

Recensioni

L'impianto idroelettrico di S. Biagio Saracinisco e la diga di Selva, della Soc. Idroelettrica Alto Liri

Da « *L' Energia Elettrica* » n. 6, 1960, pag. 539-560.

L'impianto idroelettrico di S. Biagio Saracinisco si inserisce fra i preesistenti impianti dell'Alto Melfa e dell'Alto Mollarino e costituisce un interessante esempio di utilizzazione integrale delle risorse idriche di un vasto bacino (v. Fig. 1).

Il nuovo impianto, entrato in esercizio nel 1959, è stato realizzato dalla Soc. Idroelettrica Alto Liri (gruppo Romana di Elettricità) e comprende un serbatoio sul Rio Schiavonaro, in località Selva, ed una centrale presso S. Biagio Saracinisco.

Il serbatoio è stato realizzato con una diga di terra ubicata (v. Fig. 2) alla confluenza del Fosso Grimalda col Rio Schiavonaro, tributari entrambi del fiume Rapido.

Nel serbatoio sono poi immesse anche le acque del Rhio Chiaro, affluente di destra del Volturno, nonché quelle di altri torrenti minori.

Il serbatoio, che sottende ad un bacino imbrifero di circa 20,1 km², ha una capacità di 2,15 milioni di m³, dei quali sono utilizzabili, con una variazione di livello di 16 metri, 2 milioni di m³.

Lo scarico di superficie è del tipo a soglia fissa, trascinabile ed è ubicato in una depressione naturale del terreno, in destra dello sbarramento. Esso può scaricare circa 80 m³/s, con un carico di m 1,30 sulla soglia che è situata a quota 886,00.

Lo scarico di fondo, ricavato nella sponda sinistra con soglia a quota 864,80, è costituito da una galleria percorribile del diametro di m 1,80 e presenta, a circa 60 m dall'imbocco, un pozzo di aerazione alto 27 m e del diametro interno di m 2,80. Nei primi 60 m della galleria è sistemata una tubazione di cemento armato precompresso del diametro di cm 70 capace di smaltire, sotto il carico massimo, una portata di circa 4 m³/s.

L'opera di presa, situata sulla sponda destra del Rio Schiavonaro, è costituita da un normale manufatto d'imbocco con soglia a quota 868,21 che si raccorda ad una galleria del diametro interno di m 1,80. Il dispositivo di intercettazione, realizzato con due paratoie piane, è posto a m 169,50 dall'imbocco. Ad esso si accede dall'esterno a mezzo pozzo verticale a sezione semicircolare.

La galleria di derivazione in pressione è della lunghezza di m 4.300 circa, attraversa rocce prevalentemente calcaree più o meno fratturate e termina nel pozzo piezometrico, consistente in una ca-

mera inferiore a sezione circolare, in una canna inclinata a 45° pure circolare, ed in una camera superiore a sezione policentrica. Dal pozzo d'oscillazione parte la condotta forzata che, superando un dislivello di m 112, alimenta la Centrale di S. Biagio; essa è in tubi di acciaio saldati, del diametro interno di m 1,12.

La Centrale è equipaggiata con un gruppo orizzontale, costituito da una turbina tipo Francis e da un alternatore sincrono, della potenza di 4000 kVA.

Le acque, dopo l'utilizzazione nella Centrale di S. Biagio, vengono convogliate nell'impianto di Cassino I il quale, insieme a quelli di Grotta Campanaro I e Grotta Campanaro II, costituiva la precedente utilizzazione idrica della zona.

Il serbatoio Selva alimenta quindi sia la centrale di S. Biagio che quella di Cassino I, consentendo una produzione annua di 5,5 milioni di kWh nella prima e di 24,5 milioni di kWh, nella seconda.

L'opera di maggior rilievo nell'impianto di S. Biagio Saracinisco è rappresentata dalla diga di terra, le cui caratteristiche geometriche sono le seguenti:

— altezza massima del piano di coronamento nel punto più depresso della fondazione	m	34,00
— sviluppo del coronamento	m	192,99
— spessore: in sommità	m	6,00
— spessore: al piede	m	185,00
— volume totale del manufatto	m ³	390.000

Essa ricade (v. Fig. 3) là dove la formazione delle marne argillose, che costituisce il fondo del bacino in tutta l'area dell'invaso, degrada rapidamente verso valle e ad essa si sovrappone una formazione conglomeratica costituita da ciottoli calcarei cementati da materiale argilloso, in cui però non mancano intercalazioni e lenti di arenarie argillose ed argille, spesso fogliettate, rimaneggiate e sature di acqua.

A valle dello sbarramento, qualche centinaio di metri dalla stretta, i conglomerati scompaiono e sono sostituiti da banchi di calcare, talora milonitizzato.

Quanto sopra è stato accertato con una serie di scavi e sondaggi che hanno permesso di precisare le caratteristiche geotecniche dei singoli terreni.

Le caratteristiche del conglomerato argilloso sono le seguenti:

Nella carta di plasticità relativa alla frazione inferiore a 12 mm (v. Fig. 4) il materiale in esame ricade nel campo delle « argille inorganiche » di alta plasticità (A. CASAGRANDE). La fascia granulometrica

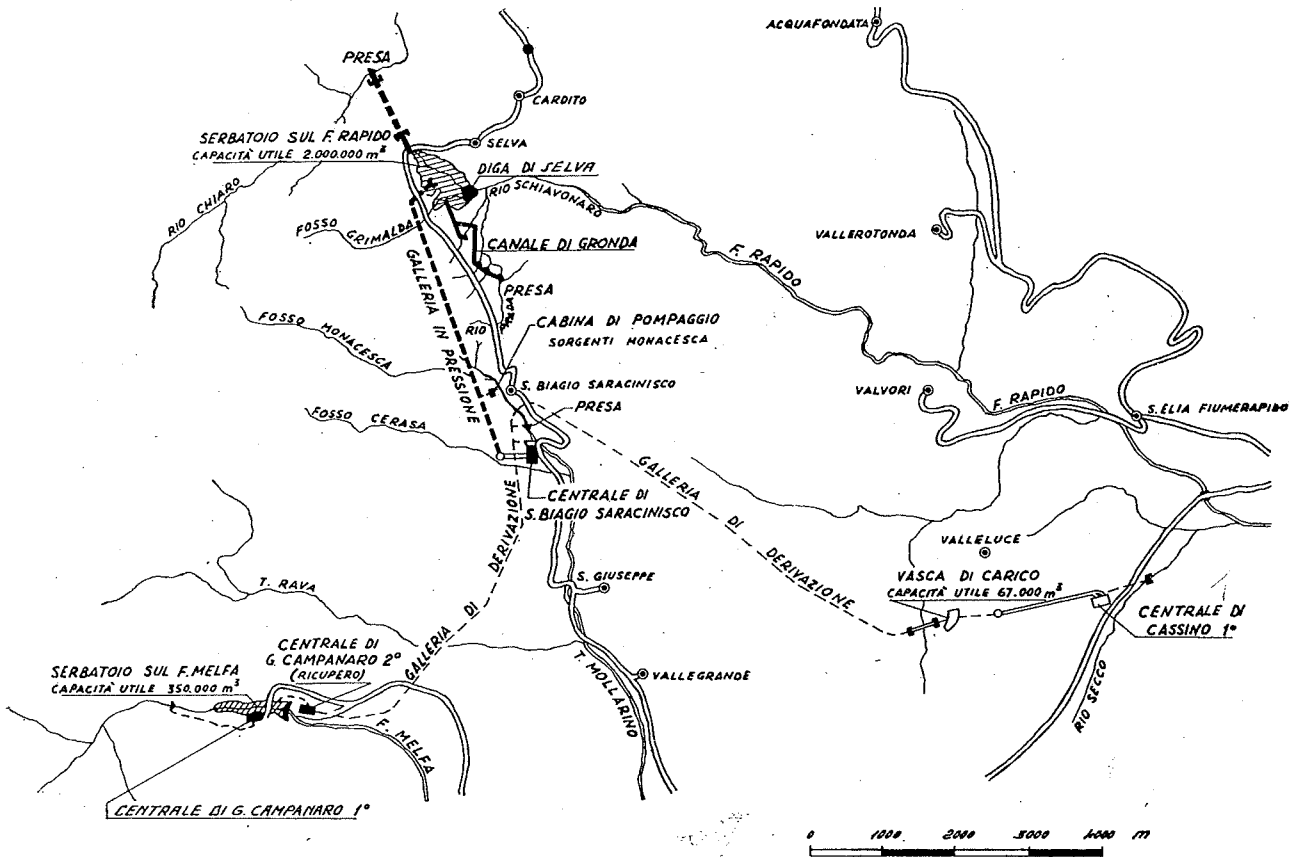
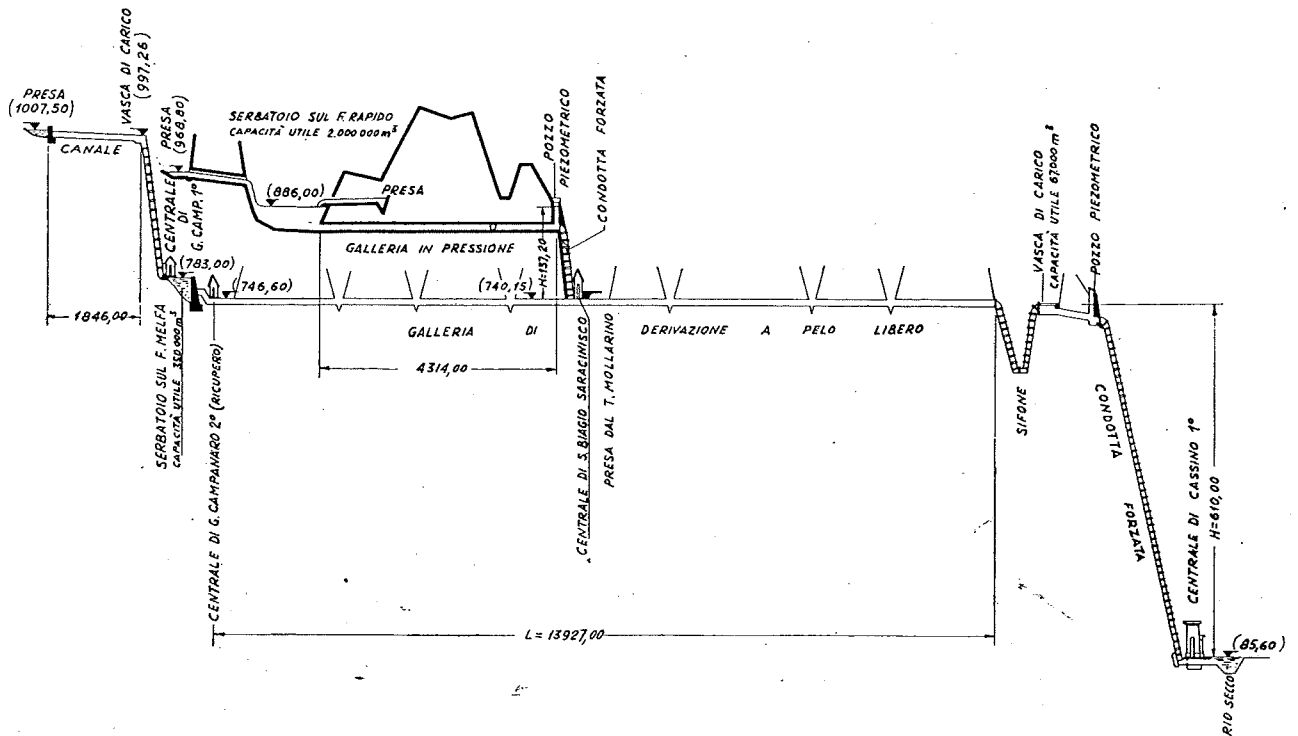


Fig. 1 - Corografia e profilo degli impianti dell'Alto Melfa - Alto Mollarino.

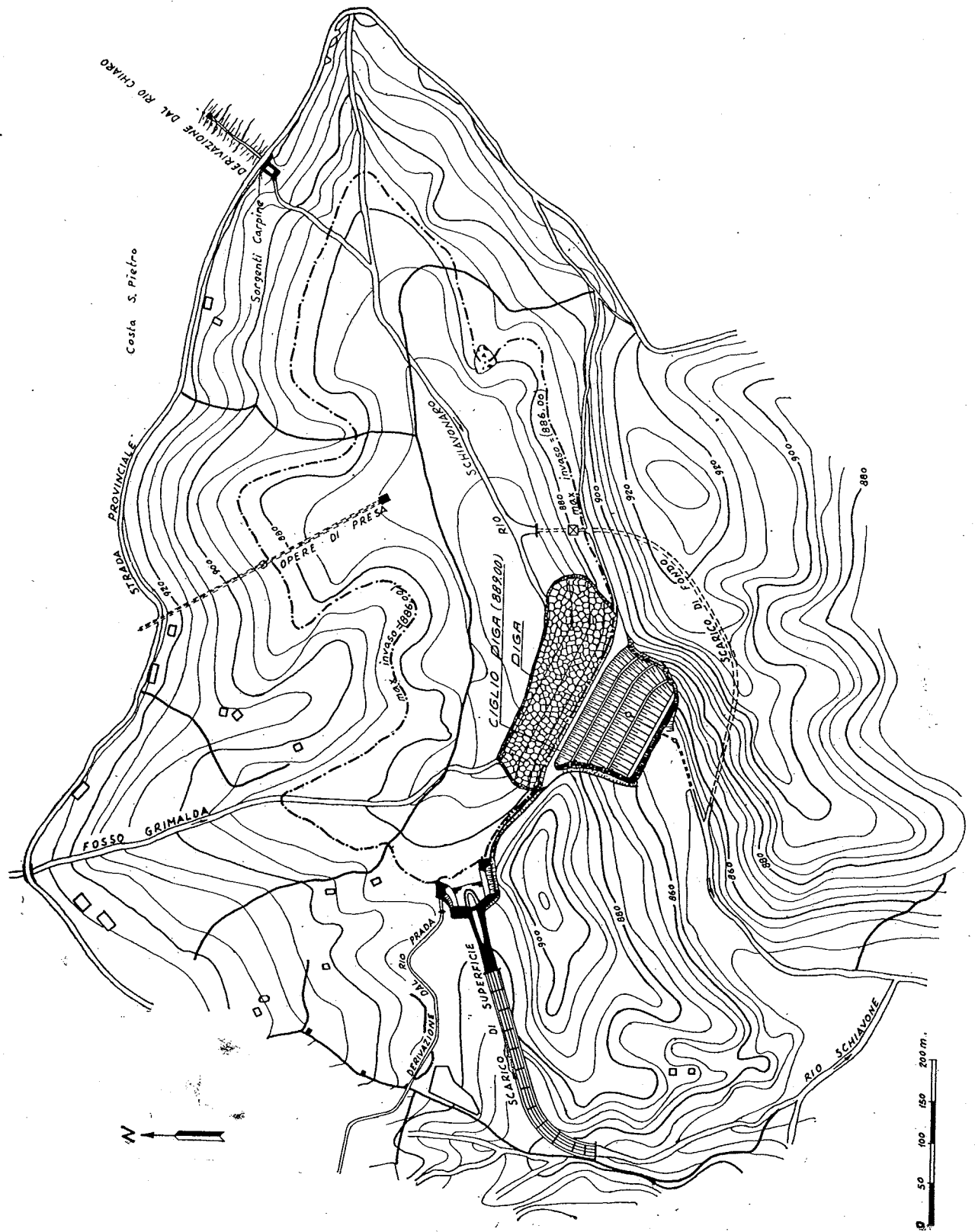


Fig. 2 - Planimetria della diga e della zona d'invaso.

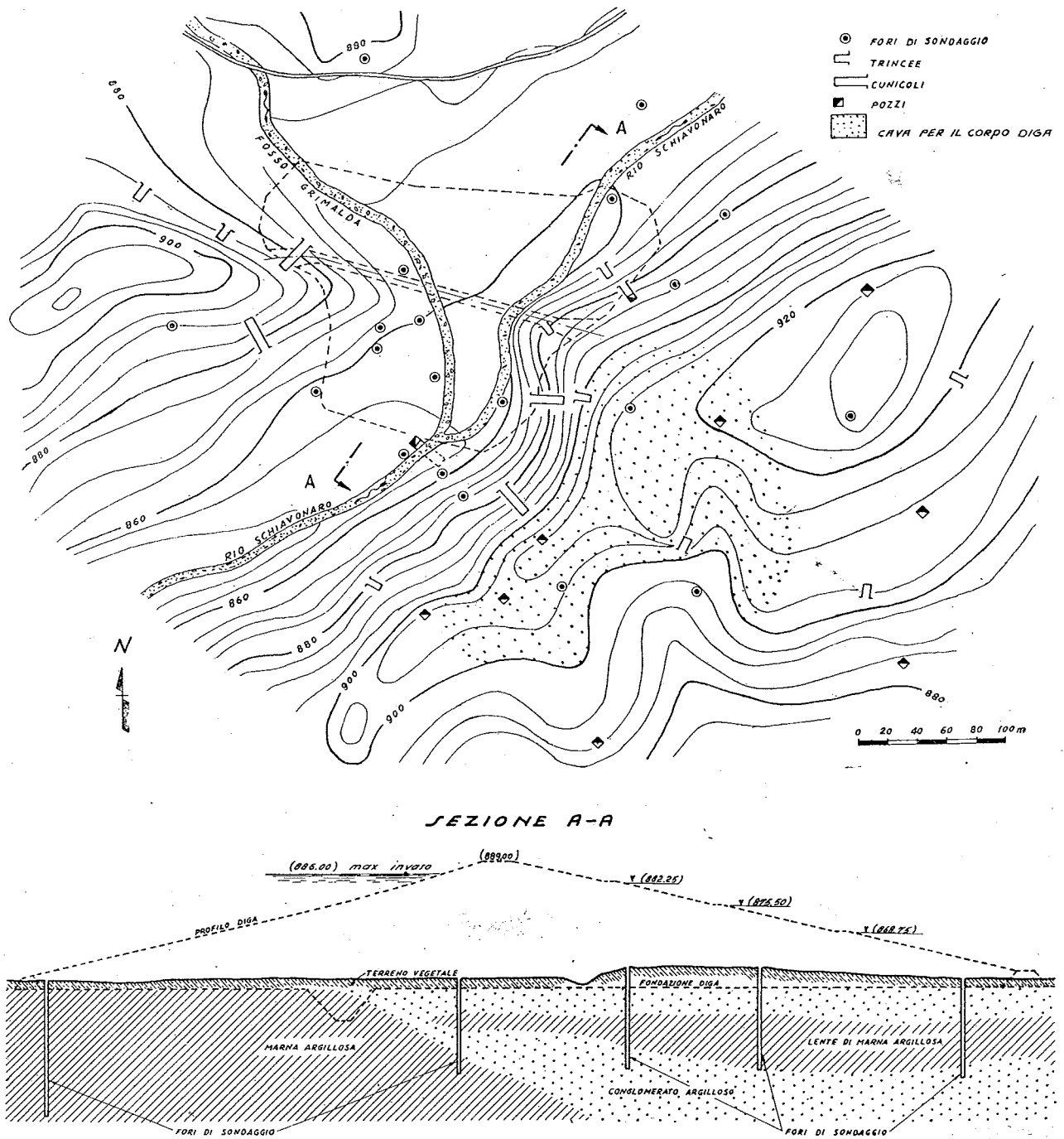


Fig. 3 - a) Planimetria dei sondaggi e scavi di esplorazione; b) Sezione stratigrafica dei terreni di fondazione.

è molto ristretta ed indica una ghiaia sabbio-limosa nella quale la frazione sabbia è presente in proporzioni dal 15 al 30% e quella limo dal 6 al 12% (v. Fig. 5).

In sito il materiale in esame presenta le seguenti caratteristiche:

- peso secco dell'unità di volume 1,75 ÷ 2 t/m³
- contenuto d'acqua 7 ÷ 8%
- coefficiente di permeabilità 10⁻⁷ ÷ 10⁻⁸ cm/s

Con prove di resistenza per compressione triassiale su campioni saturi non consolidati è stata misurata

una coesione variabile fra 0,6 e 0,8 kg/cm² ed un angolo di attrito fra gli 11° ed i 17°.

Come risulta dalla fig. 3b nel conglomerato argilloso si rinvennero inclusioni argillose con la granulometria indicata nella fig. 5, permeabilità dell'ordine di 10⁻⁹ cm/s, coesione intorno ad 1 kg/cm² ed angolo di attrito di 16° circa.

La diga è divisa in tre zone (v. Fig. 6).

La massima parte della diga (zone 1 e 2) è costituita da conglomerato argilloso; mentre però nella zona 2 è stato impiegato il materiale così come proveniva dalla cava di prestito ($d_{max} = 300$ mm) nella zona 1, destinata ad assicurare all'opera la te-

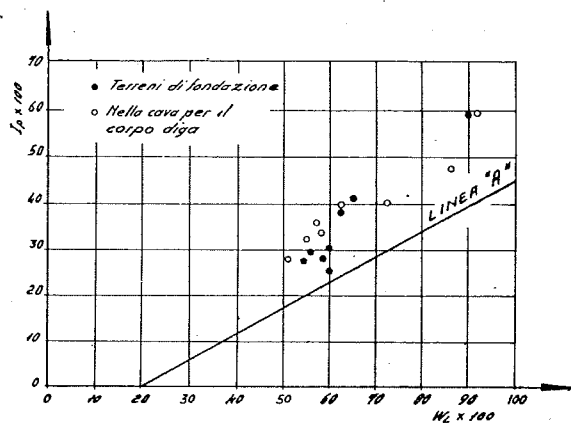


Fig. 4 - Carta di plasticità del conglomerato argilloso.

nuta idraulica necessaria, sono stati esclusi gli elementi con dimensioni superiori ai 250 mm. La zona 3 posta a monte è in pietrame calcareo ed è quindi nettamente permeabile. Il paramento di monte è protetto dall'azione delle onde da un rivestimento di grossi blocchi calcarei perfettamente combacianti.

Ai fini della tenuta la zona 1 è innestata nella formazione delle marne argillose mediante taglione; un complesso sistema di filtri completa l'opera.

Il paramento a monte ha un profilo poligonale concavo con pendenza che diminuisce dal rapporto di 1:2,5 in sommità al rapporto di 1:4 al piede. Analogo andamento presenta il paramento di valle, con valori della pendenza che vanno da 1:2,5 a 1:3,75.

I materiali impiegati per la costruzione della diga sono stati prelevati da due cave di prestito: quella del conglomerato argilloso ubicata in una zona prossima alla diga ed a quota alquanto più elevata e l'altra, per il materiale calcareo, a circa 800 metri dalla zona di impiego.

Numerose prove di laboratorio eseguite su campioni prelevati nella prima cava hanno confermato le

Le prove di rottura per compressione triassiale, impiegando provini di 250 mm di diametro e 600 mm di altezza, saturi e non consolidati, hanno fornito valori della coesione pari a 0,6 kg/cm² e dell'angolo di attrito dell'ordine di 20°.

Le prove di permeabilità eseguite su provini di 250 mm di diametro e 200 mm di altezza, con contenuto di umidità prossimo all'ottimo, hanno accertato valori del coefficiente k di circa 10⁻⁸ cm/s.

Per il materiale calcareo, impiegato nella zona 3, venne stabilito un diametro massimo di 300 mm ed una granulometria capace di assicurare una elevata permeabilità ed un alto valore del peso secco della unità di volume.

Il rivestimento del paramento di monte è stato realizzato con un sottofondo formato da elementi delle dimensioni medie di 10-15 cm sul quale sono

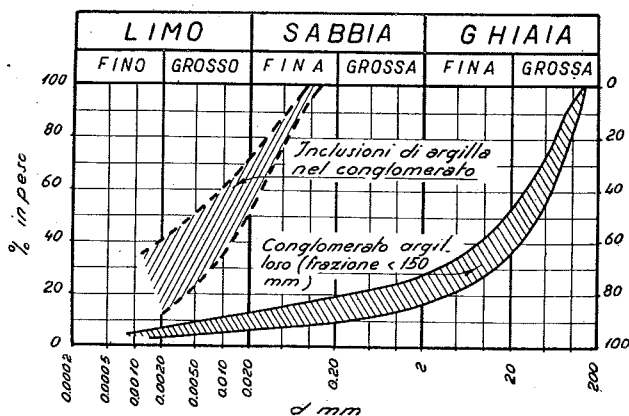


Fig. 5 - Granulometria dei terreni di fondazione.

stati disposti grossi blocchi calcarei delle dimensioni minime di cm³ 50 × 40 × 40.

Particolare cura è stata posta nello studio e nella esecuzione del sistema dei filtri. Esso comprende due

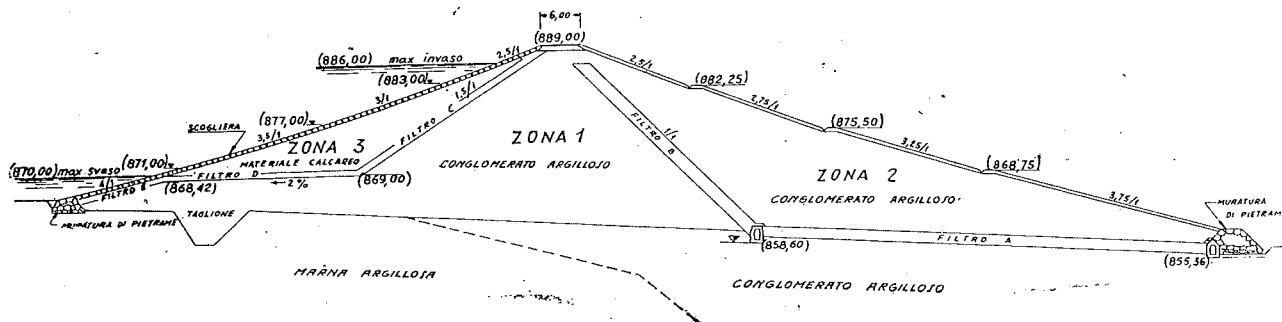


Fig. 6 - Sezione maestra della diga.

stesse caratteristiche accertate per i conglomerati argillosi di fondazione.

Le prove di costipamento eseguite in laboratorio, sulle frazioni inferiori a 50 mm e con una energia di costipamento di 18 kg cm/cm³, hanno indicato in condizioni di optimum un peso secco dell'unità di volume di 2 t/m³ ed un contenuto d'acqua del 10% circa, valore questo molto vicino al contenuto d'acqua naturale del conglomerato stesso,

dispositivi filtranti, l'uno a valle e l'altro a monte della zona 1.

Il filtro inclinato C, situato tra la zona 1 e la zona 3, si estende con un tappeto D fino al muro d'unghia di monte, mentre il filtro B, situato tra la zona 1 e la zona 2, prosegue fino al piede di valle.

Ciascuno dei due gruppi di filtri è costituito da più strati di materiali a granulometria uniforme. Il numero, lo spessore degli strati e la granulometria

dei vari materiali impiegati risultano dalla Fig. 7, che illustra il caso particolare del filtro rovescio di valle (A).

Per i primi due strati di ciascun filtro, formati da elementi compresi rispettivamente tra 0,1 ed 1 mm e tra 1 ed 8 mm sono state utilizzate le sabbie milonitiche di una cava distante circa 8 chilometri dalla diga, opportunamente vibrovagliate e separate.

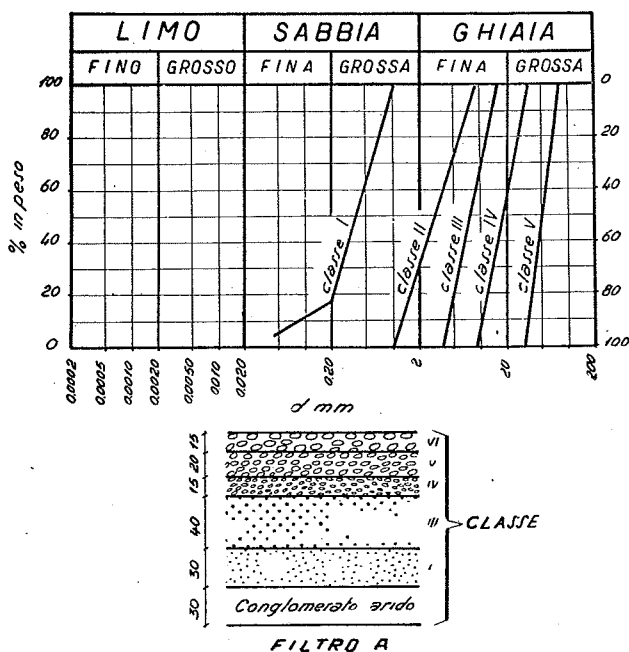


Fig. 7 - Granulometria e dimensioni dei filtri.

I materiali degli altri strati sono stati ottenuti con la frantumazione e la vagliatura dei calcari della cava citata.

Il sistema dei filtri è completato da alcuni cunicoli che si riuniscono fra loro e sboccano all'esterno in corrispondenza del piede della scogliera di valle, dove è sistemata una cabina di misura.

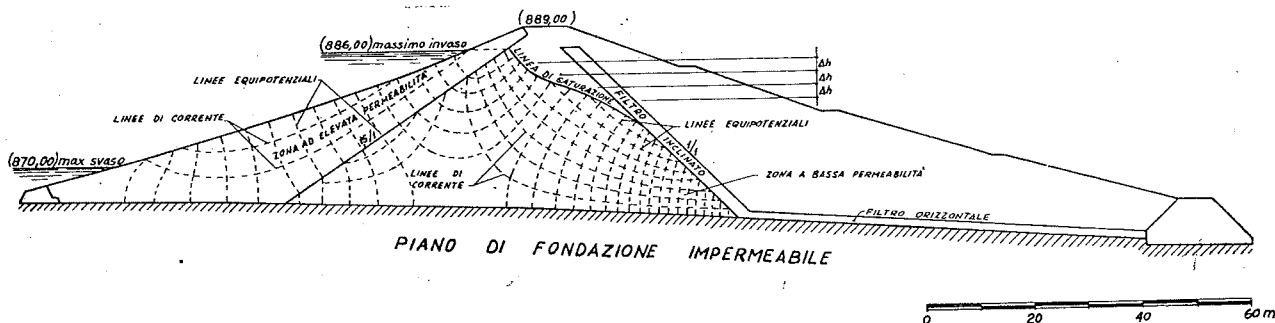


Fig. 8 - Rete idrodinamica dopo rapido svaso.

Lo studio statico è stato svolto con il metodo dei cerchi di scivolamento, o di FELLENIUS, assegnando ai terreni di fondazione ed a quelli di rilevato le caratteristiche riportate nella tabella I; tali caratteristiche, rispetto ai risultati forniti dalle prove di laboratorio, sono piuttosto cautelative.

TABELLA 1
Caratteristiche poste a base dei calcoli

	Fondazione		Rilevato		Scogliera
	1° Strato F1	2° Strato F2	Conglomerato argilloso	Materiale calcareo	
TERRA SECCA t/m ³	2,00	2,00	2,00	1,90	1,75
TERRA SATURA t/m ³			2,10	2,10	
angolo di attrito	10°	15°	20°	30°	
coesione t/m ²	5	8	5	0	

Circa le schematizzazioni di calcolo si è innanzitutto supposto che nei terreni di fondazione i cerchi di scivolamento potessero al massimo interessare i primi 8 metri al disotto del piano di campagna e ciò in quanto un netto miglioramento delle caratteristiche meccaniche era stato riscontrato con le prove eseguite dall'anzidetta profondità in poi.

Per il paramento di valle è stata poi analizzata la fase di esercizio a serbatoio pieno supponendo che il filtro inclinato di valle impedisce alle acque di filtrazione di raggiungere il conglomerato della zona 2.

Per il paramento di monte è stata invece presa in esame la condizione della diga dopo un rapido svaso del serbatoio, considerando il conglomerato argilloso della zona 1, scarsamente drenante, come sede delle stesse pressioni neutre in esso stabilitesi a serbatoio pieno e facendo invece due differenti ipotesi sulla capacità di esaurimento dell'acqua nel materiale calcareo della zona 3.

Nella prima ipotesi, presumibilmente più vicina al reale comportamento della diga, è stato ammesso

che la superficie libera dell'acqua nella zona 3 si muovesse senza apprezzabile ritardo rispetto al livello dell'acqua nel serbatoio; nella seconda ipotesi, più cautelativa, è stata invece supposta nella stessa zona 3 una distribuzione di pressioni neutre quale risulta dalla rete idrodinamica della Fig. 8.

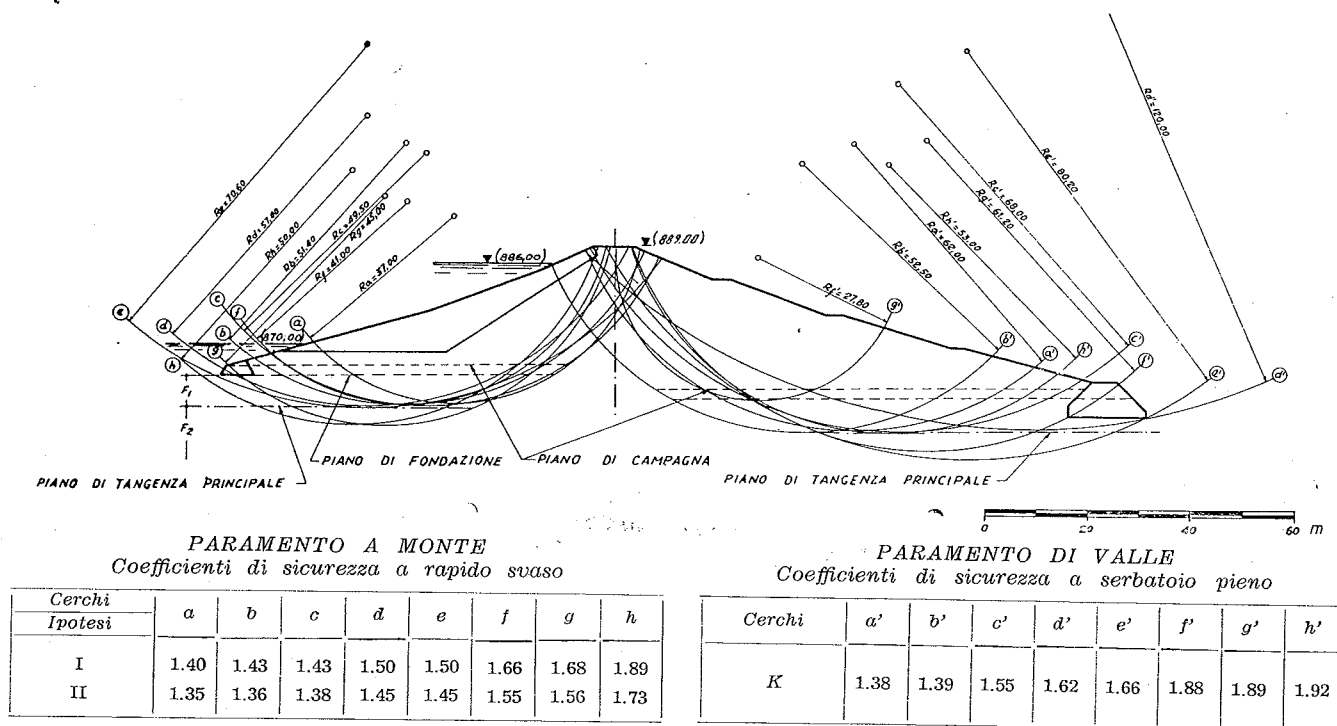


Fig. 9 - Cerchi di scorrimento e risultati dei calcoli di stabilità

In tutte e due le ipotesi, e sempre a scopo cautelativo, si è infine assegnato al materiale calcareo della zona 3 un angolo di attrito di soli 30° ed una coesione nulla.

Nella Fig. 9 sono indicati i singoli cerchi presi in esame e nelle tabelle annesse alla figura stessa i risultati dei calcoli.

Il coefficiente di sicurezza minimo è risultato intorno ad 1,4, salvo che nella seconda delle ipotesi innanzi citate per il paramento di monte, per la quale il coefficiente medesimo è sceso ad 1,35.

I lavori per la costruzione dello sbarramento e delle altre opere ebbero inizio nel settembre del 1956 con lo sbancamento generale e lo scavo di imposta.

Nel luglio del 1957 venne iniziata la costruzione del rilevato a partire dalla zona 1 cui seguì in ordine di tempo la posa in opera dei filtri orizzontali di monte e di valle e quindi la formazione della zona 2.

Al sopraggiungere dell'inverno 1957-58, a causa dell'elevato contenuto di umidità dei conglomerati argillosi, furono sospesi i lavori per la formazione della zona 2, mentre proseguirono quelli relativi alla zona 3 e alla scogliera di protezione del paramento di monte.

Il complesso dei lavori venne ultimato nel novembre del 1958.

Il materiale è stato posto in opera a strati dello spessore di cm 30 per la zona 1, di cm 40 per la zona 2 e di cm 50 per la zona 3, ed è stato costipato con un rullo vibrante a frequenze variabili tra i 1.200 e 1.800 cicli al minuto. Sono state effettuate almeno 5 passate per strato sul conglomerato ed almeno 3 passate per strato sul materiale calcareo della zona 3.

Operando in tal modo è stato possibile raggiun-

gere il peso secco dell'unità di volume prefissato con le prove di laboratorio; in particolare per il conglomerato: $2,05 \text{ t/m}^3$ con un contenuto di acqua compreso fra 0,075 e 0,10.

Per lo spandimento ed il costipamento dei materiali dei filtri sono stati impiegati mezzi meccanici solo per gli strati a granulometria più grossolana mentre per quelli a grana più fina ($d < 8 \text{ mm}$) si è dovuto operare a mano a causa del rifluimento del materiale sotto i mezzi meccanici.

Per seguire il comportamento dell'opera sia in fase di costruzione che durante l'esercizio, sono stati installati sei complessi di assestamenti del tipo telescopico con bracci a croce, nonché una serie di celle piezometriche del tipo a piastra porosa (tipo U.S.B.R.) di cui alcune disposte nei terreni di fondazione.

E' stata poi stabilita una rete trigonometrica ed altimetrica di precisione per il controllo dei movimenti di una serie di punti esterni del rilevato e sono state infine tenute sotto osservazione le filtrazioni attraverso il corpo della diga. Queste ultime misure hanno permesso di osservare che con l'invaso a quota 880,00, e cioè sei metri al disotto della quota massima prevista, si avevano già 40 l/s di perdite, corrispondenti al 7% circa della derivazione media dell'impianto.

Si è allora intervenuti con una triplice fila di iniezioni condotte in verticale dal coronamento della diga ed eseguite con miscela di argilla, cemento, bentonite ed acqua nelle proporzioni, riferite al peso totale della miscela secca, rispettivamente dell'85%, 15%, 5% e 180%.

A seguito di tale provvedimento le perdite si sono ridotte a 3 l/s. per invaso alla quota massima di m 886,00.

W. Iannantuoni