



# **La sicurezza degli invasi artificiali e sviluppi idroelettrici in regione FVG Diga del Vajont**

Associazione Ingegneri e Architetti Provincia Pordenone  
Pordenone, 27 novembre 2013

**Ing Paolo Chemello** – Responsabile Ingegneria Civile Idraulica per il Triveneto

**Ing. Osvaldo Francescon** – Ingegnere Responsabile diga Vajont

# DIGA DEL VAJONT

**Società: S. A. D. E.**

**Impianto Idroelettrico 'PIAVE – BOITE – MAE' – VAJONT**

**Diga: del VAJONT**

**LA DIGA A CUPOLA PIU' ALTA DEL MONDO  
UN FOGLIO DI CARTA IN UNA STRETTA E  
PROFONDA GOLA ROCCIOSA**

**Progettista: ING. CARLO SEMENZA S. A. D. E.**

**Direttore dei Lavori: ING. MARIO PANCINI -  
S. A. D. E.**

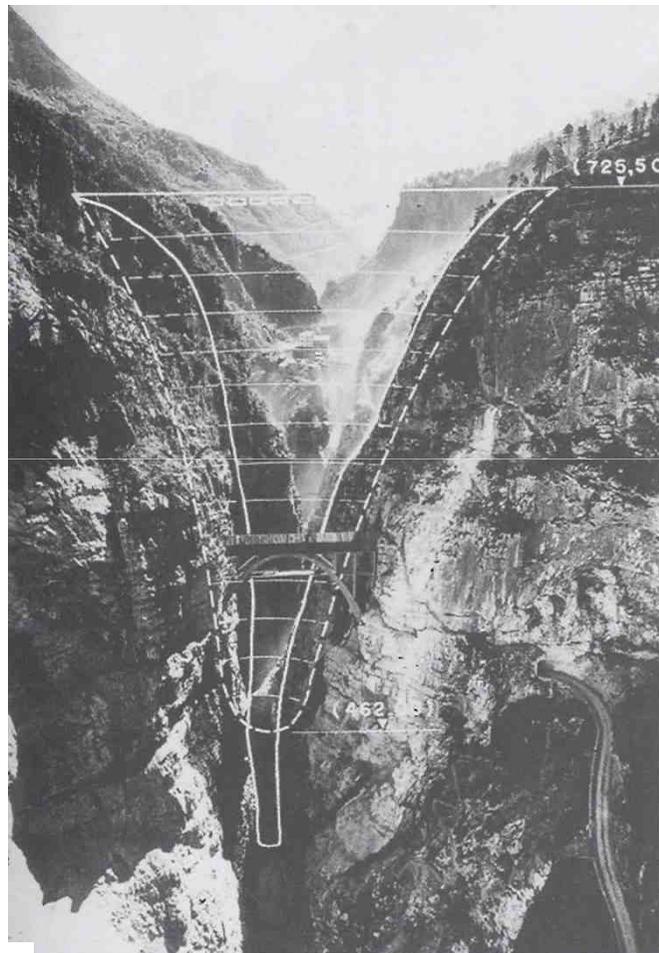
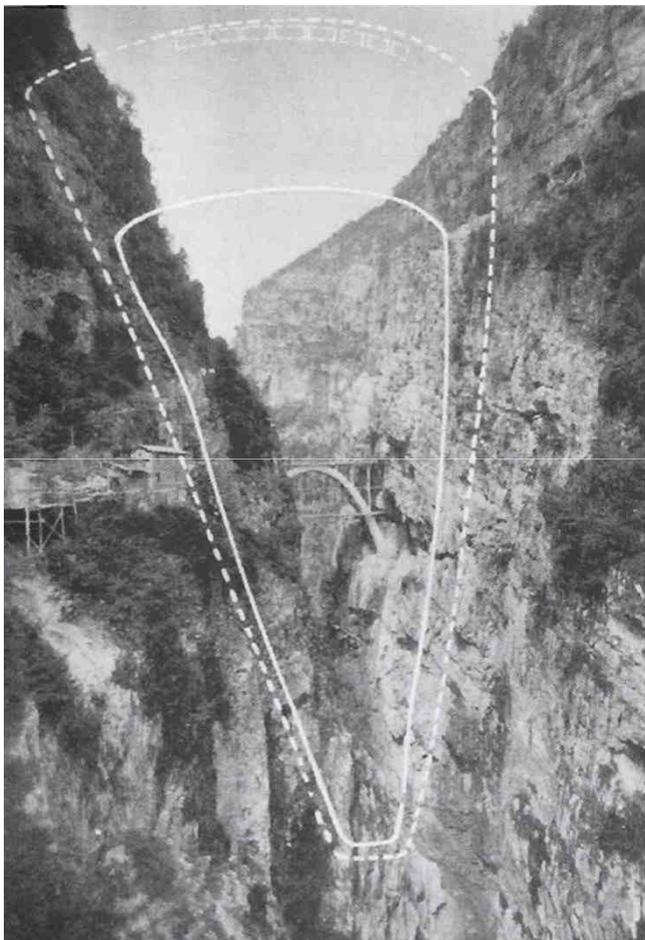
**Impresa costruttrice : TORNO & c SPA  
MILANO**



## ARGOMENTI

- Progetto della diga e caratteristiche del sistema di utilizzo della risorsa idrica
  
- Esecuzione dei lavori : impianto di cantiere e foto lavori
  
- Situazione attuale:
  - Gestione idraulica lago A e Lago C
  - Esercizio e controllo diga

# SOLUZIONI PROGETTUALI DIGA



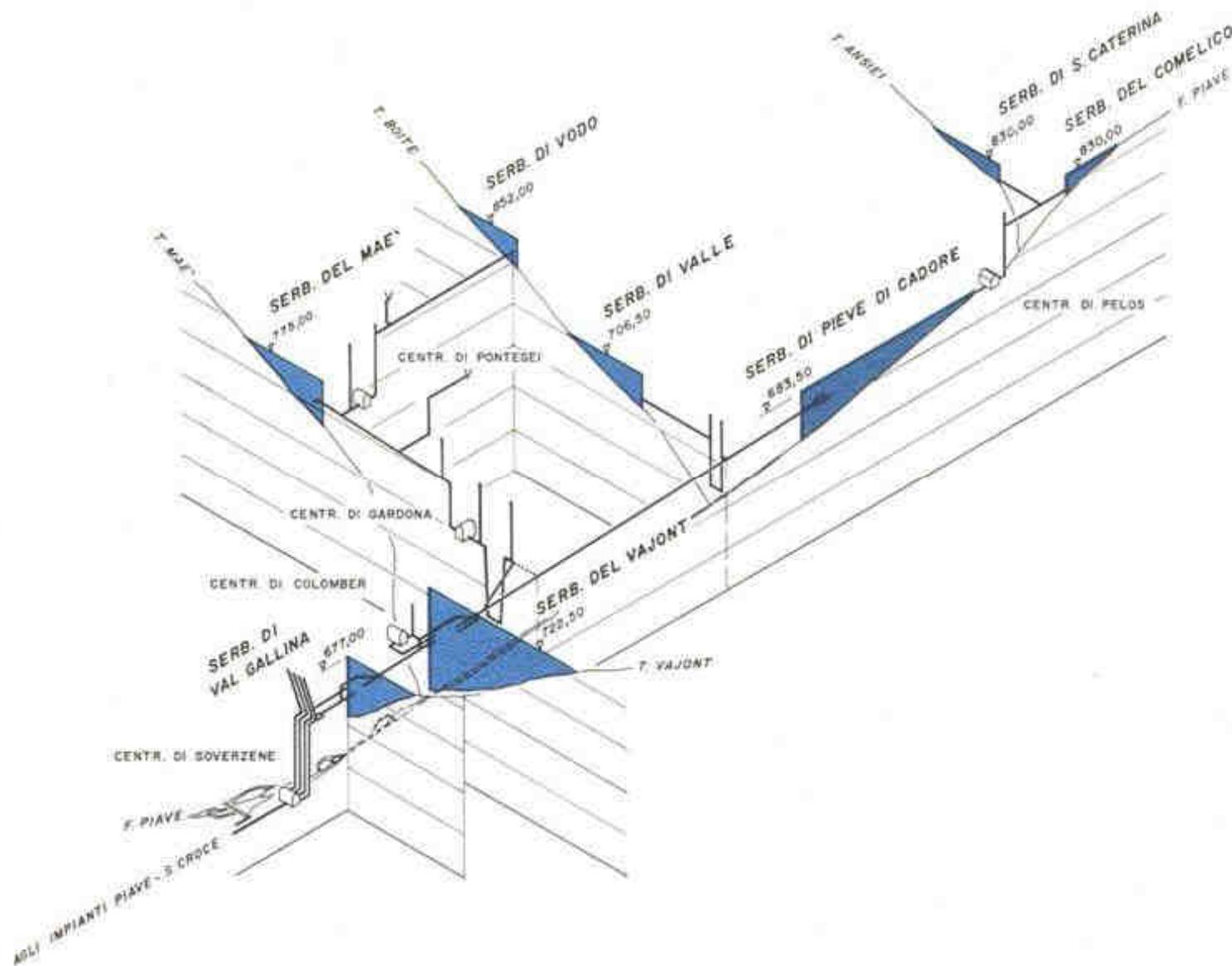
**PROGETTO 1950 – DUE SOLUZIONI  
QUOTA 679,00 E 727,00 m slm**

**PROGETTO DEFINITIVO 1957 –  
QUOTA 722,50 m slm**

**DIGA ULTIMATA**



# PROFILO ALTIMETRICO DEL SISTEMA PIAVE-BOITE-MAE'-VAJONT



# CARATTERISTICHE DIGA A CUPOLA DEL VAJONT

Altezza (punto + basso fondazioni)	261,60 m
Altezza (piano d'alveo)	255,50 m
Sviluppo coronamento	190,50 m
Quota coronamento	725,50 m slm
Spessore alla base	22,11 m
Spessore in sommità	3,40 m
Volume calcestruzzo corpo diga	353.000 mc
Volume scavo fondazione	400.000 mc
periodo costruzione	3 anni (1957 – 1960)
numero persone impiegate	250
numero ore lavorate	750.000

# CARATTERISTICHE DIGA A CUPOLA DEL VAJONT

Il progetto è dell'ing. Carlo Semenza, Direttore del Servizio Costruzioni Idrauliche della SADE, principale progettista di dighe a doppio arco in Italia e nel mondo al tempo

La diga è una struttura in calcestruzzo, ad arco a doppia curvatura nella parte media alta, lievemente asimmetrica (circa il 4% rispetto alla verticale)

Tale soluzione risultò la più razionale ed economica e la più elegante per la stretta e profonda gola rocciosa del Colomber

All'epoca della costruzione la diga del Vajont era la più alta diga a cupola al mondo ed in attesa della ultimazione della diga a gravità "Grande Dixence" in Svizzera (1963) anche la più alta fino allora realizzata (Grande Dixence è alta 285 m)

# CARATTERISTICHE SERBATOIO DEL VAJONT

Volume di invaso utile	150 M mc
Volume di invaso totale	168,70 M mc
Quota max ritenuta	722,50 m slm
Quota max invaso	725,50 m slm
Bacino imbrifero direttamente sotteso	63,67 kmq
Bacino imbrifero allacciato	1411,71 kmq
Lunghezza bacino	5,2 km
Larghezza max bacino	1 km

# CARATTERISTICHE IMPIANTO IDROELETTRICO

Il serbatoio del Vajont assolveva la funzione di **accumulo e regolazione pluriennale a scopo multiplo**, idroelettrico ed irriguo, dell'intera asta del fiume Piave a monte ed era prevista, inoltre, l'interconnessione futura con l'asta del fiume Cellina.

Il grande serbatoio costituiva la parte centrale di un **complesso sistema idroelettrico interconnesso**, comprendente 6 serbatoi, 4 centrali, oltre 50 km di gallerie, 5 ponti tubo e condotte forzate, per una capacità totale di 100 M mc, che lo rendeva del tutto singolare ed innovativo al tempo.

**Il Vajont conteneva più di 1,5 volte il volume degli altri serbatoi del sistema** e doveva garantire la sempre più forte richiesta di energia elettrica del tempo, con particolare riguardo alla zona industriale di Marghera, anche in periodi di assenza di precipitazioni. Alla stessa maniera doveva garantire le portate utilizzate dai consorzi irrigui della pianura veneta.

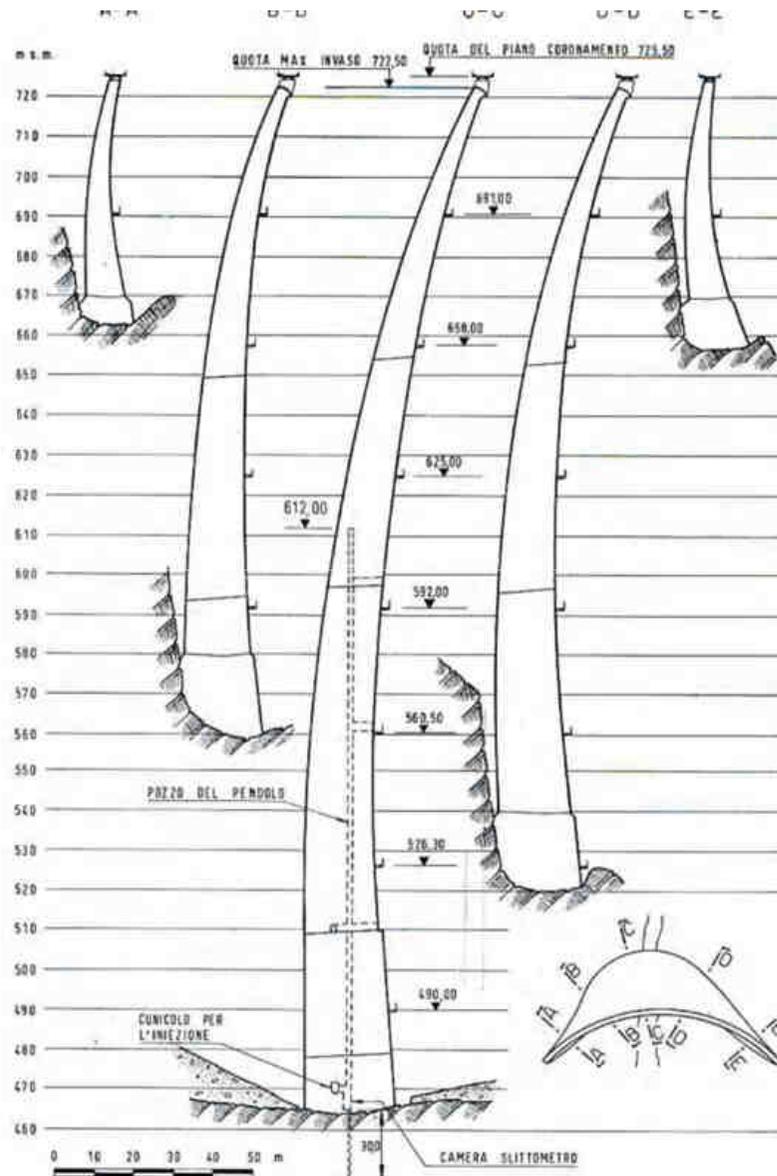
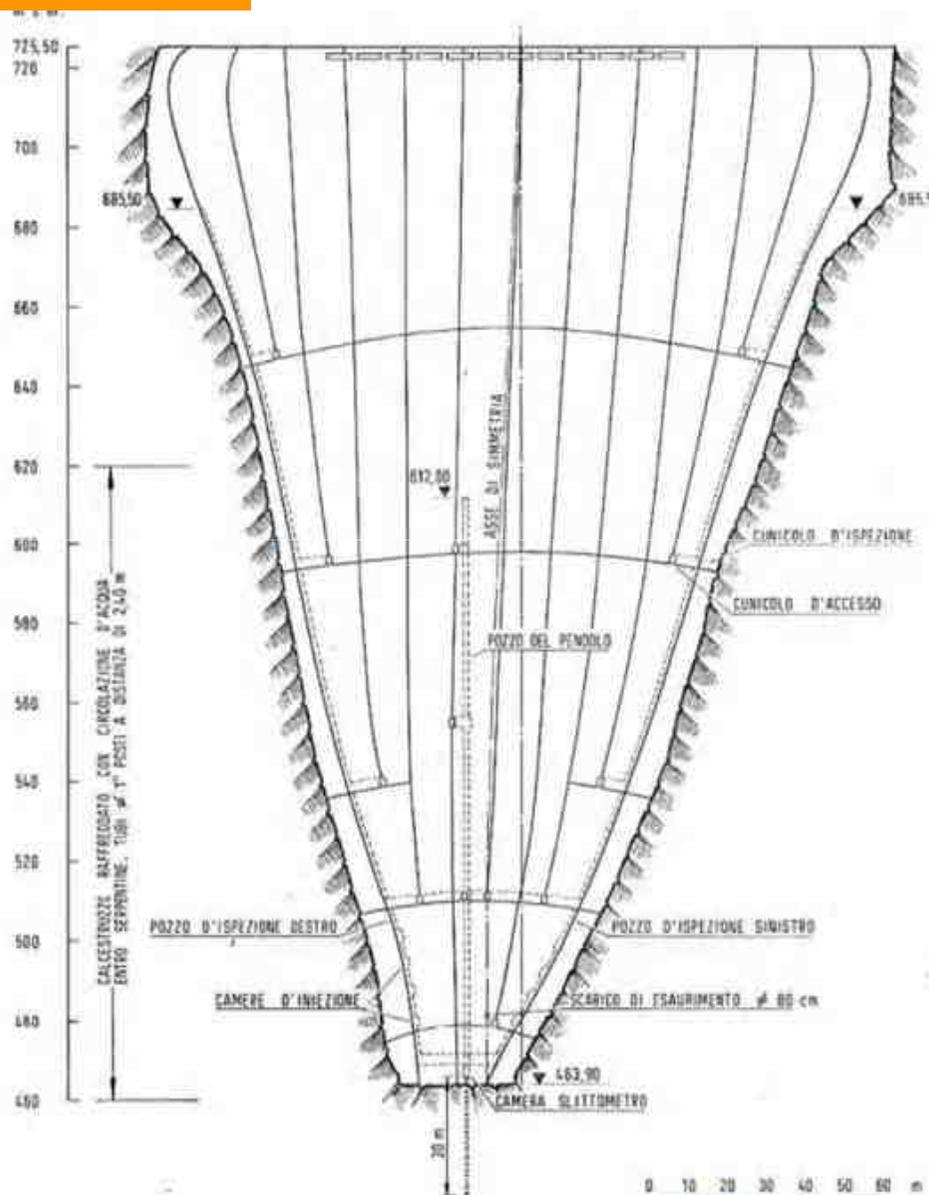
# CARATTERISTICHE IMPIANTO IDROELETTRICO

**Il solo torrente Vajont**, con piovosità media annua di circa 1600-1700 mm e volume di circa 100 M mc, **non giustificava l'impianto** progettato; il bacino imbrifero del Vajont avrebbe assicurato, infatti, un accumulo annuale dell'ordine di soli 60 M mc.

La centrale idroelettrica di Soverzene utilizzatrice di tutte le acque del sistema è dotata di 4 gruppi Francis di portata complessiva pari a 88 mc/s e salto 284 m (potenza 220 MW)

# SVILUPPATA IN FIBRA MEDIA DIGA

## SEZIONI VERTICALI DIGA



## METODI DI CALCOLO

La progettazione della diga del Vajont si può considerare la sintesi di tutte le **conoscenze tecniche maturate dagli Uffici Studi e Lavori della SADE** nella costruzione delle numerose dighe realizzate a partire dal dopoguerra e, in particolare, della **diga del Lumiei**, allora la diga a cupola italiana più alta (136,15 m).

Vennero esaminati i vari tipi di diga a volta: ad arco spesso ,ad arco sottile a semplice curvatura e a volta a doppia curvatura; Venne scelta la **soluzione a doppia curvatura, risultata tecnicamente più efficiente e più economica**, considerando la sezione della gola a "V" di notevole altezza e svasata verso l'alto, in analogia alla diga del Lumiei già realizzata.

## METODI DI CALCOLO

La struttura è stata verificata analiticamente con i **metodi del Guidi e del Tolke, il Trial Load Method e la sua variante Algebraic Load Method** in particolare per il metodo di ripartizione dei carichi tra archi e mensole; nel calcolo sono stati considerati 8 archi orizzontali e 9 mensole verticali.

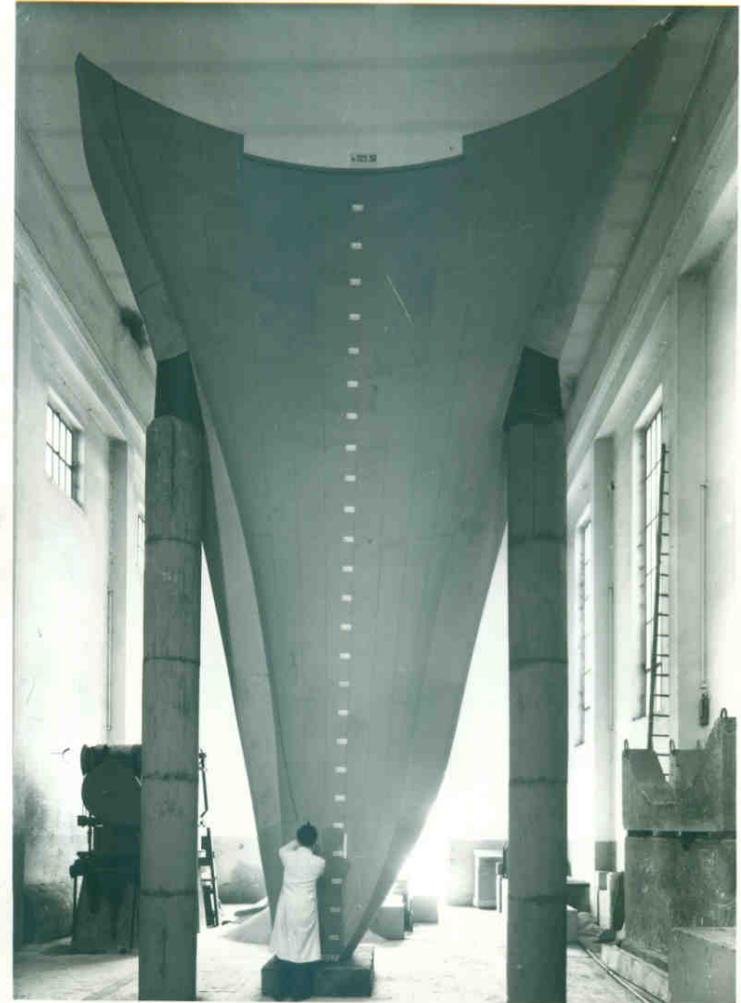
La struttura è stata verificata anche con prove su modello fisico presso il laboratorio ISMES di Bergamo del prof. Oberti.

Per il calcestruzzo è stato considerato un modulo elastico normale  
 **$E = 150.000 \text{ kg/cmq}$**

Per la roccia di imposta è stato considerato un modulo di elasticità variabile tra i valori  **$E = 75.000 \text{ kg/cmq}$  a quota 620 e  $E = 37.500 \text{ kg/cmq}$  a quota 720**

## MODELLO FISICO PRESSO IL LABORATORIO ISMES DI BERGAMO

- Furono esaminati i risultati di tre modelli fisici il primo in scala 1:85 con altezza 3 m ed i successivi due in scala 1:35 alti 7,6 (foto)
- questi furono confrontati con i risultati analitici che sono risultati più conservativi

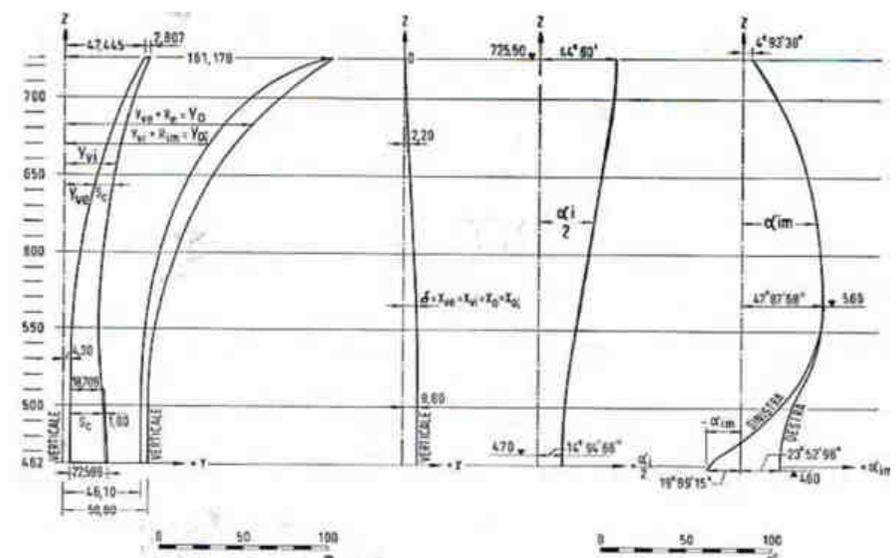
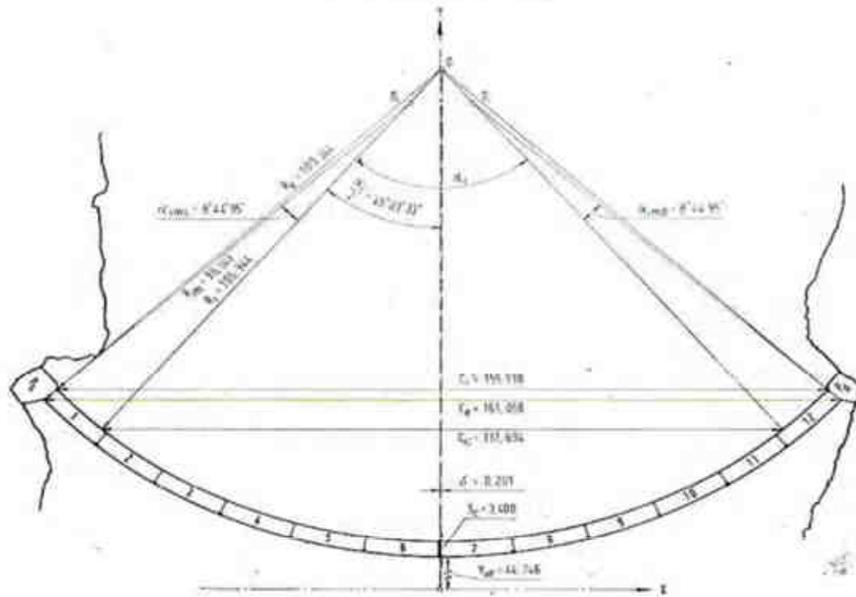


# Sezioni orizzontali diga – quota 720-590-480

## Elementi geometrici per il tracciamento archi diga

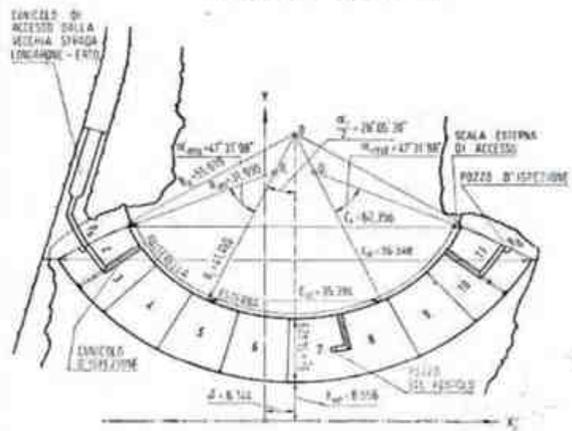
### Pulvino e giunto perimetrale sopra quota 580

ARCO A QUOTA 720

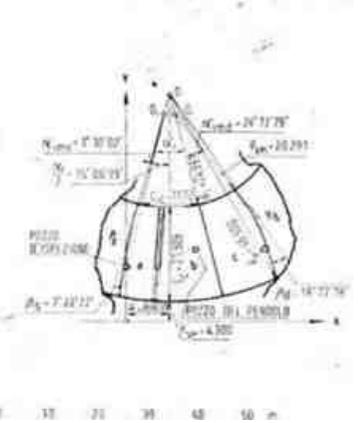


PULVINO E GIUNTO PERIMETRALE SOPRA QUOTA 580

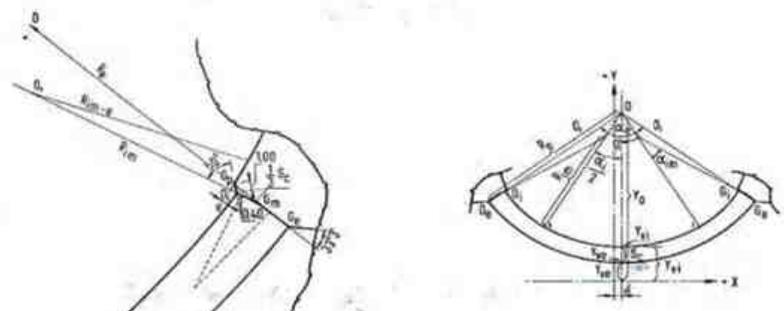
ARCO A QUOTA 590



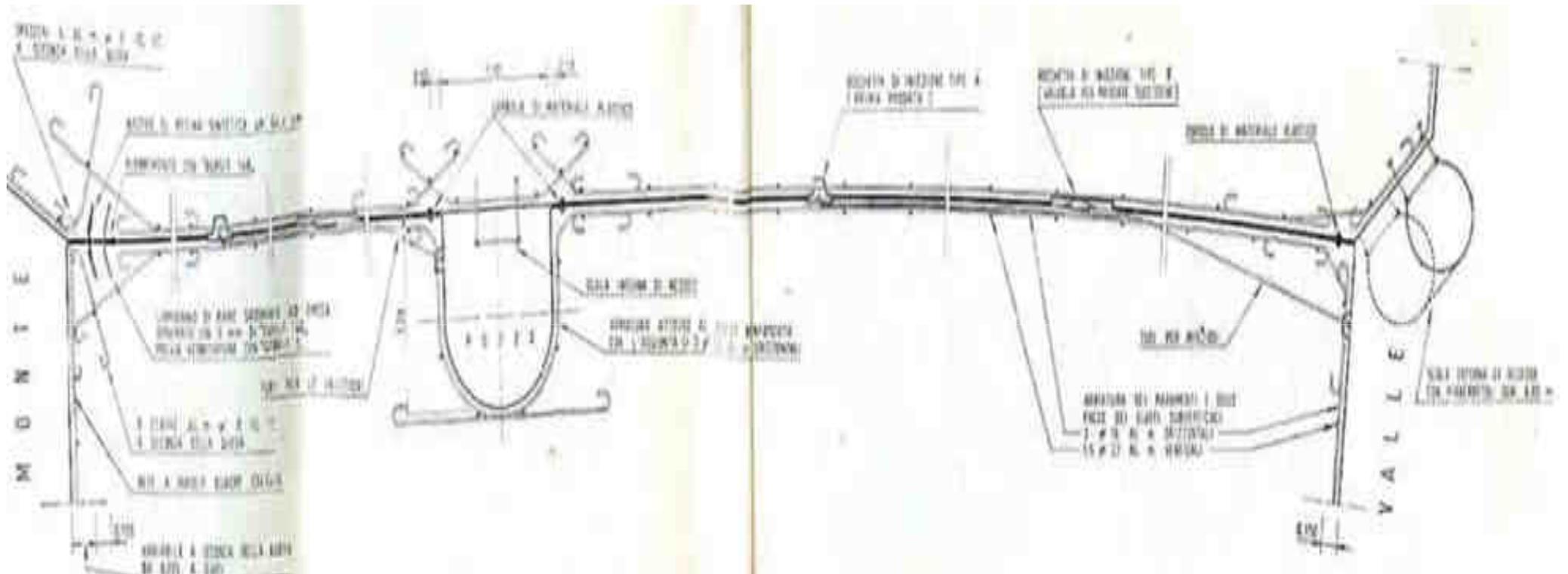
ARCO A QUOTA 480



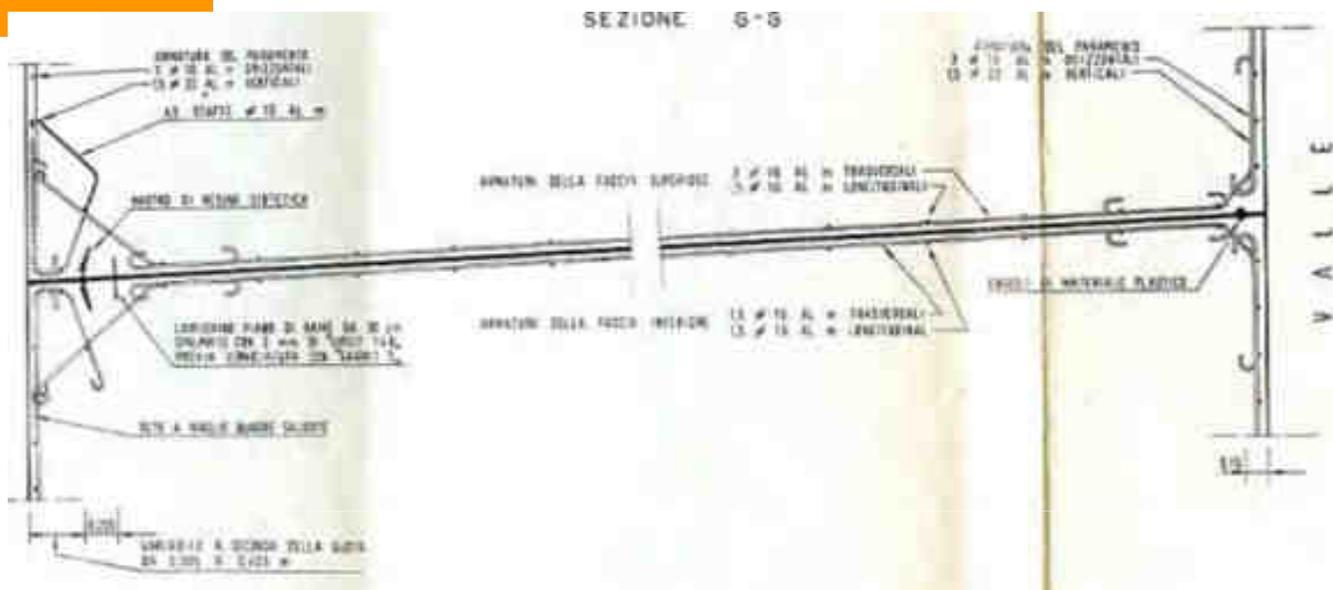
ARCO TIPO



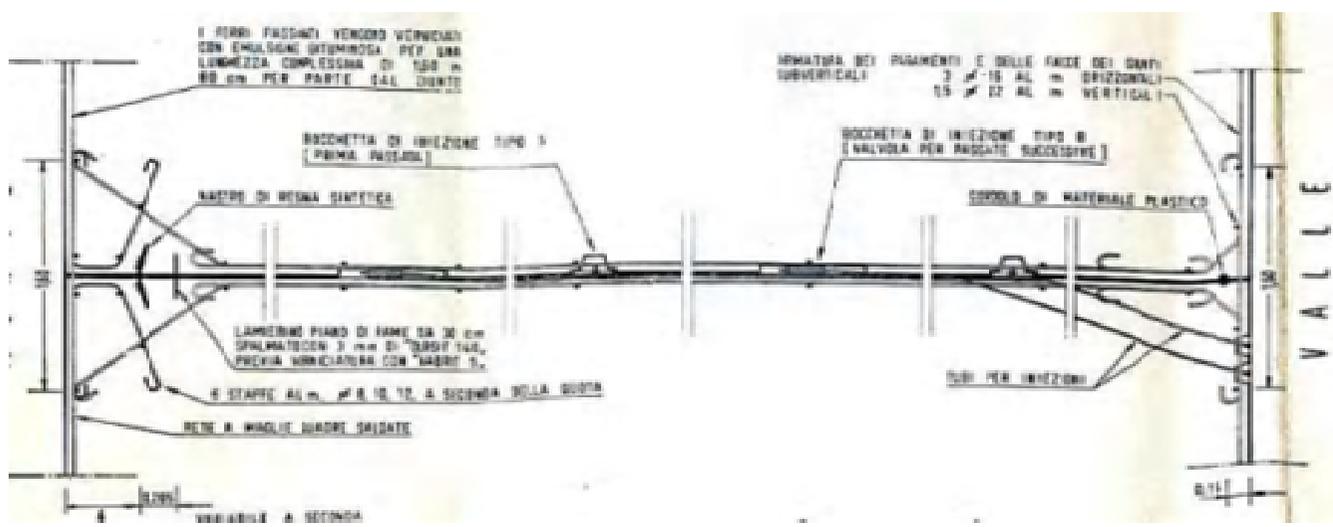
# GIUNTO PERIMETRALE-SEZ.ORIZZONTALE



# GIUNTI SUBORIZZONTALE-SEZ. VERTICALE E DI COSTRUZIONE-SEZ. ORIZZONTALE

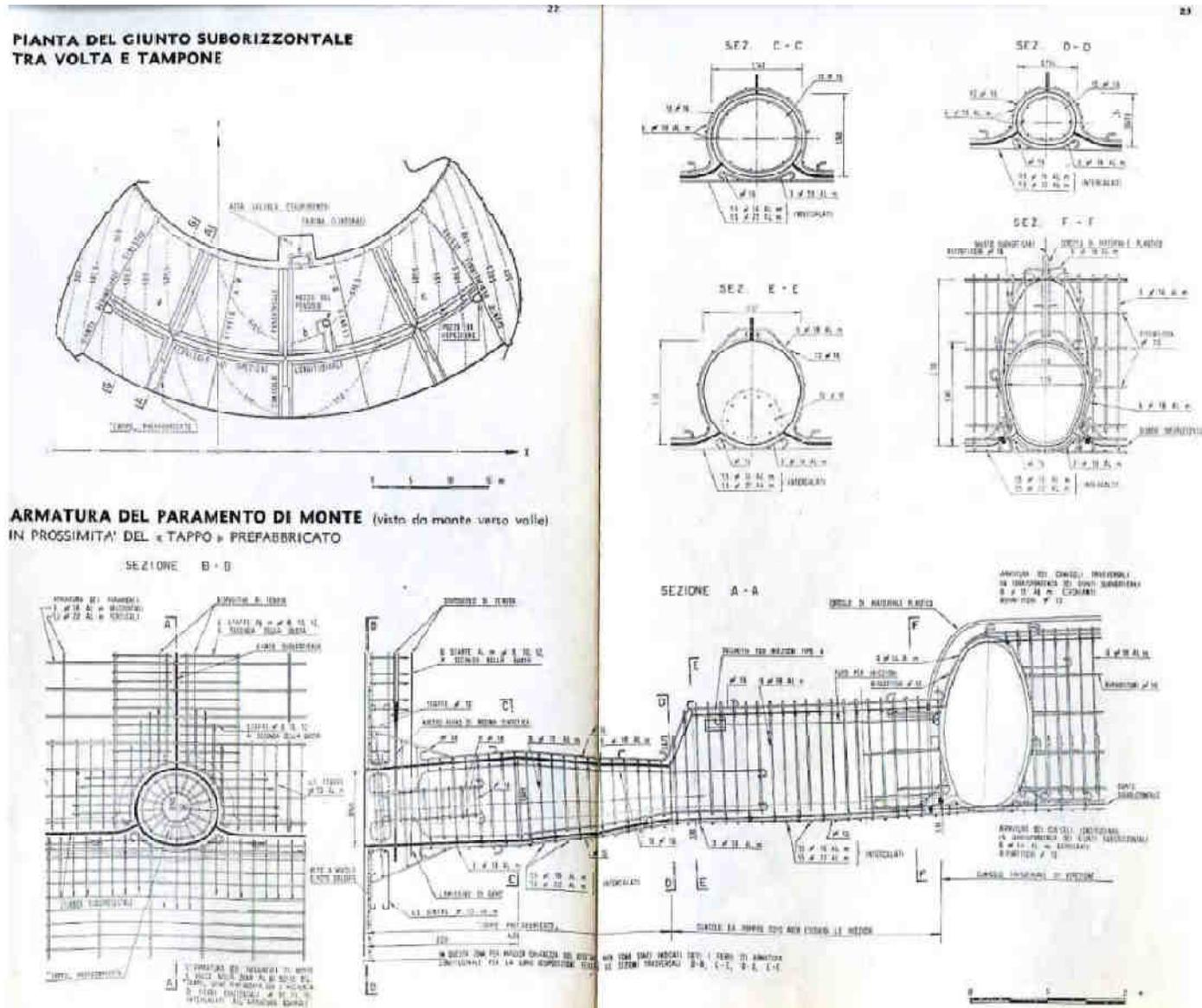


**GIUNTO SUBORIZZONTALE**  
SEZIONE VERTICALE G - G



**GIUNTO DI COSTRUZIONE**  
SEZIONE ORIZZONTALE

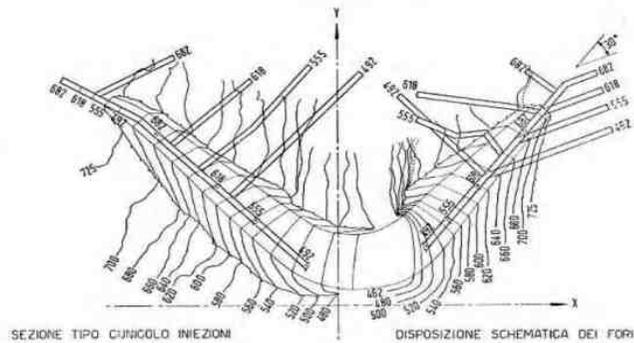
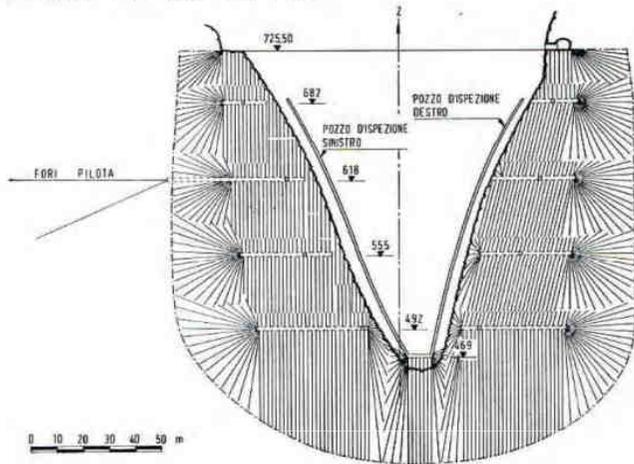
# GIUNTO SUBORIZZONTALE VOLTA - TAMPONE



# SCHERMO PRINCIPALE DI IMPERMEABILIZZAZIONE

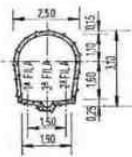
24

**SCHERMO PRINCIPALE DI IMPERMEABILIZZAZIONE**  
 CUNICOLI PER LE INIEZIONI IN DESTRA E SINISTRA,  
 ALLE QUOTE 682 - 618 - 555 - 492



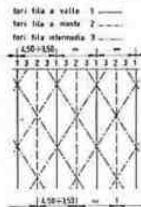
SEZIONE TIPO CUNICOLO INIEZIONI

DISPOSIZIONE SCHEMATICA DEI FORI



**Intervallo dei fori lungo ciascuna linea**

sopra q. 618 m 4,50  
 tra q. 555 m 4,00  
 tra q. 492 m 4,00  
 sotto q. 492 m 3,50



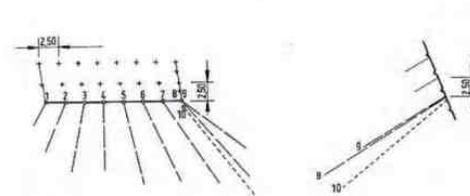
0 1 2 3 4 5 m

25

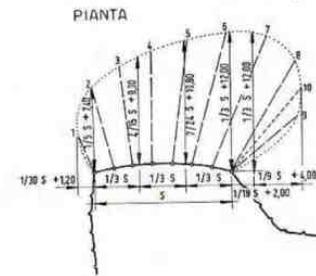
**INIEZIONI DI CONSOLIDAMENTO**

VISTA DI FRONTE

VISTA DI FIANCO



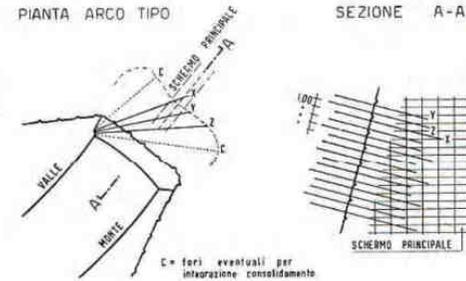
PIANTA



**INIEZIONI DI CUCITURA**

PIANTA ARCO TIPO

SEZIONE A-A



Perforazioni previste

	Perforaz. m	Riperforaz. m
I) Per iniezioni di cemento		
a) schermo principale		
— fori Ia e Ila fila	49000	38000
— fori IIIa fila (eventuali)	15000	12000
— fori per allacciamenti e varie	12000	9000
b) Consolidamento	53000	37000
c) Cuciture	18000	8000
d) Opere accessorie	10000	4000
II) Per messa in opera tiranti		
a) lungo le fiancate degli scavi	3000	1000
b) lungo le sponde a valle diga	11000	3000
	<b>171000</b>	<b>112000</b>

# SCAVO IMPOSTE DIGA

## SISTEMA DI SCAVO DELLE IMPOSTE DELLA DIGA

**ZONA A** Situata ad oltre 20 m dall'imposta. Fori di lunghezza qualunque (max raggiunta 30 m), eseguiti con Wagon drills e Gardner Denver  $\varnothing$  2 1/4", uno ogni 5 m<sup>2</sup>. Carica 1 kg di esplosivo per metro di foro (cartucce da 400 mm, distanziate da 50 cm di inerte). Carica totale max per volata 1000 kg.

**ZONA B** Situata fra 20 m e 5,40 dall'imposta. Fori di lunghezza max 6,40 m, eseguiti con normali perforatori  $\varnothing$  1 1/2", distanziati 1,50 m uno dall'altro, su file equidistanti 1,50 m. Carica 0,5 kg per metro di foro (cartucce normali da 180 mm). Carica totale max per ritardo 50 kg e per volata 200 kg.

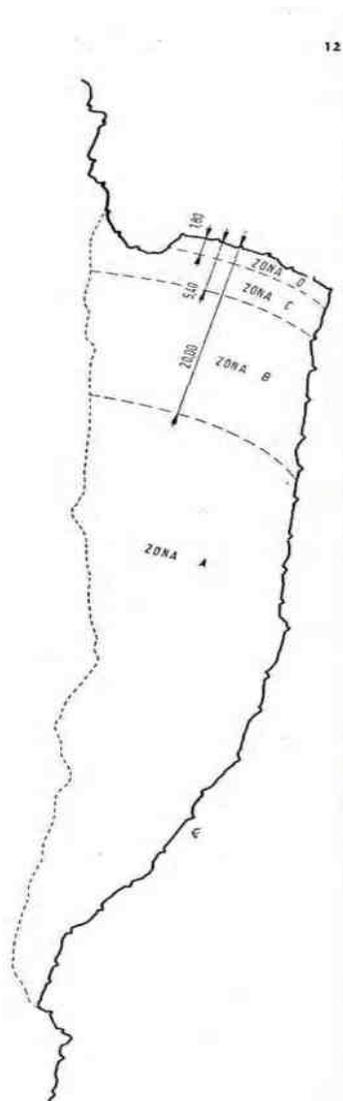
**ZONA C** Situata fra 5,40 m e 1,80 m dall'imposta. Fori di lunghezza max 2,20 m, distanziati 1,00 m uno dall'altro, su due o tre file. Carica 0,3 kg per metro di foro. Carica totale max per ritardo 15 kg, per volata 80 kg.

**ZONA D** Situata fra 1,80 m e l'imposta. Fori di lunghezza max 1,60 m, distanziati 0,80 m uno dall'altro, su due file a 0,80 m ed 1,80 m dall'imposta. Carica 0,2 kg per metro di foro. Carica totale max per ritardo 4 kg e per volata 20 kg.

Esplosivi adoperati: G.D.I.M. e DINAMON.

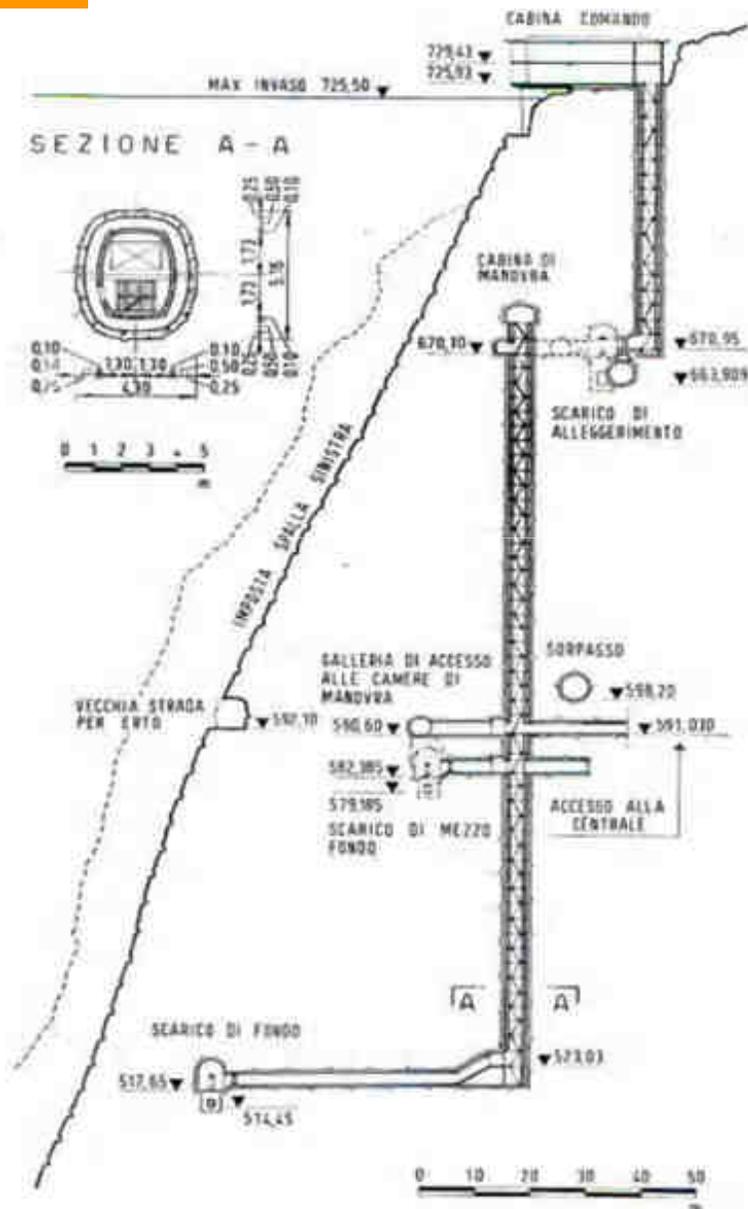
Sono stati impiegati al massimo undici ritardi.

Se necessario le superficie d'imposta sono state ripassate con martello demolitore.





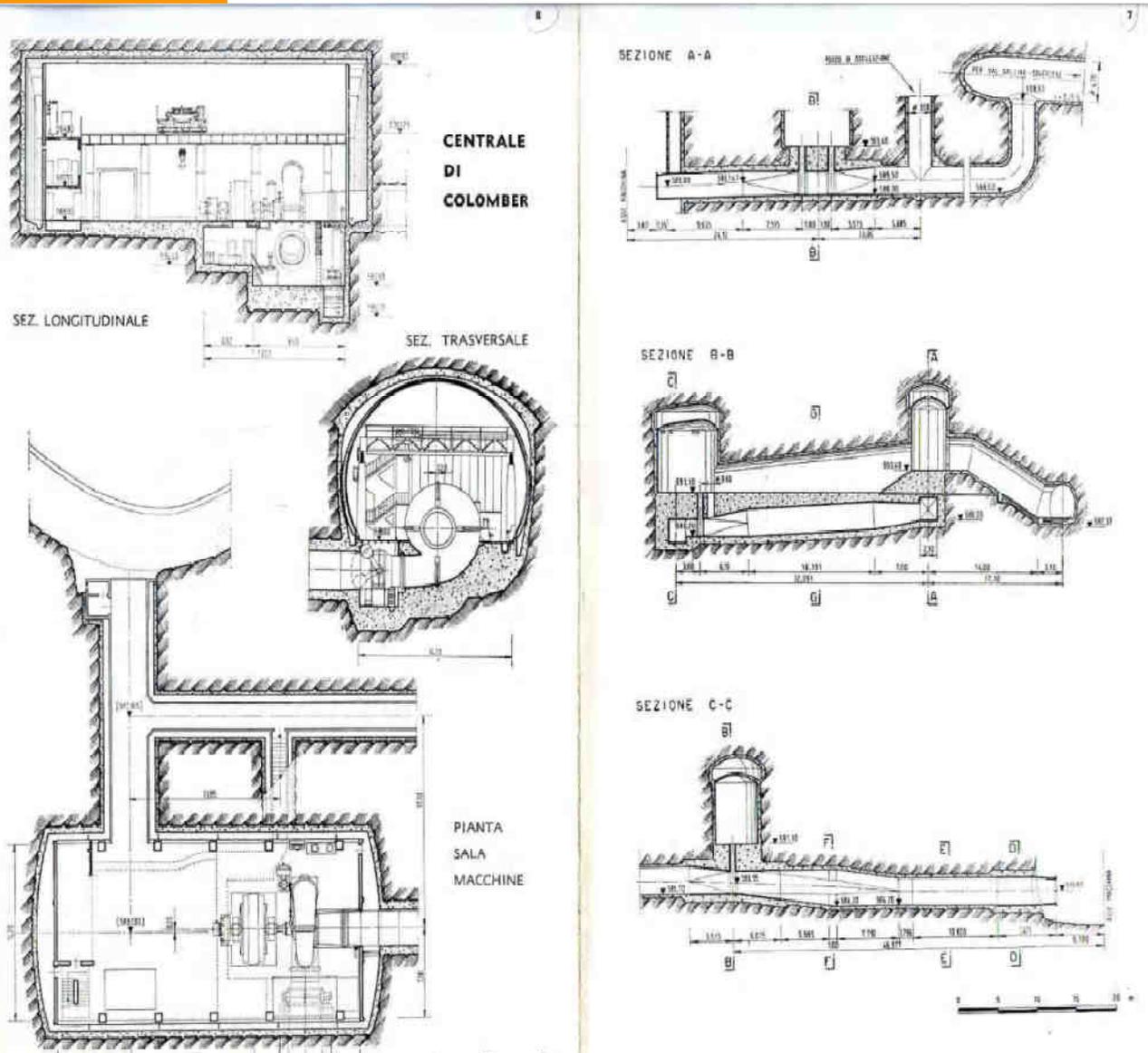
# POZZO MONTACARICHI IN SPONDA SINISTRA CABINA COMANDI CENTRALIZZATI



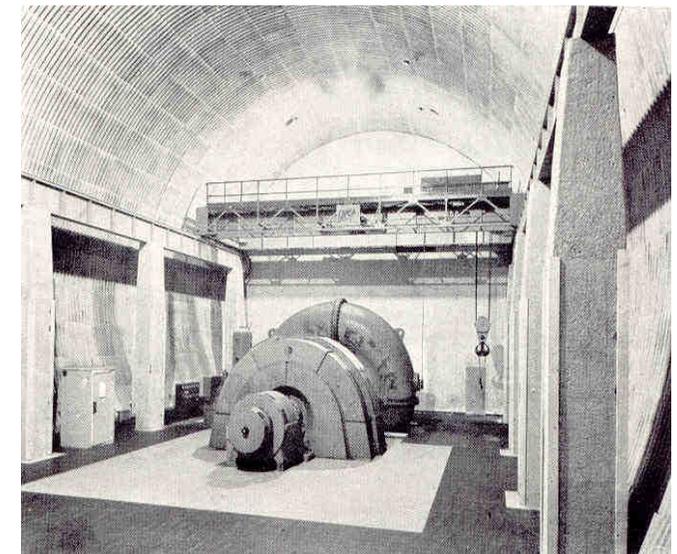
La Sicurezza degli Invasi Antichi e Sviluppi Tecnologici in Regione FVG

Pordenone, 27 novembre 2013

# CENTRALE DEL COLOMBER



- salto max 60 m
- portata max 20 mc/s
- potenza efficiente 9 MWh
- Inizio produzione 19 nov 1962



# SCARICO DI ALLEGGERIMENTO

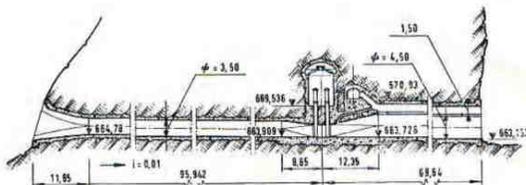
# SCARICO DI MEZZOFONDO

# SCARICO DI FONDO

quota max invaso 723,50 m slm

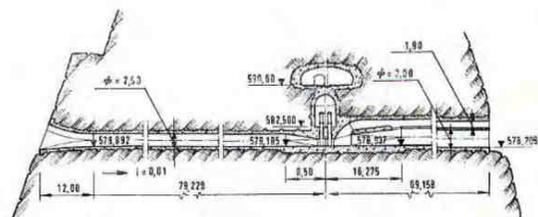
SCARICHI

ALLEGGERIMENTO



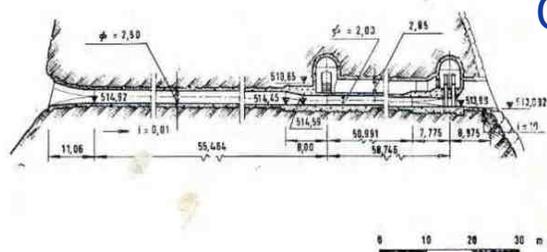
$Q=131,84 \text{ mc/s}$

MEZZO FONDO

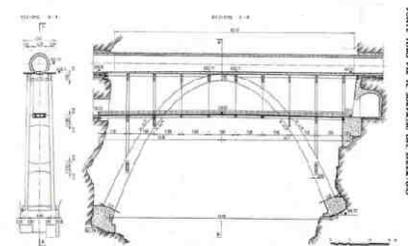
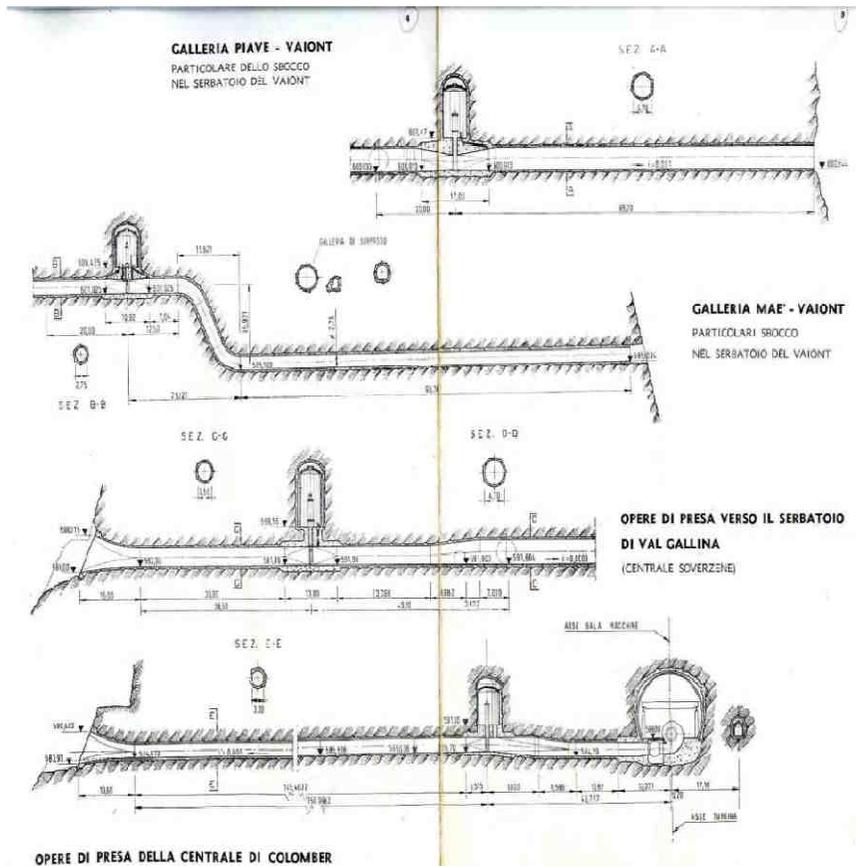


$Q=68,83 \text{ mc/s}$

FONDO

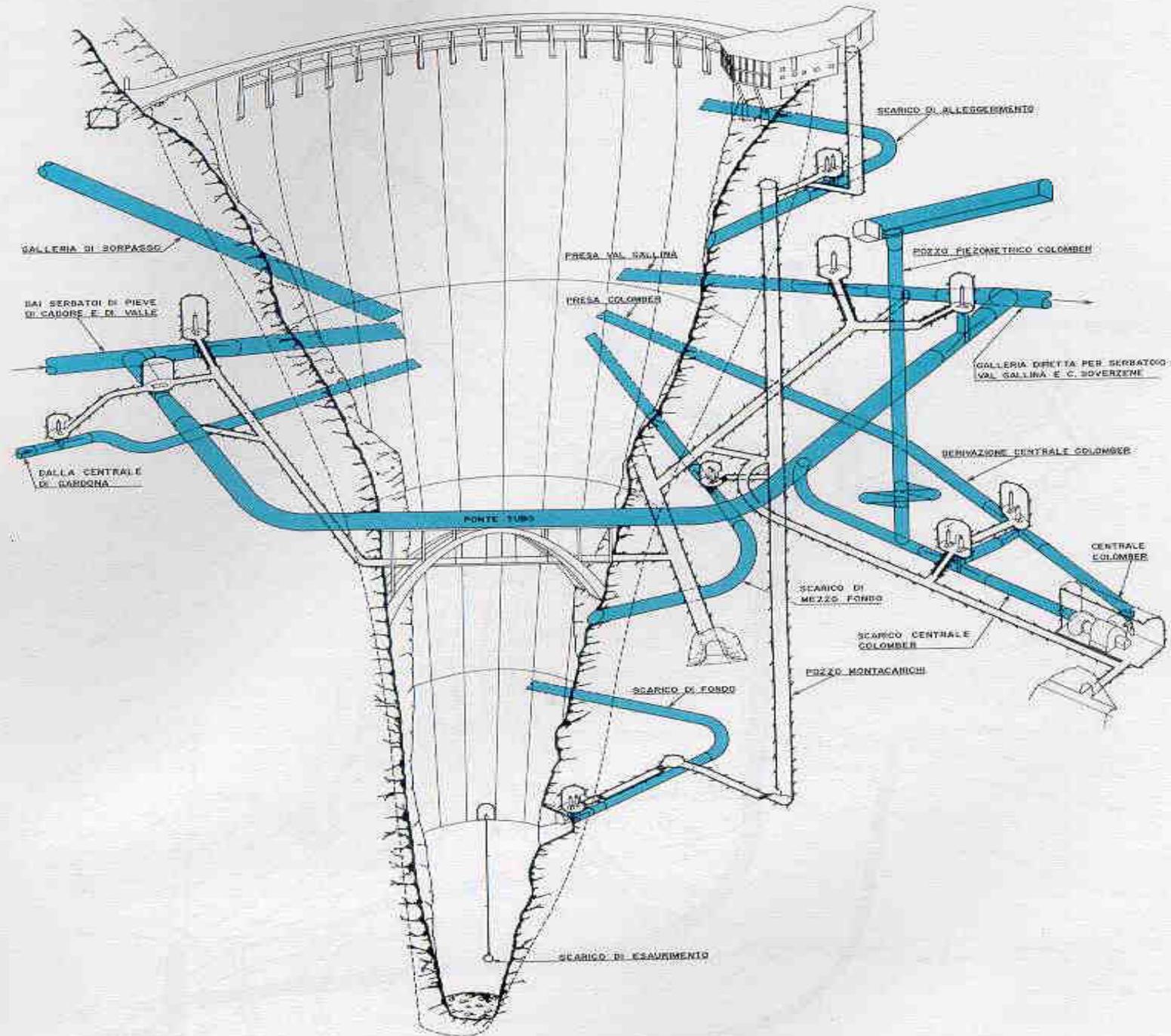


$Q=83,13 \text{ mc/s}$



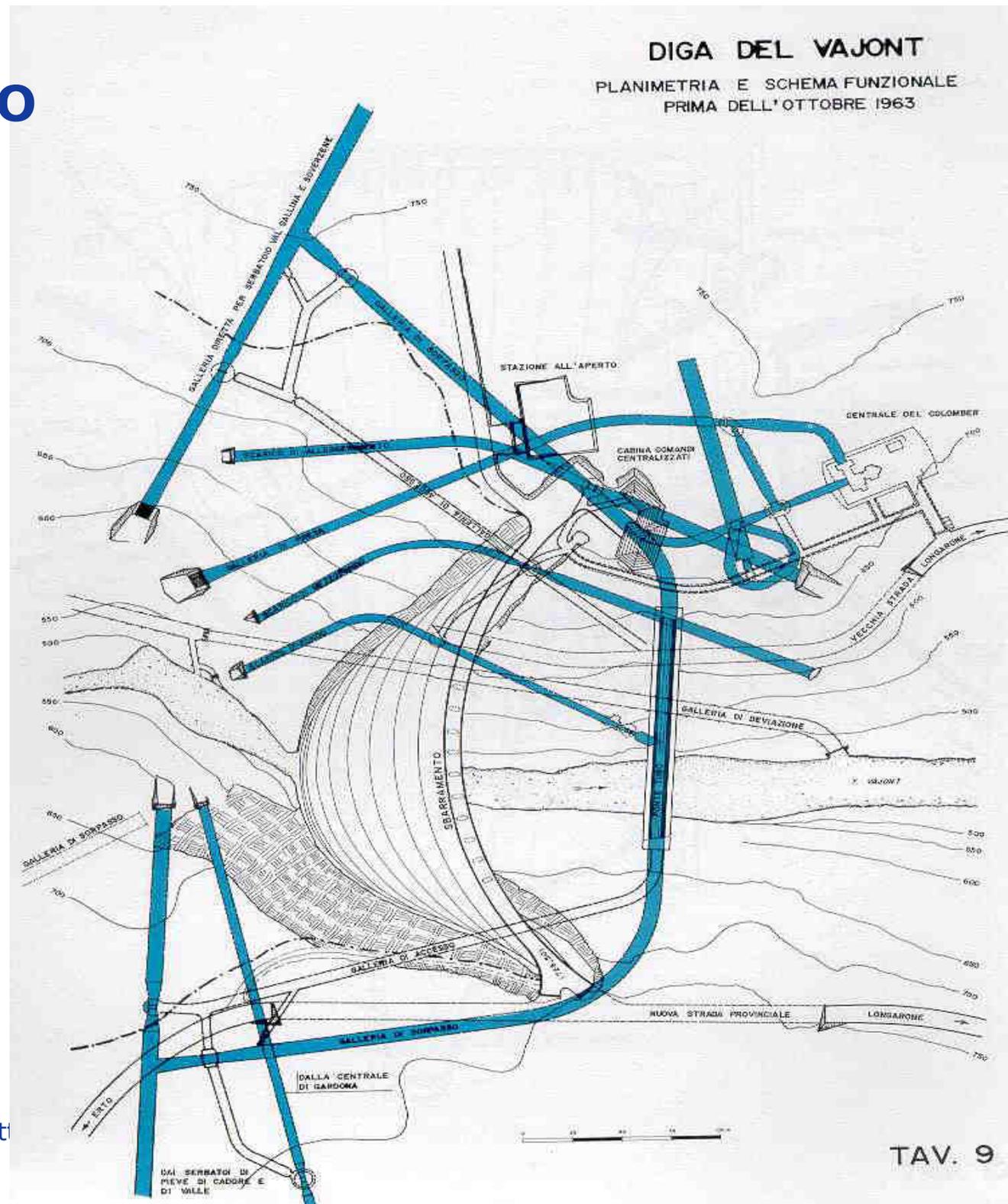
# SCHEMA IDRAULICO ANTE 1963

## DIGA DEL VAJONT ASSONOMETRIA E SCHEMA FUNZIONALE PRIMA DELL' OTTOBRE 1963



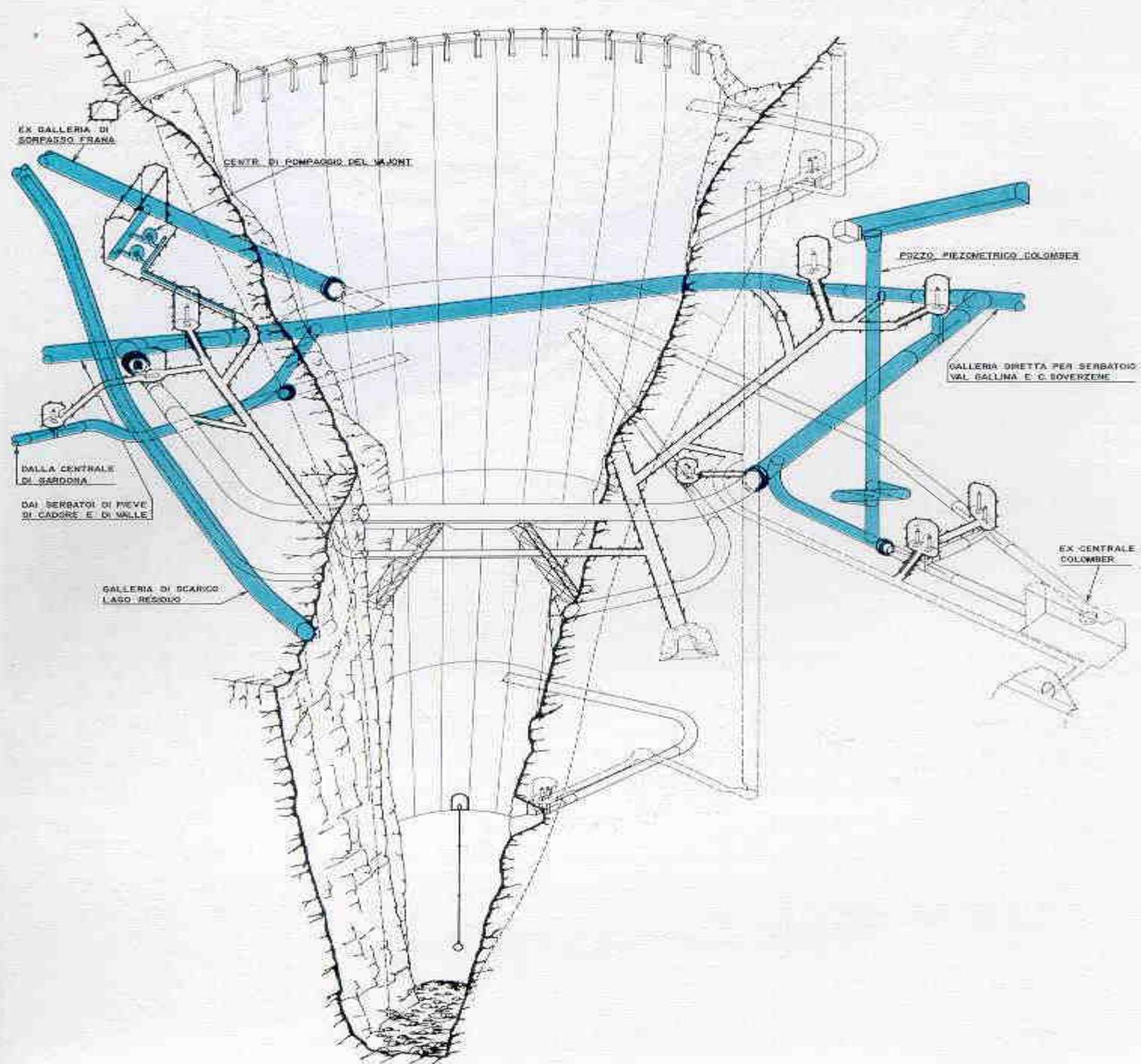
# SCHEMA IDRAULICO ANTE 1963

DIGA DEL VAJONT  
PLANIMETRIA E SCHEMA FUNZIONALE  
PRIMA DELL' OTTOBRE 1963



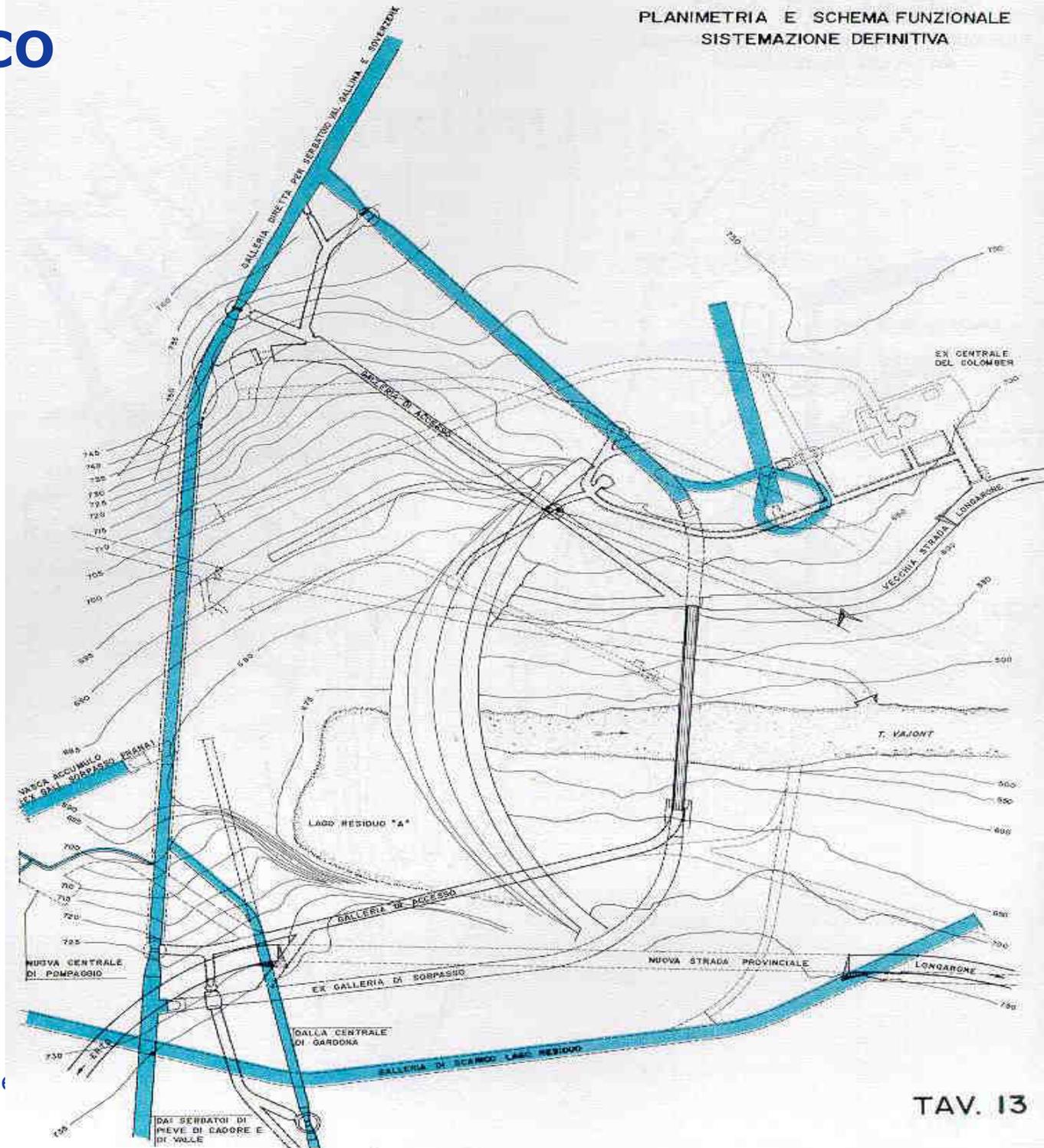
# SCHEMA IDRAULICO DOPO 1963

## DIGA DEL VAJONT ASSONOMETRIA E SCHEMA FUNZIONALE SISTEMAZIONE DEFINITIVA



# SCHEMA IDRAULICO DOPO 1963

DIGA DEL VAJONT  
PLANIMETRIA E SCHEMA FUNZIONALE  
SISTEMAZIONE DEFINITIVA



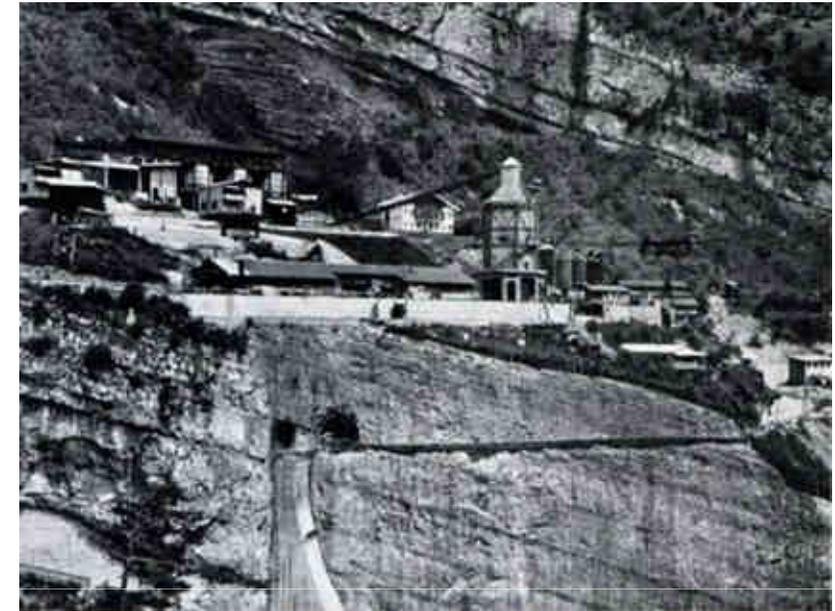


➤ **Esecuzione dei lavori :**

**- impianto di cantiere**

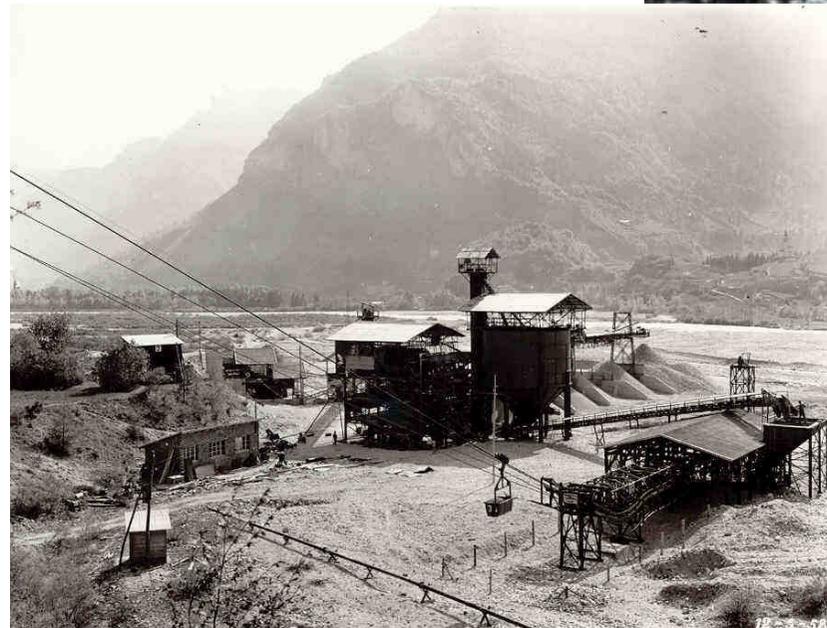
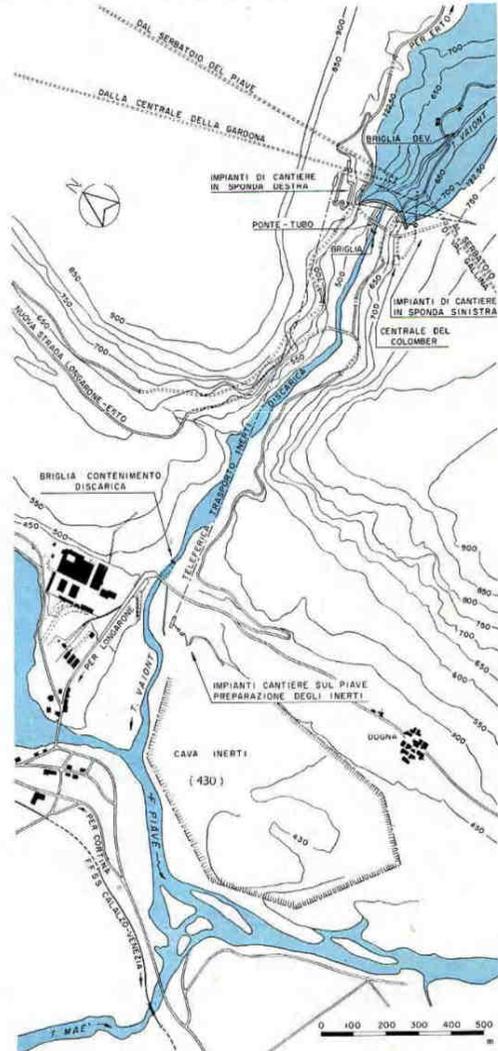
**- foto lavori**

# PLANIMETRIA ZONA DEI LAVORI E IMPIANTI CANTIERE



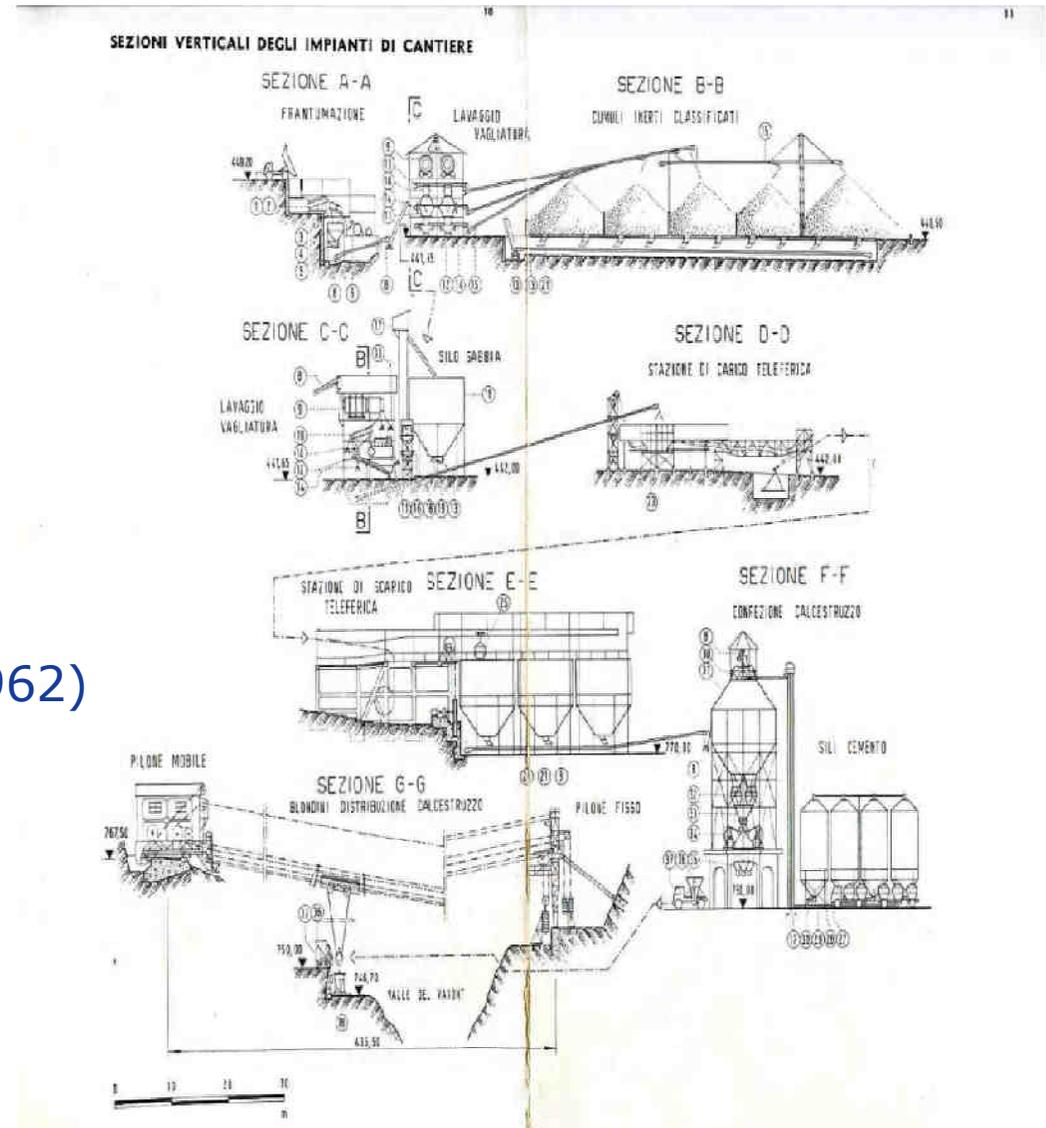
Impianto di cantiere  
sponda  
dx diga

PLANIMETRIA DELLA ZONA DEI LAVORI



Impianto inerti in  
alveo  
fiume Piave

# SEZIONI VERTICALI IMPIANTI CANTIERE IN DIGA



Fase di carico di una benna del blondin (1962)



Derrick in sponda sx diga

# ESECUZIONE DEI LAVORI

Calcestruzzi impiegati per la costruzione della diga  
353.000 mc

Inerti provenienti dal fiume Piave alla confluenza con il torrente  
Vajont divisi in 6 classi granulometriche; dmax 90 mm

Cemento ferrico a basso sviluppo di calore senza C<sub>3</sub>A e aggiunta di  
pozzolana naturale pari al 35% del clinker;

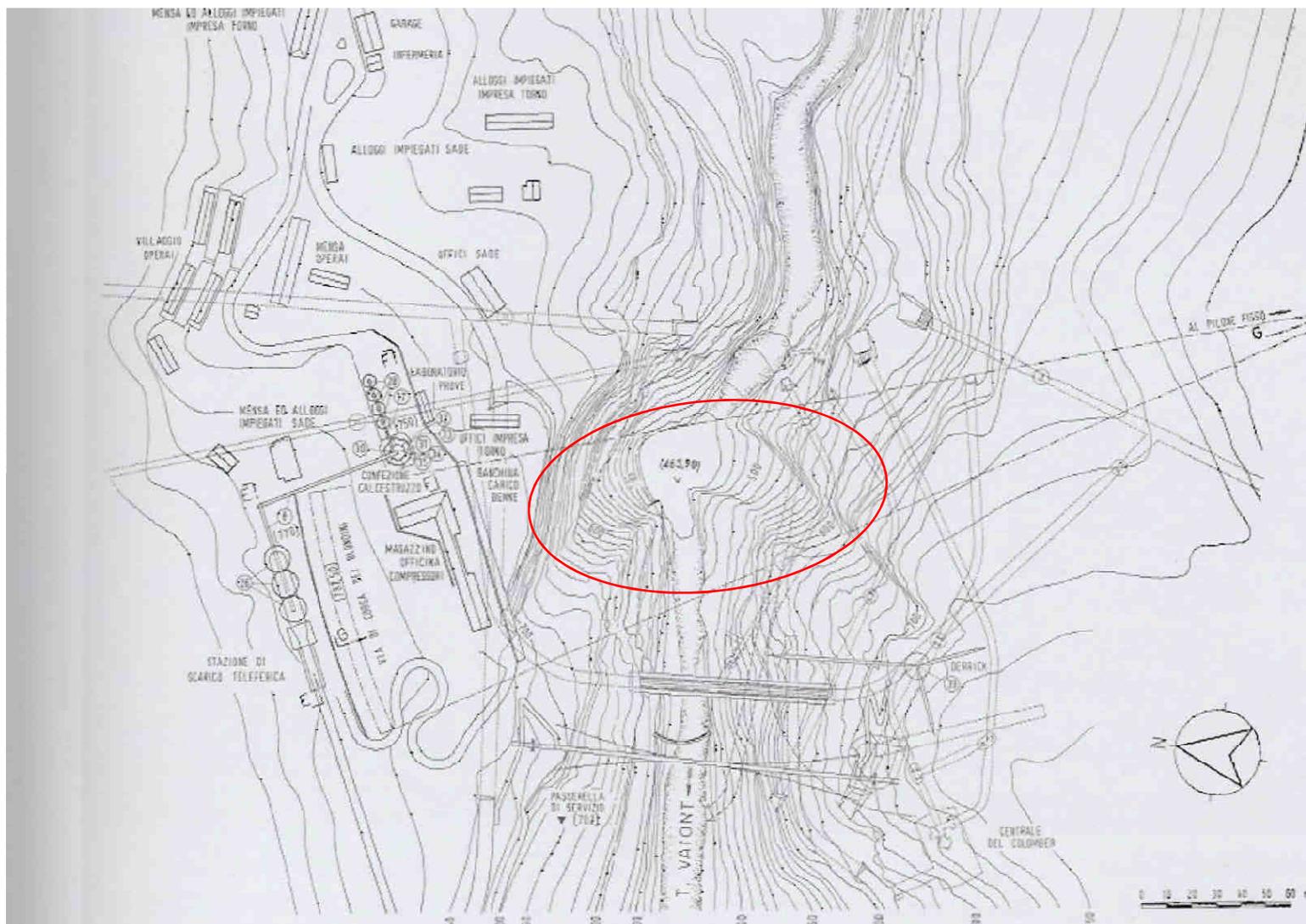
Contenuto di cemento 250 kg /mc;

Aggiunta di plasticizzante ed aerante;

Maturazione del calcestruzzo con getti di spessore superiore ai 14  
m con raffreddamento artificiale.

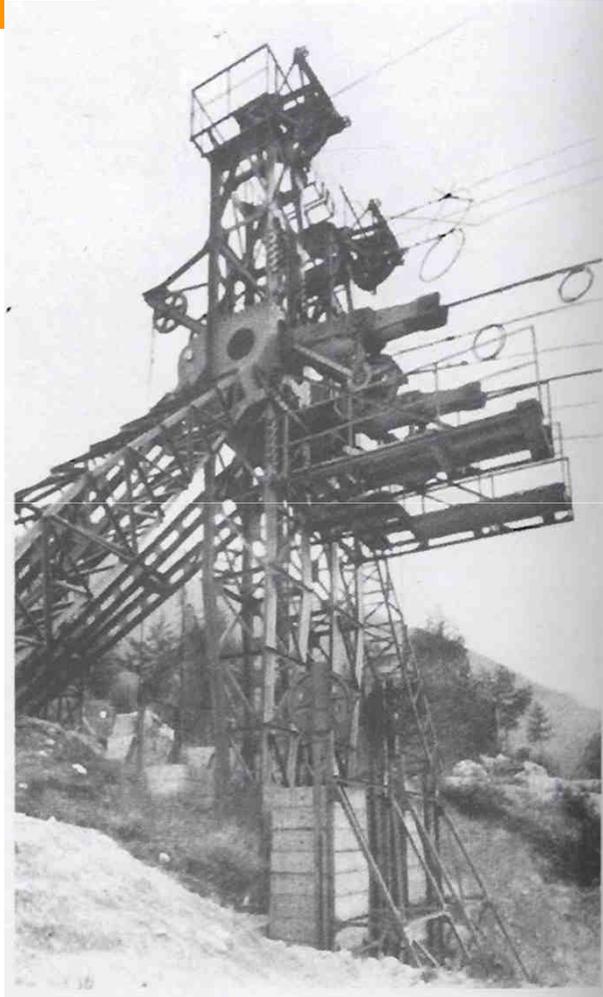
Gli inerti venivano trasportati tramite teleferica fino all'impianto di  
betonaggio sopra la sponda destra della diga

# PLANIMETRIA IMPIANTI DI CANTIERE IN DIGA

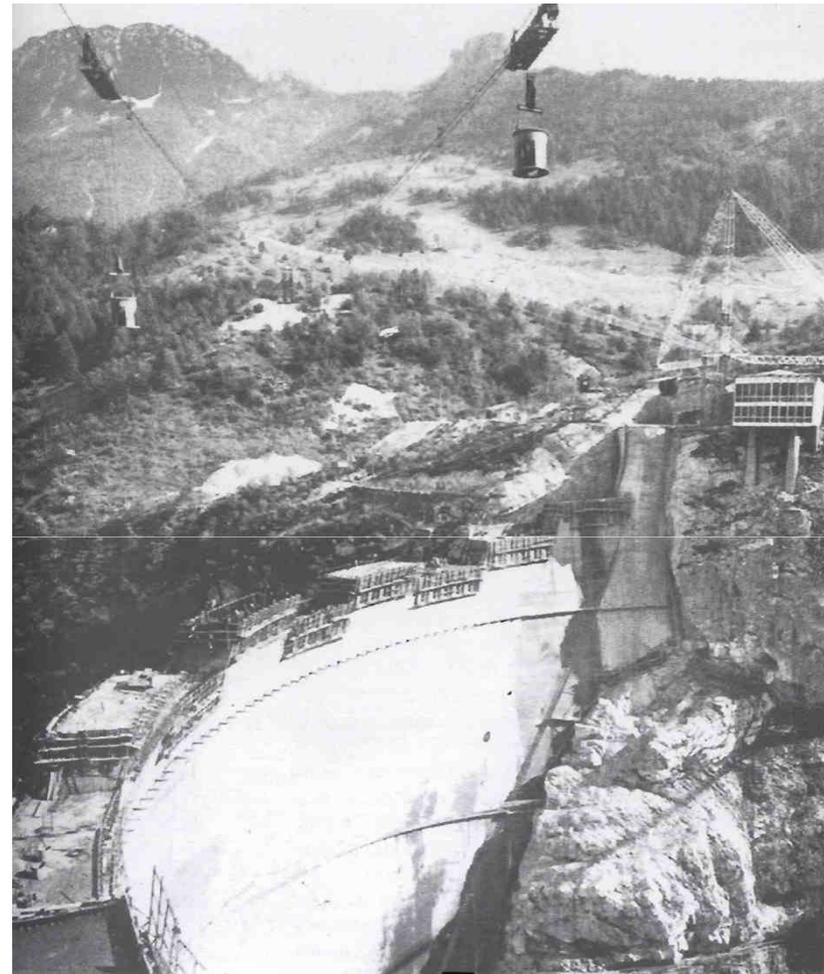


Impianti di cantiere in sponda dx e sx diga – Sade 1960

# IMPIANTI DI CANTIERE IN DIGA

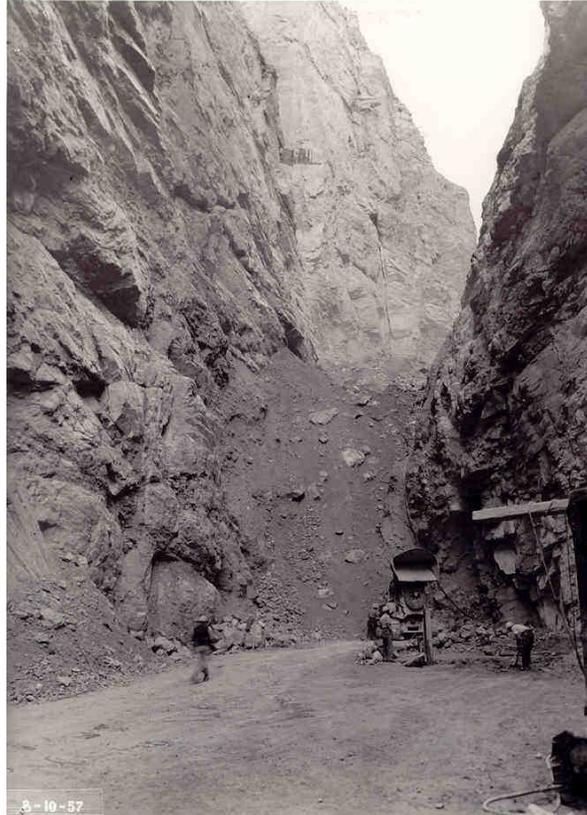


Pilone fisso del blondin



Visione generale con i due blondin e il derrick in funzione

## FOTO LAVORI DIGA



Scavi nella fase finale  
agosto 1958

Materiale demolizioni in alveo Vajont