima e seconda decade del '900 ora dismessi e posti in sicurezza e, di fatto restituiti alle popolazioni.

In Sardegna, quando è entrata in dismissione la diga di Santa Chiara sul Tirso, prima che la nuova diga Cantoniera più

a valle iniziasse a invasare, buona parte del lago Omodeo venne svuotato per ragioni tecniche, riportando alla luce, a 70 anni di distanza, il tessuto connettivo antropico della valle sommersa: strade, muri a secco, piccoli edifici quasi del tutto diroccati dalle acque ed aree archeologiche ritenute perse sono tornate alla luce del sole. Lo scenario offerto sarà comune a molti altri casi in cui lo svuotamento diverrà perenne.

Il sistema paesaggistico inquieto creato dall'invaso ci racconta di dinamiche ancora non del tutto chiare e possibilità di evoluzione emozionale ed affettiva futura ma che dovrà sempre tenere in conto la precarietà perenne di tutto il sistema.



Park Eiffel, Germania;
le variazioni di livello dell'invaso rivelano la forza dell'acqua nel ridisegnare i pendii montuosi





10 aprile 1963 prove idrauliche sulla diga di Gusana. Nell'immagine compaiono nell'ordine gli Ingg. Maffei, Gariel e Del Rio

8. UN MODELLO CONOSCITIVO: IL SISTEMA IDRICO DEL TALORO (SARDEGNA)

Quanto segue rappresenta un approccio più dettagliato riguardo un caso di studio specifico, isolato dalle decine di casi documentati in Sardegna, per le sue peculiarità costruttive e conoscitive: il sistema idrico del Taloro e, in particolare, la sue opere più emblematiche: la diga di Gusana e la diga di Cucchinadorza.

In particolare si è posto l'accento sulla prima in quanto rispondente a diverse caratteristiche che la candidano a notevole caso di studio: è una delle poche dighe a doppia curvatura in Sardegna e l'unica (e tra le poche in Italia) con profilo longitudinale asimmetrico e dimensionalmente si inserisce nel ristretto gruppo delle grandi dighe presenti sull'isola con altezza al coronamento maggiore di 80m.

La diga di Gusana è un oggetto relativamente recente, circa 50 anni di vita, ed è tuttora nel pieno delle attività per la fornitura di energia elettrica. Il suo invaso è attualmente autorizzato fino alla quota di massima regolazione.

Nel corso degli anni ha saputo proporsi come elemento appetibile sul mercato dell'industria turistica: attualmente le sue sponde ospitano 3 strutture ricettive direttamente legate alla presenza dell'invaso, più altre tre nei territori immediatamente limitrofi legati sia al lago che ad un turismo rivolto alla fruizione delle risorse ambientali locali dei territori montani dei comuni di Gavoi e Fonni.

La diga dunque ha instaurato, in questo specifico caso, un rapporto stretto con i luoghi e con le genti. L'analisi che questo caso offre è dunque rivolta alla messa in luce delle questioni presenti e future legate alla permanenza dell'invaso e dai possibili scenari che si apriranno qualora il sistema non fosse più in grado di esistere nell'attuale configurazione.

8.1 LA STORIA DEL TALORO NELLE PAROLE DELL'ING. ALDO MAFFEI.

L'infelice climatologia di questa antichissima isola dove sono rappresentate le ere geologiche dal Cambriano o forse dall'Archeano, fino ai recenti sedimenti di spiagge o di trasporto fluviale; l'assenza di sorgenti di una certa portata, la scarsa superficie boschiva, l'alta percentuale di terreni impermeabili; la necessità di dover far fronte all'approvvigionamento idrico dei principali centri urbani hanno chiamato in Sardegna alla fine del secolo scorso i primi tecnici per studiare le possibilità di immagazzinare l'acqua piovana nel periodo invernale e distribuirli nel periodo estivo.

Così nel 1879 venne costruita su progetto dell'Ing. Ferrero la diga di Bunnari Bassa sul Rio Bunnari (Sassari); qualche anno prima, nel 1866, era stata ultimata la diga di Corongiu sul Rio Bau Filixi (Cagliari), oggi demolita. Queste due opere sono annoverate tra i primi cinque esempi di dighe costruite in Italia. Questo certo "primato" di avanguardia nelle opere di sbarramento la Sardegna lo mantiene ancora oggi.

Il progresso sociale e tecnico ha esteso le funzioni dei serbatoi dell'approvvigionamento idrico dei grandi centri, all'irrigazione e allo sfruttamento idroelettrico, rendendo sempre più attive le ricerche del tecnico per soddisfare le diverse esigenze. I principali fiumi Tirso, Coghinas, Flumendosa, Taloro furono esaminati lungo il loro corso dalle origini alle foci. I terreni interessati sono in genere antichi e quindi molto rare, in ogni singolo fiume, le grandi erosioni che creano le vere strette.

Lo studio dello schema per la costruzione di un impianto, qualunque siano le sue funzioni, non presenta in Sardegna particolari difficoltà.

Esso è dettato dalla stessa Natura e il tecnico deve solo as-

secondarla per risolvere il problema. Non altrettanto facile è invece, per la particolare topografia delle strette e per la necessità di creare grandi invasi, la costruzione dell'opera di sbarramento che rappresenta sempre la parte più delicata dell'impianto. Per queste ragioni esistono in Sardegna, alcuni degli esempi più caratteristici che dimostrano ancora oggi la genialità, il senso costruttivo e l'arditezza dei singoli progettisti. Ricordiamo per tutti l'Ing. Luigi Kambo, che nel 1918 progettò la diga ad archi multipli sul Tirso. Questa opera, la più imponente del suo genere costruita in Italia, è ancora oggi con i suoi 70 m. d'altezza e 165.000 mc. di muratura, la terza del mondo superata di poco, se non andiamo errati, da due dighe costruite in America.

L'opera ultimata nel 1924 è in servizio da quasi 40 anni. Non c'è tecnico, che passando sotto i giganteschi speroni, non sia colpito da quel profondo senso di ammirazione e stupore che creano le opere grandi.

Dal 1920 al 1928, furono portati a termine in Sardegna i progetti per la realizzazione di serbatoi spesso con finalità diverse su tutti i principali fiumi sardi; alcuni di questi progetti vennero realizzati in quel periodo (Tirso e Coghinas), di altri ne fu appena iniziata la costruzione (Flumendosa). Di questo periodo sono anche i primi studi dell'ing. Di Nitto sul Taloro.

Le condizioni industriali ed economiche della Sardegna non erano in quel periodo mature per la realizzazione dei due impianti più impegnativi, quelli sul Flumendosa e sul Taloro, d'altra parte il costo delle opere di sbarramento avrebbe reso per diversi anni ancora l'impianto assolutamente antieconomico. I lavori del Flumendosa furono sospesi e quelli del Taloro rinviati a tempi migliori. Passarono circa 20 anni prima che si portasse a compimento l'impianto del Flumendosa, quando cioè il progresso industriale dell'isola e quello tecnico nella costruzione delle dighe, resero economica la costruzione.

Sotto l'impulso della Regione Sarda l'industrializzazione dell'isola fece dal 1950 passi giganteschi e dopo meno di 10 anni dalla ultimazione dei Flumendosa fu improrogabile la costruzione dell'impianto sul Taloro.

Nel 1958 la Società Idroelettrica del Taloro titolare della concessione, decise di realizzare l'impianto nei termini previsti dall'ultimo decreto di concessione e cioè inizio dei lavori entro il 31-12-1959 e ultimazione entro il 31-12-1963.

Nello stesso anno il Presidente Ing. Gustavo Carboni Boy e il Consiglio di Amministrazione, nominarono un Comitato Tecnico, con il compito di assistere e collaborare con gli uffici della Società. Questo Comitato era composto dall'Amministratore Delegato Ing. Vincenzo Buttiglione, e dagli Ingg. Serafini, Forlì e Mortara. Della Società facevano ancora parte, due Procuratori, Dr. Giuseppe Martelli e Ing. Aldo Maffei. All'Ing. Aldo Maffei fu affidata la progettazione e la Direzione Tecnica.

Venne quindi costituito l'Ufficio Studi nelle due sezioni: opere idrauliche e opere elettromeccaniche che furono affidate rispettivamente agli Ingg. Enrico Gariel e Giuseppe Sanna.

Alla Direzione dei Lavori, fu chiamato l'Ing. Giovanni Audoly. Lo schema dell'impianto previsto dall'ing. Di Nitto nel 1926 era il più naturale e il più logico sotto ogni punto di vista.

Le opere invece da quelle di sbarramento a quelle elettromeccaniche dovevano essere tutte riesaminate alla luce del progresso tecnico, economico e industriale del periodo 1926-1958.

L'Ufficio Studi della S.E.S. aveva già portato a termine lo studio idrologico; la producibilità prevista dall'ing. Di Nitto in 140 milioni di kWh risultò eccessiva in rapporto alla capacità dei serbatoi e alle portate massime derivabili. Secondo gli studi più aggiornati essa non avrebbe superato i 130 milioni.

Dallo studio dei diagrammi di carico e dagli incrementi possibili, risultò inoltre che era necessario costruire un impianto di punta capace di coprire la parte alta dei diagrammi di carico con una potenza di 70- 80.000 kW e una utilizzazione media annua di circa 2.000 ore.

Era pertanto necessario raggiungere un equilibrio tra le caratteristiche idrologiche del fiume, le esigenze della rete sarda, le funzioni dell'impianto e il costo del kWh di punta.

Questi studi hanno impegnato gli uffici per diversi mesi e già dall'inizio si delineava la necessità di incrementare la capacità totale dei serbatoi di circa il 40%, la portata derivabile di circa il 60%, e la potenza installata del 100% da suddividere inoltre su un numero minore di gruppi. Lo schema elettrico doveva essere studiato ex novo.

L'incremento del costo del kWh calcolato sulla producibilità media effettiva si presentava contenuto entro il 20%; più che accettabile per un impianto che dimensionato inizialmente per le funzioni di base, era stato trasformato in impianto di punta.

L'aumento della capacità dei serbatoi e l'incremento della portata derivabile assicurava inoltre una maggiore producibilità del 15%.

Gli studi successivi confermarono questi primi dati e lo schema dell'impianto prese, verso la fine del 1958, il suo assetto definitivo.

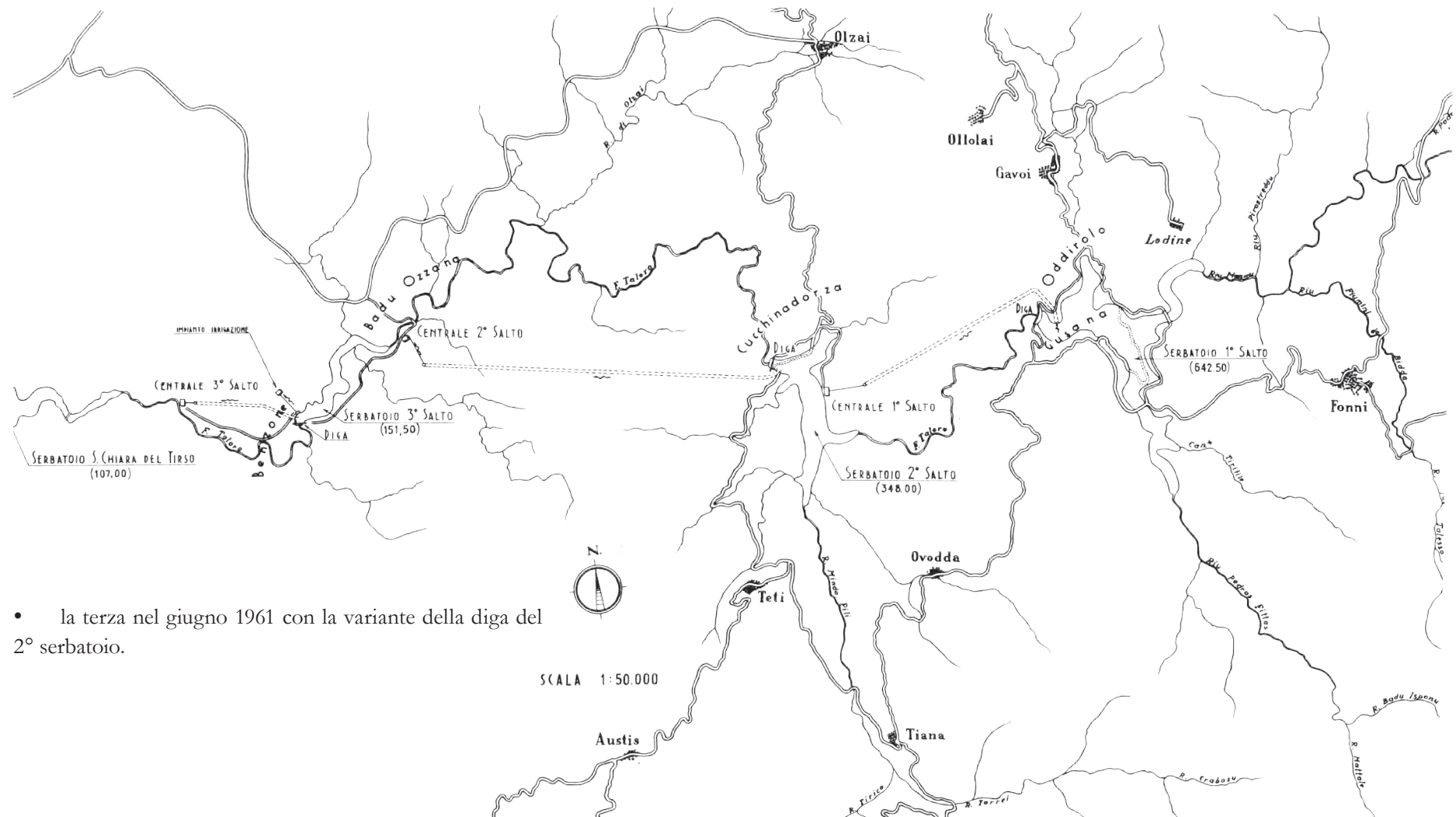
Contemporaneamente agli studi era stata condotta in cantiere una vasta campagna di sondaggi per determinare con maggiore approssimazione i piani di fondazione delle opere più impegnative e quindi, in definitiva, i quantitativi di lavoro. Gli elementi più interessanti del progetto portato a termine dall'Ufficio Studi della Taloro, sono riassunti nel profilo e nella corografia allegata.

Questo nuovo progetto presentava delle varianti sostanziali rispetto a quello iniziale dell'ing. Di Nitto; queste sono state presentate, per la preventiva autorizzazione, agli uffici com-

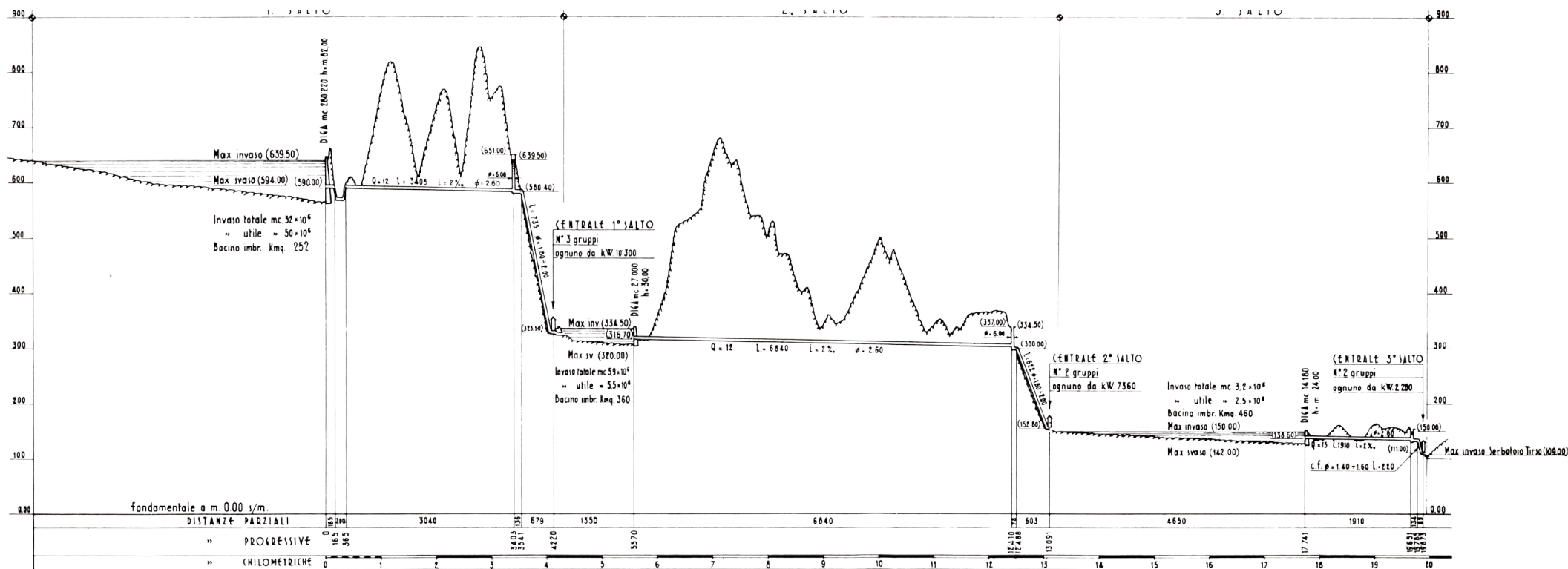
petenti, in tre fasi successive:

- la prima nell'ottobre del 1958 con la variante della portata derivabile, della potenza installata e dei tipi di sbarramento;
- la seconda nel giugno del 1959 con la sola variante della diga del 1° serbatoio;

Taloro - corografia generale degli impianti. (PTAL)



- la terza nel giugno 1961 con la variante della diga del 2° serbatoio.



Taloro - profilo generale degli impianti.
(PTAL)

Considerazioni sulle opere più interessanti dell'impianto - Opere di sbarramento

Sull'asta del Taloro si presentano tre zone:

1. in località Gusana a quota alveo 557 m.s.m.
2. in località Cucchinadorza a quota alveo 305 m.s.m.
3. in località Benzone a quota alveo 136 m.s.m. dove

è possibile la costruzione di un'opera di sbarramento per la creazione di un lago artificiale.

Le prime due zone sono di particolare interesse. In esse infatti era possibile costruire opere a gravità o ad arco; era pertanto necessaria una analisi approfondita che orientasse verso la soluzione più idonea sia dal lato tecnico che da quello economico.

Nella zona in località di Gusana si presentavano inoltre due sezioni possibili che estendevano notevolmente il campo di ricerche.

Sono state studiate complessivamente 17 soluzioni nelle due sezioni di Gusana e due soluzioni nella zona di Cucchinadorza.

Contemporaneamente al progredire degli studi per le opere di sbarramento veniva condotta sotto la guida del Professor Giorgio Dal Piaz una vasta campagna di ispezioni geologiche nelle due sezioni della zona di Gusana e in quella della zona di Cucchinadorza.

Con la scorta dei primi risultati dell'ispezione geologica e dei primi dati su diversi tipi di dighe si è andato assottigliando il numero delle soluzioni sulle quali era opportuno proseguire

gli studi.

Nella tabella (a lato) abbiamo riassunto gli elementi caratteristici più interessanti di ognuna di queste soluzioni. Per un utile confronto abbiamo anche riportato due delle soluzioni a gravità massiccia in muratura di pietrame e in calcestruzzo, che rappresentano i primitivi studi effettuati dall'ing. Di Nitto nel 1926 e dall'ing. Maffei nel 1954.

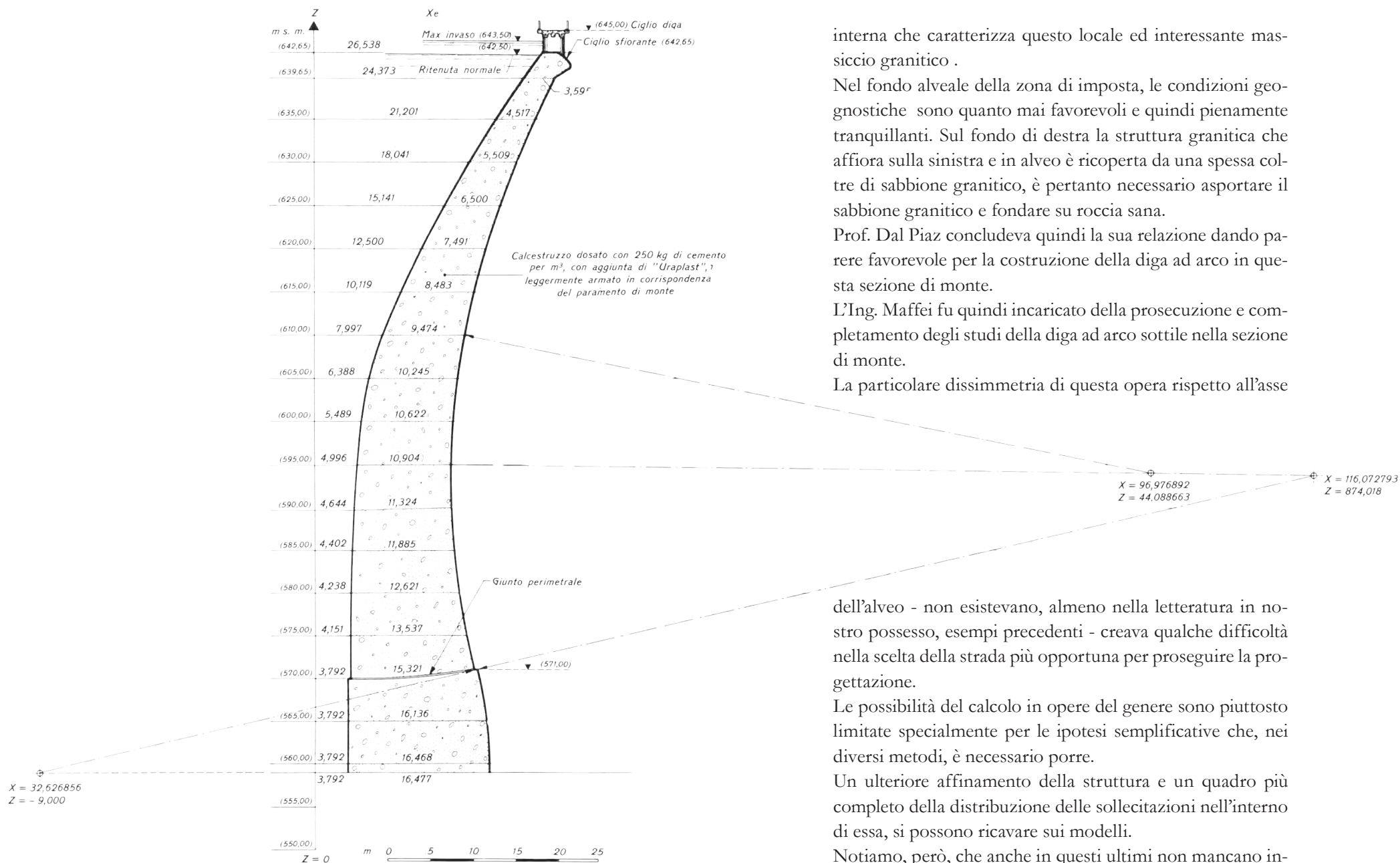
Il Prof. Dal Piaz, e l'ing. Semenza, uomini di profonda cultura, di vasta esperienza e di grande equilibrio, scomparsi purtroppo recentemente, effettuarono nell'aprile del 1959 insieme al Comitato Tecnico e all'ing. Maffei, un sopralluogo per decidere, sulla scorta degli elementi risultanti dalle ispezioni geologiche e dei dati tecnici delle opere previste, la sezione e il tipo di diga.

Si doveva pertanto decidere se la soluzione ad arco di Gusana, rispondeva a quei requisiti previsti dall'Ufficio Tecnico della Società e in quale delle due sezioni, e se a Cucchinadorza la diga a gravità tracimabile era, a conti fatti, effettivamente più economica della diga ad arco (compresi gli oneri per gli scarichi).

Riportiamo per Gusana il giudizio del Prof. Dal Piaz, stralciando qualche frase dalla sua relazione geologica: L'esame della sezione di valle ebbe esito favorevole per il fianco di destra. Non altrettanto adatto specialmente per l'impostazione di una diga ad arco sottile invece il fianco di sinistra, sia per le caratteristiche topografiche, sia per la costituzione geologica. Per unanime parere di tutti i convenuti al sopralluogo la sezione di valle venne perciò abbandonata, la nostra attenzione si è rivolta quindi esclusivamente alla sezione di monte.

- Sul fianco di sinistra di detta sezione - la superficie del massiccio granitico si presenta come un cumulo di grossi blocchi isolati derivanti da originarie spaccature e dalle azioni di degradazioni meteoriche. Questa particolarità di superficie non altera però quella unità strutturale della parte

TIPI E SOLUZIONI DI DIGHE PER LO SBARRAMENTO DI GUSANA									
Tipi	Soluzioni	QUOTE			VOLUME		SPESSORI		NOTE
		Corona-mento	Max piena	Max invaso	Getto	Scavo	Minimo al corona-mento	Max in alveo	
		s.l.m.	s.l.m.	s.l.m.	mc	mc	m	m	
A	1	A GRAVITÀ MASSICCIA CURVILINEA							
		642,00	640,00	639,50	370.000	100.000	5,00	75,00	Ing. Di-Nitto 1926
B	1	A GRAVITÀ MASSICCIA RETTILINEA							
		642,00	640,00	639,50	340.000	100.000	6,00	78,60	Ing. Maffei 1954
C		A GRAVITÀ ALLEGGERITA A DUE SPERONI							
	1	647,00	645,50	645,00	244.048	93.837	3,00	87,50	Aprile 1958
	2	646,00	644,50	644,00	236.000	91.039	3,00	85,50	Aprile 1958
	3	644,00	642,50	642,00	221.952	85.442	3,00	81,50	Aprile 1958
D	4	642,00	640,50	640,00	209.037	79.844	3,00	77,50	Aprile 1958
		A GRAVITÀ ALLEGGERITA A UNO SPERONE							
	1	647,00	645,50	645,00	244.671	139.908	3,00	87,50	Maggio 1958
	2	646,00	644,50	644,00	237.071	138.305	3,00	85,50	Maggio 1958
E	3	644,00	642,50	642,00	223.991	135.141	3,00	81,50	Maggio 1958
	4	642,00	640,50	640,00	211.317	131.976	3,00	77,50	Maggio 1958
		AD ARCO A DOPPIA CURVATURA SEZIONE A VALLE							
	1	642,00	640,50	640,00	197.586	153.013	2,50	15,50	Giugno 1958
	2	647,00	645,50	645,00	216.156	156.507	2,50	16,00	Luglio 1958
	3	643,50	641,50	640,00	244.690	171.500	4,62	15,60	Progetto Ottobre 1959
		AD ARCO A DOPPIA CURVATURA SEZIONE A MONTE							
	4	645,00	643,50	642,50	181.000	—	3,525	19,353	Bergamo Ottobre 1959
	5	645,00	643,50	642,50	—	—	3,525	15,167	Variante Bergamo 1
	6	645,00	643,50	642,50	—	—	3,525	19,450	Variante Bergamo 2
7	645,00	643,50	642,50	—	—	3,525	19,214	Variante Bergamo 3	
8	645,00	643,50	640,00	—	—	3,525	19,214	Nuovo Progetto Gennaio 1960	
9	645,00	643,50	642,50	187.000	200.000	3,525	20,248	Variante nuovo Progetto Febbraio 1960	
10	645,00	643,65	642,50	177.000	190.000	3,595	16,477	Soluzione costruttiva Maggio 1960	
TIPI E SOLUZIONI DI DIGHE PER LO SBARRAMENTO DI CUCCHINADORZA									
A		AD ARCO A DOPPIA CURVATURA							
		339,00	338,00	335,00	20.000	20.000	2,40	5,70	Ottobre 1958
B		A GRAVITÀ							
		351,50	349,00	348,00	63.000	19.000	8,00	32,50	Giugno 1961



Gusana - sezione maestra
(P.T.M, P.ENEL, P.LOD)

interna che caratterizza questo locale ed interessante massiccio granitico .

Nel fondo alveale della zona di imposta, le condizioni geognostiche sono quanto mai favorevoli e quindi pienamente tranquillanti. Sul fondo di destra la struttura granitica che affiora sulla sinistra e in alveo è ricoperta da una spessa coltre di sabbione granitico, è pertanto necessario asportare il sabbione granitico e fondare su roccia sana.

Prof. Dal Piazz concludeva quindi la sua relazione dando parere favorevole per la costruzione della diga ad arco in questa sezione di monte.

L'Ing. Maffei fu quindi incaricato della prosecuzione e completamento degli studi della diga ad arco sottile nella sezione di monte.

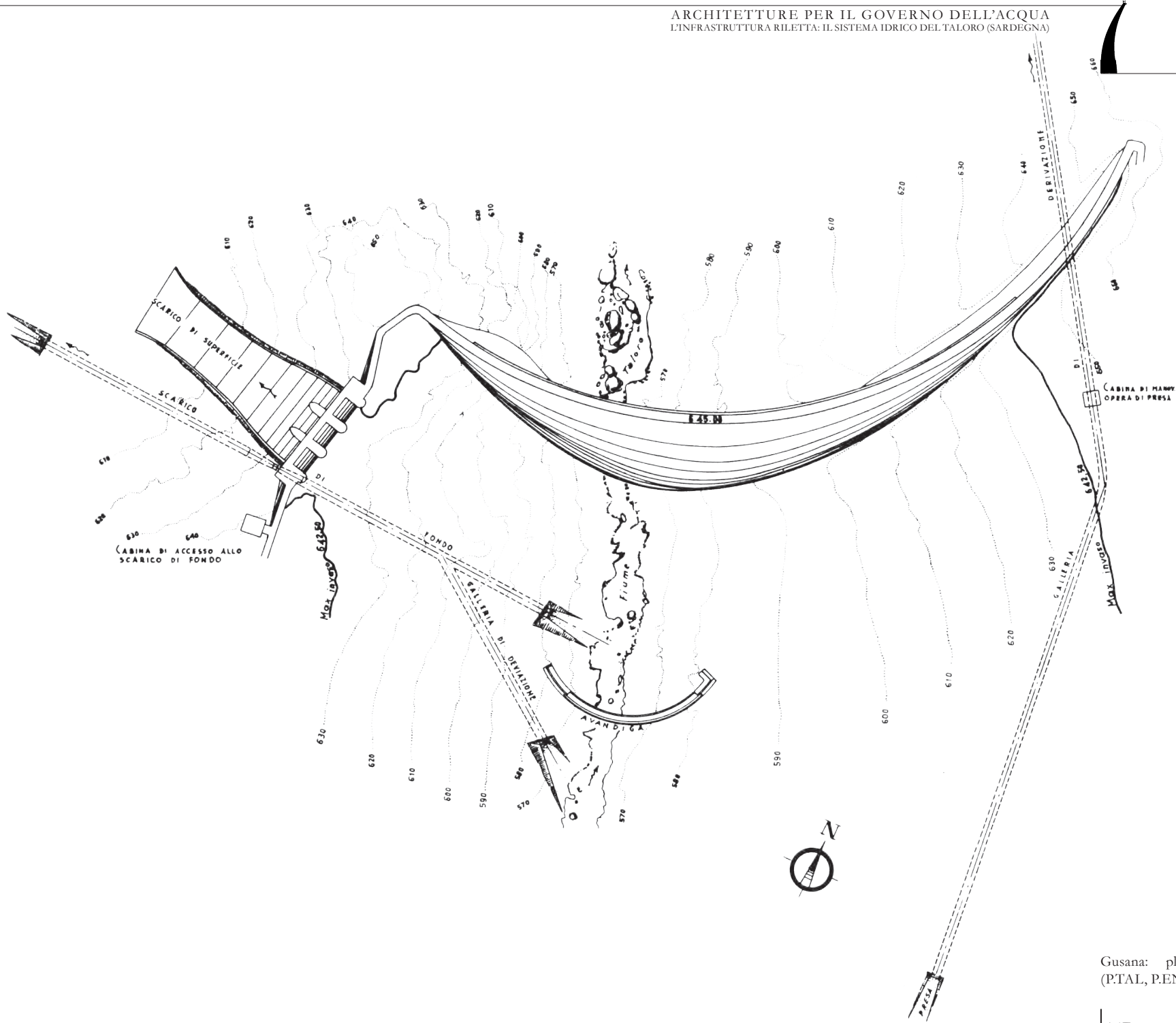
La particolare dissimmetria di questa opera rispetto all'asse

dell'alveo - non esistevano, almeno nella letteratura in nostro possesso, esempi precedenti - creava qualche difficoltà nella scelta della strada più opportuna per proseguire la progettazione.

Le possibilità del calcolo in opere del genere sono piuttosto limitate specialmente per le ipotesi semplificative che, nei diversi metodi, è necessario porre.

Un ulteriore affinamento della struttura e un quadro più completo della distribuzione delle sollecitazioni nell'interno di essa, si possono ricavare sui modelli.

Notiamo, però, che anche in questi ultimi non mancano incertezze nella rispondenza tra il comportamento del model-



Gusana: planimetria delle opere. (P.TAL, P.ENEL, P.LOD)

lo e quello dell'opera. D'altra parte è impossibile riprodurre fedelmente la natura e l'opera stessa. Sono fondamentali, nella decisione definitiva, l'esperienza, l'equilibrio, la preparazione tecnica e quell'intuito che debbono avere i progettisti.

Diverse sono le tendenze per quanto riguarda poi le dimensioni da assegnare al modello e i materiali con i quali deve essere costruito.

Le apparecchiature a disposizione dello sperimentatore sono oggi particolarmente perfezionate; i dati forniti da un modello piccolo sono quindi più attendibili di prima. Per la diga di Gusana sono stati eseguiti 18 modelli piccoli, scala 1/500 dei quali 12 sperimentati presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Cagliari sotto la direzione del Prof. Berio, e un modello grande scala 1/70 presso la ISMES di Bergamo, sotto la direzione del Prof. Oberti. Le opere di scarico sono state sperimentate dal Prof. Passò Direttore dell'Istituto di Idraulica.

Sulla scorta dei dati forniti dal calcolo e dai modelli, la struttura aveva assunto così le sue dimensioni definitive e l'Ufficio Studi è stato quindi in grado di iniziare il progetto esecutivo, progetto che è stato portato a termine nel giugno 1957 e consegnato a firma dell'ing. Maffei al Servizio Dighe per l'approvazione. La diga è alta 86 m.; misura al coronamento 380 m.; la sua cubatura definitiva è risultata di 174.000 mc. Durante la stesura del progetto, il Servizio Dighe, nella persona dell'ing. Gnisci, non si è limitato ad un semplice controllo ma è stato largo di suggerimenti e di considerazioni, che hanno permesso all'ing. Gariel, preposto all'Ufficio Calcoli, di approfondire i diversi metodi.

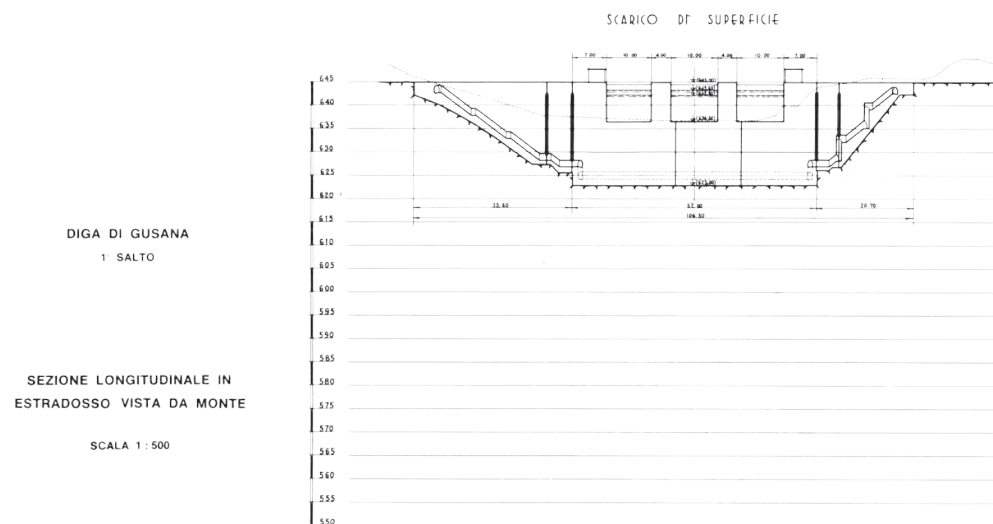
Il comportamento dell'opera è stato verificato con 3 metodi diversi. Il Prof. Berio con la collaborazione dell'ing. Crespellani e dello stesso Ing. Gariel ha portato a termine i metodi del Ritter e dell'Arredi.

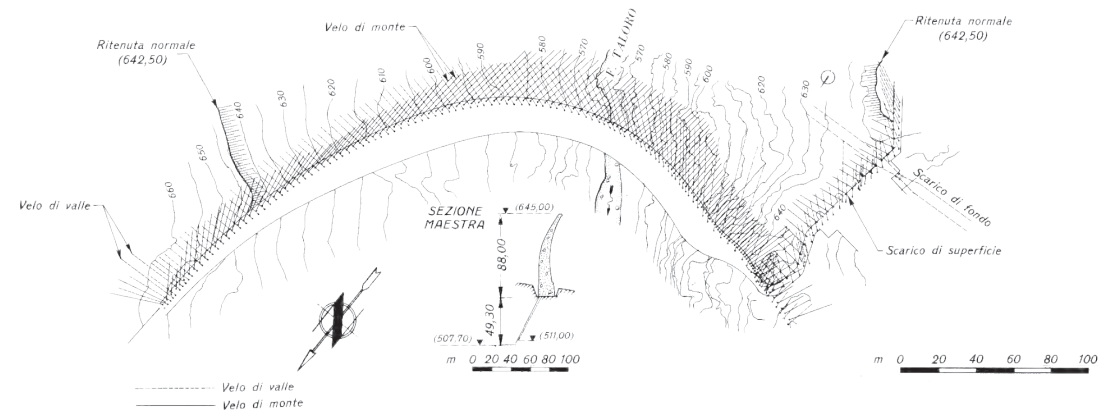
La compilazione del progetto esecutivo è stata laboriosa più

del previsto per la difficoltà incontrata nel calcolo dei dati necessari per il tracciamento dell'opera.

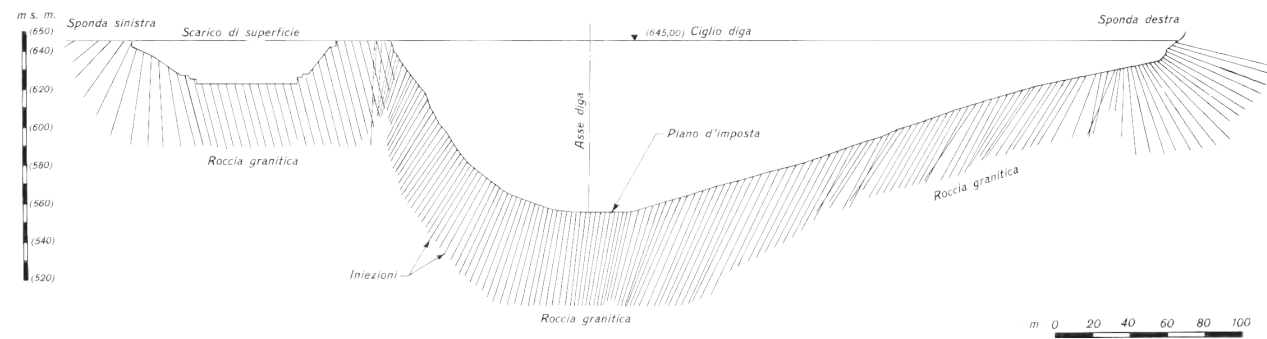
La lunghezza massima dei conci e quindi la distanza tra i singoli giunti di costruzione è stata stabilita in 12 m. e l'altezza massima in 2 m. Sono risultati 1.400 conci. Per il tracciamento era necessario avere per ciascun concio 4 punti con le relative coordinate; sono stati pertanto calcolati e tracciati 5.600 punti. I calcoli per il tracciamento sono stati eseguiti dall'Ufficio Studi.

Gusana: sezione all'estradosso.
 (P.TAL, P.ENEL, P.LOD)

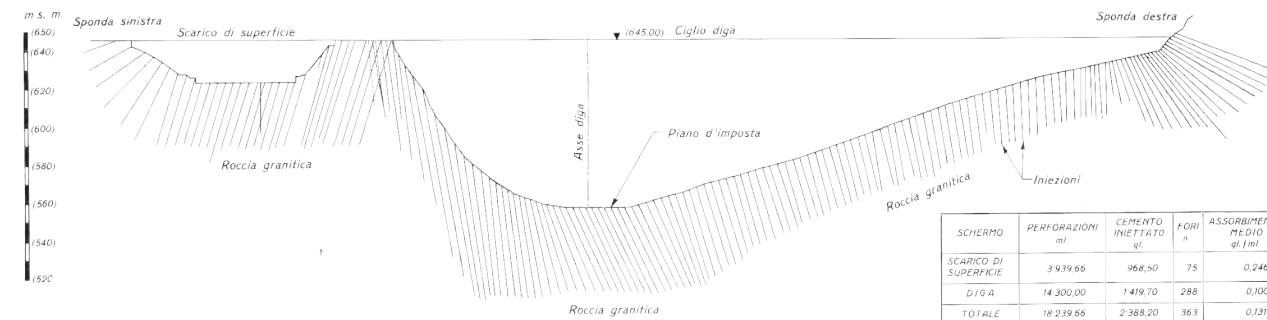




VELO DI MONTE
 SVILUPPATA VISTA DA MONTE



VELO DI VALLE
 SVILUPPATA VISTA DA MONTE

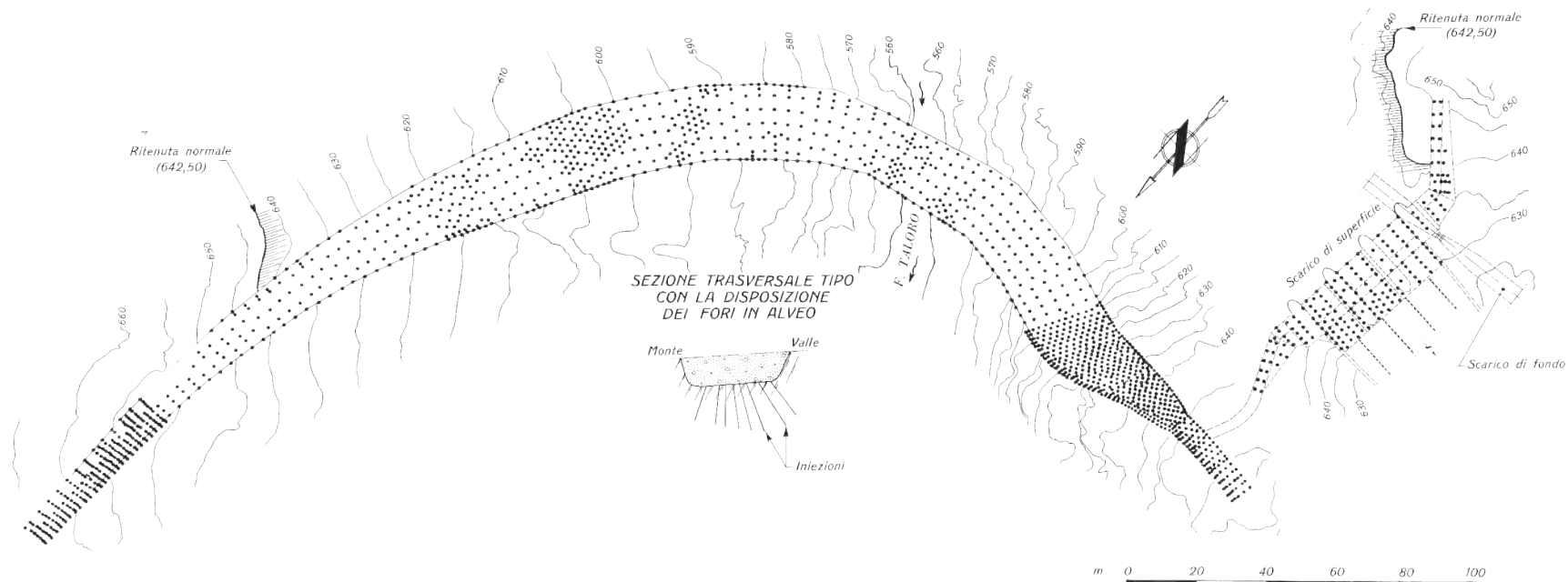


SCHERMO	PERFORAZIONI m	CEMENTO INIETTATO qt	FORI n	ASSORBIMENTO MEDIO qt/m
SCARICO DI SUPERFICIE	3.939,66	958,50	75	0,246
DIGA	14.300,00	1.419,70	288	0,100
TOTALE	18.239,66	2.388,20	363	0,131

Gusana - schema dello schermo di iniezioni
 (P.TAL, P.ENEL, P.LOD)

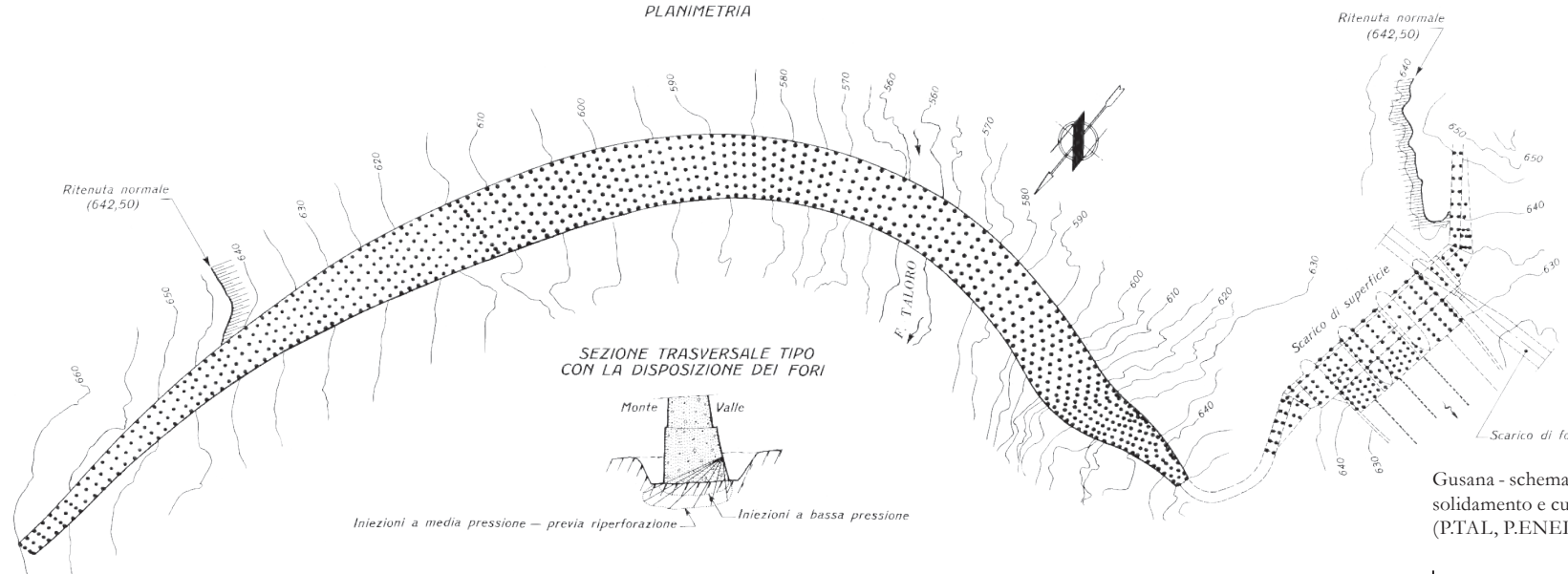
INIEZIONI DI CONSOLIDAMENTO

PLANIMETRIA



INIEZIONI DI CUCITURA

PLANIMETRIA



Gusana - schema ddelle iniezioni di consolidamento e cucitura (P.TAL, P.ENEL, P.LOD)





Lo sbarramento consiste in una diga ad arco a doppia curvatura asimmetrica, impostata su pulvino continuo. I paramenti di monte e di valle sono armati con una rete a maglie quadrate (lato 40 cm.) composta di barre dei diametri 26 e 16 mm. saldate agli incroci.

La diga è trascinabile per una lunghezza di 90.90 ml., con soglia a quota 642.50 e portata massima 41 142 m³/sec. Per la parte non trascinabile il coronamento è a quota 645,00 m.s.m.

Caratteristiche principali dell'opera:

h max sul piano di fondazione 86.00m

corda arco diga in cresta 320.00m

sviluppo arco diga in cresta 369.00m

spessore massimo 15.32m

spessore minimo 3.00m

spessore pulvino (sez. maestra) 16.48m

intervalli fra i giunti verticali 11.00m

strapiombo 11.00m

franco massima piena 1.35m

volume cls diga 168.000.000mc

volume scavi diga 197.000mc

Vi è inoltre uno scarico di superficie fuori del corpo diga in sponda sinistra, Esso consiste in una soglia in calcestruzzo a quota 635,50 a tre luci da 10 ml. ciascuna, sulle quali funzionano, tre paratoie a settore autolivellanti, da 6,20 x 10 m. (portata smaltibile 1159 m³/sec.). Il volume totale di calcestruzzo per questa opera è di circa 20,000 m

Taloro - Gusana, ottobre 1961 diga in fase di ultimazione in fase di invaso (O.OMOD, PTAL, PTMM)

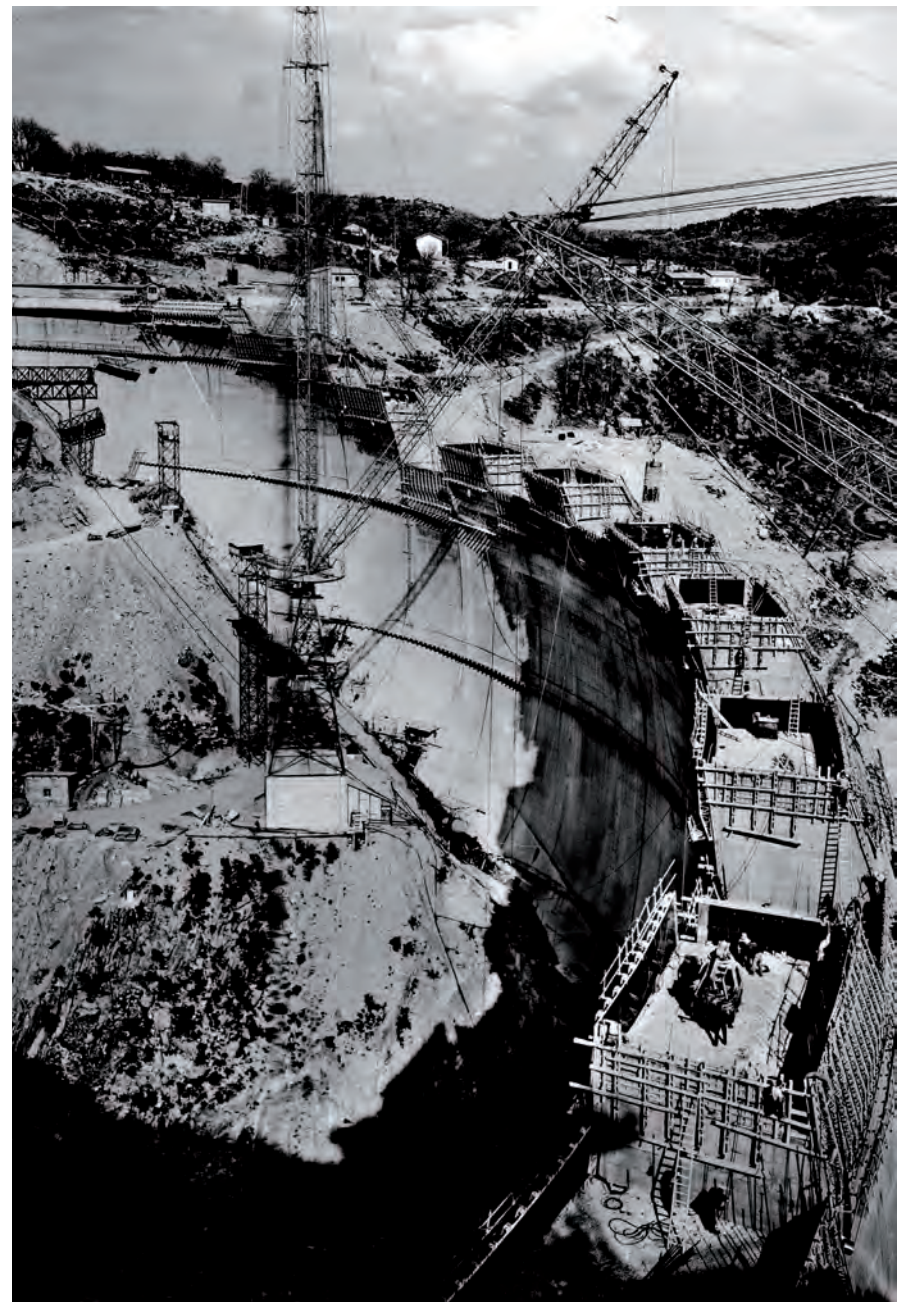


Taloro - Gusana, aprile 1961 diga in fase di lavorazione.

Si notino nell'immagine a sinistra la contemporaneità con cui procedono i getti di calcestruzzo nelle cassafornne dei conci.

Sempre nella stessa immagine si noti, lungo il versante destro, il villaggio degli operai; a fine lavori verrà lambito dalle acque del lago.

(O.OMOD, P.TAL, P.TMM)



Contemporaneamente agli studi sulla diga di Gusana proseguirono anche quelli sulla diga di **Cucchinadorza**. Come detto precedentemente, nella stretta erano state portate a termine due soluzioni: una ad arco sottile e l'altra a gravità massiccia tracimabile. Gli organi di scarico dovevano essere dimensionati per una portata di 1.800 mc./sec.

Questa imposizione ha reso particolarmente onerose le opere di scarico per la soluzione della diga ad arco. Il costo di queste opere rappresentava infatti il 130% del costo della diga.

Si è pertanto deciso di completare gli studi sulla soluzione a gravità tracimabile. Verso la fine del 1960 è stato completato il progetto esecutivo che a firma dell'ing. Maffei è stato inviato al Servizio Dighe per l'approvazione.

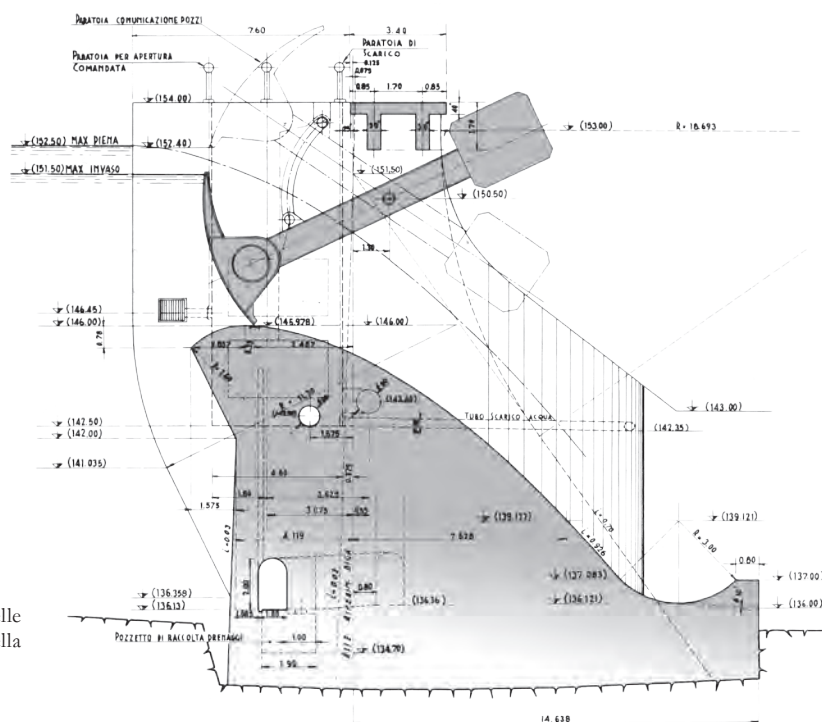
La diga di Cucchinadorza è alta 50 m. e misura al coronamento 150 m.; la cubatura definitiva è risultata di 65.000 mc. Le tre paratoie per lo scarico di superficie sono della « Galileo », del tipo a settore, struttura scatolare, larghezza 12 m., altezza 8 m. La portata è di 600 mc./sec. per paratoia.

Completati gli studi e il progetto esecutivo per la diga di Cucchinadorza, sono stati ripresi quelli della traversa in località **Benzone**. Nella zona infatti si presentano tre sezioni particolarmente adatte che interessano l'asta del fiume per circa 1.000 m.

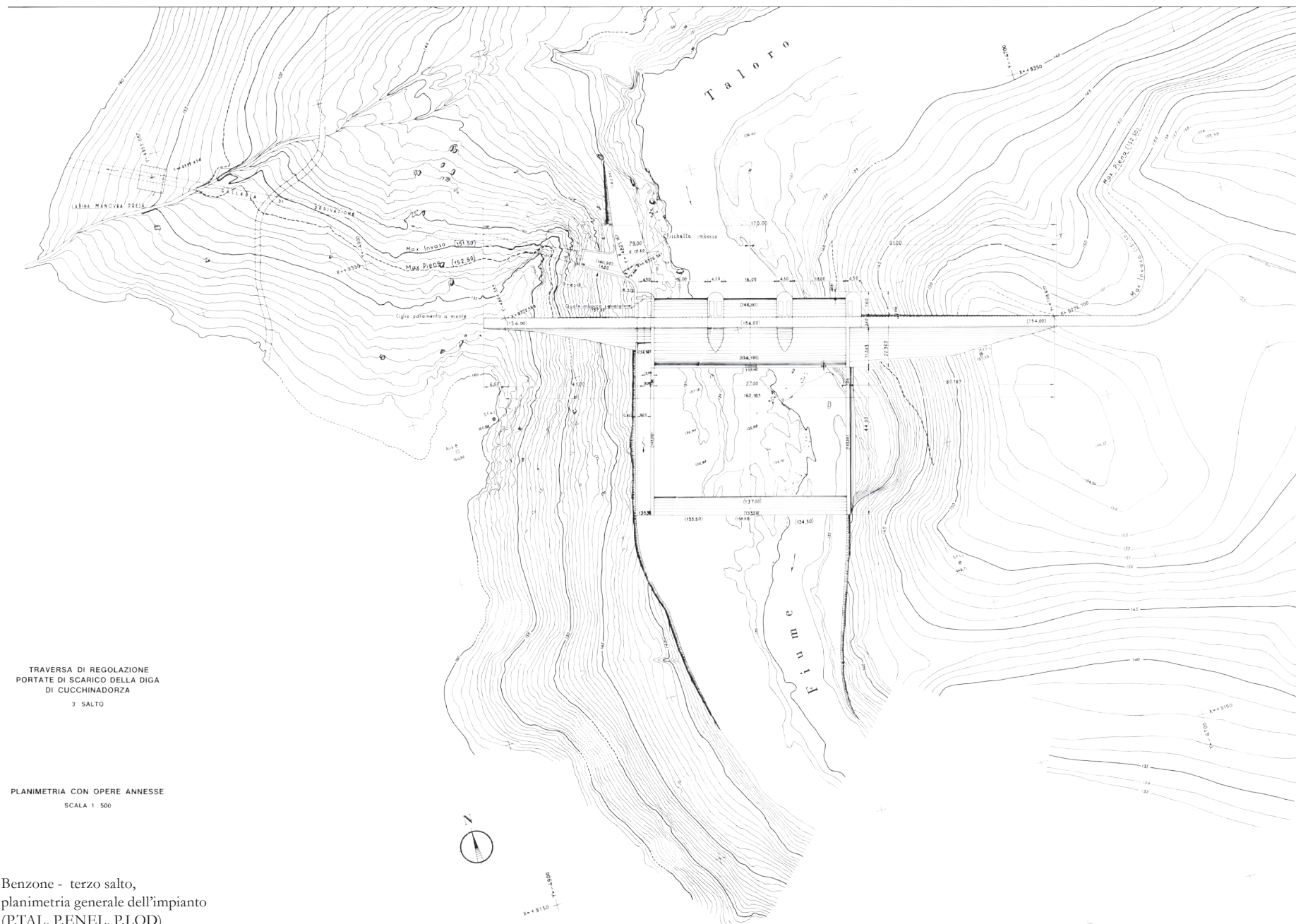
I risultati dei primi sondaggi, avevano messo in evidenza la precarietà delle fondazioni nelle soluzioni a valle a causa del notevole spessore di materiale decomposto, mentre migliorava notevolmente il quadro geologico nella soluzione a monte. Si decise di orientarsi definitivamente per un'opera di sbarramento a gravità tracimabile in questa sezione.

Gli studi furono iniziati nel 1959, la progettazione costruttiva fu portata a termine entro il 1961. L'opera è alta 20 m.; misura al coronamento 150 m.; la cubatura effettiva 22.000 mc.

Lo sfioratore in corpo diga è stato dimensionato per 2.000 mc./sec. suddivisi su 3 luci da circa 700 mc./sec. ciascuno. Le paratoie sono della Soc. Tosi a struttura scatolare del tipo a settore autolivellanti e misurano 16 x 5,50 ciascuna.



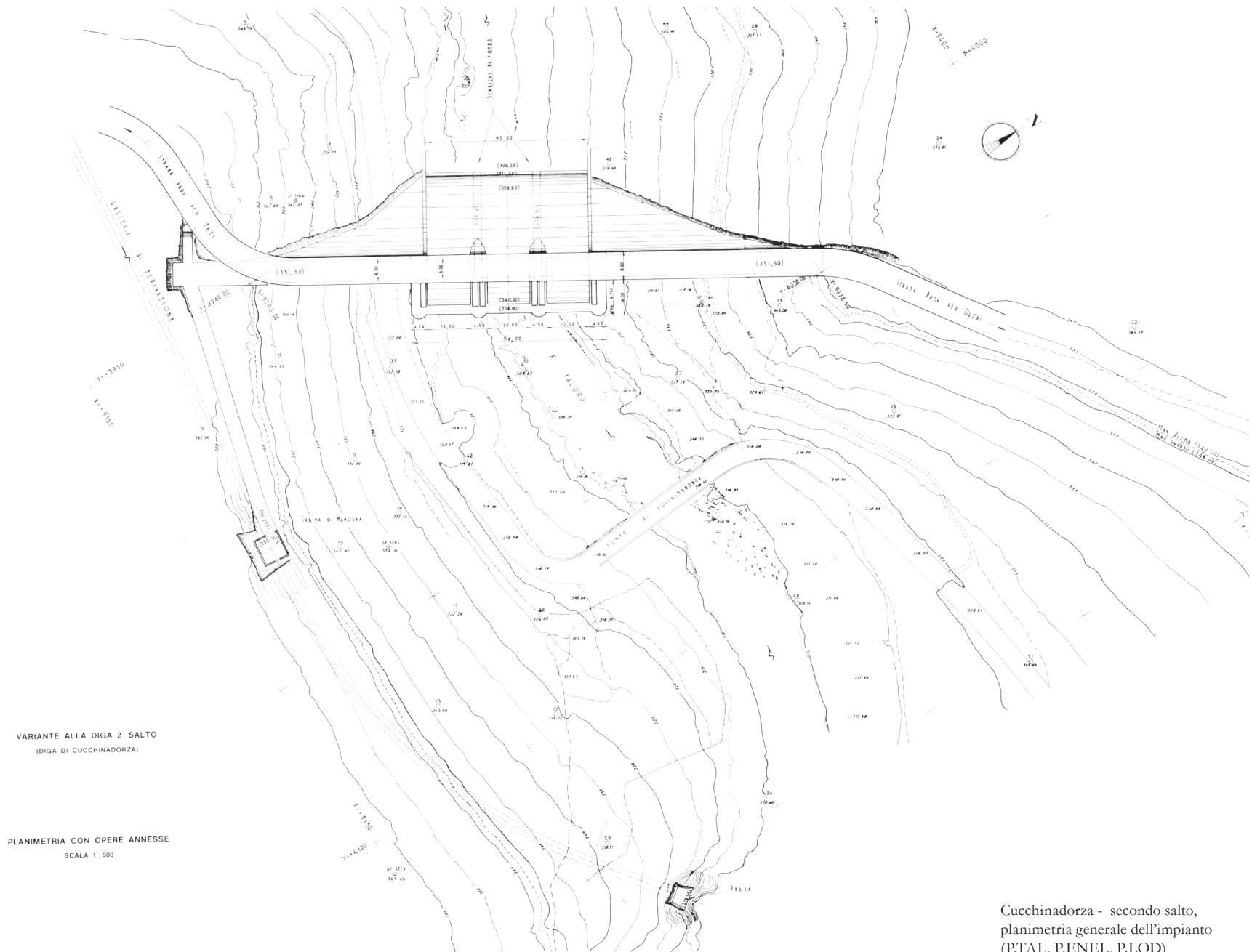
Benzone - terzo salto
sezione maestra con l'indicazione delle paratie mobili per la regolazione della capacità dell'invaso
(P.TAL, P.ENEL, P.LOD)



TRAVESSA DI REGOLAZIONE
PORTATE DI SCARICO DELLA DIGA
DI CUCCHINADORZA
3 SALTO

PLANIMETRIA CON OPERE ANNESSE
SCALA 1 : 500

Benzone - terzo salto,
planimetria generale dell'impianto
(P.TAL, P.ENEL, P.LOD)



VARIANTE ALLA DIGA 2 SALTO
(DIGA DI CUCCHINADORZA)

PLANIMETRIA CON OPERE ANNESSE
SCALA 1 : 500

Cucchinadorza - secondo salto,
planimetria generale dell'impianto
(P.TAL, P.ENEL, P.LOD)

Galleria e pozzi. Il sistema adduttore è identico per tutti e tre gli impianti. Esso è costituito da un'opera di presa in pozzo, da una galleria, da un pozzo piezometrico e da una condotta forzata in ferro. La portata massima è stata fissata in 19 mc./sec., uguale per tutti gli impianti (senza tener conto dell'apporto dei bacini imbriferi sottesi dagli sbarramenti del secondo e terzo serbatoio). Le gallerie sono a sezione circolare con rivestimento in calcestruzzo dello spessore di 30 cm. Nelle zone dove la roccia era particolarmente degradata o dove la copertura non era sufficiente il rivestimento delle gallerie in pressione è stato armato con tondini di ferro posto in opera a spirale e calcolato per la piena sollecitazione. Il diametro interno è di 3 m. per la 1° e 2° galleria e di 2,50 per la terza.

I pozzi del 1° e 2° salto del tipo a camera di espansione e compenso con strozzatura alla base, sono stati dimensionati in modo da consentire la ripresa del massimo carico alla massima oscillazione negativa. Nel terzo impianto invece il pozzo è esterno, fondato su pali, senza camere di espansione e compenso. [...]

Organizzazione dei cantieri . Alla Direzione dei Lavori, fu chiamato, come detto precedentemente, nel gennaio 1959 l'Ing. G.M. Audoly, il quale diede inizio ai lavori preparatori e a quelli di ispezione geologica della diga di Gusana.

Furono costruiti i primi baraccamenti, i primi accessi ed i colle-gamenti elettrici, la linea a 70.000 V Tirso-Taloro, la sottostazione provvisoria, la picchettazione delle zone da invasare. Si iniziarono inoltre, le trattative per le espropriazioni dei terreni da sommergere.

Sotto la Direzione dell'ing. Audoly, si diede anche inizio agli scavi della diga di Gusana, agli scavi della centrale del 1° salto, al tracciamento delle gallerie del 1° e 2° salto, all'impostazione dei cantieri e al loro avviamento.

Alla fine del 1959 l'Ing. Audoly lasciò la direzione che venne presa dall'ing. Corradino Corrado dell'Elettroconsult. L'Ing.

Corrado conosceva già bene la Sardegna, in quanto aveva collaborato alla direzione dei lavori per l'impianto dell'Alto Flumendosa.

Sotto la direzione dell'Ing. Corrado furono portate a termine la diga di Gusana, la 1° e 2° galleria, la diga di Cucchinadorza, la centrale del 1° salto completa delle opere murarie ed elettromeccaniche e buona parte della Centrale del 2° salto, i pozzi piezometrici e i piani inclinati delle due prime centrali e impostate alcune opere del 3°. In questo periodo, che va dal gennaio 1960 al gennaio 1962, è stato portato a termine quasi il 70% dell'impianto. Nel novembre del 1961 la prima centrale era entrata in regolare esercizio.

Nel gennaio del 1962 è subentrato all'Ing. Corrado l'Ing. Sandra Del Rio, il quale ha completato il 2° impianto e portato a termine il 3°.

Alla costruzione dell'impianto Talora hanno partecipato 16 imprese, le quali hanno installato complessivamente macchinari edili per più di 2 miliardi di lire ed hanno impiegato in media 1.000 operai al giorno con punte fino a 1.500 per quasi 3 anni di lavoro con un totale di circa 10 milioni di ore.

Ricordiamo fra queste la Condotte Lodigiani che ha costruito le 3 opere di sbarramento, la Pierobon che ha costruito tutto il sistema adduttore del 1° salto (galleria, pozzo piezometrico, piano inclinato) nonché la Centrale e le relative opere esterne; la Bullio che ha costruito la 2° galleria e il pozzo piezometrico; l'Impresa Corrias che ha costruito il piano inclinato e la 2° Centrale, nonché il piano inclinato, il pozzo piezometrico, la centrale e le opere di scarico del 3° salto; la Di Penta che ha costruito la 3° galleria. Tutti i lavori di impermeabilizzazione relativi alle opere di sbarramento e all'aperto in genere sono stati affidati alla I.Co.S., mentre quelle relative alle opere del sottosuolo sono stati affidati alla Sorinco.

Può essere interessante qualche particolare sull'andamento

Cucchinadorza - secondo salto, si noti la predisposizione per le paratie mobili, installate in una seconda fase (P.TAL, P.ENEL, P.LOD)



dei lavori e sulle caratteristiche costruttive:

a) Opere di sbarramento. Le produzioni giornaliere dei calcestruzzi delle opere di sbarramento, hanno raggiunto con gli impianti della 1° diga, i 2.000mc./giorno e una media di 700 mc./giorno lavorativo per l'intero periodo dei getti.

L'opera del 1° salto che ha una cubatura di 174.000 mc. è stata portata a termine in 10 mesi di getto.

Gli inerti per la 1° diga provenivano dalla cava di granito situata a valle sulla sponda destra; da questi inerti erano ricavate le singole classi in numero di sei che dal pietrisco con diam. massimo 100 mm. scendevano gradatamente fino alle sabbie diam. massimo 0,06 mm. Il dosaggio di cemento è risultato di 2,50 kg./mc. di calcestruzzo.

Sulla curva granulometrica furono eseguiti diversi studi in laboratorio [...]. I risultati più soddisfacenti furono ottenuti da quest'ultima con dosaggio di cemento da 250 kg./mc. e rapporto acqua-cemento in 0,47 con aggiunta di additivo.

Le resistenze ottenute in laboratorio allo schiacciamento hanno superato in media i 480 kg./cmq a 90 giorni. La media che è stata poi ottenuta sui getti della diga è risultata di 440 kg., quindi con una differenza del solo 8% da quelle ottenute in laboratorio.

Per la costruzione delle dighe del 2° e 3° salto sono stati impiegati inerti provenienti dal fiume, preventivamente lavorati e selezionati. Per queste opere a gravità massiccia, era sufficiente una resistenza unitaria notevolmente inferiore a quella della diga di Gusana. È stato quindi sufficiente un dosaggio di 170 kg./mc. di calcestruzzo. Anche in questo caso le resistenze ottenute nei laboratori sono state di poco superiori a quelle registrate nei getti. [...] le resistenze allo schiacciamento sono state rispettivamente di 190 kg./cmq. in laboratorio e 170 kg./cmq. nell'opera.[...]

Per completare questo brevissimo quadro sull'organizzazione dei cantieri ricordiamo ancora che sono stati consumati 1.240.000 ql. di cemento, 555.000 kg. di esplosivo, 2.600.000

mc. di miccia e 3.800.000 kg. di ferro. Per l'alimentazione dei cantieri, sono state installate 23 cabine di trasformazione per un totale di 7.500 kW; il consumo dell'energia per il completamento dei lavori ha superato i 25 milioni di kWh.

L'organizzazione, sia per gli studi che per i lavori, poggiava su alcuni elementi di provata capacità ed esperienza e su un discreto numero di giovani opportunamente preparati e selezionati. Questa organizzazione che poteva essere all'inizio, come in effetti è stata, sottoposta a qualche critica, ha dato in definitiva i risultati che si speravano.

I giovani hanno risposto ottimamente agli incarichi loro affidati e hanno dimostrato preparazione, spirito di sacrificio, senso di responsabilità ed entusiasmo. I tracciamenti più delicati, quali quelli della diga di Gusana e delle gallerie, sono stati affidati a una squadra di 3 geometri giovanissimi usciti dal corso di perfezionamento istituito dalla Società. I risultati di questa organizzazione possono essere rapidamente riassunti e non hanno bisogno di alcun commento; i lavori sono stati portati a termine con un anno di anticipo sul previsto e il consuntivo ha superato del solo 5% la cifra preventivata, nonostante l'aumento dei costi della mano d'opera.





Blondins sistema basato sul principio della teleferica per il trasporto, scarico e carico di grandi quantità di materiale. (P.TMM, A.OMOD)



Derricks: è una gru a torre con albero verticale e una porzione orizzontale. Può essere fissa (su un telaio o incorporato in una massa di cemento o mobile). Può misurare fino a 75 m di altezza e avere una penna di 40 metri. (P.TMM, A.OMOD)

Il cantiere

Gli inerti usati per la confezione del calcestruzzo provengono tutti dalla frantumazione di granito ricavato da una cava posta sulla sponda destra del Taloro circa 500 m. a valle della diga. la cava viene coltivata col sistema delle volate successive su due gradoni.

Tre escavatori, aventi benne da 1.25 m caricano la roccia abbattuta su autocarri ribaltabili. Questi, dopo breve tragitto, scaricano il materiale all'impianto di frantumazione primaria, che è dotato di un frantoio a mascelle da 1200 mm. e di un vaglio per la scarto del materiale più fine.

Segue quindi l'impianto di frantumazione secondaria e vagliatura (che viene eseguita a secco) dotato di frantoi a mascelle e giratori e di vagli rotativi e vibranti. Si producono così gli inerti delle quattro classi maggiori:

3-12 mm.; 12 + 25 rum.; 25 + 50 mm. e 50 + 100 mm. Direttamente collegato a questo impianto si trova quello per la produzione della sabbie che viene ottenuta rifrantumando materiale proveniente dall'impianto secondario e procedendo poi ad una vagliatura ad umido per avere le due classi richieste 0.06 1.00 mm. e 1.00 : 3.00 mm. Questa installazione è dotata di mulini a barre, vagli centrifughi e recuperatrici a coclea.

Un opportuno sistema di nastri trasportatori collega le varie sezioni degli impianti e pronuncia al trasporto degli inerti fino alla torre di betonaggio.

Il cemento viene trasportato in cantiere da autocarri con cisterne a tenuta e scaricato in un silo da 3000 q.li. Da qui per mezzo di un impianto di trasporto pneumatico il cemento viene inviato ai tre silo da 3000 q.li ciascuno, sovrastanti l'impianto di betonaggio.

Il dosaggio medio del cemento nel calcestruzzo diga è di 250 kg/m.

L'impianto per la confezione del calcestruzzo è dotato di un moderno sistema di dosatura a pesa con comandi elet-

tro-pneumatici e quadro centrale di controllo e manovra a distanza. Il calcestruzzo viene impastato in tre betoniere a tamburo da 2 m³. ciascuna.

La posa in opera del calcestruzzo viene eseguita mediante 3 derricks con braccio da 69 m, e portata di 6 ton., corrispondente a benne da 2 m³.

Un blondin fisso di servizio provvede a fornire il calcestruzzo al derrick più lontano in sponda destra.

Per il getto dello sfioratore in sponda sinistra si è impiegata una gru a torre, mobile su rotale, della capacità di 0.5 m³. La diga è stata costruita in un periodo complessivo di 9 mesi dal settembre 1960 al giugno 1961, ad una media di getta di 20.000 mc/mese.

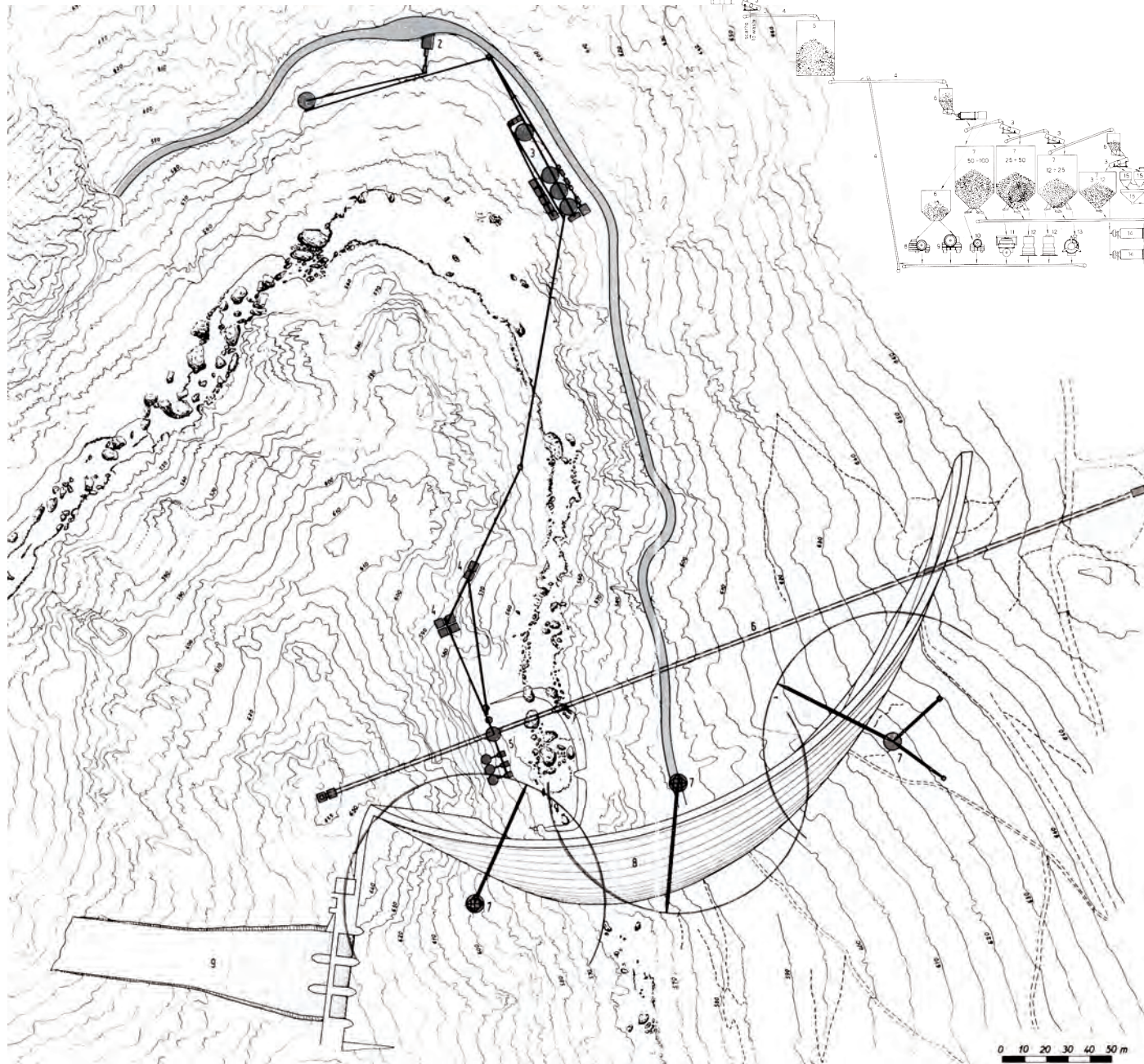
La massima produzione mensile si è avuta nel marzo '61 con la posa di 32.216 mc. di calcestruzzo.

La massima produzione giornaliera è stata di 2031 mc. di calcestruzzo posto in opera in 24 ore.

La diga di Gusana sbarra il medio corso del fiume Taloro in prossimità della località di Gavoi (Nuore).

Le caratteristiche del lago artificiale e del bacino imbrifero sotteso dallo sbarramento sono le seguenti:

quota massimo invaso	642,50 m.s.m.
capacità totale di invaso	54.500.000 m ³
capacità utile	52.500.000 mc
superficie serbatoio	2,36 km ²
area bacino imbrifero	252 km ²



schema della centrale di produzione inerti e betonaggio:

- 1) Tramoggia (100 mc. scaricamento autocarri cava)
- 2) Frantoio a mascelle da 1200 mm.
- 3) Vibrovagli ad un piano 1250 x 3500 mm.
- 4) Nastri trasportatori
- 5) Silo da 500 mc.
- 6) Tramogge
- 7) Sili deposito inerti vagliati

- 8) Frantoio a mascelle da 600 mm.
- 9) Frantoio a mascelle da 500 mm.
- 10) Granulatore da 600 mm.
- 11) Frantoio giratorio Symons 3F
- 12) Frantoio giratorio Hydroco-ne 30"
- 13) Mulino ad anelli tipo Aro Medio
- 14) Mulini a barre
- 15) Vagli centrifughi
- 16) Addensatore
- 17) Recuperatrici per sabbia a coclea
- 18) Pompa sabbia
- 19) Sili impianto di betonaggio (inerti grossi)
- 20) Dosatrici a peso
- 21) Sili sabbia
- 22) Sili cemento da 3000 q.li
- 23) Betoniere a tamburo da 2 mc.
(PTM, P.ENEL, P.LOD)

planimetria di cantiere della ditta Lodigiani

- 1) Cava
- 2) Impianto di frantumazione primaria
- 3) Impianto di frantum. secondaria e vagliatura
- 4) Silos inerti
- 5) Impianto di betonaggio
- 6) Blondin fisso distribuzione calcestruzzo
- 7) Derricks
- 8) Diga
- 9) Sfiatore9) Sfiatore
(PTM, P.ENEL, P.LOD)(PTM, P.ENEL, P.LOD)

8.2 LA STRUTTURA DELLA DIGA DI GUSANA.

I dati caratteristici della diga. Lo sbarramento consiste in una diga ad arco a doppia curvatura asimmetrica, impostata su pulvino continuo. I paramenti di monte e di valle sono armati con una rete a maglie quadrate (lato 40 cm.) composta di barre dei diametri 26 e 16 mm. saldate agli incroci. La diga è tracimabile per una lunghezza di 90.90 ml., con soglia a quota 642.50 e portata massima 41 142 m./sec. Per la parte non tracimabile il coronamento è a quota 645,00 m.s.m.

Caratteristiche principali dell'opera:

- altezza massima sul piano di fondazione 86.00m
- corda arco diga In cresta 320.00m
- sviluppo arco diga in cresta 369.00m
- spessore massimo 15.32m
- spessore minimo 3.00m
- spessore pulvino (sezione maestra) 16.48m
- Intervalli fra i giunti verticali 11.00m
- Strapiombo 11.00m
- franco massima piena 1.35m
- volume calcestruzzo diga 168 m³ x 106
- volume scavi diga 197.000mc

Vi è inoltre uno scarico di superficie fuori del corpo diga in sponda sinistra, Esso consiste in una soglia in calcestruzzo a quota 635,50 a tre luci da 10 ml. ciascuna, sulle quali funzionano, tre paratole a settore autolivellanti, da 6,20 x 10 m. (portata smaltibile 1159 m./sec.). Il volume totale di calcestruzzo per questa opera è di circa 20,000 m.

I dati caratteristici del serbatoio.

Finalità. Regolazione pluriennale dell'energia producibile nella centrale di Cucchinadorza e successive centrali dell'impianto idroelettrico del Taloro.

Ubicazione. Nella gola del fiume Talora, affluente di sinistra del Tirso, a circa 24 km dal Lago Omodeo ed a km 2,5 a sud

di Gavoi.

Dati dimensionali principali:

- Livello di ritenuta normale. 642.50 m s.m
- Livello di massimo invaso. 643,50 m s.m
- Capacità d'invaso: 60.25 m³ x 106
- complessiva utile 50.25 m³ x 106
- superficie del bacino imbrifero: 252 km²

Dati geologici

Serbatoio. La valle del Taloro è incisa in rocce granitiche appartenenti al ciclo ercinico. Il granito è del tipo normale a grossi elementi con presenza di filoni pegmatitici. Quello costituente la sponda destra del serbatoio è ricoperto da un mantello di sabbione rossastro disgregato, di origine lateritica.

Sezione di sbarramento. Il fianco sinistro, ad andamento subverticale, presenta, nella parte più elevata, un granito notevolmente fratturato che riacquista, nella parte media ed interiore, la sua uniformità strutturale.

Sono presenti sistemi di diaclasi, quasi parallele fra loro ed inclinate da valle a monte che si estinguono in profondità.

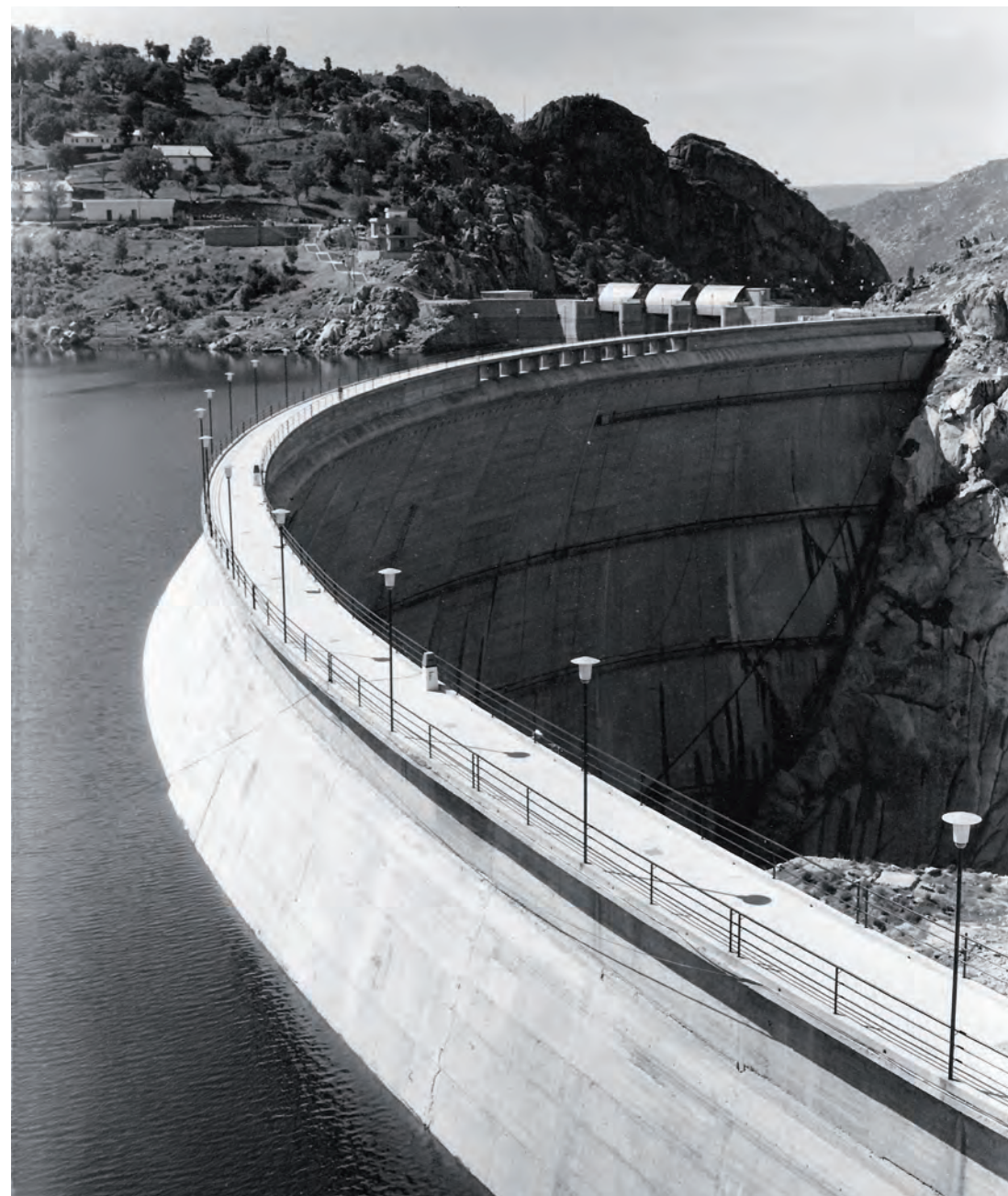
Il fondo dell'alveo e la parte bassa del fianco destro sono costituiti da granito rosso in posto che rappresenta la continuazione della roccia del fianco sinistro.

Il granito costituente il fianco destro, di tipo normale attraversato da filoni aplitici, è ricoperto da sabbione granitico disgregato che è stato completamente rimosso nella zona interessata dalla fondazione della diga.

Il modulo elastico dinamico medio è di 530 000 kg/cm².

Indagini geognostiche. Sono stati eseguiti numerosi fori di sondaggio, con diametri di 45 mm e 100 mm, per uno sviluppo di 1 565 m, nonché 12 cunicoli con sezione di m 4,0 x 4,00 per uno sviluppo di 600 m.

I sondaggi sono stati eseguiti non soltanto nella sezione di sbarramento, ma anche in sezioni a valle per determinare la più conveniente ubicazione dell'opera di sbarramento.



Gusana - aprile 1962 - diga ultimata con quota di invaso a 630 m.s.l.m.; si notino, sul coronamento, le postazioni fisse per gli strumenti ottici di collimazione e monitoraggio.
(PTMM, A.OMOD)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

produzione di inerti e impianti di betonaggio

a sinistra

Gusana - aprile 1961 - cava di inerti di "Pani Grussu". in primo piano, sulla destra, lo sfioratore di superficie della diga di Gusana. (P.TMM, A.OMOD)



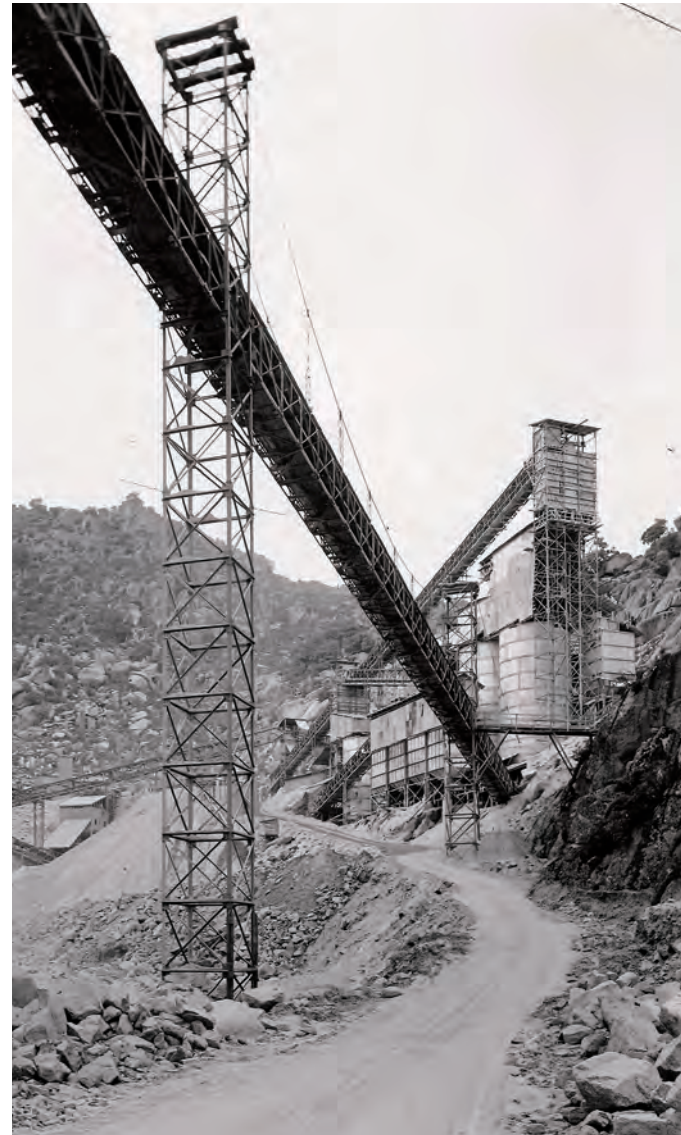
a destra

Gusana - aprile 1961 - sponda destra della diga con le discariche di inerti e le strade di cantiere; si noti, in alto, il villaggio operaio. (P.TMM, A.OMOD)



Gusana - maggio 1961 - Impianti della ditta Ludigiani per la produzione inerti e il betonaggio. (P.TMM, A.OMOD)





a sinistra
Cucchinadorza - ottobre 1961 - centrale di betonaggio in prossimità dei lavori della diga del 2° salto. (P.TMM, A.OMOD)

a destra
Gusana - aprile 1961 - dettaglio del ponte trasportatore della centrale di produzione inerti. (P.TMM, A.OMOD)

a sinistra
Benzone - aprile 1962 - impianto di betonaggio e produzione inerti; sulla sinistra si noti lo scavo per la traversa del 3° salto. (P.TMM, A.OMOD)

cantiere della diga di Gusana - 1° salto

a sinistra

Gusana - dicembre 1959 - lavori di costruzione dell'avandiga e scavi sulla sponda sinistra; si notino le due opere di presa a valle e a monte dello sbarramento. (P.TMM, A.OMOD)



a destra

Gusana - - dicembre 1959 - scavi di sbancamento sulla sponda destra, a ridosso del villaggio operaio a cura della ditta Pierobon; è già leggibile la curvatura della diga. (P.TMM, A.OMOD)



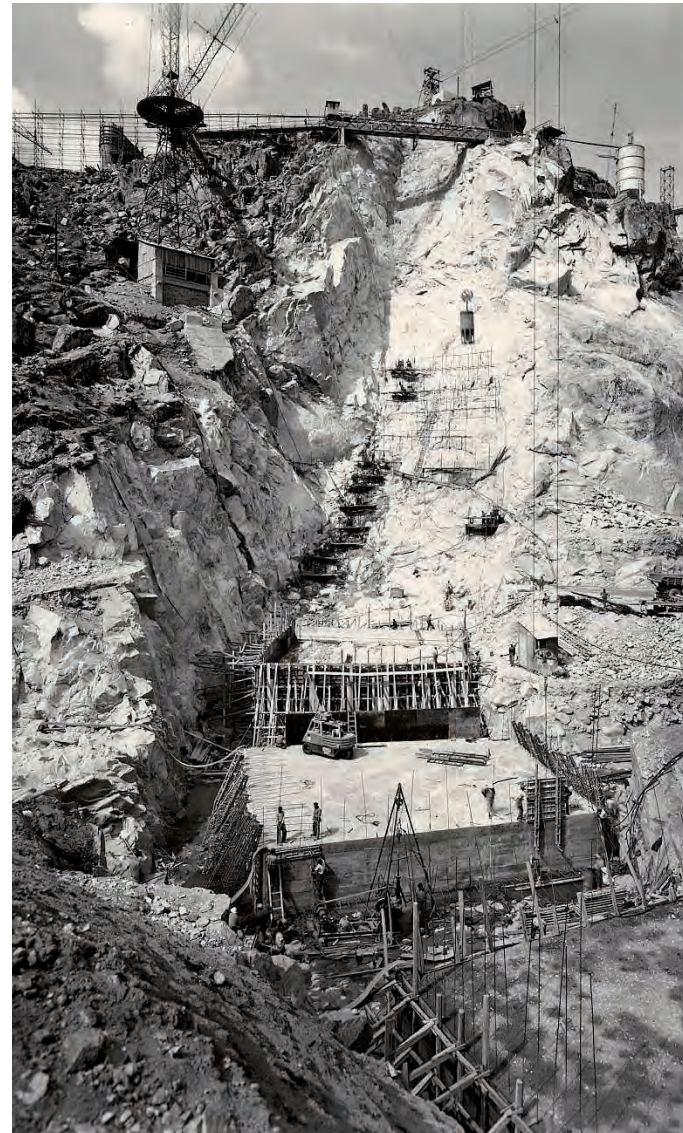
a sinistra

Gusana - agosto 1959 - vista generale sugli scavi del cantiere Pierobon (P.TMM, A.OMOD)

a destra

Gusana - maggio 1960 - definizione delle scarpate a cura della ditta Lodigiani; si noti come il corso del Taloro sia completamente deviato a monte dell'avandiga (P.TMM, A.OMOD)





a sinistra
Gusana - settembre 1960 - sponda destra, sono in corso i getti per la definizione del coronamento (P.TMM, A.OMOD)

a destra
Gusana - settembre 1960 - sponda sinistra, pulvino; si noti la precarietà delle condizioni di sicurezza generali del cantiere. (P.TMM, A.OMOD)

a sinistra
Gusana - settembre 1960 - sponda destra; si noti l'avanzare dei getti per conci indipendenti organizzati per settori verticali corrispondenti ai giunti di dilatazione. (P.TMM, A.OMOD)

a sinistra

Gusana - giugno 1961 - armatura per il coronamento della sponda destra.
(P.TMM, A.OMOD)



a destra

Gusana - aprile 1961 - vista generale sulla diga in costruzione; si notino le striature scure dovute al filtraggio dell'acqua di più getti in contemporanea; in questa data la diga non ha ancora iniziato l'opera di invaso.
(P.TMM, A.OMOD)



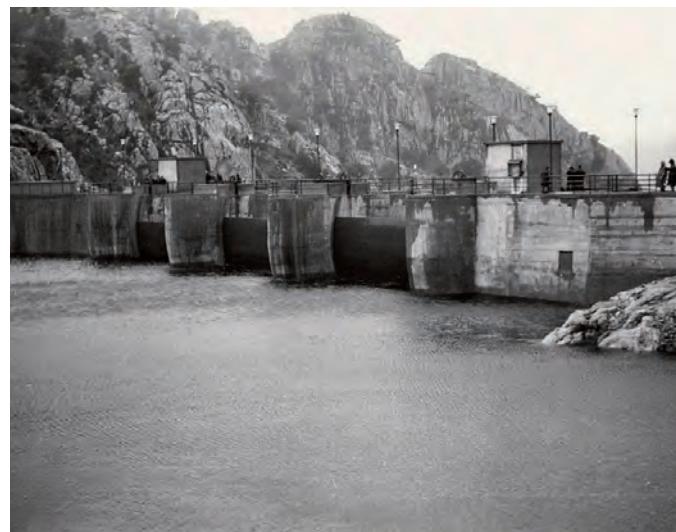
a sinistra

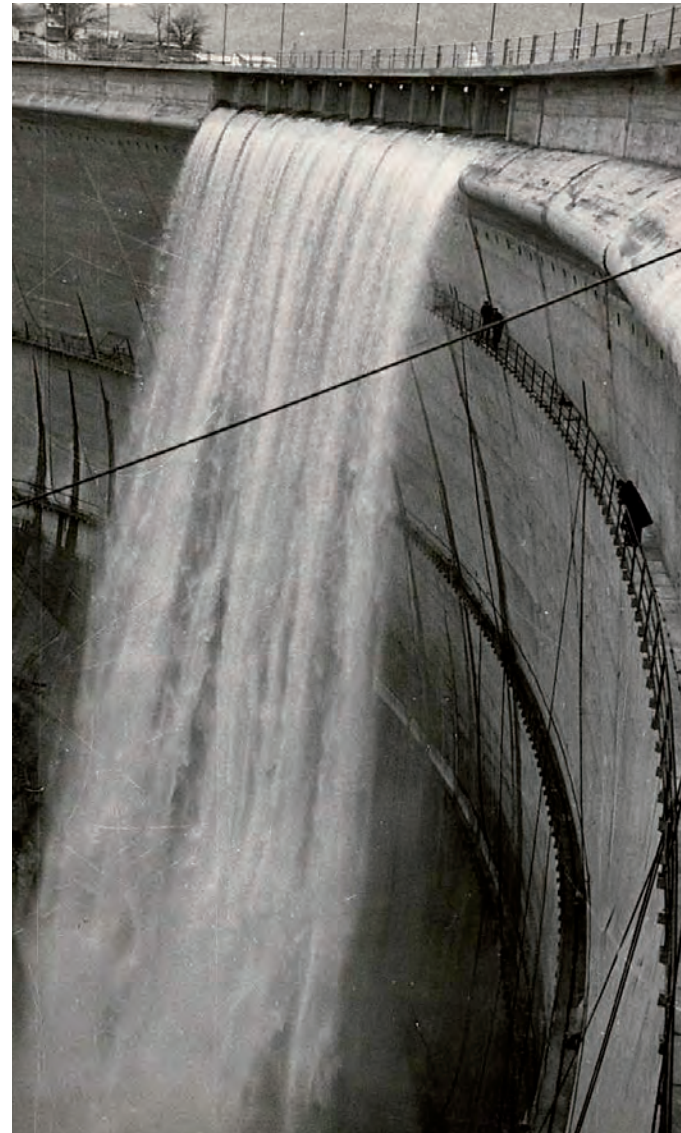
Gusana - aprile 1961 - scarico di superficie ultimato con il montaggio delle paratie metalliche a cura della ditta Tosi; si noti, in prossimità della figura umana, il varco usato per il passaggio di mezzi e materiali, una volta terminati i lavori sullo scivolo a valle verrà chiuso.
(P.TMM, A.OMOD)



a destra

Gusana - gennaio 1963 - scarico di superficie in funzione per le prove idrauliche; si noti come il livello delle paratie (chiuso nella foto) sia ad una quota più bassa del becco sfiorante sul corpo della diga; quest'ultimo è infatti usato in caso di piena.
(P.TMM, A.OMOD)





a sinistra

Gusana - gennaio 1963 - primo afflusso di acqua per l'apertura parziale della prima paratoia; si noti il profilo dello scivolo: ad un disegno volto a generare un flusso laminare per meglio preservare le opere in calcestruzzo, segue una uscita a valle progettata per rompere il flusso della massa liquida al fine di ridurre i fenomeni erosivi lungo i versanti montuosi.
(P.TMM, A.OMOD)

a destra

Gusana - aprile 1963 - prova di scarico sul becco sfiorante della diga; la chiusura delle paratie consentono il raggiungimento del massimo invaso.
(P.TMM, A.OMOD)

a sinistra

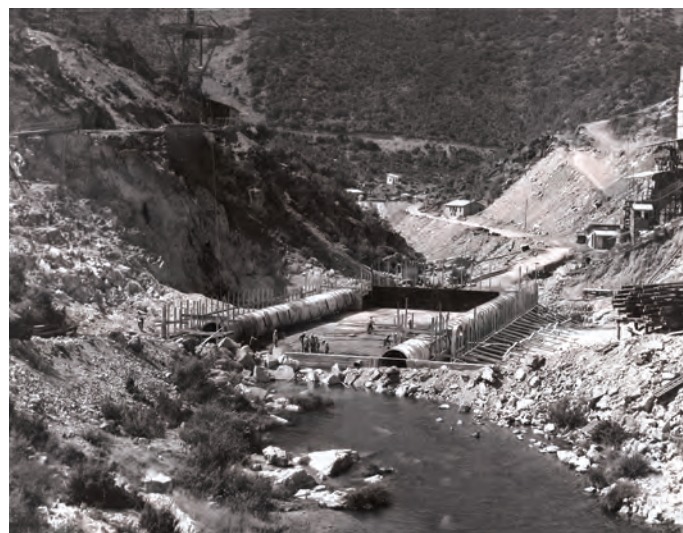
Gusana - gennaio 1963 - collaudo dello scivolo con la massima portata d'acqua.
(P.TMM, A.OMOD)

cantiere della diga di Cucchinadorza - 2° salto

a sinistra

Cucchinadorza - settembre 1961 - montaggio dei tubi di scarico di esaurimento; in questo caso consentiranno l'efflusso delle acque del Taloro durante i lavori di costruzione.

(P.TMM, A.OMOD)



a destra

Cucchinadorza - ottobre 1961 - vista generale sul cantiere Bullio - Lodigiani; si noti la cantrale di betonaggio in prossimità del cantiere e l'utilizzo di due soli derrick.

(P.TMM, A.OMOD)



a sinistra

Cucchinadorza - dicembre 1961 - il corpo della diga vista da valle con gli scarichi di esaurimento in esercizio; sullo sfondo la centrale idroelettrica del 1° salto.

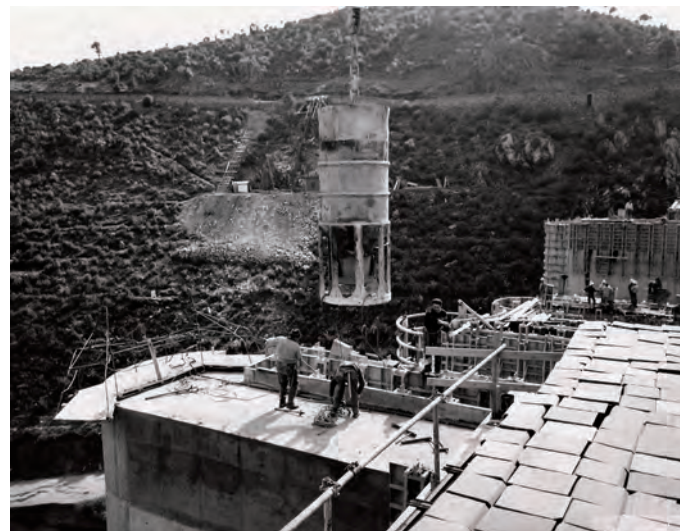
(P.TMM, A.OMOD)



a destra

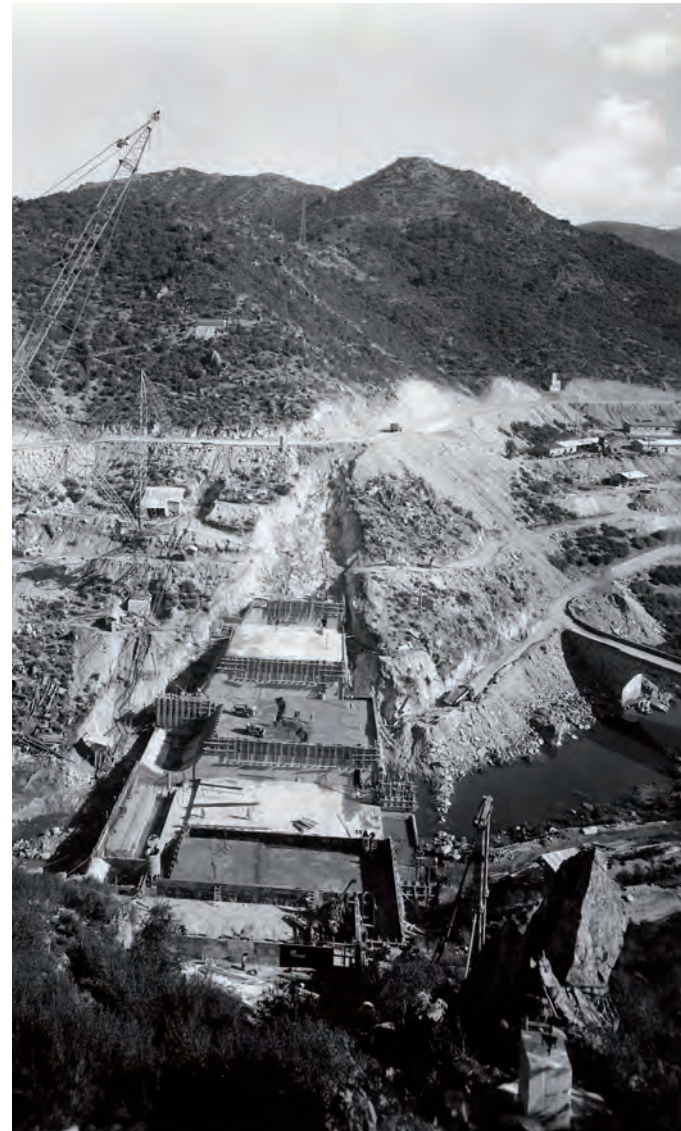
Gusana - gennaio 1963 - scarico di superficie in funzione per le prove idrauliche; si noti come il livello delle paratie (chiusure nella foto) sia ad una quota più bassa del becco sfiorante sul corpo della diga; quest'ultimo è infatti usato in caso di piena.

(P.TMM, A.OMOD)





a sinistra
Cucchinadorza - aprile 1962 - ultimazione della diga e sistemazione della sede stradale della S.P. 4; si noti a monte il vecchio ponte della strada non ancora sommerso dall'invaso.
(P.TMM, A.OMOD)



a destra
Cucchinadorza - ottobre 1961 - sono in corso i getti sui conci centrali; si noti in basso a destra la base in cemento della stazione del teodolite per il tracciamento
(P.TMM, A.OMOD)



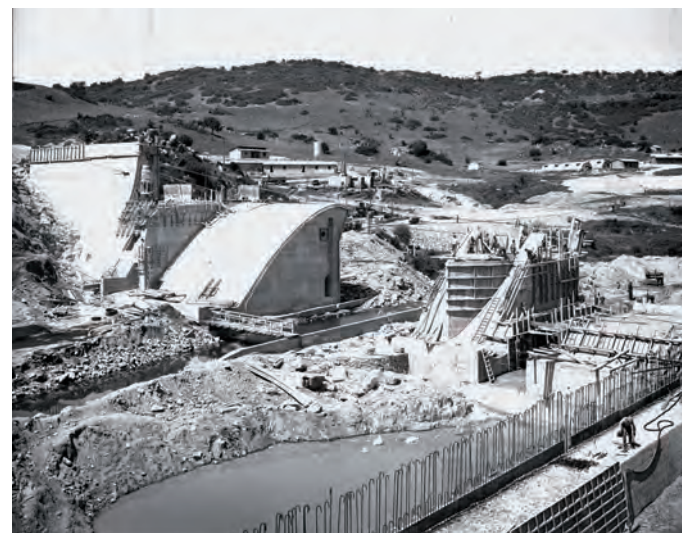
a sinistra
Cucchinadorza - ottobre 1962 - ultimazione dei lavori con l'installazione delle paratie mobili.
(P.TMM, A.OMOD)

cantiere della traversa di Benzone - 3° salto

a sinistra

Benzone - aprile 1962 - vista generale sul cantiere.

(P.TMM, A.OMOD)



a destra

Benzone - aprile 1962 - la diga in costruzione vista da valle; si noti il profilo dello sfioratore e degli speroni.

(P.TMM, A.OMOD)

Benzone - aprile 1962 - panoramica sul cantiere a valle; come per la diga di Cucchinadorza non è stato necessario deviare il corso del Taloro per la costruzione dello sbarramento.

(P.TMM, A.OMOD)





a sinistra
Benzone - aprile 1962 - vista generale sul cantiere: si lavora alle complesse casse-forme degli speroni (P.TMM, A.OMOD)

a destra
Benzone - ottobre 1962 - la traversa in fase di ultimazione; vista da monte (P.TMM, A.OMOD)



a destra
Benzone - ottobre 1962 - la traversa in fase di ultimazione; vista sul coronamento. (P.TMM, A.OMOD)

a destra
Benzone - dicembre 1962 - montaggio in corso delle paratie mobili (P.TMM, A.OMOD)

8.3 L'ESTETICA PLASTICA DEL CALCESTRUZZO



Riccardo Morandi
(Riccardo Morandi, *innovazione tecnologia
progetto* - [1991] - Gangemi Editore)

“La scienza delle costruzioni è una scienza di verifica. Per risolvere lo stesso problema ci sono dieci maniere, tutte identiche dal punto di vista statico, funzionale, economico e sociale. La scelta definitiva fra le tante trascende dunque il fatto puramente tecnico: è una scelta di carattere spirituale, artistico” (Riccardo Morandi)

All'inizio degli anni trenta, dopo i miei studi di Ingegneria civile a Roma compiuti in uno strano ambiente stancamente accademico ancora pieno di ordini del Vignola e di strutture nascoste timidamente entro di essi, e dopo un tirocinio di qualche anno nell'Italia del Sud, ho iniziato a Roma la libera professione del "calcolatore" di ingabbature di cemento armato per edifici di civile abitazione. Una lunga "routine" paziente per assolvere il meglio possibile una funzione di tecnico specializzato per la risoluzione di problemi statici.[...] Quando a poco a poco è giunto il momento di progettare temi via via più interessanti, quali grandi costruzioni industriali, sale di spettacolo, impianti sportivi e ponti, è giunto anche il momento di applicare coerentemente, le parole di Maillart; ho dedicato ogni mia energia allo studio attento delle caratteristiche funzionali del tema, entrandone nei dettagli più intimi; ai suoi aspetti di convenienza economica, intellettuale e fisica degli esecutori; ai suoi aspetti di aderenza al filone di pensiero che esprime il mondo del lavoro di un popolo; ai suoi aspetti statici infine: per questi la tendenza degli ultimi anni alla ricerca di forme complicate e spesso assurde, delizia dei formalisti e degli amanti di complesse formulazioni, è stata da me sempre accuratamente evitata anche a costo di essere considerato un poco fuori moda e non completamente dotato dal punto di vista matematico (come in effetti penso di essere).

Ho sempre amato schemi semplici facilmente controllabili, anche nei riguardi di una sempre possibile imperfetta esecuzione, in cui la disposizione e la forma delle varie membrature esprimesse chiaramente la funzione statica, cioè in ultima analisi la loro ragione di esistere.

La mia in complesso è stata una vita difficile, sempre in polemica sia con gli ingegneri di mentalità più conservativa ed accademica, sia con gli architetti, specialmente quelli della presunzione formale. Una vita in mezzo a diffidenze da parte dei vari ambienti qualificati dall'opinione corrente. Vita difficile che ha prodotto forse in me e nella mia opera qualche asperità polemica.

Troppi ingegneri ancora ostentano disinteresse per i valori formali e qua e là, tra gli architetti, sussiste o la ricerca di astruse forme od il ritorno polemico a superare tendenze con conseguente negazione dei valori strutturali, confinati questi soltanto nel piano puramente statico.

Tratto da: 'Aspirazione alla coerenza' in "Riccardo Morandi" di G.Boaga, B. Boni Ed. Comunità Milano

"Il titolo più appropriato per un uomo capace di concepire e costruire una struttura è architetto" (Pier Luigi Nervi)

Il costruire è, senza confronti, la più antica ed importante delle attività umane.

Nasce dal soddisfacimento di esigenze materiali dei singoli e della collettività, e si eleva ad esprimere i più profondi e spontanei sentimenti; riunisce in una unica sintesi lavoro manuale, organizzazione industriale, teorie scientifiche, sensibilità estetica, grandiosi interessi economici, e, per il fatto stesso di creare l'ambiente della nostra vita, esercita una muta, ma efficacissima, azione educativa su tutti.

Per i suoi multiformi aspetti, per la sua durata nel tempo, per i fattori scientifici estetici, tecnici e sociali che in essa si fondono, è più che giustificato considerare l'attività del costruire come la sintesi più espressiva delle capacità di un popolo, e l'elemento più significativo per giudicare il grado della sua civiltà e lo spirito di essa.

È evidentemente impossibile portare l'attività edilizia ad un così alto livello per cui ogni costruzione diventi un'opera d'arte, ma è nel limite delle possibilità, e sarebbe di una grande importanza morale, economica e sociale, orientare la nostra edilizia verso il pieno soddisfacimento delle caratteristiche di buona funzionalità, buon rendimento economico, serietà e compostezza estetica, in una parola verso una correttezza costruttiva dalla quale oggi siamo, troppe volte, molto lontani.

Il cemento armato rappresenta la più bella tecnica che l'uomo abbia inventato sino ad oggi.

Il fatto di poter plasmare il cemento, di potergli dare ogni forma, rendendolo anche superiore alla pietra naturale per la sua capacità di resistere alle tensioni, ha in sé qualcosa di magico.

Noi siamo abituati a realizzazioni straordinarie e per questo la nostra capacità di provare entusiasmo è diminuita, mentre

il cemento armato meriterebbe di suscitare ancora di più. [...] La plasticità del cemento armato e la sua capacità di resistere alle tre principali tensioni, ne fanno il materiale più rivoluzionario di tutta la storia delle costruzioni.

[...] È a questa possibilità, di realizzare degli insiemi strutturali che traducono le leggi della statica e che trovano in questa espressione l'eloquenza e la qualità delle loro forme, che si deve in gran parte il ritorno ad una verità architettonica altrimenti nascosta dietro una ricchezza decorativa eccessiva. Gli elementi statici anche più semplici acquisiscono con il cemento armato un interesse architettonico tanto sul piano della novità che su quello della espressione.

[...] i sistemi a resistenza spaziale, come le cupole e le volte, acquisiscono una libertà sconosciuta alle strutture in muratura, forzata a rispettare dei piani che assicurino un equilibrio attraverso i soli sforzi di compressione. [...] La vera difficoltà risiede nella nostra mancanza di intuizione statica ed architettonica, e nella difficoltà a svilupparla. I numerosi esempi che ci circondano sono di dimensioni troppo piccole: foglie, calici di fiori, carcasse di insetti. Ne deriva che la resistenza alla forma, pur essendo la più efficace di tutte ed una delle più diffuse nella natura, non è ancora entrata in questo insieme di intuizioni statiche involontarie da cui nascono le piante e le realizzazioni delle strutture.

In altri termini, noi non siamo ancora abituati a pensare la statica attraverso la forma.

Pier Luigi Nervi: 'Pensare la statica attraverso la forma' in "Costruire correttamente" Milano Hoepli



Pier Luigi Nervi
(ilgiornaledellarchitettura.com)

Si legge, nelle parole di Maffei un poco celato compiacimento per le difficoltà ingegneristiche di un'opera per via della particolare marcata dissimmetria rispetto all'asse dell'alveo che creava qualche difficoltà nella scelta della strada più opportuna per proseguire la progettazione. E se lo stesso progettista ammette che

le possibilità del calcolo in opere del genere sono piuttosto limitate specialmente per le ipotesi semplificative che è necessario porre; e ancora continua: "Sono fondamentali, nella decisione definitiva, l'esperienza, l'equilibrio, la preparazione tecnica e quell'intuito che debbono avere i progettisti". Così come è accaduto in quegli anni con personalità (tutti ingegneri) quali Riccardo Morandi, Pier Luigi Nervi, Sergio Musmeci, i segni delle loro opere appaiono culturali oltreché ingegneristici; sembrano risolvere non poche delle contrapposizioni che hanno travagliato il pensiero scientifico:

quello tra prassi e teoria nell'epoca delle grandi e veloci trasformazioni, tra le due culture scientifiche da una parte e umanistiche dall'altra; tra ingegneri e architetti. Le loro opere sono la manifestazione semplice, precisa, al limite della didascalìa, di una paziente ricerca attraverso il filtro di una filosofia razionale, rigorosa ma non rigida. La materia così aiutata a evolvere verso forme inedite finisce per legarsi indissolubilmente col proprio artefice. È il caso del ponte sul Basento di Musmeci, dei ponti autostradali di Morandi, o delle evoluzioni nel calcestruzzo di Nervi; sono tutti casi in cui l'ideazione prima e la progettazione poi, viene affrontata con spirito vivace e indagatore che cerca di andare oltre la rassicurante esperienza già maturata per sperimentare qualcosa d'altro.

Lo stesso Morandi afferma: "l'ingegnere moderno è serio, convinto di non concedere nulla a quello che non fosse un



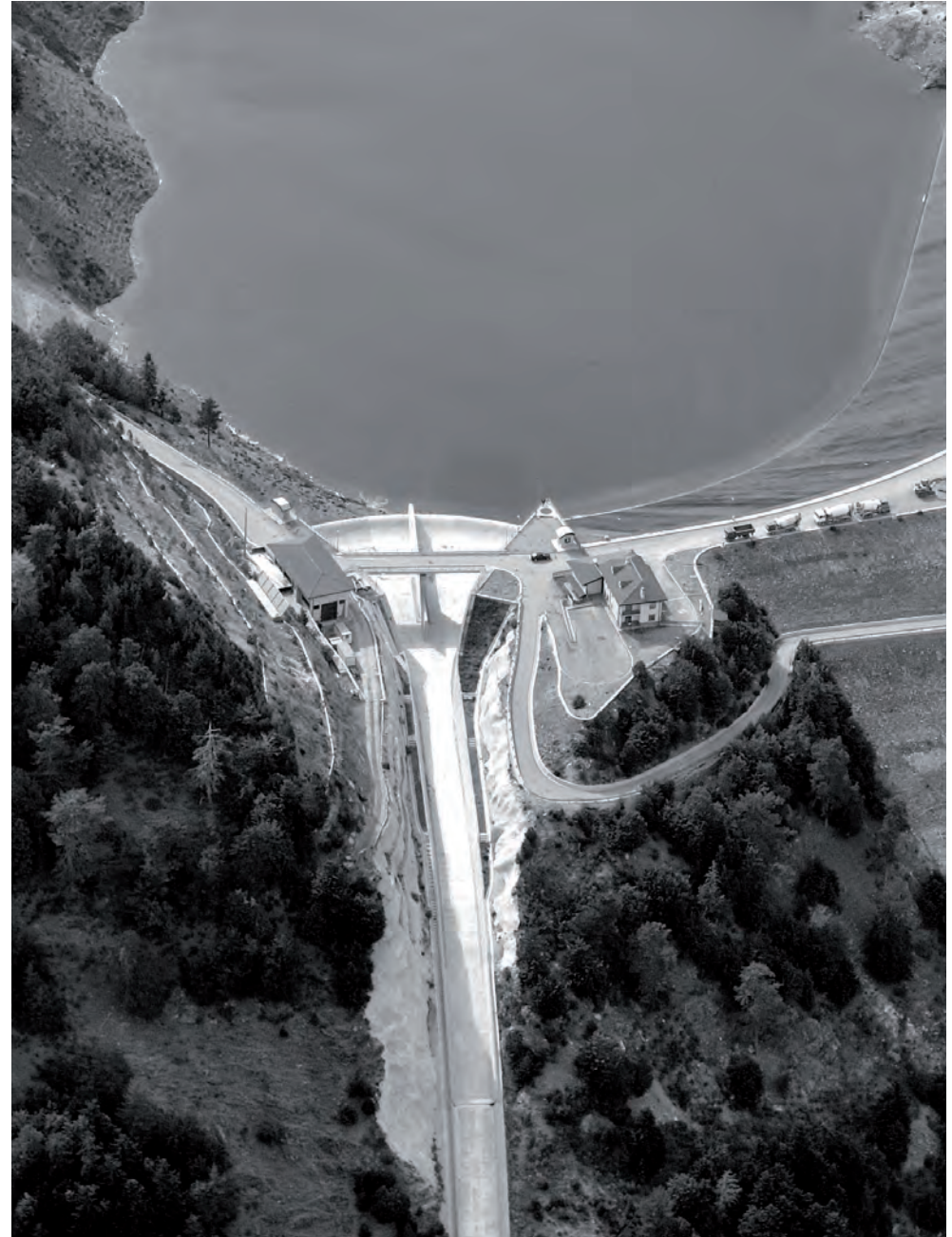
Riccardo Morandi - viadotto sul Fiumarella, Catanzaro - 1958-62
(FLICKR)

ragionamento dettato solo dalle risultanze di una scienza da lui rigorosamente ritenuta esatta che, non appena in possesso di materiali appropriati, ha immediatamente prodotto opere di eccezionale importanza e che oggi chiamiamo capolavori di architettura". D'altra parte in questa figura si condensa la rigorosa sequenza metodologica di un processo che incorpora l'intero ciclo, dall'idea alla sua realizzazione; i dati tecnologici, le proprietà dei materiali e le modalità di esecuzione delle fasi sono così noti come lo sono le condizioni oggettive di imprese, fornitori e maestranze. La conoscenza della produzione dell'oggetto architettonico diviene così completa ed acquisita in ogni sua sfaccettatura. Le tre categorie vitruviane della firmitas, Utilitas e Venustas sono così applicate all'intero processo ideativo e realizzativo. Appare così singolare che l'ultimo incarico di Morandi sia proprio una diga, quella sul torrente Menta in Calabria nel

1986-87, nella veste di consulente per tutta la parte dei calcestruzzi (la diga è della tipologia in materiali sciolti con sfioratore di superficie a lato del coronamento). L'impresa, per obbligo contrattuale, doveva di riprogettare l'opera e, in particolare, i disegni esecutivi dei cementi armati e relativi calcoli. Pur essendo in terra, le parti relative al lavoro di Morandi riguardano lo sfioro di superficie e relativo ponte stradale sullo scivolo a valle, a cui certamente, si dedica al di là della semplice funzione idraulica, affinando i segni di un oggetto relativamente semplice e funzionale reinterpretandolo con controllo ed equilibrio. Le fotografie recenti dell'opera, non ancora entrata in funzione, ci restituiscono l'immagine di un calcestruzzo ancora candido in cui si apprezza la pulizia essenziale del segno e l'elegante gestione delle casseforme per i getti.



Riccardo Morandi - Santuario della Madonna delle Lacrime, Siracusa - 1984-89, Viadotto sul Fiumarella, Catanzaro, 1958-61. (RC.M)



a sinistra: Riccardo Morandi, Diga sul Menta, Calabria, 1987- sfioratore di superficie e ponte pedonale. (PANORAMIO)

a destra: Pier Luigi Nervi, stadio Giovanni Berta, Firenze, 1932 - dettaglio della doppia scala elicoidale. (FLICKR)



Ho inteso citare questo esempio per esplicitare come, nel campo disciplinare dell'ingegneria strutturale, lo stesso oggetto, con la medesima funzionalità e a parità di costi, possa evolvere verso l'armonia formale o verso il mero funzionalismo.

A tal proposito basti citare la doppia scala elicoidale dello stadio "Giovanni Berta" (oggi Artemio Franchi) di Firenze (1930-32) progettata da Pier Luigi Nervi: inserita al basamento della torre "Maratona" e pensata come accesso alla tribuna d'onore, offre una soluzione formale innovativa al tema, per nulla scontato, di una risalita importante (ma non monumentale) in un complesso che fa della pulizia essenziale del segno la cifra stilistica.





Il caso del Ponte sul Basento (Potenza, 1967-1976) è un caso emblematico: La progettazione obbedisce ad una precisa concezione strutturale che Musmeci persegue con particolare convinzione e tenacia, e cioè che la forma della struttura non sia un a priori, una forma data di cui occorra solo verificare i margini di sicurezza, ma che debba essere "dedotta da un processo di ottimizzazione del suo regime statico". Ora, data la superficie di un guscio sottile, attraverso le equazioni differenziali di equilibrio è possibile, in linea teorica, trovare gli sforzi interni. Musmeci, invece, ribalta i termini della questione, osservando che le stesse equazioni consentirebbero, fissato un certo regime di sforzi, di trovare la forma della superficie. Impone allora che gli sforzi siano di compressione uniforme e isotropa, in modo da sfruttare al meglio le proprietà meccaniche del calcestruzzo.

Una superficie a compressione uniforme - che è caratterizzata, tra l'altro, da curvature principali di uguale valore assoluto e di segno opposto - non solo è più facilmente trattabile per via analitica, ma presenta uno sviluppo superficiale minimo per un contorno prefissato ottenendo un conseguente risparmio di materia.

La forma seguirebbe dunque le leggi che governano le forme strutturali degli elementi naturali, uniformandosi ad un principio di razionalità ed economia (di materia) ponendosi dunque in sintonia con il medesimo criterio di armonia e "bellezza". Musmeci individua così, nel principio del "minimo strutturale", una appartenenza dell'oggetto ad una concezione più vasta e universale della natura slegandosi dalle condizioni contingenti del progetto. Di assoluta rilevanza è il metodo usato per dedurre la forma del ponte: un modellino costruito con fil di ferro che sottende un film di soluzione acquosa e glicerina per poi passare, più avanti, ad un modello in scala ottenuto con un foglio di gomma che, sottoposto localmente a trazione (l'equivalente della compressione nell'opera realizzata, assume le forme poi riprese



nella realizzazione finale.

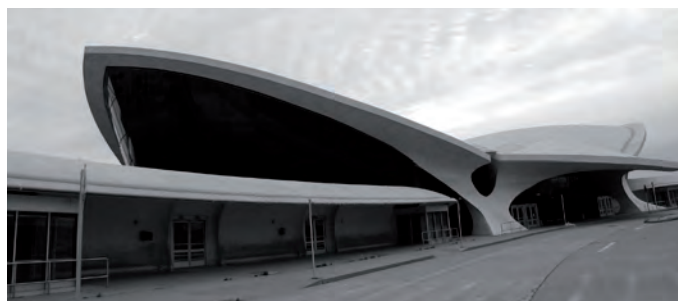
Del tutto analogo è infine, tornando all'argomento trattato, il caso della progettazione della diga a doppia curvatura asimmetrica di Gusana (1959-1961): è lo stesso progettista, Aldo Maffei, a confermare nei suoi scritti, la tesi: la struttura, progettata e realizzata per conci, in esercizio è interamente soggetta a forze di compressione lasciando alle sollecitazioni dell'acqua il compito di "svelarne" la forma. Come accaduto per il ponte di Musmeci, il risultato è infine armonico e "naturale", a prescindere dalla dimensione della struttura e dalla sua pesantezza materica. L'immagine che la diga ci offre è quello di un oggetto proporzionato, in equilibrio dinamico con il sistema che sottende: un oggetto vivo in un sistema vivo.

Le Corbusier:
Palazzo dell'Assemblea di Chandigarh,
Punjab, 1951;
Unité d'Habitation, copertura, 1946

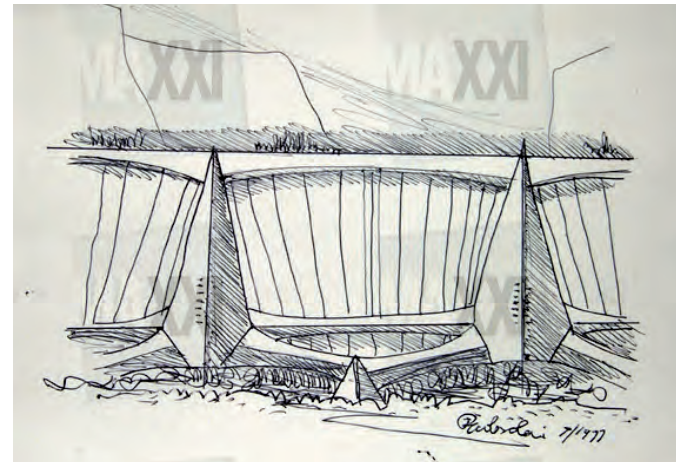
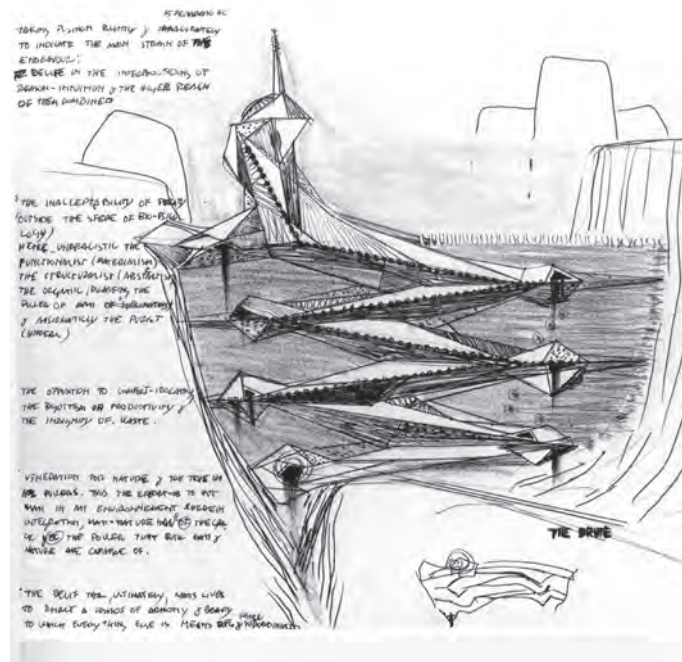
il calcestruzzo biomorfo del TWA di New York di E. Saarinen: un volatile di cemento dispiega le sue ali per sottendere lo spazio vitale del terminal. La naturalezza del gesto cela, all'interno delle innaturali volte aggettanti, un complesso sistema di cavi precompressi celati nel getto. Il risultato è un oggetto armonico e avvolgente in cui il calcestruzzo si libera della sola funzione portante per divenire un guscio onnipresente: volte e muri, scale e pavimenti oltrepassano le singole distinzioni proprie funzionali per amalgamarsi tra loro confondendosi.

Alcuni dettagli richiamano immagini di rocce erose dal moto ondoso delle acque, le grandi superfici rigate assomigliano alle modellazioni plastiche delle dighe a doppio arco.

Lo spazio interno diventa insieme la metafora del nido e vista privilegiata sulle meraviglie areonautiche dei primi '60



Eero Saarinen
Terminal TWA, aeroporto di New York, terminato nel 1962. (FLICKR)



Le molteplici simulazioni prodotte in seno al laboratorio sperimentale di Arcosanti da parte di Paolo Soleri includono alcuni bozzetti di dighe, mai realizzate.

Aprire in questa fase un capitolo sul geniale e utopico architetto americano (di adozione in quanto nato e laureato in Italia) è forse superfluo, vista la quantità e la qualità delle analisi scritte da lui da altri sulla sua opera.

Certamente non sorprende come lo stesso abbia speso pensieri nella risoluzione architettonica di una urgente criticità a carico della sua città sperimentale: la custodia dell'acqua e la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Problema tecnico ma risolto secondo i principi della "arcologia" la cui risultante media tra la necessità statica del muro e la creazione di un vero edificio verticale. Le soluzioni statiche rimandano a forme biologiche ed animali, all'orizzontalismo marcato di questi oggetti si contrappone il verticalismo delle torri-vedette.

Il calcestruzzo è qui plasmato in chiave espressionista.

Paolo Soleri
 schizzi e plastici per dighe progettate a cavallo degli anni '60 secondo i principi della ArchEcology. (MAXXI, Soleri, *Architettura come ecologia umana*, Antonietta Tolanda Lima, ed. Jaca Book, 2000)

8.4 UTILIZZO PRESENTE E FUTURO DI UN SISTEMA DINAMICO

l'intero sistema del Taloro venne progettato e costruito per la sola produzione di energia idroelettrica essendo, il torrente che sottende il bacino imbrifero omonimo, un affluente del lago Omodeo. Lago che assume a se le tre funzioni di produzione idroelettrica, industriale/irrigua e potabile.

L'esclusiva natura industriale dell'impianto di Gusana ha generato un sostanziale ritardo con cui il bacino artificiale è stato infine assunto come un bene spendibile nel settore turistico.

8.4.1 Attuali usi industriali/energetici

Sull'Asta idroelettrica del fiume Taloro insistono due serbatoi e un bacino, tutti artificiali:

- serbatoio di Gusana alimenta la centrale in caverna di Taloro, costituita da tre gruppi da 95 MVA e quella di Cucchinadorza (Taloro 1° salto), costituita da due gruppi da 26 MVA;
- serbatoio di Cucchinadorza alimenta la centrale di Badu Ozzana (Taloro 2° salto), con potenza complessiva installata di 33 MVA;
- bacino di Benzzone alimenta la centrale di Benzzone (Taloro 3° salto), costituita da un gruppo da 6,65 MVA.

L'acqua raccolta e immagazzinata nei serbatoi (Gusana e Cucchinadorza) e nel bacino (Benzzone) viene trasportata, secondo le necessità determinate dalla richiesta di energia elettrica, attraverso le diverse gallerie di derivazione e condotte fino alle turbine idrauliche e, quindi, rilasciata nel fiume Taloro. Le acque del lago di Benzzone sono anche inviate, mediante una stazione di pompaggio costruita nel 1971 – secondo prescrizione contenuta nel disciplinare di concessio-

ne – al Consorzio di Bonifica della Media Valle del Tirso per scopi irrigui e industriali.

Gli impianti sfruttano un salto idraulico complessivo di 532,68 m: Taloro pompaggio 294,5 m; Cucchinadorza 294,5 m; Badu Ozzana 195 m; Benzzone 43,18 m. La centrale di Cucchinadorza, prelevando l'acqua dal lago di Gusana, turbina e restituisce l'acqua nel serbatoio omonimo, da cui si deriva per la centrale di Badu Ozzana. La centrale di Badu Ozzana restituisce l'acqua in uscita dalle turbine al bacino di Benzzone, le cui acque alimentano la centrale del 3° salto, per poi sere rilasciate nel Lago Omodeo. Infine, la stazione di pompaggio preleva l'acqua sempre dal bacino di Benzzone e la invia al lago artificiale di Saruxi, che alimenta la piana di Ottana.

Le opere dell'Unità Esercizio Taloro furono realizzate tra il 1959 e il 1962, ad eccezione della centrale di pompaggio Taloro ubicata in caverna, realizzata negli anni '80 e sono costituite dalle dighe (Gusana, Cucchinadorza e Benzzone) e dagli impianti a loro connessi (centrale di Cucchinadorza, centrale di Badu Ozzana, centrale di Benzzone).

8.4.2 Usi civili

Attualmente il sistema dei tre invasi non è abilitato ad usi irrigui e civili. Va tenuto in conto che l'intero bacino imbrifero del Taloro insiste sul lago Omodeo, sotteso dall'attuale diga Cantoniera, il quale a sua volta fa parte di un complesso sistema di derivazioni per la fornitura di acqua potabile e irrigua, oltreché industriale ed idroelettrica.

Di fatto il sistema del Taloro è indispensabile per "alzare" il salto oltre i 620 m.s.l.m., considerato che la produzione di energia elettrica è proporzionale alla pressione che l'acqua esercita sulle turbine che, a sua volta dipende dal delta di quota. In questo sistema è quindi superfluo il prelievo a fini civili, già previsto in un quadro più generale.

8.4.3. Usi turistici dell'invaso in riferimento ad alcuni casi di studio

Quello dell'appropriazione del lago di Gusana è un processo relativamente recente. I fattori che hanno inciso su questo ritardo, peraltro condiviso con molti altri bacini italiani, risiede sia nella legislazione assai restrittiva in termini di usi e accessi all'area demaniale di pertinenza del lago, sia nella evidente difficoltà di fruizione delle sue sponde.

Per quanto riguarda il primo punto si consideri che l'area occupata da un bacino artificiale viene ottenuta tramite acquisto, o molto più frequentemente tramite esproprio; siano i proprietari soggetti privati o enti piuttosto che comuni. Per ragioni legate alla sicurezza delle opere, alla impossibilità di monitorare l'intero perimetro e alla dinamica del livello delle acque invase, l'area di rispetto, in riferimento al massimo livello invasabile, è fissato in 300m dalle sponde (art. 142 Codice Urbani e art. 8 del Piano Paesaggistico Regionale). A questo si aggiunge sempre un limite fisico più severo, a cura del gestore, per impedire l'accesso all'invaso. Risulta chiaro quanto sia complessa l'attivazione di una procedura che consenta la gestione di terze parti di quote di bacino e relative sponde per fini turistici. Questo passaggio, tuttora in corso per il bacino di Gusana, è stato invece brillantemente risolto nel caso del bacino del Bilancino in Toscana: terminata nel 1996, la diga di Bilancino è uno sbarramento appartenente alla tipologia delle dighe in materiali sciolti zonati alta 38 metri con finalità di tutela ambientale del tratto urbano dell'Arno tramite laminazione delle piene. Il lago omonimo si sviluppa su una superficie di 5 km² per una capacità di invaso di 84 Mmc. Il lago si presenta oggi come risorsa turistica e faunistica offrendo molteplici attività all'aria aperta. Oltre alla pesca sportiva, infatti, il lago permette di praticare attività sportive inedite, non solo per il territorio del Mugello ma per tutta la regione Toscana, come la canoa, la vela e il windsurf. Inoltre lungo le sponde, sfruttando il livello



Lago di Bilancino - Toscana
vista generale del lago con la diga in basso a destra; immagini delle attività legate alla balneazione e agli sport nautici. (bilancinolagoditoscana.it, FLICKR)

dell'invaso pressoché costante, sono state realizzate alcune spiagge artificiali a corredo di stabilimenti balneari.

Altro esempio virtuoso è il Parc de Verdon, Francia. Nato nel 1997, il Parco naturale regionale del Verdon protegge e valorizza 180 000 ettari che stanno a ridosso del fiume da Saint-André-les-Alpes sino a Vinon-sur-Verdon.

A cavallo tra le province delle Alpi di Alta Provenza e il Var, è un territorio dai forti contrasti. Si passa dalla piana di Valensole alla ripida verticalità delle celebri Gole, poi alla distesa tranquilla dei grandi laghi di Castillon, di Sainte-Croix, di Esparron, di Quinson, a ridosso delle Alpi. Le prime azioni del Parco Naturale Regionale del Verdon vengono mirate a preservare e rendere dinamico il territorio: sfruttamento razionale dell'acqua del Verdon, inventario e restauro del patrimonio fabbricato, reimpianto di uliveti, ecc.

Al suo interno è strutturato un complesso sistema di laghi artificiali lungo l'asta fluviale del Verdon nelle regioni di Alpes de Haute e Provence:

Lago di Castillon. È la prima diga del Verdon, si estende al riparo del vento mistral per circa 8 km ed ha una superficie di 500 ettari.

Attività nautiche: Nuoto, canoa, kayak, windsurf, trekking nautico, sci nautico.

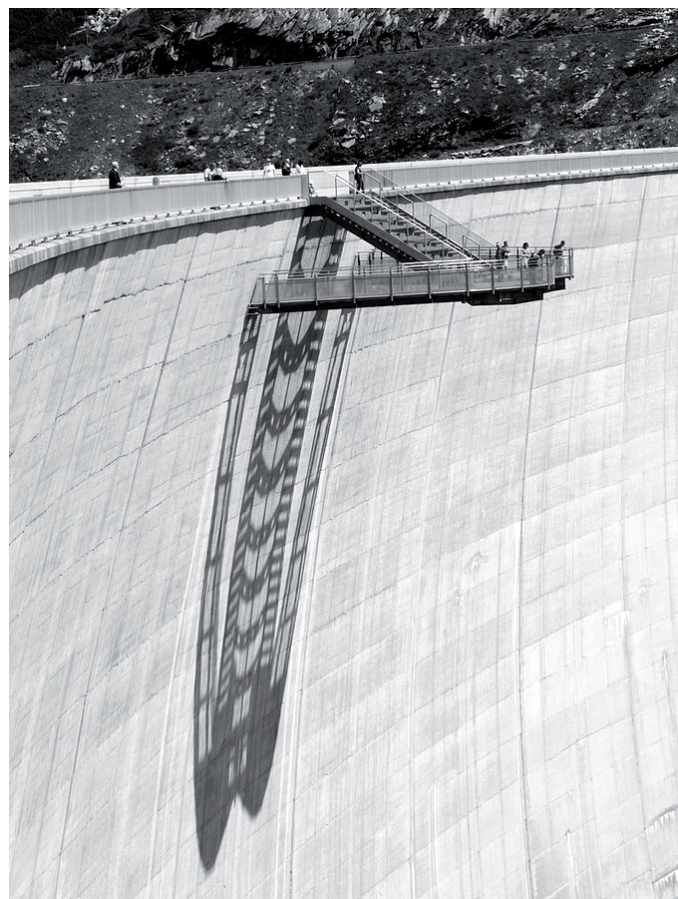
Il lago di Sainte Croix. Rappresenta il più vasto lago del Verdon con 2200 ettari di lunghezza di 12 km per 2 km di larghezza.

Attività nautiche, Nuoto, Canoa, kayak, trekking nautico, vietata la navigazione a motore non elettrico.

Il lago di Quinson. di 160 ettari, si estende su 11 km di lunghezza. Attività nautiche: Nuoto, Canoa, kayak, trekking nautico, vietata la navigazione a motore non elettrico.

Il lago di Esparron, di una superficie di 328 ettari, costituisce uno dei luoghi più selvaggi del Verdon con le sue numerose calanche e scogliere, le acque turchesi e le insenature.

Attività nautiche: Nuoto, Canottaggio, vela, canoa- kayak,



Diga di Kolnbrein, Carinzia - Austria
immagini dello skywalker installato recentemente sul coronamento della diga.
(FLICKR)



imbarcazione elettrica, canoa, kayak, pedalò, trekking nautico, vietata la navigazione a motore non elettrico.

Il caso del parco del Verdon è da annoverare tra gli esempi virtuosi su scala mondiale di riappropriazione della risorsa idrica relativa ad un intero sistema complesso insediato su un'asta fluviale.

Ai fini della presente ricerca occorre sottolineare come la risorsa messa in gioco in questi due casi sia l'acqua e le sponde dell'invaso. Le dighe in quanto oggetto sono tenute riservate rispetto una fruizione turistica più generale: sia la diga del Bilancino, sia le dighe del Verdon, non rivestono particolare attenzione dal punto di vista tecnico e "spettacolare" come invece avviene nel caso della diga di Kolnbrein in Austria (Carinzia).

Appartenente alla tipologia arco-gravità, la diga Kölnbrein, alta 200 metri, è stata terminata nel 1979. A seguito di un vasto intervento di ripristino funzionale dovuto al cedimento all'attacco fondale a causa di non previste sovratensioni, oggi l'invaso pienamente ripristinato ha una capacità di 205 Mmc su una superficie di 2.55 km². Esso fa parte di un più complesso sistema di bacini artificiali per la produzione di energia elettrica e fornitura di acqua idropotabile.

In questo caso è la diga a proporsi quale elemento di attrazione turistica; con i suoi 200 metri di altezza e la posizione strategica rispetto la valle, offre una esperienza non replicabile altrove. La diga è stata messa in sicurezza per poter accogliere i visitatori sia sul coronamento, sia nei tunnel di controllo e drenaggio all'interno della massa muraria. L'offerta è stata implementata con l'installazione di uno skywalk sul coronamento, (unico caso al mondo) aggettante sul paramento a valle per la pratica di sport estremi quali il bungee jumping e per l'affaccio sulla valle; l'offerta turistica si completa in questo caso con un albergo costruito a margine della diga a testimonianza dell'interesse generale per i luoghi e per la diga, principale attrattore della valle.

sistema dei laghi e delle gole del fiume
Verdon - Francia
(FLICKR)

8.4.4 Utilizzi futuri dell'invaso.

Gli scenari futuri per l'invaso di Gusana rimandano essenzialmente alla evoluzione temporale dello sbarramento che lo sottende e che si possono così schematizzare:

- Mantenimento in esercizio del sistema invaso – diga
- Dismissione della diga con abbassamento del livello massimo invasabile
- Dismissione completa della diga con costruzione a valle di un nuovo impianto
- Dismissione completa della diga con messa in sicurezza dello sbarramento e svuotamento completo dell'invaso
- Dismissione completa della diga, demolizione dello sbarramento e ripristino dei luoghi

Rimandando al prossimo capitolo la spiegazione dettagliata di ogni singolo scenario in quanto comune alla totalità delle dighe analizzate finora, è utile focalizzare qui l'attenzione su alcuni passaggi fondamentali:

la prima forte suggestione è che la diga di Gusana è un oggetto fragile; la sua raffinatezza costruttiva e la sua forma sperimentale la rendono efficiente e sicura, quindi utile, sono se permangono nel tempo le caratteristiche fisiche e chimiche del calcestruzzo con cui è costruita. Ma soprattutto a permanere invariata dovrà essere la forma, in quanto questa struttura è in grado di resistere alla spinta dell'acqua solo grazie al suo disegno a doppio arco che trasmette sollecitazioni unicamente ai vincoli sulla roccia e su basi di appoggio piuttosto ridotte se confrontate con gli spessori delle dighe a gravità. La sua perfezione formale e strutturale sarà causa della sua dismissione; a ciò contribuisce il solo fattore tempo. Come si è visto nei paragrafi dedicati alle tipologie di degrado, l'alterazione chimica produce aumenti di volume che si riflettono nel cosiddetto "spanciamento" del paramento, ovvero una deformazione geometrica della diga assolutamente inaccettabile per le tipologie ad arco; inoltre la spinta concentrata sulle rocce producono lesioni nelle reni

montuose a seguito della continua variazione del livello delle acque, e quindi della intensità della spinta idrostatica.

Chiarito il punto che la diga in esame non può essere eterna, ne tantomeno eguagliare i risultati delle dighe romane in Spagna tuttora attive di Proserpina e Cornalvo (entrambe a gravità e di altezza ridotta), si individuano tre scenari principali:

- Usi futuri dell'invaso ancora in piena attività;
- Usi futuri dell'invaso dismesso nel caso di svuotamento parziale;
- Usi futuri dell'invaso nel caso di completo svuotamento dell'invaso e messa in sicurezza della diga senza procedere alla sua demolizione.

Il primo punto è già in corso e si manifesta con l'insediamento lungo le rive del lago di alcune strutture ricettive dotate di scivoli verso le acque e con la possibilità di fruire l'invaso attraverso attività sportive nautiche, ancora ridotte per numero e qualità se confrontate con i casi del Verdon e del Bilancino, ma che lasciano intravedere ampie possibilità di crescita.

Le criticità per l'uso del lago di Gusana ai fini turistici sono legate essenzialmente alla sua natura industriale di certo non finalizzata alla presenza umana: in primo luogo essendo un invaso a servizio della produzione idroelettrica il livello dell'invaso è funzione unicamente di questa. Si assiste dunque a cambi repentini di livello dovuti al diverso apporto, anche giornaliero, di elettricità nella rete nazionale, e quindi il trasferimento di acqua dall'invaso di Gusana verso bacini di Cucchinadorza e Benzona e infine nel lago Omodeo. L'approccio al lago attraverso le sue sponde diventa quindi critico e da regolare con attenzione e con le dovute strutture di supporto. Altra criticità è rappresentata dalla diga per via della presenza delle prese di mandata, delle derivazioni, degli scarichi di superficie e di tracimazione che rendono estremamente rischioso l'avvicinamento a questa dalla parte

dell'invaso. Occorre quindi una regimentazione assai rigida degli accessi e una messa in sicurezza dello specchio d'acqua prospiciente le opere suddette al fine di interdirne la navigazione.

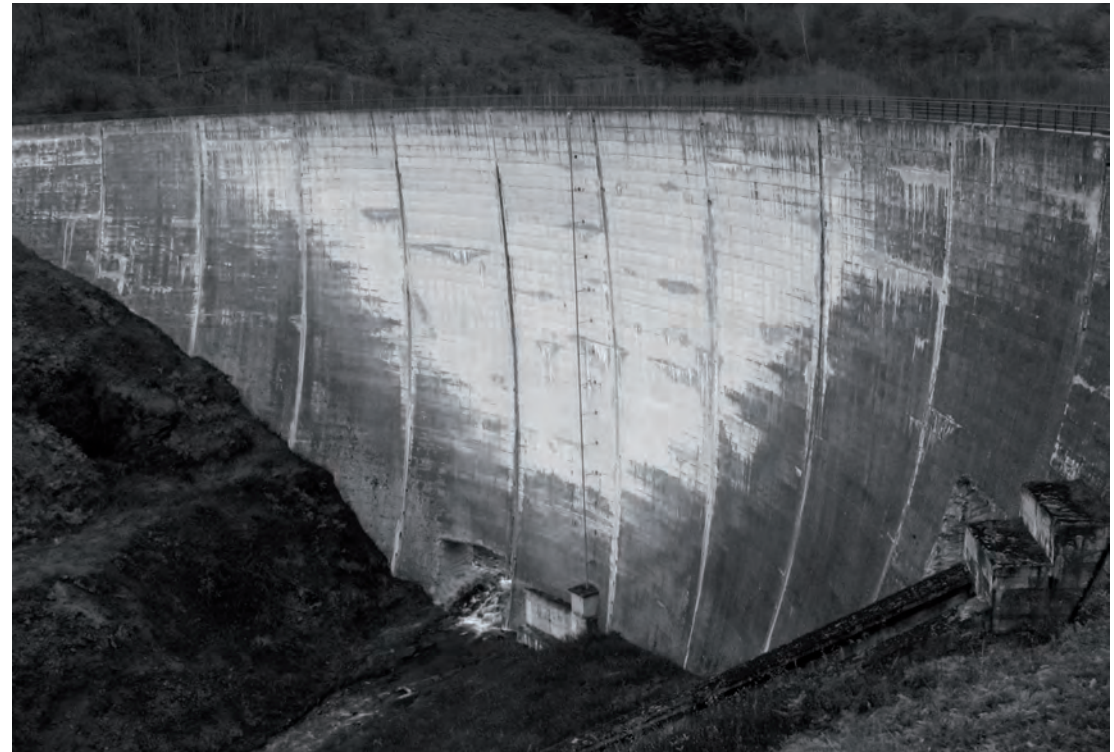
Altra criticità è implicita nella natura di qualsiasi lago montano. Quello di Gusana in particolare è un bacino profondo fino a 80 metri, esposto ai venti dominanti e con preesistenze all'interno delle sue acque che vanno dai residui di alberi sommersi, a sottostrutture artificiali risalenti alla costruzione, a edifici preesistenti lungo le sponde e ora pericolanti, alcuni ponti in muratura ad arcate (tra cui uno romano del I sec.d.C); tutti elementi che rendono la navigazione non priva di rischi specie in caso di notevoli variazioni del livello e che richiederebbero un controllo costante da parte delle autorità preposte alla sicurezza dei visitatori, come d'altronde accade nel Bilancino e nel Verdon.

Un utilizzo turistico della diga è infine possibile anche in pieno esercizio: sicuramente non pone particolari problemi la fruizione del coronamento, esperienza resa unica dal forte aggetto della struttura che impone al visitatore la sensazione di camminare quasi sul vuoto. La mancanza di strutture a valle, in prossimità del pulvino, ne rendono possibile l'uso per la pratica di sport "estremi" sulla linea di quanto avviene nella diga di Kolnbrein. In questo caso l'unica differenza, che potrebbe configurarsi come una limitazione, è la presenza degli scarichi di tracimazione nel settore centrale dello sbarramento, poco sotto il coronamento. Questi fanno sì che qualsiasi attività sportiva che abbia come appoggio la diga sia inattuabile in presenza del rischio di tracimazione a seguito di piene.

Se il secondo scenario è in realtà una variazione sul tema del primo, mentre il terzo punto appare oggi ancora di difficile definizione; certamente, in caso di svuotamento integrale dell'invaso, programmare la demolizione completa dello sbarramento per il ripristino delle condizioni ambientali

preesistenti è operazione dalla procedura assai complessa, per una questione legata alla massa della diga stessa e dalla antieconomicità dell'operazione. Il caso che si profila è simile alla attuale diga di Monte Crispu sul Temo, più volte citata nel corso delle pagine precedenti, ovvero una diga la cui unica funzione è la sola laminazione delle piene senza alcuna funzione di vaso; un oggetto la cui percezione avviene a tutto tondo. La diga di Gusana si candida e a riproporne nelle stesse forme ma privata di qualsivoglia funzione idraulica. Resta comunque l'oggetto, notevole per forma, storia e dimensione; un monumento di se stesso su cui attivare azioni virtuose al fine di collocarlo nel paesaggio esperito con una qualche funzione, fosse anche solo quella di rappresentare se stesso.

Diga di Piney sul torrente Gier, Loira-Francia; diga ad arco semplice alta 47m per uno sviluppo di 198m per una capacità di vaso di 2 Mmc; terminata nel 1953. A causa dell'aumento della pressione piezometrica nelle fondazioni e alla successiva deformazione di 7mm del paramento in mezzzeria, si decise di abbassare il livello per ridurre la pressione idrostatica; a seguito di ulteriori anomalie a seguito di carotaggi nel corpo della diga si decise nel 2000, la dismissione completa dell'invaso tramite l'apertura in breccia alla base della diga. La diga di Gusana potrebbe avere una evoluzione storica non dissimile. (www.sos-torrents.org, WIKI)



Diga di Matilija, California, USA; diga a doppio arco terminata nel 1947, alta in origine circa 60m con funzioni di laminazione delle piene e riserva idrica. La diga è al centro di un acceso dibattito circa la sua completa demolizione in riferimento ad una vicenda piuttosto travagliata che ne ha visto ridotta, nel 1965, l'altezza per questioni statiche a 51 metri tramite taglio con filo diamantato di una porzione di coronamento. Attualmente l'invaso è colmo per oltre il 90% di sedimenti sabbiosi, originariamente destinati al naturale e stagionale ripascimento delle spiagge a valle. Il fiume era inoltre utilizzato dalla fauna ittica marina, per il deposito e la schiusa delle uova, evento interrotto dalla creazione dell'invaso, così come le economie ad essa legate.

Se da un lato la demolizione dello sbarramento non pone alcun problema tecnico, la presenza di un fronte di sedimenti sul paramento a monte (valutato per un'altezza di circa 40-45 metri) pone importanti questioni di sicurezza legate alle opere provvisorie necessarie a contenere la spinta di una massa non coerente e dalla evidente criticità circa la sua movimentazione in altro loco, così come richiesto dalle associazioni che attualmente stanno portando avanti la richiesta di dismissione completa e ripristino dello stato dei luoghi antecedenti la costruzione dell'invaso.

Nell'immagine un graffito anonimo apparso nel settembre 2011 a supporto della demolizione.
(www.matilijadam.org)



9. CONCLUSIONI

Il presente lavoro si propone come apertura di una finestra sul complesso sistema che ruota attorno alla fenomenologia più materica ed espressiva della disciplina del governo delle acque attraverso un filone inedito, sia che lo si guardi sotto gli aspetti tecnici della disciplina dell'ingegneria idraulica, sia che lo si osservi sotto le lenti della disciplina architettonica. Come si è potuto leggere e prima ancora intuire, la diga e l'architettura sono due entità che finora hanno avuto un dialogo rarefatto, fatto di distanze incolmabili e di vicinanza rapidamente accorciate se non intersecate in alcuni casi notevoli documentati in queste pagine. Se la diga nasce come il perfezionamento tecnico di un problema fisico già in partenza raffinato ed elegante, il risultato, spesso, è anch'esso armonico. L'architettura d'altro canto disciplina l'armonia delle forme colmando il vuoto con oggetti pensati per il benessere fisico e psichico dell'uomo. L'intersezione tra le due discipline nasce da questo; occorre quantificarne e qualificarne la misura.

Le presenti pagine si accostano al tema esplicitandolo secondo i rapporti duali di criticità e forza, decadimento e utilità, fisica ed estetica, perdita e conservazione.

Un primo dato che emerge con forza è l'insospettabile fragilità di oggetti apparentemente duraturi se parametrizzati alla massa del materiale resistente (spesso oltre il milione di mc di calcestruzzo); una fragilità intrinseca ed ineliminabile, perché deriva dalle condizioni a contorno: l'acqua a monte e la roccia su cui la diga è vincolata. Elementi dinamici e quindi non regimentabili del tutto. Successivamente entrano in gioco i parametri temporali che legano l'usura all'insorgere di degradi che renderanno presto la struttura non più sicura, e quindi inutile.

Il secondo dato che emerge è la carenza di procedure condi-

vise nella dismissione del patrimonio di dighe ormai usurate dall'età. Negli esempi proposti e dalla lettura della legislazione attuale emerge la limitatezza disciplinare che si manifesta in procedure differenti secondo un approccio caso per caso; su sistemi peraltro dimensionalmente molto ridotti se confrontati con la media delle grandi dighe italiane ed europee realizzate a cavallo tra l'ultima guerra e gli anni '60. L'aspetto metodologico, così come le manifestazioni di usura sul sistema vaso-diga viene in questo caso esplicitato quale contributo alla costruzione di un quadro sufficientemente esplicativo circa la comprensione del sistema dinamico e inquieto più volte citato.

Il terzo dato è la mancanza di una narrazione storica che abbia come filo unico la costruzione delle dighe in Italia. Si è visto, nel capitolo dedicato al collegamento tra eventi, opere e progettisti, come una storia dell'ingegneria legata agli sbarramenti sia possibile e con rimandi molteplici e qualificati, pur essendo ogni singolo caso un evento quasi unico per la complessità e la varietà dei parametri fisici e ambientali in gioco. Anelli di giunzione sono le prove sperimentali dell'istituto ISMES dove, nella medesima struttura, si testavano tutte le grandi dighe italiane e molte straniere, accanto ai modelli degli edifici più innovativi della crescita industriale italiana del dopoguerra (grattacielo Pirelli, Torre Velasca, i Wessel delle costruende centrali atomiche, i viadotti della nascente rete autostradale nazionale e altri ancora); frammenti di queste storie sono conservati negli archivi ministeriali, negli uffici periferici del Genio Civile, negli archivi degli Enti di Bonifica o nelle aziende produttrici di energia elettrica poi confluite nell'Enel nel 1963; e ancora nei dati grafici e fotografici delle prove idrauliche effettuate nei dipartimenti di idraulica delle diverse facoltà di ingegneria interessate, negli archivi privati dei fotografi incaricati della documentazione dei lavori e delle opere. La lista potrebbe proseguire oltre fino ad giungere agli archivi

personali dei progettisti e dei direttori dei cantieri. Il quarto dato che si rileva è dunque la relativa facilità con cui è possibile individuare il materiale fondantivo di una ricerca in questo senso; una ricchezza documentale tanto ricca ed estesa quanto disomogenea e priva di reciproci rimandi. Da qui nasce l'opportunità di mettere a sistema eventi, nomi e volti in un quadro temporale coerente ed esplicativo di un'epoca in cui la figura dell'ingegnere olistico era ancora distante dalla settorializzazione dell'insegnamento dell'ingegneria in compartimenti tra loro stagni. A questa epoca il presente lavoro fa riferimento, e alla sublimazione della forma progettata in armonia e quindi estetica. A questi dati, che inquadrano le opere nel loro tempo fisico e temporale, se ne sommano altri che, spostando il cono visuale dal passato al futuro, si interrogano sulla evoluzione futura di queste opere.

Posto che, inevitabilmente, l'intero patrimonio di dighe esistenti andrà in dismissione, a parte qualche fortuito caso (si vedano le dighe romane di Proserpina e Cornalvo in Spagna), la domanda che ci pone è cosa fare di queste infrastrutture oltre la loro funzione primaria e, per alcune, come programmarne la conservazione o il riutilizzo.

Altro futuro tema è come, e se, la disciplina dell'Architettura possa attrezzarsi al fine di appropriarsi della forma e del suo inserimento nel contesto ambientale delle dighe che si andranno a progettare in futuro. In questo caso la sfida appare subito intrigante sia dalla complessità del tema che vede funzione ed estetica marciare in sincrono, sia dalla apparente verginità dell'argomento; la progettazione architettonica di una diga, evento rarissimo, è stata finora rintracciata nell'ultimo lavoro di Riccardo Morandi (realizzato), nei bozzetti del '60 dell'architetto visionario Paolo Soleri (mai realizzati) o nella estetica roosveltiana delle dighe del New Deal, così cariche di simbolismi e aforismi del regime democratico americano del tutto analoghi agli stilemi romani

delle decorazioni di alcune dighe fasciste (si veda la diga del Molato in Lombardia).

Al fine di porre ordine in un discorso generale e focalizzare meglio alcuni passaggi che appaiono fondanti circa la conservazione/riuso/demolizione del sistema invaso-diga, si conclude il presente lavoro con la proposta di cinque scenari differenti ma con sviluppi teorici tra loro intersecanti. Questi condensano la quasi totalità dei casi studiati nel presente percorso di ricerca in cinque possibili evoluzioni del "sistema inquieto" e, al contempo, in altrettante possibili evoluzioni della stessa.

diga di Fedaiia, Trentino Alto-Adige, Italia; diga a gravità alleggerita del tipo a speroni pieni, alta 63.9m è stata ultimata nel 1955. (PROG.D.)



	Ipotesi	Procedure	Forza del sistema
Scenario 01	Mantenimento in esercizio del sistema invaso - diga	<p>Il mantenimento in esercizio di un invaso artificiale implica necessariamente una serie di operazioni volte alla salvaguardia della struttura attraverso una continua e precisa analisi delle criticità del sistema al fine di porre rimedio ai diversi fenomeni di degrado legati al fattore tempo; degrado che è sia strutturale (lo sbarramento), sia geo-idraulico nel caso in cui sia il sistema invaso a essere interessato da tutti quei fenomeni largamente affrontati nei capitoli precedenti.</p> <p>In particolare, il mantenimento in esercizio di un invaso artificiale, è sostenuto non solo dalla salvaguardia materica del sistema, ma anche funzionale, economica, produttiva e politica; in una condizione normativa, quale quella italiana, in cui la quasi totalità degli impianti appartiene allo Stato, mentre la gestione è affidata sulla regola delle concessioni pluridecennali sia a soggetti privati, sia a enti a compartecipazione statale, occorre tenere presente che la sopravvivenza del sistema è equivale alla sua capacità di auto sostenersi con le risorse che riesce a produrre e tali per cui esista una costante convenienza a tenerlo in funzione, nonostante il crescente dispendio economico dovuto al naturale fattore temporale che incide negativamente sulle capacità operative di impianti e strutture. Inoltre l'invaso può affrontare, nel corso della sua vicenda storica, una dismissione che implichi il solo cambio di "missione" senza che il sistema generale bacino-diga subisca variazioni in termini di quantità o qualità della risorsa invasata. Può accadere infatti che il Gestore ritenga non più economico, o strategico, utilizzare l'invaso per soli fini idroelettrici, o che questa funzione sia installata solo in un secondo momento, come può accadere che l'invaso sia messo a sistema con altri per la gestione di un sistema complesso di "salti", e altro ancora.</p>	<p>un sistema capace di protrarsi con sicurezza nel tempo consente una programmazione della risorsa nel lungo periodo con innegabili vantaggi gestionali ed economici; una permanenza certa dell'invaso non può non innescare processi virtuosi nelle popolazioni che gravitano nelle aree interessate finalizzati alla creazione di economie basate sulla risorsa acqua. Divengono così naturalmente acquisite le opportunità offerte da una costante produzione energetica unite alla capacità di invaso in grado di far da volano alle economie locali slegandole dalla stagionalità degli apporti idrici convenzionali, specie nella filiera delle colture.</p> <p>Un livello costante delle acque consente inoltre di programmare stagioni turistiche basate su tutta una serie di attività ludiche e sportive che trovano nell'acqua "quieta" di un lago la loro più naturale vocazione.</p> <p>Una proiezione futura certa dell'impianto può inoltre offrire spunti per la fruizione della diga (in quanto oggetto a se stante) per usi che ne prevedano la valorizzazione culturale (forse museo di se stessa) associata ad eventi ludici che prevedano la presenza di particolari condizioni ambientali, come pareti verticali e strapiombi attrezzabili (terrazze panoramiche, basi di lancio per alcuni sport estremi, arrampicate sportive su percorsi attrezzati e altro ancora). Attività di questo genere sono già in corso sulle dighe Grande Dixence in Svizzera, sulla Kolnbrein in Austria (dove è installato il primo e unico skywalker per usi ludici e turistici), nella diga di Luzzone in Svizzera dove si pratica l'arrampicata sportiva e altre ancora.</p>

	Criticità del sistema	Opportunità offerte da una ricerca nel campo delle architetture delle dighe
	<p>Un bacino idrico artificiale sotteso da una diga, è pur sempre un sistema inquieto a prescindere dalla sua permanenza temporale; un attento lavoro di prevenzione e soluzione dei degradi dovuti al tempo non elimina comunque il rischio che la diga, o l'invaso per questioni legate alla stabilità delle sponde, non possa più operare entro i limiti imposti dalle normative vigenti e, si suppone, da quelle molto più restrittive che verranno adottate in futuro, in particolare sugli aspetti di tenuta alle sollecitazioni sismiche del tutto ignorate nella progettazione della quasi totalità delle dighe italiane fino al secondo dopoguerra.</p> <p>Di fatto una diga può essere considerata definitivamente in sicurezza qualora a monte di essa non vi sia un carico statico dovuto alla spinta dell'acqua, cioè a un vaso vuoto, o quasi. In tutti gli altri casi la diga opererà sempre con un margine di rischio, seppur minimo, ma mai eliminabile del tutto. Questo comporta una serie di misure preventive quali la non edificabilità dell'alveo a valle e, in generale, delle aree potenzialmente esposte dalla piena in caso di collasso dello sbarramento; in sostanza è corretto affermare che la presenza di una diga in esercizio pone un vincolo perenne sui territori a valle su cui un eventuale sviluppo economico, di qualunque natura ed entità esso sia, ne dovrà tenere conto.</p> <p>Una permanenza duratura della diga implica una sempre maggiore attenzione alla sua manutenzione, sia per i molteplici fenomeni di degrado, sia per l'evoluzione della normativa che, ad oggi, si è sviluppata in senso sempre più stringente, rendendo di fatto alcuni invasi non più sostenibili (si veda ad esempio la riqualificazione della diga del Molato per renderla capace di opporsi efficacemente alle sollecitazioni sismiche, così come richiesto dalle normative vigenti e dalla ripermiazione periodica delle aree esposte a rischio sismico)</p>	<p>Il mantenimento in esercizio di una diga implica, dal nostro punto di vista disciplinare, l'apertura di due fronti: il primo è quello che racconta la storia legata alla sua progettazione e costruzione, il secondo parla della sua storicizzazione come manufatto di cui preservarne in futuro forma ed estetica.</p> <p>Il primo fronte è documentale: narrare la storia legata ad una diga implica la messa in luce di vicende umane e costruttive utili, se non indispensabili, per una corretta esecuzione di qualsiasi intervento volto alla conservazione statica della struttura, specie nel caso di una diga in esercizio, non potendo eseguire su essa qualsiasi tipo di intervento diagnostico distruttivo. In tal senso gli archivi storici si propongono quali straordinari custodi di una memoria grafica e visiva di tutte le fasi di realizzazione. Gli elaborati grafici, da quelli di progetto depositate presso gli archivi dei soggetti interessati (Ministero Infrastrutture, Genio Civile, Enti Locali, Enel e altri ancora), a quelli di cantiere (rintracciabili inoltre presso gli archivi delle imprese costruttrici), offrono un quadro pressoché completo inerente la costruzione di ogni singola diga.</p> <p>Il secondo fronte è architettonico: partendo dalla documentazione sopracitata, sarà utile narrare la vicenda estetica e formale dell'opera, se non architettonica, qualora essa fosse già evidente alle origini secondo forme celebrative proprie della loro epoca di riferimento; si pensi a ciò alle dighe del ventennio fascista, come la diga del Molato, carica di elementi evocativi, o le dighe del programma americano del New Deal (la iper decorata diga di Hoover, o le dighe dell'asta del Mississippi con i loro elementi mediati dall'International Style).</p> <p>Delineare una storia architettonica è quindi utile alla salvaguardia dell'immagine della diga potendo essa guidare l'opera degli architetti chiamati a disegnare i futuri e inevitabili interventi di riqualificazione o consolidamento.</p>



dall'alto:

Merida, Spagna: Diga di Cornalvo, tipologia a gravità in muratura con contrafforti alta 24m per 220m di coronamento e la diga di Proserpina in terra e muratura con contrafforti, alta 18 m per 426m di sviluppo; costruzioni romane del I sec. d.C. tuttora in esercizio.

Alicante, Spagna, diga a gravità in muratura alta 43m per 65m di coronamento, terminata nel 1594. Tuttora in esercizio. (WIKI, www.panoramio.com)

	Ipotesi	Procedure	Forza del sistema
Scenario 02	Dismissione della diga con abbassamento del livello massimo invasabile	<p>La dismissione di un invaso tramite l'abbassamento del livello delle acque rappresenta, essenzialmente, una risposta pratica e immediata al sorgere di patologie che interessano perlopiù lo sbarramento e tali da comprometterne il corretto funzionamento all'interno di parametri di sicurezza assunti dalla normativa. Tale procedura, oltre che diminuire il carico statico sul paramento a monte, consente di ridurre in maniera apprezzabile il fattore di rischio per le popolazioni a valle in caso di collasso.</p> <p>Pur rappresentando una prima strategia da porre in essere alla comparsa di un forte dissesto statico e funzionale, può evolvere nella direzione di una soluzione definitiva, qualora l'entità del degrado sia tale da non potervi porre rimedio con gli strumenti tecnici a disposizione, o perché ritenuti troppo onerosi dal Gestore dell'impianto, o perché tecnicamente inattuabili (ad esempio per i degradi statici che vanno a interessare le fondazioni o l'attacco sui fianchi montuosi, fessurazioni sul paramento o infiltrazioni nel corpo di una diga in terra e altro ancora).</p> <p>Operativamente la riduzione permanente del livello di un invaso implica una serie di accorgimenti sul copro della diga e sul sistema di scarichi (di fondo, mezzo-fondo e superficie) al fine di garantire un efflusso costante una volta fissata la nuova quota di invaso. Inoltre si può intervenire sulla diga stessa rimodellandone il profilo al fine di formare una consona superficie di tracimazione. In questo senso risultano emblematici i casi della diga di Matilija in California o la diga di Beauregard in Valle d'Aosta in cui è previsto il taglio di 50m, su 132 al fine di ridurre la quota dell'invaso come misura contro l'instabilità intrinseca del terreno delle sponde a monte dello sbarramento e consentire, al contempo, la produzione di energia idroelettrica.</p>	<p>Lo Scenario 02 rappresenta una mediazione tra la condizione di normale esercizio del sistema diga-invaso e la dismissione completa dell'invaso acquifero con o senza demolizione completa dello sbarramento (scenari successivi).</p> <p>I punti di forza di questa via sono in primo luogo economici e funzionali: conservare l'invaso, benché con un volume ridotto, e conservare la diga, seppure con una configurazione diversa da quella di originaria costruzione, implica un dispendio economico nettamente inferiore rispetto la dismissione totale dell'impianto e la ricomposizione dello stato dei luoghi; inoltre il mantenimento di un qualche tipo di funzione, pur diversa da quella originaria, consente una nuova e diversa riappropriazione dell'invaso per usi non produttivi, sempre che le condizioni qualitative e quantitative dell'acqua invasata lo consentano.</p> <p>In letteratura, nei pochi casi pratici di cui si ha notizia, la dismissione dell'impianto coincide quasi sempre con il cambio di Gestore, fatto che implica la messa in sicurezza automatica dell'impianto. Accade quindi che sulle dighe in esame venga imposto un procedimento di declassamento e quindi una variazione delle procedure di sicurezza e controllo delle stesse, oltre alle procedure di passaggio al demanio o a un nuovo ente gestore delle opere residue.</p> <p>I punti di forza del nuovo sistema sono quindi il ridotto impatto ambientale con ridotti fattori di rischio per le popolazioni a valle, una semplificazione delle procedure di riappropriazione dello specchio d'acqua per nuovi usi, gli stessi già visti per il caso dello Scenario 01.</p> <p>Ulteriore punto di forza è la conservazione fisica del bene, sia come oggetto architettonico, sia come elemento di un sistema ancora vivo.</p>

	Criticità del sistema	Opportunità offerte da una ricerca nel campo delle architetture delle dighe
	<p>Porre in dismissione una diga, riducendone il carico statico, tramite la riduzione della capacità di invaso, non elimina mai del tutto il fattore di rischio, sia che questo sia dovuto all'insorgere di criticità nel sistema costruttivo dello sbarramento, sia che riguardi la natura geo-morfologica dell'invaso.</p> <p>Tra queste la tipologia più a rischio è la dismissione per termine della concessione in cui, valutate le possibili strade (principalmente economica), si ritiene la soluzione più consona il non procedere allo svuotamento integrale dell'invaso a favore di una sua messa in sicurezza, ovvero declassarlo verso una tipologia che richieda un basso, se non nullo, impegno di diagnosi e controllo del sistema. Di fatto questa scelta porta quasi certamente all'abbandono dell'invaso posto in una sorta di "coma vigile" con conseguente lentezza con cui, ulteriori possibili fenomeni di degrado del sistema, verranno recepiti ed elaborati al fine di valutare un possibile aumento del fattore di rischio (essendo i diversi fenomeni di degrado tra loro vicendevolmente interconnessi con la comparsa contemporanea di varie tipologie che se non valutate per tempo, possono generare uno stato di degrado non più sostenibile, sia in termini di recupero che in termini di sicurezza).</p> <p>Il caso della diga di Santa Chiara sul Tirso è tuttora fondamentale in quanto nella letteratura italiana è finora la più alta diga (70m circa) in Italia a essere stata definitivamente dismessa; il suo iter passa attraverso due decenni in cui l'invaso venne ridotto a 1/3 per l'insorgere di fessurazioni nella struttura. L'importanza strategica dell'invaso (idrico – potabile – idroelettrico) ha infine suggerito la costruzione di un nuovo sbarramento a valle sommergendo quasi del tutto la precedente. In questo caso l'ente gestore, l'Enel, ha ritenuto conveniente la prosecuzione della concessione con un nuovo impianto a discapito della originaria struttura ora sacrificata.</p>	<p>La dismissione per cambio di destinazione d'uso con variazione del livello dell'invaso pone, per la nostra disciplina, l'opportunità di ripensare il manufatto perché questo possa assolvere la nuova missione in sicurezza e in una configurazione forse diversa da quella originaria.</p> <p>Le opportunità offerte alla ricerca sono quindi la messa in pratica delle teorie formulate astrattamente sulla base di un apparato documentale storico che disegnano la struttura così come si presenta al momento della sua dismissione.</p> <p>Una ricerca in tal verso potrebbe partire dalla necessità di documentare nella sua interezza e complessità un bene in procinto di essere forse stravolto dalle nuove necessità idrauliche e statiche. Al contempo si apre l'opportunità per ripensare la struttura portando a sistema tutta una serie di riflessioni svolte sul valore architettonico della diga in quanto oggetto al fine di dotare l'intervento di un nuovo linguaggio architettonico e paesaggistico e non più solo utilitaristico, benché, come analizzato nel sesto capitolo, la perfezione idraulica e statica di queste infrastrutture suscitando meraviglia nell'osservatore innesca, a volte, un approccio estetico e culturale.</p> <p>In questo scenario si profila quindi non più la passibilità di preservare l'immagine estetica del bene, qualora questo ne abbia le qualità, guidando il lavoro dei futuri tecnici così come si farebbe nel caso di un edificio storico, ma bensì l'opportunità di ripensare l'immagine generale, pur nel rispetto della complessità originaria; che è anche il rispetto degli uomini che quelle strutture le hanno costruite.</p>



dall'alto:
Diga di Monte Crispu, Bosa (Sardegna); terminata nel 1961 è una diga ad arco-gravità utilizzata per la sola laminazione delle piene; la diga non è invasabile in quanto mai collaudata.
Diga di Pontisei, Veneto; terminata nel 1956 è una diga a cupola il cui invaso è stato ridotto a seguito di alcuni eventi franosi all'interno dell'invaso;
Diga di Digonera, Veneto; è una diga a cupola la cui costruzione fu interrotta a seguito del distro del Vajont.
(WIKI, PROG.D.)

	Ipotesi	Procedure	Forza del sistema
Scenario 03	Dismissione completa della diga con costruzione a valle di un nuovo impianto	<p>Questo scenario individua una prassi ormai corrente nel caso di dismissione per l'avvenuta inoperatività dello sbarramento. Al fine di procedere in tale direzione occorre valutare attentamente diversi aspetti: quello economico, sostenuto dalla convenienza nel continuare la gestione di un impianto con altre forme ma con analoghe funzioni; quello amministrativo e politico, che coinvolge la complessità di soggetti interessati dalla espansione verso valle del bacino esistente; infine tecnici: occorre infatti valutare la fattibilità di un nuovo sbarramento sulla medesima asta fluviale in condizioni geomorfologiche differenti dal precedente invaso e, non di rado, ritenute inidonee al momento della progettazione della diga originale. Alla base di tutto vi è l'importanza strategica di un invaso che va al di là di qualsiasi questione legata al recupero del manufatto storico ma che invece assegna all'acqua invasata e ai suoi usi, una componente fondamentale di un ciclo produttivo (idroelettrico, industriale e civile) che non può interrompersi a causa dell'inefficienza statica e funzionale della diga che lo sottende.</p> <p>Operativamente, una volta risolte le questioni tecniche amministrative ed economiche legate alla creazione del nuovo sbarramento, occorre affrontare il tema di cosa fare della vecchia diga. Se da un lato la sua presenza agevola il lavoro a valle, potendosi strutturare quale avandiga, una volta terminato il nuovo sbarramento occorre individuare strategie affinché la vecchia struttura possa coesistere all'interno del nuovo invaso senza configurarsi quale barriera alle acque. Nel capitolo sul Decommissioning abbiamo visto come questa criticità sia stata affrontata nel caso della diga di Santa Chiara in Sardegna e nella diga di Disueri in Sicilia.</p>	<p>I vantaggi offerti da questo scenario sono, indubbiamente, la continuità di un ciclo produttivo legato alla produzione di energia idroelettrica e l'implementazione degli usi industriale e civili attraverso l'ampliamento del bacino utilizzando largamente la quota parte originaria, semplificando di molto tutte quelle procedure legate alla "appropriazione" di un territorio vasto essendo attualmente uno dei maggiori ostacoli alla costruzione ex-novo di bacini acquiferi artificiali.</p> <p>Come già detto la decisione, non certamente economica, circa la costruzione di uno sbarramento a valle del precedente, nasce dalla valutazione strategica rispetto alla risorsa invasata, o non più invasabile, del precedente bacino. Ad una risoluzione in questo verso concorrono quindi due fattori: il primo, il meno diffuso, è quello dell'aumento della capacità di invaso, il secondo (il più comune) è l'impossibilità del vecchio sbarramento di operare con margini di sicurezza ritenuti accettabili. Da ciò deriva un importante punto di forza del presente scenario: l'implementazione dei margini di sicurezza offerti da un impianto moderno e quindi coerente con le più restrittive normative vigenti.</p> <p>Il processo di decommissioning, letteralmente tradotto in "cambio di missione" offre inoltre la possibilità di adottare caratteristiche e funzioni assenti, o limitate, rispetto al precedente impianto; a tal proposito è utile citare il caso della diga Grande Dixence in Svizzera, la più alta diga a gravità massiccia al mondo, terminata nel 1961, alta 285m, è andata a sostituire la precedente diga a gravità alleggerita posta poco più a monte, ottenendo un incremento del livello di acqua invasata di ben 123m e creando il "salto" idroelettrico più alto al mondo, con evidenti vantaggi sull'aumento della capacità produttiva elettrica installata nelle centrali a valle.</p>

	Criticità del sistema	Opportunità offerte da una ricerca nel campo delle architetture delle dighe
	<p>Le criticità del presente scenario sono molteplici e dettate dalla scelta di “perdere” il bene ma senza perderlo del tutto.</p> <p>Se da una parte la scelta della non demolizione appare giustificata da motivi economici e pratici legati alle dimensioni, a volte non trascurabili delle strutture in fase di dismissione, dall'altra la loro messa in sicurezza appare indirizzata più al corretto efflusso delle acque attraverso la struttura sommersa, piuttosto che una messa in sicurezza volta a conservarla, benché sotto il livello (o quasi) delle nuove acque.</p> <p>Se dal punto di vista ingegneristico e idraulico questa rappresenta la soluzione a minore impatto, sul versante architettonico essa si configura come la perdita, quasi definitiva, della diga originaria. A parte il caso della diga di Disueri, uno sbarramento in pietrame a secco con estradosso in calcestruzzo alto 48m, in cui l'atto stesso della sommersione condanna la struttura ad un dissolvimento nell'arco di qualche decennio (evoluzione intrinseca della tipologia di dighe in materiali sciolti), nel caso della diga di Santa Chiara non si prevede una evoluzione diversa, benché forse più dilatata nel tempo, per via della particolare tecnica costruttiva che prevedeva una serie di voltine in calcestruzzo armato appoggiate a speroni in muratura (in pietrame di trachite), tutti elementi soggetti a forte degrado in presenza di acqua (si pensi alle murature in pietrame sottoposte ad una pressione fino a 7bar).</p> <p>Si tratta quindi di una conservazione del bene solo ipotetica, dal momento che le condizioni attuali ne sanciscono la scomparsa ben prima che il nuovo vaso abbia chiuso il suo naturale ciclo vitale.</p>	<p>Documentare una struttura condannata al repentino disfacimento è l'obiettivo che si pone la ricerca nell'ambito della storia dell'ingegneria delle Dighe.</p> <p>L'impossibilità di preservarne le forme per le generazioni future, implica in primis la sicura scomparsa dalle memorie delle genti locali nell'arco di poche generazioni, secondariamente l'impossibilità di effettuare su essa tutte quelle operazioni legate alla prassi di una ricerca volta all'acquisizione di dati “sul campo”, da quelli più semplici, quale una raccolta iconografica della struttura, a quella metrica, con un rilievo delle opere residue al fine di confrontarle con gli schemi grafici di progetto.</p> <p>Risulta chiaro infatti quali siano i limiti di una ricerca basata su dati acquisiti dalle fonti storiche ma in mancanza fisica del soggetto di studio.</p> <p>Le finalità in questo caso potrebbero indirizzarsi verso la raccolta di dati al fine di descrivere, nella sua completezza, il bene perduto al fine di tramandarne la memoria e metterlo a sistema, qualora ne abbia la dignità (sicuramente questo è il caso della diga di Santa Chiara) con le storie narrate da strutture analoghe tuttora esistenti.</p> <p>Per la diga di Santa Chiara un approccio in questo senso è stato compiuto, grazie alle discipline umanistiche, con la produzione di due documentari (commissionati dall'Enel e dalla Regione Sardegna) volti a recuperare testimonianze di prima mano di coloro che la diga l'hanno costruita o “abitata” nel corso della vicenda produttiva. A ciò è venuto meno tuttavia un approccio di tipo architettonico che ne rivelasse gli aspetti costruttivi e compositivi. Limite a cui si pone rimedio grazie alla completa banca dati dell'archivio storico “A.Omodeo” tuttora conservato nella sede di Napoli.</p>



dall'alto:
Diga di Santa Chiara sul Tirso, Sardegna; ampiamente analizzata nel capitolo sul decommissioning, nelle immagini appare prima e dopo l'invaso del nuovo bacino sotteso a valle dalla diga Cantanera.
Diga Grande Dixence, Svizzera; l'immagine mostra la nuova diga a valle della originale Dixence, una diga a gravità alleggerita completata nel 1935 e sommersa nel 1965
(www.grande-dixence.ch)

	Ipotesi	Procedure	Forza del sistema
Scenario 04	Dismissione completa della diga con messa in sicurezza dello sbarramento e svuotamento completo dell'invaso	<p>Lo svuotamento integrale di un bacino artificiale può avere diverse cause: le principali sono l'insorgere di criticità difficilmente sanabili nello sbarramento o all'interno del bacino, oppure per un cambio di strategia intervenuta per la mancata economicità nella gestione del bene, o perché l'ente gestore non ha inteso conveniente il rinnovo della concessione.</p> <p>Qualunque sia il motivo alla base della dismissione le procedure correnti impongono la messa in sicurezza dell'area dell'ex bacino, qualora questo sia la causa dello svuotamento e, in via del tutto primaria, dello sbarramento, affinché esso consenta il passaggio libero delle acque anche in condizioni particolarmente gravose di piena.</p> <p>Sul piano operativo, la letteratura recente, individua come strategia quella di non affidarsi al solo sistema di scarico di fondo, in quanto esso prevede il rilascio di acqua in pressione e, in generale, una sollecitazione gravosa sulla struttura che implicherebbe un servizio costante di monitoraggio. I casi di cui si ha notizia, riportano dunque l'affiancamento di aperture sul paramento murario ai sistemi di efflusso esistenti. Questi, opportunamente calcolati in base ai ritorni di piena, dovranno essere sufficientemente ampi da consentire un deflusso libero delle acque anche in presenza di detriti provenienti da monte.</p> <p>In Italia si è così operato per la messa in sicurezza della diga di Combamala, in Piemonte, uno sbarramento a contrafforti e soletta tipo Ambursen alto 35 metri, in cui si è operata la demolizione tramite taglio con filo diamantato di alcune solette tra due contrafforti (analogo sistema per la diga di Santa Chiara in Sardegna, ora sommersa). In Francia nella diga ad arco sul torrente Bromme (costruita nel 1907, alta 40m), si è invece optato per l'apertura di un varco al piede dello sbarramento per il deflusso libero).</p>	<p>I punti di forza di questo scenario risultano sbilanciati a favore della conservazione della infrastruttura, benché alterata in favore del ripristino dell'originale funzionamento idraulico dell'alveo; altri benefici sono l'eliminazione pressoché completa di qualsiasi fattore di rischio dovuto al passaggio da un sistema "critico" e inquieto, ad un sistema in "quiete" in cui vengono pressoché ristabilite le condizioni fisiche e idriche antecedenti la costruzione dell'invaso consentendo una rinaturalizzazione dei luoghi in cui a risaltare è infine il manufatto.</p> <p>Di quest'ultimo si ottiene così una visione a "tutto tondo", fatto inusuale per una diga in esercizio dove il lato a monte, quello concavo, è perennemente nascosto dalle acque.</p> <p>Si configura dunque la possibilità di astrarre il manufatto dalla sua funzione facendolo diventare monumento di se stesso; questo, unito al fatto che una diga non soggetta al carico statico dell'acqua è "potenzialmente eterna" venendo meno la causa principale dell'insorgere del deterioramento, fa sì che il manufatto, perso ogni interesse per la rimozione completa, si candidi verso la sua storicizzazione, al pari delle grandi strutture degli acquedotti romani: allora infrastrutture idriche, oggi testimoni delle vicende costruttive della loro epoca. Tutt'oggi la soluzione dello svaso con la conservazione della diga rappresenta una ristretta minoranza dei casi e coinvolgono dighe di dimensioni contenute. Quando nei prossimi anni ci si porrà il problema di dismettere dighe oltre i 100 metri di altezza e fino al milione di mc di calcestruzzo, la presente soluzione appare tra tutte la più praticabile.</p> <p>Le possibilità offerte dalla conservazione del manufatto singolo saranno quindi tutte da esplorare.</p>

	Criticità del sistema	Opportunità offerte da una ricerca nel campo delle architetture delle dighe
	<p>Appare evidente come la soluzione di conservare lo sbarramento dopo lo svasso sia principalmente sostenuta da motivi economici: rimuovere centinaia di migliaia di mc di calcestruzzo in luoghi a volte pressoché inaccessibili implica un accantieramento di poco inferiore a quello occorso per la costruzione; si pone poi il problema dello smaltimento dei detriti risultanti e il ripristino dello stato dei luoghi precedenti la costruzione. Avendo ancora chiare le immagini dei cantieri del sistema idrico del Taloro appare chiaro come quest'ultima procedura sia nei fatti inattuabile per via delle alterazioni morfologiche irreversibili create per le fondazioni della diga. Apparentemente la soluzione di conservare il manufatto appare priva di criticità, al netto delle operazioni di deflusso delle acque descritte prima.</p> <p>Tuttavia occorre sottolineare come questa soluzione sia in realtà finalizzata a terminare qualsiasi operazione di diagnosi e controllo della struttura, avendo annullato ogni fattore di rischio per le popolazioni a valle.</p> <p>Dal punto di vista della conservazione del bene, questo pone in essere alcune criticità legate alla necessità di una verifica periodica delle opere, specie quelle realizzate in calcestruzzo armato (opere di presa, coronamenti e altro) e tutte quelle strutture metalliche che caratterizzano l'estetica e la visione didascalica e funzionale della diga (paratie mobili, sovrastrutture apparati meccanici di supporto e regolazione).</p> <p>Ulteriore criticità si riscontra sul piano economico e normativo: una diga così dismessa a chi appartiene? Quale ente o gestore è chiamato a salvaguardarne l'integrità? In questo senso gli apporti dalla letteratura in merito sono ancora troppo scarni per poter individuare una prassi legata alla gestione della post-dismissione.</p>	<p>Ai fini della presente ricerca, il 4° scenario qui proposto appare come la condizione ideale per il proseguo della raccolta di dati sulla struttura; così liberata dall'invaso – quindi fruibile a tutto tondo – e sgravata da tutta una serie di vincoli normativi che ne rendevano complesso anche il solo avvicendamento, la diga si offre nella sua interezza nelle mani della ricerca e nella condizione ideale per quel lento processo di storicizzazione che andrà a legarla indissolubilmente ai luoghi naturali che la ospitano.</p> <p>Finora, per i noti e tragici motivi, una condizione simile si riscontra in Italia sulle dighe del Vajont (1960) nel Friuli-Venezia Giulia, del Molare (1935) in Liguria e del Gleno (1923) in Lombardia, tutte protagoniste di eventi tragici legati o al collasso della struttura, o ad eventi franosi all'interno dell'invaso con conseguente rilascio di grandi volumi di acqua a valle. Su questi oggetti, e in particolar modo sul Vajont, molto si è fatto in termini di ricerca, soprattutto indirizzata al reperimento di dati utili alla individuazione delle cause (circa il disastro del Gleno, dove una porzione di diga collassò sotto la spinta dell'acqua, le cause non sono ancora del tutto chiarite), ma anche al racconto delle storie legate alla costruzione e alle popolazioni interessate. Alla diga del Vajont è inoltre legata un'altra storia: quella della SADE, una delle grandi imprese di produzione di energia idroelettrica in Italia prima della nazionalizzazione del 1963. La sua storia (al pari di altre aziende), sviscerata in ogni singola parte, aggiunge contributi in qualsiasi settore di ricerca che abbia per tema l'idroelettrico in Italia, creando legami e rimandi persino riguardo la costruzione della diga di Gusana (e altre in Sardegna). Appare chiaro dunque il potenziale offerto da una ricerca curata caso per caso quando questa riesce infine a legarsi con altre storie analoghe. Ciò che manca attualmente è proprio il filo rosso comune.</p>



dall'alto:

Diga di Bromme, Francia, una diga a doppio arco del 1907; la dismissione è avvenuta tramite demolizione di una porzione di parmento alla base della stessa.

Diga di Combamala in Piemonte; nell'immagine in basso le nuove opere di presa ricavate tra i vani degli speroni in calcestruzzo.

(PROG.D. , FLICKR)

	Ipotesi	Procedure	Forza del sistema
Scenario 05	Dismissione completa della diga, demolizione dello sbarramento e ripristino dei luoghi	<p>Rappresenta il caso limite, per via dei costi e delle criticità operative e amministrative, in Italia la dismissione completa di una diga è stata riservata per sbarramenti molto contenuti (sotto i 15m). All'estero rappresenta invece una prassi corrente, specie negli Stati Uniti, dove la normativa federale impone il ripristino dello stato naturale dei luoghi.</p> <p>Casi americani sono ad esempio la demolizione della diga di Condit, nello stato di Washington, una diga a gravità alta 38m terminata nel 1913 per la produzione di energia elettrica. La sua costruzione si è posta quale barriera insormontabile per la risalita dei salmoni lungo il White Salmon River e, nonostante l'imposizione di edificare diverse scale di rimonta per il transito dei pesci, la società energetica Pacific Group ritiene più conveniente la demolizione integrale ed il ripristino dei luoghi. Questa operazione rientra in vasto programma di demolizione delle dighe presenti sul sistema idrico dell'Elwha River, iniziato nel 1992 con un finanziamento statale iniziale di 350 milioni di dollari.</p> <p>Caso analogo per due dighe in Francia (alte rispettivamente 15 e 12 metri) già analizzate nel paragrafo dedicato al decommissioning. Anch'esse demolite per il ripristino delle economie locali legati alla fauna ittica.</p>	<p>Il ripristino dei luoghi offre un innegabile vantaggio: i ritornano ad una completa naturalità sia funzionale, con il ripristino dell'alveo fluviale, sia ambientale, con l'eliminazione della grande infrastruttura. Si tenga presente che i casi finora presenti in letteratura riguardano dighe molto anziane, prossime al secolo di vita: un dato temporale molto elevato per queste infrastrutture, ma del tutto trascurabile se confrontato al decorso temporale dei luoghi che le ospitavano; luoghi in cui la capacità intrinseca di riconquista degli spazi si esplicita nell'arco di pochi decenni. Nei fatti è possibile che nel corso di poche generazioni si perda persino il ricordo dell'invaso risultando illeggibili persino le tracce delle opere residue.</p> <p>A fronte della perdita completa del bene infrastrutturale si rileva il vantaggio di poter analizzare la struttura tramite metodi distruttivi e con modalità inattuabili nel caso di una conservazione integrale. Opportunità in grado di arricchire la letteratura scientifica nel campo della diagnosi dei degradi che interessano queste strutture, specie di quelle parti del tutto inaccessibili come le fondazioni e le opere di schermatura.</p>

	Criticità del sistema	Opportunità offerte da una ricerca nel campo delle architetture delle dighe
	<p>Le criticità legate a questo scenario sono essenzialmente la gestione economica e amministrativa dell'operazione. In mancanza di una legislazione forte e un interesse generale al ripristino dei luoghi, questa modalità di dismissione risulterà complessa se non inattuabile.</p> <p>Le incognite non riguardano tanto l'infrastruttura, sulla cui demolizione rimangono ben poche lacune tecniche, quanto allo stato dell'invaso a seguito dello svuotamento: la gestione dei sedimenti e la ricomposizione degli alvei è un tema che va affrontato caso per caso. La letteratura americana in questo senso ha restituito casi in cui il volume della sedimentazione accumulata nei decenni è arrivata quasi a colmare il volume dell'invaso rendendo assai complessa l'operazione di dismissione e ripristino.</p> <p>Altra criticità è dovuta alla completa perdita della infrastruttura e alla impossibilità di acquisire da essa ulteriori informazioni utili ai fini della ricerca. Questo punto, oggi trascurabile per via dell'importanza ridotta degli impianti finora dismessi, diverrà invece più marcata in futuro quando si tratterà di intervenire su casi notevoli ed emblematici per la Storia dell'Ingegneria.</p>	<p>In questo specifico scenario la nostra disciplina potrà operare su un doppio versante: il primo è la raccolta di dati prima che la struttura venga demolita al fine di salvaguardarne la memoria storica, oltre che per poter inquadrare ogni singola diga in una narrazione più ampia circa la Storia dell'ingegneria. Un secondo versante è quello di poter sfruttare la demolizione delle opere per procedere alla raccolta di dati altrimenti impossibili da reperire su una diga in esercizio: prelievi di materiale alle diverse quote, analisi delle fessurazioni, tenuta dei giunti di dilatazione e compressione nel corso dei decenni, analisi delle deformazioni in corso e analisi dello stato delle opere di presa, in particolare di quelle utilizzate per lo svasso dell'impianto. A queste poi si aggiungono altre analisi sullo stato delle fondazioni e degli schermi di impermeabilizzazione al fine di cogliere i difetti intrinseci della progettazione prima ed esecuzione poi per poter meglio guidare l'opera dei progettisti delle future dighe o sperimentare tecniche di intervento su quelle attualmente in esercizio.</p>



dall'alto:
Demolizione della diga di Condit; l'apparente lentezza dell'operazione è giustificata dalla complessità di movimentare le macerie in altra sede. Nell'immagine successiva si noti il paziente lavoro di rimodellazione degli argini con la movimentazione dei sedimenti che nel tempo hanno colmato l'invaso.

Sotto: demolizione della diga di Elwha (stato di Washington, USA). In questo caso la demolizione è avvenuta a pieno vaso e dall'alto al fine di ridurre lo sversamento a valle dei sedimenti (2011-2012).
(www.columbian.com, WIKI)

BIBLIOGRAFIA

Abbreviazioni

P.TM - Il complesso idroelettrico sul fiume Taloro, testo dell'ing. Aldo Maffei, [1963] Roma : Tip. Christen
P.TMM - Impianti idroelettrici sul Taloro, Vittorio Muscas, Gianni Marini , [2011] 1 DVD
P.ENEL- Dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani, testo ENEL, [1974-89]
P.LOD - Società elettrica del Taloro, Diga di Gusana, Impresa Taloro – Condotte Lodigiani S.p.A , [1963]
MAN.I.H - Manuale dell'ingegnere (82esima edizione), [1993] Hoepli
EMP – Emporium, rivista mensile illustrata d'arte e coltura, [1885-1964] Istituto Italiano Arti Grafiche, Bergamo
A.OMOD - archivio storico ENEL, Ex compartimento Cagliari “Angelo Omodeo”, Napoli
A.ENAS - Archivio storico ENAS, Cagliari
ENAS - Ente Acque della Sardegna
POLIMI - Politecnico di Milano, Dipartimento di Idraulica
SAR.D.L. - www.sardegna.digitalibrary.it
PROG.D - www.progettodighe.it
ITCOLD - www.itcold.it
REG.I.D. - www.registroidalianodighe.it
RID.C. - web.tiscali.it/sndcagliari/
FLICKR - www.flickr.com
ERN - www.rivernet.org
WIKI - wikipedia.org
WEB - varie internet: blog, forum, altri siti

Archivi e Pubblicazioni

Idraulica / dighe / calcestruzzo

Arredi F. (1977) Costruzioni idrauliche, UTET, Torino,
Collepari M. (1980) Scienza e tecnologia del calcestruzzo, Hoepli, Milano
Contessini F. (1953) Dighe e Traverse: progetto e costruzione, Tamburini, Milano
Contessini F. (1956) Impianti idroelettrici, Tamburini, Milano
Dismissione del bacino di compenso della Centrale di Isolaz - CVA SpA 2005.
ITCOLD (1996) Collaudo della diga di Monte Crispu e Approvvigionamento idrico della città di Bosa (Sardegna) a cura dello staff dello studio Ing. G. Pietrangeli s.r.l.
ITCOLD (1999) Processi di invecchiamento di dighe e loro fondazioni. (a cura di R. PAOLINA et al.), Quaderno n. 7, Roma
Jappelli R. (2003) Atti terza conferenza “Arrigo Croce”, le costruzioni geotecniche per le grandi dighe in Italia, 2002 in Rivista Italiana di Geotecnica 2/2003
Manuale dell'ingegnere (82esima edizione) (1993) Hoepli
Marcello C. (1970) Scritti di Claudio Marcello, a cura della ITCOLD,
MIN. LL. PP. C. SUP. SERV. DIGHE (1961) – Grandi Dighe Italiane. Note tecniche in occasione VII ICOLD, Roma.
Ministero LL.PP. (1982) Norme tecniche per la progettazione e le dighe di sbarramento,
Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
SEMENZA C. (1956) Diga della Fedaiia. Criteri di scelta del tipo di sbarramento, L'Acqua, nn. 7-8.

SEMENZA E. (2001) La storia del Vajont raccontata dal geologo che ha scoperto la frana. Tecamproject Editore Multimediale, Ferrara.

SILVANO R., FRONGIA F., MONDADA A., PIAZZA A. (1997) Repair works at Flumendosa arch dam. XIX ICOLD, Q 75,

Storia di dighe / società elettriche / consorzi di bonifica

ANIDEL (1951), "Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani" Roma,.

Nardiello A., Diga di ritenuta e centrale idroelettrica di Muro Lucano, Ipotesi di recupero, ed. Consiglio Regionale della Basilicata

Omodeo A. (1901) "Le forze idrauliche in Italia", in Critica sociale, n_ 5, 1 marzo 1901, ora in A.F. Saba (a cura di), Angelo Omodeo. Vita, progetti, opere per la modernizzazione. Una raccolta di scritti, Roma-Bari, Laterza, 2004,

Omodeo A.(1923) Nuovi Orizzonti dell'Idraulica Italiana, Problemi Italiani, anno II, fasc.4,

Accorsero A. Craveri P. Treu T. (1989)Premessa, in A. Accornero, T. Treu (a cura di), Le relazioni industriali all'Enel, F. Angeli, Milano.

Aquarone (1981) L'Italia giolittiana. 1896-1915. Le premesse politiche ed economiche, il Mulino, Bologna

Barone G. (1986) Mezzogiorno e modernizzazione. Eletticità, irrigazione e bonifica nell'Italia contemporanea, Einaudi, Torino.

Barone G. (1986) Mezzogiorno e modernizzazione. Eletticità, irrigazione e bonifica nell'Italia contemporanea, Torino, Einaudi

Cadoni M. (2000) La società elettrica sarda dalla sua fondazione alla crisi degli anni Trenta, , ed. Laterza

Calza F. (2005), Manuale degli impianti termici e idrici, Tec-

niche nuove, Milano,

Castronovo V. (1990), L' industria italiana dall'800a oggi, Mondadori, Milano.

Congresso degli Ingegneri ed Architetti Italiani, Atti del decimo congresso degli ingegneri ed architetti italiani in Cagliari (1905). Ottobre 1902, Cagliari, Tipolitografia commerciale

Coriasso R. (1985), Il sindacato elettrico della Cgil 1945-1970, Ediesse, Roma.

Cafagna L. (1963) La formazione di una base industriale fra il 1896 e il 1914, in A. Caracciolo, La formazione dell'Italia industriale, Laterza

Coriasso R. (1985) Il sindacato elettrico della Cgil 1945-1970, Ediesse, Roma 1985

De Felice M. L. (2011) in Dighe della Sardegna, ed. Ilisso, Emporium, rivista mensile illustrata d'arte e coltura, (1885-1964) Istituto Italiano Arti Grafiche, Bergamo

Fadda P. (2001) Alterne vicende nella modernizzazione nell'isola, articolo pubblicato sul numero 1/2001 si Sardegna Economica

Manetti D. (1992) La legislazione sulle acque pubbliche e sull'industria elettrica.

Tognotti E. 1988)"Storia delle bonifiche", in M. Brigaglia (a cura di), La Sardegna, vol.III, Cagliari, Edizioni della Torre,

Storia dell'ingegneria

Marcello C. (1969) "Scritti di Claudio Marcello" a cura della Gallo Pomi S.p.A., Milano

AA.VV. (1991) "Riccardo Morandi, innovazione tecnologia progetto", Roma, Gangemi Editore

Banham R. (1990) "L'Atlantide di cemento", Roma-Bari, Laterza

Boaga G., Boni B. (1962) "Aspirazione alla coerenza" in "Riccardo Morandi", Milano, Ed. Comunità

- Bocca G. (1993) "ISMES: Quarant'anni", Edizione fuori commercio, Bergamo, ISMES
- Capomolla R. (2005) "Il cemento armato a faccia vista. Degradamento e recupero" in DO.CO.MO.MO. ITALIA GIORNALE, vol. 17, pag. 7, Roma
- Capomolla R. (2006) "Il ponte sul Basento ovvero l'invenzione di una forma ancora senza nome", Casabella, n°739-740, Milano, Electa
- Capomolla R., Vittorini R. (1999) "Studi sull'edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento", Roma, Edilstampa
- Chiorino M.A. e Neri G. (2010) "La modellazione strutturale del Novecento. Ragioni e diffusione dell'induttivismo sperimentale in Italia e all'estero", atti del terzo convegno nazionale sulla storia dell'ingegneria, Napoli, Cuzzolin Editore
- Docomomo Preservation Technology Dossier 2 (1997) "The Fair Face of Concrete: Conservation and Repair of Exposed Concrete"
- Iori T. (2005) "L'ingegneria italiana del dopoguerra: appunti per una storia", in Mochi G. "Teoria e saperi del costruire: saperi, strumenti, modelli", Bologna, Edizioni Moderna
- Iori T. (2006) "L'autostrada del Sole", atti del primo convegno nazionale sulla storia dell'ingegneria, Napoli, Cuzzolin Editore
- Iori T. (2008) "Il boom dell'ingegneria italiana: il ruolo di Gustavo Colonnati e Arturo Danusso", atti del secondo convegno nazionale sulla storia dell'ingegneria, Napoli, Cuzzolin Editore
- Iori T. Ricci M. (2010) "Il ponte sul Tagliamento tra Pinzano e Ragogna nella storia dell'ingegneria italiana", atti del terzo convegno nazionale sulla storia dell'ingegneria, Napoli, Cuzzolin Editore
- Iori T., Poretti S. (2010) "Pier Luigi Nervi. Architettura come Sfida", Guida alla mostra, Electa, Milano
- Jappelli R. (2010) "Dalle storie di dighe ad una storia dell'ingegneria delle dighe in Italia", atti del terzo convegno nazionale sulla storia dell'ingegneria, Napoli, Cuzzolin Editore
- Kosca M., Colani C. (2006) "Enzo Lauletta: la modellazione fisica e l'approccio dello studio delle grandi strutture presso l'ISMES", atti del primo convegno nazionale sulla storia dell'ingegneria, Napoli, Cuzzolin Editore
- Leopardi, M. (2005) "Sperimentazioni su modelli di opere idrauliche", Roma, Aracne
- Marandola M. (2006) "Riccardo Morandi ingegnere 1902-1989: le sperimentazioni e le opere in cemento armato pre-compresso degli anni cinquanta", tesi del Dottorato di ricerca in Ingegneria Edile - Architettura e Costruzione, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"
- Neri G., "I modelli strutturali di Pier Luigi Nervi per la Cattedrale di San Francisco", atti del terzo convegno nazionale sulla storia dell'ingegneria, Napoli, Cuzzolin Editore
- Oberti G. (1981) "La modellizzazione strutturale", Quaderni dell'ISMES, Bergamo
- Poretti S. (2006) "Un tempo felice dell'ingegneria italiana. Le grandi opere strutturali dalla ricostruzione al miracolo economico", Casabella, n°739-740, Milano, Electa
- Poretti S. (2006) "L'ingegneria e la scomparsa delle lucciole", atti del primo convegno nazionale sulla storia dell'ingegneria, Napoli, Cuzzolin Editore
- Iori T. e Poretti S. (2007) "Ingegneria italiana", (a cura di), numero monografico di "Rassegna di Architettura e urbanistica", n° 121-122, Roma, Kappa
- Poretti S. (2008) "Modernismi italiani: architettura e costruzione nel Novecento", Roma, Gangemi
- Temporelli G. (2010) "Da Molare al Vajont", Genova, Erga



