

ITCOLD 2006

COLLAUDO della DIGA di MONTE CRISPU e
APPROVVIGIONAMENTO IDRICO della CITTÀ di BOSA (SARDEGNA)

Antonio Pietrangeli (Studio Ing. G. Pietrangeli s.r.l.)

Antonio Brasca (Studio Ing. G. Pietrangeli s.r.l.)

Valerio Ricciardi (Studio Ing. G. Pietrangeli s.r.l.)

([www. pietrangeli.it](http://www.pietrangeli.it))

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE
2. OPERE ESISTENTI
3. ATTIVITÀ FINALIZZATE AL COLLAUDO
 - 3.1. STRUMENTAZIONE
 - 3.2. STABILIZZAZIONE SPALLE
 - 3.3. SCARICO di FONDO
4. CONCLUSIONI

1. INTRODUZIONE

Un primo progetto di utilizzo delle acque del fiume Temo (Sardegna nord-occidentale) risale al 1908.

Il progetto aveva lo scopo di creare un serbatoio di circa 50 Mm³ mediante la costruzione di una diga a gravità in muratura di pietrame con malta di calce idraulica, alta circa 47 m, per la produzione di energia elettrica (potenza installata 5 MW).

Nella prima metà del secolo la città di Bosa, situata sul Temo in prossimità della costa, subì numerosi allagamenti.

Il progetto esecutivo del 1956 prevedeva una diga ad arco gravità, di altezza 57 m con capacità di invaso di circa 31 Mm³, con il solo scopo di laminare le piene del Temo a protezione della città di Bosa.

I lavori per la realizzazione della diga di Monte Crispu terminarono nel 1973 sulla base del progetto aggiornato nel 1967 al termine delle indagini geognostiche.

L'opera venne dotata di quattro scarichi (due di superficie, uno di alleggerimento ed uno di fondo).

Il progetto di questi ultimi due (alleggerimento e fondo) prevedeva la possibilità di regolazione al fine di modulare le portate uscenti (laminando piene anche eccezionali), garantendo pertanto la piena sicurezza dell'abitato a valle.

La mancata esecuzione del previsto organo di chiusura dello scarico di fondo (una galleria di ben 6 metri di diametro), in pratica, vanificò in parte la realizzazione delle opere del progetto 1967.

Negli ultimi anni è stato assegnato allo Studio Pietrangeli, dalla Regione Sardegna, l'incarico di eseguire le attività di ingegneria necessarie per rendere la diga collaudabile sotto il profilo statico (il collaudo amministrativo fu effettuato all'atto del completamento).

In particolare vennero realizzati l'inquadramento ed il rilievo topografico di dettaglio dell'area e delle opere, uno studio geologico-tecnico con relative indagini in particolare per le zone di imposta della diga in destra ed in sinistra, oggetto di alcuni fenomeni di dissesto, nonché gli studi delle onde di piena artificiali e studi statici della diga.

Completate le indagini sono stati redatti i seguenti progetti di opere necessarie per il collaudo statico della diga :

- STRUMENTAZIONE di MONITORAGGIO (secondo le prescrizioni del Servizio Nazionale Dighe);
- STABILIZZAZIONE delle SPALLE (per risolvere situazioni di dissesto e/o instabilità superficiale createsi nel corso degli anni in particolare sul versante sinistro della zona di imposta);
- OPERE di PRESIDIO dello SCARICO di FONDO (per consentire gli invasi sperimentali).

Quest'ultimo progetto prevede un sistema di controllo dello scarico di fondo che, una volta completato il collaudo della diga, può anche consentire di :

- riportare la diga alle sue funzioni originarie di opera per la completa laminazione delle piene consentendo di laminare non solo piene millenarie, ma anche quelle, comunque dannose per la città di Bosa, dell'ordine di centinaia di m³/s, altrimenti liberamente esitabili dagli scarichi;
- dedicare una piccola parte della capacità dell'invaso (ormai esuberante a seguito della creazione di sbarramenti a monte sul Temo) per l'approvvigionamento idrico della città di Bosa, la cui disponibilità di risorse risulta estremamente critica in alcuni periodi dell'anno.

2. OPERE ESISTENTI

Lo schema generale della diga di Monte Crispu è costituito da uno sbarramento tipo arco – gravità con quattro scarichi, di cui due di superficie (a scivolo e a calice), uno di alleggerimento ed uno di fondo, come visibile in figura 1.

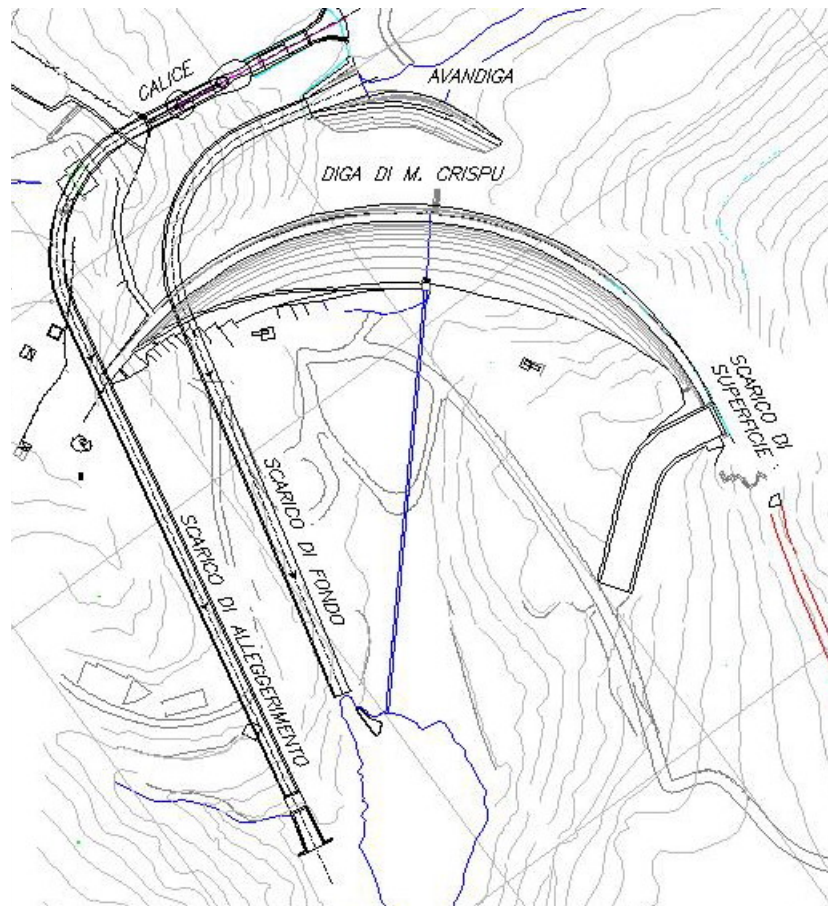


fig. 1: schema Generale

L' altezza massima della diga è di 57 m, mentre il coronamento ha uno sviluppo lineare di circa 325 m.

Lo spessore dell' arco al coronamento è di 4 m, mentre lo spessore dell'arco a quota 26 msm e' di 27.50m.

Lo sbarramento è del tipo ad arco – gravità con l'effetto arco che riveste un'importanza minore rispetto a quella delle mensole. Il rapporto P_a / P_m (carico assorbito dall'arco e dalla mensola) è infatti relativamente basso, variando da 0.05 (livello idrostatico a quota 37.5 msm) ad un massimo di 0.4 (livello idrostatico a quota 66 msm).

La volta poggia per l'intero sviluppo sopra un pulvino, il quale, presso l'imposta sinistra, assume proporzioni di un concio a gravità.

La sezione maestra della diga è illustrata nella seguente figura 2.

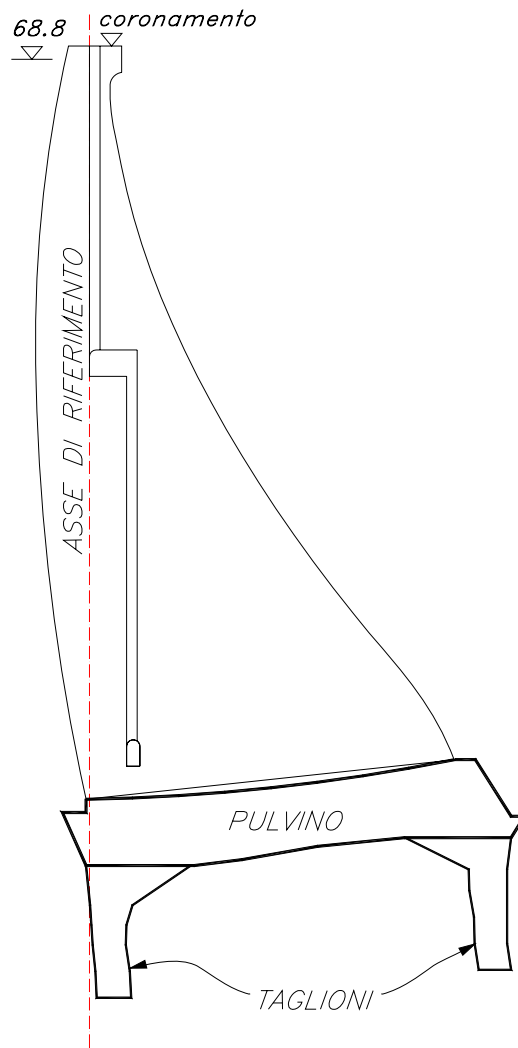


fig. 2: sezione maestra della diga

La diga è provvista di quattro SCARICHI, di cui attualmente solo uno, lo scarico di alleggerimento, regolato da organi di manovra.

Lo scarico di FONDO è costituito da una galleria di 6 m di diametro e 280 m di lunghezza, con imbocco libero a quota (soglia) 15.8 m.s.m e può esitare una portata massima di 600 m³/s.

Lo scarico di ALLEGGERIMENTO è costituito da una galleria di 5 m di diametro e 390 m di lunghezza, regolato da due paratoie piane disposte in serie su una luce 2.8 x 3.8 m e soglia a quota 24.8 m.s.m. La massima portata scaricabile è di 375 m³/s.

La diga è inoltre provvista di due scarichi di SUPERFICIE di cui il primo è di tipo a CALICE con soglia a quota 68.15 msm. Detto sfioratore è collegato verticalmente alla galleria dello scarico di alleggerimento ed ha quindi una incidenza piuttosto limitata quando le paratoie dello scarico di alleggerimento sono completamente aperte. Con paratoie chiuse può smaltire una portata massima di 150 m³/s. La torre dello sfioratore ha altezza fuori terra di 15.5m, diametro massimo di 12.2m e minimo nel pozzo di 4.0m.

Lo sfioratore di soccorso in spalla sinistra di tipo superficiale a scivolo ha scarsa efficacia dato il modesto sviluppo della soglia (12 m, con una luce utile di 10,5 m²).

3. ATTIVITÀ PER IL COLLAUDO

Le tre fasi principali di intervento finalizzate al collaudo statico della diga comprendono : installazione della strumentazione, stabilizzazione delle spalle, realizzazione delle opere di presidio dello scarico di fondo.

3.1 STRUMENTAZIONE

Il progetto della strumentazione di monitoraggio della diga e' stato realizzato in due fasi: la prima, completata, comprendeva l'installazione del centro di controllo e delle periferiche di acquisizione della diga, a ciascuna delle quali erano asserviti un certo numero di sensori; la seconda fase, in avvio, prevedera' l'estensione del monitoraggio ai sottobacini circostanti, per la centralizzazione delle informazioni di piovosità e portata degli affluenti, nell'ottica di estrapolarne, nel tempo, delle previsioni di piena.

Il sistema di monitoraggio in tempo reale della diga di Monte Crispu (sono in corso alcuni interventi di integrazione) e' attualmente basato su su 5 unita' periferiche di acquisizione e controllo connesse in fibra ottica/trasmissione Uhf al front-end presente in casa di guardia.

Le prime tre periferiche, situate nel corpo della diga a tre differenti quote (coronamento, camera centrale e cunicolo inferiore), centralizzano l'acquisizione di un totale di circa 300 sensori, tra cui:

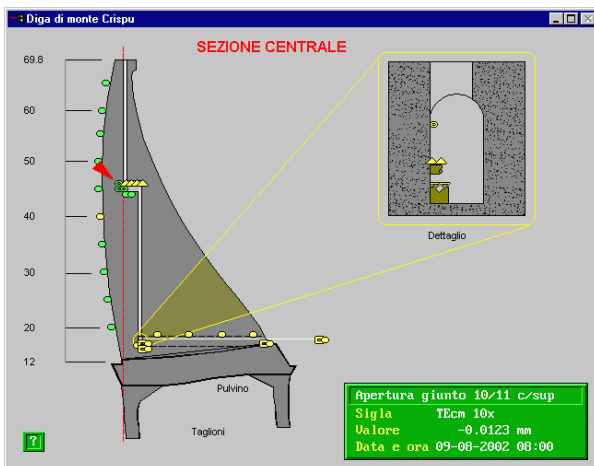
- estensimetri a corda vibrante, posizionati a cavallo dei giunti sul paramento di monte, su quello di valle (due livelli) e nei cunicoli della diga, dove sono installati in configurazione triassiale; sono dotati di compensazione automatica della temperatura;
- piezometri a corda vibrante, posizionati lungo il cunicolo inferiore e trasversalmente in corrispondenza della sezione maestra della diga; monitorizzano il comportamento della falda ed il suo abbattimento a valle dello schermo;
- misuratori di livello a corda vibrante, installati nella camera inferiore dello sbarramento, rilevano il livello idrico dell'invaso;
- manometri a tubo di Bourdon, installati lungo i cunicoli di ispezione, controllano la pressione idrica nelle canne di drenaggio;
- sensori termometrici per acqua e da calcestruzzo, controllano, i primi, la temperatura dell'acqua ai vari livelli di vaso, ed i secondi le variazioni termiche all'interno della struttura;



- pendoli (diritto e rovescio), installati nella camera centrale della diga (sezione maestra), con ancoraggio in fondazione e sul coronamento, sono dotati di tele-coordinometro ed acquisiscono in continuo i movimenti della diga;
- clinometri a livella torica e tiltometri elettronici, installati in due postazioni agli estremi del cunicolo centrale, rilevano i movimenti della diga;
- stramazzi con sensore a galleggiante, installati sui due canali di raccolta dei drenaggi, ne misurano l'andamento del livello.



A ciascun sensore e' associato un sistema di misura manuale per controllo e taratura ed ogni singola misura e' acquisibile localmente con una centralina portatile, onde poter by-passare, a fini diagnostici, la periferica di zona e la relativa attivita' di conversione da unita' fisiche ad unita' ingegneristiche.

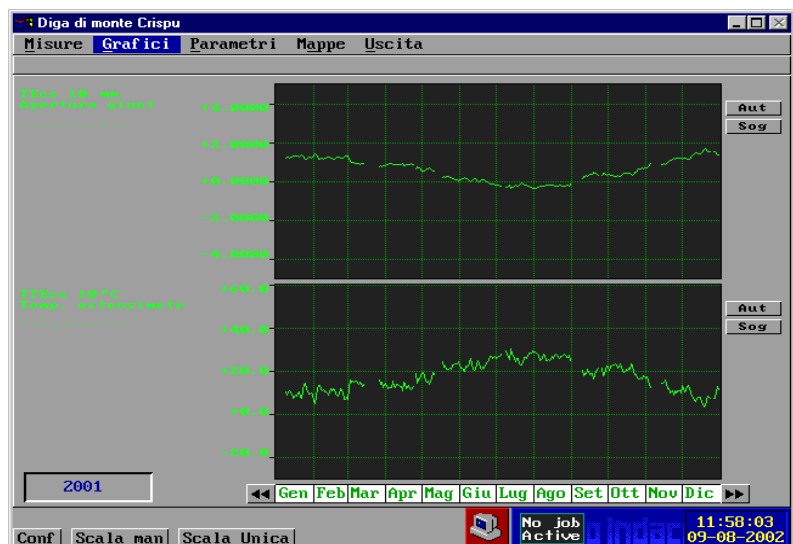


Una quarta periferica, installata a valle della diga, trasmette via radio al centro di controllo le informazioni sulle portate esitate dalle due gallerie di scarico.

La quinta periferica, installata in un manufatto vicino alla casa di guardia, acquisisce e trasmette via cavo al front-end i parametri meteo, quali piovosità, temperatura, pressione, intensità e direzione del vento.

L'impianto e' localmente completato da un sistema di collimazione ottica basato su un dispositivo collimatore a forte ingrandimento (80x) che traguarda, da posizioni fisse prestabilite in destra idrografica, punti di azzeramento in spalla sinistra ed una serie di 5 mire registrabili di precisione installate su altrettanti pilastri monumentati sul coronamento.

La fase di integrazione, attualmente in avvio, comprendera' l'installazione di un ulteriore gruppo di 8 periferiche remote, radio-connesse al front-end, per l'invio di informazioni relative alla piovosità in varie zone del bacino ed alla portata degli affluenti principali del fiume Temo.



3.2 STABILIZZAZIONE SPALLE

Gli interventi di stabilizzazione delle spalle sinistra e destra della diga si sono resi necessari per risolvere i problemi di dissesto superficiale che caratterizzavano la formazione trachitica/trachi-andesitica affiorante sulla parte alta d'imposta della diga.

La situazione sulle due spalle, con affioramenti differenziati in parte dal chimismo di formazione e più marcatamente dall'assetto geostrutturale, ha reso necessari interventi sostanzialmente differenti.

In spalla sinistra l'intervento prevede quattro fasi :

- disgaggio degli elementi instabili
- raccolta e allontanamento delle acque superficiali
- riprofilatura del versante con geometrie stabili (alla scala del versante) ;
- stabilizzazione delle scarpate con tecniche differenti in funzione delle caratteristiche degli affioramenti (interventi alla scala della banchina) ;

Il detensionamento e la perdita di contrasto al piede creata dagli scavi per la costruzione della diga aveva creato nel tempo, complice l'incontrollata infiltrazione delle acque meteoriche, una condizione di dissesto distribuita su un ampio arco della formazione trachitica presente.

Tale formazione è caratterizzata da un'intensa fratturazione generata dall'interferenza delle due famiglie principali di fratture (sub-verticali ed a circa 90° tra loro) con i giunti di stratificazione, marcatamente inclinati a franapoggio. Da tale assetto risultava frequente il distacco di grosse masse prismoidi secondo una dinamica di toppling, piuttosto che, in taluni casi, il collasso verticale per scivolamento al piede lungo il giunto di strato.

La figura successiva mostra la situazione generale della spalla prima dell'intervento: un largo anfiteatro, a monte dello sbarramento, mostra un fronte in dissesto attivo per distacco roto-traslazionale, in arretramento.



L'intervento di stabilizzazione effettuato (attualmente in completamento, vedi foto successiva) ha previsto la riprofilatura del fronte e la creazione di 4 banchine per il risanamento della parte alta della formazione.

Ancoraggi attivi e passivi, orientati in modo da ottimizzare l'effetto di cucitura delle discontinuità, e pannelli di reti in fune d'acciaio completano la stabilità alla scala della banchina.

La canalizzazione e l'allontanamento delle acque meteoriche dal versante esposto sono un elemento essenziale per garantire la stabilità globale della banchina controllando le pressioni interstiziali.

La parte bassa del versante (tra le quote 85 e 35 m s.l.m.) viene riprofilata con un rilevato a pendenza regolare formato da roccia frantumata proveniente dagli scavi compattata con rullatura e con un rilevato in calcestruzzo ciclopico al piede. Il rilevato sarà coperto con terreno vegetale per rinaturalizzare l'area.



L'intervento di rinaturalizzazione minimizza l'impatto ambientale e protegge dall'erosione la scarpata e viene effettuato mediante idrosemina con la tecnica del "Nero-Verde" (supportato da una geogriglia in aderenza) ed una geostuoia biodegradabile con successiva piantumazione di essenze della macchia mediterranea.

L'intervento in spalla destra, dove erano presenti fenomeni di instabilità localizzati e di modesta entità (vedi foto) e' stato invece basato sul disgreggio degli elementi minori instabili e sull'ancoraggio puntuale di quelli di maggiori dimensioni con pannelli di reti in funi d'acciaio assemblate con funi di bordo ed ancoraggi speciali in roccia e successiva orditura sovrapposta, a losanga, in funi d'acciaio tensionate e registrabili.



3.3 PRESIDIO SCARICO di FONDO

Lo scopo del progetto è la realizzazione delle opere necessarie per l'intercettazione e la regolazione delle portate effluenti attraverso lo scarico di fondo della diga. Ciò consente la realizzazione degli invasi sperimentali necessari al collaudo della diga, sia una regolazione delle portate rilasciate nel fiume Temo a valle della diga nel corso di eventi di piena. Il layout del progetto è illustrato nelle seguenti figure 3 e 4.

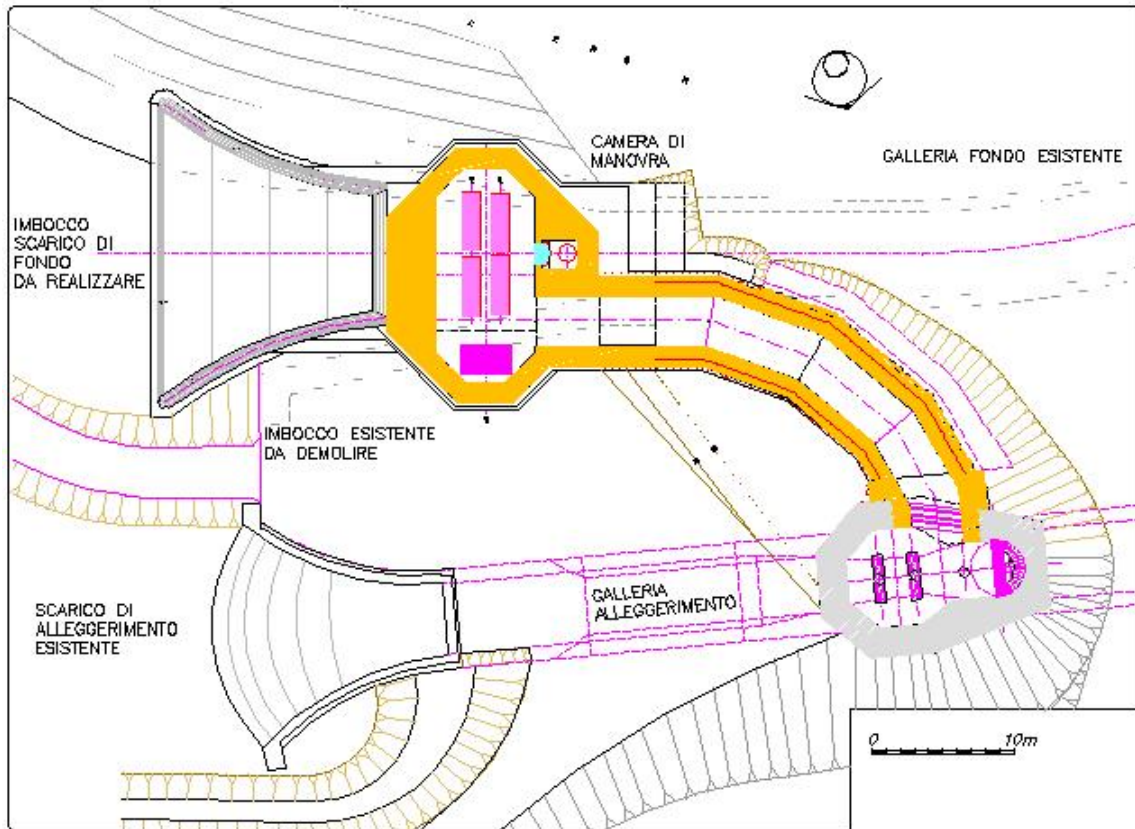


Figura 3: Planimetria degli interventi

L'imbocco dello scarico di fondo è costituito da una soglia con profilo tipo Ogee a quota 24.70 m.s.m, da muri laterali convergenti con sommità a quota 28.0 m.s.m e da un profilo superiore anticavitazione tipo bell-mouth.

La camera delle paratoie ha pianta di forma poligonale circoscrivente un'ellisse di assi 15 m x 7 m, con piano di manovra a quota 26.30 m.s.m.

Nella camera di manovra sono alloggiati i quattro cilindri oleodinamici ed i relativi componenti ed accessori per la manovra delle paratoie. Lo scarico di fondo è regolato da quattro paratoie piane, per l'intercettazione e la regolazione delle portate effluenti attraverso la galleria (vedi figura 5).

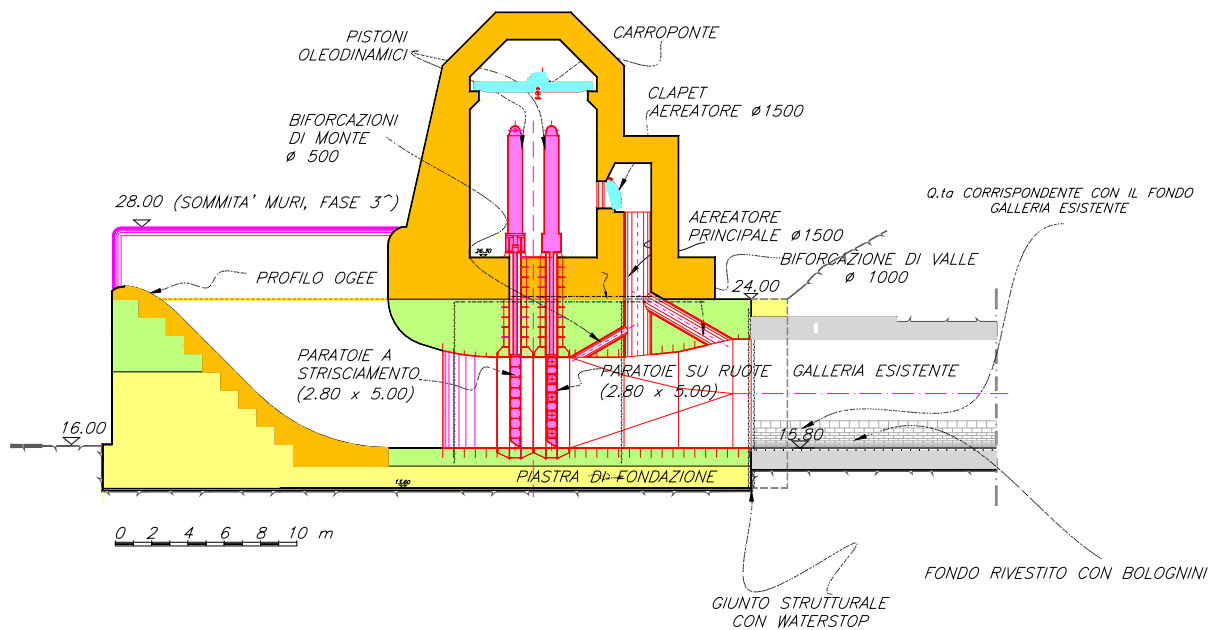


Figura 4: Profilo longitudinale

Dette paratoie, di sezione 2.8 x 5 m ciascuna, sono disposte a due a due in serie sulle due luci dello scarico:

- le paratoie di monte, a strisciamento, sono di guardia e vengono manovrate, in condizioni normali di esercizio, a carico equilibrato;
- quelle di valle, su rulli, hanno la funzione di intercettazione e di regolazione e vengono manovrate a carico squilibrato.

Ciascuna delle quattro paratoie è azionata da un servomotore oleodinamico, comandato localmente dalla centralina oleodinamica, in modo remoto dalla casa di guardia e periferico dalla camera di manovra.

Dal piano di calpestio della Camera di Manovra è possibile accedere alla Camera del By-Pass attraverso una apertura di 2 x 3.5 m mediante una scala alla marinara di c.a. 7 m di altezza, in acciaio zincato, con gabbia di protezione.

Il Sistema di By-Pass ha le funzioni di:

- rilascio in galleria (e quindi in alveo) del deflusso minimo vitale;
- equilibratura delle pressioni a monte e a valle delle paratoie a strisciamento nella manovra di apertura;
- scarico di esaurimento del serbatoio.

Per consentire l'accesso alla camera di manovra dello scarico di fondo verrà realizzata una galleria artificiale che collega la detta camera con quella esistente dello scarico di alleggerimento.

Tale galleria ha uno sviluppo lineare di circa 30 m e dimensioni interne di 3.5 x 4 m.

L'adeguamento dello scarico di fondo, così come progettato, consentirà la regolazione delle portate non alterando tuttavia la capacità massima di deflusso dello scarico stesso.

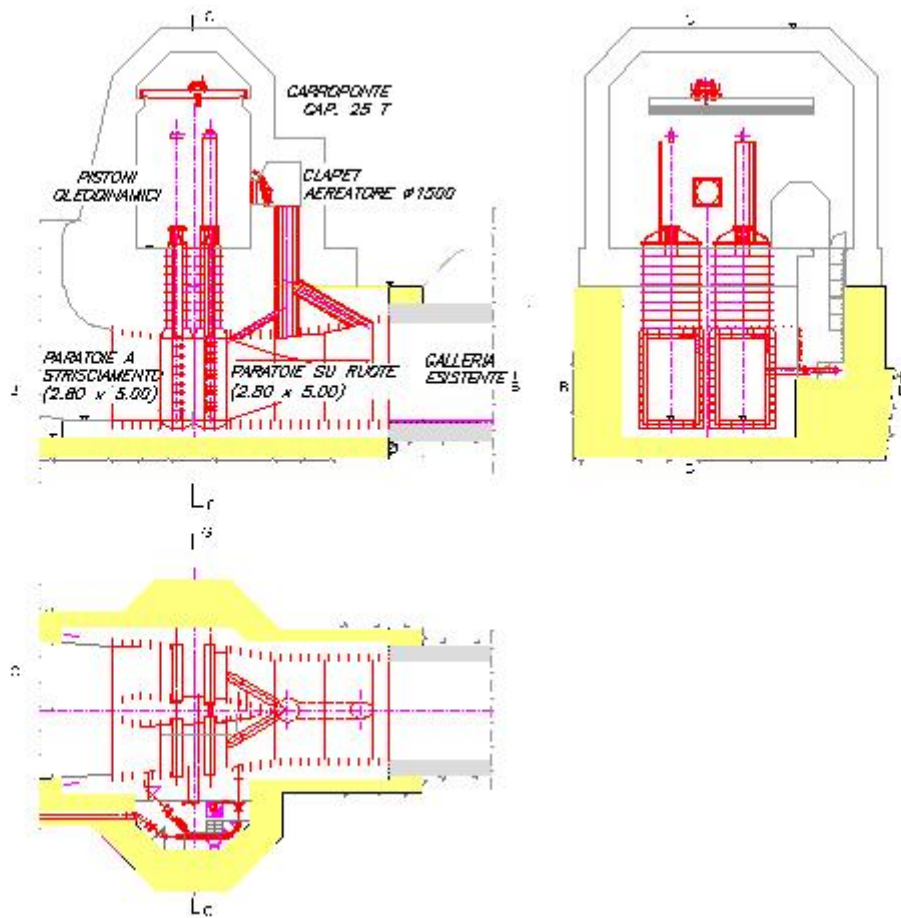


Figura 5: Sezione sulle paratoie

4. CONCLUSIONI

Gli interventi pianificati ed eseguiti in questi ultimi anni e quelli attualmente in completamento consentiranno a breve il recupero alla piena efficienza di un'opera importante, aumentandone nel contempo le funzioni e la fruibilità'.

I criteri alla base degli interventi sono stati quelli di garantire :

- l'adeguamento delle condizioni di sicurezza della diga con gli interventi di risanamento dei versanti in dissesto e l'installazione di un moderno ed articolato sistema di monitoraggio
- il pieno funzionamento dell'opera, come prevista nel progetto originario, per la protezione completa della città di Bosa dalle piene
- la possibilità di un utilizzo dell'opera per consentire inoltre l'invaso di una preziosa risorsa idrica.

Questo fatto non deve essere inteso solo nell'ottica, piu' ovvia, di costituire una riserva idrica per la città di Bosa, ma anche in quella di regolarizzare gli afflussi al Temo nei periodi piu' critici.

E' infatti noto che il mancato rilascio di una portata minima in alveo dalla diga (a monte) di Monteleone Roccadoria, in concomitanza con l'emungimento da pozzi troppo superficiali nella zona di valle ha determinato nel tempo l'ingressione del cuneo salino all'interno del territorio. Questo fenomeno, soggetto, a causa di meccanismi osmotici, ad una scarsa reversibilità', e' un elemento di grande impatto ambientale e non va sottovalutato.

Gli interventi in fase di completamento sulla diga di Monte Crispu, mantenendo l'originaria capacità di laminazione delle piene (ed incrementandone notevolmente l'efficacia, grazie all'intervento sullo scarico di fondo), consentiranno sia di invasare il quantitativo d'acqua utile a risolvere i problemi di carenza idrica estiva, sia di tamponare l'impoverimento della falda a valle nei periodi critici, potendo rilasciare una portata di supporto al fiume Temo e contrastando quindi l'ingressione salina.

