



A. C. E. A. - Azienda Comunale Elettricità ed Acque di Roma
L'impianto idroelettrico di S. Angelo

S. P. Q. R.

Azienda Comunale Elettricità ed Acque

L'impianto idroelettrico di S. Angelo

Roma - 1961

L'impianto di S. Angelo, di cui si dà qui notizia, costituisce il punto di partenza di un vasto programma di potenziamento degli impianti di produzione dell'Azienda, iniziato nel 1954.

Alcuni dati possono meglio illustrare il cammino già percorso: nel 1953 l'energia messa in rete dall'ACEA fu di 482,6 milioni di kWh dei quali 186,5, e cioè il 38,5%, prodotti da impianti propri e il resto, e cioè il 61,5%, acquistati presso terzi. A sei anni di distanza, nel 1960, l'energia immessa in rete è stata di 885 milioni di kWh, ed è stata prodotta totalmente da impianti propri.

Le successive tappe di questo cammino, oltre alla costruzione dell'impianto idroelettrico di S. Angelo, sono state: la partecipazione al 50% nella Società Idroelettrica Tevere, che in questo ultimo quinquennio ha costruito gli impianti di Nazzano e di Ponte Felice ed ha iniziato l'impianto di Baschi, tutti sull'asta del Tevere; e la partecipazione al 50% nella Società Mineraria del Trasimeno, che ha realizzato la centrale termica « Città di Roma » valorizzando le ligniti della miniera di Pietrafitta in Umbria.

L'incremento dei consumi di energia in Roma si mantiene però sempre eccezionalmente alto e per fronteggiarlo sono stati predisposti programmi a lunga scadenza che prevedono la costruzione di nuovi impianti idroelettrici in Abruzzo (bacini del Sangro, Trigno e Alta Maiella), nel Lazio (bacini del Tevere e dell'Aniene), nonché in Val d'Aosta (bacino del Gran Paradiso), e la realizzazione di nuovi impianti termoelettrici e di recupero.

L'impianto di S. Angelo, illustrato nelle pagine che seguono, è di grande importanza per l'ACEA perchè ad esso è affidato il servizio più gravoso, e cioè la regolazione giornaliera e stagionale del carico.

Ugo Verducci

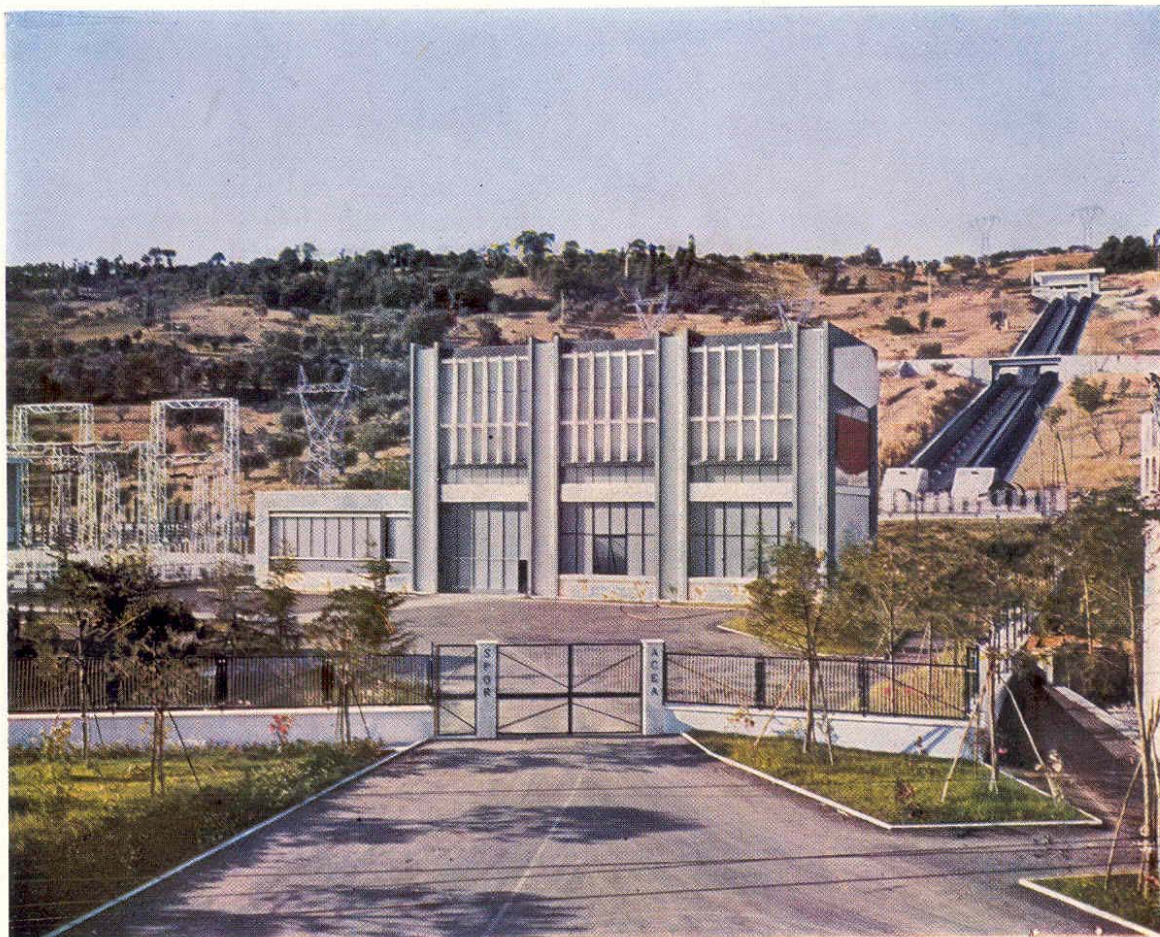


Fig. 1 - CENTRALE DI S. ANGELO — Veduta della Centrale e delle condotte forzate.

L'impianto idroelettrico di S. Angelo

L'impianto di S. Angelo è il più importante del sistema studiato dall'ACEA, fin dal 1942, per utilizzare a scopo idroelettrico le risorse idriche ancora disponibili sul F. Sangro, dallo scarico dell'impianto di Villa S. Maria al mare, e sui suoi principali tributari Aventino e Verde.

Nel corso di una lunga istruttoria conclusasi nel 1958 con la concessione all'ACEA degli impianti, il progetto ha subito numerose varianti aventi principalmente lo scopo di aumentare la capacità di accumulazione del sistema e di contemperare le esigenze irrigue con quelle idroelettriche. Il programma studiato dal Consorzio di Bonifica delle valli del Sangro e dell'Aventino per l'irrigazione di circa 7000 ettari nella bassa valle del Sangro è stato reso attuabile dalla costruzione dei serbatoi, che assicurano una disponibilità estiva di acqua superiore alla portata di magra del fiume; si è prevista inoltre la costruzione in comune di alcune opere interessanti sia il programma di utilizzazione idroelettrica che il programma irriguo.

L'utilizzazione delle acque del medio e basso Sangro ed affluenti risulta dallo schema prospettico in fig. 2; le principali caratteristiche dei tre impianti, dei quali è stato finora eseguito solo quello di S. Angelo, entrato in esercizio nel dicembre 1958, sono le seguenti:

1) *Impianto dell'Aventino*: deriverà le acque del F. Aventino subito allo scarico della centrale della Società Elettrica Frentana a q. 356,50 e le restituirà nel sottostante serbatoio di Casoli, facente parte del successivo impianto di S. Angelo, utilizzandole con un salto medio utile lordo di 99 m. L'impianto potrà derivare una portata massima di 8 m³/s ed una portata media di 4,7 m³/s; nella centrale verranno installati due gruppi per una potenza complessiva di 8 000 kVA. La potenza media effettiva dell'impianto sarà di 3 650 kW e la producibilità media annua di 30 milioni di kWh.

2) *Impianto di S. Angelo*: deriva le acque dei fiumi Aventino e Verde dal serbatoio di Casoli, avente la capacità utile di 20 milioni di m³ e la massima ritenuta a q. 255,00, e le acque del F. Sangro dal Serbatoio di Bomba, sito subito a valle della esistente centrale di Villa S. Maria, avente la capacità utile di 64 milioni di m³ e la stessa quota di massimo invaso del serbatoio di Casoli (v. fig. 3).

La restituzione avviene a q. 93,70 in corrispondenza della confluenza dei fiumi Sangro ed Aventino; il salto medio utile lordo utilizzato è di 143,90 m.

Questo impianto deriva una portata massima di 40 m³/s ed una media di 21,7 m³/s: nella centrale sono installati due gruppi aventi una potenza complessiva di 73 000 kVA. La potenza media effettiva dell'impianto è di 24 500 kW e la producibilità media annua di 211 milioni di kWh.

3) *Impianto di Torino di Sangro*: avrà la presa a q. 90,00, poco a valle dello scarico dell'impianto di S. Angelo, e la restituzione direttamente nel mare Adriatico, utilizzando un salto medio utile lordo di 83 m.

Questo impianto potrà derivare una portata massima di 36 m³/s, rifasando mediante un sottobacino le portate scaricate dall'impianto di S. Angelo, ed una portata media di 22,4 m³/s; nella centrale verranno installati due gruppi per una potenza complessiva di 30 000 kVA. La potenza media effettiva dell'impianto sarà di 14 590 kW e la producibilità media di 120 milioni di kWh.

Nell'insieme quindi, dagli impianti del Sangro potrà ricavarsi una produzione globale di 360 milioni di kWh, con una potenza massima di circa 80 000 kW.

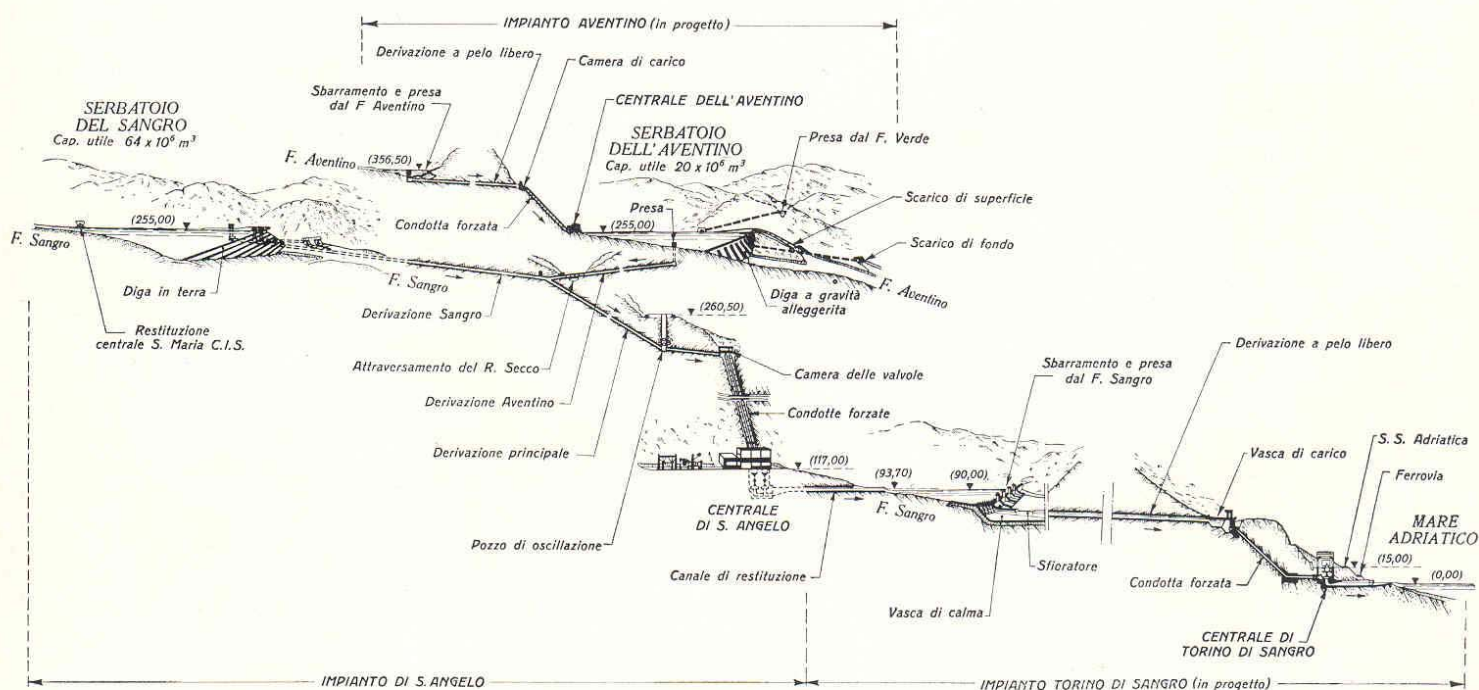


Fig. 2 - IMPIANTI IDROELETTRICI DEL SANGRO - Schema prospettico. — L'utilizzazione idroelettrica del Sangro e dell'Aventino fra la q. 356,50 ed il mare si inquadra in un piano di utilizzazione promiscua, studiato dal Consorzio di bonifica delle valli del Sangro e dell'ACEA, che prevede l'irrigazione di un comprensorio di 7 000 ha ed il sistema dei tre impianti indicati.

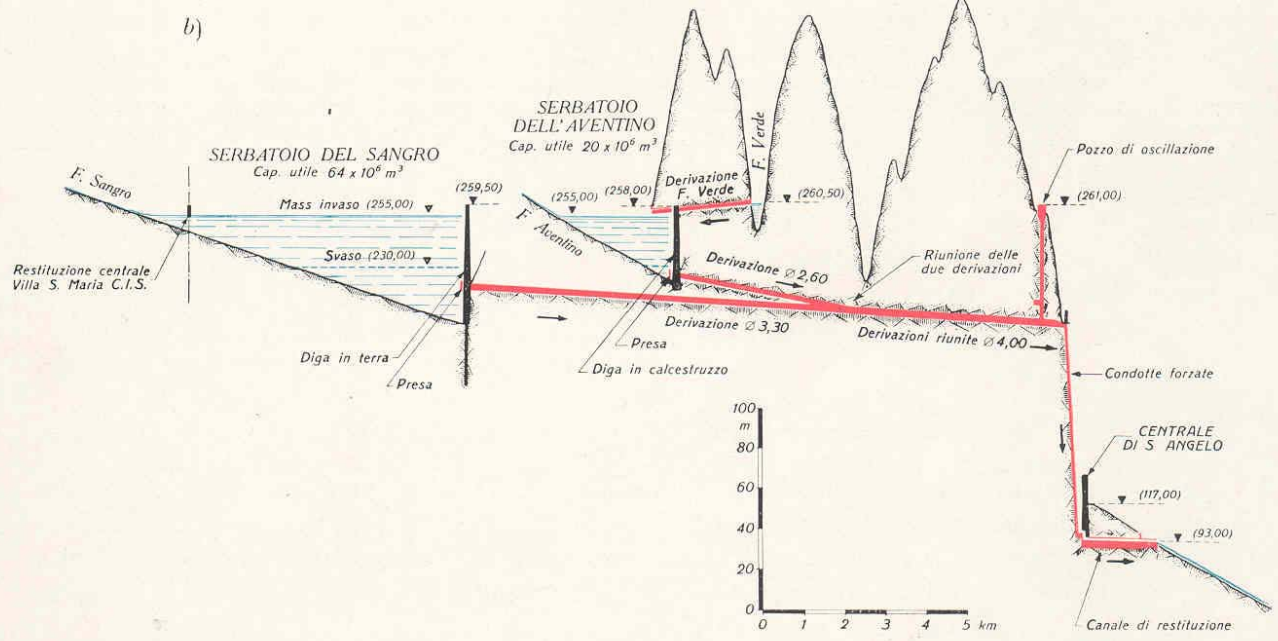
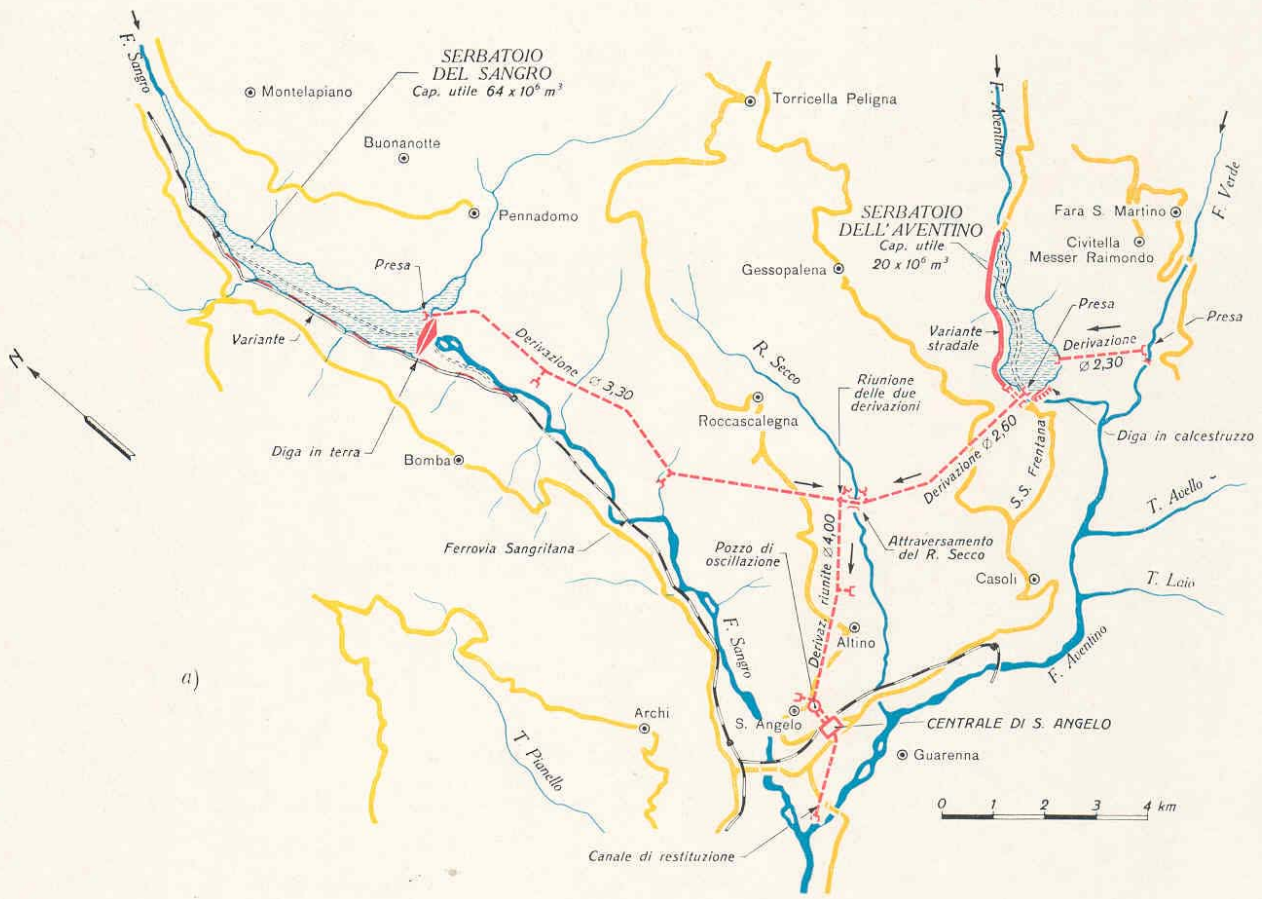


Fig. 3 - IMPIANTO DI S. ANGELO - a) Corografia. - b) Schema altimetrico. — L'impianto utilizza le acque del Sangro e del suo affluente Aventino tra le q. 255,50 e 93,70 nonché quelle del F. Verde derivate a quota 260,50. Le portate utilizzate sono regolate dal serbatoio sul F. Sangro e da quello sul F. Aventino. I due serbatoi sono collegati idraulicamente tra loro ed hanno una capacità utile complessiva di 84 milioni di m³.

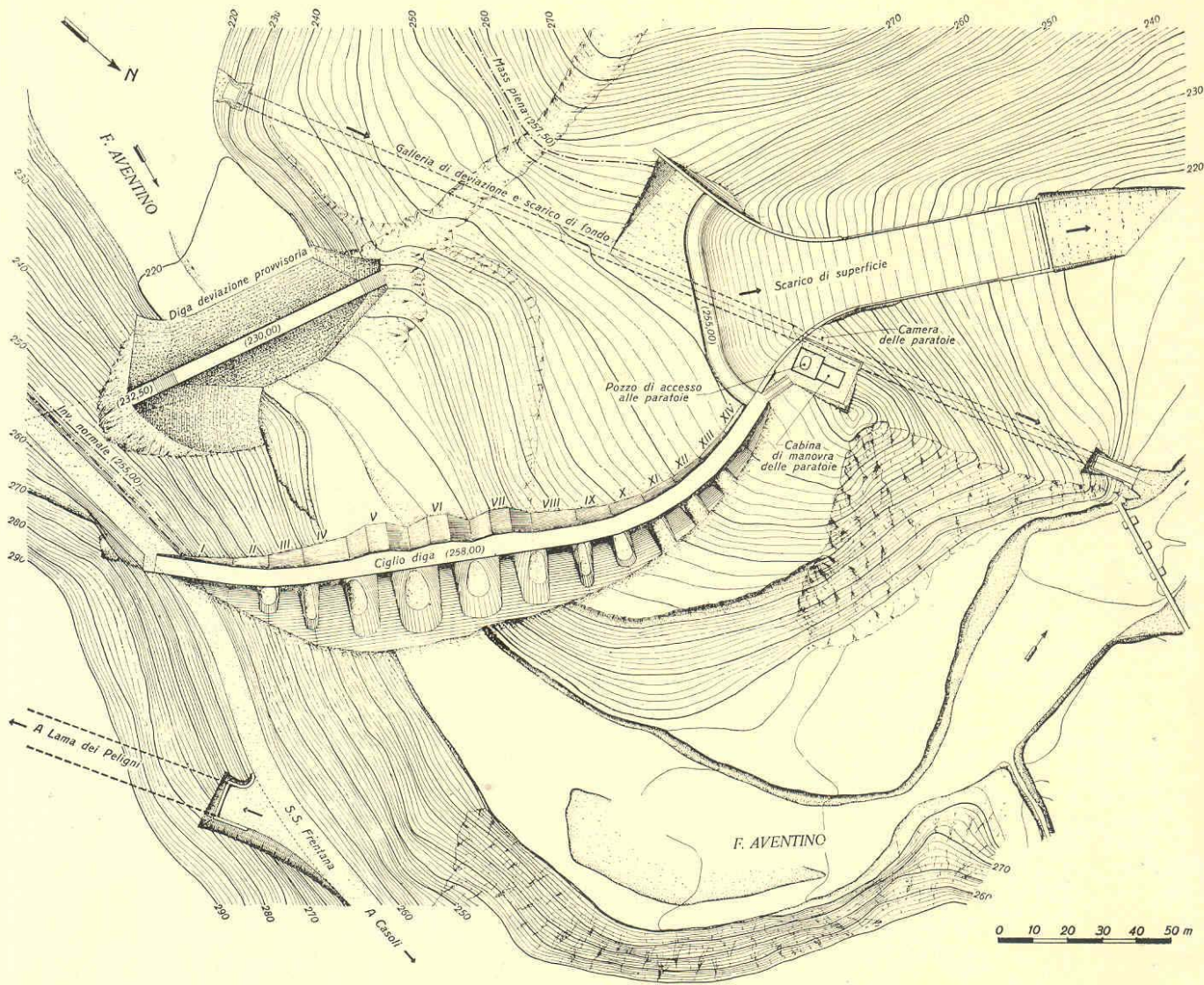


Fig. 4 - DIGA DI CASOLI SULL'AVENTINO - Planimetria generale. — La diga è del tipo a gravità alleggerita a speroni, fondata su una formazione stratificata di calcari e marne con intercalazioni argillose. La struttura è costituita da 12 elementi principali e da due spalle a gravità massiccia agli estremi.

Serbatoio di Casoli sul F. Aventino

1) Serbatoio e diga di sbarramento.

Il bacino d'invaso del serbatoio di Casoli è costituito in massima parte da argille scagliose e pertanto non ha presentato alcun problema la tenuta del serbatoio; l'instabilità delle sponde, notevolmente franose, ha costituito invece una notevole difficoltà per lo spostamento di un tronco della S.S. 84 (Frentana) dal fondo valle ad una quota superiore a quella del massimo invaso.

Il nuovo tronco, della lunghezza complessiva di 3 250 m, è stato costruito lungo la sponda destra del serbatoio con caratteristiche di tracciato — richieste dall'ANAS — di gran lunga superiori a quelle della strada preesistente. Il nuovo tronco comprende notevoli opere d'arte, tra cui un tronco di galleria della lunghezza di 220 m circa e tre ponti in calcestruzzo armato aventi rispettivamente la luce di 98, 54 e 45 m.

La stretta ove è stata costruita la diga è incisa nella cosiddetta « formazione di Casoli » che è costituita da strati subverticali di brecciola calcarea cementata, di marna e di arenaria, con intercalati straterelli di argilla, che si succedono in serie di spessori e consistenze diverse, compatti taluni, fratturati più o meno minutamente gli altri, con direzione NE-SO ed immersione verso valle pressochè parallela all'asse della stretta.

La morfologia della stretta e la natura dei terreni escludevano la possibilità di realizzarvi una struttura monolitica arcuata. Si è pertanto prescelta una struttura a gravità alleggerita completata da particolari accorgimenti e disposizioni, richiesti sia dalla ripidità della sponda destra della stretta, sia dalla deformabilità e scarsa resistenza propria agli scorrimenti delle formazioni di fondazione; in queste, infatti, le componenti deformabili (argille) e le componenti scarsamente coerenti (brecciole calcaree minutamente fratturate) sono in netta prevalenza sulle componenti rigide costituite da rare bancate di calcare compatto, di potenza limitata a qualche metro, alternate alle precedenti.

L'ubicazione della diga nella stretta, lunga qualche centinaio di metri, ha costituito un primo problema assai delicato, nel proposito di situare la struttura nella posizione migliore agli effetti della stabilità, sia in rapporto alle diverse condizioni locali di alternanze e qualità degli strati della formazione, sia nei riguardi della loro direzione ed inclinazione rispetto all'opera; tenuto conto che, mentre la formazione è praticamente monoclinale lungo tutta la stretta, il corso d'acqua vi si è inciso con andamento tortuoso e pertanto il relativo asse assume angolazione assai variabile rispetto ai piani di stratificazione.

Dopo un accurato studio, accompagnato da molti saggi con pozzi, cunicoli, trincee e sondaggi, che ha permesso di ricostruire l'andamento stratigrafico della formazione in tutta la stretta, si è scelta per la struttura una posizione in cui una bancata di calcare rigido dello spessore di qualche metro, subverticale, traversa la stretta pressochè normalmente e con immersione da monte a valle, accompagnato su entrambi i lati da una successione di strati in cui predominano sulle argille elementi meno compressibili, quali le brecciole calcaree, pur minutamente fratturate, e le arenarie.

L'andamento planimetrico della struttura del tutto inconsueto, curvo con la concavità verso monte, è derivato dalla condizione di mantenere la struttura a cavallo della predetta bancata rigida costituente, col suo sia pur lieve spessore di affioramento di appena qualche metro, un discreto ancoraggio della struttura. Si è avuta particolare cura di situare l'opera in modo che il suo piede a valle ricadesse in corrispondenza del predetto banco nel tratto in alveo, ove la struttura ha maggior altezza.

La struttura è costituita da 12 elementi principali e da due elementi massicci agli estremi (figg. 4-6 a).

Gli elementi principali sono di due tipi, e cioè più alleggeriti (tipo « A » - elementi V, VI, VII) e meno alleggeriti (tipo « B » - elementi II, III, IX, X, XI, XII, XIII); i primi, di maggior interesse per le forme e dimensioni caratteristiche, sono stati utilizzati nella parte centrale dell'opera, su fondazioni pochissimo inclinate e con andamento planimetrico rettilineo; i secondi sono stati utilizzati nei tratti in pendenza delle sponde, con andamento planimetrico curvo (fig. 6 a).

Per assicurare la stabilità della struttura in relazione alla sensibile compressibilità e più ancora alla scarsissima coesione della maggior parte degli strati della formazione di sbancamento (non occupando il banco rigido di cui sopra che una esigua parte delle fondazioni) sono stati adottati provvedimenti particolari di due ordini.

Il primo è consistito nell'aggiunta, alla base degli speroni, di zoccoli che ampliano la superficie di base e pertanto diminuiscono le sollecitazioni sulla fondazione; gli zoccoli d'altra parte con il loro reciproco contatto lungo il paramento a valle hanno eliminato il pericolo di scorrimento degli elementi, anche per solo peso proprio, lungo i tratti più ripidi delle sponde. Gli zoccoli peraltro sono a contatto reciproco solo a monte e a valle; nella zona centrale essi lasciano tra loro un largo vano planimetricamente ovoidale che evita il costituirsi di sottopressioni nei contigui elementi.

L'altro provvedimento è consistito nel consolidamento in profondità della roccia di fondazione e nell'agganciamento ad essa della struttura sovrastante (figg. 6 b e 13).

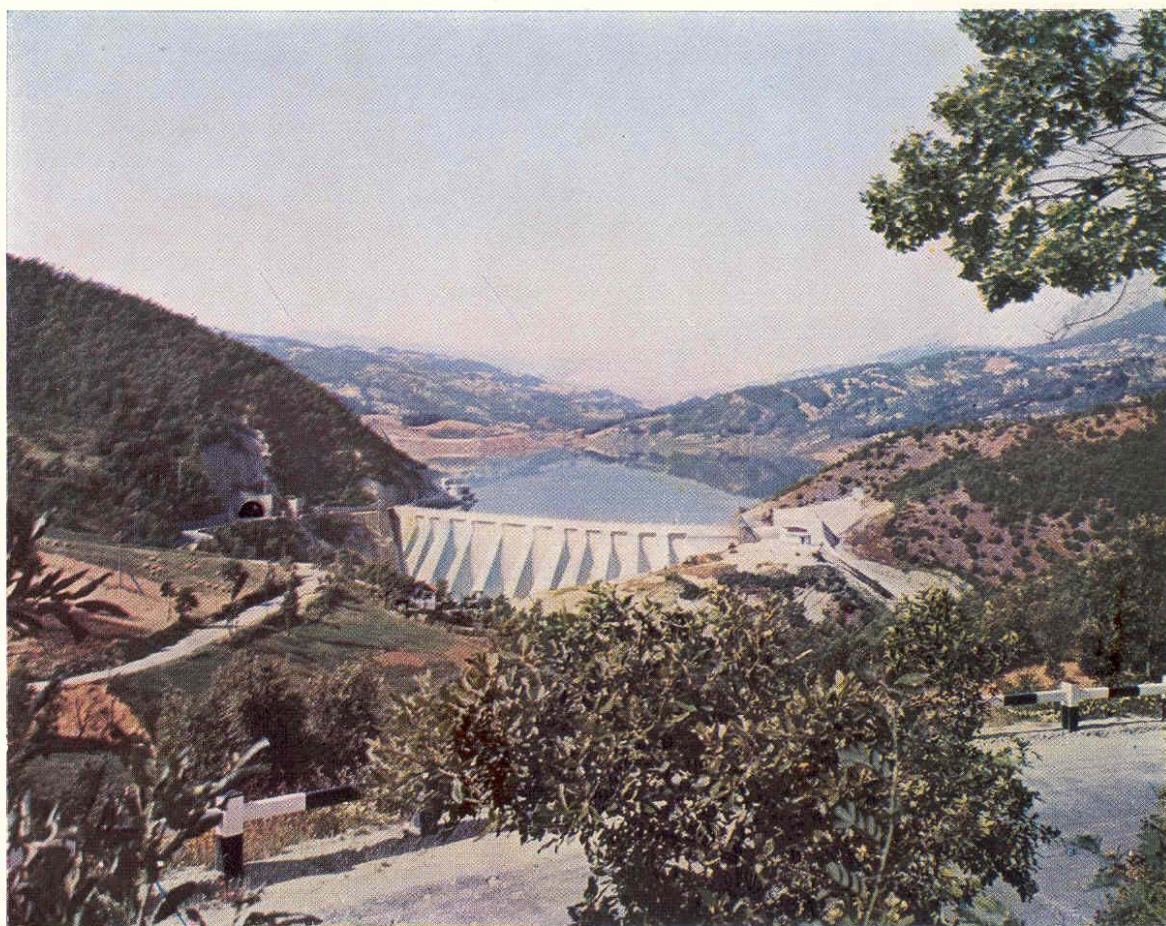


Fig. 5 - DIGA E SERBATOIO DI CASOLI.

Tale provvedimento è stato realizzato mediante una serie numerosa di fori praticati nella roccia per una lunghezza di 10 m (con densità fino ad un foro per m^2 sotto gli elementi più alti e densità decrescente lungo le sponde), fori in cui sono state introdotte barre di 30 mm di diametro, e che successivamente sono stati iniettati.

Le estremità superiori delle barre sono state amarrate in una « suola » continua disposta sotto gli zoccoli degli elementi, alta 2 m e intensamente armata.

Il successo dei provvedimenti predetti può dirsi completo: benchè la struttura sia andata in carico la prima volta assai rapidamente per una piena, le deformazioni registrate sono state lievissime e praticamente del tutto elastiche.

Per il controllo delle deformazioni della diga sono stati disposti 3 coordinometri negli elementi centrali e 18 basi per clinometro nei nove elementi centrali.

Per lo studio dell'andamento delle temperature sono stati disposti 57 termometri a resistenza; di questi, 47 sono in un unico elemento, per il rilievo delle isoterme, e 10 negli altri elementi, per il rilievo delle temperature di presa.

2) Opere di scarico.

Sono proporzionate per smaltire la portata massima di piena di circa $650 m^3/s$ e consistono in uno scarico di superficie ed uno scarico di fondo, entrambi posti in sponda sinistra.

Lo scarico di superficie utilizza un avvallamento naturale, sistemato a scivolo, con un ampio raccordo all'imbocco e un trampolino al piede; la restituzione al fiume avviene in zona assai lontana dalla diga.

Lo scarico di fondo è costituito da una galleria rettilinea intercettata da due paratoie; durante i lavori è stato adoperato come deviazione provvisoria.

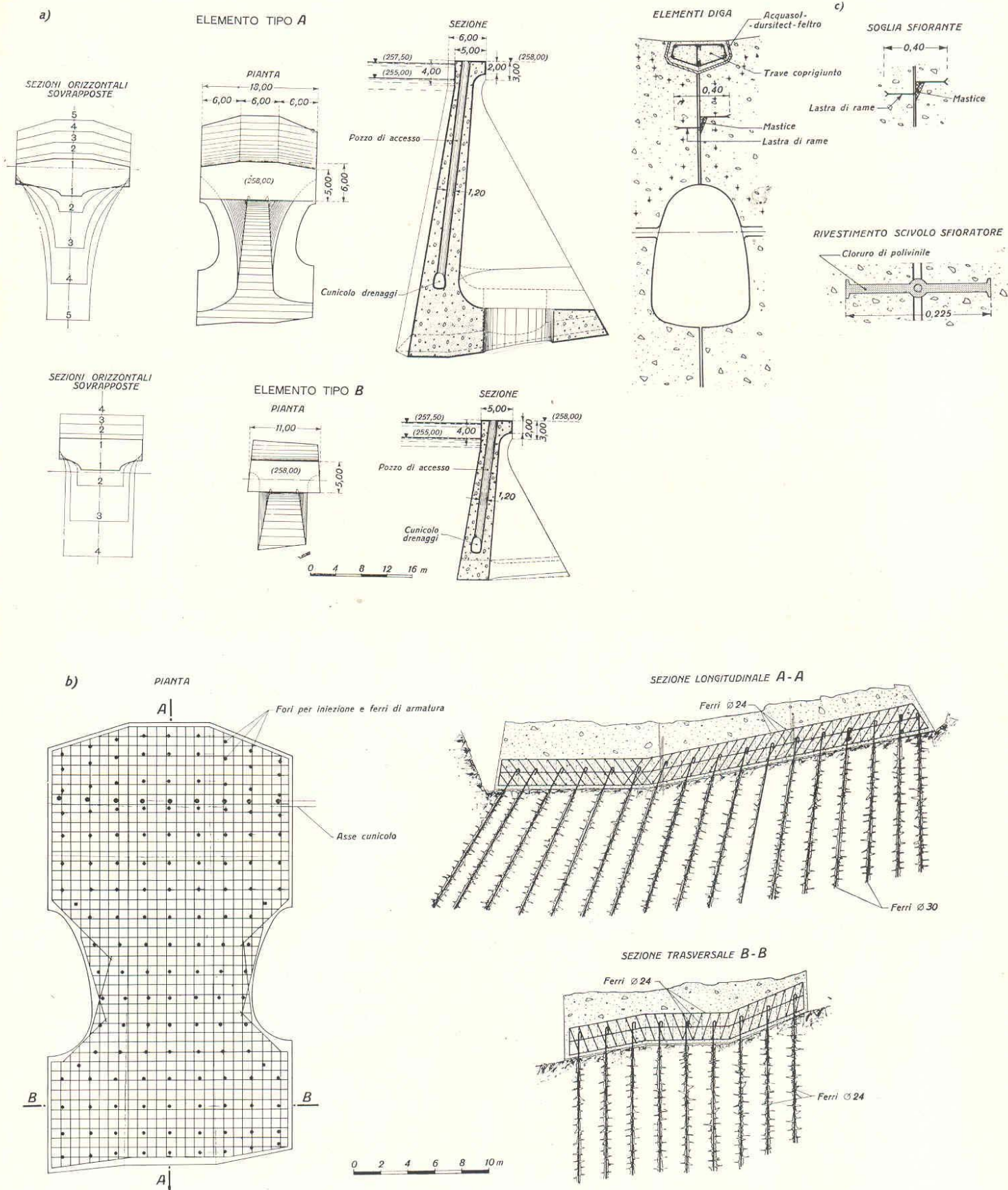


Fig. 6 - DIGA DI CASOLI. — Gli elementi che costituiscono la struttura alleggerita sono di due tipi: quelli della zona centrale, più alti (tipo A), sono più alleggeriti, meno i laterali (tipo B).
 a) Elementi dei due tipi. - b) Armatura degli zoccoli di fondazione. - c) Tipi di giunti.

Le caratteristiche degli organi di scarico sono:

Scarico di superficie (fig. 8). - È costituito da una soglia sfiorante libera lunga 65 m profilata secondo la curva Creager e raccordata ad un canalone di pendenza 3/8, largo 20 m e lungo circa 90 m.

La portata massima scaricabile, con livello nel serbatoio 257,50, è di 535 m³/s.

Scarico di fondo (fig. 10). - Ha la soglia a q. 222; all'imbocco segue un tronco di galleria Ø 4 m lungo circa 270 m, chiuso da due paratoie di 2,50 × 3,00 m². Le paratoie sono comandate dalla cabina di manovra posta a q. 260 per mezzo di una centralina oleodinamica o di una turbopompa di riserva.

3) Opera di presa (fig. 11).

L'opera di presa è situata in sponda destra; l'imbocco ha la soglia di q. 225,30 ed è protetto da una griglia mobile a sacco di 4 × 4,80 m². La galleria Ø 2,60 è intercettata da due paratoie piane di 2 × 2,50 m² a comando oleodinamico, dotate di sgancio automatico per eccesso di velocità in condotta. La manovra della griglia e delle paratoie avviene da una cabina a q. 258, collegata alla camera delle paratoie da un pozzo.

4) Notizie sulla costruzione della diga.

Per la derivazione delle acque attraverso lo scarico di fondo durante i lavori fu sbarrato l'alveo con un'avandiga di terra, alta sull'alveo circa 10 m, con paramenti protetti da gabbioni di pietrame e provvista di un sottostante diaframma di pali accostati (v. fig. 12).

Per la confezione del calcestruzzo sono stati impiegati inerti alluvionali prelevati dall'alveo del fiume Aventino; il baricentro delle cave si trova circa 700 m a monte della diga.

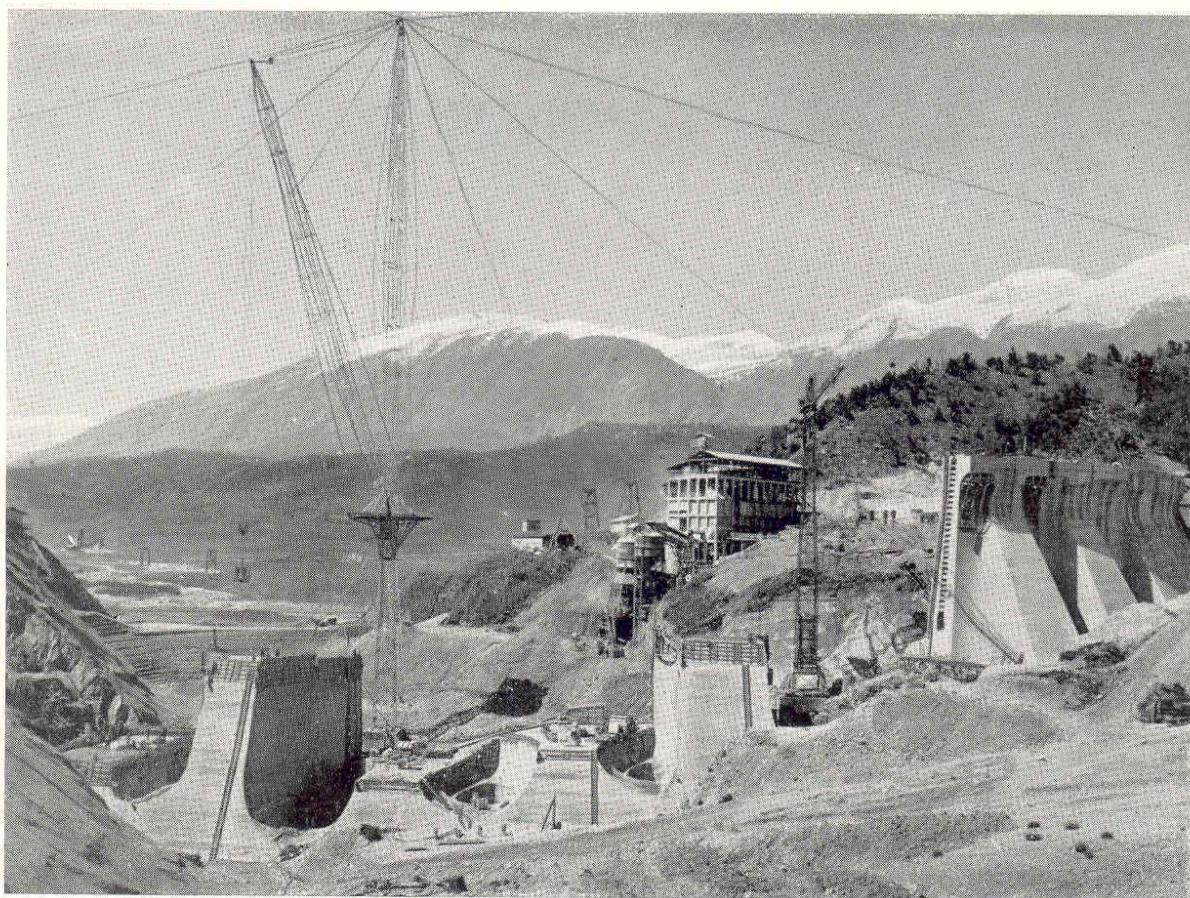


Fig. 7 - DIGA DI CASOLI — Vista da valle della diga in corso di esecuzione.

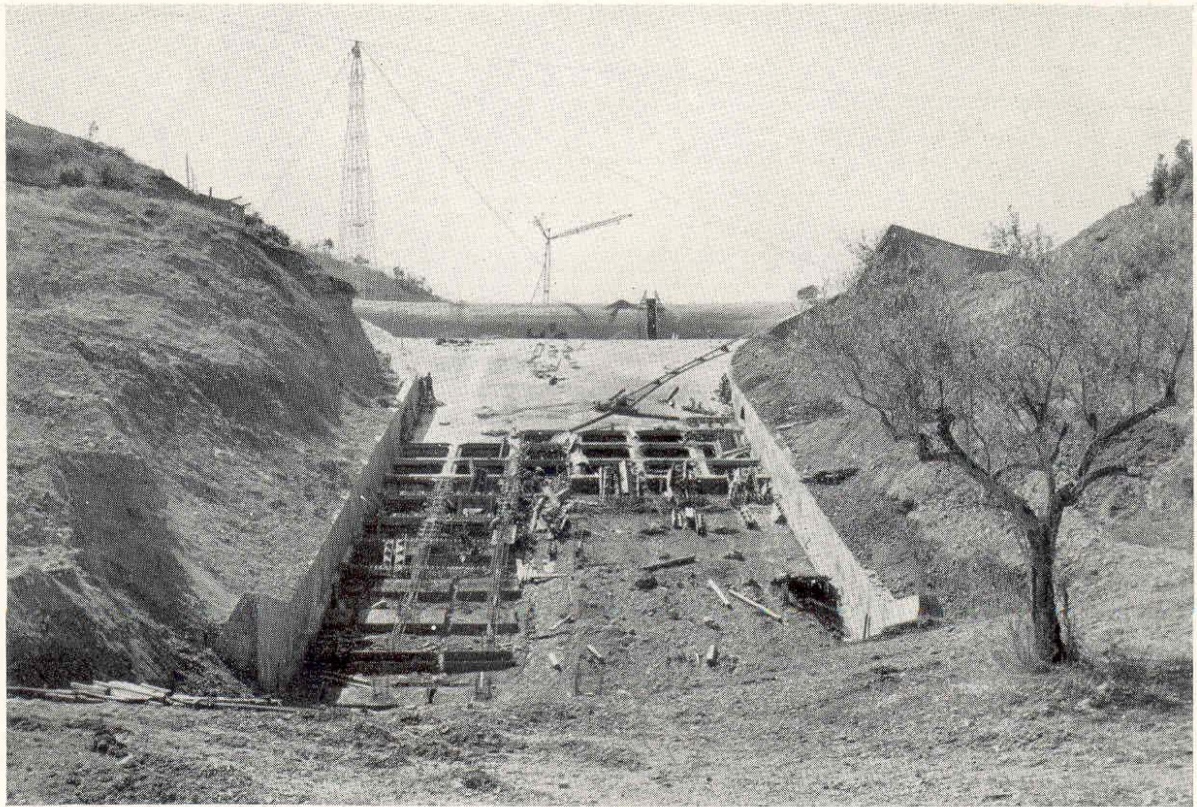


Fig. 8 - DIGA DI CASOLI — Costruzione dello scivolo dello scarico di superficie.

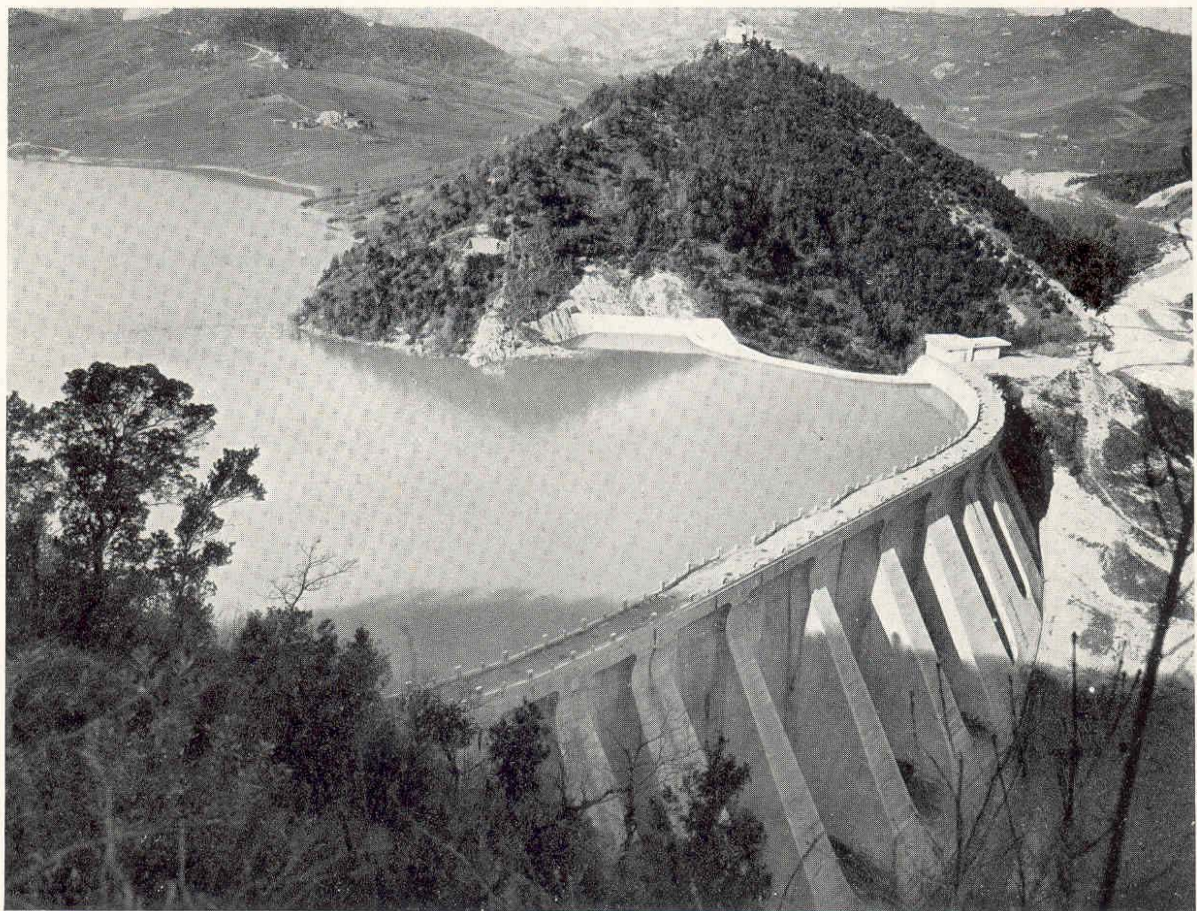


Fig. 9 - DIGA DI CASOLI — La struttura ultimata vista dall'alto.

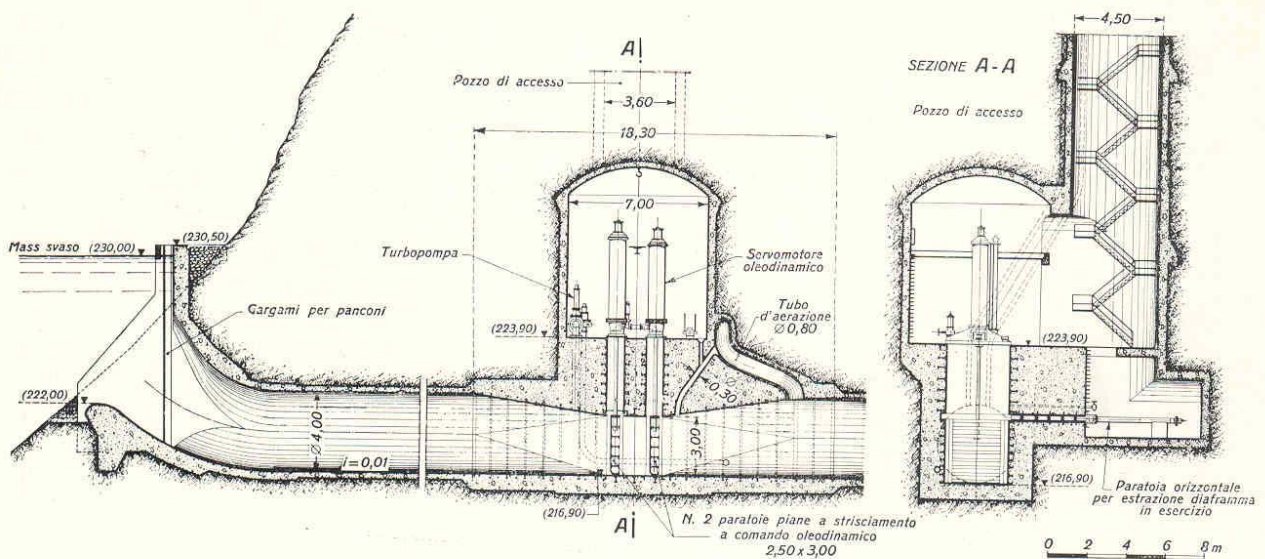


Fig. 10 - SERBATOIO DI CASOLI - Scarico di fondo - Sezione longitudinale — Consta di una galleria con \varnothing 4,00 della lunghezza complessiva di 270 m. Il dispositivo di intercettazione è costituito di 2 paratoie piane a comando oleodinamico di $2,50 \times 3,00$ m².

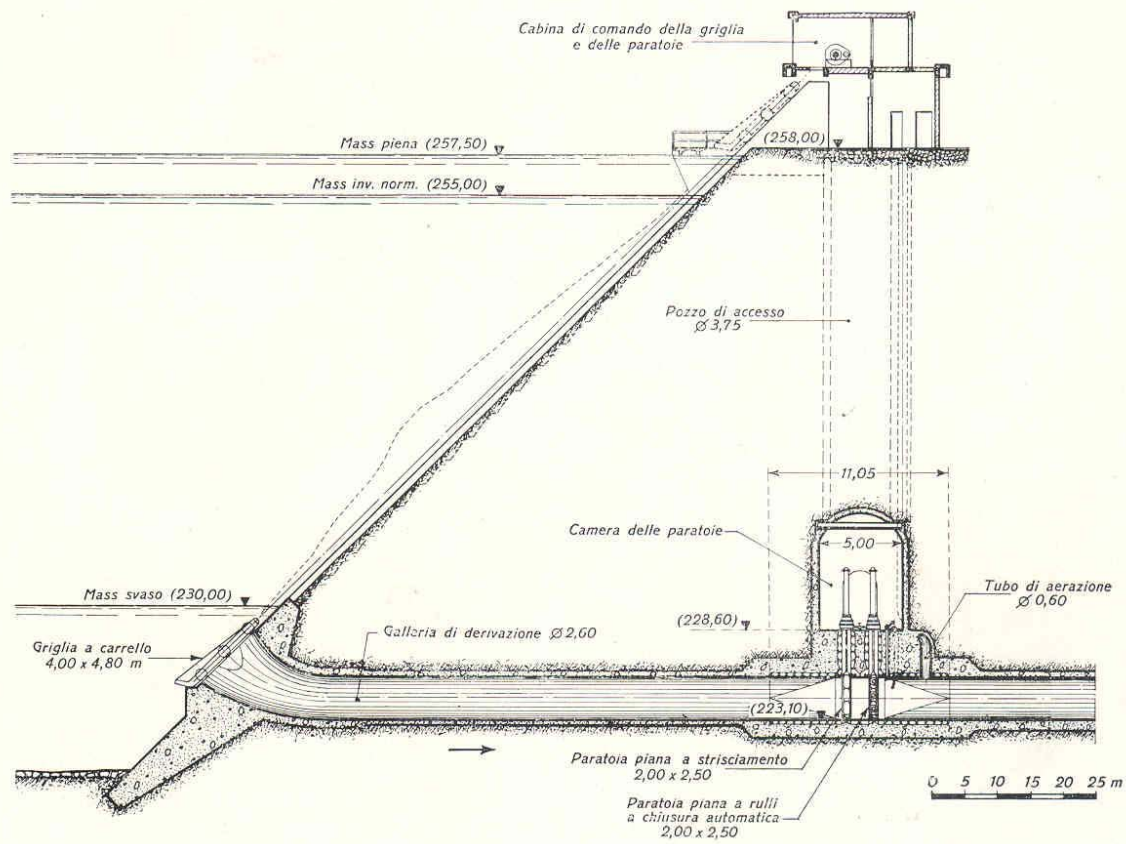


Fig. 11 - SERBATOIO DI CASOLI - Opera di presa — È situata in sponda destra e l'imbocco ha la soglia a q. 225,30, protetto da una griglia mobile a sacco di $4 \times 4,80$ m². La galleria con \varnothing 2,60 è intercettata da 2 paratoie piane di $2 \times 2,50$ m².

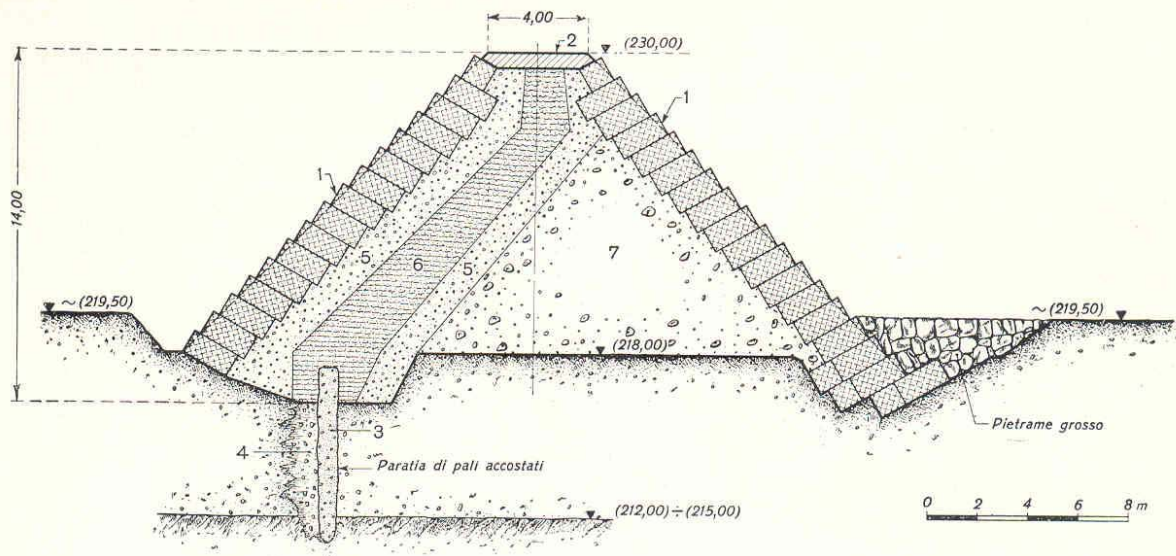


Fig. 12 - DIGA DI CASOLI — Avandiga per la deviazione provvisoria.

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1, Gabbioni $2 \times 1 \times 1$ m. | 5, Materiale misto alluvionale a permeabilità minore. |
| 2, Muratura ordinaria. | 6, Materiale argilloso. |
| 3, Pali accostati. | 7, Materiale misto alluvionale a permeabilità maggiore. |
| 4, Zona iniettata. | |



Fig. 13 - DIGA DI CASOLI — Base degli zoccoli in calcestruzzo armato.

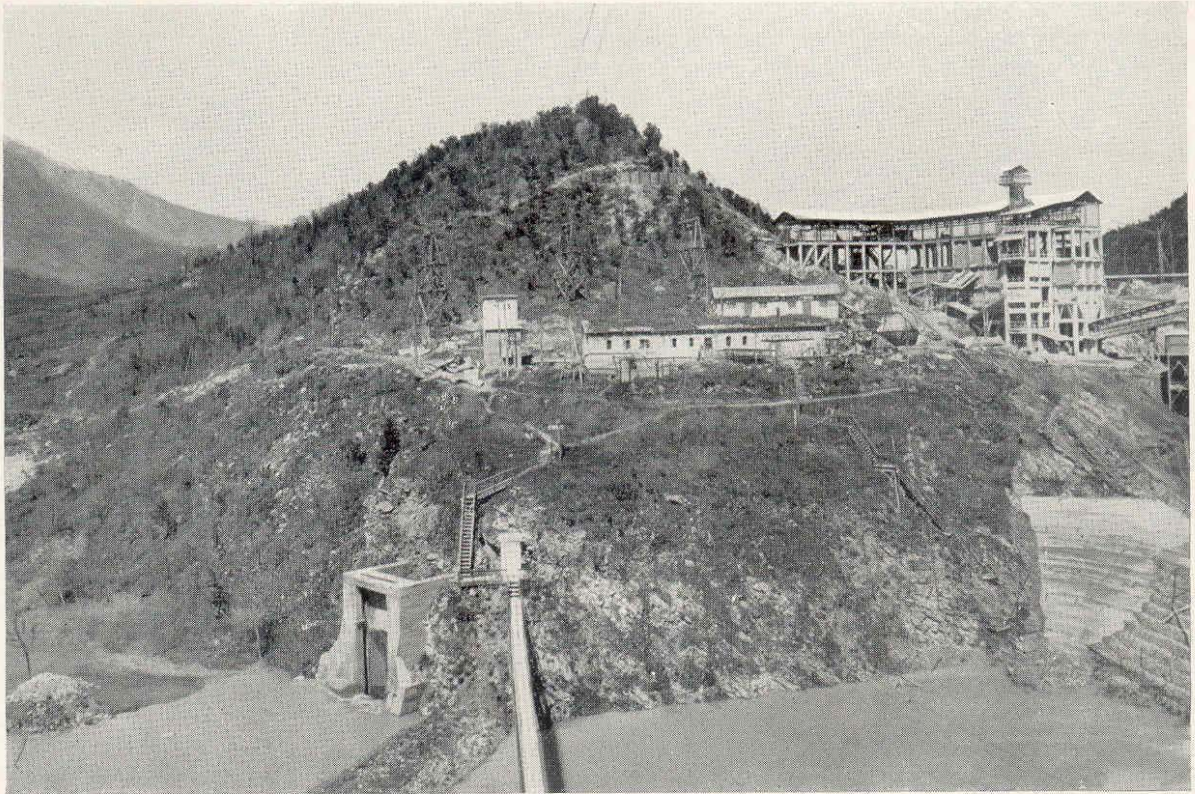


Fig. 14 - DIGA DI CASOLI — Vista del cantiere in sponda sinistra del F. Aventino. In alto la stazione d'arrivo della teleferica di trasporto degli inerti ed i sottostanti Silos.

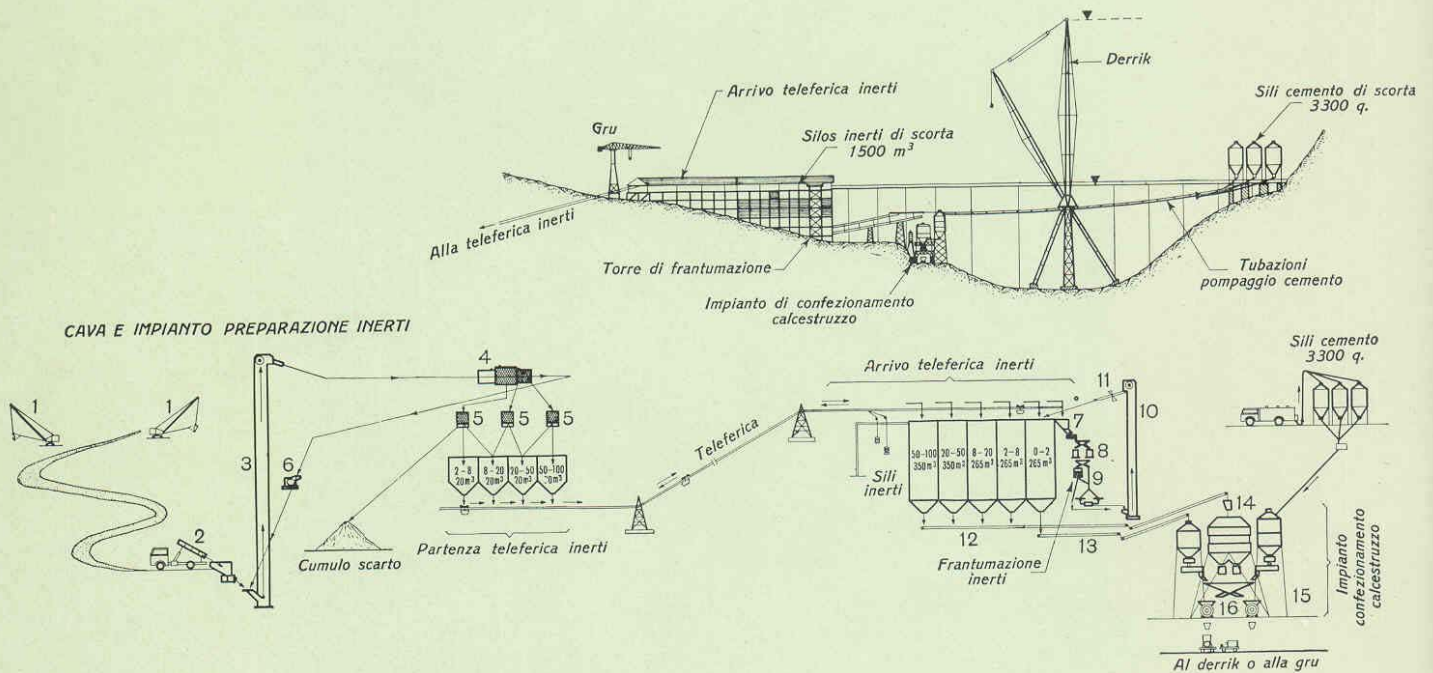


Fig. 15 - DIGA DI CASOLI — Impianti per la lavorazione degli inerti e la confezione del calcestruzzo. Schema delle installazioni.

- | | | |
|--|--|-------------------------------------|
| 1, Escavatori da 35 m ³ /ora. | 5, Vagli vibranti con doccia. | 11, Depolverizzatore a vento. |
| 2, Alimentatore a carrello Q _{max} 85 m ³ /ora. | 6, Frantoio per le pezzature superiori a 100 mm - Q _{max} 7 ÷ 10 m ³ /ora. | 12, Nastri trasportatori da 800 mm. |
| 3, Elevatore a tazze da 600 mm - Q _{max} 69 m ³ /ora. | 7, Essiccatore. | 13, Nastri trasportatori da 600 mm. |
| 4, Vaglio lavatrice da 1 260 × 6 000 mm - Q = 30 ÷ 50 m ³ /ora. | 8, Mulini a martelli. | 14, Torre beton. |
| | 9, Vaglio-molino a barre. | 15, Dosatori a peso. |
| | 10, Elevatore per insilamento sabbia da 350 mm. | 16, Betoniere. |

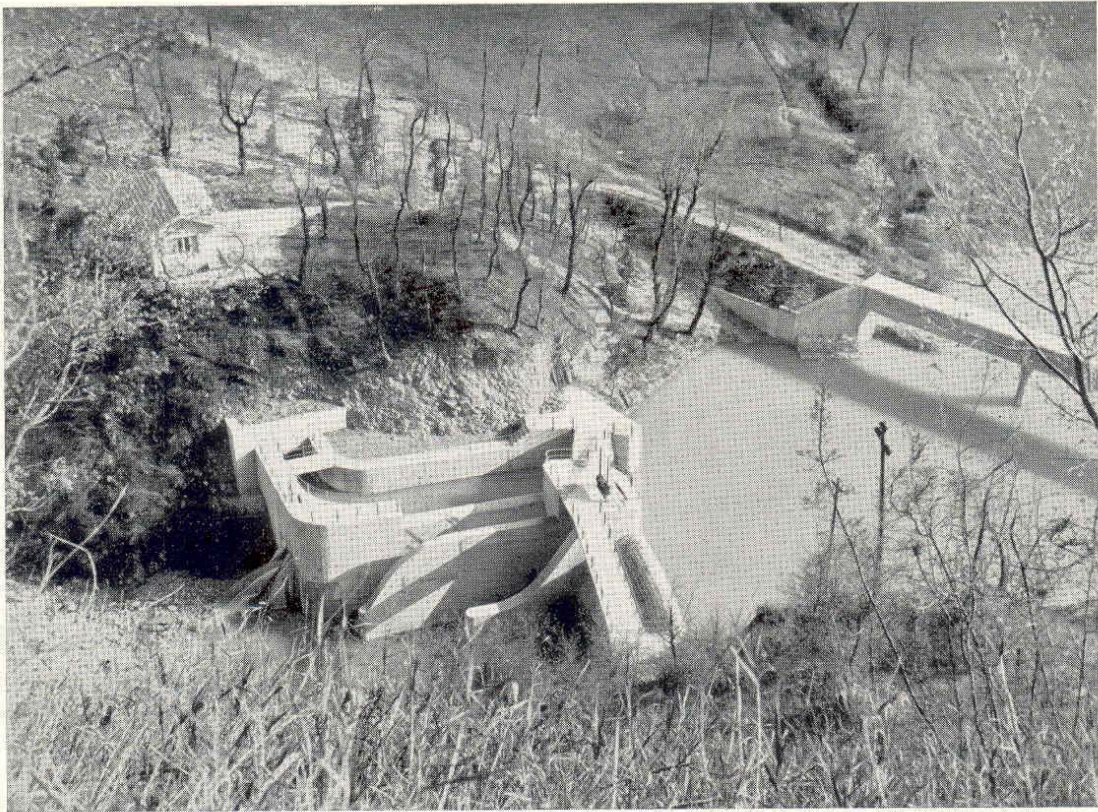


Fig. 16 - OPERA DI PRESA DAL F. VERDE.

Alla cavatura degli inerti, che veniva eseguita per mezzo di escavatori a drag-line, seguiva il lavaggio e la vagliatura in cava; i materiali di pezzatura superiore a 100 mm venivano mandati a un frantoio, mentre quelli di diametro inferiore a 2 mm venivano scartati.

Dalla cava i materiali già vagliati venivano trasportati in cantiere con una teleferica avente lo sviluppo di circa 1 km, e scaricati nei rispettivi silos della capacità di $250 \div 350 \text{ m}^3$ per ciascuna delle cinque classi granulometriche. Da qui mediante nastri trasportatori venivano trasportati all'impianto di betonaggio, costituito da due betoniere della capacità di 1 400 litri alimentate da dosatori a peso. Il finissimo veniva prodotto in cantiere con molini a martelli e molini a barre (v. fig. 15).

Il cantiere era installato sulla sponda sinistra del F. Aventino, ove maggiore risultava la disponibilità di spazio, ed era collegato con la sponda destra, lungo la quale corre la S.S. Frentana, per mezzo di un ponte sospeso pedonale della luce di circa 100 m (fig. 14).

Sulla sponda destra erano installati soltanto i silos del cemento, riforniti da autocisterne, e l'impianto di miscelazione e di pompaggio per le iniezioni; il trasporto del cemento dai silos all'impianto di confezione del calcestruzzo veniva effettuato con pompaggio attraverso due tubazioni lunghe circa 150 m.

Sono stati eseguiti complessivamente $86\,000 \text{ m}^3$ di scavi e $72\,000 \text{ m}^3$ di calcestruzzo per la sola diga e $70\,000 \text{ m}^3$ di scavi e 600 m^3 di calcestruzzo per le opere di scarico.

I lavori sono stati iniziati il 30 agosto 1955 ed ultimati il 30 settembre 1958. In particolare i getti di calcestruzzo per la diga sono durati complessivamente 19 mesi: la produzione giornaliera massima è stata di 580 m^3 .

Per i calcestruzzi è stata usata la curva granulometrica $p = \sqrt[3]{\frac{d}{D}}$ con p = percentuale in peso di passante (inerti + cemento) e $D = 100 \text{ mm}$; le dosature del cemento sono state di 240 kg/m^3 per i conci e di 250 kg/m^3 per la suola armata.

La resistenza media dei campioni è risultata di 160 kg/cm^2 a 7 giorni, di 240 kg/cm^2 a 28 giorni e di 290 kg/cm^2 a 90 giorni.

5) Opere per l'immissione del F. Verde nel serbatoio di Casoli.

Nel serbatoio di Casoli vengono anche immesse le acque del F. Verde, affluente dell'Aventino a carattere prevalentemente sorgentizio, captato per mezzo di una traversa fissa alta 7 m, con ciglio sfiorante a q. 260,50. L'opera di presa è provvista di griglie e di bacino di calma con sghiaiatore (figg. 16 e 17).

La galleria di derivazione a pelo libero, lunga 1 680 m, è a sezione sub-circolare alta 2,30 m, rivestita in calcestruzzo, e può derivare al massimo 10 m³/s. La portata media addotta al serbatoio è di 2,7 m³/s.

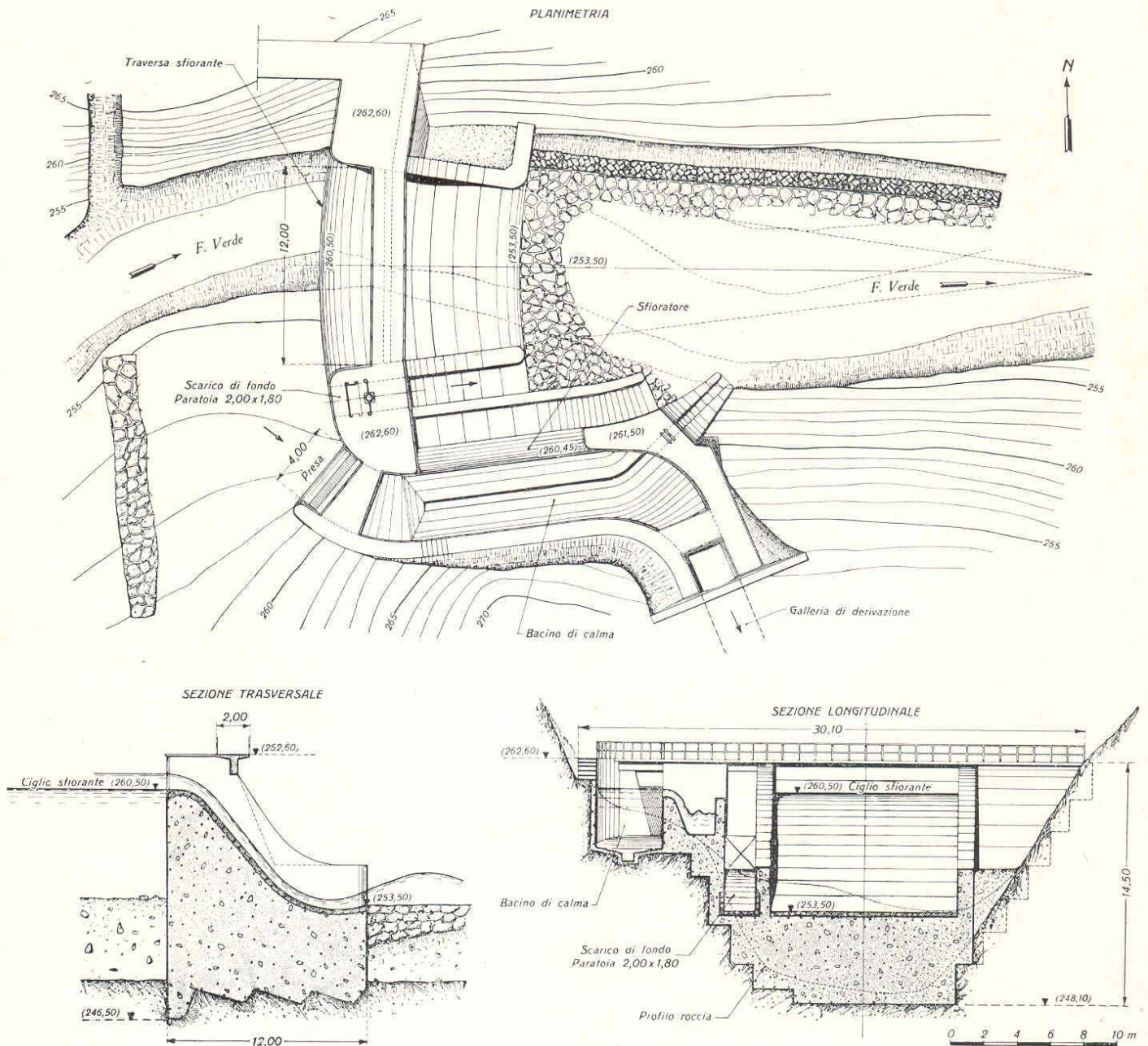


Fig. 17 - OPERA DI PRESA DAL F. VERDE - Planimetria e sezioni. — L'imbocco, in sponda destra, è protetto da griglia grossa e da scaricatore di fondo-sghiaiatore ed è munito di bacino di calma, con canale di spurgo.



Fig. 18 - DIGA DI BOMBA — L'opera ultimata vista dalla sponda destra.

Serbatoio di Bomba sul F. Sangro

1) Serbatoio e diga di sbarramento.

La valle in cui scorre il F. Sangro, nel tratto seguente alla restituzione della centrale di Villa S. Maria, è per lo più ampia e con versanti a dolce pendio generalmente formati da argille scagliose.

È stata scelta per lo sbarramento la zona del M. Tutoglio, in cui le condizioni topografiche sono più adatte alla realizzazione di uno sbarramento; la sezione infatti è più ristretta che altrove e la presenza del massiccio calcareo-marnoso in sponda sinistra, costituente il M. Tutoglio, ha consentito una sicura impostazione delle opere di scarico. La sponda destra è invece costituita da frane rimaneggiate e da coni di deiezione, poggianti sulle argille scagliose che costituiscono la formazione di base di tutta la stretta. Dopo una estesa campagna di sondaggi e di prove di laboratorio sui terreni di fondazione e sulle cave, venne progettato uno sbarramento in terra, avente il piano di impostazione superficiale ed il rilevato composto di zone con permeabilità crescente procedendo dal nucleo centrale verso i paramenti; in prosecuzione del nucleo fu previsto un diaframma impermeabile da realizzare con iniezioni di miscela di argilla e cemento, fino a raggiungere le argille di base (figg. 19 e 20).

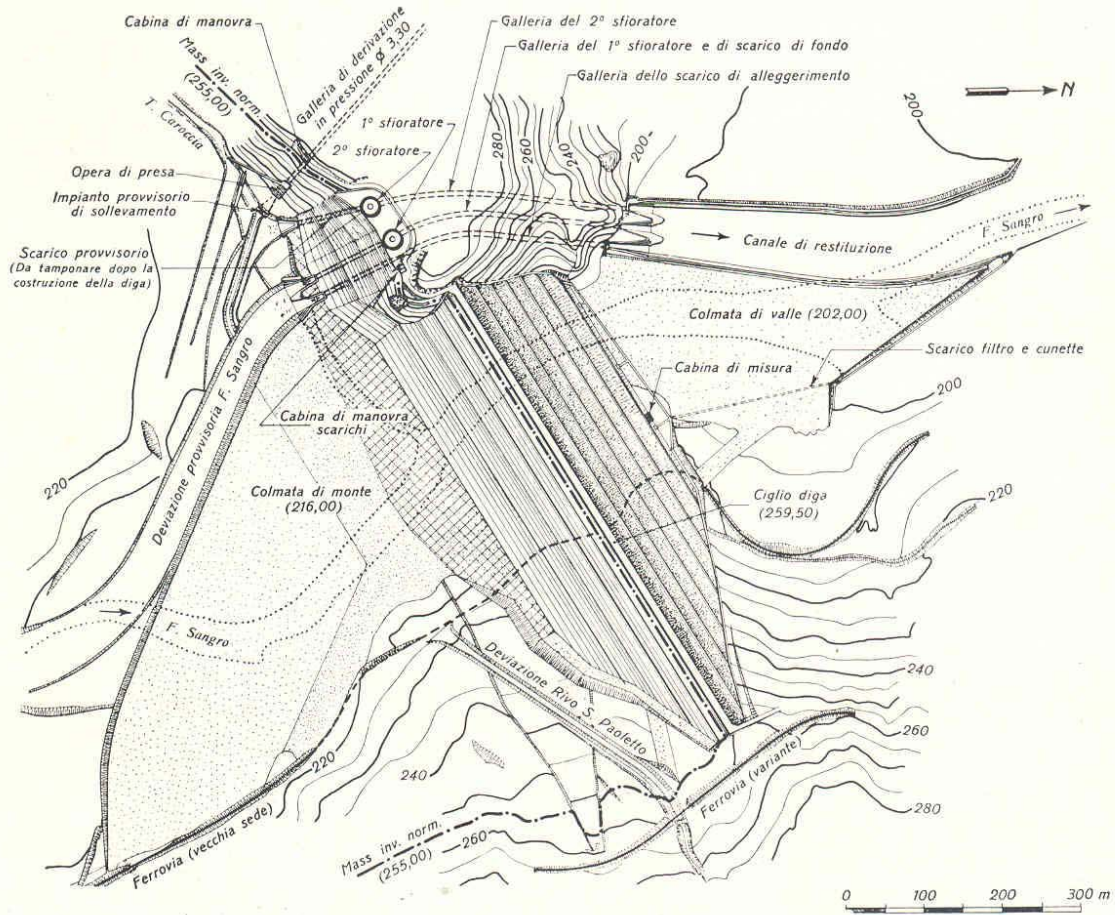


Fig. 19 - DIGA DI BOMBA SUL SANGRO -- Planimetria generale.

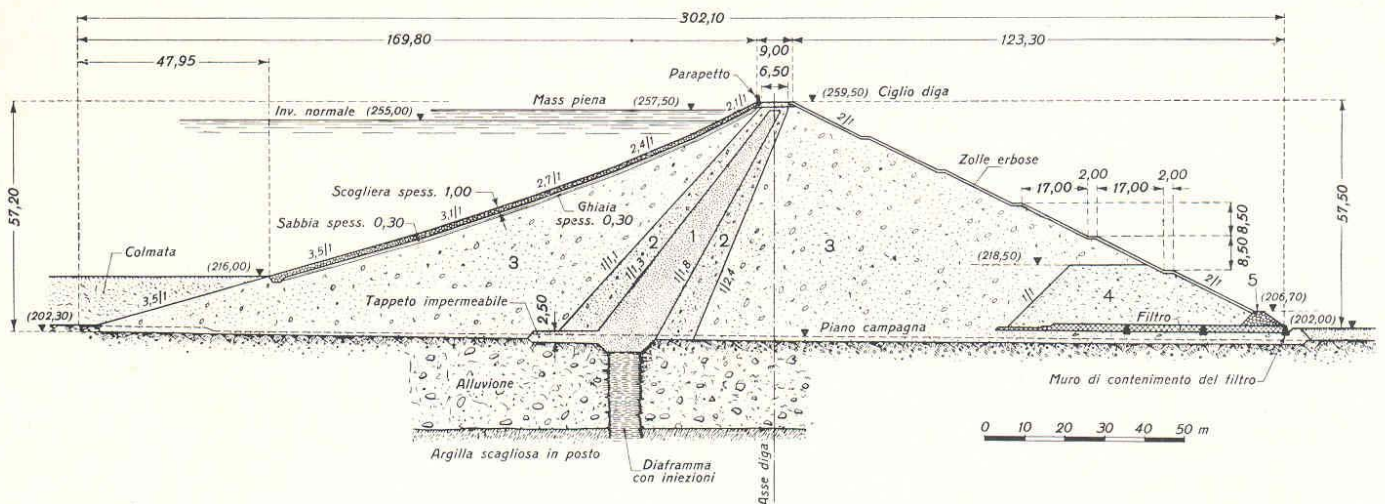


Fig. 20 - DIGA DI BOMBA - Sezione trasversale. — Il rilevato è composto da zone con permeabilità crescente dal nucleo verso i paramenti. Il nucleo è in materiale alluvionale fino miscelato con argilla, i contronuclei e i rinfianchi di materiale alluvionale. Un sistema di drenaggi si estende sia in alveo, sia nella parete rocciosa in sponda sinistra. La tenuta al disotto del rilevato è realizzata a mezzo di un diaframma di iniezioni di argilla e cemento, in prosecuzione del nucleo.

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1, Zona in terra impermeabile. | 4, Zona in terra grossolana. |
| 2, Zona in terra poco permeabile. | 5, Scogliera. |
| 3, Zona in terra permeabile. | |

I materiali disponibili nella coltre alluvionale del F. Sangro, nelle zone adiacenti alla sezione di sbarramento a monte e a valle, risultarono idonei ed in quantità sufficiente per costituire l'intero rilevato.

Iniziati i lavori di sbancamento per l'impostazione della diga, nel gennaio del 1957 ebbe a manifestarsi un movimento franoso in sponda destra, interessante la quasi totalità della zona di appoggio già preparata: l'esame della superficie di scorrimento, che raggiungeva la profondità di 18-20 m, mise in evidenza che la resistenza al taglio delle terre lungo tale superficie era notevolmente inferiore a quella media desunta dalle prove di laboratorio e che l'impostazione superficiale dello sbarramento non dava le necessarie garanzie di stabilità.

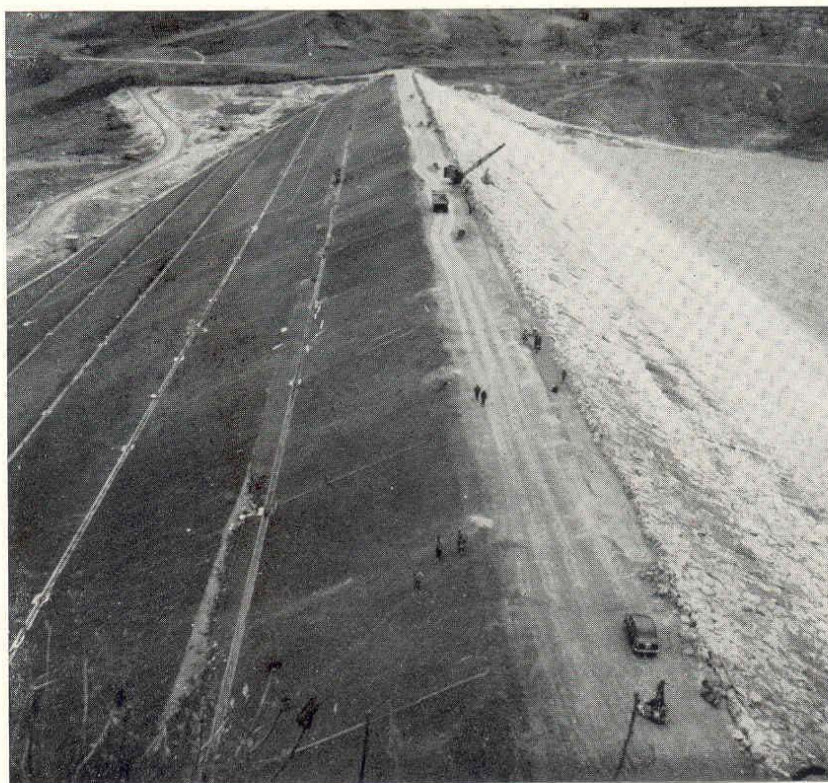


Fig. 21 - DIGA DI BOMBA — La diga in corso di ultimazione vista dal Monte Tutoglio.

Fu pertanto deciso di approfondire fino alla sottostante formazione di argilla scagliosa il piano d'imposta della diga in sponda destra, ruotando lievemente l'asse in una nuova posizione desunta dal rilievo dettagliato delle isoipse dell'argilla di base, in modo che risultasse minimo lo scavo da eseguire.

Tale variante ha richiesto lo scavo di circa 1 350 000 m³ di materiale che è stato sistemato in una colmata a monte del rilevato in modo da migliorare sia la stabilità del paramento di monte della diga che quella del versante destro della valle in prossimità dello sbarramento.

Secondo il progetto definitivo, le dimensioni della diga sono le seguenti:

— altezza massima sull'alveo	59,80 m
— larghezza massima alla base	302 »
— larghezza al coronamento	9 »
— lunghezza al coronamento	700 »
— volume complessivo	3 800 000 m ³ .

Per la costruzione del serbatoio si è dovuto spostare un tronco lungo circa 7 km della Ferrovia Sangritana dal fondo valle a una quota superiore a quella del massimo

PLANIMETRIA PIANO DI SBANCAMENTO

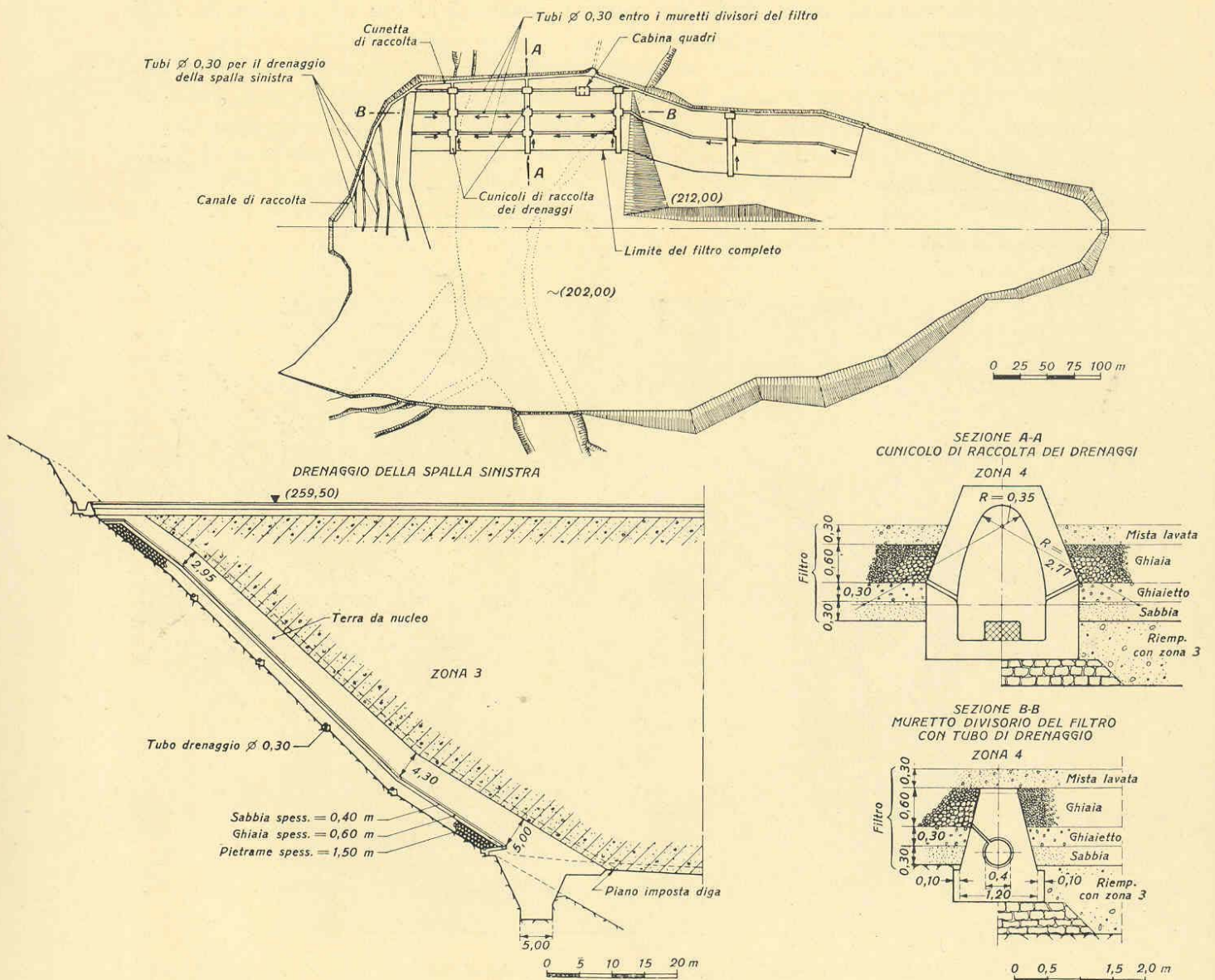


Fig. 22 - DIGA DI BOMBA — Particolari dei filtri e dei drenaggi.

invaso; la natura argillosa e franosa dei terreni ha imposto notevoli oneri per assicurare la stabilità dei manufatti ed ha reso necessarie costose opere di protezione.

Il rilevato è costituito da 4 zone, aventi le seguenti caratteristiche (fig. 20):

— Zona 1 (*nucleo*): coefficiente di permeabilità $K = 10^{-9}$ cm/s; angolo di attrito $\varphi = 35^\circ$; coesione $c = 0,1$ kg/cm².

Questo materiale viene ottenuto miscelando al materiale alluvionale di dimensione inferiore ad 80 mm proveniente dalle cave 100 kg di argilla secca polverizzata per ogni m³ di materiale secco compattato.

— Zona 2 (*contronuclei*): coefficiente di permeabilità $K = 10^{-8}$ cm/s; attrito e coesione come per la Zona 1.

I materiali sono direttamente ricavati dalle cave nei conici di deiezione degli affluenti del Sangro eliminando gli elementi di diametro superiore a 150 mm.

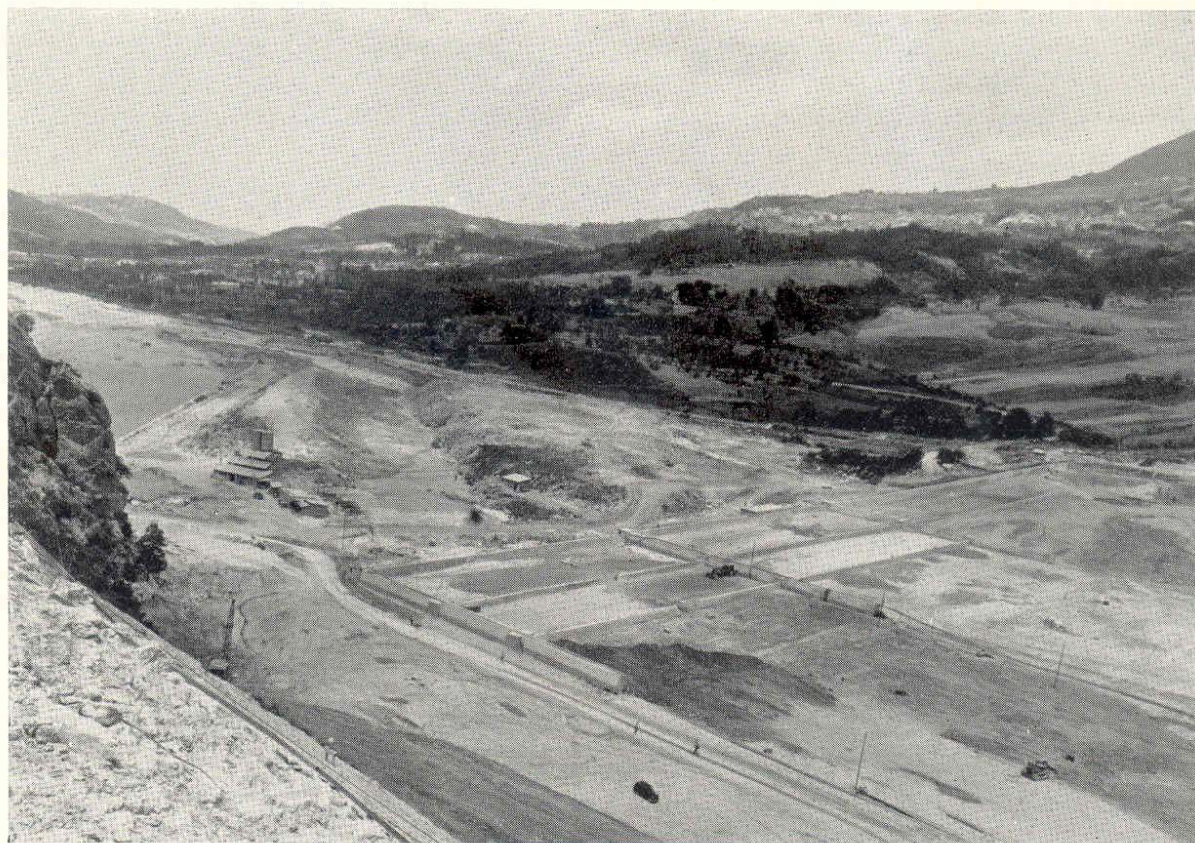


Fig. 23 - DIGA DI BOMBA — Vista dei cunicoli di drenaggio sotto la zona filtrante e del piano di impostazione della diga.

— *Zona 3 (corpo diga)*: coefficiente di permeabilità $K = 10^{-7} \div 10^{-5}$ cm/s; attrito come per la Zona 1.

I materiali provengono da cave alluvionali del F. Sangro previa eliminazione degli elementi di diametro superiore a 300 mm.

— *Zona 4 (a valle della diga, sopra il filtro)*: coefficiente di permeabilità $K = 10^{-4} \div 10^{-3}$ cm/s; attrito come per la Zona 1.

I materiali provengono dalle stesse cave della zona 3, ma vengono prelevati esclusivamente a mezzo di drag-line in acqua fluente, allo scopo di eliminare il fino.

Altre prescrizioni per i materiali del rilevato sono: granulometria dei campioni compresa entro curve limiti assegnate, peso secco unitario non inferiore a $2,1 \text{ t/m}^3$; umidità di posa in opera all'ottimo della curva di costipamento.

Nella zona di valle un filtro della superficie di circa $27\,000 \text{ m}^2$ raccoglie le acque di permeazione attraverso il corpo diga e attraverso il taglione; il filtro, suddiviso in scomparti da muretti contenenti i tubi di drenaggio e da cunicoli di raccolta, è stato realizzato con 5 strati di materiale a granulometria crescente dal basso verso l'alto (figg. 22-23).

Un altro filtro, disposto in sponda sinistra nella zona d'appoggio contro il M. Tuglio, ha la funzione di proteggere il rilevato dalle infiltrazioni d'acqua che possono verificarsi attraverso il diaframma impermeabilizzante di iniezioni cementizie realizzato entro il massiccio calcareo costituente la superficie d'imposta, in prosecuzione del nucleo impermeabile della diga. Tale filtro è separato dal rilevato per mezzo di uno strato di argilla di spessore variabile.

Il nucleo prosegue al disotto del piano di campagna con un taglione in argilla; al disotto di questo è stato eseguito un diaframma impermeabile lungo 320 m e profondo circa 25 m, che raggiunge le argille di base. Esso è stato realizzato iniettando una mi-

sceola costituita da 80 parti in peso di argilla, 20 di cemento e circa 180 litri di acqua su 100 kg di sostanze solide, in fori disposti su cinque allineamenti principali e due allineamenti intermedi di controllo; nella zona d'alveo la percentuale di cemento è stata portata al 30%. Sia l'argilla di riempimento del taglione che quella impiegata per le iniezioni sono state ricavate da cave in prossimità della diga.

Complessivamente sono stati eseguiti 631 fori aventi una lunghezza complessiva di 13 000 m e sono stati iniettati 165 300 q di miscela secca.

Il diaframma impermeabile è stato spinto nei terreni della sponda sinistra, costituiti da calcari molto fessurati, con iniezioni di cemento eseguite dall'esterno e dalle gallerie di scarico; complessivamente il diaframma in sponda sinistra ha richiesto l'impiego di 70 000 q di cemento.

La protezione del paramento di monte è stata realizzata con una scogliera in muratura a secco dello spessore di 1 m formata da massi ciclopici misti a materiali di minor pezzatura sistemati a mano.

Per il controllo del rilevato in corso d'opera e dopo l'ultimazione sono state installate, in 4 sezioni di misura, le seguenti apparecchiature:

- n. 16 assestimetri a colonna del tipo a tubi con giunti telescopici;
- n. 99 cellule per il controllo delle pressioni interstiziali del tipo idraulico con lettura per mezzo di manometri;
- n. 30 cellule c.s. del tipo elettrico con lettura per mezzo di comparatore elettronico di frequenza;
- n. 9 termometri elettrici per la misura della temperatura del corpo diga, del tipo a variazione di resistenza;
- n. 2 termometri per misura in acqua c. s.;
- n. 1 termometro per misura in aria.

Le letture di tutti gli strumenti vengono effettuate dalla cabina di misura al piede della diga ove fanno capo, su appositi pannelli, i tubi delle cellule idrauliche ed i conduttori delle cellule elettriche e dei termometri.

Per il controllo della falda freatica si sono installati 21 piezometri entro la diga e 19 a valle di essa.

Per la misura delle portate di permeazione sono stati messi in opera nei cunicoli di raccolta 26 stramazzi triangolari.



Fig. 24 - DIGA DI BOMBA — La diga costruita fino alla q. 225. Al piede, nella zona centrale, è visibile la cabina di misura.

2) Opere di scarico.

Sono capaci di smaltire in complesso la portata massima di circa $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ e consistono in due scarichi di superficie, uno scarico di alleggerimento ed uno di fondo, tutti situati in sponda sinistra (fig. 25 a).

Nella galleria di scarico del primo sfiatore si inserisce lo scarico di fondo, usato come deviazione provvisoria durante i lavori; nella galleria di scarico del secondo sfiatore s'innestava durante la costruzione un altro scarico provvisorio, ostruito all'inizio

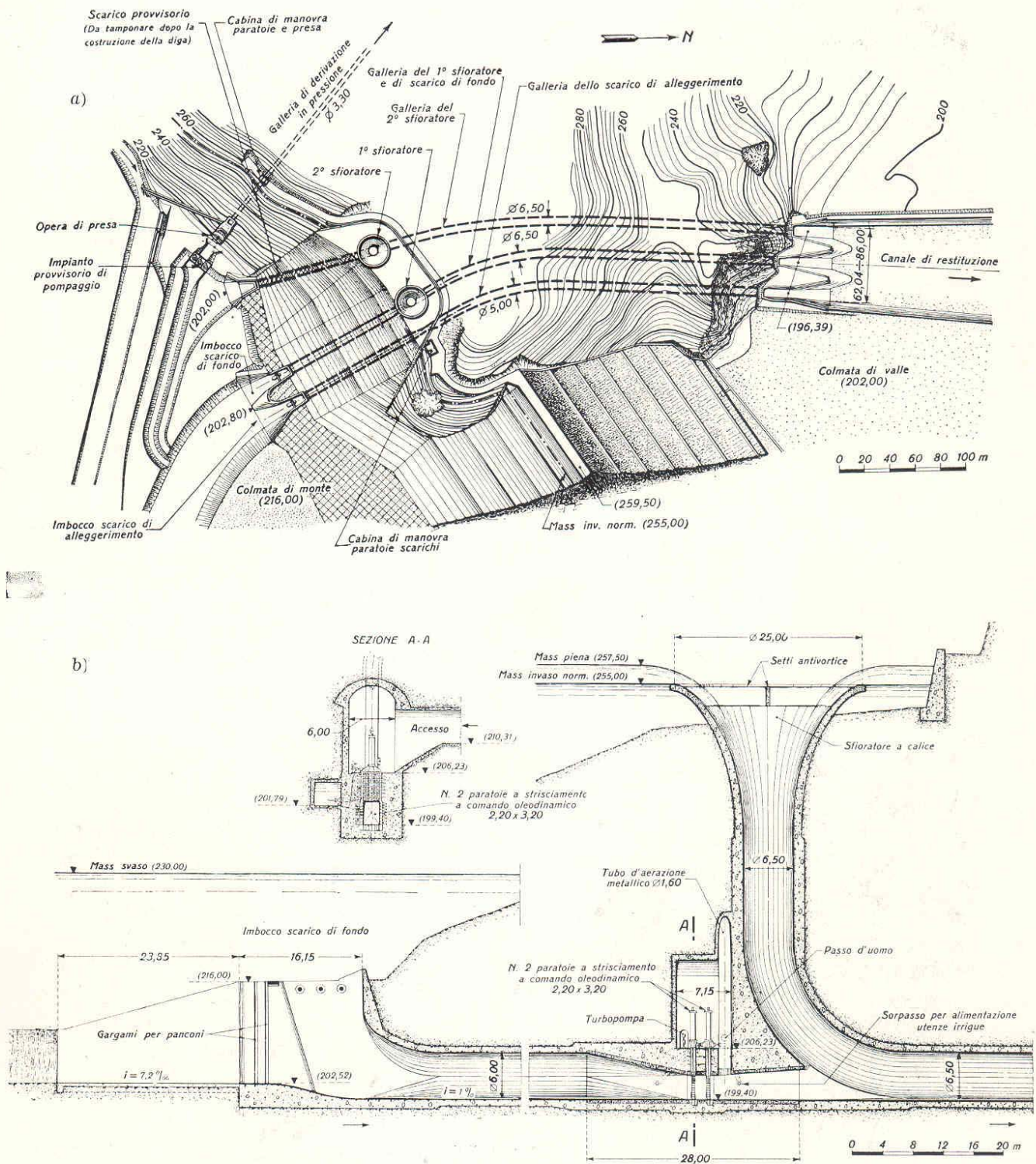


Fig. 25 - SERBATOIO DI BOMBA — Opere di scarico. a) Planimetria generale - b) Sezione longitudinale dello scarico di fondo e del 1° sfiatore.

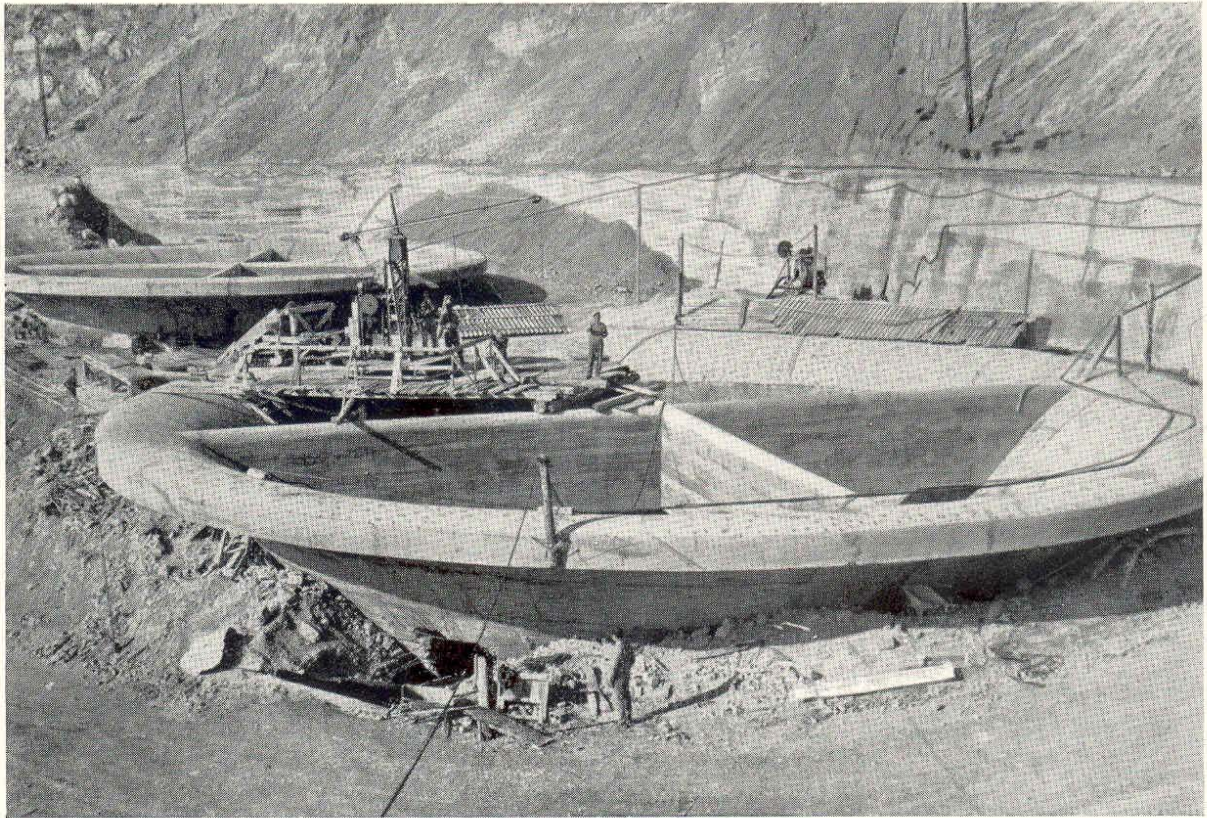


Fig. 26 - SERBATOIO DI BOMBA — Scarichi di superficie. Sono costituiti da due sforatori a calice a soglia libera del diametro di 25,00 m all'imbocco seguiti da pozzi verticali con diametro 6,50. La loro lunghezza complessiva è di 360 m e possono scaricare una portata di 1240 m³/s.

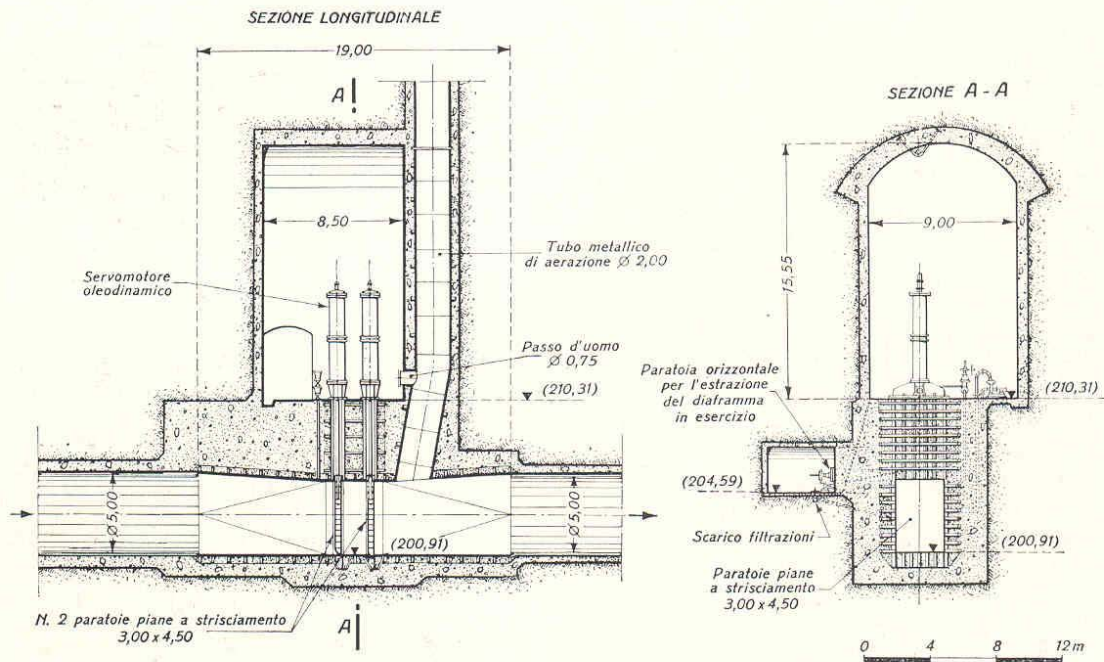


Fig. 27 - SERBATOIO DI BOMBA — Scarico intermedio. Sezione longitudinale e trasversale. Consta di una galleria di \varnothing 5,00. Il dispositivo di intercettazione è costituito da 2 paratoie piane a comando oleodinamico di $3,00 \times 4,50$ m².

dell'invaso. Anche lo scarico di alleggerimento, realizzato con una galleria indipendente, è stato adoperato come deviazione provvisoria. A seconda della fase in cui si trovava la costruzione, la portata complessiva scaricabile variava tra 670 e 460 m³/s, essendo stata prevista l'intercettazione a turno dei vari organi di scarico per permettere il montaggio delle paratoie e la sistemazione degli imbocchi.

A valle della diga gli scarichi superficiali e profondi confluiscono in un unico grande canale (fig. 28) la cui platea è dotata di una serie di soglie trasversali aventi la funzione di dissipare l'energia cinetica posseduta dall'acqua prima d'immetterla nell'alveo del fiume. Il proporzionamento di tale dissipatore è stato studiato su un modello presso il laboratorio dell'Istituto di Costruzioni Idrauliche del Politecnico di Milano.

Le caratteristiche degli organi di scarico sono le seguenti:

Scarichi di superficie (figg. 25 b e 26). — Sono costituiti da due calici sfioranti (morning-glory) del diametro di 25 m che immettono in due pozzi verticali del diametro di 6,50 m. L'imbocco dei calici è protetto da una crociera antivortice e la soglia è sagomata secondo il profilo Creager con carico fondamentale di 2,50 m pari al sovrizzo di massima piena. Al pozzo segue una galleria circolare del diametro di 6,50 m lunga 300 m circa. La massima portata convogliabile dai due scarichi è complessivamente di 1 240 m³/s.

Scarico di fondo (fig. 25 b). — Ha la soglia a q. 202,52; all'imbocco segue un tronco di galleria Ø 6 m, chiuso da due paratoie di 2,20 × 3,20 m², in cui subito a valle delle paratoie si innesta lo scarico del primo sfioratore.

Scarico intermedio (fig. 27). — Ha la soglia a quota 217 (durante la costruzione della diga la soglia era a q. 202 circa); all'imbocco segue un tronco di galleria Ø 5 m che sbocca nel canale collettore degli scarichi. È chiuso da due paratoie di 3 × 4,50 m².

I due scarichi profondi sono azionati da un'unica centrale oleodinamica comandata dalla cabina di manovra a q. 260. È possibile estrarre il diaframma di entrambe le paratoie di monte senza vuotare il serbatoio, per mezzo di una paratoietta orizzontale che chiude l'alloggiamento del diaframma in posizione di apertura.

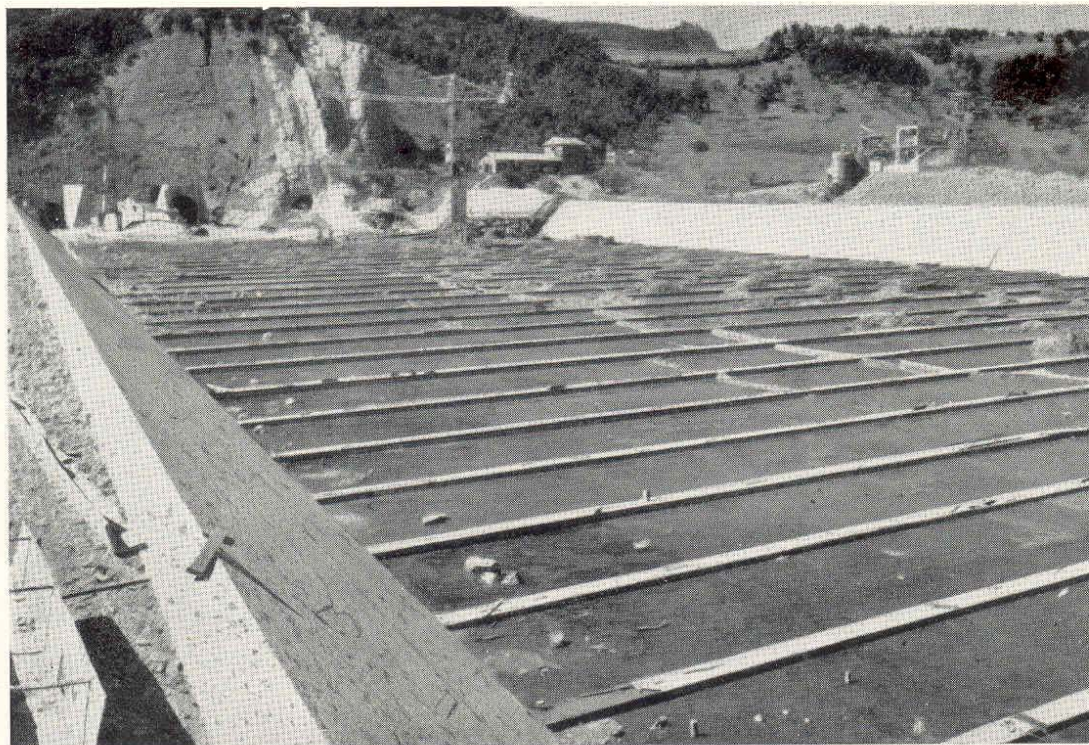


Fig. 28 - SERBATOIO DI BOMBA — Canale collettore all'aperto degli scarichi con soglie di smorzamento.

3) Opera di presa e impianto provvisorio di sollevamento.

L'opera di presa (fig. 29), anch'essa sulla spalla sinistra, ha la soglia a q. 220,00 ed è realizzata con un manufatto esterno protetto da griglie a profilo idrodinamico. La galleria di derivazione $\varnothing 3,30$ è intercettata da due paratoie piane di $2,50 \times 3,00 \text{ m}^2$ aventi caratteristiche in tutto analoghe a quelle delle paratoie di presa dal serbatoio di Casoli.

Considerato che la diga di Bomba è stata ultimata con circa 2 anni di ritardo rispetto alle rimanenti opere dell'impianto, è risultato conveniente utilizzare in tale intervallo di tempo le acque del F. Sangro sollevandole dall'alveo alla quota della galleria di derivazione per mezzo di una stazione provvisoria di sollevamento (figg. 30-32).

Nella stazione erano installati 3 gruppi motore-pompa da 1 200 kW ed altre attrezzature già facenti parte della stazione galleggiante di pompaggio impiegata dalla Società Idroelettrica Sarca-Molveno per lo svuotamento del lago di Molveno in occasione della costruzione dell'impianto di S. Massenza. Le 3 pompe hanno funzionato con prevalenza di 20-22 m sollevando complessivamente una portata di $11 \text{ m}^3/\text{s}$ circa.

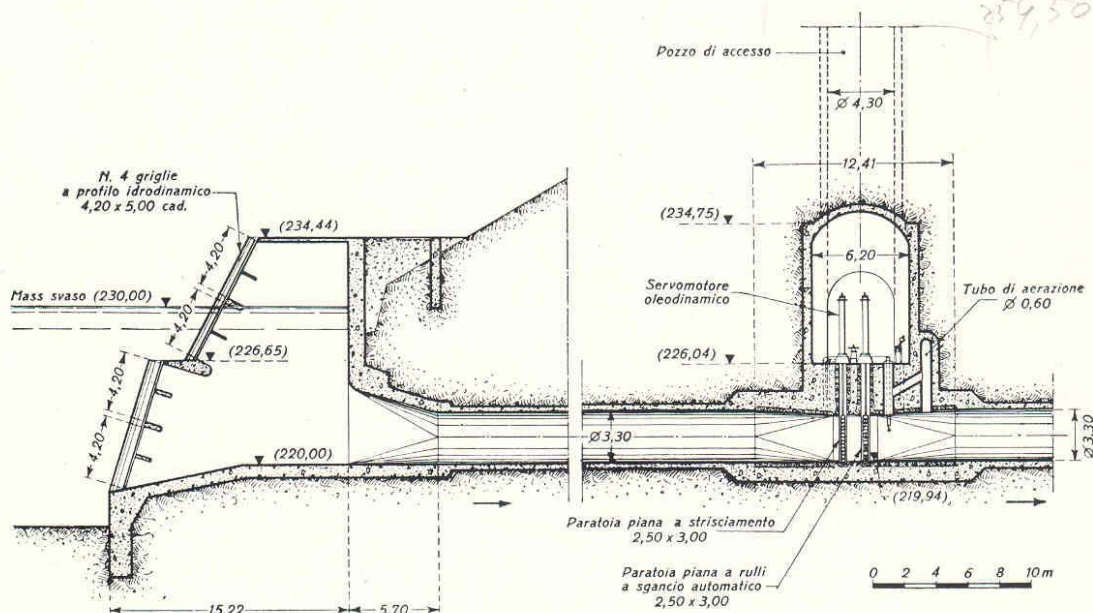


Fig. 29 - SERBATOIO DI BOMBA — Sezione longitudinale dell'opera di presa. L'opera con soglia a q. 220 è protetta da griglie a profilo idrodinamico. La galleria di derivazione con $\varnothing 3,30$ è intercettata da due paratoie piane di $2,50 \times 3,00 \text{ m}^2$ a comando oleodinamico.

Le acque venivano immesse entro il manufatto di presa la cui parte frontale era chiusa da pareti provvisorie in calcestruzzo armato, successivamente demolite e sostituite dalle griglie di presa.

L'impianto ha funzionato fino al giugno 1960 derivando contemporaneamente con pompaggio le acque del Sangro e con presa dal serbatoio di Casoli le acque dell'Aventino e Verde: da questo serbatoio veniva derivata una portata tale che la piezometrica alla riunione delle due derivazioni risultasse compatibile con la quota dello sfioratore al manufatto di pompaggio.

Ad ogni livello nel serbatoio dell'Aventino corrispondeva un regime di portata definito dalla congruenza al nodo delle due piezometriche: quando si voleva derivare una portata minore di quella sopradetta veniva parzializzata nella misura occorrente la paratoia di presa dal serbatoio dell'Aventino. I gradi di apertura di tale paratoia per ogni possibile regime, con 1, 2 o 3 pompe in funzione, sono stati determinati con prove all'inizio dell'esercizio.

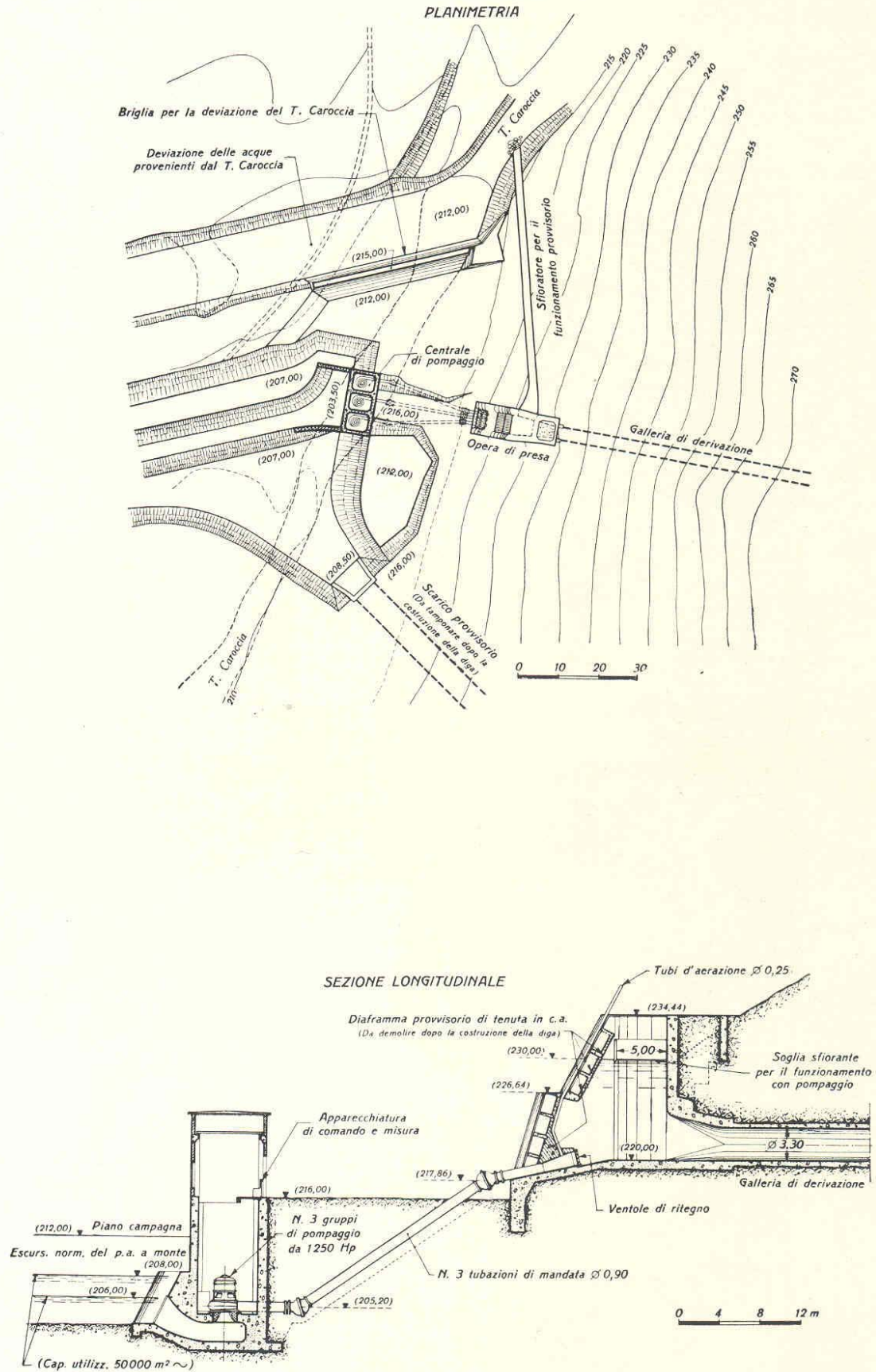


Fig. 30 - SERBATOIO DI BOMBA — Impianto provvisorio per la derivazione dal F. Sangro. Le acque venivano sollevate alla quota d'imbocco della galleria di derivazione mediante un impianto di pompaggio della portata di 11 m³/s.

4) Notizie sulla costruzione della diga.

La costruzione del rilevato è stata iniziata nell'aprile 1958 ed è stata ultimata nel dicembre 1960; il lavoro veniva eseguito in 2 turni della durata di 9 ore.

La produzione media mensile è stata di 110 000 m³ e la massima (luglio 1960) di 247 200 m³; la massima produzione giornaliera è stata di circa 10 500 mc.

Lo scavo veniva eseguito con 14 escavatori, le cui benne avevano globalmente una capacità di 23,8 m³; per il trasporto alla diga dei materiali occorrenti per la formazione del rilevato e per la costruzione della scogliera di monte venivano impiegati 60 autocarri ribaltabili tipo Euclid da 8 m³.

Si sono inoltre usati 6 autocarri tipo White ed un numero variabile di autocarri nazionali da 5-6 m³ per il trasporto dei materiali da filtro e di quelli da nucleo provenienti dall'impianto di miscelamento delle terre; questi autocarri venivano anche impiegati per il trasporto alla diga dei materiali provenienti dalle cave, avendo però l'avvertenza di farli alimentare da escavatori piccoli (con benna da 0,5 m³ circa) per ridurre l'usura.

La distanza baricentrica delle cave è risultata di circa 2,6 km.

Il costipamento del materiale alluvionale veniva eseguito per la maggior parte con compattatore gommato (Ferguson da 60 t); altri mezzi impiegati erano: rullo vibrante, rullo a piede di pecora, mazzapicchi e « rane ».

Il compattamento col rullo gommato Ferguson è stato eseguito:

- nella zona 1 con 12 passaggi (lavoro di costipamento 640 tm/m³);
- nella zona 2 con 8 passaggi (lavoro di costipamento 480 tm/m³);
- nella zona 3-4 con 6 passaggi (lavoro di costipamento 320 tm/m³).

Le prove geotecniche necessarie al controllo delle fondazioni, dei materiali per il rilevato e delle iniezioni sono state fatte nel laboratorio di cantiere (fig. 33) largamente dotato delle attrezzature necessarie.

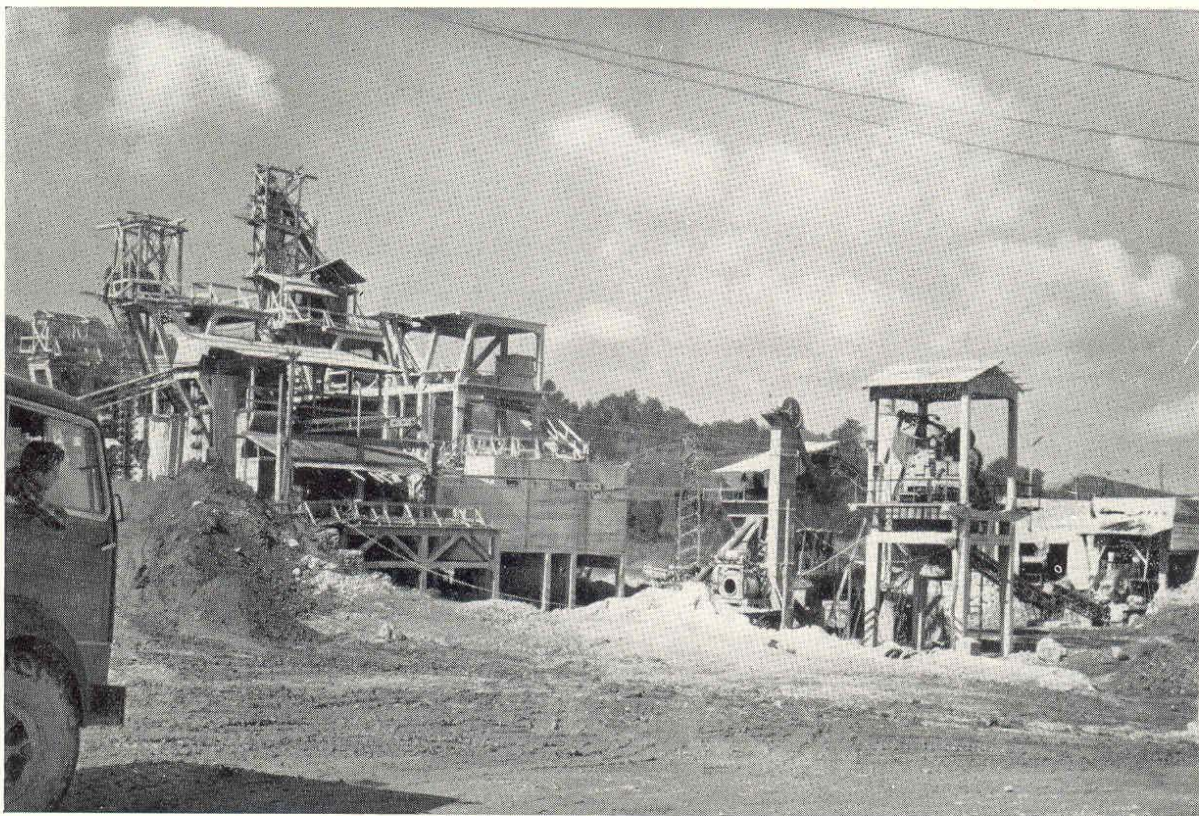


Fig. 31 - DIGA DI BOMBA — Cantiere e impianto di miscelazione per la terra della zona 1 (nucleo).



Fig. 32 - SERBATOIO DI BOMBA — Sistemazione dell'opera di presa utilizzata come vasca di carico nell'esercizio provvisorio di sollevamento con pompe.

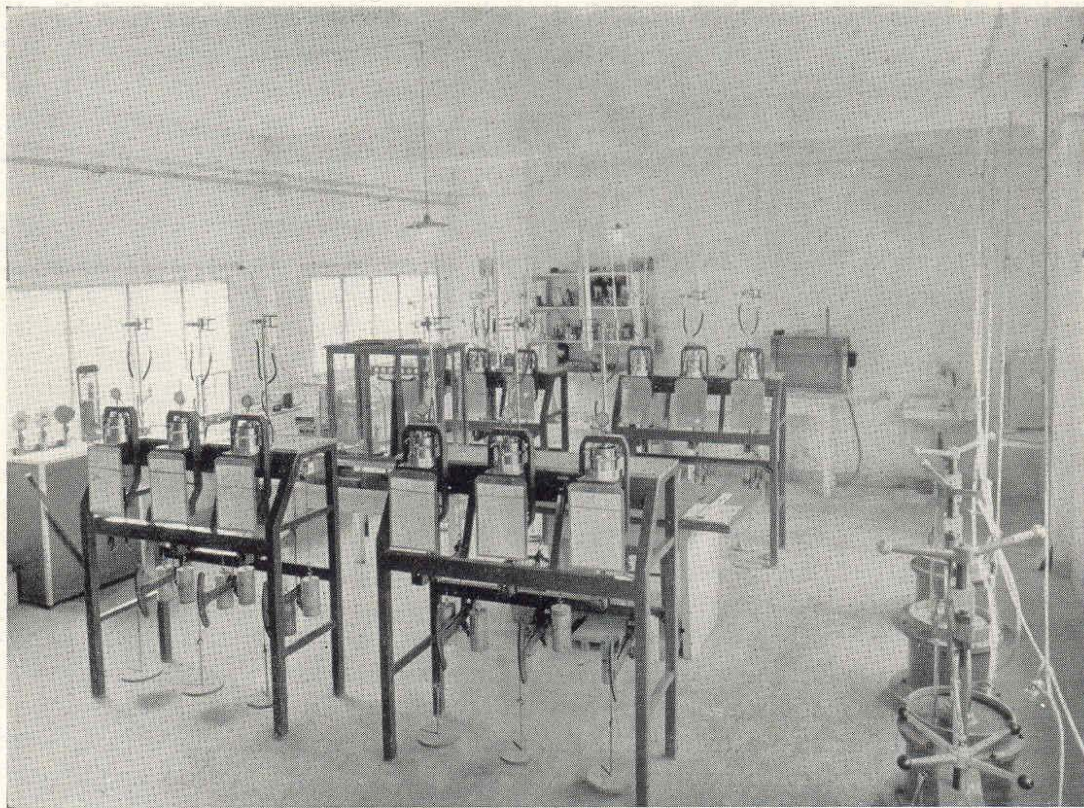


Fig. 33 - SERBATOIO DI BOMBA — Interno del laboratorio per le prove geotecniche di cantiere.

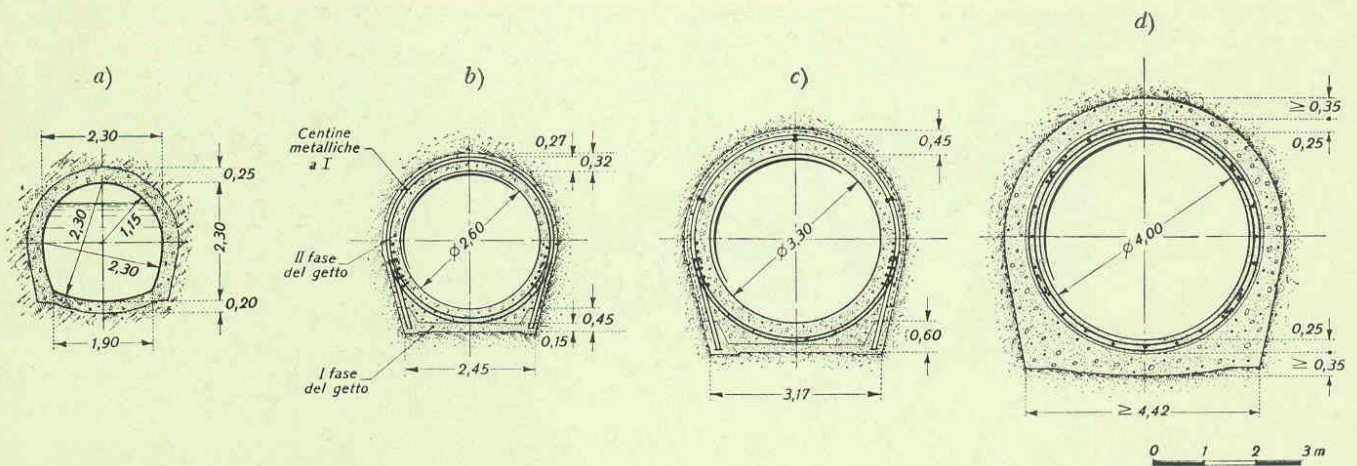


Fig. 34 - GALLERIE DI DERIVAZIONE — Sezioni tipo.

- a) Galleria a pelo libero per la derivazione del fiume Verde.
Portata massima 10 m³/s - Lunghezza 1 656 m.
- b) Galleria in pressione per la derivazione dal serbatoio di Casoli.
Portata massima 17 m³/s - Lunghezza 4 190 m (escluso tronco con tubazione metallica).
- c) Galleria in pressione per la derivazione dal serbatoio di Bomba.
Portata massima 23 m³/s - Lunghezza 9 180 m.
- d) Galleria principale di derivazione in pressione (derivazioni riunite).
Portata massima 40 m³/s - Lunghezza 3 965 m (escluso tronco con tubazione metallica).

Gallerie di derivazione

In esercizio normale i due serbatoi alimentano in parallelo la centrale. Ciascuna delle due derivazioni tra i serbatoi e il nodo di riunione è stata proporzionata alla rispettiva portata media affluente: a causa però delle diversità tra i diagrammi d'invaso dei due serbatoi e tra gli eventi idrologici dei due bacini, i rispettivi livelli di norma non coincidono.

La derivazione dal serbatoio sul Sangro al nodo di Rio Secco (fig. 34 c) è costituita da una galleria circolare rivestita in calcestruzzo del diametro di 3,30 m, lunga 9 180 m e sottoposta ad un carico massimo compreso tra 36 m all'inizio e 49 m al termine.

La galleria, oltre che con le paratoie di presa già descritte, è intercettabile in prossimità del Rio Secco, prima della riunione con la galleria proveniente dall'Aventino, con una paratoia di 2,50 × 3,00 m² a comando oleodinamico, che ha la funzione di isolare la galleria per compiersi ispezioni e manutenzioni, mantenendo in esercizio la centrale alimentata dall'altro serbatoio; a monte della paratoia è installato un tubo di scarico del diametro di 400 mm per lo svuotamento della galleria stessa (figg. 41-42).

La derivazione dal serbatoio sull'Aventino al nodo di Rio Secco ha la lunghezza complessiva di 4 570 m, di cui 4 190 in galleria del diametro di 2,60 m rivestita in calcestruzzo armato (fig. 34 b), e 380 in tubazione di acciaio Ø 2,40 m; la tubazione è in parte bloccata in galleria, nei due tratti adiacenti all'attraversamento stesso (fig. 40).

Le pressioni sulla derivazione variano da 33 m a 49 m per la galleria e da 44 m a 49 m per la condotta metallica.

La tubazione in acciaio attraversa il Rio Secco su un ponte in calcestruzzo armato della luce di 47 m, realizzato con una trave appoggiata su due pile ed equilibrata da due mensole di 12 m verso le sponde (fig. 40 b).

Al ponte segue una cabina contenente una paratoia a comando oleodinamico di



Fig. 35 - Centine metalliche di tipo reticolare impiegate in un tronco sperimentale della galleria di derivazione del Sangro.



Fig. 36 - Centine a ferro di cavallo impiegate nella costruzione della galleria di derivazione dal Sangro.

1,80 × 2,30 m² per il sezionamento della galleria di derivazione dall'Aventino, avente funzioni e caratteristiche in tutto analoghe a quella di sezionamento della derivazione dal Sangro, con il relativo tubo di scarico del diametro di 300 mm. Nella cabina è sistemata la centralina oleodinamica per la manovra di entrambe le paratoie (fig. 41).

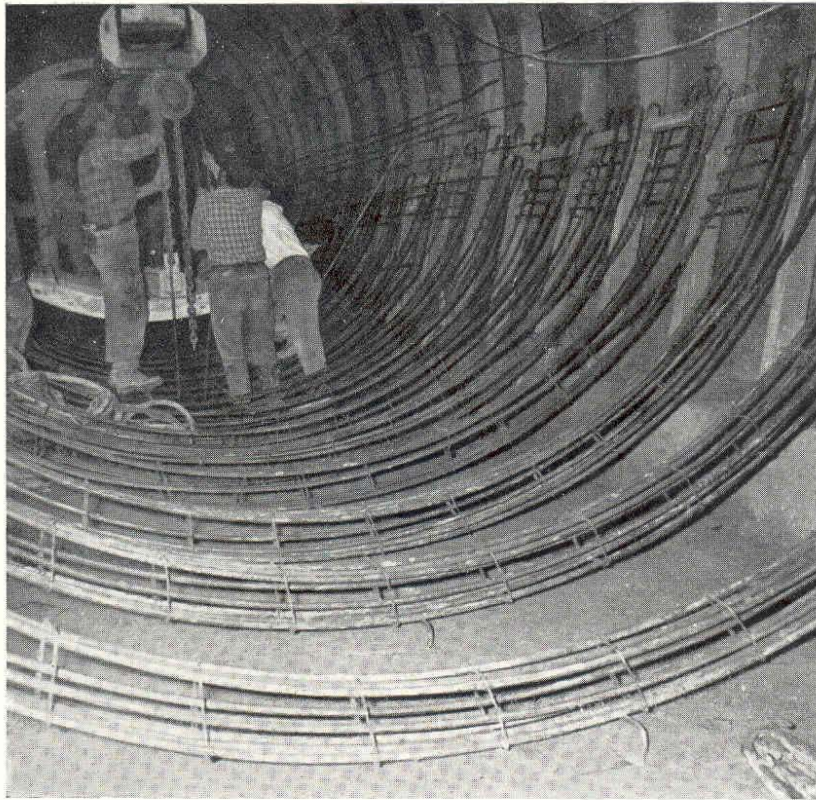


Fig. 37 - Chiusura inferiore delle centine per mezzo di tondini di ferro.



Fig. 38 - Tipo di centine impiegate nella costruzione della galleria di derivazione dall'Aventino.

La derivazione dal nodo di Rio Secco al pozzo piezometrico è realizzata con una galleria circolare avente la lunghezza di 3 965 m e il diametro di 4 m, sottoposta ad una pressione massima compresa tra 49 m al Rio Secco e 59 m al pozzo piezometrico (figura 34 d).

Gli sbocchi nelle gallerie delle sette finestre d'accesso sono chiusi con porte stagne di $1,20 \times 1,60 \text{ m}^2$.

I terreni nei quali sono state scavate le gallerie di derivazione sono di varia natura: prevalgono le argille scagliose e le marne, mentre in percentuale minore sono presenti i terreni stratificati della « serie di Casoli » ed altre formazioni. Le argille scagliose, in cui si trovano spesso inglobati elementi rocciosi di dimensioni e natura diverse, predominano soprattutto lungo il tracciato della galleria di derivazione dal serbatoio di Bomba, e nel tronco verso il Rio Secco della galleria dal serbatoio di Casoli.

Per il rivestimento in terreni argillosi era stata prevista in un primo tempo l'esecuzione di un anello esterno in calcestruzzo semplice e di un anello interno in calcestruzzo armato; ma, iniziati gli scavi, si vide che le argille scagliose, ovunque asciutte, erano facili da scavare e che una leggera armatura di protezione era sufficiente a reggere anche per lungo tempo lo scavo aperto. Tale circostanza indusse a sostituire per buona parte delle gallerie al suddetto tipo a doppio anello un tipo che permettesse l'impiego di treni-beton per il getto dell'intero rivestimento; il vantaggio di tale sistema consiste soprattutto nella maggiore rapidità di esecuzione e nella miglior qualità del calcestruzzo.

Fu studiata perciò una centina metallica per il sostegno degli scavi, da lasciare in opera all'atto del getto del rivestimento con funzione di armatura resistente alla pressione interna. Ci si orientò in un primo tempo verso centine a struttura reticolare del tipo indicato nella fig. 35, che garantivano un'elevata rigidità in fase di scavo ed un'intima collaborazione con il conglomerato del successivo rivestimento; prevalsero alla fine esigenze di semplicità costruttiva e fu adottata una centina a ferro di cavallo in 2 pezzi, di profilato a I con anima ringrossata, a cui venivano aggiunti subito prima del getto tondini di ferro nella parte inferiore per completare l'anello di armatura (figure

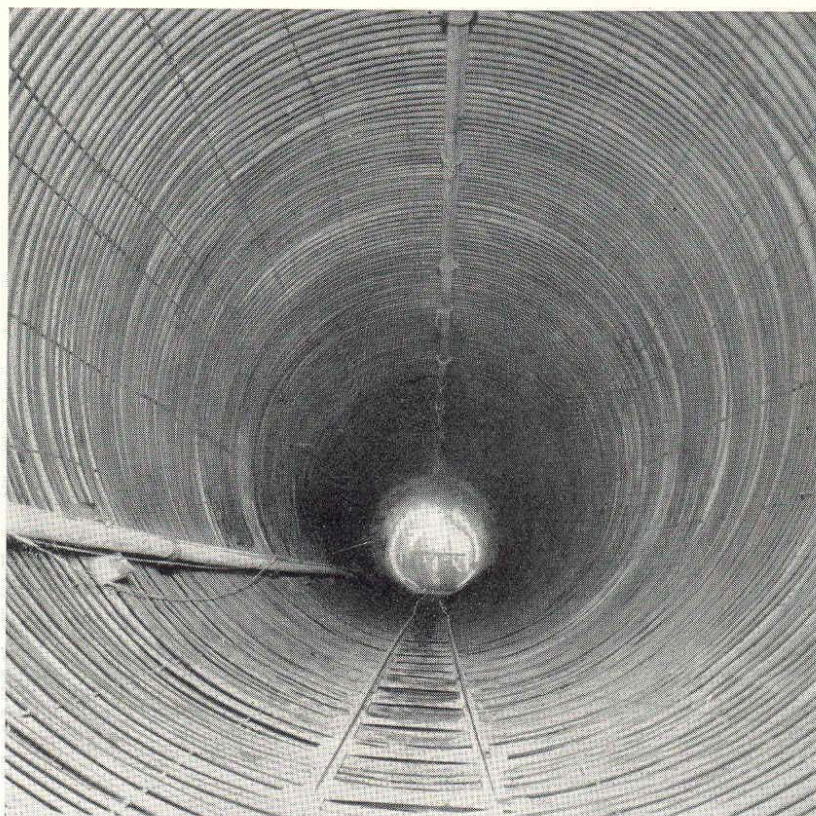


Fig. 39 - Armatura del tronco \varnothing 4,00 m eseguito in calcestruzzo armato entro pririvestimento.

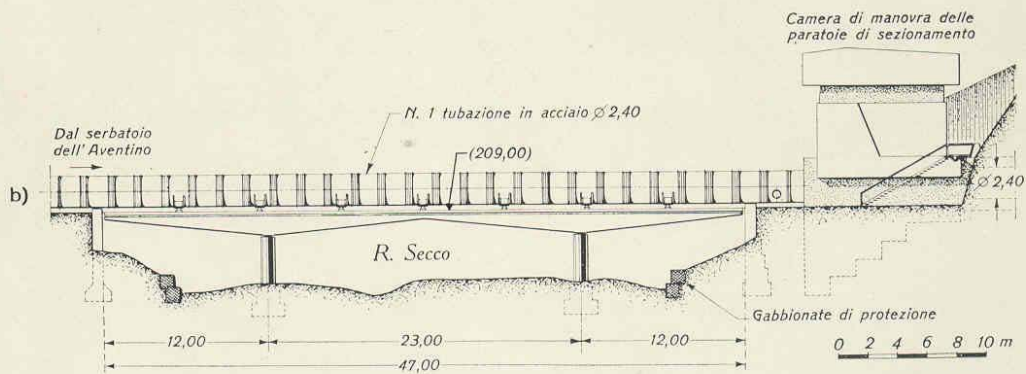
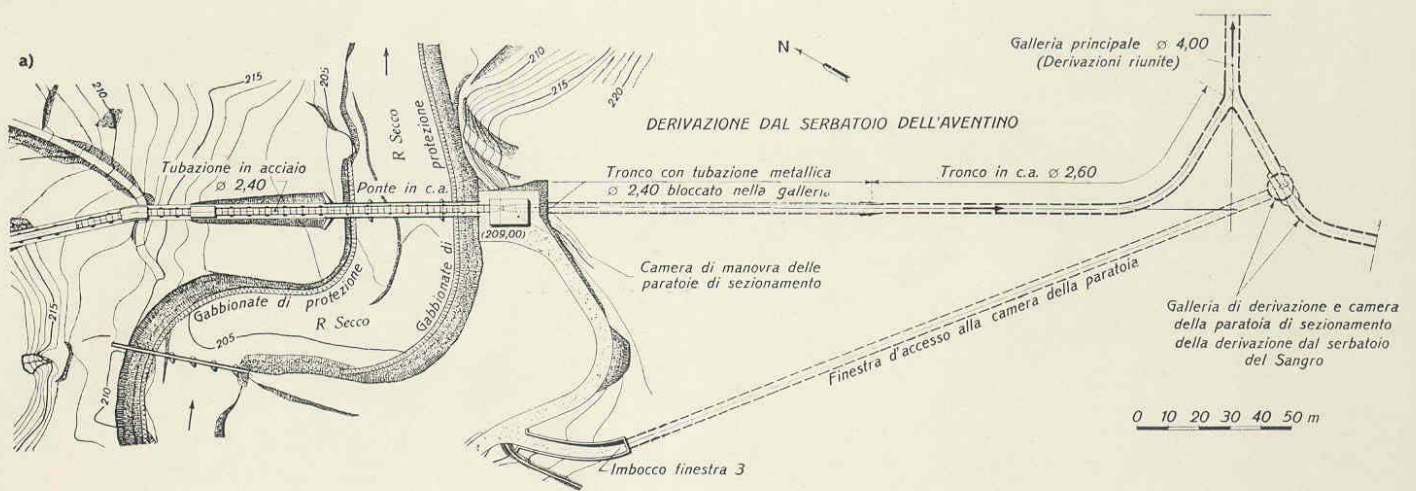


Fig. 40 - ATTRAVERSAMENTO DEL RIO SECCO. a) Planimetria. - b) Ponte in calcestruzzo armato - profilo longitudinale. — La tubazione in acciaio attraversa il R. Secco su un ponte della luce di 47 m. Al ponte segue una cabina contenente una paratoia di $1,80 \times 2,30$ m² a comando oleodinamico per il sezionamento della galleria di derivazione dall'Aventino.

36-37). Il giunto in chiave tra le due mezze centine era bullonato con doppia piattabanda in modo da ricostituire l'intera resistenza a trazione del profilato.

In tal modo sono stati armati i tronchi di galleria compresi tra i due serbatoi e il nodo del Rio Secco; nel tronco iniziale della galleria di derivazione dell'Aventino invece del profilato a I è stata adoperata una trave composta da 4 tondini collegati da un ferro piatto ondulato (fig. 38).

Nei terreni rocciosi o marnosi, le centine venivano disposte solo ove risultavano necessarie per sostenere lo scavo, giacchè in questi terreni le prove eseguite su un cunicolo sperimentale avevano dimostrato che si poteva contare, in fase di esercizio, su un'efficace collaborazione della roccia col rivestimento, tale da rendere superflua l'armatura resistente a trazione.

Nel cunicolo di prova, costruito in scala ridotta nei suddetti terreni, si era avuta infatti la rottura del rivestimento sotto la pressione di circa 12 atm, ed il modulo elastico della roccia era risultato dell'ordine di $80\,000 \div 100\,000$ kg/cm².

Nelle argille scagliose le prove su analogo cunicolo misero invece in evidenza lo

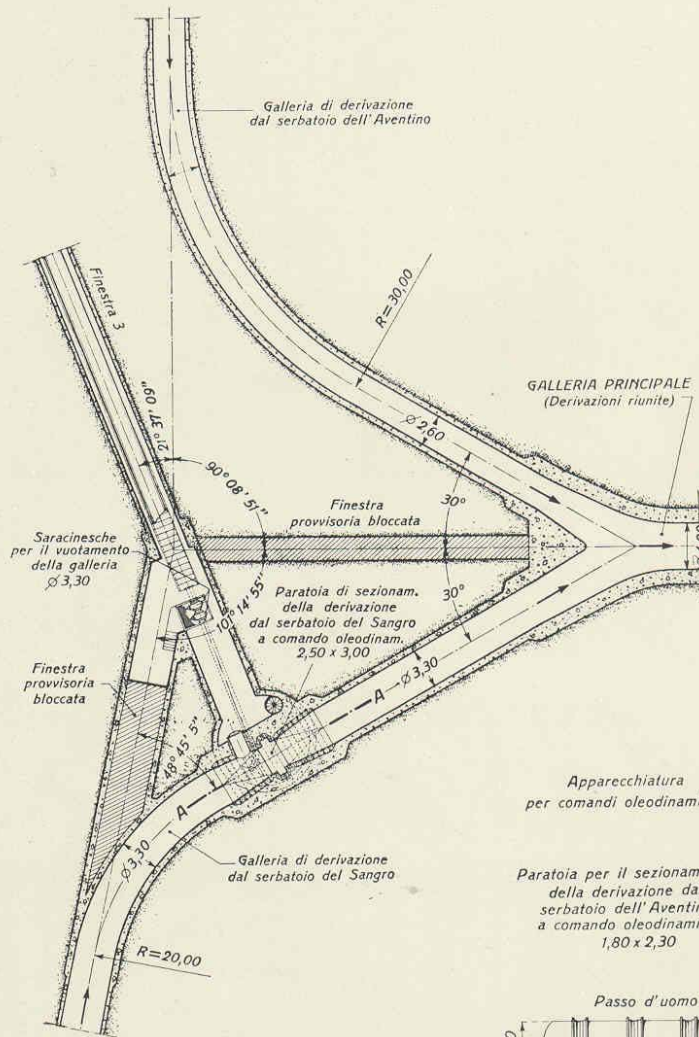


Fig. 41 - CONFLUENZA DELLE DERIVAZIONI - Sezione orizzontale — Nella galleria principale (derivazioni riunite) del \varnothing 4,00 m si immettono le acque provenienti dal serbatoio del Sangro attraverso una galleria del \varnothing 3,30 m e quelle provenienti dal serbatoio dell'Aventino attraverso una galleria del \varnothing 2,60 m.

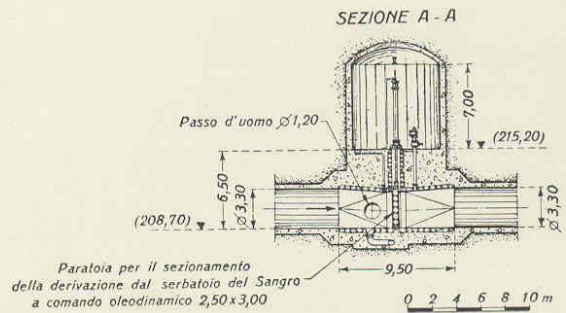
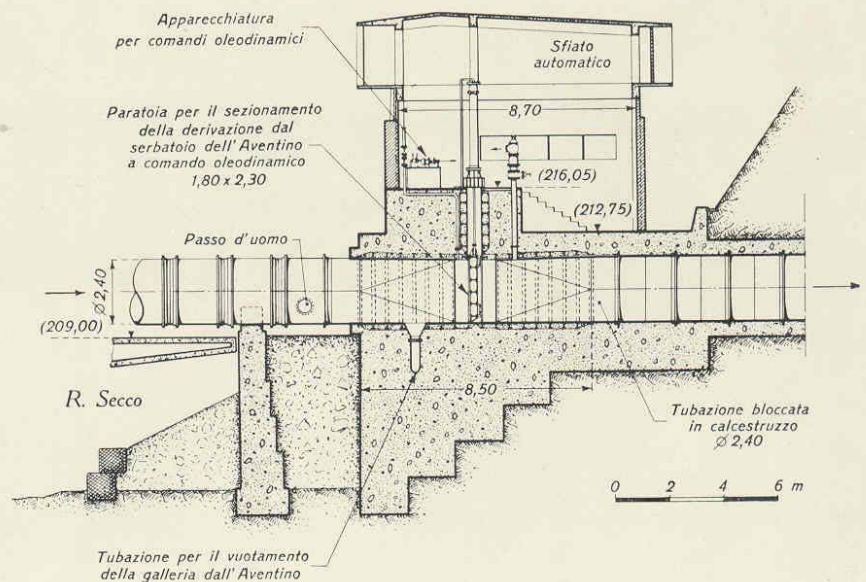


Fig. 42 - Camere di manovra della paratoia di sezionamento della galleria del Sangro (in alto) e della paratoia di sezionamento della galleria dell'Aventino (in basso).



scarso contributo dato dal terreno alla resistenza del rivestimento; tuttavia, trattandosi di terreni impermeabili, si ritennero ammissibili fessurazioni capillari del calcestruzzo di rivestimento, e pertanto lo spessore di questo non fu aumentato rispetto a quello adottato in terreni calcarei o marnosi, ma furono solo ravvicinate le centine metalliche. La distanza massima tra le centine, oltre che dalle esigenze di sostegno dello scavo, era definita dalla condizione che il profilato assorbisse da solo, con una sollecitazione ideale di 2000 kg/cm^2 , tutto lo sforzo di trazione sul rivestimento dovuto alla pressione idrostatica.

Tale dimensionamento convenzionale prescinde, ovviamente, dalla reale ripartizione degli sforzi tra il ferro ed il calcestruzzo e la sollecitazione sopraindicata si verificherà solo in corrispondenza delle eventuali lesioni; in assenza di lesioni, tenuto conto per il calcestruzzo teso di un modulo elastico di 200000 kg/cm^2 , si avranno sollecitazioni di 200 kg/cm^2 per il ferro e 20 kg/cm^2 per il calcestruzzo: sollecitazione questa ultima ritenuta sopportabile da un conglomerato di qualità come quello ottenuto con l'uso dei treni-beton.

Le prove eseguite sul cunicolo in argilla scagliosa hanno messo in evidenza il comportamento perfettamente elastico del rivestimento lesionato e la ridotta entità delle perdite d'acqua attraverso le lesioni; tali perdite tendevano ad esaurirsi dopo aver provocato la saturazione della zona di terreno circostante alla galleria.

La galleria di derivazione dal nodo di Rio Secco al pozzo piezometrico è stata invece costruita senza centine metalliche, con prerivestimento in calcestruzzo e anello interno con armatura in tondino di ferro, di sezione variabile a seconda dei terreni attraversati (fig. 39).

I lavori delle gallerie, iniziati nell'ottobre 1955, sono stati ultimati nel settembre 1958.

Sono stati conseguiti in fase di scavo i seguenti avanzamenti massimi:

	massimo giornaliero m	massimo mensile m
Galleria \varnothing 2,60 (scavo \varnothing 3,40)	15	244
Galleria \varnothing 3,30 (scavo \varnothing 4,20)	11	216
Galleria \varnothing 4,00 (scavo \varnothing 5,50)	6	110

La scavo è stato effettuato quasi dappertutto sull'intera sezione; nella galleria del diametro di 4,00 m, dal nodo al pozzo piezometrico, contemporaneamente allo scavo veniva eseguito il prerivestimento in calcestruzzo semplice.

Un cenno particolare merita il tronco di galleria di derivazione dall'Aventino del diametro 2,60 lungo circa 1 km, in cui si sono attraversate argille scagliose molto spingenti.

Dopo vari tentativi si è dovuto ricorrere ad un rivestimento costituito da un anello in mattoni dello spessore di 0,75 m, costruito immediatamente a ridosso dell'avanzamento (che veniva eseguito per tratti di lunghezza non superiore a 3 m); all'interno di questo prerivestimento veniva poi gettato l'anello in calcestruzzo armato dello spessore di 0,20 m.

La frequente presenza di gas ha richiesto le precauzioni di obbligo; in media per la ventilazione delle gallerie sono state necessarie portate d'aria intorno ai 0,06 m³/s per m² di sezione scavata, con un massimo di circa 2 m³/s.

Per il rivestimento delle gallerie \varnothing 2,60 m e \varnothing 3,30 m, fatto con treni-beton, i getti venivano eseguiti su casseforme metalliche ripiegabili, con pompe da lancio e tubo immerso.

Il calcestruzzo era dosato con 300 kg di cemento per m³: per consentire una buona lavorabilità con bassi rapporti acqua-cemento sono stati aggiunti plastificanti. La resistenza media a compressione misurata sui provini è risultata di 250 kg/cm² a 28 giorni.

I rivestimenti sono stati eseguiti con i seguenti avanzamenti massimi:

	massimo giornaliero m	massimo mensile m
Galleria \varnothing 2,60 (tipo di rivestimento con centina)	35	540
Galleria \varnothing 3,30 (tipo di rivestimento con centina)	30	570
Galleria \varnothing 4,00 (solo anello armato interno)	15	304

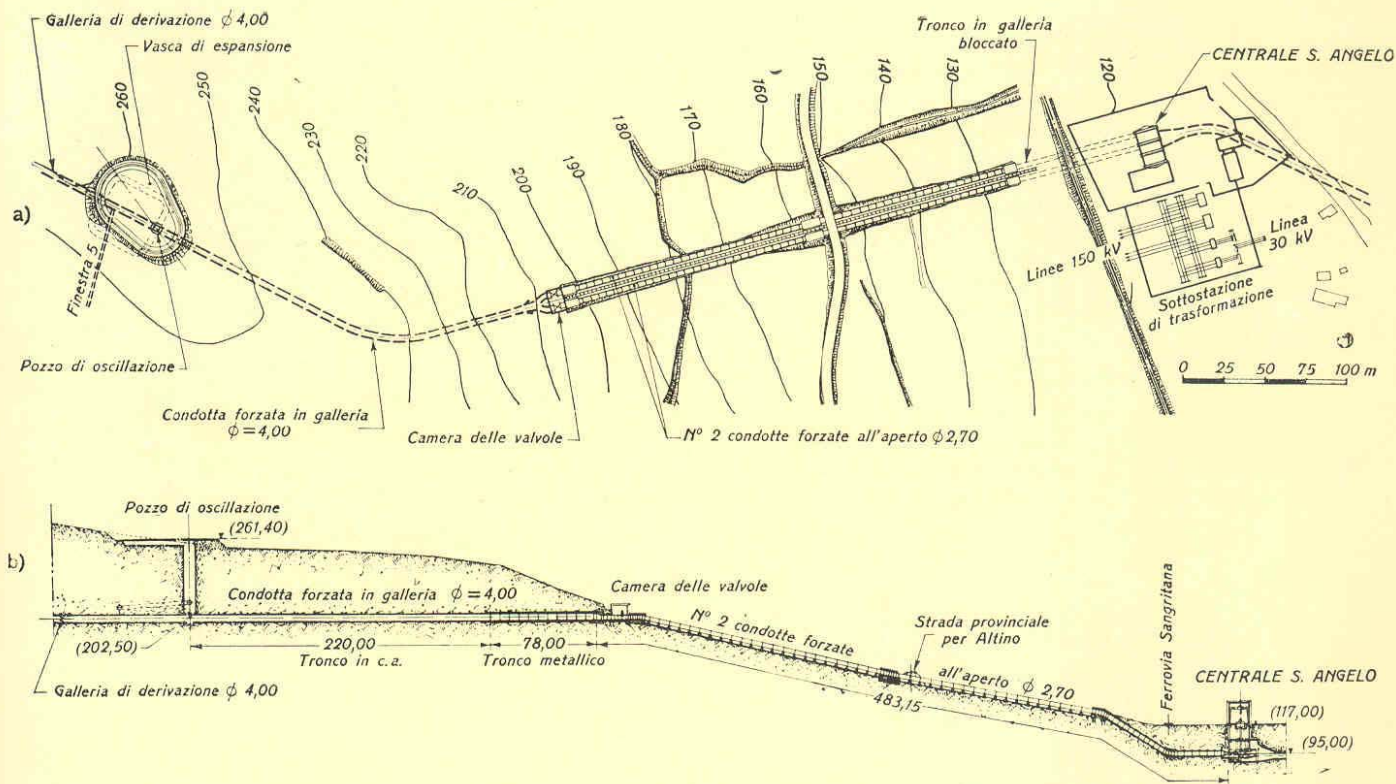


Fig. 43 - Pozzo piezometrico e condotte forzate — a) Planimetria - b) Profilo longitudinale.

Pozzo piezometrico e condotte forzate

Il pozzo piezometrico è del tipo a canna cilindrica, provvisto di vasca superiore di espansione e di camera inferiore di accumulazione (fig. 44).

Il diametro della canna è di 7 m, il minimo necessario per ottenere un sufficiente smorzamento delle oscillazioni di livello conseguenti a piccole variazioni di carico. La canna è rivestita con un anello in calcestruzzo di spessore variabile da 0,25 a 0,50 m, gettato internamente a un priverivestimento in calcestruzzo spesso da 0,60 m a 1 m, ed è rifinita con gunitte retinata.

La superiore vasca di espansione, quasi tutta pensile, ha la superficie di 2 500 m² al massimo invasore e riceve acqua contemporaneamente per sfioro dall'orlo superiore del pozzo a q. 259,50 ed attraverso le sei bocche di ritorno: il rientro dell'acqua nel pozzo avviene unicamente per mezzo di queste ultime (figg. 44 a) b) e 45).

L'argine che racchiude la vasca è costituito da un rilevato di materiale ghiaioso dell'altezza massima di 8 m, rivestito all'interno da lastre di calcestruzzo; il fondo è realizzato anch'esso con lastre di calcestruzzo della superficie di 25 m² circa, appoggiate su un sottofondo in pietrame.

Le lastre sono limitate da giunti impermeabili sotto i quali corre una rete di drenaggi.

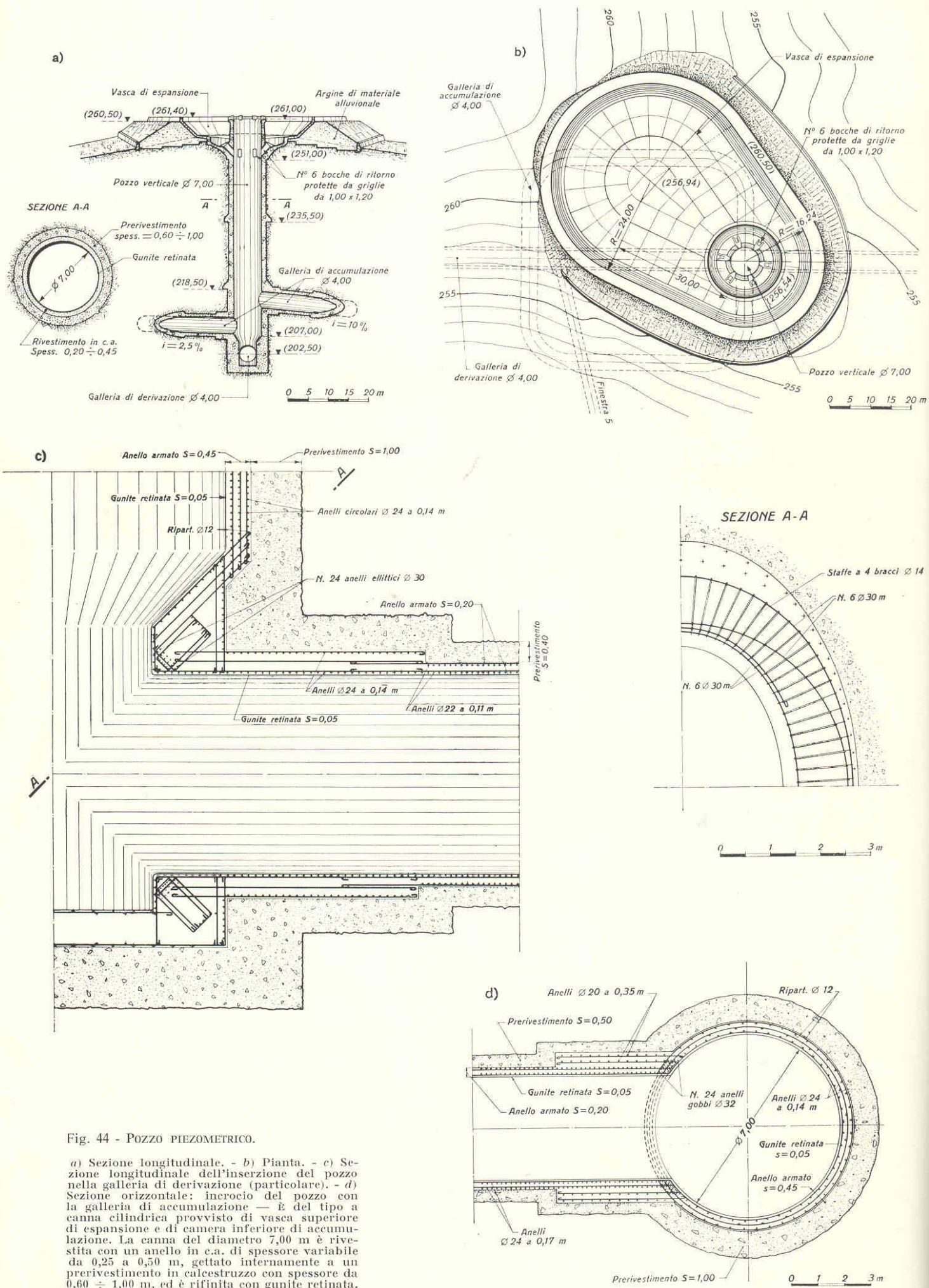


Fig. 44 - Pozzo PIEZOMETRICO.

a) Sezione longitudinale. - b) Pianta. - c) Sezione longitudinale dell'inserzione del pozzo nella galleria di derivazione (particolare). - d) Sezione orizzontale: incrocio del pozzo con la galleria di accumulazione. È del tipo a canna cilindrica provvisto di vasca superiore di espansione e di camera inferiore di accumulazione. La canna del diametro 7,00 m è rivestita con un anello in c.a. di spessore variabile da 0,25 a 0,50 m, gettato internamente a un prerivestimento in calcestruzzo con spessore da 0,60 ÷ 1,00 m, ed è rifinita con gunite retinata.

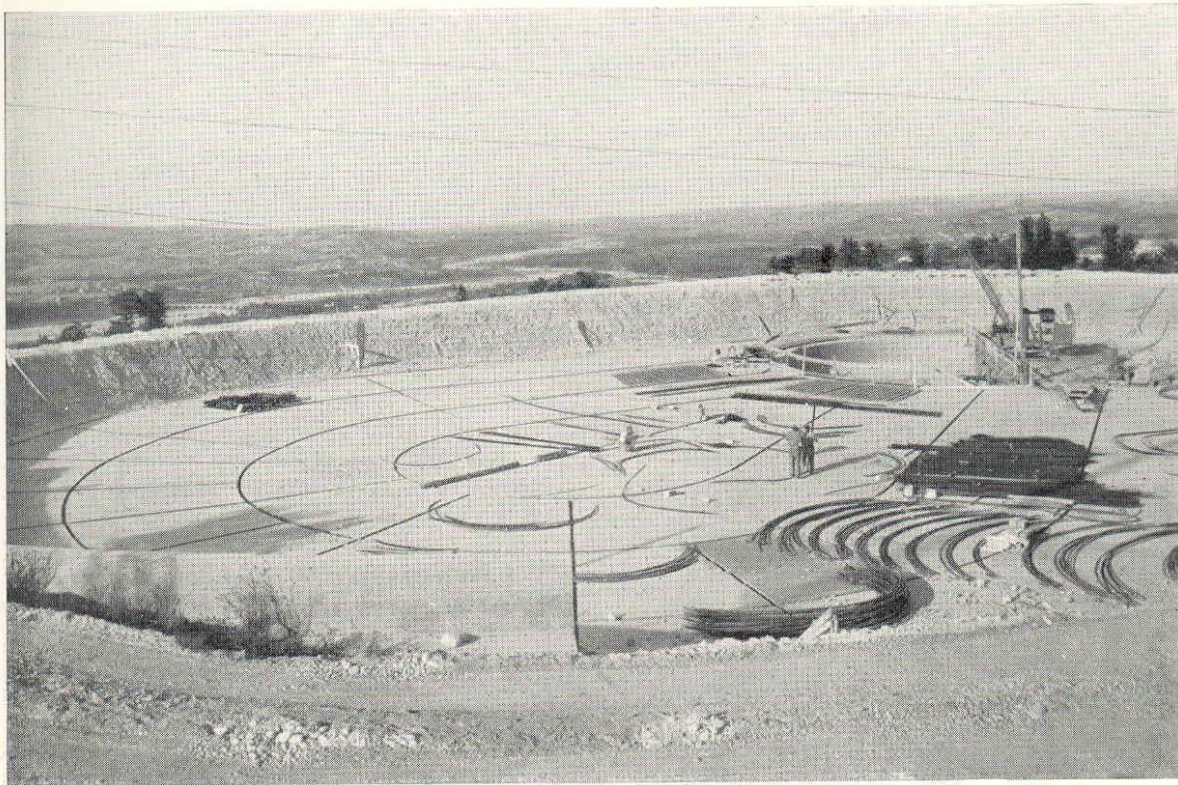


Fig. 45 - Pózzo PIEZOMETRICO — La vasca superiore di espansione in costruzione. La vasca, quasi tutta pensile, ha una superficie di 2500 m² al massimo invaso e riceve acqua contemporaneamente per sfioro dall'orlo superiore del pozzo a q. 259,50 ed attraverso le 6 bocche di ritorno: il rientro dell'acqua nel pozzo avviene unicamente per mezzo di queste ultime.

La camera inferiore d'alimentazione è costituita da una galleria pseudo-elicooidale del diametro di 4,00 m lunga 180 m, le cui due estremità fanno capo al pozzo; il tratto adiacente allo sbocco superiore è inclinato del 10%, per facilitare la fuoruscita dell'aria, il rimanente ha la pendenza del 2,5%.

La galleria ha un rivestimento in c. a. analogo a quello della galleria di derivazione.

Il funzionamento idraulico del pozzo è stato verificato nelle seguenti condizioni:

Per le oscillazioni verso l'alto:

- livello di massima piena (257,50 m s. m.) in entrambi i serbatoi;
- minima scabrezza delle gallerie (coefficiente di Strickler $K = 100$);
- sequenza di 3 manovre: chiusura - apertura - chiusura completa, relative alla massima portata derivabile dai 2 gruppi (43,6 m³/s) e sfasate tra loro nel tempo nel modo più sfavorevole.

Per le oscillazioni verso il basso:

- livello di massimo svasso (230,00 m s. m.) in entrambi i serbatoi;
- massima scabrezza delle gallerie ($K = 80$);
- manovra di apertura rapida (in 20 s) da 0 a 28 m³/s, corrispondente all'attacco di 3/4 del carico massimo di entrambi i gruppi.

Il funzionamento del pozzo è stato verificato, oltre che col calcolo, anche con modello idraulico, eseguito presso le officine generali dell'ACEA, sul quale furono eseguite ripetute esperienze per valutare rapidamente l'influenza della scabrezza delle gallerie, del livello dei serbatoi, e per avere indicazioni circa la esatta definizione di alcuni organi (soglia sfiorante, bocche di ritorno, ecc.) in tutte le possibili condizioni di esercizio ed in particolare nel caso di manovre alternate.

A gallerie eseguite, si sono misurate le perdite di carico alle diverse portate, ottenendo nelle tre gallerie valori del coefficiente K di Strickler intorno a 90.

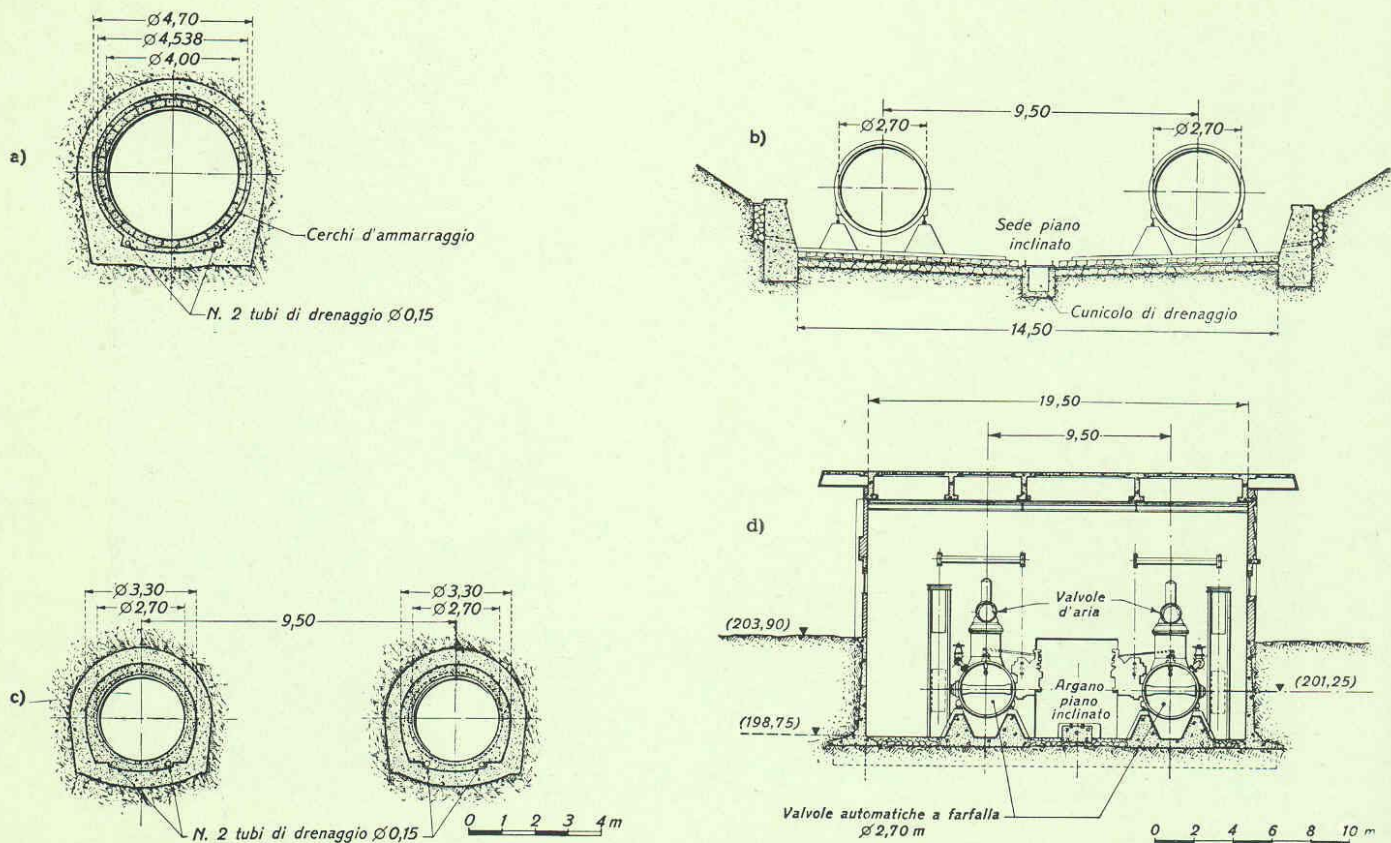


Fig. 46 - a) b) c) - CONDOTTE FORZATE - Sezioni tipo — a) Tronco in galleria bloccato - Tubazione metallica \varnothing 4,000 mm spess. 11 mm. - b) Tronco all'aperto - N. 2 tubazioni metalliche \varnothing 2,700 mm; spessore variabile da 8÷16 mm. - c) Tronco in galleria bloccato - N. 2 tubazioni metalliche \varnothing 2,700 mm spessore variabile da 16÷22 mm. - d) CAMERA DELLE VALVOLE - Sezione trasversale.

La costruzione del pozzo è stata eseguita con le seguenti modalità: è stato prima forato su tutta l'altezza un fornello di ristretta sezione comunicante dall'esterno con la sottostante galleria di derivazione; indi si è cominciato a scavare, a partire dall'alto, l'intera sezione del pozzo, scaricando i materiali nel fornello e procedendo al getto per sottomurazione dei successivi anelli del prerivestimento.

In un secondo tempo fu eseguito il rivestimento interno armato del pozzo e della galleria di accumulazione.

L'incrocio della galleria principale con la base del pozzo è rinforzato con travi ellittiche in calcestruzzo armato in grado di assorbire gli sforzi trasmessi dagli anelli incompleti di rivestimento che ad essi fanno capo (fig. 44 c)).

Agli sbocchi della galleria di alimentazione nella canna del pozzo, l'armatura resistente alla pressione interna è disposta in anelli gobbi che seguono la linea di intersezione delle due superfici cilindriche (fig. 44 d)).

Dal pozzo piezometrico ha inizio la condotta forzata (fig. 43) che nel primo tratto, lungo circa 220 m, è realizzata in calcestruzzo armato ed ha caratteristiche uguali a quelle della galleria di derivazione che la precede.

Segue, in prossimità dello sbocco all'esterno, un tronco lungo circa 80 m realizzato con una tubazione metallica \varnothing 4 000 mm bloccata entro il rivestimento (fig. 46 a): pure essendo tale condotta autoresistente si è ritenuto più conveniente bloccarla piuttosto che lasciarla libera in galleria, in conseguenza delle dimensioni notevolmente maggiori che in quest'ultimo caso la galleria avrebbe dovuto assumere per consentire la successiva manutenzione esterna del tubo metallico.

Al termine di tale tronco la condotta si biforca in due tubazioni metalliche del diametro di 2 700 mm che dopo un breve tronco in cunicolo raggiungono la camera delle

valvole automatiche a farfalla (fig. 46 *d*) da cui ha inizio il tronco all'aperto avente la lunghezza complessiva di circa 350 m (figg. 46 *b*) e 48).

Nella zona terminale le due condotte proseguono bloccate entro due cunicoli paralleli per una lunghezza di circa 100 m fino alla centrale (fig. 46 *c*).

Le condotte all'aperto del diametro di 2 700 sono state costruite con acciaio di qualità al Cu-Cr tipo CD 56, dotato di buona resistenza alla ossidazione ed avente le seguenti caratteristiche fisiche:

Carico di rottura $52 \div 58 \text{ kg/mm}^2$;

Limite di elasticità $L_e > 36 \text{ kg/mm}^2$;

Allungamento di rottura $A_5 > 22\%$;

Resilienza su piccola barra Mesnager $> 9 \text{ kgm/cm}^2$.

La sollecitazione massima di progetto è stata assunta pari a $1\,400 \text{ kg/cm}^2$; tale sollecitazione è stata diminuita con opportuni coefficienti di riduzione nei tronchi in cui le saldature longitudinali sono state eseguite in opera e nei tronchi curvi. Tutte le saldature eseguite in officina sono state sottoposte a trattamenti termici di normalizzazione.

Le tubazioni stesse sono state provate in officina sottoponendo le singole virole ad una pressione doppia di quella di esercizio. Sono stati eseguiti inoltre continui esami radiografici e prove di trazione, piegatura e resilienza sulle saldature, che sono risultate praticamente perfette.

La tubazione $\varnothing 4\,000 \text{ mm}$ bloccata è stata portata in galleria in mezze virole che sono state saldate sul posto dall'interno, sia trasversalmente che longitudinalmente; le condotte $\varnothing 2\,700 \text{ mm}$ sono state invece portate in posto in tronchi di tubo lunghi 7,50 metri, composti di 3 virole ciascuno, e i tronchi sono stati saldati fra loro in opera solo trasversalmente.

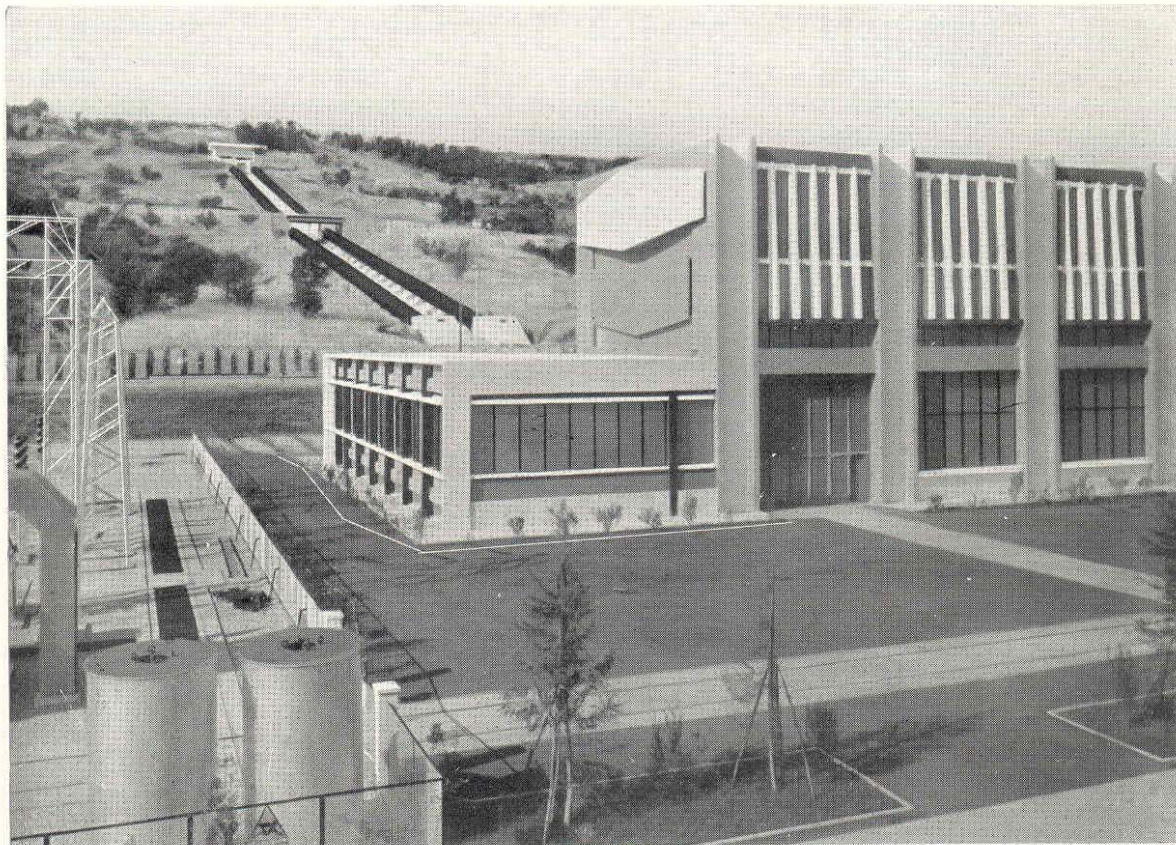


Fig. 47 - CENTRALE DI S. ANGELO - Vista della Centrale e delle condotte forzate.

La prova in opera della condotta è stata eseguita in due tronchi chiusi da fondi di prova e sottoposti ad una pressione pari a 1,25 volte la massima d'esercizio.

Le condotte sono appoggiate su tronconi di rotaie fissati a selle in calcestruzzo aventi l'interasse di 7,50 m e sono ancorate al terreno con tre blocchi ciascuna.

La sede all'aperto è larga complessivamente 14,50 m ed è ricavata su una coltre detritica di spessore variabile da 2-3 m circa, in sommità del pendio, a 15-20 m al piede, poggiante su di una formazione d'argilla sabbiosa in posto. La superficie è protetta da un selciato di pietrame con malta.

Per migliorarne la stabilità sono stati costruiti nove muri trasversali in calcestruzzo che si affondano fino alla sottostante formazione di argille in posto. Dei blocchi d'ancoraggio il primo è fondato sull'argilla in posto, il secondo sulla coltre detritica (previa costipazione con pali battuti) e l'ultimo su pali trivellati.

Le ridotte dimensioni dell'ultimo blocco d'ancoraggio sono dovute al fatto che viene sfruttata la resistenza assiale del cunicolo in calcestruzzo contenente la condotta forzata, realizzato in modo che il suo asse coincida con la risultante dei carichi agenti sull'ancoraggio.

A monte delle tubazioni del diametro di 2 700 mm sono installate due valvole a farfalla con chiusura automatica (per eccesso di velocità) oppure volontaria (locale o telecomandata dalla centrale) per mezzo di contrappesi. La tenuta della lente contro il corpo della valvola è assicurata da un anello di gomma. Subito a valle sono installate due valvole d'aria a semplice galleggiante di diametro 1 200 mm.

Al termine delle condotte, immediatamente a monte delle turbine, sono installate due valvole rotative del diametro di 1 700/1 600 mm del tipo a settore rotante, manovrabili con comando oleodinamico anche con acqua in moto.

Le condotte sono raccordate alle valvole di macchina da due tronchi del diametro 2 700/1 700 mm che vengono impiegati come gole venturimetriche.

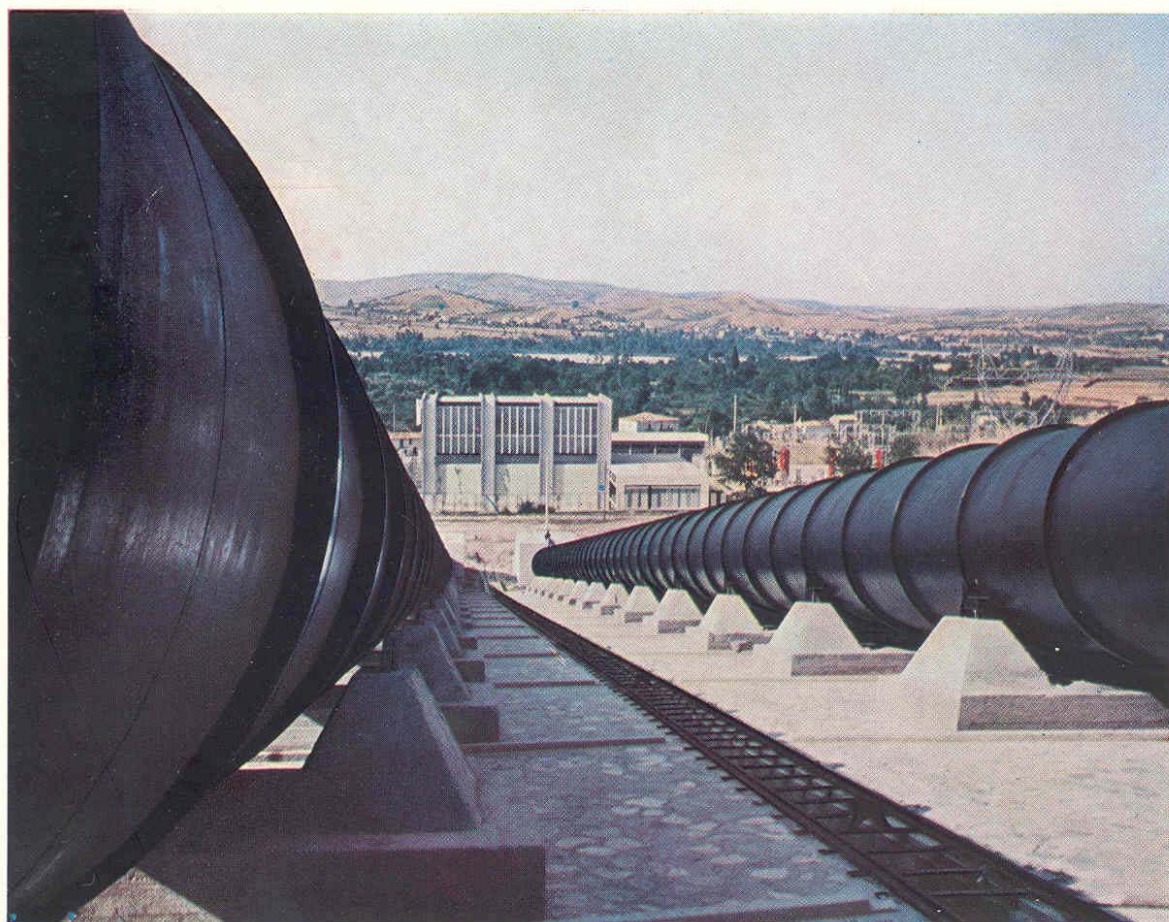


Fig. 48 - Vista della Centrale da monte.



Fig. 49 - CENTRALE DI S. ANGELO — Interno della sala macchine.

Centrale di S. Angelo

Scartata per motivi di costo e di rapidità di esecuzione la soluzione in caverna, che fra l'altro avrebbe comportato notevoli difficoltà costruttive a causa della natura dei terreni, è stata scelta per la centrale la soluzione all'aperto (figg. 47-48).

I gruppi sono ad asse verticale; le turbine sono state collocate a q. 95,70 m s. m., mentre la sala alternatori, per comodità d'esercizio, è stata mantenuta al piano di cam-

pagna (q. 117 m s. m.). Alla trasmissione provvede un albero a sezione cava, in due tronchi, dotato di un supporto di guida intermedio.

Gli alternatori sono montati su due robuste piastre in calcestruzzo collegate tra loro e sostenute da 6 pilastri che partono dal piano della sala turbine; tali pilastri sono resi solidali con quelli perimetrali della struttura interrata per mezzo di travi di collegamento su due piani. L'insieme dei pilastri e dei collegamenti in fondazione è stato calcolato come una struttura unitaria, incastrata nel blocco di fondazione alla quota della sala turbine e sottoposta all'azione delle soprastanti strutture fuori terra, alla spinta attiva del terreno e alle azioni trasmesse dal macchinario: peso proprio, spinta idraulica, momento torcente (3 000 tm) dato dalla coppia massima di cortocircuito applicata al piano d'appoggio degli alternatori.

Le dimensioni della parte interrata sono state limitate allo stretto necessario allo scopo di contenere l'entità degli scavi in sotterraneo.

Dal punto di vista costruttivo, la parte interrata è stata eseguita con un ampio

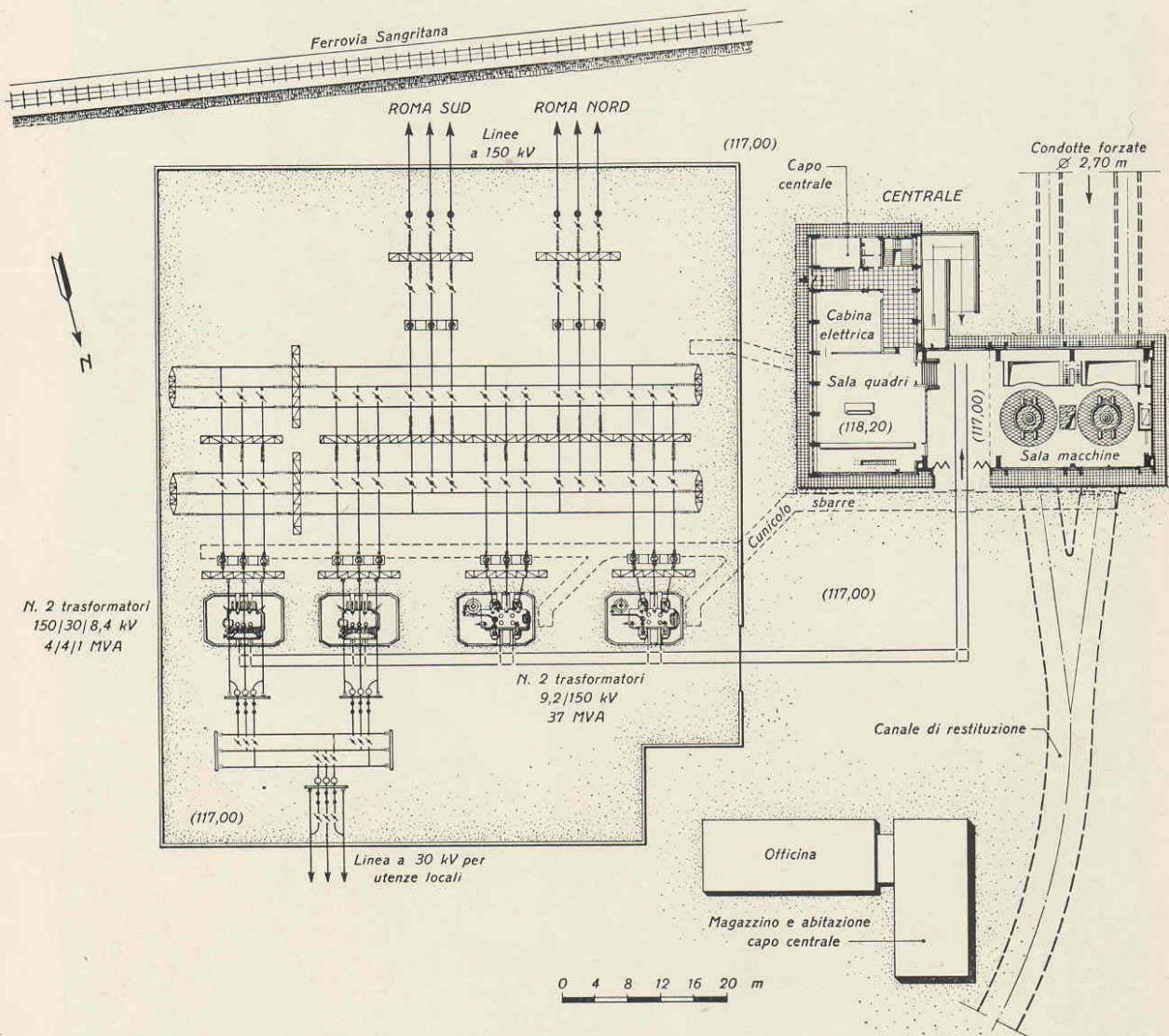


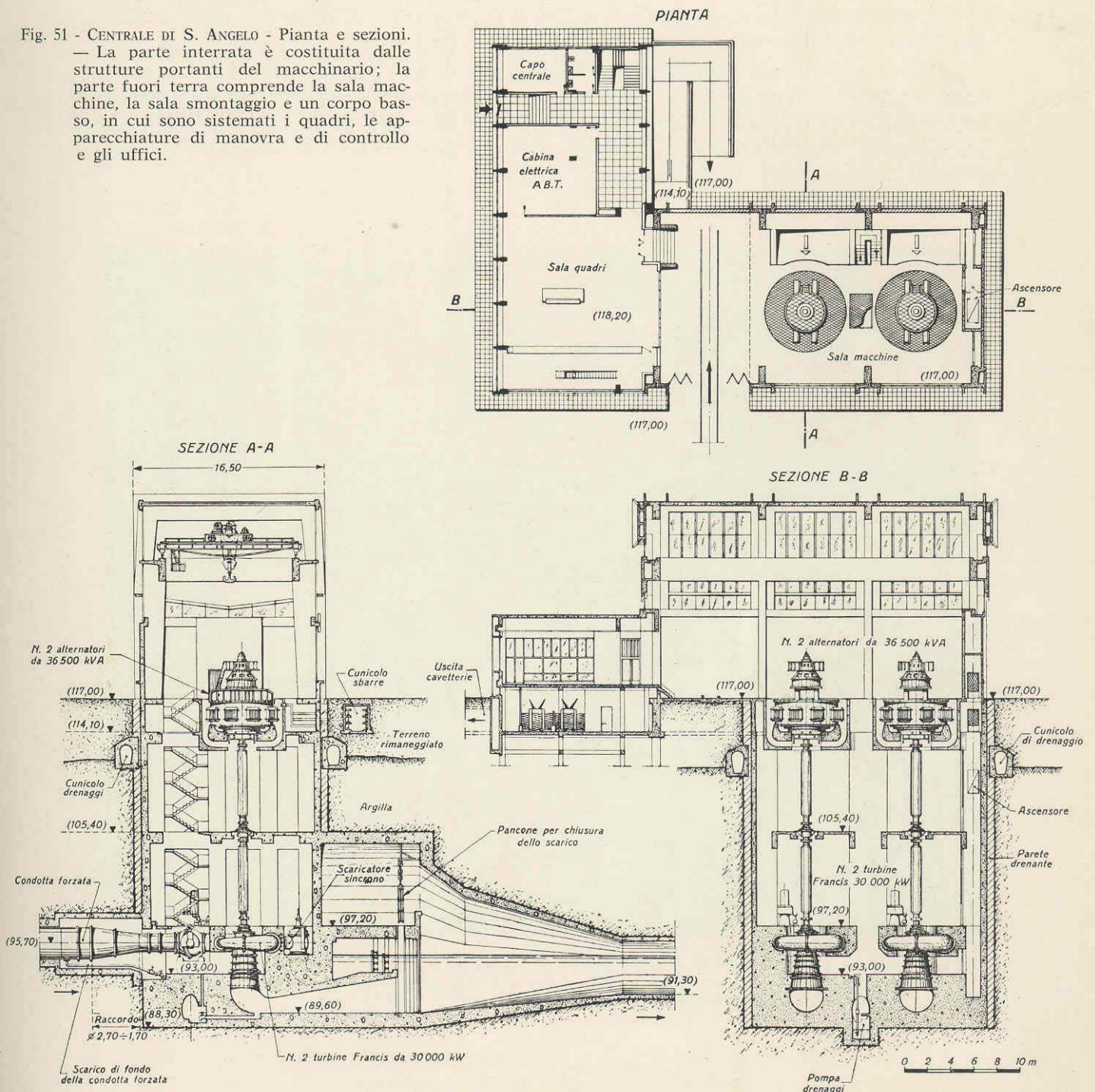
Fig. 50 - CENTRALE DI S. ANGELO — Planimetria generale della centrale e della stazione di trasformazione all'aperto.

sbancamento fino al piano dei supporti di guida intermedi; al disotto di questa quota sono stati eseguiti in pozzo i pilastri perimetrali e in trincea le pareti di collegamento fra tali pilastri.

Eseguite queste strutture di contenimento del terreno circostante, si è scavata la parte interna della centrale estraendo il materiale da un pozzo praticato all'inizio del canale di scarico; contemporaneamente si procedeva alla costruzione della parte in elevazione.

Distributivamente la centrale è così suddivisa: al piano di campagna a q. 117 m s. m. si trova la sala macchine, in cui sporgono soltanto le crociere superiori degli alternatori coi supporti di spinta e le eccitatrici (fig. 49); al piano inferiore, a q. 114,10, si trovano le piastre di appoggio degli alternatori e l'uscita in cunicolo delle sbarre; a q. 105,40 sono installati i supporti intermedi di guida degli alberi, l'argano ed i comandi dell'ascensore-montacarichi e gli impianti per la lubrificazione degli alternatori; a q. 97,20 sono installate le turbine con i regolatori automatici e gli scaricatori sincro-

Fig. 51 - CENTRALE DI S. ANGELO - Pianta e sezioni. — La parte interrata è costituita dalle strutture portanti del macchinario; la parte fuori terra comprende la sala macchine, la sala smontaggio e un corpo basso, in cui sono sistemati i quadri, le apparecchiature di manovra e di controllo e gli uffici.



ni, i venturimetri, gli organi di manovra dell'impianto di raffreddamento, le elettropompe d'olio per i comandi oleodinamici del regolatore e della valvola rotativa, per la lubrificazione dei supporti, ecc.; a q. 93 sono installate le valvole rotative, le pompe di drenaggio e gli scarichi di fondo delle condotte forzate. Tutti i piani sono collegati da scale e da un ascensore montacarichi della portata di 1000 kg.

I principali servizi ausiliari, compreso l'ascensore, sono dotati di impianti di riserva a corrente continua. La sala macchine ha complessivamente le dimensioni di $27 \times 15 \text{ m}^2$ di cui $9 \times 15 \text{ m}^2$ sono riservati allo smontaggio del macchinario e dei trasformatori, che viene effettuato con un ponte gru da 100-10 t.

Alla sala macchine è affiancato un edificio più basso contenente al piano rialzato la sala quadro con tutte le apparecchiature di comando e di controllo (fig. 52) e al piano seminterrato il sottoquadro con gli strumenti di misura, le apparecchiature di protezione del macchinario ed i trasformatori dei servizi ausiliari. In un locale adiacente alla sala quadro sono installate le apparecchiature relative ai servizi ausiliari ed alle linee locali; nello stesso edificio si trovano inoltre l'ufficio del capo centrale, il locale per le batterie di accumulatori, gli spogliatoi ed i servizi igienici.

Un altro edificio comprende al piano terreno l'officina ed il magazzino, con ingresso dal piazzale della centrale, ed al piano superiore l'abitazione del capo centrale con ingresso dalla strada.

Dai morsetti degli alternatori mediante cunicoli rivestiti in calcestruzzo armato della lunghezza complessiva di circa 150 m, le sbarre giungono in sottostazione ove sono installati due trasformatori elevatori 9,2/150 kV da 37 MVA collegati rigidamente ai gruppi e due trasformatori 150/30/8,4 kV da 4/4/1 MVA per l'alimentazione dei servizi ausiliari e delle utenze locali (fig. 54).



Fig. 52 - SALA QUADRI — Gli alternatori sono rigidamente collegati con due trasformatori le cui uscite fanno capo ad un doppio sistema di sbarre che alimenta le due linee a 150 kW e i due trasformatori per l'alimentazione delle utenze locali.

Dalla sottostazione escono due terne a 150 kV per il trasporto a Roma dell'energia, una linea a 30 kV ed una a 8,4 kV per l'alimentazione delle utenze locali.

La linea a 150 kV è costituita da una doppia terna di conduttori in alluminio-acciaio della sezione di 297 mm² e si svolge su un percorso di circa 180 km attraversando l'Appennino a sud della Maiella. In un primo tronco, compreso tra S. Angelo e la cabina di sezionamento di Collarmele, le due terne sono su doppia palificata con sostegni in traliccio ad Y; nel rimanente percorso fino a Roma sono su palificata unica con sostegni in traliccio tronco-piramidali. La separazione in due palificate nel tratto di alta montagna, in cui si verificano talvolta condizioni meteorologiche particolarmente avverse, ha lo scopo di garantire una maggiore sicurezza di esercizio.

Le caratteristiche principali del macchinario installato in centrale sono:

N. 2 Turbine Francis.

- velocità di rotazione: 375 giri/min
- portata massima: con il salto massimo 21,8 m³/s
 con il salto medio 20,0 »
 con il salto minimo 18,8 »
- potenza massima: con il salto massimo 29 830 kW
 con il salto medio 23 220 »
 con il salto minimo 19 160 »
- velocità di fuga: 715 giri/min
- regolatore accelero-tachimetrico;

N. 2 Generatori sincroni trifase.

- tensione: 9 200 ± 8% V
- numero dei poli: 16
- potenza apparente ai morsetti a $\cos \varphi = 0,8$: 36 500 kVA
- PD²: 550 tm²
- raffreddamento con circolazione d'aria in circuito chiuso.

Gli impianti di raffreddamento delle turbine e degli alternatori sono alimentati da acqua proveniente dalle condotte forzate, la cui pressione viene ridotta e mantenuta costante per mezzo di valvole automatiche di regolazione.

Il canale di scarico ha una lunghezza complessiva di 1 725 m, dei quali 1 345 in galleria e 380 all'aperto.

Il tronco in galleria si svolge per una parte in argilla e per il resto in terreni alluvionali acquiferi con copertura ovunque limitata, compresa fra un massimo di 20 m ed un minimo di 2 m.

È stato eseguito in sotterraneo il tronco in argilla subito a valle della centrale, lungo circa 340 m; a valle di tale tronco le notevoli difficoltà incontrate nello scavo entro le alluvioni acquifere hanno consigliato la realizzazione in galleria artificiale. A questo scopo fu scavata una grande trincea di profondità compresa tra 18 m e 8 m larga al fondo 8 m, con scarpate di pendenza 1/1, nella quale venne costruito il rivestimento in calcestruzzo della galleria, successivamente ricoperto con i materiali provenienti dagli scavi (fig. 53 a).

Il rivestimento è stato progettato supponendo che su di esso gravasse l'intero peso

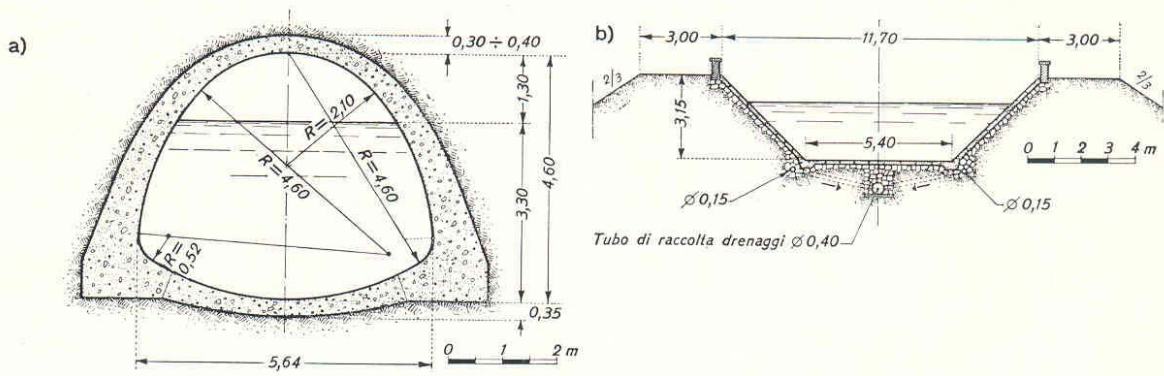


Fig. 53 - CANALE DI RESTITUZIONE — a) Sezione tipo in galleria artificiale. - b) Sezione tipo all'aperto.

del terreno sovrastante e ciò anche nel tratto in terreno argilloso, a causa della limitata altezza di copertura con terre coerenti.

Il tronco all'aperto è stato rivestito con lastre di calcestruzzo di $4 \times 4,50 \text{ m}^2$ circa, dello spessore di 0,15 m (fig. 53 b).

Al termine del canale di scarico si ha, in corrispondenza della restituzione, un ampio raccordo a ventaglio la cui soglia è stata mantenuta superiore alla quota di morbida del fiume.



Fig. 54 - STAZIONE DI TRASFORMAZIONE — Sono installati due trasformatori elevatori 9,2/150 kW da 37 MVA e due trasformatori 150/30/8,4 kV da 4/4/1 MVA per l'alimentazione dei servizi ausiliari e delle utenze locali.

Il testo del presente fascicolo è stato precedentemente pubblicato nei numeri di agosto e settembre 1960 della rivista «L'Energia Elettrica».



Vespignani
1961