



Diga S. Giacomo di Fraele

Intervento di Manutenzione Conservativa

Ingg. Paolo Valgoi e Roberto Castellano – A2A S.p.A./Generazione/Impianti Idroelettrici

Bormio, 26 settembre 2019

┌ CICLO INVESTIMENTI 1998 - 2006

┌ INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELL'OPERA

┌ GESTIONE DEL SERBATOIO E LIMITAZIONE DI INVASO

┌ OBIETTIVI INTERVENTO E CRONISTORIA PROGETTUALE

┌ DISTRIBUZIONE DELLE SOTTOPRESSIONI

┌ ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO

┌ ATTIVITÀ AGGIUNTIVA: IMPIANTO ANTIGHIACCIO

CICLO DI INVESTIMENTI 1998-2006

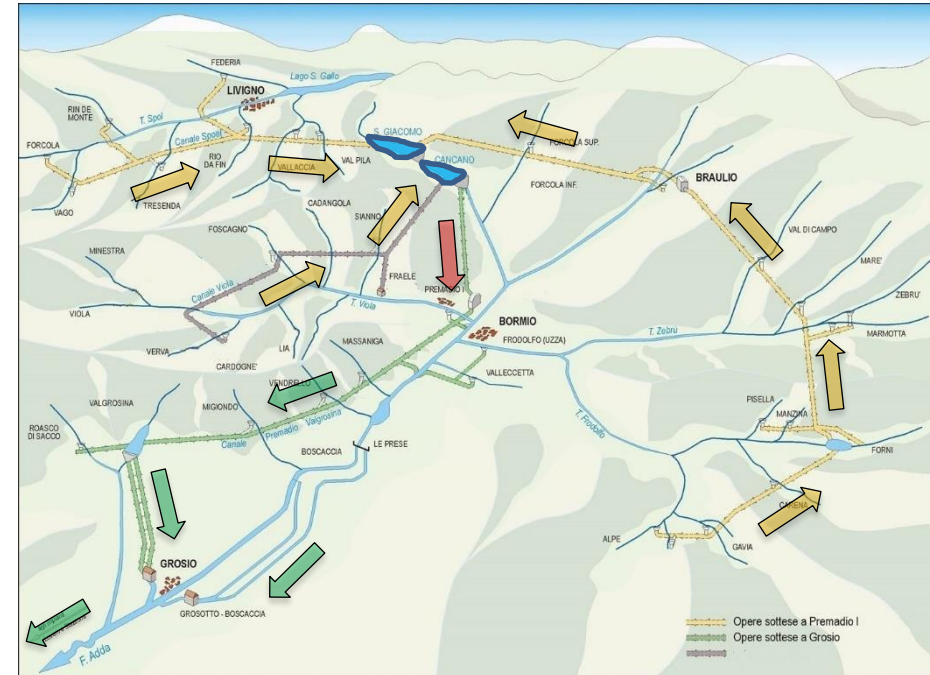
POTENZIAMENTO IMPIANTI VALTELLINA



Il sistema idroelettrico A2A in Valtellina fu realizzato in gran parte con un ciclo di investimenti effettuato dal 1930 al 1960.

Fino agli anni '90 era costituito principalmente da:

- 2 serbatoi stagionali contigui con capacità limitata a circa 170 milioni di m³ per problematiche diga San Giacomo;
- 3 canali di gronda di captazione delle acque (Spoel, Forni-Braulio, Viola), con Canale Viola ormai inadeguato;
- alimentazione dell'intera asta idroelettrica a valle dei serbatoi tramite una sola galleria di derivazione e una sola condotta forzata;
- potenza circa 580 MW e produzione energetica media circa 1850 GWh/anno.

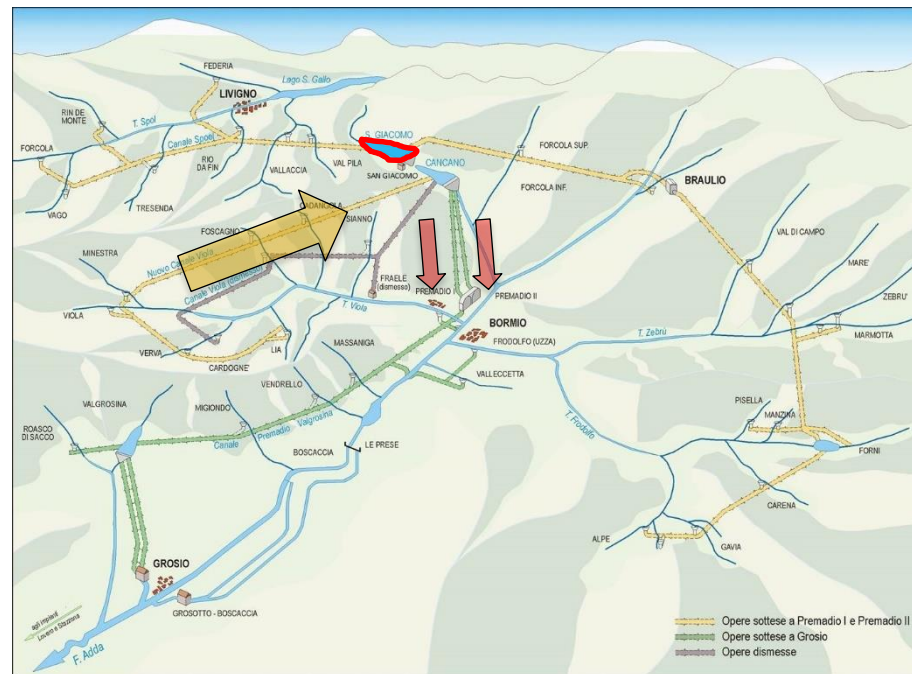


Scopi del “nuovo ciclo” 1998-2006 di investimenti idroelettrici:

- risanare le criticità riscontrate su Canale Viola e diga di San Giacomo, incrementando la capacità di invaso e quindi la potenza installata, potendo così riqualificare la produzione energetica da ore meno pregiate a ore più pregiate;
- aumentare l'affidabilità mediante il raddoppio della galleria di derivazione e della condotta forzata di Premadio;
- incrementare la produzione di energia a parità di risorsa idrica utilizzata.

CICLO DI INVESTIMENTI 1998-2006

POTENZIAMENTO IMPIANTI VALTELLINA

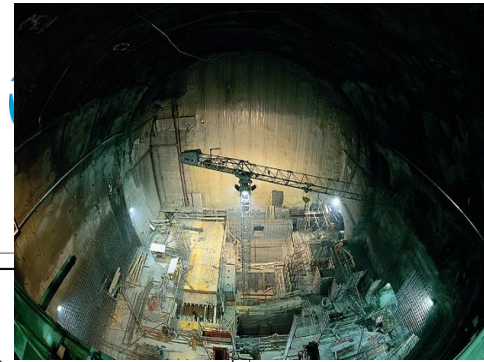


Dopo il nuovo ciclo di investimenti il sistema è costituito da:

- 2 serbatoi stagionali contigui con capacità ripristinata a circa 185 milioni di m³;
- 3 canali di gronda di captazione delle acque (di cui Canale Viola interamente rifatto ed adeguato);
- alimentazione dell'intera asta idroelettrica dai serbatoi tramite due gallerie di derivazione e due condotte forzate, ciascuna in grado di alimentare l'intero sistema con realizzazione dell'impianto di Premadio II;
- potenza circa 800 MW (+ 35%) e produzione energetica media circa 2000 GWh/anno a parità di risorsa idrica utilizzata.

CICLO DI INVESTIMENTI 1998-2006

POTENZIAMENTO IMPIANTI VALTELLINA



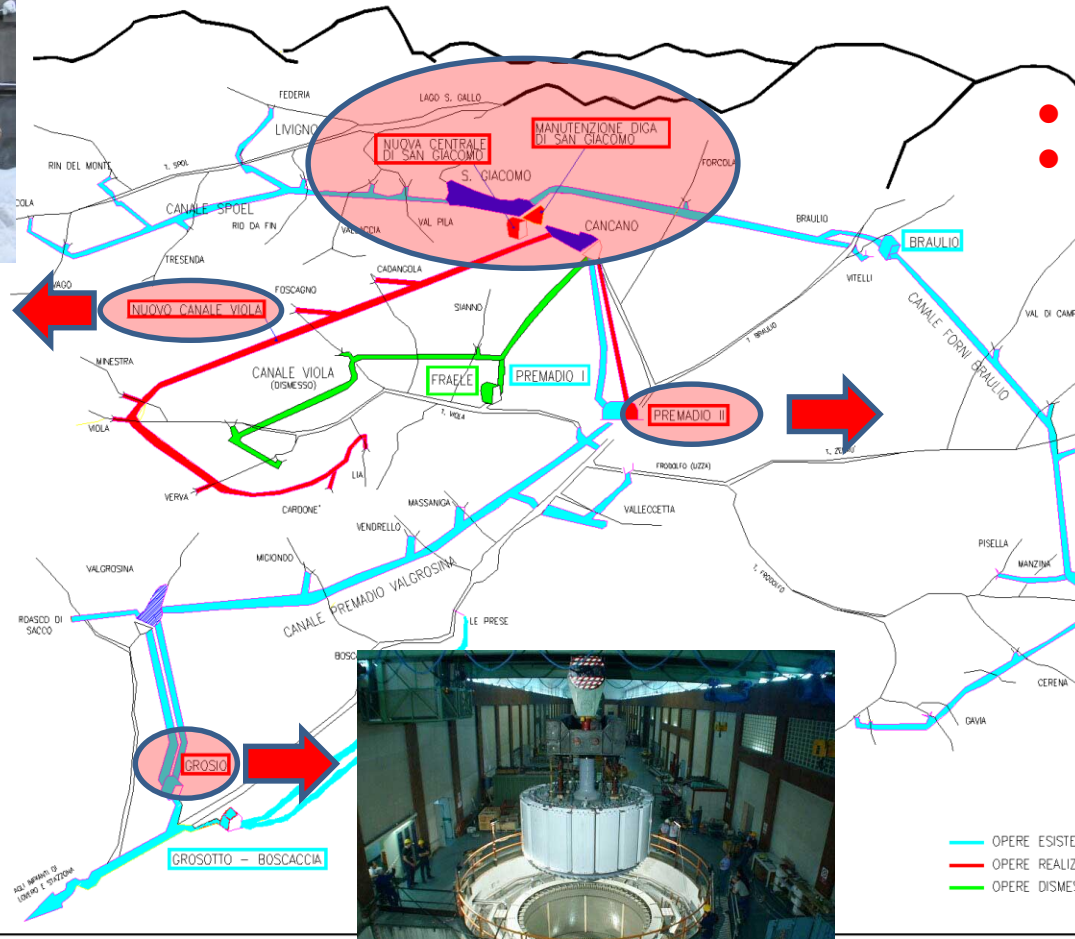
- ampliamento caverna
- nuova derivazione 3 km



- nuova C.F. $\varnothing=2100$
L=1000 m



- 3° Gruppo 79 MW



- 4° Gruppo 110 MW

5



- tunnel 20 km



- 7 opere di presa



- 400 kW

CICLO DI INVESTIMENTI 1998-2006

POTENZIAMENTO IMPIANTI VALTELLINA



PRIMA:

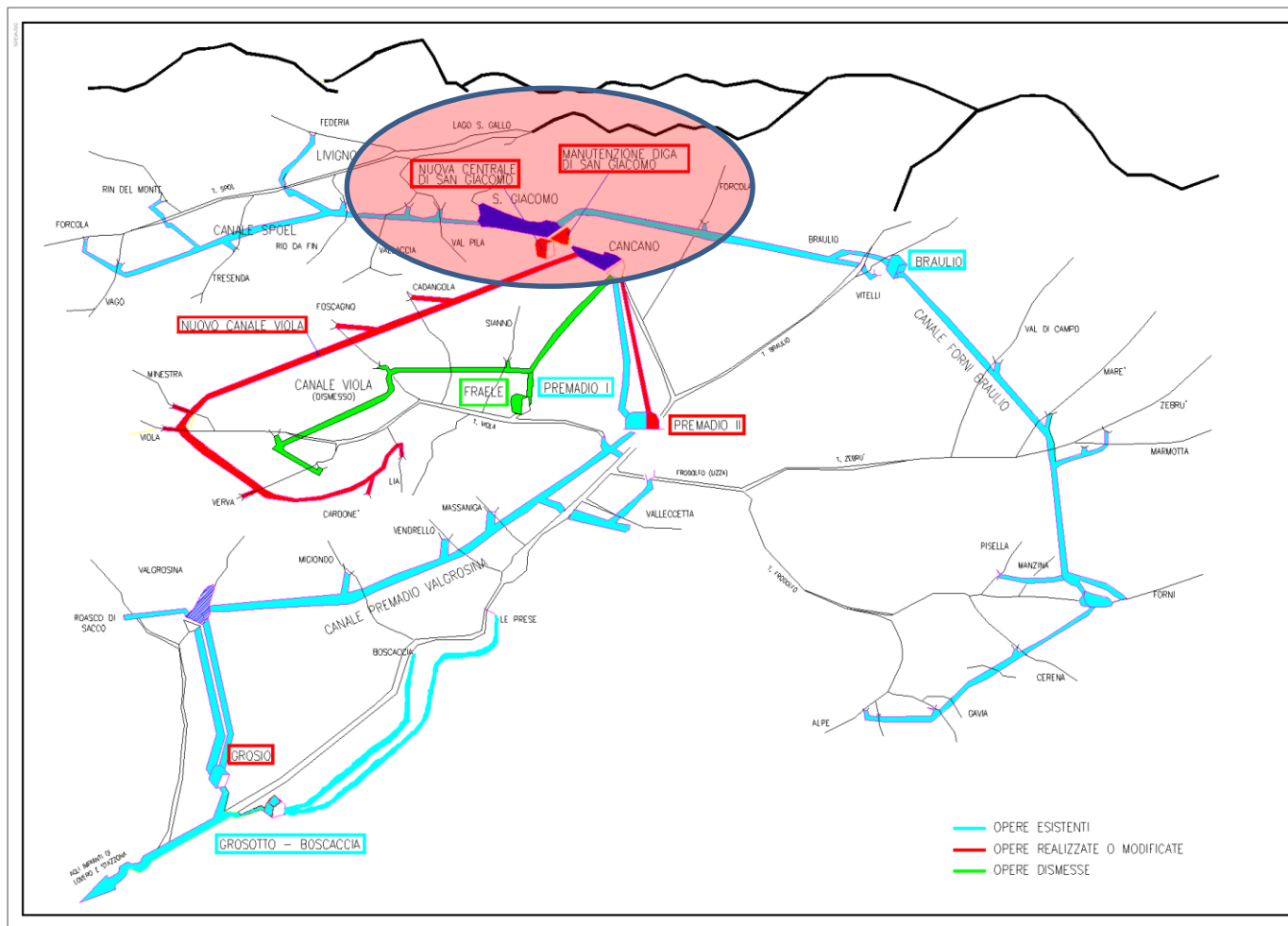
~ 580 MW
~ 170 Mm3 invasi
~ 1850 GWh annui

DOPO:

~ 800 MW
~ 185 Mm3 invasi
~ 2000 GWh annui

>> affidabilità
adduzione idraulica

> Ken (sfruttamento
salto tra laghi e
migliori rendimenti
idraulici e di turbine)

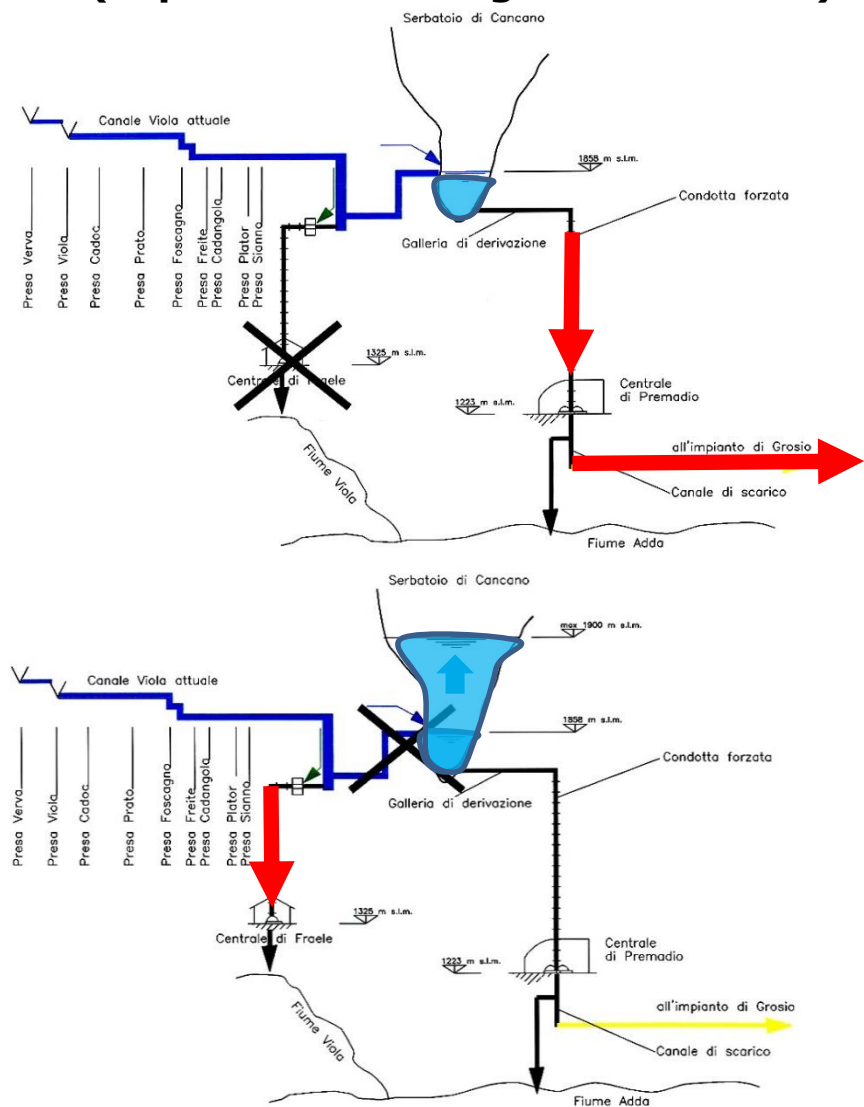


CICLO DI INVESTIMENTI 1998-2006

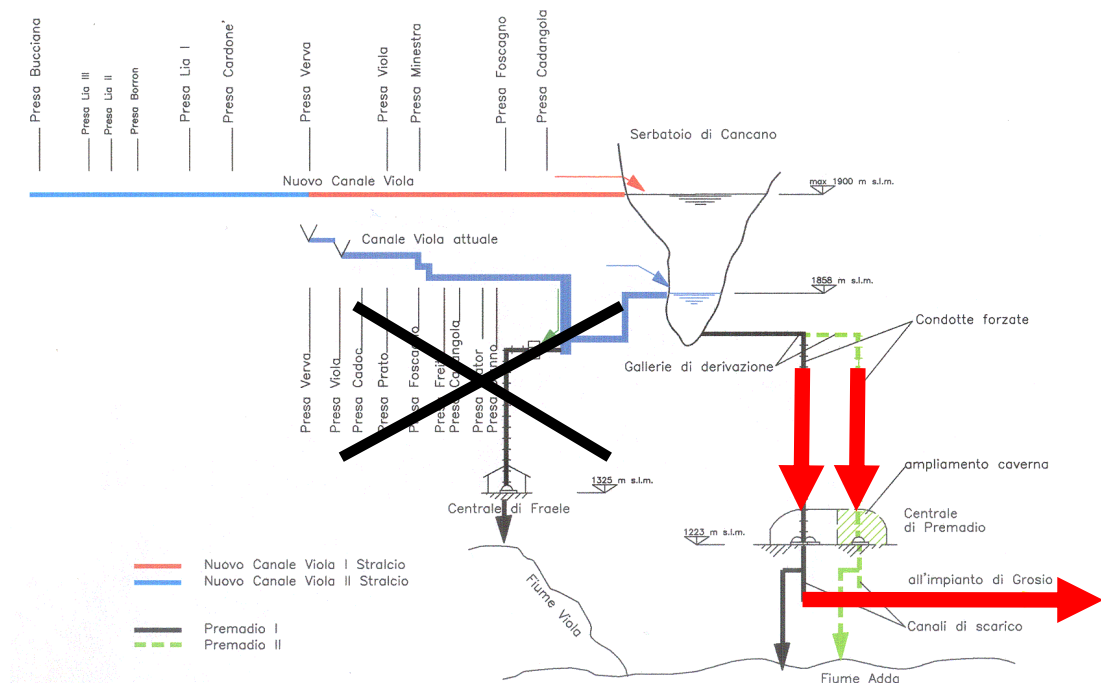
POTENZIAMENTO IMPIANTI VALTELLINA – focus su NCV



VECCHIO CANALE VIOLA (superficiale e con gravi cedimenti)

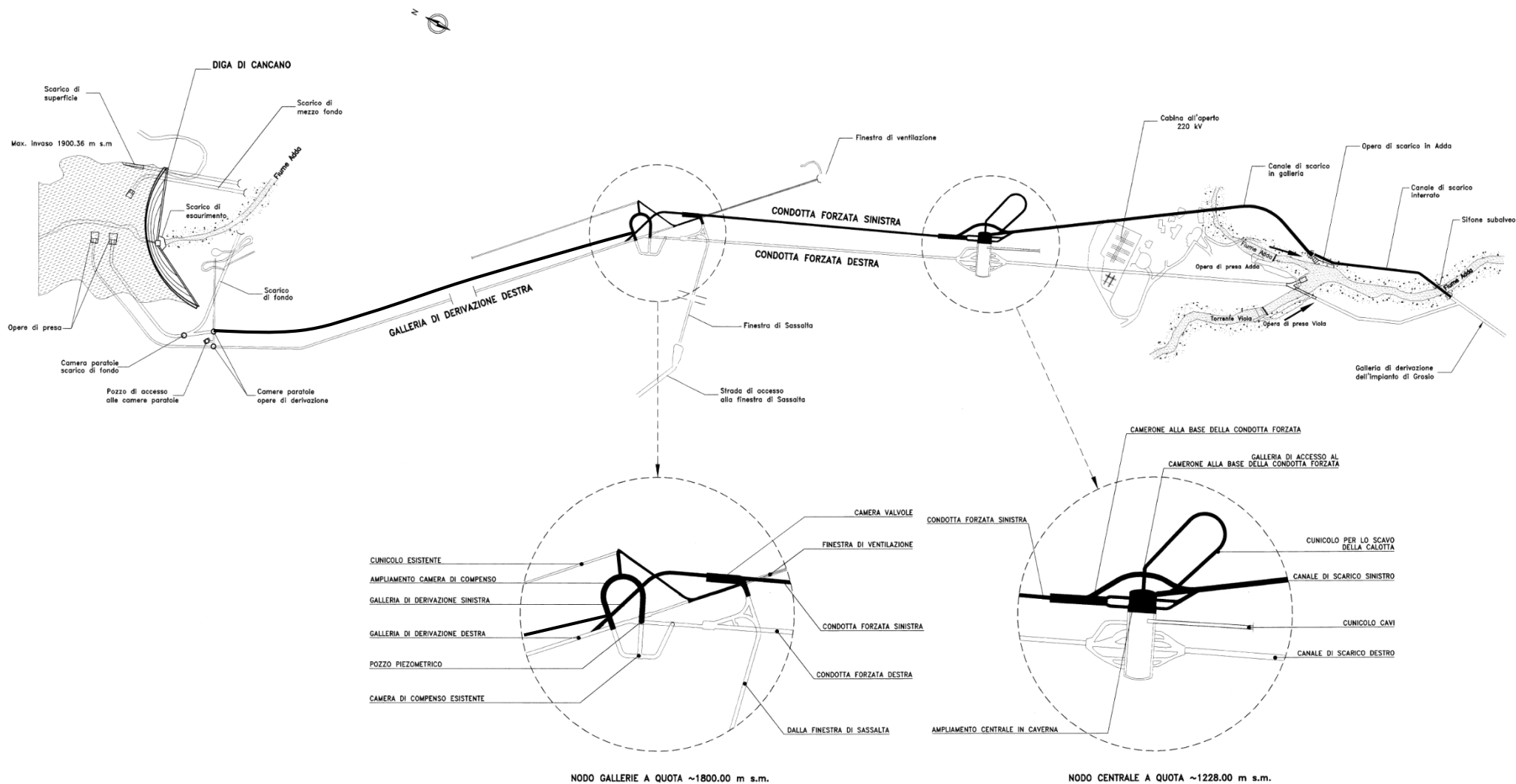


NUOVO CANALE VIOLA



CICLO DI INVESTIMENTI 1998-2006

POTENZIAMENTO IMPIANTI VALTELLINA – focus su PR-II

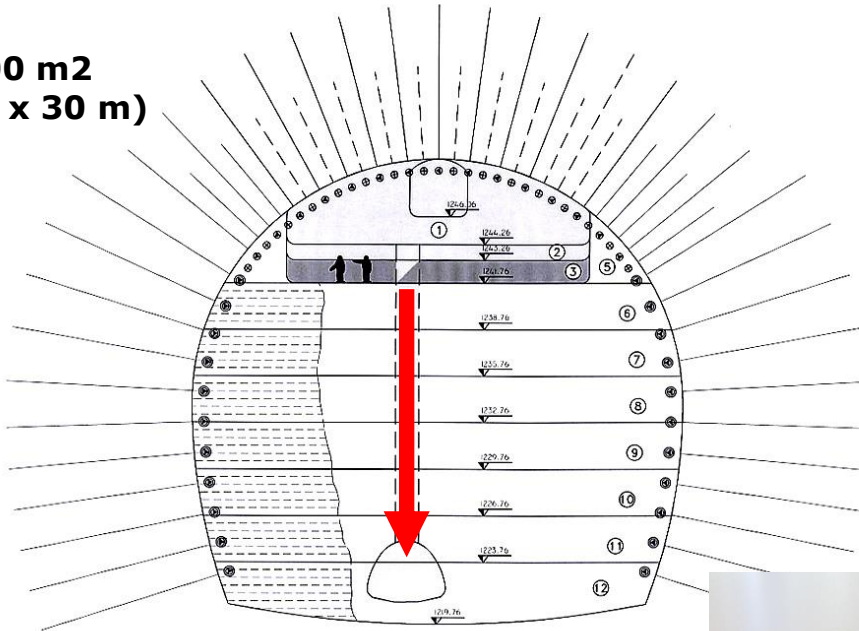


CICLO DI INVESTIMENTI 1998-2006

POTENZIAMENTO IMPIANTI VALTELLINA – focus su PR-II



900 m²
(30m x 30 m)



Avanzamento scavi dall'alto verso il basso con minimizzazione dei disturbi della roccia in banco e conseguente sostegno solo mediante tiranti (non necessario il rivestimento della volta in cls).

Si evitano impatti su disponibilità dei Gruppi esistenti.

Smarino dall'alto verso il basso nel nuovo canale di scarico



Rodheader = fresa puntuale



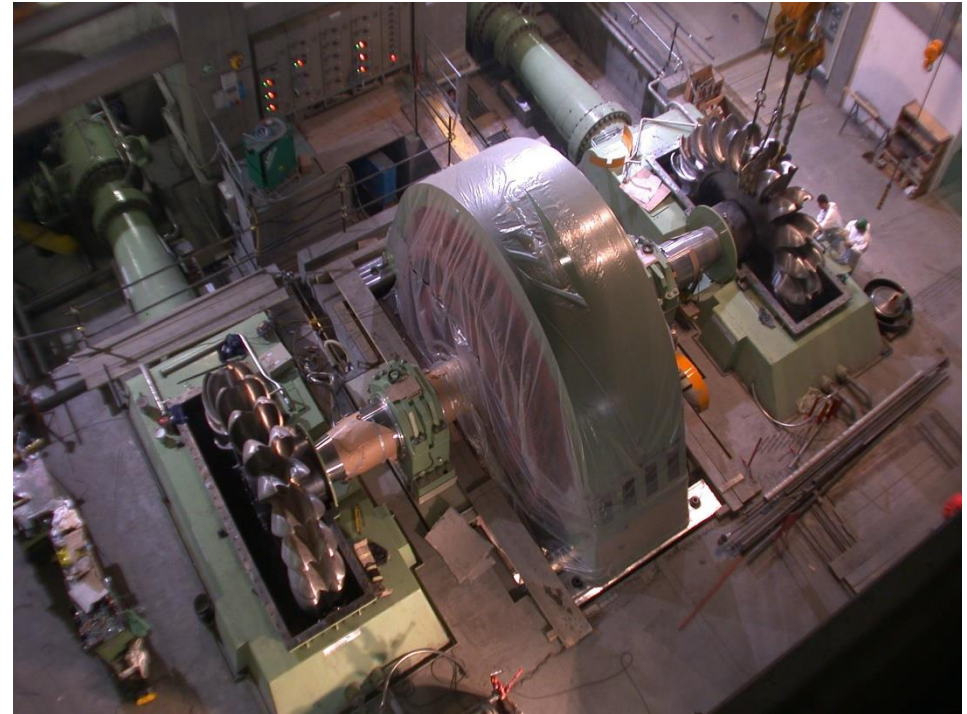
esempio di «Picco fresante» dopo usura per scavo, mostratosi adeguato pur in presenza di roccia metamorfica (Filladi di Bormio) con elevata quantità di quarziti abrasive (ogni picco scavò ~5 m³ roccia in banco)

CICLO DI INVESTIMENTI 1998-2006

POTENZIAMENTO IMPIANTI VALTELLINA – focus su PR-II



**Ampliamento caverna di centrale
in fase di completamento**



**Installazione nuovo Gruppo 3
da 79 MW con giranti Pelton**

INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELL'OPERA



Diga di San Giacomo di Fraele



Diga rettilinea a gravità a speroni

- Altezza (ai sensi L. 584/94): 83,50 m
- Quota del coronamento: 1951,50 m s.m.
- Sviluppo del coronamento: 970,50 m
- Volume della diga: 616'000 m³
- Volume d'invaso: 64 Mm³

Diga di Cancano



Diga ad arco-gravità

- Altezza (ai sensi L. 584/94): 125,80 m
- Quota del coronamento: 1902,00 m s.m.
- Sviluppo del coronamento: 381,00 m
- Volume della diga: 513'000 m³
- Volume d'invaso: 124 Mm³

H max controinvaso di Cancano su San Giacomo: 35 m

INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELL'OPERA

DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE



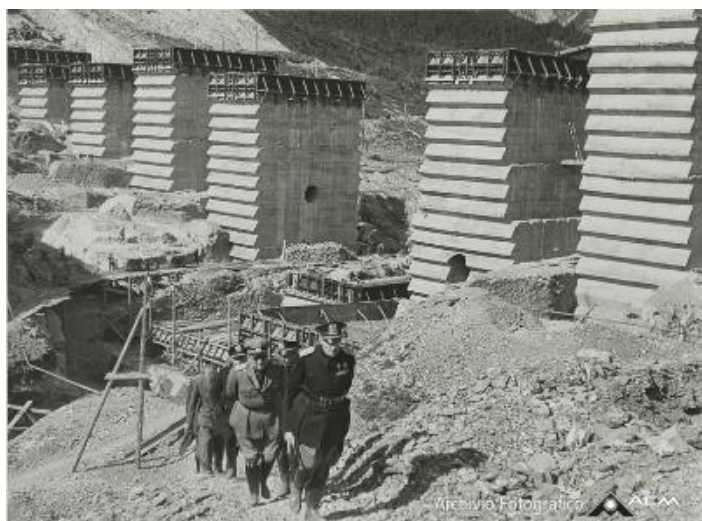
- **Tipologia:** diga principale rettilinea a gravità a speroni con 2 dighette laterali (Vallone e Val Pens) a gravità ordinaria, raccordate da muri a gravità a pianta arcuata.

1. Periodo di costruzione: (1938 ÷ 1950)
2. Bacino imbrifero diretto: 18,7 Km²
3. Bacino imbrifero allacciato: 255,6 Km²
4. Speroni: n. 25 ad interasse 15 m
5. Argine di tenuta in coda al lago
6. Organi di scarico



INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELL'OPERA

FOTO D'EPOCA COSTRUZIONE

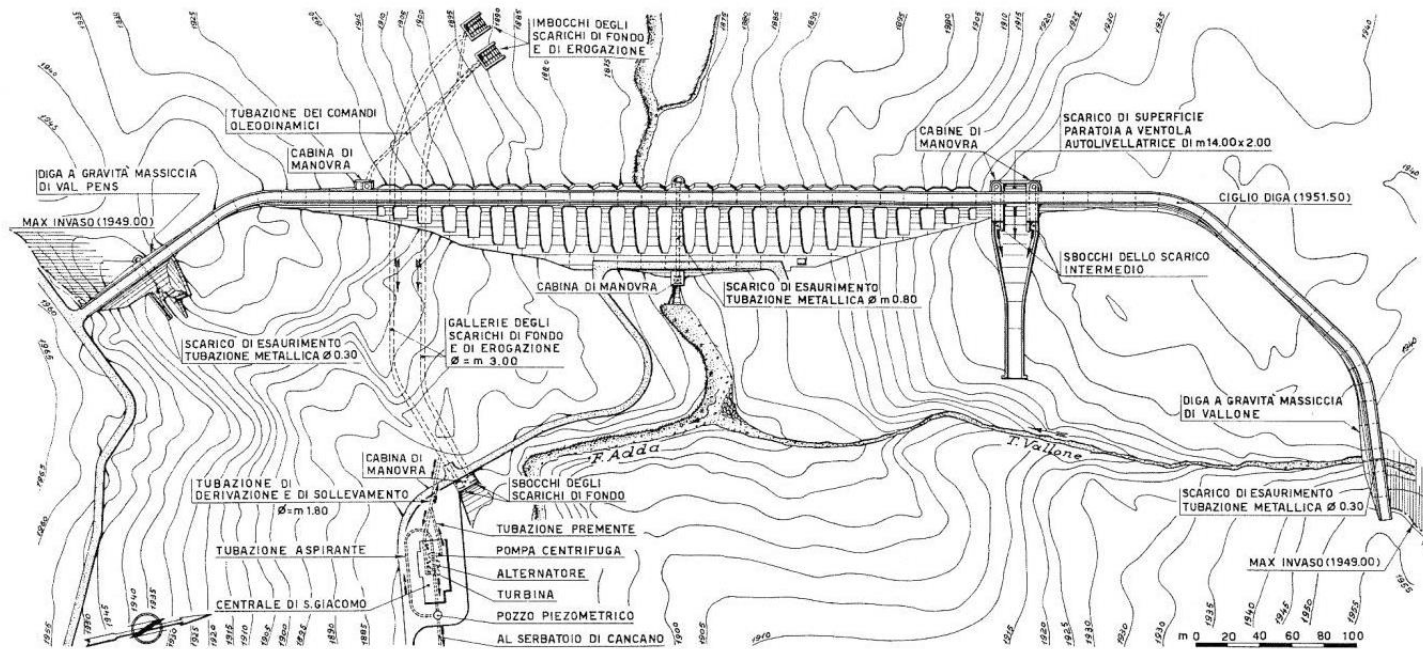


INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELL'OPERA

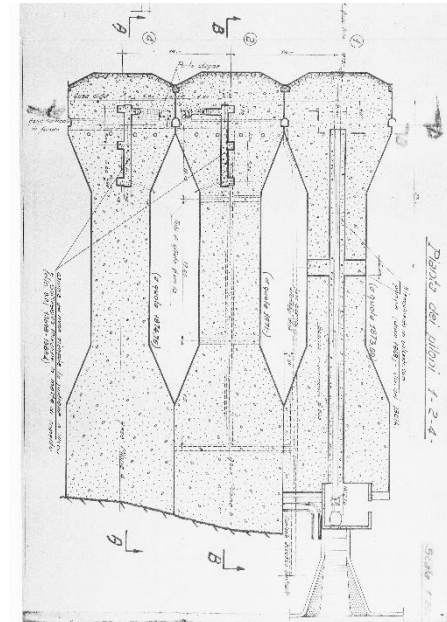
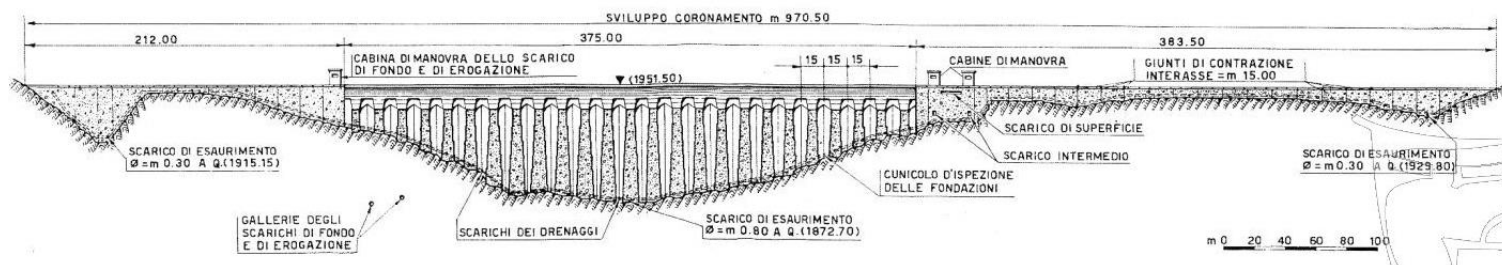


DISEGNI DIGA

PLANIMETRIA



SEZIONE LONGITUDINALE
VISTA DA VALLE

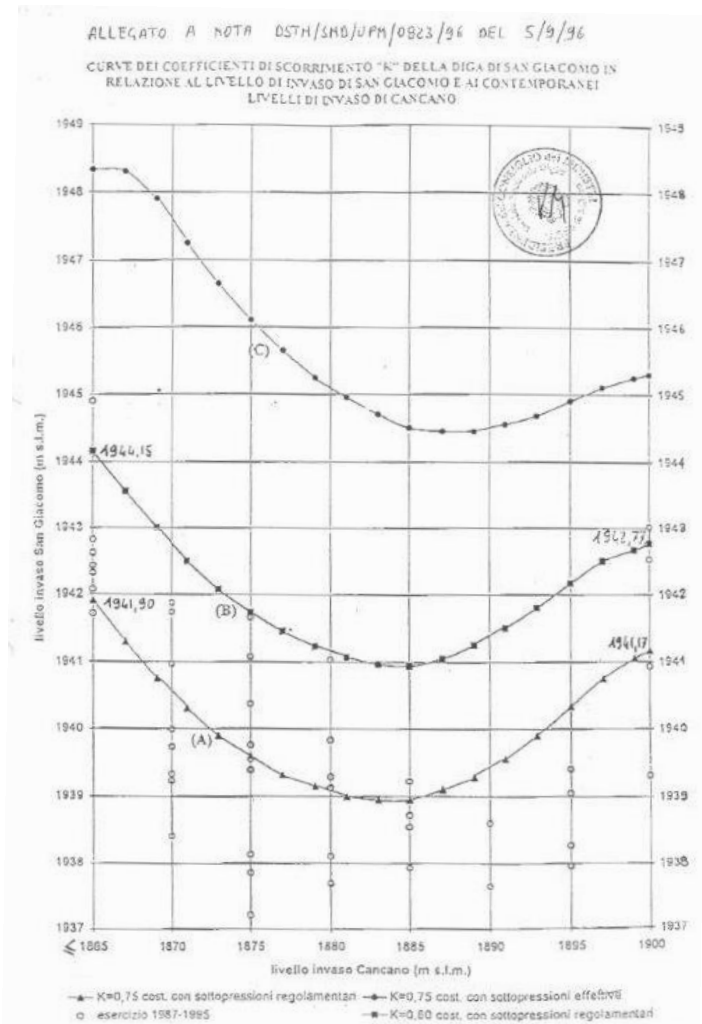


INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELL'OPERA



DIGA PRIMA DEGLI INTERVENTI: CONTROINVASO





La **Figura** riporta le curve con coefficiente di scorrimento $k = 0.75$ e $k = 0.80$ nel piano cartesiano definito dalle combinazioni delle quote di invaso di San Giacomo (in ordinata) e le quote di invaso di Cancano (in ascissa).

- In particolare:
- curva A: massimo invaso raggiungibile in condizioni normali (calcolato con coefficiente di scorrimento $k = 0.75$) con distribuzione di sottopressioni regolamentare;
- curva B: massimo invaso raggiungibile in condizioni eccezionali (e cioè per il tempo consentito dagli organi di scarico per il ripristino della quota prevista per le condizioni normali)
- curva C: massimo invaso raggiungibile in condizioni normali (calcolato con coefficiente di scorrimento $k = 0.75$) con distribuzioni di sottopressioni misurate;

Curve con coefficiente di scorrimento in funzione dei livelli d'invaso di San Giacomo e Cancano.

Obbiettivo:

superare la limitazione di invaso (circa 10 m di altezza equivalenti a circa 15 M m³ pari al 20÷25% del volume totale) e recuperare integralmente la capacità utile del serbatoio, nonché migliorare le condizioni di manutenzione dell'opera.

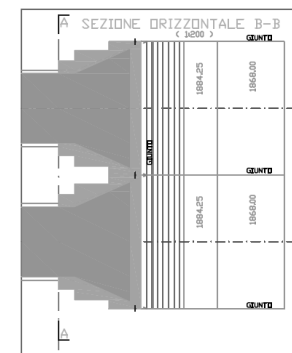
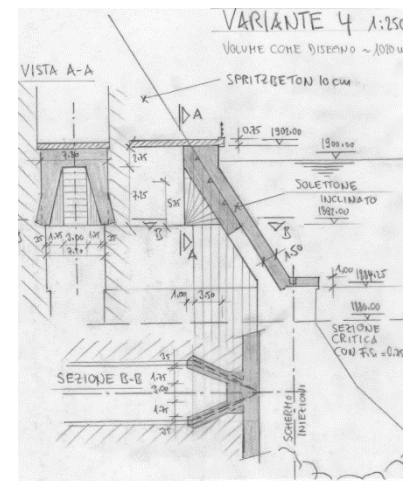
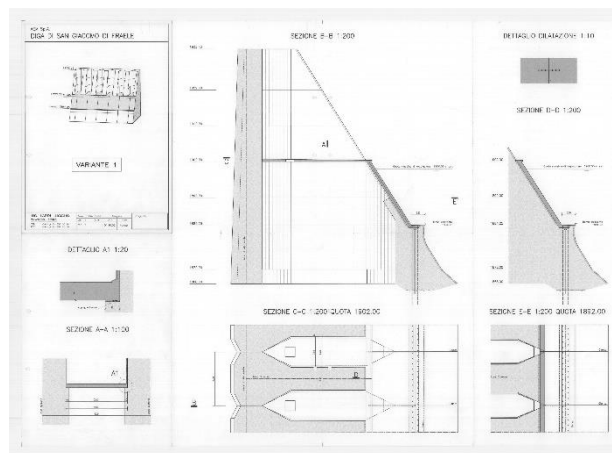
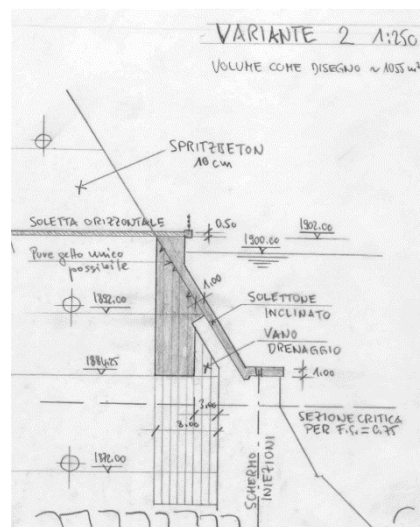
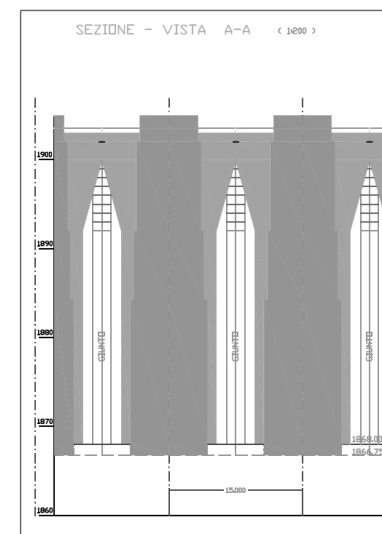
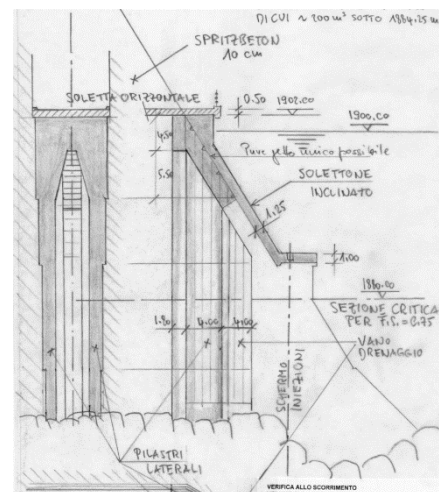
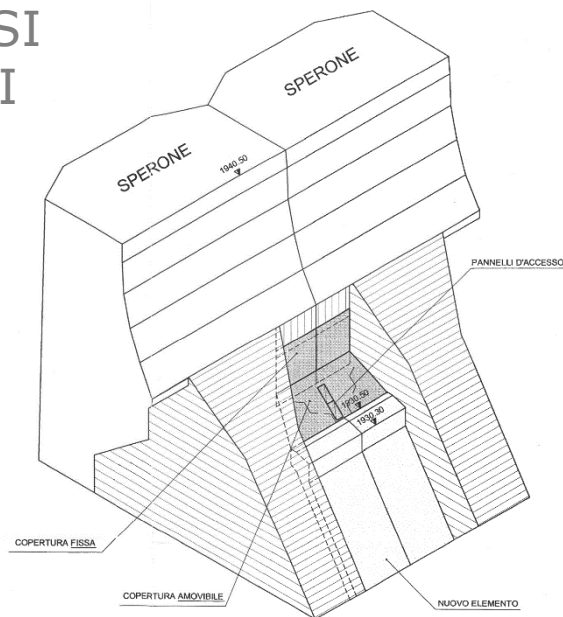
Mediante:

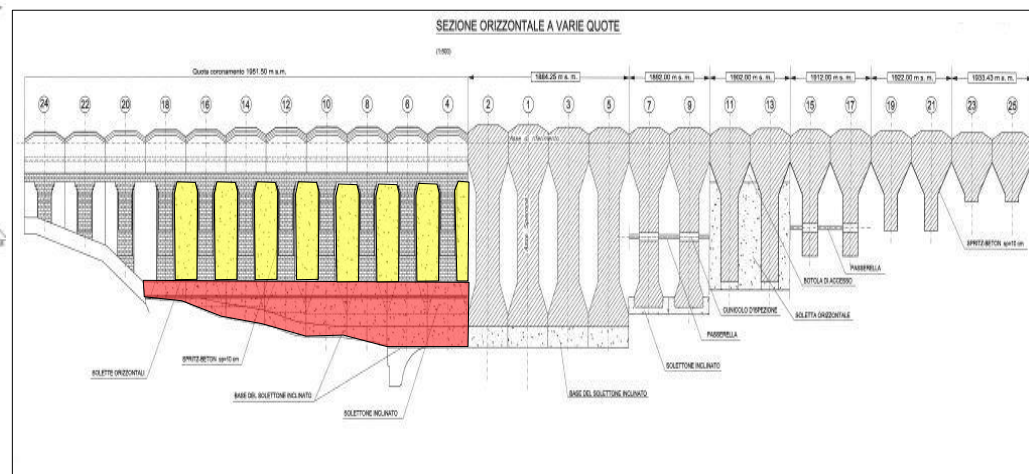
1. Forte diminuzione sottospinta di sollevamento;
2. Appesantimento della struttura,
3. Eliminazione effetti di gelo-disgelo nei calcestruzzi vani non protetti da bolognini di granito.

OBBIETTIVI INTERVENTO E CRONISTORIA PROGETTUALE



VARIE IPOTESI PROGETTUALI

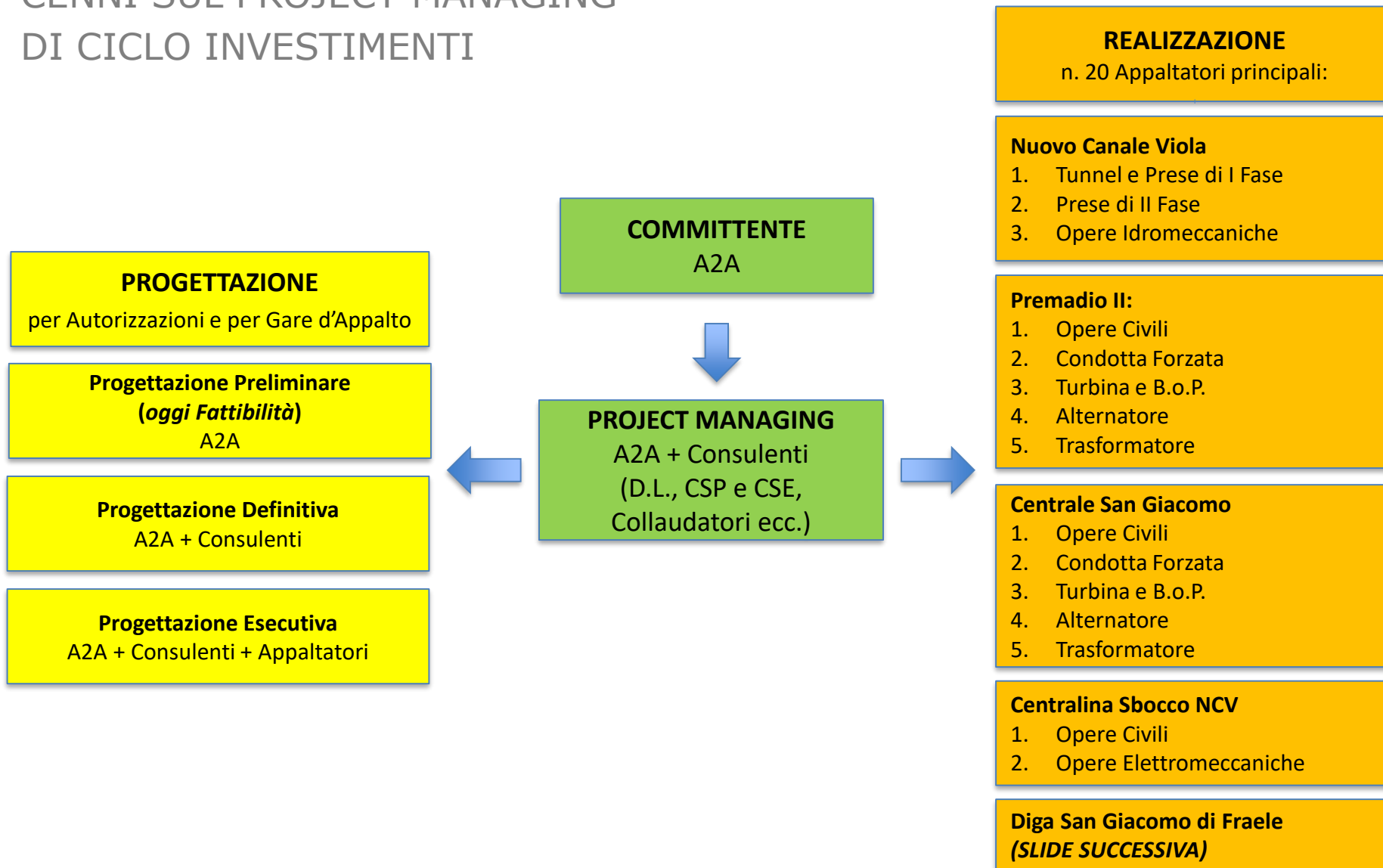




- 19

OBBIETTIVI INTERVENTO E CRONISTORIA PROGETTUALE

CENNI SUL PROJECT MANAGING DI CICLO INVESTIMENTI



Appaltatori:

1. ATI Edilpinta s.r.l. – Palingeo s.r.l.

esecuzione schermo impermeabile di valle;

2. Edilpinta s.r.l.

esecuzione sistema drenante in corpo diga ed in fondazione;

3. ATI Giacomelli costruzioni srl - Grolli Costruzioni s.r.l.

attività di regolarizzazione del piede degli speroni, pulizia vani e realizzazione strada di accesso al cantiere;

4. Mosconi s.r.l.

idroscarifica dei gambi degli speroni e del paramento di valle;

5. Cossi Costruzioni S.p.A.

esecuzione lavori idrocivili di appesantimento strutturale

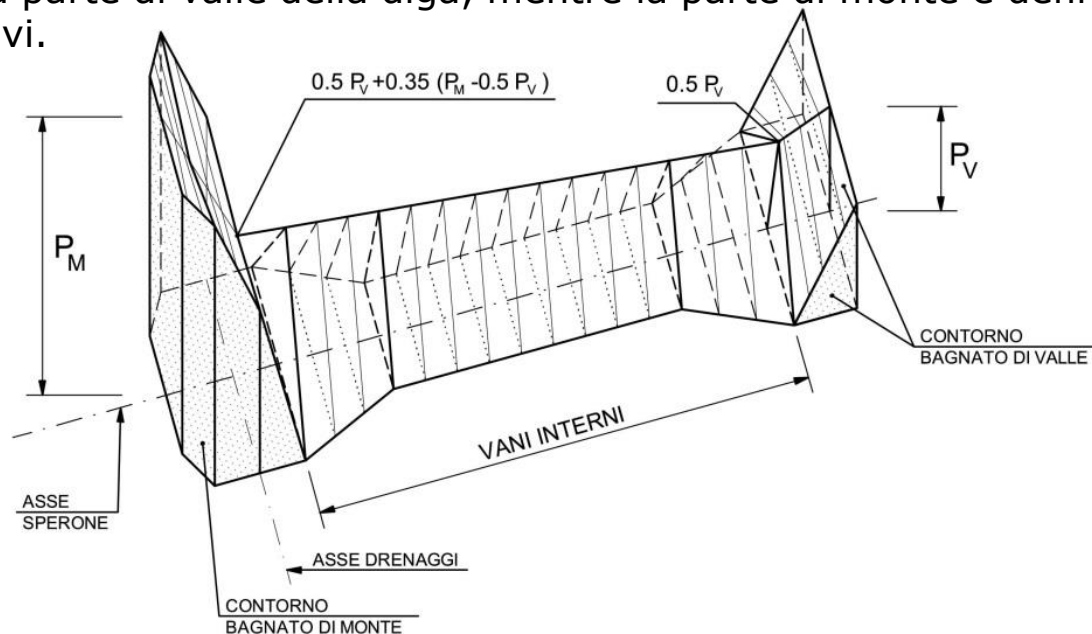
Periodo esecuzione:

2001 ÷ 2010 (intero iter, dalla ideazione al collaudo); fase realizzativa: 2004-2006

PARTICOLARITÀ DELLE SOTTOPRESSIONI



La particolare situazione di diga a speroni con invasi a monte ed a valle non ha permesso di fare capo unicamente alla normativa per la definizione delle sottopressioni: in sede progettuale è quindi stata assunta una distribuzione delle sottospinte che deriva da considerazioni di carattere qualitativo per la parte di valle della diga, mentre la parte di monte è definita in conformità ai requisiti normativi.

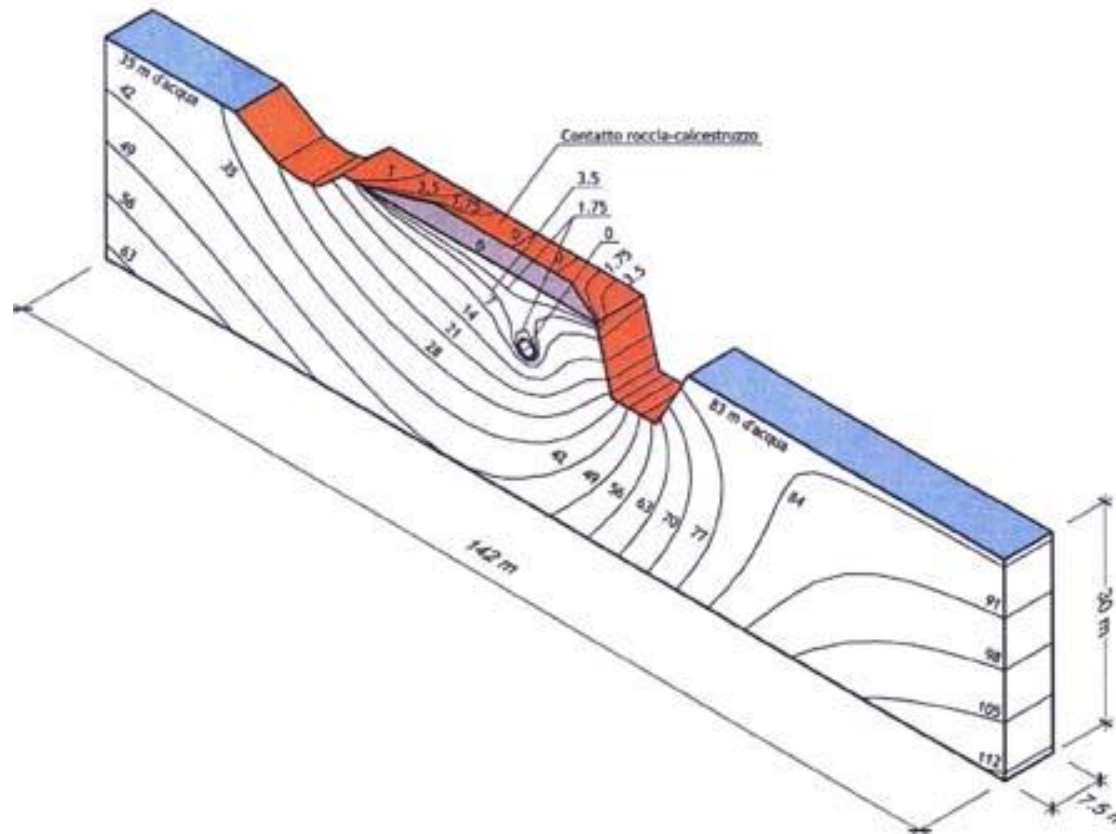


Modello progettuale di distribuzione della sottospinta:

- sottopressioni massime P_M e P_V , corrispondenti ai livelli degli invasi, ai bordi di monte e di valle della fondazione;
- sottopressioni ridotte da normativa in corrispondenza dell'asse di drenaggio di monte;
- sottopressioni ridotte a $0,5P_V$ in corrispondenza del punto terminale dei gambi degli speroni, ove le code si collegano fra loro a delimitare i vani interni in corrispondenza dello schermo di drenaggio di valle;
- sottopressioni nulle al perimetro dei vani interni.

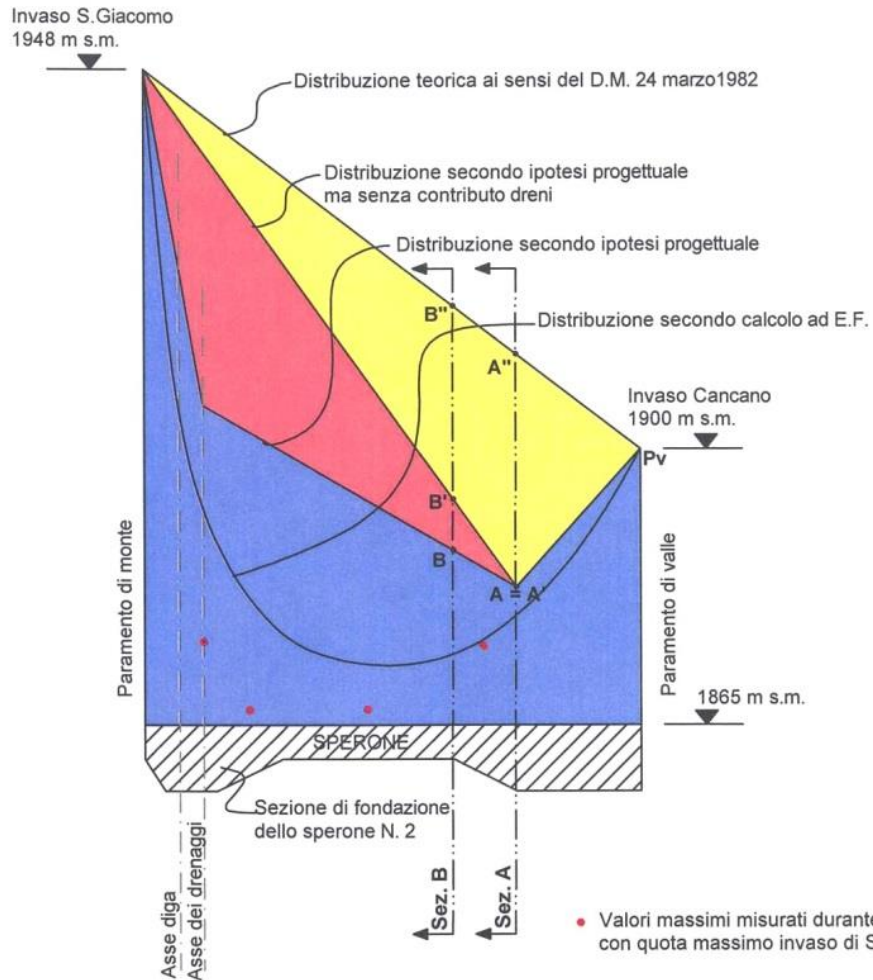
Schema simmetrico monte-valle.

- L'assunzione di $0,5PV$ si è dimostrata conservativa rispetto a quanto emerso dalle analisi alle differenze finite grazie anche alla presenza del cunicolo esplorativo le cui misure di filtrazione hanno permesso di calibrare la permeabilità dell'ammasso roccioso. Il cunicolo esplorativo è risultato essere determinante per la riduzione delle sottopressioni lungo i gambi degli speroni.

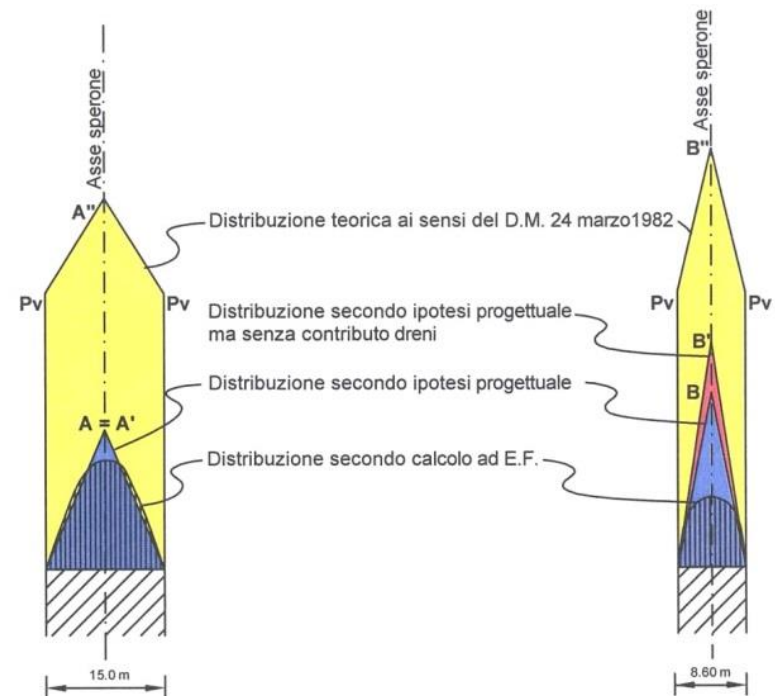


PARTICOLARITÀ DELLE SOTTOPRESSIONI

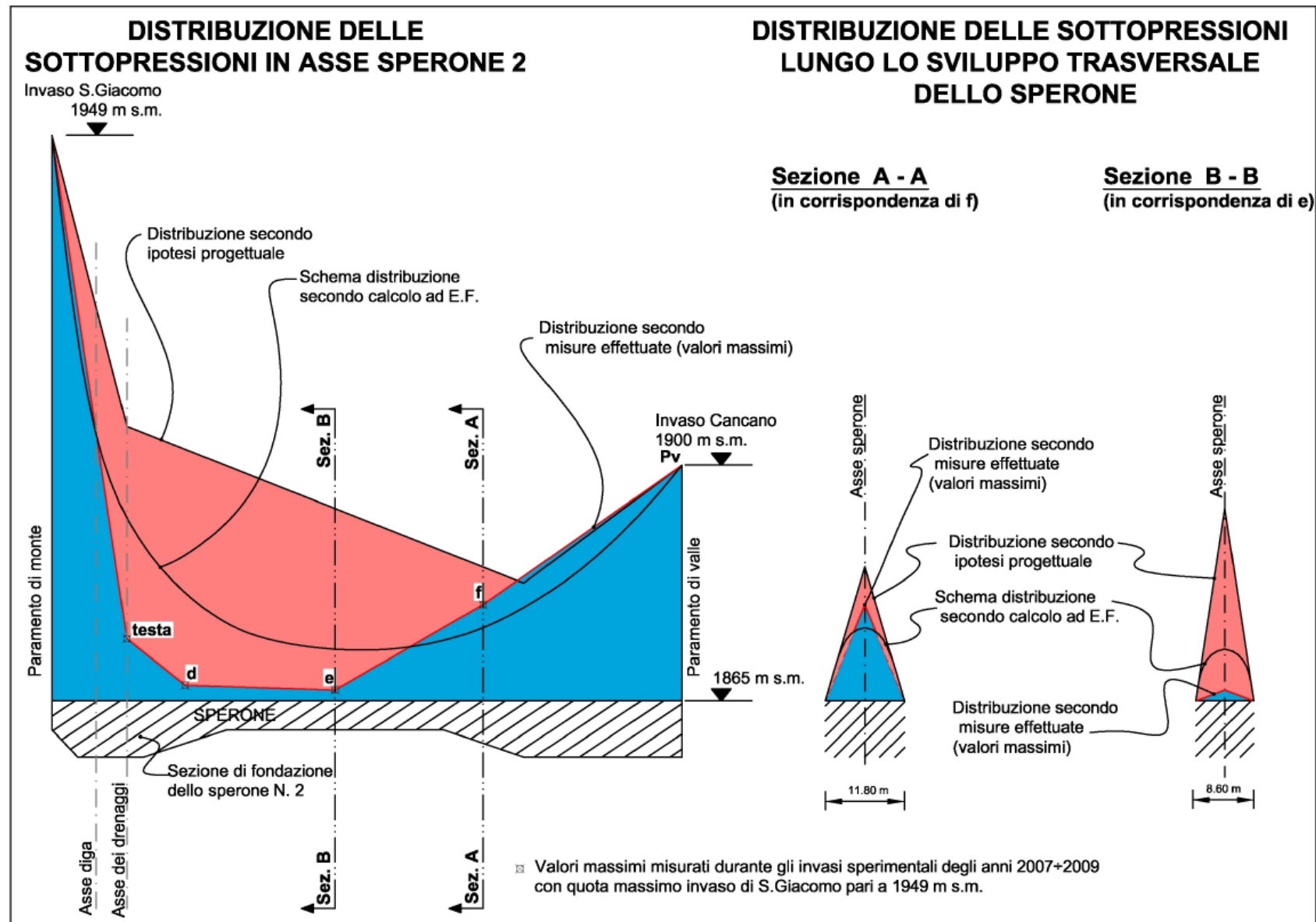
La limitazione di invaso della diga per mancata verifica allo scorrimento è calcolata con una distribuzione teorica delle sottopressioni ai sensi del D.M. 24 marzo 1982



Sezione A - A



• Valori massimi misurati durante gli invasi sperimentali degli anni 2004-2005 con quota massimo invaso di S. Giacomo pari a 1948 m s.m.



ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



Gli obbiettivi del progetto, fondamentalemente raggiunti con riduzione delle sottopressioni e l'appesantimento strutturale dell'opera, hanno comportato le seguenti attività:

- 1) realizzazione dello schermo impermeabile di valle;
- 2) pulizia dei vani, ripristino dell'originaria rete piezometrica in fondazione, realizzazione di un sistema di convogliamento ed aggettamento delle filtrazioni;
- 3) rifacimento del sistema di drenaggio in corpo diga ed in fondazione;
- 4) appesantimento dell'opera;
- 5) rivestimento protettivo dei calcestruzzi parietali;
- 6) manutenzione degli organi di scarico;
- 7) nuove installazioni strumentali per il controllo dell'opera

1) realizzazione dello schermo impermeabile di valle

- chiusure di tutte le penetrazioni (cunicoli, passaggi, scarichi) di collegamento fra il bacino di Cancano ed i vani tra gli speroni.
- 9 perforazioni a distruzione di lunghezza variabile fra 20 m e 45 m su ciascun sperone, addentrate circa 20 m oltre il contatto roccia-calcestruzzo, per un totale di oltre 4.600 m di perforazione in calcestruzzo e roccia con conseguente iniezione di circa 95.000 l di miscela per iniezioni;
- in corrispondenza dei giunti tra gli speroni, pur salvaguardando l'indipendenza strutturale degli speroni stessi, sono state eseguite perforazioni a carotaggio di diametro \varnothing 200 mm all'interno delle quali è stato poi eseguito un riempimento sigillante di malta reoplastica;
- verifica dello schermo di impermeabilizzazione di valle mediante l'esecuzione di prove di controllo del tipo Lugeon;
- conferma dell'efficacia dell'intervento al riempimento di Cancano, con la verifica delle rientrate d'acqua lato valle.

ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



1) realizzazione dello schermo impermeabile di valle



ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



1) realizzazione dello schermo impermeabile di valle



2) pulizia dei vani, ripristino dell'originaria rete piezometrica in fondazione, realizzazione di un sistema di convogliamento ed aggettamento delle filtrazioni

- pulizia di tutti i vani fra gli speroni dal materiale (ramaglie, limo ecc.) depositatosi in quasi 50 anni di esercizio del serbatoio di Cancano;
- ripristino della vecchia rete piezometrica utilizzata durante l'originario collaudo dell'opera (pulizia con idrogetto, emungimento acqua e rilievo della esatta geometria);
- dettagliato rilievo delle sottopressioni lungo l'asse degli speroni (attraverso 39 piezometri ripristinati, 14 nuove installazioni piezometriche e 37 sensori piezometrici automatici lungo le teste degli speroni);
- realizzazione di un sistema di canalizzazione e convogliamento dell'acqua di filtrazione da monte e da valle che partendo dai vani laterali raggiunge il punto più depresso del vano centrale;
- misura dell'acqua di filtrazione, separatamente per contributo spondale e provenienza dall'invaso di monte e di valle ed emungimento all'esterno attraverso pompaggio

ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



2) pulizia dei vani, ripristino dell'originaria rete piezometrica in fondazione, realizzazione di un sistema di convogliamento ed aggotamento delle filtrazioni



ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



2) pulizia dei vani, ripristino dell'originaria rete piezometrica in fondazione, realizzazione di un sistema di convogliamento ed aggettamento delle filtrazioni



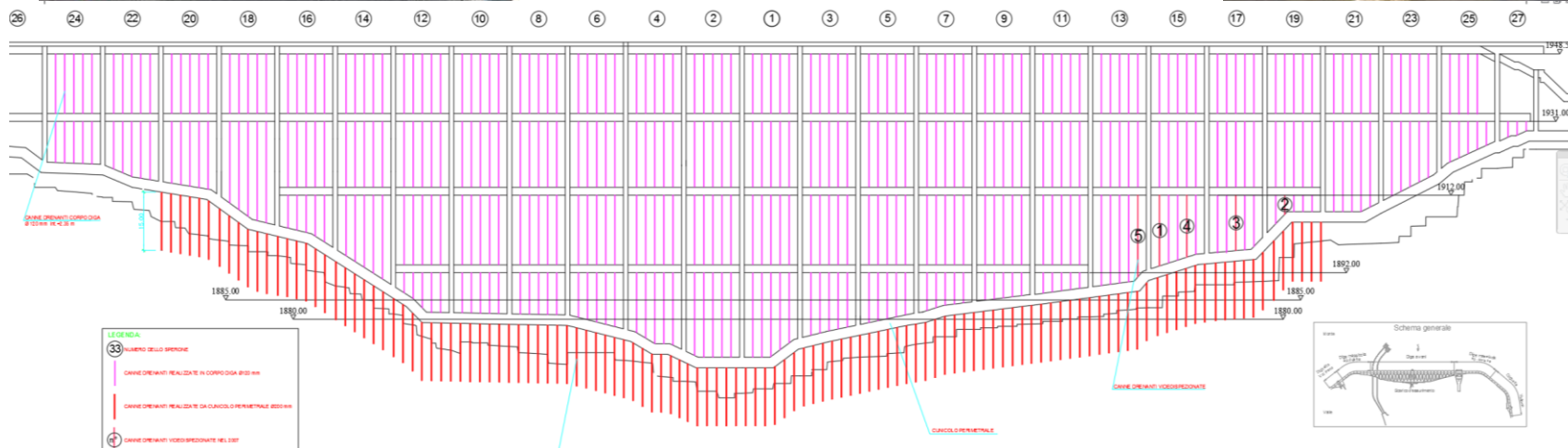
3) rifacimento del sistema di drenaggio in corpo diga ed in fondazione

- esistente sistema di drenaggio in corpo diga costituito da dreni \varnothing 300 mm ogni 3 m di sviluppo longitudinale (incidenza di 0,28 m²/sperone di superficie drenante);
- esistente sistema drenante in fondazione costituito da fori verticali posizionati in asse di mezzzeria del cunicolo perimetrale. Tali fori, mediamente in n° di 3 per ciascun sperone della diga a gravità alleggerita hanno diametro pari a 1-1,5" e si spingono in profondità attraverso la fondazione fino ad addentrarsi in roccia per circa 30-50 cm.
- rilievi specifici avevano evidenziato che, relativamente alla parte di diga principale alleggerita, su circa 5050 m di canne drenanti, 3240 m, equivalenti al 64% del totale, si trovano ad essere otturati da depositi carbonatici accumulatisi nel tempo;
- perforazioni a distruzione in corpo diga \varnothing 120 mm ad interasse 250 cm per un totale di lunghezza pari a circa 8.200 m (incidenza di 0,06 m²/sperone di superficie drenante);
- perforazioni a distruzione \varnothing 200 mm in fondazione, interasse 250 cm, per un totale di circa 2000 m. Le perforazioni in fondazione sono state eseguite dal cunicolo di fondo della diga e si sono spinte nel calcestruzzo e nella roccia per una lunghezza di 15 m totali, di cui mediamente 8 ÷ 9 m circa oltre il contatto roccia calcestruzzo.
- perforazioni a distruzione per la realizzazione dello schermo di drenaggio lato valle, nel punto terminale dei gambi degli speroni

ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



3) rifacimento del sistema di drenaggio in corpo diga ed in fondazione

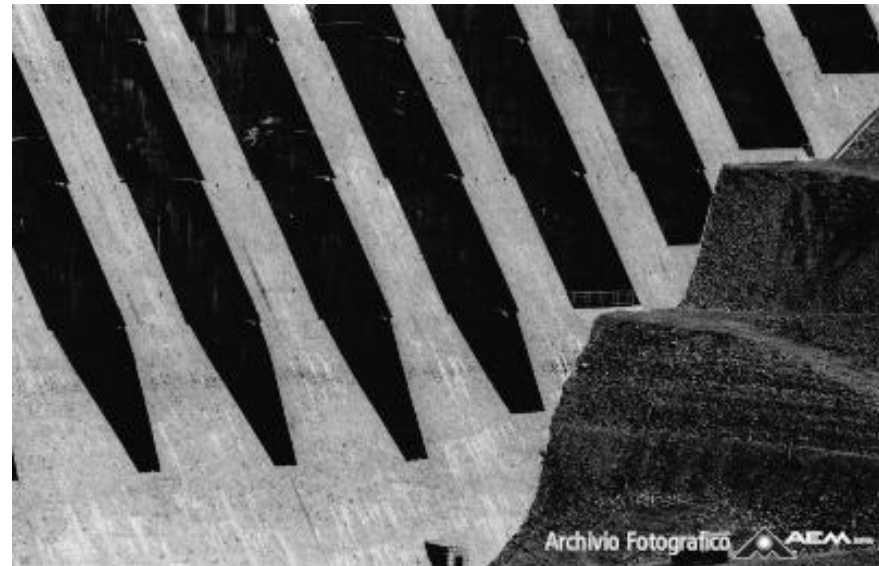
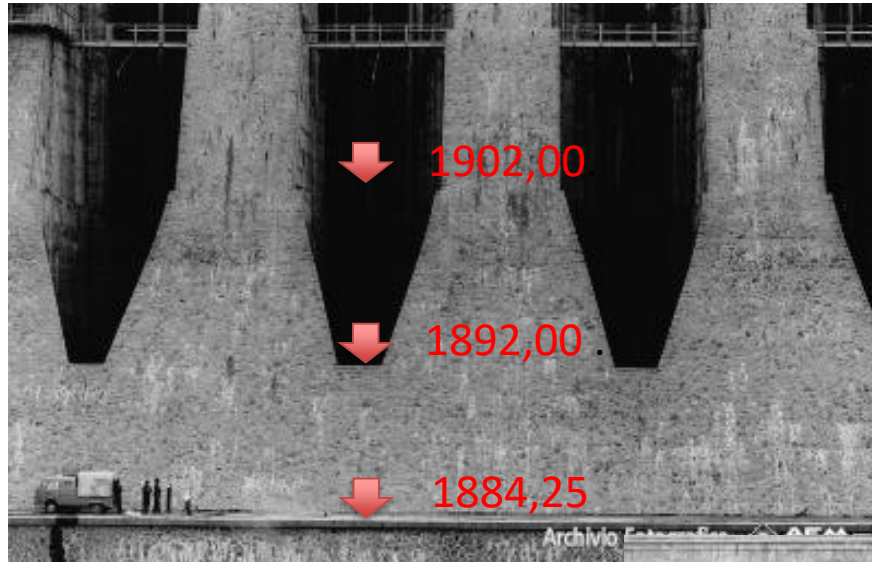


4) Appesantimento dell'opera

- realizzazione di un solettone inclinato di valle fra gli speroni 17 in sx e 18 in dx (per una lunghezza complessiva di 260 m), alto 18 m e spesso da 1,50 m fino a 3,50 m, con giunti permanenti di tenuta in corrispondenza dei giunti esistenti con profili water stop in neoprene di larghezza 44 cm, per garantire l'indipendenza strutturale degli speroni stessi;
- realizzazione di un sovrastante solettone orizzontale in C.A di (25 x 8) m per ciascun sperone, 0,75 m di spessore, con estradosso a 1902,75 m s.m. ed appoggio continuo in neoprene sulle esistenti riseghe degli speroni opportunamente regolarizzate. Creazione di nuova berma di valle per accesso e ispezione a vani diga (anche parte nascosta);
- posa di circa 1050 m³ di calcestruzzo sullo sperone di massima altezza (incremento di circa il 4% del peso originario);
- complessivi 12.000 m³ circa di calcestruzzo aggiunto con 11.000 KN circa di armatura e rete metallica e 8500 KN di lastre prefabbricate con funzione di cassero a perdere;

ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO

4) Appesantimento dell'opera:



PRIMA
DELL'INTERVENTO

1902,75

Estradosso nuova berma



ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



4) Appesantimento dell'opera



ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



4) Appesantimento dell'opera



ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



4) Appesantimento dell'opera



PRIMA



DOPO

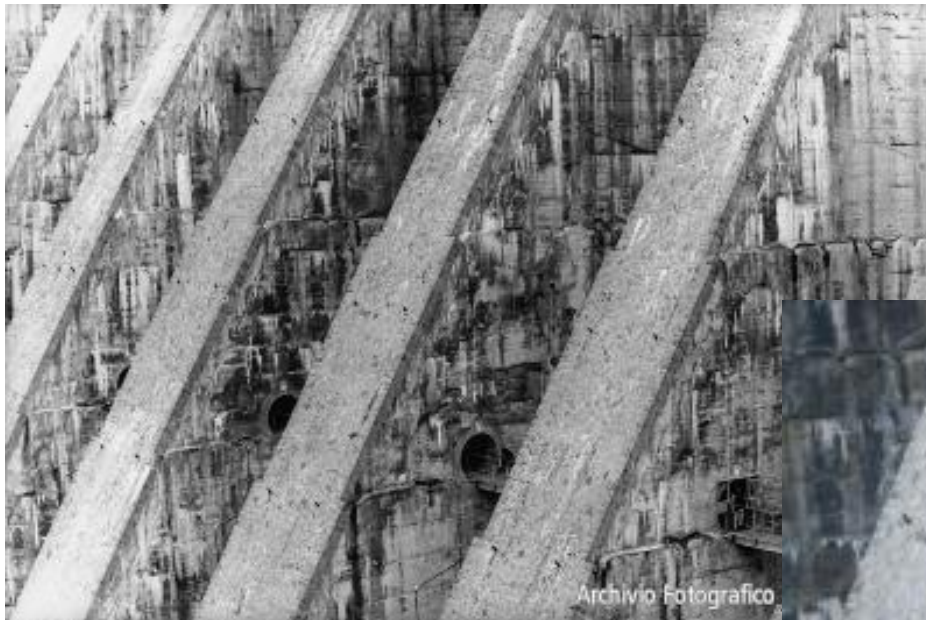
5) Rivestimento protettivo dei calcestruzzi parietali

- trattamento delle superfici con idrogetti ad alta pressione e risanamento delle parti ammalorate;
- esecuzione di drenaggi, mediante perforazione e successivo inserimento di tubi microfessurati (per un totale di oltre 6650 m) per evitare l'ammaloramento dello spritz-beton per infiltrazioni da tergo;
- posa di rete elettrosaldata fissata mediante inghisaggi di barre di armatura agli speroni;
- posa di calcestruzzo proiettato di spessore minimo di 10 cm su tutte le superfici parietali dei vani, per complessivi 3.800 m³ di calcestruzzo con 1.300 KN di armatura e rete metallica;

ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



5) Rivestimento protettivo dei calcestruzzi parietali



PRIMA
DELL'INTERVENTO



ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



5) Rivestimento protettivo dei calcestruzzi parietali



6) Manutenzione degli organi di scarico

- revisione completa;
- sostituzione delle centraline oleodinamiche;
- sostituzione quadri elettrici di comando;
- sostituzione degli organi di intercettazione dello scarico di esaurimento della diga principale a gravità alleggerita (da valvola Johnson a doppia paratoia piana);
- installazione nuovo gruppo elettrogeno comune alla nuova centrale di produzione;
- ridondanza sistema di alimentazione da rete elettrica con distribuzione ad anello da Cancano su ambo le sponde del lago;
- implementazione segnali indice posizione organi di scarico;

ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



6) Manutenzione degli organi di scarico

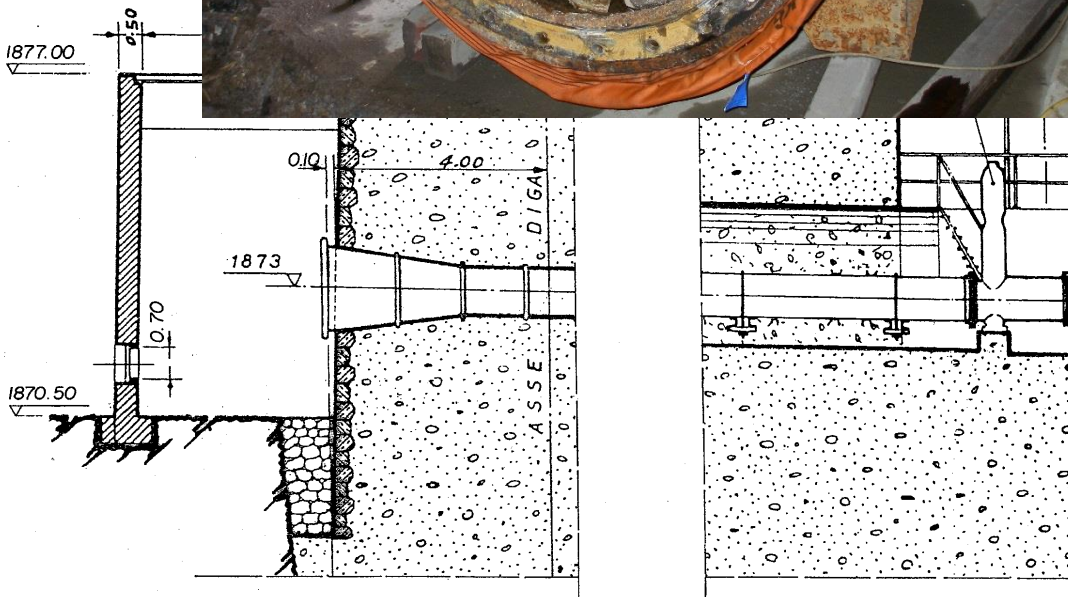


PRIMA
DELL'INTERVENTO



OPERA D'IM

SPERON



ATTIVITÀ ESEGUITE PER IL RECUPERO DELLA CAPACITÀ DI INVASO



6) Manutenzione degli organi di scarico



7) Nuove installazioni strumentali per il controllo dell'opera

- Rivisitazione completa del monitoraggio strumentale della diga con ottimizzazione mirata di:
 - tipologia misure;
 - parti monitorate;
 - efficienza strumentale;
 - densità dei punti di misura;
 - potenziamento sistema automatico di monitoraggio
 - frequenza di acquisizione;
- Conseguente adozione di nuovo FCEM della diga;

**ARGOMENTAZIONE TRATTATE IN SUCCESSIVA PRESENTAZIONE
DEDICATA**

COLLAUDO FINALE E NUOVA CENTRALE DI PRODUZIONE



- I lavori sono terminati con il recupero totale della capacità di invaso originaria del serbatoio. Dal 2004 e sino al 2010 il serbatoio è stato gestito con invasi sperimentali. A fine 2010 si è chiuso positivamente il **collaudo** definitivo dell'opera.



Realizzazione impianto antighiaccio

Soffiaggio di aria compressa sul fondo della diga (l'area liberata forma bolle che salgono in superficie formando una corrente ascensionale d'acqua: il movimento verso l'alto è determinato dalla minor densità della miscela aria-acqua rispetto a quella della restante massa di acqua che sul fondo, ad una temperatura di circa 4° C ha la densità massima)

- centrale aria compressa (n. 3 centrali di compressione con pressione di lavoro di 10 bar, portata 120 l/sec/cad potenza 45 KW/cad)
- rete di distribuzione con tubazioni e raccorderia in acciaio in inox di lunghezza complessiva di circa 1 Km
- gruppi di riduzione e regolazione racchiusi in cassette inox sul coronamento (filtri, manometri, elettrovalvola, regolatore di portata, raccorderia)
- n. 44 tubazioni flessibili verticali/ugelli ancorati con collari e tasselli a diverse quote sul paramento di monte, a seconda dell'andamento del fondo

Realizzazione impianto antighiaccio



GRAZIE PER L'ATTENZIONE