



GWh completamente regolati e cioè per il 42% invernali (novembre-marzo), il 16% interstagionali (aprile e ottobre) ed il 42% estivi (maggio-settembre).

L'energia invasata ascenderà a 158 GWh corrispondenti al 32% circa della producibilità totale.

Particolari condizioni geologiche ed economiche

ampia soglia rocciosa presentante due depressioni, di cui quella più a Nord solcata dal corso d'acqua, separate da un rilievo.

Trattasi di un circo glaciale, antica sede di un lago naturale successivamente colmato da depositi lacustri e fluviali.

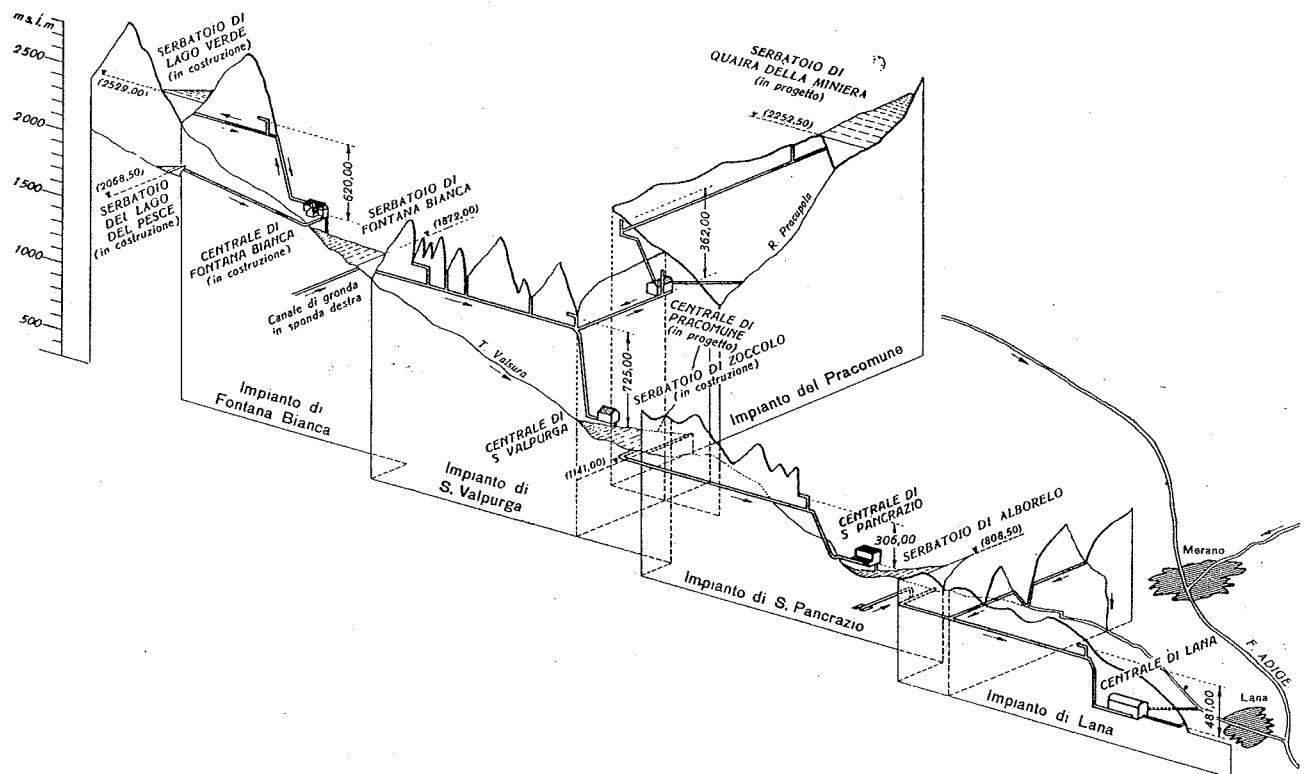


Fig. 2 - Profilo schematico degli impianti della Val d'Ultimo.

hanno imposto, o fatto preferire, per le dighe del *Lago Verde*, di *Zoccolo* e di *Fontana Bianca* soluzioni in materiali sciolti; la diga di *Alborelo* è invece una struttura muraria come pure la progettata diga di *Quaira della Miniera*.

Le dighe attualmente in costruzione del *Lago Verde* e di *Zoccolo*, la prima in pietrame a scogliera, la seconda in terra compattata, sono opere di notevole importanza ed impegno sia relativamente all'altezza (superante in entrambi i casi i 60 m) ed alla cubatura dei rilevati che nei riguardi delle caratteristiche dei terreni di fondazione; lo sbarramento di *Fontana Bianca*, formato da due distinte dighe di relativamente modesta altezza, è opera di minor rilievo la cui costruzione è tuttavia avvenuta in condizioni e secondo modalità circa le quali pare sia di qualche interesse riferire.

## 2 - Morfologia e geologia della zona di Fontana Bianca

Nel suo alto corso, attorno alle quote 1850 ÷ 1900, la Valsura attraversava una piana detta di *Fontana Bianca*, di discreta estensione e di forma subcircolare. La piana è delimitata lateralmente da ripidi versanti, talora addirittura verticali, ed a valle da una

Nella Fig. 3 compare la planimetria della zona completata dal rilevamento geologico, mentre in Fig. 4 è riportata la sezione geologica della valle in corrispondenza alla barra frontale del circo [2].

### 2.1 Rocce lapidee

Il substrato roccioso esarato dai ghiacciai è costituito da scisti cristallini, rocce rappresentanti il tipo litologico dominante della regione.

Nella località in questione le rocce suddette si presentano prevalentemente quali micascisti granatiferi; questi costituiscono la soglia rocciosa del bacino, che, praticamente nuda nella depressione Nord, è invece obliterata da materiali morenici o torbosi nella depressione Sud, ed affiorano inoltre sulla destra della conca dove alla base i versanti sono in gran parte ricoperti da accumuli di detrito di falda. Di micascisti è costituito, in massima parte, anche il fondo della conca dove però la roccia non è mai affiorante perché ricoperta da potenti depositi postglaciali, in prevalenza alluvioni ghiaio-sabbiose, a loro volta parzialmente ricoperte da torba.

Sul versante sinistro del bacino, a monte della soglia, la formazione scisto-cristallina è rappresentata invece da filladi quarzifere che affiorano tra estesi accumuli di detrito.

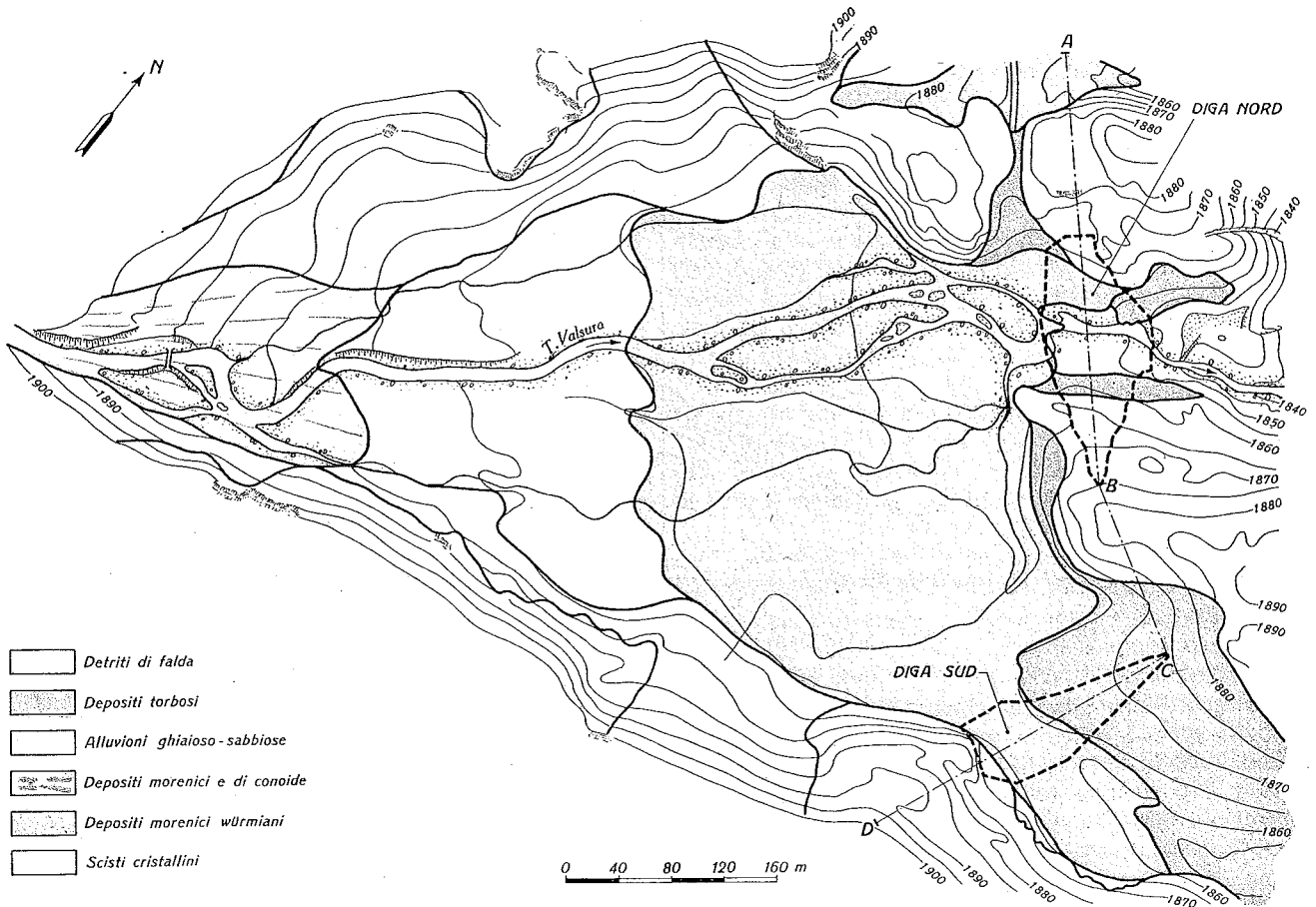


Fig. 3 - Formazioni geologiche del bacino di Fontana Bianca.

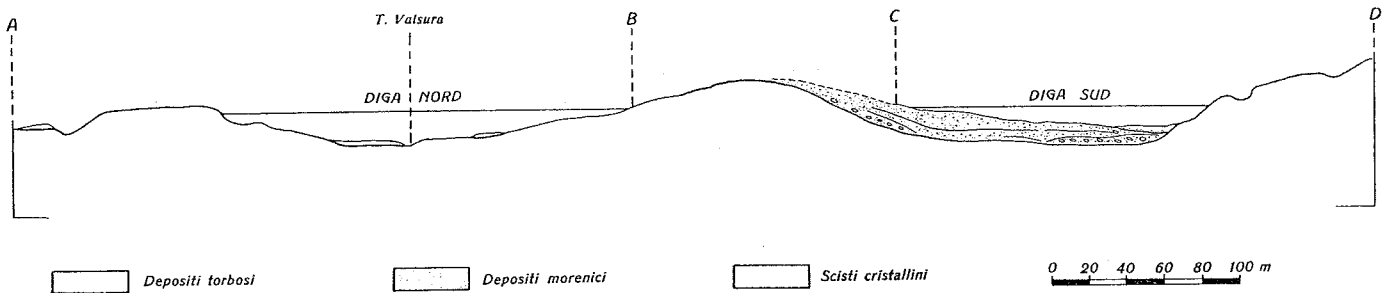


Fig. 4 - Sezione geologica in corrispondenza allo sbarramento.

Le rocce si presentano ovunque sane e compatte, levigate ed arrotondate dall'azione glaciale, con assenza di *cappellaccio* degradato e non appaiono interessate da faglie od altri disturbi tettonici apprezzabili; la loro scistosità è generalmente suborizzontale con qualche ondulazione di limitata entità.

2.2 Morene

Come prima accennato parte della soglia, in particolare la depressione posta a sud, è ricoperta da accumuli morenici che si estendono anche a valle della soglia stessa. La estensione di tali accumuli è d'altronde assai maggiore di quella visibile giacché essi

sono presenti sotto il manto torboso subito a monte della soglia, come si è potuto constatare con gli scavi ed i sondaggi d'accertamento geognostico e geotecnico, e probabilmente anche nella parte superiore del bacino, sotto la copertura alluvionale.

Trattasi di tipiche morene di fondo abbandonate dal ghiacciaio in ritiro dalla soglia del circo e la cui genesi è attribuibile ad una fase molto recente (*tardo Würm*).

La formazione è stata riconosciuta geologicamente e nelle sue caratteristiche geotecniche mediante numerosi scavi a pozzo e perforazioni meccaniche, con prelievo di campioni intatti o rimaneggiati, eseguiti

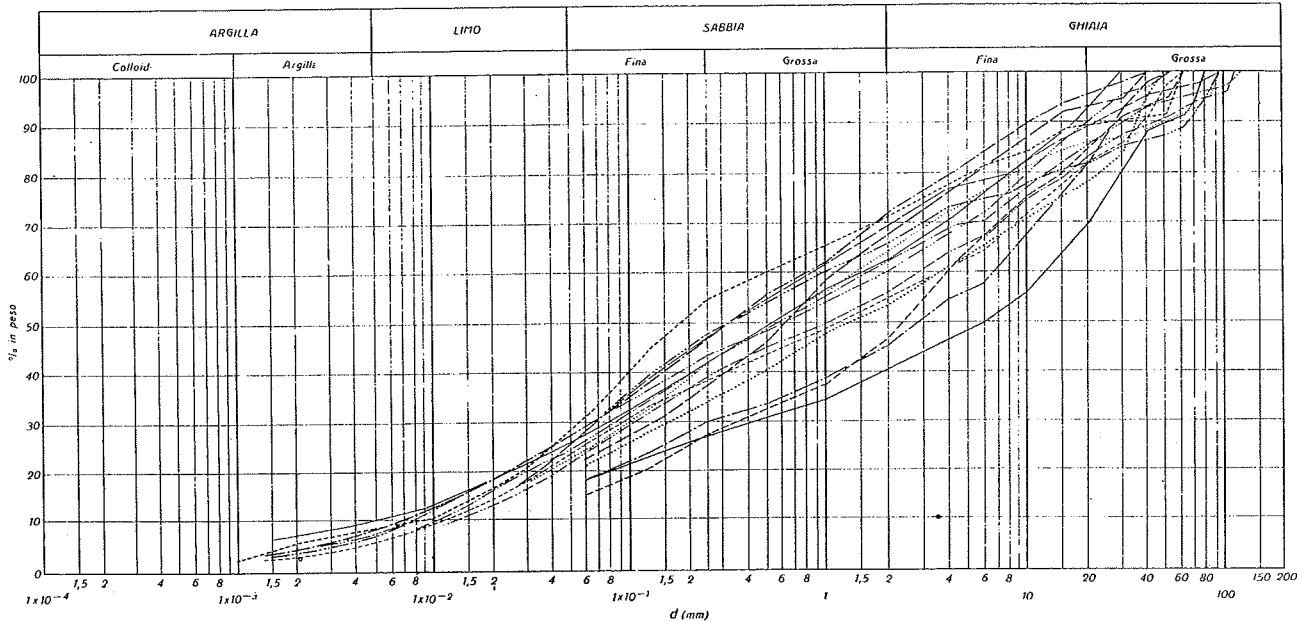


Fig. 5 - Curve granulometriche dei materiali morenici.

in corrispondenza alla già citata depressione sud della soglia glaciale dove le morene raggiungono spessori fino a 16 m ca. (vedi Fig. 4).

Essa è costituita (Fig. 5) da una mescolanza di ciottoli a contorno più o meno spigoloso, ghiaie, sabbie e limo argilloso (in media: ghiaia e ciottoli 40%, sabbia 35%, limo 20%, argilla 5%) con le caratteristiche granulometriche e sedimentologiche tipiche delle morene di fondo <sup>(1)</sup>.

La composizione litologica varia secondo le dimensioni degli elementi. La «ghiaia» è formata in parti pressoché eguali da scisti cristallini e da diorite; nella «sabbia grossa» (> 0,3 mm) sono prevalenti i granuli di rocce scistose e di dioriti con quarzo però già abbondante; la «sabbia fine» è composta prevalentemente di quarzo; la frazione «limo-argillosa» è costituita da piccolissimi frammenti di quarzo, e da una polvere grigio-giallognola, prevalentemente mica, dalla quale sono praticamente assenti i minerali siallitici.

La formazione è ovunque assai compatta, con pesi del volume secco compresi nei ristretti limiti di 2 e 2,1 t/m<sup>3</sup>, e del tutto omogenea per caratteristiche granulometriche e mineralogiche.

La presenza, nella parte più superficiale, di una fitta e regolare fogliettatura altrove assente e la colorazione ivi giallastro-ocraceo invece che ceneregnola sono da attribuirsi all'azione dilavante e degradante degli agenti atmosferici.

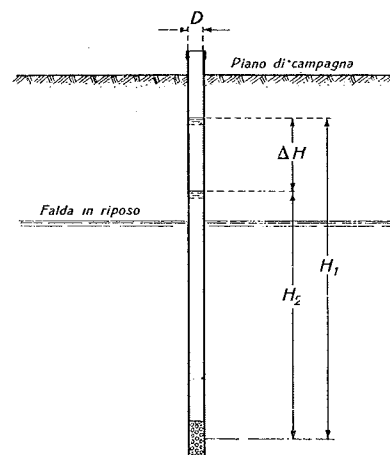
Nessuna differenziazione nel deposito, alle varie profondità, si è potuta riscontrare anche nei riguardi della permeabilità; i valori del coefficiente  $K$  di DARCY in una serie di una quindicina di prove eseguite in diverse posizioni ed a varie profondità sono

(1) Per quanto riguarda la terminologia granulometrica vengono assunte le denominazioni adottate dal Laboratorio Prove di Bolzano della *Trentina di Elettricità*, denominazioni del resto coincidenti con quelle proposte dalla *Commissione Materiali Stradali del C.N.R.*

risultati tutti compresi tra  $1 \times 10^{-6}$  ed  $8 \times 10^{-5}$  cm/sec. (valore medio  $2,6 \times 10^{-5}$  cm/sec.), i valori non essendo in alcun modo correlabili con la posizione e la profondità <sup>(2)</sup>.

(2) La determinazione della permeabilità dei terreni fu eseguita mediante «prove d'acqua in avanzamento» secondo lo schema di cui allo schizzo.

Arrestata la perforazione ad una determinata profondità, effettuato il lavaggio del foro e misurato il livello  $H_2$  della falda freatica, si immetteva acqua nella tubazione di sondaggio fino al raggiungimento del livello  $H_1$  e si misurava quindi il tempo  $T$  impiegato dall'acqua per scendere da  $H_1$  a  $H_2$ .



Ciò fatto, ed essendo  $D$  il diametro del tubo di perforazione, i valori del coefficiente di DARCY sono stati calcolati con l'espressione:

$$K = \frac{\ln \left( \frac{H_1}{H_2} \right)}{4T} \cdot D$$

che è agevolmente ricavabile nell'ipotesi di terreno isotropo e di falda freatica indefinita.

Infine alcune prove di permeabilità effettuate in laboratorio su campioni disturbati, ma compattati a densità analoghe a quella media naturale, hanno dato conferma dei risultati delle prove « in situ » ottenendosi come media di cinque prove un valore del coefficiente di DARCY di  $8 \times 10^{-6}$  cm/s.

### 2.3 Depositi alluvionali

Come già accennato il lago, la cui formazione seguì a *Fontana Bianca* il ritiro del ghiacciaio, è stato progressivamente colmato dall'avanzare del delta del Valsura.

Alle morene di fondo ed ai successivi depositi lacustri si sono sovrapposti quindi quelli deltizi ed infine le alluvioni recenti le quali, nella parte del bacino più prossima alla soglia, sono a loro volta ricoperte da terreno torboso.

Con svariati sondaggi e con pozzi armati si è potuta riscontrare la successione stratigrafica dei vari terreni e definirne le caratteristiche essenziali.

Dall'alto in basso sono state attraversate le formazioni seguenti:

- 1) terreno torboso superficiale per uno spessore massimo di 0,8 m;
- 2) ghiaie grosse con ghiaie fini e poca sabbia a banchi suborizzontali per spessori compresi fra 2 e 6 m (alluvioni recenti);
- 3) ghiaie sabbiose a stratificazione inclinata per spessori compresi fra 0,5 m e 2,0 m (fase deltizia);
- 4) sabbie con poco limo per spessori compresi fra 2 m e 7 m (fase deltizia);
- 5) limi sabbiosi e talora argillosi per spessori superiori ai 5 m (fase lacustre).

Le perforazioni non furono ulteriormente approfondite cosicché non sono noti gli spessori dei limi, nè quelli delle morene presumibilmente sottostanti, nè infine le profondità del fondo roccioso.

### 3 - Criteri seguiti nella scelta del tipo delle dighe

Per il raggiungimento di una sufficiente capacità d'invaso giornaliero-settimanale (dell'ordine del milione di m<sup>3</sup>), le caratteristiche geomorfologiche di *Fontana Bianca* imponevano la costruzione di due distinti sbarramenti; d'altro canto la possibilità tecnico-economica d'impostazione delle opere risultava limitata ad una ristretta zona in corrispondenza della soglia rocciosa, scoperta o no, ove, in relazione agli accertamenti eseguiti, poteva prevedersi la costruzione:

- di due dighe in calcestruzzo a gravità, previa scoperta della roccia in corrispondenza alla depressione sud;
- di una diga a nord in calcestruzzo a gravità e di una diga a sud in materiali sciolti;
- di entrambe le dighe in materiali sciolti.

Le tre suddette soluzioni del problema, tutte tecnicamente adeguate, ma fra le quali era difficile discernere a priori la più opportuna, furono oggetto di accurato studio comparativo con redazione di progetti di carattere pressoché esecutivo e di preventivi dettagliati basati su accurate analisi dei costi in luogo dei vari titoli di lavoro.

L'indagine economica fece emergere la netta convenienza della terza soluzione il cui costo di preventivo risultò pari al 70% circa di quello della prima soluzione (entrambe le dighe in muratura) ed all'85% circa di quello della seconda soluzione (diga a nord in muratura, diga a sud in materiali sciolti) che poteva anche apparire, a prima vista, quella più aderente alla natura dei luoghi.

Le ragioni di tali risultati, che si traducevano in un risparmio compreso fra i 100 ed i 200 milioni di lire, furono individuate nei fattori seguenti:

— gli ingenti scavi necessari per l'impostazione su roccia di un'opera muraria nella depressione sud;

— l'elevato costo unitario del calcestruzzo in relazione alle spiccate caratteristiche qualitative richieste per tale materiale agli effetti della resistenza al gelo, alla relativamente modesta cubatura dei getti (30.000 m<sup>3</sup> ca., per di più suddivisi in due dighe distinte con la necessità di un doppio impianto di distribuzione) ed infine al notevole costo del cemento reso in cantiere in ragione delle distanze di trasporto e precipuamente dei vincoli imposti al trasporto stesso dalla viabilità locale;

— la facile e relativamente ampia disponibilità, in tutta prossimità delle dighe, di materiali sciolti sia impermeabili che permeabili;

— la convenienza di adottare un unico tipo per le due dighe in modo da non dover predisporre impianti e macchinari di carattere completamente diverso, da ammortizzarsi su singole modeste quantità, e di sviluppare un unico tipo di lavorazione.

Altro vantaggio della soluzione in materiali sciolti che non compare dal mero confronto di cui innanzi, ma che risultò d'importanza essenziale nella scelta definitiva, fu quello della decisamente maggiore rapidità d'esecuzione: le dighe in materiali sciolti, non bisognose dell'installazione d'impianti fissi, potevano essere completate, come lo furono in realtà, in un'unica stagione lavorativa la cui durata utile non supera mediamente a *Fontana Bianca* le 110-120 giornate. Altrettanto non poteva prevedersi per le dighe in muratura per le quali risultavano necessarie due stagioni lavorative, buona parte della prima dovendo essere impiegata per la costruzione degli impianti di selezione degli inerti, di betonaggio e di distribuzione dei calcestruzzi oltreché all'esecuzione dei relativamente ingenti lavori di scavo.

La rapidità d'esecuzione, requisito di ovvio interesse economico per ogni opera in relazione agli interessi di costruzione sui capitali investiti, assumeva nel caso particolare di *Fontana Bianca* valore determinante, giacché, a causa della necessaria preventiva costruzione della difficoltosa strada d'accesso al serbatoio, l'erezione dello sbarramento poteva essere ini-

ziata solo un anno prima della prevista ultimazione delle altre opere formanti l'impianto di S. Valpurga.

In conclusione la soluzione di entrambe le dighe di materiali sciolti fu adottata in base alle conformi risultanze del confronto economico ed in ragione della sua perfetta tranquillità tecnica in relazione alle ottime caratteristiche, come meglio si vedrà in seguito, dei materiali da costruzione disponibili ed alle prerogative della migliore conservazione nel tempo nelle gravose condizioni climatiche d'alta quota.

E' opinione di chi scrive, naturalmente altresì con la scorta dei risultati di altri confronti e progetti in

crescere l'interesse economico di queste costruzioni adatte alla più spinta meccanizzazione.

#### 4 - Descrizione delle opere

Il serbatoio, con massimo invaso a quota 1873 m.s.m. ha una capacità lorda di 1,48 milioni di m<sup>3</sup> dei quali 1,2 milioni di m<sup>3</sup> vengono utilizzati con una oscillazione di livello di 9 m.

Nella Figura n. 6 è rappresentata la planimetria dell'invaso con le due dighe.

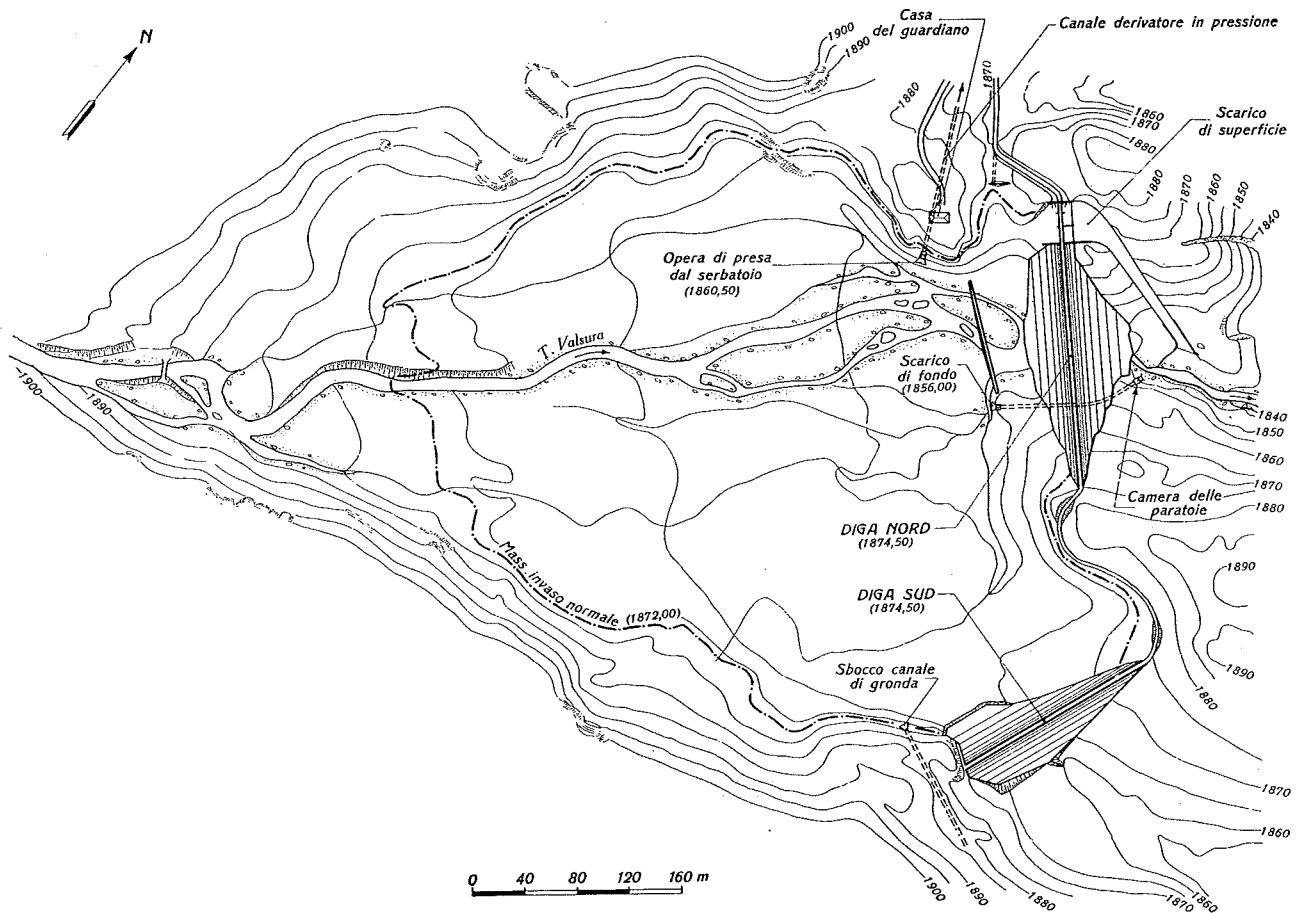


Fig. 6 - Planimetria generale dell'invaso con le due dighe.

situazioni simili, che l'adozione di strutture in materiali sciolti vada attentamente esaminata anche in molti casi ove, per la presenza di solide fondazioni lapidee, sarebbe perfettamente impostabile una struttura muraria.

Ciò particolarmente in località non facilmente accessibili dove l'utilizzazione di materiali da costruzione naturali, qualora disponibili sul luogo (o vicino al luogo), determina situazioni pressappoco ideali; e ciò ancora in particolare in località d'alta quota o comunque con gravose caratteristiche climatiche ove importanza spiccata assumono le qualità di durata delle costruzioni in materiali sciolti.

La contrazione delle disponibilità di manodopera nell'industria edilizia contribuisce d'altronde ad ac-

#### 4.1 Diga a Nord

Le caratteristiche geometriche di questo sbarramento sono le seguenti:

— altezza massima sul piano di fondazione	22,50 m
— lunghezza al coronamento	229,60 m
— larghezza al coronamento	4,40 m
— volume dello sbarramento	89.000 m <sup>3</sup>

La diga (vedi Fig. 7) consiste, come si è accennato, in un rilevato in materiali sciolti impostato direttamente sulla roccia di fondazione, previa sua sco-

pertura nelle zone, del resto di modesta estensione, ove placche alluvionali o moreniche la ricoprivano.

Il rilevato ha sezione trapezia, pressoché simmetrica, con scarpa di paramento 1,75 : 1 a valle; a monte il paramento ha pure scarpa 1,75 : 1 dal coronamento fino alla quota 1862, ove esso è interrotto da una banchina orizzontale larga 1,80 m, e prosegue quindi con scarpa 2 : 1.

La tenuta dell'opera è assicurata da un nucleo impermeabile centrale inclinato il quale ha anche esso sezione trapezia, con scarpe 1 : 1,8 a monte e 1 : 2,12 a valle, talché il suo spessore, pari a 3,00 m in testa alla quota 1874,00, va aumentando in profondità fino a risultare poco maggiore di 4,50 m nelle sezioni di maggiore altezza.

Tale nucleo, formato con materiali morenici di scarsissima permeabilità, si immorsa per la profondità media di 2,00 m nella roccia di fondazione ed è prolungato per 6,00 m a monte a mo' di tappeto.

La tenuta della roccia di base, già in partenza

All'estremità sinistra della diga a Nord è ubicato lo scarico di superficie del serbatoio.

#### 4.2 Diga a Sud

Le caratteristiche geometriche di questo sbarramento sono le seguenti (Fig. 9):

— altezza massima sul piano di fondazione	15,00 m
— lunghezza al coronamento	177,00 m
— larghezza al coronamento	4,00 m
— volume dello sbarramento	36.000 m <sup>3</sup> ca.

Questo sbarramento, simile nel tipo alla diga a Nord, se ne differenzia tuttavia in alcuni particolari in ragione delle diverse caratteristiche di fondazione. Il rilevato a Sud per la maggior parte della sua estensione insiste infatti, essendo stati asportati sia il terreno vegetale che i depositi, sui terreni moreni-

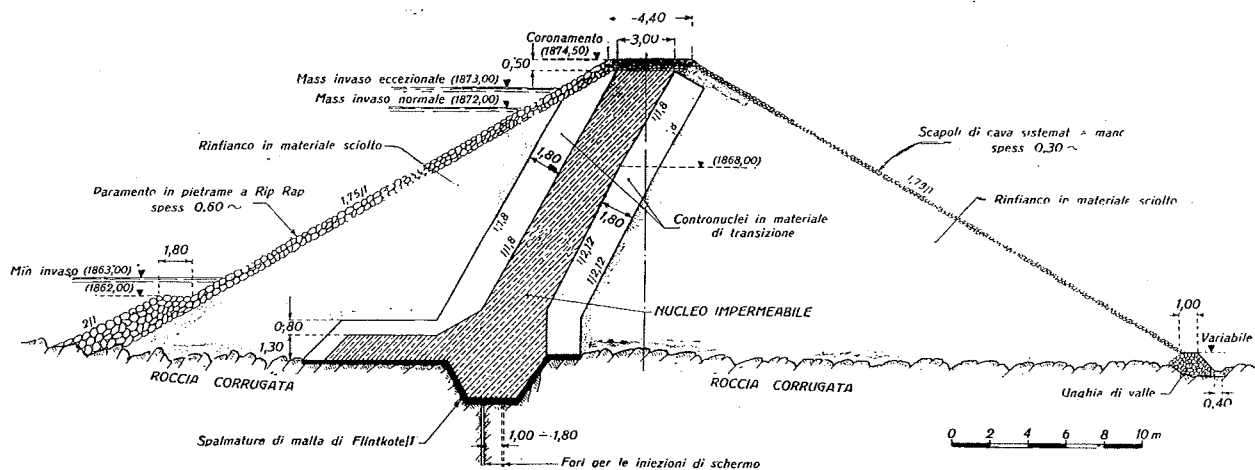


Fig. 7 - Sezione trasversale della diga a Nord.

buona, è stata migliorata con una doppia serie di iniezioni sulle quali si ritornerà in seguito.

Ai lati del nucleo sono immorsate simmetricamente due zone di transizione, dello spessore di 1,80 m, che separano il nucleo dai rinfianchi; tali zone sono costituite da materiali ghiaio-sabbiosi a granulometria intermedia fra quelle delle zone adiacenti.

I rinfianchi sono infine formati con materiali ghiaiosi di elevata permeabilità.

Il paramento a monte del rilevato è stato protetto dalle azioni conseguenti alle operazioni di invaso e svaso per mezzo di una muratura a scogliera (*rip-rap*) dello spessore medio di 0,60 m, formata con pietrame sano di grossa pezzatura (vedi Fig. 8).

Il paramento a valle è anch'esso protetto su tutta la sua estensione con scapoli di cava sistemati a mano e poggia su un'unghia in pietrame a secco di grosse dimensioni; una canaletta in calcestruzzo al contorno dell'unghia di cui sopra, raccoglie le acque filtranti attraverso il rilevato e le recapita ad uno stramazzone di misura.

che, per uno spessore variabile dai 3 ai 16 m, ricoprono il fondo roccioso (Fig. 9 b). Di tali terreni si è già discusso al paragrafo 2; ricorderemo qui tuttavia che le indagini ne hanno dimostrato l'elevata impermeabilità e la bassa compressibilità, requisiti essenziali per costituire un'ottima fondazione. Tuttavia ove lo spessore dello strato di morena era più modesto lo si è asportato raggiungendo la roccia con il nucleo (Fig. 9 a).

La diversità delle condizioni di imposta ha qui portato a realizzare una minore inclinazione del paramento a monte; difatti, come si dirà in seguito, si è dovuta prendere in considerazione la possibilità di slittamenti del rilevato lungo superfici interessanti il terreno di fondazione, possibilità evidentemente da escludersi in via assoluta per la diga a Nord, ove la fondazione è rocciosa.

Come conseguenza, per assicurare la stabilità della diga a Sud con un coefficiente di sicurezza dello stesso ordine di quello competente all'altra diga, il paramento a monte ha scarpa 1,75 : 1 dal coronamento



fino alla quota 1866,50, indi prosegue con scarpe uguali e maggiori di 3 : 1 fino a raccordarsi gradualmente con l'alveo del torrente.

Inoltre la base del nucleo, ove esso si immorsa nel substrato roccioso, è stata prolungata verso monte con scarpa 2 : 1 e verso valle 1 : 2 fino a raggiungere spessori di  $6 \div 8$  m; anche in questo caso sono state eseguite iniezioni di impermeabilizzazione nella roccia di base.

#### 4.3 Scarichi del bacino

Le opere di evacuazione del serbatoio constano di uno scarico di superficie e uno scarico di fondo (Fig. 6).

Lo scarico di superficie è stato ricavato all'estremi-

denza ricavato in trincea nella roccia sana della sponda sinistra della valle.

Lo scarico di fondo è costituito da una galleria a sezione circolare, diametro netto 2,25 m, che, avendo soglia d'imbocco alla quota 1856, si sviluppa per una lunghezza di 123,31 m entro l'imposta rocciosa in destra della diga Nord. La galleria è sezionata, in corrispondenza dello sbocco a valle della diga, da una paratoia a saracinesca, con luce di  $1,80 \times 1,00$  m e a comando oleodinamico, alloggiata in adatta cabina di manovra.

La portata complessiva smaltibile degli organi di scarico è di  $187 \text{ m}^3/\text{sec}$ . ( $8,55 \text{ m}^3/\text{sec}$ . per  $\text{km}^2$  di bacino direttamente afferente al serbatoio) di cui  $152 \text{ m}^3/\text{sec}$ . convogliabili attraverso lo scarico di superficie.

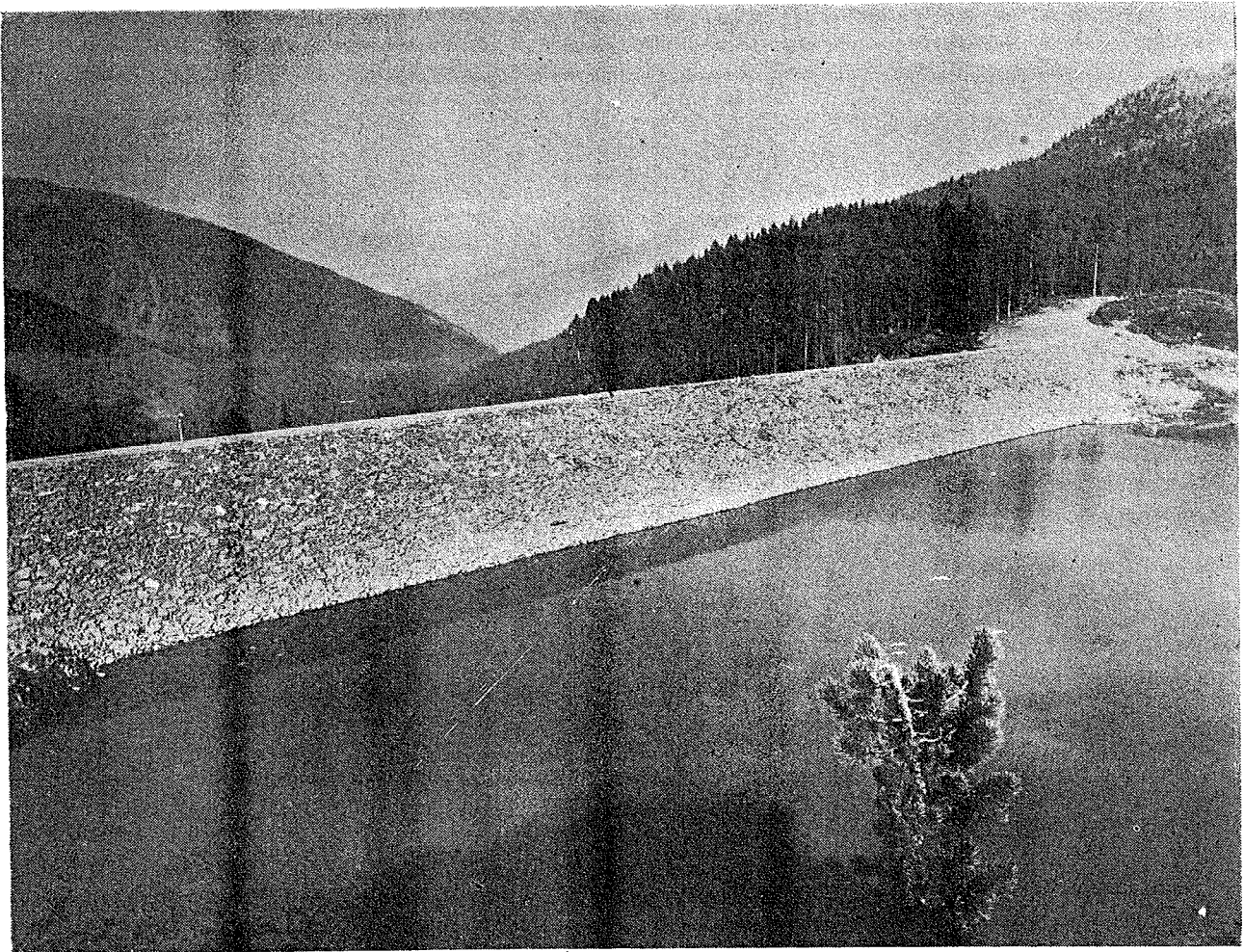


Fig. 8 - La diga a Nord vista da monte.

tà sinistra della diga Nord ed è formato da due soglie fisse, aventi ciascuna lunghezza di 8,50 m e ciglio alla quota 1872, e da una ulteriore luce, con ciglio a quota 1870,10, munita di paratoia a ventola, a funzionamento automatico o volontario con dispositivo oleodinamico, delle dimensioni di  $12 \times 1,90$  m. Le portate sfiorate sono raccolte e recapitate a valle del piede della diga da un canale fagatore a forte pen-

#### 5 - Caratteristiche dei materiali da costruzione

I materiali da costruzione per gli sbarramenti di *Fontana Bianca* sono stati prelevati da due distinte cave aperte nell'ambito del bacino a poca distanza dalle dighe e destinate l'una a provvedere i materiali impermeabili per i nuclei, l'altra quelli permeabili per le zone di transizione ed i rinfianchi.



5.1 Materiali impermeabili per i nuclei

I materiali impermeabili sono stati prelevati in una cava sita in tutta prossimità e poco a valle della diga Sud.

La zona è interessata dalla stessa formazione morenica che costituisce la fondazione della diga Sud ed in fase di progetto è stata esplorata con l'esecuzione di 25 pozzi scavati a mano e della sezione di ca. 3 m<sup>2</sup>.

Dai pozzi suddetti, alle varie profondità, sono stati prelevati campioni su ciascuno dei quali è stata ese-

metrico è continuo e completo, mentre gli elementi maggiori solo eccezionalmente superano la dimensione di 100 mm.

Le terre si presentano in sito assai compatte e notevolmente coesive come è dimostrato dal fatto che le pareti dei pozzi di assaggio (dei quali alcuni profondi fino a 7 ÷ 8 m) non ebbero mai necessità di sostegni in legname.

Fu determinata altresì la densità dei materiali in cava allo stato naturale; si riscontrò un peso di volume secco medio di 2015 kg/m<sup>3</sup> ed un contenuto d'acqua medio dell'11,3%, i valori estremi essendo per

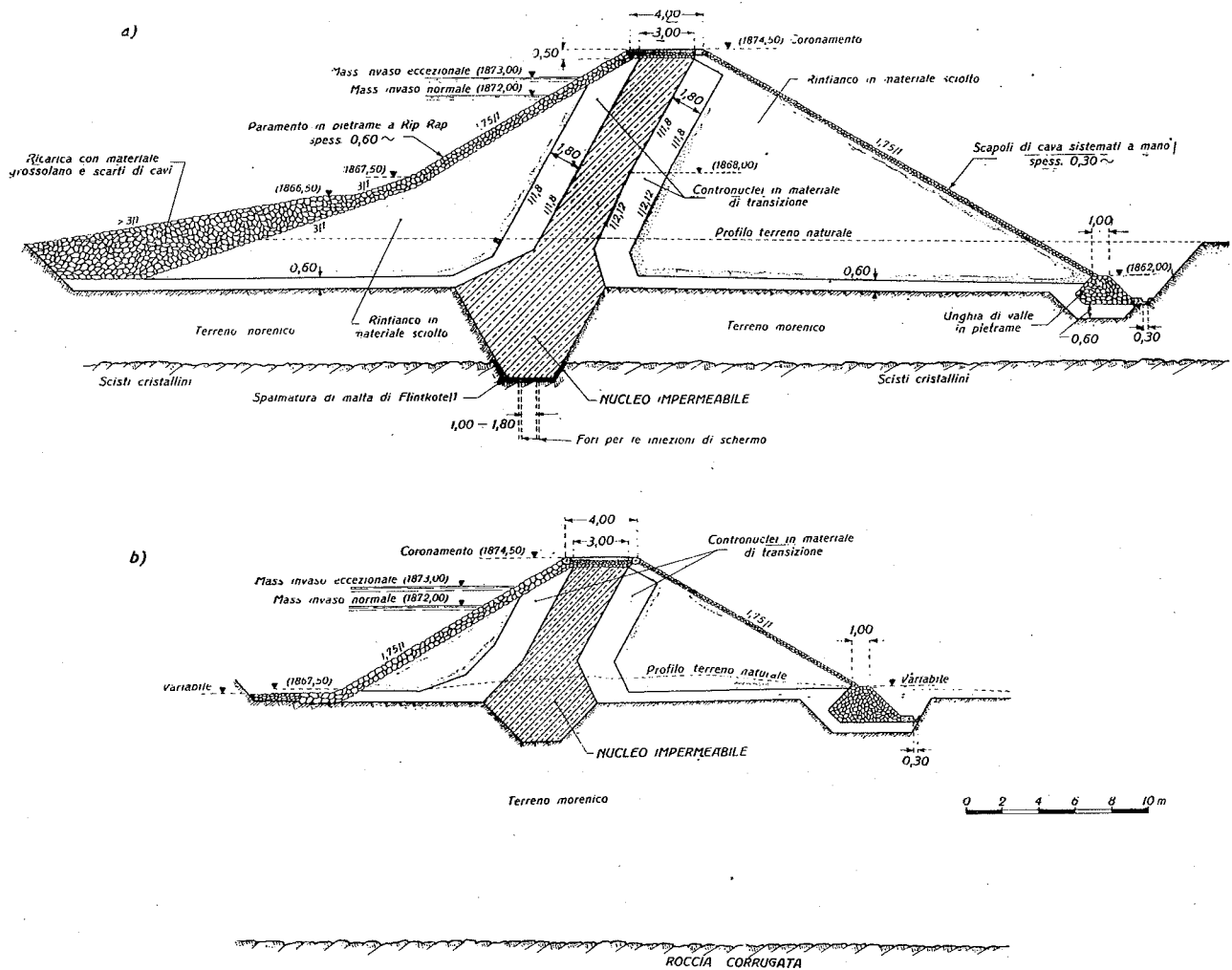


Fig. 9 - Sezioni trasversali della diga a Sud.

guita l'analisi granulometrica; nella già citata Fig. 5 è riportato graficamente, in un unico prospetto, l'assieme delle curve granulometriche.

Si nota subito la pressoché assoluta uniformità del deposito morenico i cui materiali costituenti, dal punto di vista geotecnico, possono essere definiti come sabbie limose con ghiaia e poca argilla.

La percentuale in peso della frazione fine passante al vaglio di 0,05 mm (limite superiore dei limi) varia tra il 23% ed il 30%, percentuali inferiori essendo risultate del tutto eccezionali; l'analoga percentuale della frazione inferiore a 0,005 mm (argille) è compresa fra il 5% e il 10%. L'assortimento granulo-

metrico è continuo e completo, mentre gli elementi maggiori solo eccezionalmente superano la dimensione di 100 mm.

Data la grande uniformità della cava si procedette ad approfondire lo studio geotecnico agendo soltanto su quella che venne definita come *terra tipo*, di composizione granulometrica cioè pressoché intermedia fra quelle determinate sui molteplici campioni estratti dai pozzi.

Si eseguì la determinazione delle caratteristiche di costipamento nell'apparecchio di PROCTOR agendo sul passante al vaglio da 15 mm (e cioè sull'85% in peso del campione integrale); le risultanze della prova, eseguita con costipamento PROCTOR MODIFIED A.A.S.H.O.,

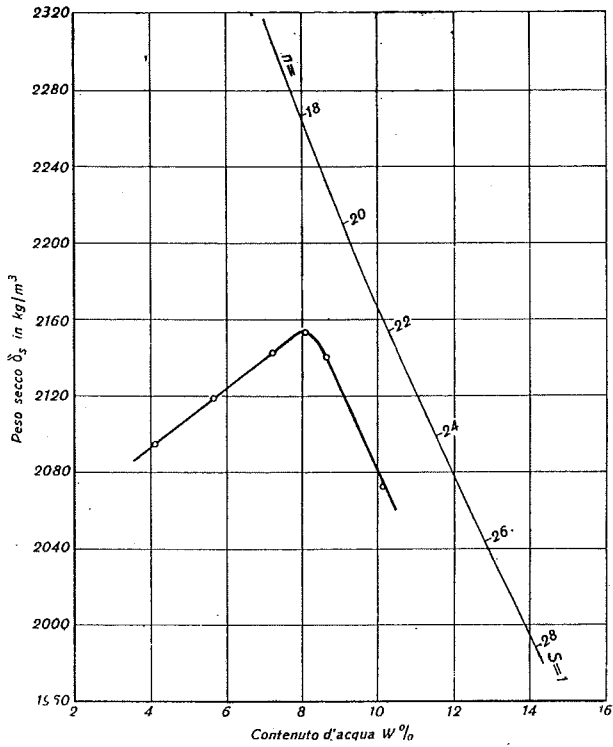


Fig. 10 - Prova di costipamento sul materiale da nucleo.

con lavoro unitario di 270 t.m/m<sup>3</sup>, compaiono nella Figura 10. Il peso specifico della fase solida risultò pari a 2,762 gr/cm<sup>3</sup>.

Successivamente, su campioni come sopra costipati all'ottimo, si determinò la permeabilità al permeometro a carico variabile ottenendo valori del coefficiente  $K$  di  $4 \div 5 \times 10^{-8}$  cm/sec.

La resistenza allo scorrimento, sempre su campioni costipati all'ottimo, fu infine ricercata mediante prova in apparecchio triassiale (del tipo WETTER - Officina di Protesi a pressione secondaria agente lateralmente e sulla testa del campione ed ottenuta con aria compressa). Con prova « rapida non consolidata » si determinò un angolo d'attrito interno  $\phi = 37^{\circ} 14'$  e una coesione  $c = 1,6$  kg/cm<sup>2</sup>: i risultati della prova sono riportati graficamente in Fig. 11 (3).

In relazione alla natura ed alla granulometria dei materiali non risultò invece possibile la determinazione dei limiti di plasticità e di liquidità e quindi dell'indice di plasticità.

(3) Le prove di Laboratorio di cui sopra furono effettuate presso il Laboratorio Geotecnico di Pavia della WEMA (Ing. Giorgio WETTER).

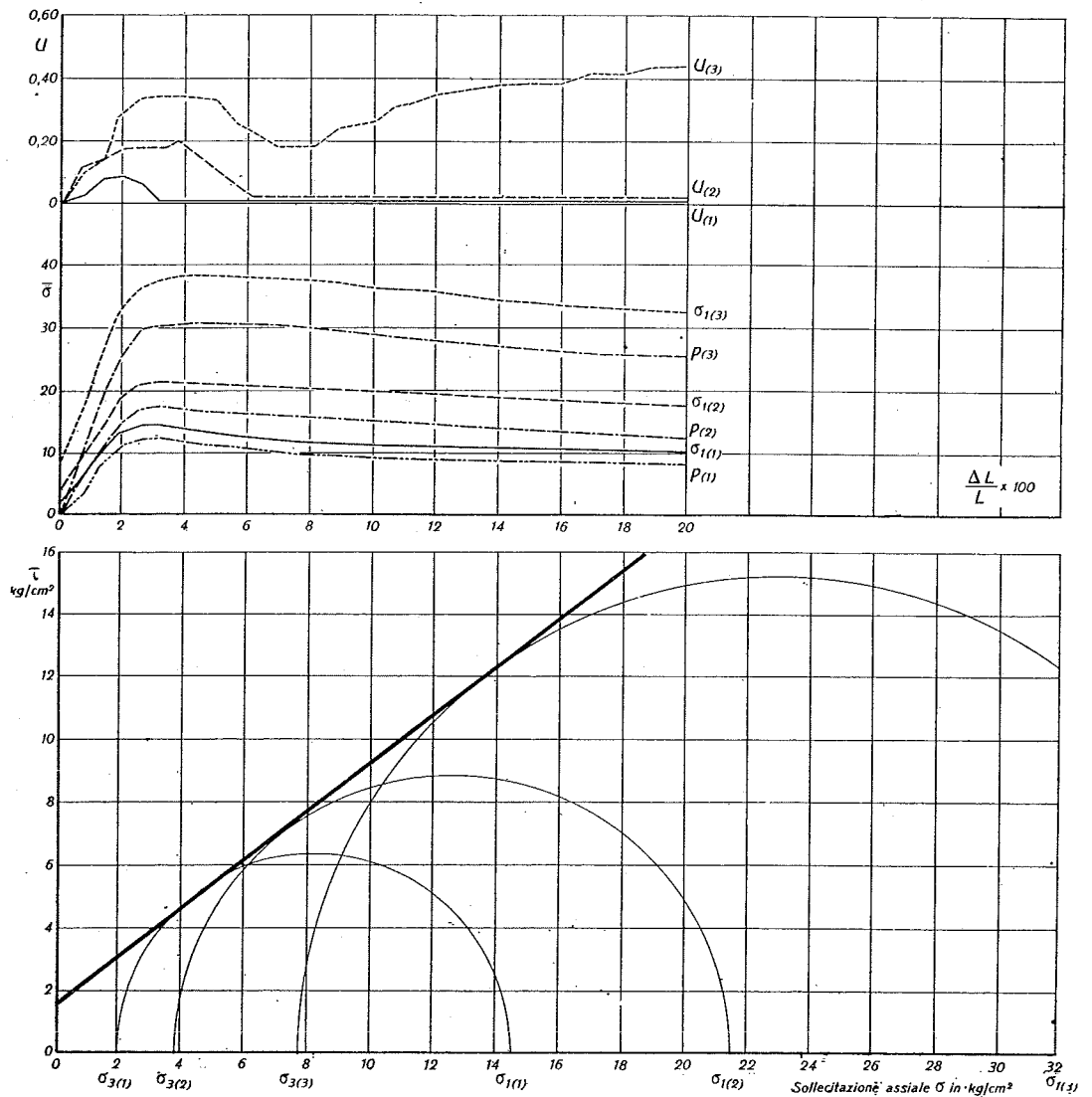


Fig. 11 - Prova di rottura per compressione triassiale sul materiale da nucleo.

In conclusione le indagini eseguite portarono a stabilire che:

— le terre studiate avevano composizione granulometrica praticamente uniforme e costante in tutta la zona di cava;

— con opportuno costipamento di potevano raggiungere elevate densità secche dell'ordine di  $2100 \div 2150 \text{ kg/m}^3$ ;

— la permeabilità delle terre costipate era molto bassa e cioè dell'ordine di  $10^{-7} \div 10^{-8} \text{ cm/sec}$ ;

— la resistenza a scorrimento era assai elevata, assumendo l'angolo di attrito valori attorno ai  $37^\circ$  e risultando la coesione di  $1,6 \text{ kg/cm}^2$ ;

— non determinabile, ma in ogni modo molto bassa, risultava la plasticità.

Nel complesso quindi, le caratteristiche delle terre prese in esame poterono ritenersi tali da garantire una perfetta riuscita del nucleo delle due dighe, sia nei riguardi della stabilità che della tenuta; la deficienza di plasticità che, per una diga alta e su fondazioni compressibili, avrebbe potuto dare adito a notevoli perplessità circa la possibilità, a seguito di assestamenti differenziali non trascurabili, di eventuali lesioni nella massa del rilevato, non fu giudicata pregiudizievole data la modesta altezza delle dighe,

a monte delle due dighe, per buona parte sommersa dall'attuale invaso. La cava fu esplorata mediante una serie di sondaggi del diametro di 300 mm spinti a profondità dell'ordine dei  $10 \div 15 \text{ m}$ .

Come già si è detto, al disotto di una sottile coltre torbosa, o comunque di terreno vegetale, ed inferiormente al livello della falda freatica, venne rilevata la presenza di un banco costituito da alluvioni ghiaiose recenti, avente spessore variabile fra i 4 ed i 9 m circa. Al di sotto di tali alluvioni grossolane si manifestò la presenza di depositi via via più fini passandosi dalla sabbia ai limi ed infine ad un banco limo-argilloso di chiara origine-lacustre.

Il materiale più idoneo per la costruzione dei rin fianchi dei rilevati è apparso essere senz'altro quello alluvionale della parte superiore della cava.

Una serie di prelievi di campioni superficiali portò alla determinazione della fascia granulometrica di progetto, indicata con (c) nella Fig. 12, entro la quale poterono essere compresi i materiali posti in opera. Può osservarsi che le ghiaie grossolane, con blocchi di dimensioni fino a 500 mm ed oltre, sono sempre presenti in percentuali assai elevate ( $40 \div 60\%$ ) mentre la percentuale degli elementi di dimensioni inferiori ai 2 mm, costituiti essenzialmente da sabbie

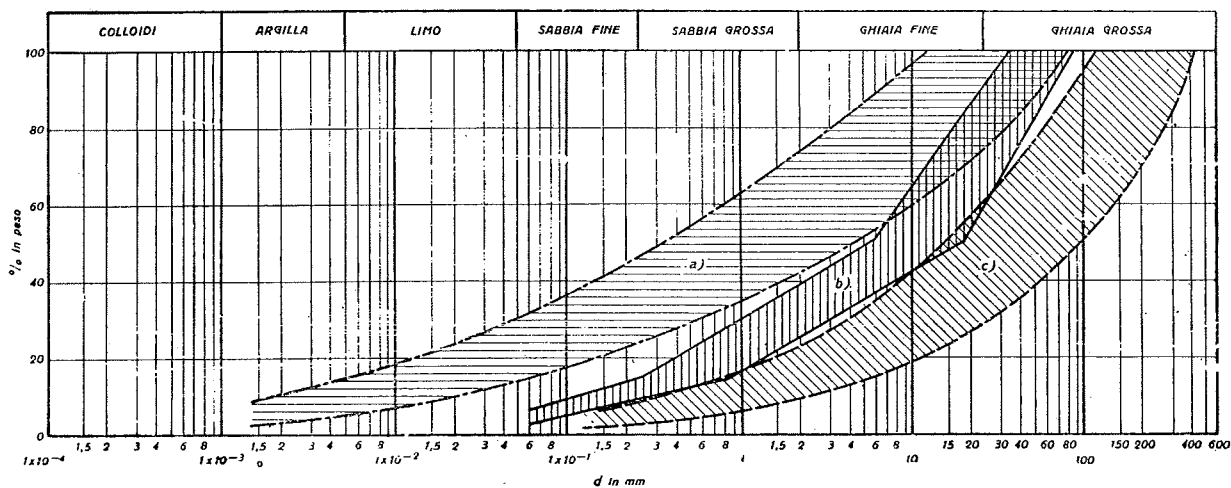


Fig. 12 - Fasce granulometriche dei materiali per la costruzione.

l'uniformità e la scarsa o nulla compressibilità delle fondazioni.

Venne prescritto l'impiego di terre la cui distribuzione granulometrica fosse compresa nel fascio indicato con (a) nella Fig. 12; terre con distribuzione granulometrica esterna al fascio risultarono, nei successivi controlli svolti durante il corso dei lavori, assolute anomalie di cava.

### 5.2 Materiali per i rin fianchi

Per l'estrazione dei materiali occorrenti alla costruzione dei rilevati fu riconosciuta idonea, sia dal punto di vista tecnico che economico, una vasta area

grosse, non supera mai il 25%. Praticamente assenti risultano i materiali finissimi limo-argillosi.

Già nella fase delle indagini di progetto apparve evidente che, in relazione a tali caratteristiche, la costruzione dei rin fianchi si sarebbe dovuta effettuare secondo una tecnica più vicina a quella dei rilevati a scogliera che a quella dei rilevati in terre costipate.

Difatti, ammeno di ricorrere a mezzi eccezionali (quali i grandi vibranti KELLER tipo « Mammuth » o « Gigant » da 15 t usati, ad esempio, nella diga della Henne nella Ruhr, nella diga di Rosshaupten in Baviera o più recentemente nella diga di Cuga in Sardegna), non è possibile ottenere altrimenti una ef-

ficace azione artificiale di costipamento su materiali di tali dimensioni.

L'utilità dei vibratori giganti, il cui impiego non era certo economicamente proporzionato alla relativamente modesta entità del lavoro, è stata d'altronde posta in forse, almeno per materiali quali quelli qui in causa, a seguito delle risultanze di approfondite ricerche eseguite in Svizzera per la costruzione dei rinfianchi della diga di *Göschenenalp*.

Con materiali assai simili a quelli di *Fontana Bianca*, si poterono raggiungere a *Göschenenalp* elevate densità (attorno alle  $2,2 \text{ t/m}^3$ ) e, quindi, basse porosità ( $17 \div 18\%$ ), soltanto col naturale costipamento dovuto alle operazioni di scarico dai mezzi di trasporto; emerse chiaramente d'altronde da una serie di accurate prove che «nessun apprezzabile aumento della densità poteva essere ottenuto con il macchinario per costipamento disponibile sul mercato e con un ragionevole sforzo economico» [3].

Per avere una conferma dei risultati svizzeri, e della possibilità della loro estensione ai materiali di *Fontana Bianca*, si procedette all'esecuzione in sito di un rilevato sperimentale.

Il materiale così prelevato dalla cava venne scaricato a rilevato dai dumpers effettuanti il trasporto in strati dell'altezza di  $50 \div 100 \text{ cm}$  cadauno; non si notò durante lo scarico alcuna segregazione ed il rilevato risultò di costituzione del tutto uniforme. Non venne praticata alcuna costipazione al di fuori di quella inerente al transito dei mezzi di trasporto.

Terminato il rilevato, in esso venne scavata una fossa; lo scavo fu effettuato mediante escavatore attrezzato a dragline, mentre la regolarizzazione delle pareti fu eseguita a mano. I materiali di risulta furono caricati su camion ed il loro peso determinato mediante pesatura su bilico. Il volume esatto della fossa fu stabilito con preciso rilevamento.

Si poterono così determinare il peso di volume, nonché, in base al contenuto d'acqua media ed al peso specifico misurati in laboratorio, il peso di volume secco e la porosità.

I risultati dell'esperimento furono i seguenti:

— contenuto d'acqua	8,1%
— peso di volume secco	2197 $\text{kg/m}^3$
— peso specifico della fase solida	2758 $\text{kg/m}^3$
— porosità	20,3%

Si tentò di controllare in laboratorio le caratteristiche di resistenza allo scorrimento agendo con apparecchio triassiale di grandi dimensioni (*WEMA*); ciò però senza esito favorevole inquantoché, per la totale assenza di coesione nel materiale, i campioni cedevano lateralmente durante le manovre per l'applicazione del pistone di carico.

Tuttavia la scarpa di natural riposo del materiale, che risultò pari a  $1,35 \div 1,40/1$ , denunciò, stante la mancanza di coesione, un angolo di attrito interno di valore non inferiore ai  $35^\circ$ .

Sempre in laboratorio furono infine eseguite alcune prove atte a determinare l'ordine di grandezza della permeabilità, pur apparendo questa a priori assai elevata. Un campione rappresentativo, previo scarto degli elementi superiori ai  $40 \text{ mm}$ , venne costipato

nell'apparecchio PROCTOR in modo da riprodurre porosità prossime a quella riscontrata sul rilevato sperimentale e quindi provato al permeametro ottenendo i seguenti risultati:

Umidità	Lavoro di costipamento	Densità secca	Porosità	Permeabilità
%	t. $\text{m/m}^3$	$\text{kg/m}^3$	%	$\text{cm/sec.}$
7	2,5	2012	27,4	$9,4 \times 10^{-2}$
7	5	2054	25,9	$7,6 \times 10^{-2}$
8	5	2055	25,8	$5,3 \times 10^{-2}$
8	10	2154	22,2	$1,4 \times 10^{-2}$
8	20	2200	20,6	$9,2 \times 10^{-3}$

Il complesso delle prove eseguite fornì gli elementi richiesti riguardo le modalità di posa e le caratteristiche finali dei materiali in opera. Confermati i risultati di *Göschenenalp* circa l'elevatissima densità raggiungibile senza alcuna operazione di compattamento artificiale, riscontrate le già evidenti caratteristiche di elevata resistenza a scorrimento ed alto potere drenante, il materiale si dimostrò particolarmente idoneo per la formazione dei rinfianchi delle dighe progettate.

### 5.3 Materiali per le zone di transizione (filtri)

Le caratteristiche richieste per tali materiali furono quelle di una granulometria e, correlativamente, una permeabilità intermedia fra quella del nucleo e dei rinfianchi.

I materiali suddetti sono stati estratti dalla stessa cava alluvionale coltivata per i rinfianchi utilizzando in questo caso banchi inferiori ad elementi più fini. I materiali lavati e vagliati in diverse classi venivano indi miscelati in modo da riprodurre curve granulometriche comprese nella fascia indicata con (b) nella già citata Fig. 12, stabilita tenendo conto degli usuali criteri sui filtri.

I materiali di queste zone furono compattati meccanicamente.

### 5.4 Materiali per le scogliere e le murature a secco

Il pietrame necessario per la protezione dei paramenti e la formazione dell'unghia di valle a scogliera fu prelevato da una cava aperta sulla sinistra della diga sud nel rilievo roccioso separante le due dighe. I micascisti granatiferi si presentavano in tale zona particolarmente compatti e da essi si poté ottenere pietrame di grossa pezzatura, con poca scagliatura e pressoché totale assenza di fini.

## 6 - Verifiche di stabilità

La stabilità dei rilevati è stata verificata controllando i globali gradi di sicurezza allo scorrimento delle opere, nonché i coefficienti di sicurezza allo slit-

tamento delle scarpate nelle varie e più gravose condizioni di esercizio.

E' stato pure eseguito uno studio sull'andamento dei moti di filtrazione attraverso le opere ed una correlativa valutazione delle presumibili perdite.

I calcoli di stabilità sono stati basati sugli elementi geotecnici ricavati con le indagini di cui al precedente paragrafo 5; tuttavia i valori delle caratteristiche dei materiali introdotti nei calcoli sono alquanto cautelativi rispetto a quelli risultanti dalle ricerche sperimentali, e ciò per tener debito conto di eventuali scarti rispetto agli attendibili valori medi.

La tabella seguente pone in raffronto i valori medi risultanti dalle ricerche geotecniche e quelli in definitiva adottati nelle verifiche.

Materiali	Peso di volume secco t/m <sup>3</sup>		Angolo d'attrito interno		Coesione t/m <sup>2</sup>		Coeff. permeabilità cm/s	
	Prove	Calcolo	Prove	Calcolo	Prove	Calcolo	Prove	Calcolo
Rinfianchi	2,197	2,100	37°	35°	—	0,00	1 × 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>-2</sup>
Nucleo	2,153	2,000	37°14'	35°	16,00	10,00	5 × 10 <sup>-8</sup>	1 × 10 <sup>-6</sup>
Fondazioni (diga Sud)	2,015	1,900	n. d.	30°	n. d.	0,00	5 × 10 <sup>-5</sup>	1 × 10 <sup>-4</sup>

(n.d. = non determinato).

### 6.1 Stabilità delle scarpate e del rilevato

Le verifiche di stabilità sono state condotte, come è comune pratica per le dighe in terra, secondo il «metodo svedese» basato sull'ipotesi, del resto sufficientemente verificata dall'esperienza, che le superfici di scorrimento siano cilindriche a sezione circolare. Si è adottato il metodo semplificato di MAY-BRAHTZ [4].

Per la diga Nord si sono considerate linee di scorrimento interessanti il solo rilevato e non le fondazioni, che, essendo in questo caso rocciose, hanno resistenza al taglio talmente elevata da non poter essere certo oggetto di rotture.

Per la diga Sud si sono invece considerate anche situazioni interessanti le fondazioni nelle quali sono da attendersi indici di resistenza poco inferiori a quelli del rilevato.

La situazione di esercizio più gravosa per le opere è quella conseguente al rapido svasso del serbatoio per la presenza di pressioni idrostatiche nei terreni a bassa permeabilità (nucleo e fondazione della diga Sud); a priori situazioni parimenti pericolose non potevano verificarsi durante la costruzione dell'opera, giacché le prove di laboratorio in apparecchio triassiale avevano in precedenza dimostrato come fosse da escludersi la possibilità di generazione nei terreni di pressioni interstiziali di apprezzabile entità.

Eguale non gravosa è la situazione a regime con serbatoio a massimo invaso per il paramento di valle, giacché per la natura eminentemente permeabile dei materiali di rinfianco la linea di saturazione

viene a deprimersi immediatamente a valle del nucleo.

Tutte le verifiche quindi sono state riferite alle condizioni di rapido svasso del serbatoio.

Sono stati posti in conto, come già innanzi precisato, valori di resistenza dedotti prudenzialmente da quelli su campioni sottoposti a prova di rottura «rapida», dopo completa saturazione e senza consolidamento, tenendo inoltre presente che data la bassa permeabilità dei materiali da nucleo e di fondazione della diga Sud questi potranno trattenere a lungo l'acqua di imbibizione assorbita nel periodo di invaso ed adottando perciò un peso di volume ridotto tenendo conto della spinta idrostatica.

Non si è applicato lo stesso criterio per i materiali dei rinfianchi data la loro grande permeabilità.

I coefficienti minimi di sicurezza allo scorrimento sono risultati pari a 2,65 per la diga Nord e 2,14 per la diga Sud. La sicurezza è assicurata anche qualora la coesione dei materiali da nucleo, e ciò contrariamente alle risultanze sperimentali, potesse risultare nulla; in tal caso i coefficienti di cui sopra si ridurrebbero a 1,61 e 1,31 rispettivamente.

E' stata infine verificata la stabilità globale allo scorrimento per due sezioni caratteristiche della diga Nord, poggiante interamente su roccia.

Dal computo delle forze in gioco è risultato che per la sezione più sfavorevole il rapporto fra le forze tangenziali e normali al piano di scorrimento è di 0,138, valore certamente ben inferiore al coefficiente d'attrito competente al contatto fra il rilevato e la roccia di fondazione, d'altronde corrugata come già si è detto.

### 6.2 Moti di filtrazione

La portata complessivamente filtrante attraverso la diga a Nord, nell'ipotesi di progetto di fondazione rocciosa perfettamente impermeabile e di perfetto collegamento nucleo-fondazione, è stata valutata analiticamente in 0,05 l/sec. nell'ipotesi di bacino al massimo invaso.

Dagli analoghi conteggi eseguiti per la diga a Sud, ove sono stati considerati a parte i moti di filtrazione nella fondazione clastica, si è ricavata una portata dell'ordine di 1 l/sec.

## 7 - Modalità e controlli di costruzione

### 7.1 Preparazione delle superfici di imposta

Modalità di preparazione diverse sono state ovviamente adottate per le superfici di imposta nei due casi di fondazione lapidea (diga a nord) o morenica (diga a sud).

Nel caso di fondazione rocciosa questa è stata dapprima corrugata su tutta la sua superficie per aumentarne l'attrito con il rilevato, quindi in corrispondenza del nucleo impermeabile si è creato un incasso a trincea profondo un paio di metri; le superfici delle trincee sono state trattate con un velo di emulsione bituminosa *Flintkote 1* e poi con un intonaco spesso 2 ÷ 3 cm di malta bituminosa composta da 2,5 parti di sabbia, 1 parte di *Flintkote* e 1/2 parte di cemento. La tenuta dell'assise rocciosa è stata assicurata con usuali iniezioni in modo da creare un velo subverticale in prosecuzione del nucleo impermeabile. Si eseguirono dapprima iniezioni superficiali, approfondite fino a 3 ÷ 5 m, aventi più che altro lo scopo di evitare le fuoriuscite di boiaccia da quelle più profonde, permettendo così di raggiungerle più elevate pressioni; furono successivamente praticate le iniezioni profonde in fori di profondità variabile tra i 10 e i 30 m a seconda delle caratteristiche della roccia quali desunte dai campioni estratti e dalle risultanze delle prove d'acqua.

Nell'esecuzione di queste ultime si è seguito come criterio di larga massima quello proposto dal LUGEON [5], criterio che, anche se discutibile [6], riesce a dare, ove si adottino sempre le stesse modalità di prova, un indice orientativo della capacità di tenuta della roccia.

I valori raggiunti dopo l'esecuzione delle iniezioni nella fondazione rocciosa di *Fontana Bianca* sono stati dell'ordine di 1/6 ÷ 1/2 di unità LUGEON, e sono quindi, secondo il già menzionato criterio, del tutto rassicuranti.

Il materiale impiegato per le iniezioni è stato generalmente la boiaccia di cemento, con rapporto acqua/cemento variabile in funzione degli assorbimenti e solo nei casi, peraltro affatto eccezionali, in cui questi erano elevati si è iniettata malta con inerti fini; in totale sono stati eseguiti 452 fori per una lunghezza complessiva di 2298 metri con un assorbimento medio di 0,9 q.li di cemento per metro.

Quanto alla zona ove il rilevato doveva insistere su formazioni moreniche, queste sono state messe a giorno eliminando gli eventuali soprastanti depositi torbosi; la superficie è poi stata ovunque compattata e scarificata pel collegamento con il primo strato di rilevato. In corrispondenza al nucleo il collegamento è stato più efficacemente realizzato con un incasso nelle fondazioni profondo 1 ÷ 2 m.

### 7.2 Eseecuzione dei rilevati

Il materiale per i nuclei è stato posto in opera così come proveniente dalla cava morenica di cui si è detto, con la semplice esclusione degli elementi di

dimensioni superiori agli 80 mm. Data la topografia della cava è risultata conveniente la sua coltivazione a mezzo di bulldozers che spingevano il materiale su griglie orizzontali soprastanti il piano di scarico dei dumpers; le griglie provvedevano allo scarto della frazione grossolana. Il materiale portato in opera dai dumpers è stato steso, a mezzo di bulldozers, in cordoli dello spessore medio di 30 cm e compattato con almeno 8 passate di rullo vibrante VIBRO-WERKE CH 30 da 35 q.li avente effetto dinamico di 70 quintali a 1.600 giri/min.

Lo spessore dello strato ed il numero di passate del rullo sono stati fatti variare in funzione dell'umidità di cava della terra, tenendo conto dello scostamento del contenuto d'acqua da quello ottimo di PROCTOR definito in laboratorio.

Solo in zone nelle quali, causa il ridotto spazio di manovra, non era possibile l'impiego dei normali mezzi il materiale da nucleo, steso in strati di spessore ridotto, è stato costipato con piatti vibranti e mazzapicchi a motore.

Il materiale dei rinflanchi, prelevato in acqua a mezzo di escavatori attrezzati a dragline, è stato messo in opera per caduta diretta dai dumpers e quindi steso a mezzo di bulldozers. L'azione compattante delle operazioni di scarico e del transito dei mezzi di cantiere si è rivelata, come previsto, sufficiente data la forte percentuale di materiali con diametro medio superiore ai 20 mm e la completa assenza di plasticità dei terreni impiegati.

Il materiale da filtri è stato disposto in strati di spessore dell'ordine di 50 centimetri di altezza soffice, costipati con almeno sei passaggi dello stesso rullo usato pel nucleo.

I lavori sono stati iniziati nel maggio 1959, ed ambedue le dighe sono state ultimate nel novembre dello stesso anno (4).

### 7.3 Controlli delle lavorazioni

I controlli sistematici delle lavorazioni sono stati quelli usuali della distribuzione granulometrica, della determinazione del peso di volume, del contenuto di acqua e della permeabilità; sono state inoltre eseguite saltuarie determinazioni del peso specifico.

Nella Figura 13 sono riportate le stratigrafie metro per metro di alcuni dei parametri in osservazione.

Le granulometrie eseguite per tutti i materiali impiegati nelle opere hanno mostrato come le relative curve fossero meno disperse di quanto era dato attendersi, gli scostamenti da quelle limiti di fig. 12 essendo affatto irrilevanti.

Per quanto si riferisce al nucleo le determinazioni del peso di volume secco eseguite con il metodo della sabbia calibrata e con quello, invero più pratico, del pallone di gomma [7] per il nucleo, esse hanno dato il valore medio di 2,133 kg/m<sup>3</sup> per la diga a nord e di 2,181 kg/m<sup>3</sup> per quella a sud, contro i 2.050 ÷ 2.150 previsti in fase di progetto. Sempre per il nucleo, il contenuto d'acqua, misurato all'atto della mes-

(4) La costruzione delle dighe è stata eseguita dalla Impresa *Italstrade* S.p.A. - Milano.

sa in opera servendosi generalmente del metodo della doppia pesata [8] e solo in qualche caso, per un necessario riscontro, dell'essiccamento alla stufa, è risultato mediamente pari a circa il 9% e cioè un poco superiore al valore ottimo (cfr. Fig. 10).

Le prove di permeabilità sono state effettuate mediante la messa in posto di un tubo di 12,50 cm di

La suddetta formula ha validità nell'ipotesi — lontana dall'essere in pratica realizzata — di falda illimitata e sufficientemente alta sopra al fondo del pozzetto e forze capillari trascurabili; essa traduce la legge di filtrazione in uno spazio saturo attraverso una sfera di diametro  $D/2$  sotto il carico variabile  $H$ .

Le prove sono state del resto effettuate in condizio-

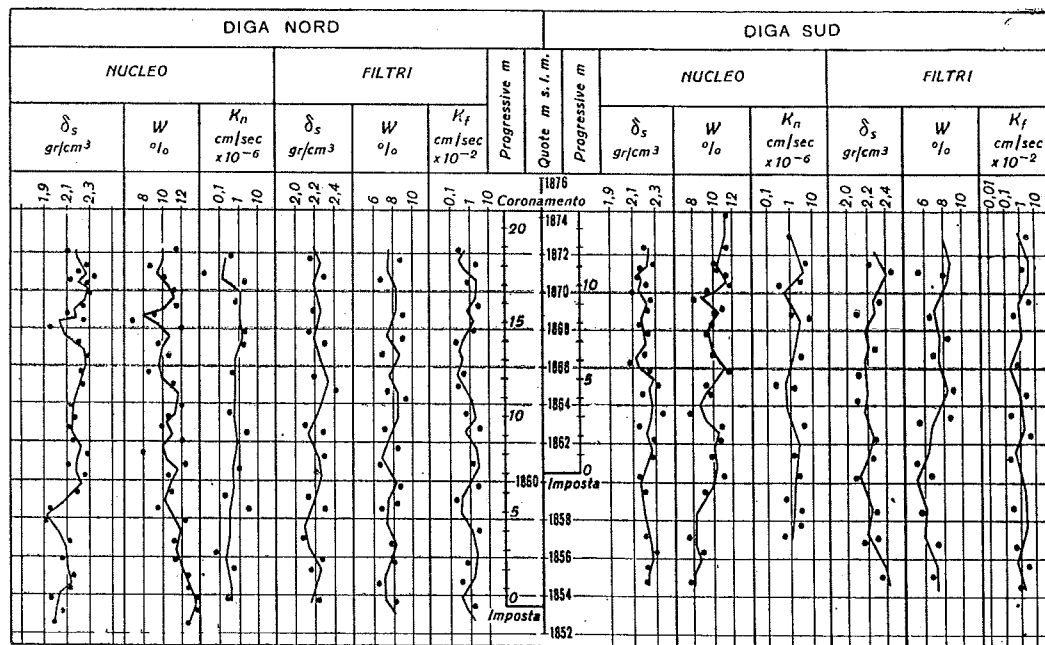


Fig. 13 - Tavola riassuntiva dei risultati delle prove di cantiere.

diametro e 30 cm di lunghezza, in stazione verticale e con l'estremità inferiore poggiante sul fondo di pozzetti appositamente scavati, di profondità di 20 ÷ 25 cm successivamente riempiti di terra compattata

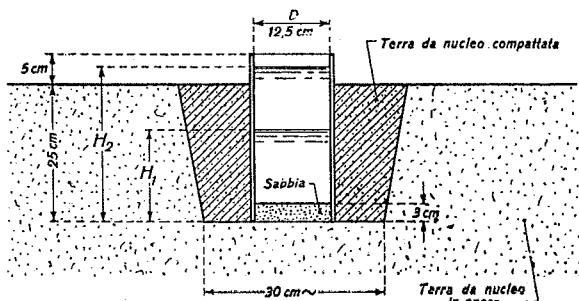


Fig. - 14 - Schema delle prove di permeabilità sul rilevato.

(Fig. 14). I risultati delle prove sono stati interpretati secondo la formula:

$$K = \frac{D}{4} \frac{\ln H_1 / H_2}{T} \text{ cm/sec.}$$

dove:

- $D$  = diametro del tubo di carico in cm;
- $T$  = tempo in secondi perché il carico  $H$  (in cm) dell'acqua sull'estremità inferiore del tubo passi dal valore  $H_2$  a quello  $H_1$ .

più favorevoli di quelle supposte dal calcolo: i materiali in rilevato non erano saturi — quindi mancava la falda — e la portata d'acqua assorbita era maggiore di quella che si sarebbe riscontrata nelle condizioni effettive. Ciò nonostante i coefficienti di permeabilità sono risultati dell'ordine di  $1 \times 10^{-6}$  cm/sec. per i materiali da nucleo, e di  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec. per la terra dei filtri.

Il rapporto delle due permeabilità, rapporto che è, quanto meno in buona parte, indipendente dalle condizioni di prova ugualmente discoste dalle teoriche in entrambi è risultato dell'ordine di  $10^{-4}$ . Ciò garantisce un rapido abbattimento della falda di filtrazione immediatamente a valle del nucleo come è stato del resto possibile constatare durante l'esercizio degli sbarramenti.

### 8 - Comportamento delle opere dopo la costruzione

Entrambe le opere di sbarramento sono state tenute in osservazione sia per quanto riguarda il livello della falda freatica e le relative portate filtranti, che per quanto si riferisce agli assestamenti.

Nel corpo della diga non sono stati posti, eccezion fatta per i piezometri di falda, particolari strumenti



di misurazione, la cui installazione sarebbe stata del resto particolarmente disagiata date le ristrette dimensioni dei nuclei ove ovviamente tali strumenti avevano ragione di trovare sede.

### 8.1 Fenomeni di filtrazione

Ogni opera è stata controllata mediante tre piezometri verticali posti nel corpo della diga, due dei

Di entità modesta è la portata di filtrazione attraverso la diga a nord misurata al piede di valle. Tale perdita è risultata dell'ordine di qualche dcl/sec. con un massimo di 0,53 l/sec. in corrispondenza al massimo invaso nel serbatoio.

Del tutto irrilevanti e praticamente non misurabili sono risultate d'altra parte le perdite attraverso la diga a sud.

E' da tener presente che alla portata di filtrazione

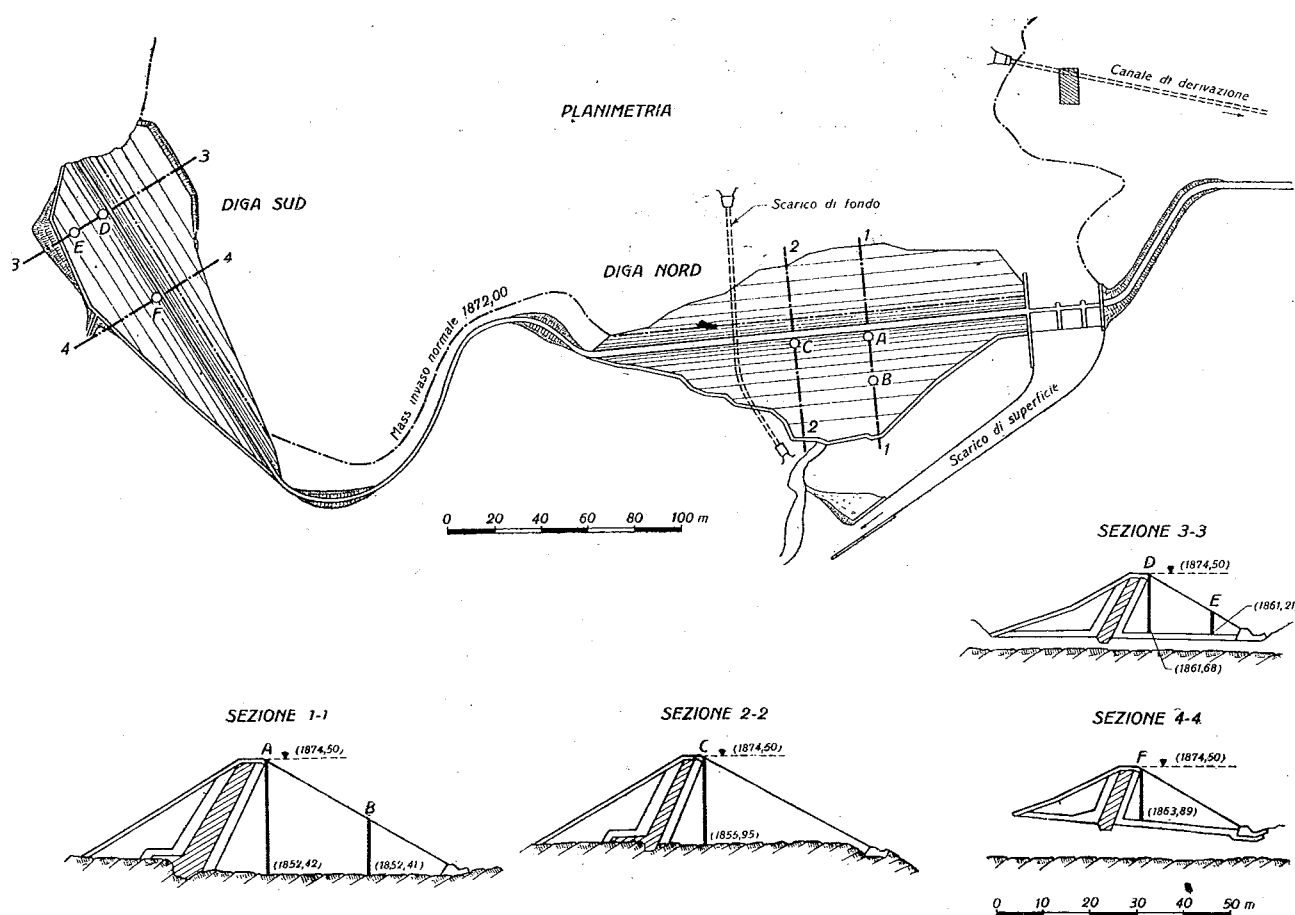


Fig. 15 - Ubicazione dei piezometri di falda.

quali ubicati nella sezione di massima altezza ed il terzo in una sezione intermedia (Fig. 15).

Nel diagramma di Fig. 16, riportato a mo' di esempio e relativo alle osservazioni dell'agosto 1961, le variazioni del livello di massimo invaso sono state poste in relazione sia all'andamento delle quote piezometriche che a quello delle portate filtranti attraverso le due dighe.

L'abbattimento della linea di saturazione a valle del nucleo è senz'altro soddisfacente, in quanto l'altezza di falda residua in corrispondenza dell'asse diga è una modesta aliquota del dislivello esistente fra il pelo libero nel bacino ed il punto più depresso della superficie d'imposta: in tali condizioni è evidente che sia i materiali dei rin fianchi che quelli da filtro garantiscono un efficace drenaggio.

della diga a nord, oltre alle filtrazioni attraverso il nucleo contribuiscono anche modeste travenazioni attraverso la roccia di base nonché inevitabili piccole perdite al contatto fra il nucleo della diga e l'assise rocciosa.

In nessun punto a valle delle dighe sono stati osservati fenomeni di risorgiva, nè le acque raccolte hanno in alcun modo denunciato la presenza di torbidità.

### 8.2 Rilevazione degli assestamenti

Allo scopo di controllare l'entità degli assestamenti dei rilevati, sono stati tenuti in osservazione n. 7 caposalda per la Nord e n. 6 per la Sud.

Di questi caposalda 3 sono stati scelti in corona-

mento ed i rimanenti sui parametri di valle degli sbarramenti.

I punti in esame sono stati collegati con triangolazione ai vertici della rete trigonometrica generale.

Le operazioni di livellazione sono state condotte con errore massimo di  $\pm 3$  mm/km.

Le quote e gli allineamenti iniziali sono stati rile-

1961, ha consentito di misurare assestamenti verticali non superiori ai 12 mm e spostamenti orizzontali ortogonali all'asse diga non superiori ai 9 mm con errori di misura massimi di  $\pm 1$  mm.

I dati raccolti hanno confermato il trascurabile indice di plasticità ed il buon costipamento subito nel corso di costruzione dai materiali in opera.

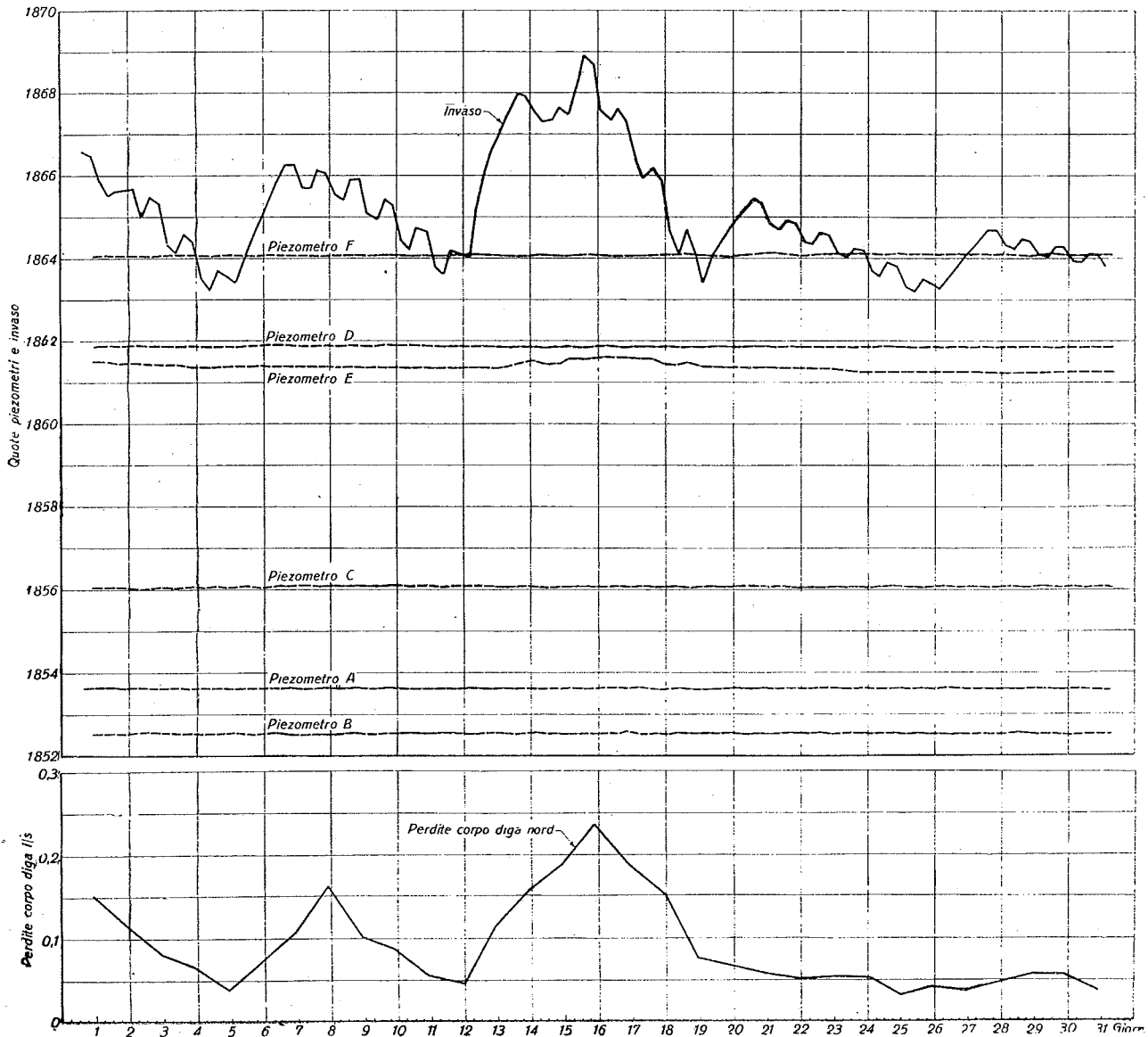


Fig. 16 - Letture ai piezometri e perdite d'acqua misurate nell'agosto 1961.

vati, a causa di abbondanti precipitazioni nervose, soltanto nel maggio 1960.

Gli sbarramenti, ultimati nel Novembre 1959, avevano probabilmente già subito qualche assestamento; tuttavia il periodo trascorso, specie per le terre da nucleo, poteva ritenersi sufficientemente breve agli effetti dell'osservazione qualitativa di un fenomeno di consolidamento, qualora questo avesse avuto a verificarsi.

La campagna di rilevazione più recente, Settembre

Questa ulteriore convalida della inapprezzabile tendenza alla consolidazione delle terre costituenti le dighe ed i terreni di fondazione consente di dedurre che all'interno dei rilevati e nel materasso morenico di imposta della diga sud le pressioni neutre indotte nell'acqua interstiziale sono state molto modeste e che, di conseguenza, lo scheletro solido dei materiali del rilevato e della fondazione sopporta la quasi totalità delle pressioni applicate.

In conclusione il comportamento dell'opera è risul-

tato del tutto soddisfacente e perfettamente corrispondente alle previsioni di progetto, confermando le favorevoli prospettive circa l'impiego di dighe in materiali sciolti nei casi, come quello di cui si è trattato, ove condizioni ambientali facciano preferire l'utilizzazione, con tecniche assai semplici ed economiche, dei materiali naturali disponibili ed esigenze di tempo impongano rapidità di esecuzione.

### Bibliografia

- [1] "L'Energia Elettrica" - Dicembre 1960, Gennaio 1958, Settembre 1955.
- [2] VENZO G. A. - *I bacini del Lago Verde, Fontana Bianca e Quaira della Miniera nell'alta Val d'Ultimo* - Museo di Storia Naturale di Trento 1959.
- [3] ZELLER Y. - ZEINDLER H. - *Test Fills with coarse shell materials for Göschenenalp Dam* - Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. Soil Mechanics - London 1957.
- [4] MAY D. R. - BRAHTZ J. H. A. - *Proposed methods of calculating the stability of earth dams* - Trans. Cong. Large Dams Vol. A Washington D. C. 1936.
- [5] TALOBRE J. - *La mécanique des roches* - Dunod Paris 1957.
- [6] CROCE A. - *La diga di Castel S. Vincenzo* - Relazioni su ricerche e studi promossi dall'ANIDEL 1960.
- [7] GARRASI G. - *Determinazione del peso dell'unità di volume in posto* - Asfalti, Bitumi, Catrami 1960.
- [8] JAPPELLI R. - *Il controllo rapido del contenuto d'acqua con il metodo della doppia pesata* - Geotecnica 1957.

#### LES BARRAGES EN TERRE DE FONTANA BIANCA (VAL D'ULTIMO)

*Sommaire:* Après avoir indiqué les raisons qui ont amené à la construction et au choix du type des barrages en terre de *Fontana Bianca*, on décrit en bref les structures, les caractéristiques des matériaux et les méthodes de construction.

On examine en particulier les terres adoptées pour les noyaux imperméables, formés avec des matériaux de moraine à plasticité très faible et la construction des recharges à mont et aval avec des terres alluviales graveleuses mises en place sans compactage.

On reporte enfin les premiers résultats sur le comportement des barrages après la mise en eau du réservoir.

#### THE FONTANA BIANCA EARTH DAMS (VAL D'ULTIMO)

*Summary:* After summarising the purposes that lead to the accomplishment, and the principles adopted about the type of *Fontana Bianca* earth-fill dams, the Author shortly describes structures, characteristics of construction's materials and installation procedures. Morainic low-plasticity soils for the impervious cores and gravelly alluvials installed without compaction in the shells have been particularly examined.

First results on the after building dams behaviour are also reported.