

estratto da :

**ATTI DEL XIII CONVEGNO
NAZIONALE DI GEOTECNICA
Merano, 1-4 Giugno 1978**

**PROBLEMI DI FONDAZIONE
IN RECENTI SBARRAMENTI ITALIANI**

G. BALDOVIN - P. BERTI

VOLUME I

ASSOCIAZIONE
GEOTECNICA
ITALIANA

MEMORIE SUL TEMA:

**FONDAZIONI DI DIGHE E GRANDI RILEVATI
SU TERRENI E SU AMMASSI ROCCIOSI**

PROBLEMI DI FONDAZIONE IN RECENTI SBARRAMENTI ITALIANI

G. BALDOVIN

Ingegnere — Direttore Geotecnica Progetti S.p.A. — Milano

P. BERTI

Ingegnere — Amministratore Delegato Costruzioni U. Girola — Milano

SOMMARIO

La nota espone le soluzioni adottate per le fondazioni di alcuni sbarramenti di recente costruzione. I provvedimenti si riferiscono, per due dighe, a fondazioni su terreni rigonfianti o per i quali risultavano prevedibili, a contatto con l'acqua, modifiche nelle caratteristiche meccaniche. Per altri tre sbarramenti vengono descritte opere particolari (culle, mantellate, drenaggi) eseguite per saldare il nucleo di dighe in terra a imposte rigide di fondazione o alle opere di scarico e per proteggere i terreni di imposta da fenomeni di degradazione garantendone la tenuta nel tempo.

1. PREMESSA

I problemi di fondazione, che si pongono per grandi strutture, siano queste rigide o costituite da materiali sciolti (rilevati), assumono configurazione e rilievo particolari quando si tratti delle dighe di ritenuta, per le quali l'acqua dell'invaso gioca evidentemente un ruolo primario.

Linee di progetto, criteri di dimensionamento e modalità d'esecuzione sono in tal caso convergenti all'obiettivo di assicurare, in fondazione, oltreché condizioni di stabilità in fase di primo carico, e cioè all'atto della costruzione, anche la tenuta idraulica e la stabilità dell'opera nelle diverse fasi di esercizio del serbatoio, dal primo riempimento ai successivi svasi ed invasi.

Gli effetti della presenza dell'acqua sulle fondazioni delle opere, e la problematica che ne deriva, sono molto spesso di valutazione com-

plessa ed esigono, peraltro, soluzioni che lascino sempre un ampio margine alla sicurezza della struttura nel suo insieme.

Situazioni particolari, anche se tutt'altro che infrequenti, sono ad esempio quelle che si verificano in presenza di terreni di fondazione le cui caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche sono suscettibili di subire modifiche importanti al contatto più o meno permanente dell'acqua di invaso.

Per altro verso, problema ricorrente è quello della variabilità nel tempo delle condizioni della tenuta idraulica, in funzione delle deformazioni che fondazione ed opere in elevazione subiscono sotto carico; in proposito, particolare attenzione si richiede quando dette modifiche possono determinare condizioni di esercizio potenzialmente lontane da quelle originarie.

Alcune situazioni, riportabili a questi temi di fondo, sono state incontrate nel corso del progetto, dell'esecuzione e dell'esercizio di recenti sbarramenti italiani: nella presente memoria si indicano brevemente gli indirizzi di progetto di volta in volta adottati e, per qualche caso, si segnala il comportamento rilevato con le misure di auscultazione e controllo condotte nei primi anni dopo la costruzione.

2. VARIAZIONI DI CARATTERISTICHE MECCANICHE CON L'INVASO

In alcuni terreni la presenza dell'invaso può portare, a medio o a lungo termine, ad una modifica delle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione.

In questi casi è necessario accertare in che misura il fenomeno possa influire sulla deformabilità e, al limite, sulla capacità portante dell'imposta delle strutture, e trarne le indicazioni sui criteri di dimensionamento e progetto.

Un'opera che ha richiesto lo studio dei terreni di appoggio sotto questo profilo della geomeccanica è la diga a gravità di Busalletta, (Concessionario: Acquedotto Nicolay - Genova) recentemente ultimata e già in esercizio.

I terreni interessati dalla struttura sono "argilloscisti" cretacei (Argilliti di Mignanego della carta geologica d'Italia), lamellari per la presenza di 2 sistemi di scistosità, di colore grigio-nerastro, con subordinate intercalazioni arenacee e frequenti veli di quarzo e calcite.

Al microscopio, fig.1, la roccia risulta essere una tettonite, prodotto diretto del metamorfismo meccanico di rocce sedimentarie clastiche psammitiche (grovacche?) che ha indotto micropieghe e comminuta fratturazione.

I componenti mineralogici sono sericite, clorite e quarzo e, subordinatamente, calcite, feldspati e fine pigmento ferruginoso.

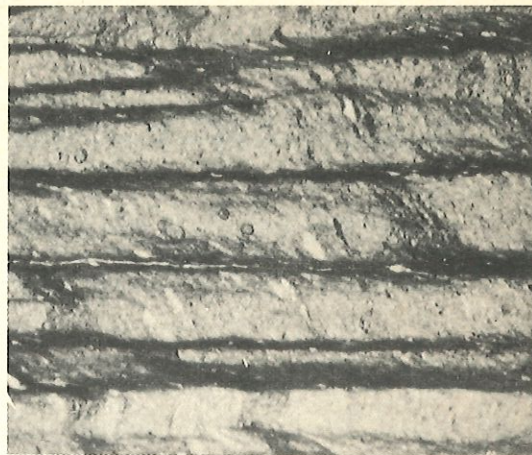


Fig.1 Argilloscisto di Busalletta. 65 x

Il rilievo geologico di dettaglio ha evidenziato una serie di dislocazioni tettoniche principali, connesse alla linea tettonica Sestri-Voltaggio, che individuano delle zone, fig.2, per ognuna delle quali l'argilloscisto presenta caratteristiche meccaniche proprie.

La 1^a zona è formata da un argilloscisto compatto con intercalazioni di calcarenite o vene di quarzo; la 2^a e la 4^a da un argilloscisto lamellare o fessurato, con sottili intercalazioni plastiche, la 3^a zona è praticamente una cataclasite.

Su campioni macroscopici si sono misurati: γ_d compreso tra 2,53 e 2,72 g/cm³, γ_s compreso tra 2,73 e 2,81 g/cm³; resistenza a compressione semplice variabile, in funzione delle discontinuità, da 50 a 300 kg/cm².

Quanto al contenuto d'acqua e alla sua influenza sul comportamento del materiale, si sono fatte le seguenti osservazioni.

Nella parte corticale l'argilloscisto non è saturo.

In laboratorio è stata misurata una pressione di rigonfiamento media di 0,3 kg/cm² e un rigonfiamento percentuale massimo del 2%. Inoltre, la saturazione completa è stata raggiunta con 7 giorni di permanenza in acqua.

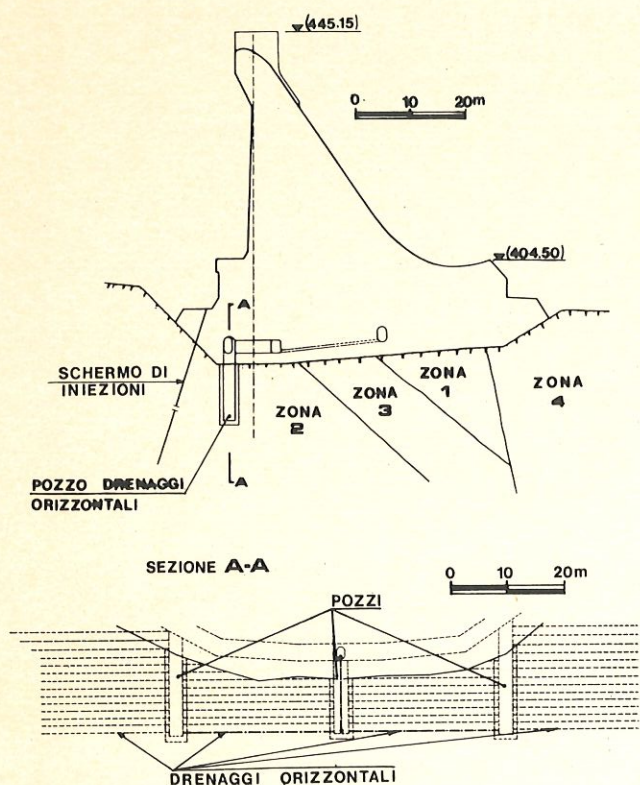


Fig. 2 Diga di Busalletta : sezione tipo e schermo di drenaggio

I controlli condotti in sito hanno evidenziato percolazioni di acqua lungo le principali discontinuità tettoniche e valori medi di K di 10^{-4} - 10^{-5} cm/s lungo i piani di scistosità e di 10^{-7} - 10^{-8} cm/s in direzione normale agli stessi, per le prime decine di metri, mentre a maggiori profondità la roccia è risultata praticamente impermeabile.

In conclusione la roccia di fondazione si presentava, al momento delle indagini, interessata da falde localizzate e da acqua di capillarità ad esse collegata, e si era rivelata in grado di saturarsi abbastanza rapidamente sotto falda.

ZONA	MODULO DINAMICO IN SITO (Kg/cm ²)	MODULO STATICO IN SITO (Kg/cm ²) def. tot.	MODULO STATICO SU CAROTE $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ (Kg/cm ²) def. tot.		MODULO STATICO SU BLOCCHI $50 \times 50 \times 80$ (Kg/cm ²) def. tot.		ATTRITO (φ°)	
			NATURALE	SATURO	NATURALE	SATURO	LUNGO DISCONTINUITA'	ATTRAVERSO DISCONTINUITA'
1	295.000÷400.000	3.000÷5.600	10.700	4.180	-	-	25÷40	32÷45
2 e 4	256.000÷277.000	2.300÷2.500	5.700 7.600	3.700 6.900	8.000 20.400	11.800 26.500	20÷27	30÷35
3	187.000÷211.000	2.250	-	-	-	-	17÷22	-

Le proprietà meccaniche di deformabilità e taglio sono state indagate separatamente per ognuna delle zone indicate in fig. 2, ottenendo i risultati riportati in tabella a fondo pagina.

I valori delle prove di laboratorio si riferiscono a condizioni di carico normale alla scistosità; per condizioni di carico parallelo alla scistosità, è stato rilevato un coefficiente di ortotropia pari rispettivamente a 5 per la 1^a zona, a 3 per la 2^a zona e prossimo a 1 per la 3^a zona.

Curve tipiche di deformazione sono riportate nelle figure 3 e 4.

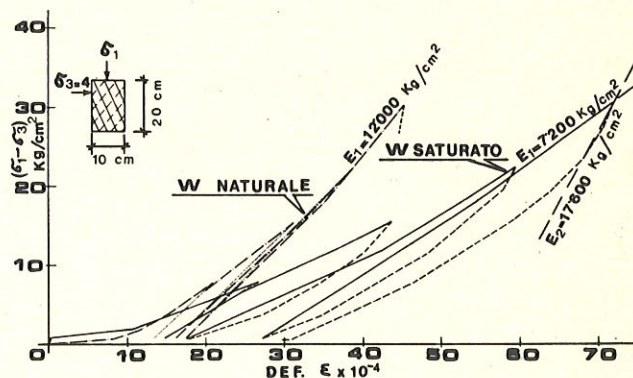


Fig. 3 Diga di Busalletta : prova di deformazione in laboratorio

Il modulo dinamico è stato ricavato da misure della velocità sonica longitudinale in fori normali alla stratificazione, (carotaggio sonico). Il modulo statico in sito è stato ricavato da prove di carico con la formula di Bousinesq in condizioni di piastra perfettamente rigida e coefficiente di Poisson $\mu = 0,33$. L'attrito è stato determinato con prove di taglio diretto: curve tipiche sono riportate alle figg. 5 e 6.

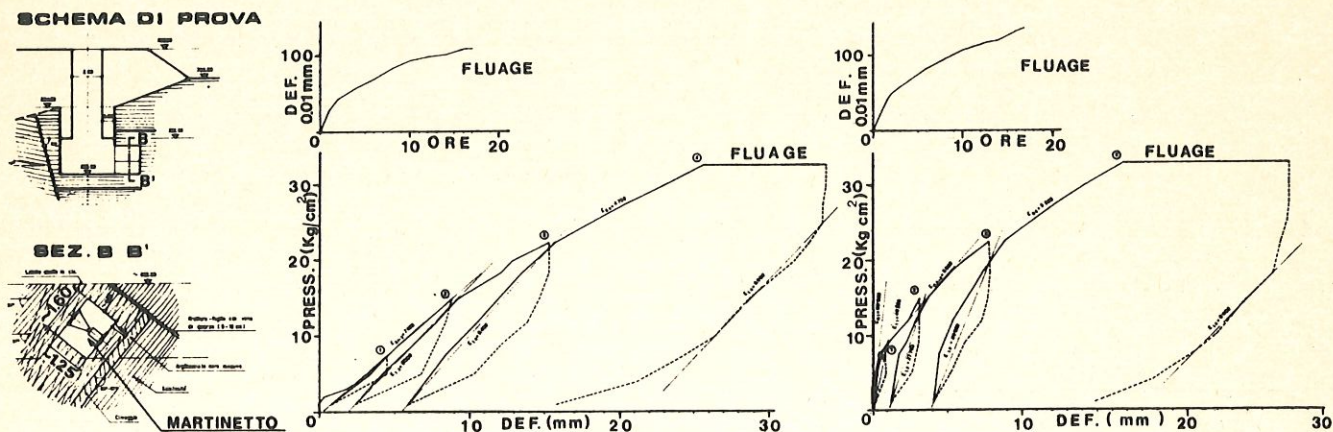


Fig. 4 Diga di Busalletta : prova di deformazione in sito

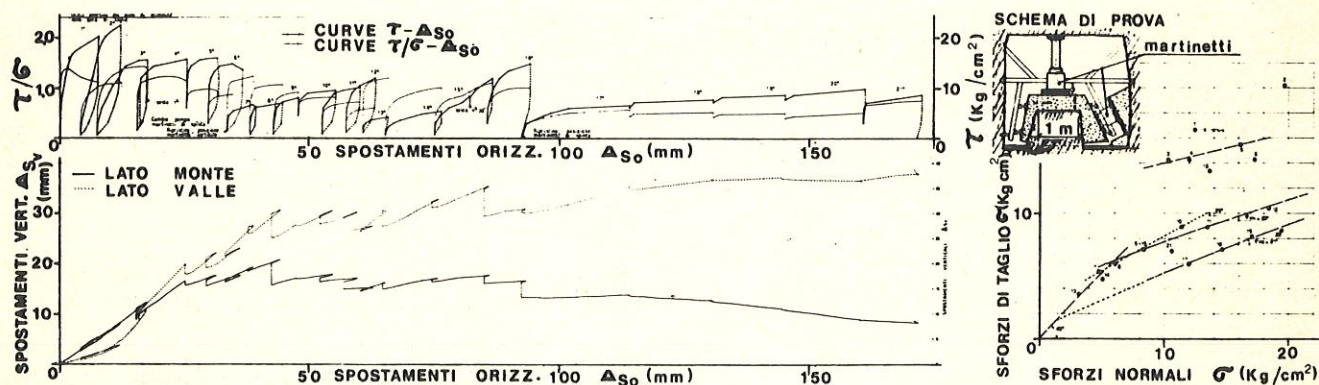


Fig. 5 Diga di Busalletta : prova di taglio in sito

La coesione è risultata estremamente variabile, in funzione del grado di tettonizzazione dei campioni provati e dell'orientamento delle fratture rispetto al piano di taglio, passando da valori prossimi a zero fino a diversi kg/cm^2 . I dati tabellati evidenziano una certa influenza dell'acqua di saturazione sulla deformabilità, probabilmente causata da una riduzione di consistenza delle scaglie argillose. Confrontando i risultati in funzione del volume di roccia interessato si nota che, pur entro gli ampi limiti di dispersione dei valori causati dall'eterogeneità e variabilità strutturale e petrografica, i moduli misurati sui grossi blocchi risultano i più elevati. Una probabile spiegazione del fatto può essere

avanzata considerando che in sito la vicinanza alla zona di prova di fasce tettonizzate ha condizionato notevolmente la deformabilità. D'altra parte rispetto alle carote, i grossi blocchi avrebbero risentito molto meno del disturbo dovuto al prelievo. Inoltre l'intima sconnessione del materiale roccioso, determinante per il comportamento delle carote, sarebbe stata compensata, nel caso dei blocchi, dalle rilegature calcitiche e quarzose.

Sulla base delle rilevazioni e dei risultati sopra esposti, risultava l'opportunità :

- di ridurre sensibilmente le tensioni scaricate sulla fondazione;

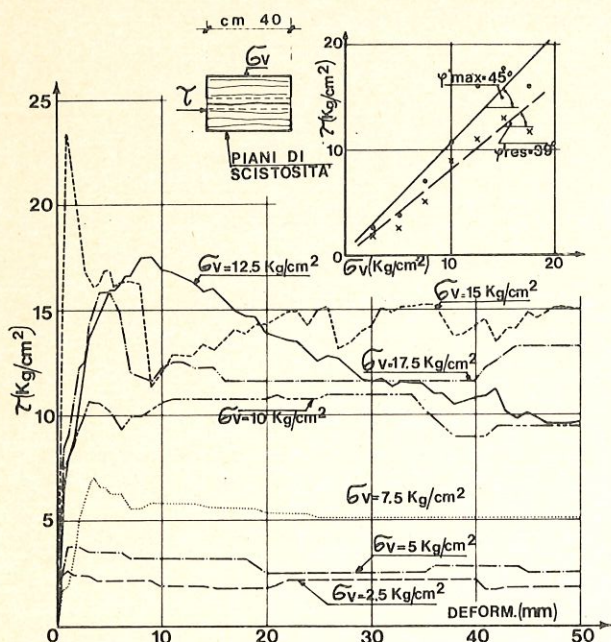


Fig. 6 Diga di Busalietta : prova di taglio in laboratorio

- di adottare una conformazione dell'imposta che riducesse quanto più possibile lo scarto fra le tensioni a vuoto e quelle in condizioni di invaso, onde attenuare gli incrementi di carico e quindi i cedimenti, attesi con il riempimento del serbatoio;
- di spostare decisamente verso monte la struttura di tenuta della diga (schermo di iniezioni);
- di istituire un dispositivo di drenaggio; pure spostato quanto possibile verso monte, che salvaguardasse l'imposta, anche in profondità, dal flusso d'acqua attraversante lo schermo. Detto dispositivo fu, in particolare, realizzato, nella parte di maggiore altezza della diga, mediante pozzi profondi e aggettabili, fra i quali fu lanciato un velo di fori drenanti orizzontali, fig. 2.

L'insieme dei risultati delle prove in sito ed in laboratorio hanno consentito ai progettisti ingegneri Merlo Pich e Pietrangeli, verifiche molto accurate di stabilità (HAWS E.T. et al.,

1975) e calcoli di deformazione della fondazione, che han fornito la traccia per il dimensionamento definitivo dell'opera, il cui comportamento, dopo il primo periodo di esercizio, è risultato del tutto soddisfacente.

3. FENOMENI DI RIGONFIAMENTO

L'interazione acqua-terreno produce, in particolari terreni argillosi, il ben noto fenomeno del rigonfiamento che può provocare delle deformazioni non sopportabili da strutture rigide o pericolose per l'integrità della tenuta. Questo problema, è stato affrontato per la vasca di Ogliastro (Concessionario: SINCAT - Catania), formata da un rilevato chiuso a corona su pianta rettangolare, fig. 7 : realizzato con calcarenite compatta, altezza massima m'22,20, lunghezza di coronamento 2.352 m, l'argine perimetrale determina un volume d'invaso di $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ (BERTI P., 1971).

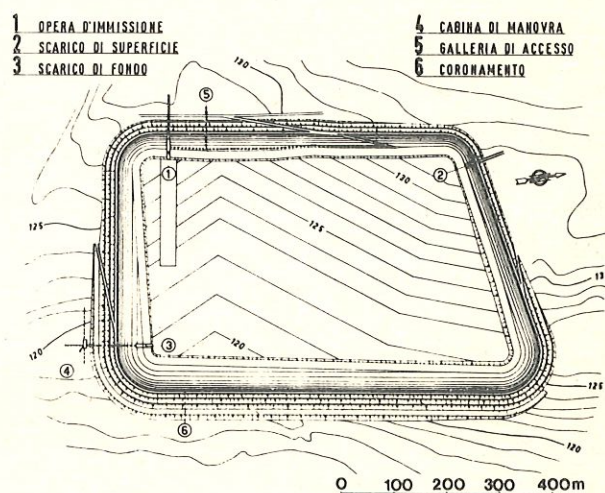


Fig. 7 Vasca di Ogliastro : planimetria

La tenuta è assicurata da un rivestimento bituminoso che si innesta, tramite taglione, entro le argille, presenti a debole profondità in tutta l'area coperta dal serbatoio e dal rilevato, fig. 8 (BALDOVIN G. e GHIRARDINI A., 1973).

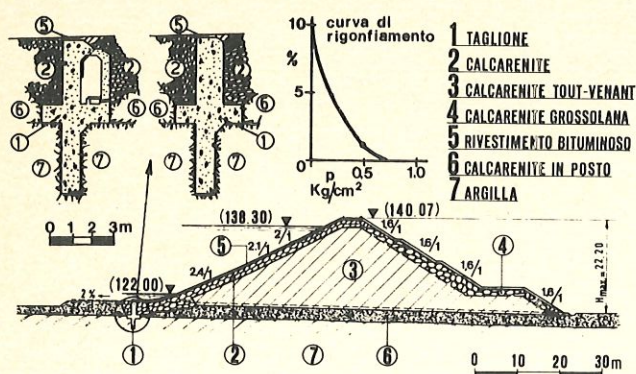


Fig. 8 Vasca di Ogliastro: sezione tipo, particolari taglione e curva di rigonfiamento

La serie geologica è costituita, a partire dall'alto, dai seguenti terreni :

a) Calcarenite rossastra (Milazziano), in livelli di spessore fino a 7 m nelle parti settentrionali e occidentali dell'invaso, essa si riduce man mano quasi ad annullarsi in direzione sud ed est, avente γ_d pari a $1,9+2,1 \text{ t/m}^3$, γ_s $2,75 \text{ g/cm}^3$ e resistenza a compressione semplice media 200 kg/cm^2 . Per le ottime caratteristiche meccaniche riscontrate, questa formazione è stata utilizzata su pressochè tutto il suo sviluppo quale terreno di fondazione dell'opera.

b) Argilla grigio azzurra (Siciliano), ricca in calcinelli e passante verso l'alto ad argilla verdastra e grigio-giallastra per alterazione, dove la calcarenite sovrastante è di spessore ridotto o assente. Lo spessore dell'argilla varia tra i 10 ed i 15 m e lungo il contatto con la fondazione sovrastante è stata localmente riscontrata una modesta falda freatica.

Le argille giallastre hanno pesi secchi da $1,4$ a $1,5 \text{ g/cm}^3$, grado di saturazione da 90 a 95%, limite liquido fino a 80%, indice plastico da 50 a 60 e resistenza alla compressione semplice da $1,7$ a $2,7 \text{ kg/cm}^2$.

c) Calcarenite giallastra (Siciliano) di spessore variabile, dell'ordine di alcuni metri,

alternata a livelli più o meno spessi di argilla.

L'argilla grigio giallastra (b) costituisce il livello di tenuta entro il quale si immorsa il taglione collegato con il rivestimento bituminoso; particolari indagini sono state svolte, su questa formazione, per definire le pressioni e le deformazioni di rigonfiamento.

All'analisi a raggi X, sono risultate le seguenti percentuali di minerali : quarzo 15-30, calcite 15-25; feldspati 5; caolinite 10-15; illite 5-10; montmorillonite 20-30; interstratificato illite montmorillonite 5-10.

Misure dirette della tendenza al rigonfiamento hanno fornito pressioni massime, a volume costante, comprese tra $0,5$ e $1,5 \text{ kg/cm}^2$ e massime variazioni percentuali dell'altezza dell'8%; in fig. 8 è riportata una curva di rigonfiamento.

Come è noto, il punto più delicato delle strutture di tenuta a manto sul paramento di monte è l'attacco con lo zoccolo di piede. Questo, nel caso specifico, fu realizzato in cemento armato, con forma caratteristica a croce, e cioè con un lato inferiore innestato, a taglione, nelle argille, con una suola di contrasto poggiante sul tetto della formazione e con un braccio in elevazione, collegato con la membrana bituminosa, fig. 8.

Il problema posto dalla tendenza al rigonfiamento delle argille di fondazione consisteva nell'evitare che sconnessioni eccessive compromettessero l'efficienza dell'attacco con il manto. Esso è stato risolto mediante la realizzazione, a monte del taglione, di una copertura di spessore minimo di calcarenite di $3,50 \text{ m}$ sull'argilla, ricalzando con calcarenite compattata alle stesse caratteristiche del rilevato le zone in cui lo spessore della calcarenite naturale risultava inferiore a questa misura.

L'estensione di questa zona, di spessore minimo $3,50 \text{ m}$ è stata fissata in 15 m .

Con la disposizione adottata, pur non potendo realizzare l'annullamento totale delle deformazioni per rigonfiamento, è stato comunque possibile conseguire una loro riduzione a valori accettabili.

L'esercizio del serbatoio, già in corso da oltre 7 anni, ha confermato la validità dello schema; in particolare l'efficienza della tenuta, lungo l'attacco del manto, è risultato pienamente soddisfacente, con la sola eccezione di un giunto della struttura del taglione perimetrale della vasca, in corrispondenza di una delle curve, per il quale si è resa necessaria una ripresa della sigillatura.

4. L'ACQUA COME CAUSA DI DEGRADAZIONE

Nelle dighe sopra esaminate l'acqua è stata considerata come fattore capace di provocare direttamente delle variazioni nell'equilibrio tensioni deformazioni esistenti nei terreni di fondazione, producendo in essi effetto di rigonfiamento (Ogliastro) o alterazione delle proprietà meccaniche (Busalletta).

Più comunemente tuttavia l'acqua, in quiete o in moto, può agire indirettamente, inducendo una generica modificazione delle condizioni o riginarie dei terreni, causando incrementi delle prevedibili deformazioni delle opere o una evoluzione della permeabilità, in grande, delle imposte e delle spalle.

Tra gli esempi di opere che han posto questo secondo tipo di problemi ricade la diga di Villarosa (Concessionario: Ente Minerario Sicilia no- Palermo), figg. 9 e 10.

Trattasi di una diga in terra con nucleo centrale che ha richiesto l'adozione di particolari provvedimenti per la protezione della spalla sinistra, caratterizzata da una singolare conformazione geologica, e per il raccordo della struttura della diga, in fondazione, con questa spalla.

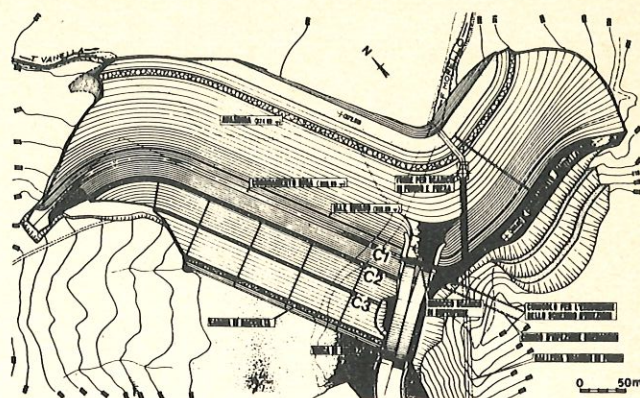


Fig. 9 Diga di Villarosa : planimetria

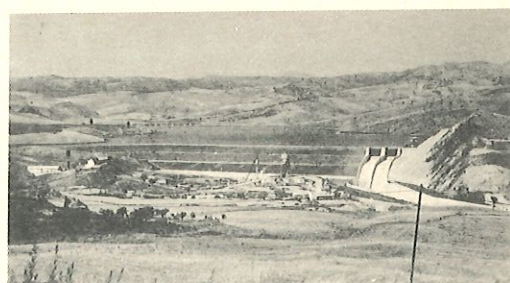


Fig. 10 La diga di Villarosa

Nella zona di sbarramento sono presenti le seguenti formazioni, fig.11

- a) Ghiaie e sabbie, con densità $1,9-2,1 \text{ t/m}^3$.
- b) Argille azzurre del Tortoniano, in sponda destra, caratterizzate da umidità naturale media 20%, peso secco $1,70 \text{ t/m}^3$, e limiti $WL = 40$ e $Ip = 22$.
Il taglione della diga si innesta nelle argille inalterate che, nella parte centrale dell'alveo, vengono a contatto con le argille varicolori.
- c) Argille varicolori scagliose eoceniche. Hanno peso secco $1,7-1,9 \text{ t/m}^3$ e umidità da 14 a 21%: in questa formazione si addentra il taglione del nucleo, nella zona d'alveo.
- d) Calcarei marnosi e marne, eocenici, costituenti un grande olistolite immerso nella argilla eocenica.

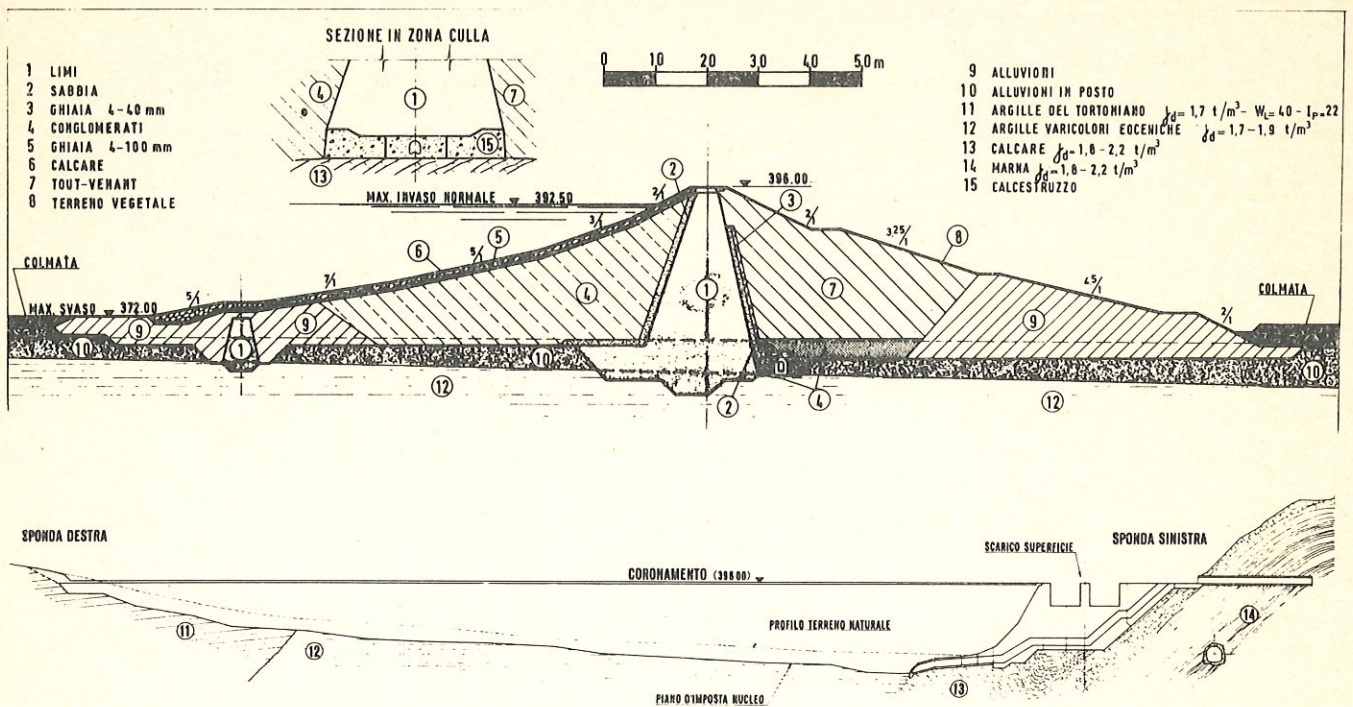


Fig. 11 Diga di Villarosa : sezione tipo e profilo longitudinale

La densità è compresa tra 1,8 e 2,2 t/m^3 , i valori più bassi riferendosi alla presenza di argilla di decomposizione delle marne tra gli strati calcarei.

L'olistolite costituisce la spalla sinistra della diga, ed in esso sono impostate le opere di scarico: per questi motivi, è stato oggetto di indagini e interventi particolari che hanno comportato, fra l'altro, l'esecuzione di una culla in calcestruzzo, e di una mantellata di rincalzo in materiale permeabile.

4.1 La spalla sinistra (fig.12)

E' questa la parte dell'opera che ha richiesto la maggiore attenzione a motivo dell'intrinseca condizione strutturale della roccia; si trattava invero di precisare profili di scavo compatibili con la stabilità della formazione maronosa, in vista della esigenza di impostarvi correttamente le opere murarie e di profilare ad un tempo in modo adeguato le superfici di contatto con la struttura di terra.

Infatti in sponda sinistra la parte superiore della diga si raccorda con le murature dello scarico di superficie, contro le quali è stata realizzata la saldatura del nucleo.

In zona asse diga l'olistolite è costituito: per la parte superiore, di circa 40 m, da una

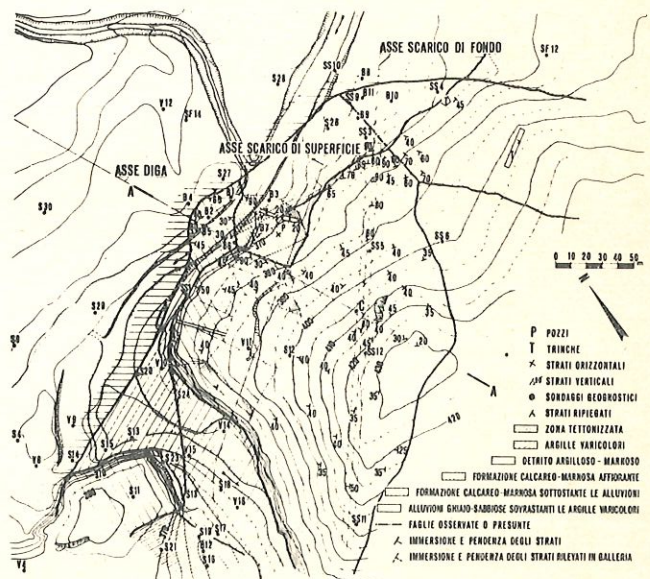


Fig. 12 Diga di Villarosa : geologia della spalla sinistra

alternanza di strati di calcare marnoso e marne inclinati di circa 45° ; nella parte inferiore dominano livelli marnosi grigi di potenza circa 40 m, con giacitura concordante.

A monte dell'asse diga, in zona imbocco scarico di superficie, un forte disturbo tettonico era denunciato da lembi di strati ripiegati e allentati e dalla netta argillificazione della parte marnosa per uno spessore di 10 m. Ancora più a monte (zona torre di presa) la formazione calcareo-marnosa si immergeva con scarpata notevolmente ripida a contatto con le argille varicolori.

4.2 Impostazione delle opere

a) Scarico di superficie

L'esecuzione degli scavi di profilatura sulle spalle rocciose aveva messo in evidenza essenzialmente che :

- all'interno della copertura detritica, costituita da materiale calcareo-marnoso smosso o allentato, esisteva una ossatura compatta di calcare marnoso, potente qualche decina di metri e passante poi a marne argillose;
- se il profilo limite dello scavo avesse raggiunto pendenze superiori a quelle degli strati, si sarebbero determinate condizioni di instabilità del versante;
- la roccia calcareo-marnosa costituiva una struttura intimamente debole, nella quale scavi ed incisioni potevano determinare un serio indebolimento dell'olistolite;
- il pacco di calcari marnosi, via via scoperto con gli scavi, presentava netta tendenza all'allentamento in funzione dei fattori meteorici e della natura litologica della roccia.

Sulla base di tali accertamenti, il blocco dello scarico di superficie è stato impostato con i seguenti criteri :

- si sono limitate al minimo le incisioni sul versante, rincorrendo con l'asse del canale la direzione parallela alle linee di livello di strato;
- l'opera di imbocco è stata concepita in due parti distinte costituite dai muri d'invito, con fondazione a zattera, e, rispettivamente, dalla struttura paratoie. Quest'ultima, una doppia U monolitica, appoggia sopra un blocco di fondazione congruente con le discontinuità stratigrafiche.

b) Criteri di preparazione dell'imposta per le opere murarie

Un'adeguata preparazione delle superfici di imposta è stata studiata essenzialmente in funzione della natura della roccia, sostanzialmente rappresentata da una stratificazione molto fitta di elementi a variabile plasticità, crescente verso l'interno e di resistenza a talungo banco relativamente modesta.

Si è adottato il criterio di "cucire" per alcuni metri, sotto la fondazione, gli strati di roccia mediante barre di acciaio $\varnothing$ 30 mm, con intensità di una barra ogni $6-7 \text{ m}^2$, cementate a pressione per tutta la lunghezza e collegate con le opere murarie.

Il trattamento delle fondazioni secondo questo criterio ha consolidato uno spessore di roccia di 10-12 m, compensando gli effetti di decompressione indotti dagli scavi, riducendo l'azione di scollamento degli strati dovuta alla acqua e rendendo possibile l'assorbimento di una buona aliquota degli sforzi di taglio lungo strato.

Nelle parti superiori della scarpata è stata invece prevista la sola cucitura degli strati con ancoraggi tipo "Perfo" a profondità 4 m e frequenza 1 ogni 9 m^2 . Gli ancoraggi sono stati poi collegati da rete su cui si è spruzzato uno strato di betoncino, per evitare fenomeni di sfogliamento della roccia fuori invasato.

In senso trasversale (fig.11) una superficie concava verso l'alto determinava il contenimento del nucleo alla base, costringendolo e impedendone locali scorrimenti.

Il calcestruzzo della culla è stato trattato con prodotti bituminosi tendenti in parte ad assicurare la tenuta idraulica attraverso i giunti fra i blocchi della culla ed in parte ad impedire percolazioni per effetto parete fra calcestruzzo e nucleo. Un'abbondante spol vero di bentonite completava il trattamento prima della posa del materiale da nucleo.

4.4 Mantellata

Alla mantellata è stato assegnata la funzione di rincalzare l'olistolite e le zone ad esso adiacenti, impedendone ogni instabilità in occasione degli invasi e svasi. Come detto, è stata realizzata con materiale aperto, assimilabile a quello del rinfiamento di monte della diga.

L'area di appoggio della mantellata è risultata suddivisa in 3 zone planimetricamente distinte :

- a) Sopra la galleria di scarico, ove la roccia ha caratteristiche di media saldezza e la giacitura è regolare, l'asportazione del materiale naturale è stata ridotta al minimo e la sagomatura dello scavo è stata condizionata dall'esigenza di conservare un valore minimo di 4-5 m allo spessore della mantellata.
- b) Poco in sinistra rispetto alle opere di scarico di superficie la roccia del fondo è apparsa ben salda mentre la parte sopra il coronamento è stata profilata ad anfiteatro scavando profondamente sino ad asportarlo il materiale che ivi si presentava molto degradato.
- c) Alla sinistra estrema al di fuori dell'olistolite, ove si incontrano nuovamente le

argille, si è proceduto ad un'energica bonifica per uno spessore di qualche metro.

4.5 Tenuta profonda nella spalla sinistra

E' stata garantita mediante uno schermo di iniezioni approfondite fino al passaggio fra calcari e marne argillose. Per la sua esecuzione si è proceduto ad una serie di cunicoli che si estendono per tutto lo sviluppo longitudinale dello schermo, rendendo possibile anche durante l'esercizio una ripresa o intensificazione dell'intervento per iniezioni.

Lo schermo è costituito da doppia fila di fori con interasse 2 m su ciascuna fila e interasse tra le file di 1,50 m. Sulla base dello prove in sito e in laboratorio, è stata messa a punto la miscela ternaria argilla-cemento-bentonite, usata per le iniezioni.

A completamento del dispositivo di impermeabilizzazione, è stato eseguito anche un cunicolo di drenaggio, in corpo spalla, 18 m a valle dello schermo.

Oltre a controllare eventuali travenazioni a valle dello schermo, esso serve a salvaguardare il corpo spalla sinistra da pressioni idriche, abbattendo in ogni caso drasticamente la piezometrica, e salvaguardando le condizioni di stabilità dell'olistolite verso valle, nella parte incombente sulla vasca di smorzamento dello scarico di superficie.

Dal cunicolo è possibile lanciare, se del caso, canne radiali drenanti nelle zone che la strumentazione dovesse indicare come le meno interessate dalla caduta piezometrica.

4.6 Strumentazione (fig.13)

Per il controllo nel tempo del comportamento della spalla sinistra nella zona dello sfioratore e nella zona della culla è stata posta in opera una serie di strumenti, ad integrazione

dei controlli topografici di superficie:

- Dispositivi a nastro segnalatori di movimenti di taglio,
- Estensimetri ad ancora multiple, per il controllo del comportamento della sponda al di sotto dell'invaso e sotto le opere murarie.
- Capsule tensiometriche a monte, per la misura delle pressioni esercitate dalle opere in calcestruzzo sui terreni di fondazione e dalla terra nella zona della culla.
- Clinometri a base lunga, nel cunicolo di iniezioni, per il controllo di eventuali movimenti delle opere.
- Flessimetri elettroacustici lungo i giunti delle opere.
- Celle piezometriche, in sondaggi a valle dello schermo di iniezioni e alla base delle opere murarie, per controllo delle pressioni interstiziali nel corpo della sponda sinistra.
- Canne clinometriche per il comportamento del nucleo lungo la culla.

4.7 Comportamento dell'opera (fig.14)

Il comportamento dell'opera nel tempo è ad oggi risultato più che soddisfacente; in fig.14 si riporta il cedimento relativo ad alcuni assestimetri. Tutti i controlli relativi a quote piezometriche e filtrazioni a valle dell'opera non hanno evidenziato alcuna perdita di rilievo.

4.8 Altri esempi di trattamenti particolari delle fondazioni

Lo sbarramento di S.Casciano (Concessionario: Consorzio Bonifica della Val di Paglia - Acqua pendente) è costituito da una diga in terra a nucleo centrale, fondata su un letto d'alluvioni e sulle sottostanti argille plioceniche

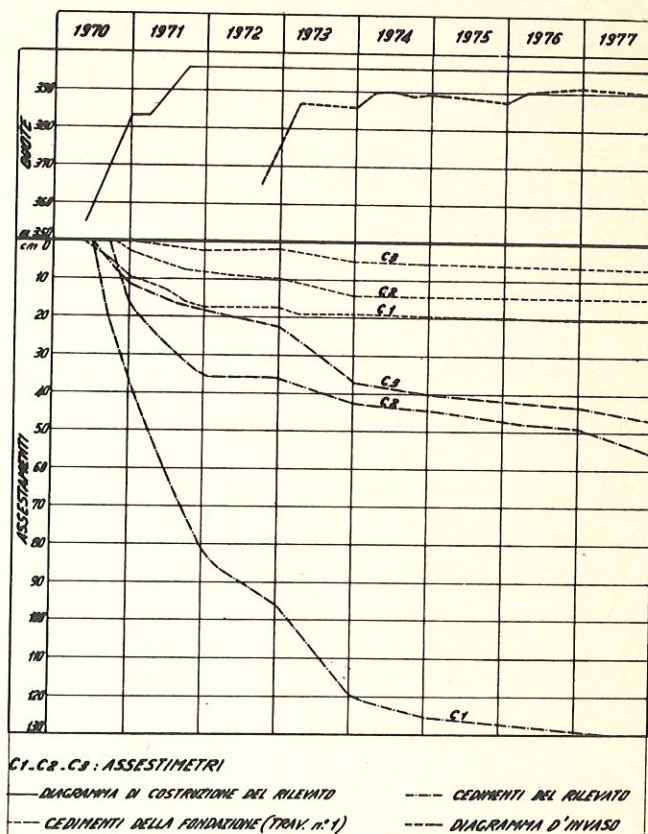


Fig.14 Diga di Villarosa : curve di assestamento

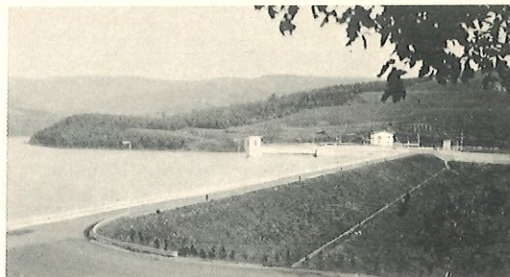


Fig.15 La diga di S.Casciano

di base (figg.15-16 e 17)

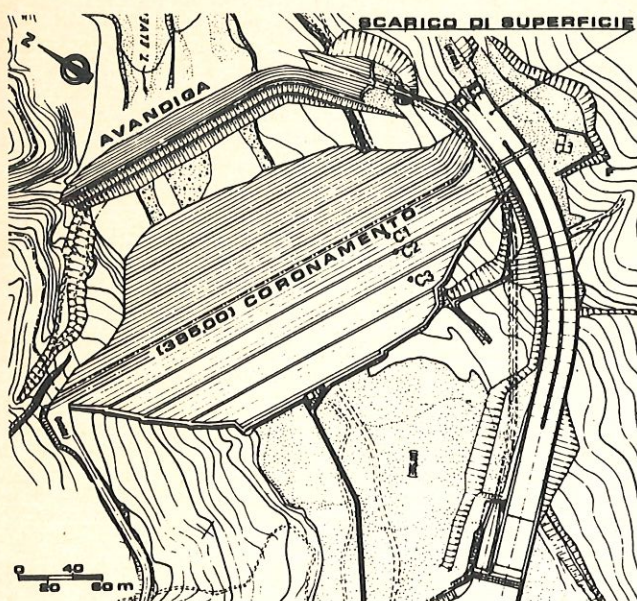


Fig.16 Diga di S.Casciano : planimetria

Il contatto del nucleo con la muratura del canale dello scarico di superficie, costituente la parte più delicata dell'opera, è stato realizzato mediante una struttura in calcestruzzo a speroni, inglobata poi nell'argilla del nucleo.

La superficie del nucleo è stata previamente trattata con prodotti bituminosi impermeabilizzanti e ogni angolo di contatto è stato raccordato con un impasto di bitume, cemento e sabbia. L'argilla a diretto contatto con la struttura muraria, per lo spessore di 1 m, è stata miscelata con bentonite per aumentare le caratteristiche di plasticità ed il potere di adsorbimento su eventuali acque di travenazione.

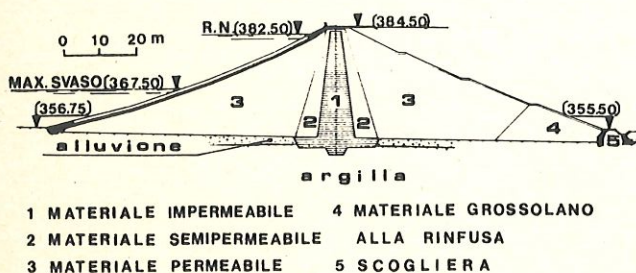


Fig.17 Diga di S.Casciano : sezione tipo

La buona riuscita del provvedimento adottato è confermata dai controlli delle deformazioni che sviluppatasi come in fig.18, non hanno comunque dato luogo a percolazioni al contatto nucleo-calcestruzzo.

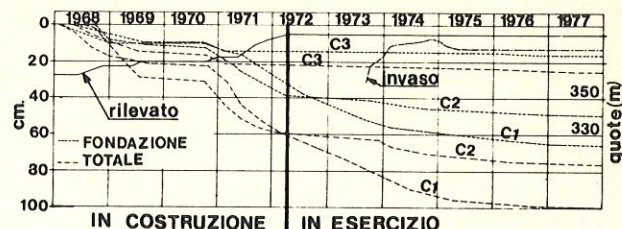


Fig.18 Diga di S.Casciano: curve di assestamento

La soluzione a culla per il contatto nucleo-spalle rocciose è stata adottata anche per la diga di S.Rosalia sul fiume Irminio (Concessionario Ente di Sviluppo Agricolo-Palermo), attualmente in costruzione. Lo sbarramento è impostato in terreni miocenici, rappresentati da calcari a grana media e fine, stratificati in banchi di spessore 50-100 cm, con giacitura suborizzontale. La diga è del tipo a nucleo centrale impermeabile (fig.19), con rinfianchi in materiale alluvionale.

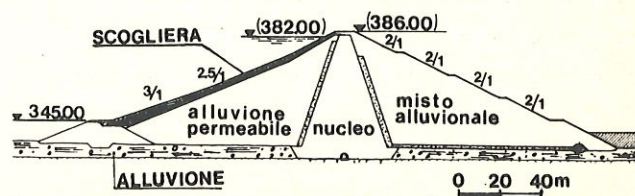


Fig.19 Diga di S.Rosalia : sezione tipo

La saldatura del nucleo alla roccia di base nelle spalle è realizzata mediante la culla in calcestruzzo, fig.20.

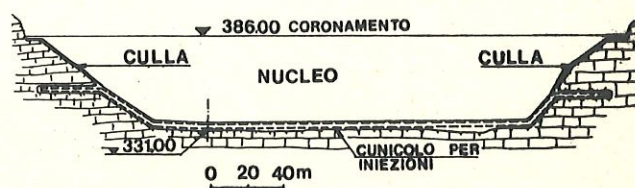


Fig.20 Diga di S.Rosalia : profilo longitudinale

Sotto la culla sono previste iniezioni di cucitura della stessa alla roccia, mentre tra nucleo e calcestruzzo sono interposti uno strato di argilla plastica e gli usuali trattamenti di sostanze bituminose.

CONCLUSIONI

Gli esempi citati hanno indicato alcune fra le soluzioni recentemente adottate, con risultati soddisfacenti, nel caso di fondazioni di dighe in terreni alterabili all'acqua o rigonfianti, e nel caso in cui si prevedano deformazioni relative importanti fra struttura in elevazione e fondazione.

Problemi connessi con l'azione dell'acqua d'invaso sulle fondazioni, possono trovare soluzione sulla base di analisi numeriche o di determinazioni sperimentali. Sia l'una che l'altra forma di approccio esigono, peraltro, per il grado di sicurezza richiesto dalle dighe, estrapolazioni notevoli e si configurano, in pratica, nella ricerca di dispositivi progettuali e criteri di esecuzione più o meno articolati e diversificati. Il contributo delle indagini geotecniche, sovente lunghe e difficili per la complessità delle formazioni interessate, appare in ogni caso essenziale nel mettere in luce i fenomeni più delicati cui la fondazione dell'opera può essere soggetta, nel suggerire gli indirizzi generali più idonei per una corretta salvaguardia delle esigenze fondamentali della struttura e per interpretarne il comportamento in fase di esercizio.

PERSONALIA

Oltre a quelli già citati nel testo, si citano i seguenti nominativi.

Progettisti per le dighe Ogliastro e Villarosa, prof. ing. F. Contessini e ing. G. Baldovin; per le dighe di S. Casciano e S. Rosalia, ing. G. Baldovin. Imprese Costruttrici per la diga di Busalletta: Condotte d'Acqua, Roma; per le dighe Ogliastro, Villarosa e Santa Rosalia S.A.C.U.G., Milano;

per la diga di S. Casciano, Gelfi Costruzioni, Brescia.

BIBLIOGRAFIA

BALDOVIN G. - GHIRARDINI A. (1973) - Ogliastro Reservoir peripheral rockfill dam, with 90.000 m² upstream bituminous membrane. XI Congrès des Grands Barrages, Q42-R52 - pp. 923-951.

BERTI P. (1971) - Il serbatoio di Ogliastro - L'Energia Elettrica, vol. XLVIII, n° 9 pp. 595-612.

HAWS E.T. et al. (1975) - Finite element studies for Busalletta dam. Inter. Symp. on Criteria and Assumptions for numerical analysis of dams. Swansea pp. 1086-1102.

LOWE J. (1970) - Recent development in the design and construction for earth and rockfill dams. X Congrès des Grands Barrages - G.R. - Q.36 vol. V pp. 1-28.

SUMMARY

This paper illustrates the solutions adopted for the foundations of some recent dams in Italy. The effect of water on soil of rock foundation is considered, with particular reference to the problems of: swelling, deformability, alteration and leakage through rigid abutments. For the swelling, a special solution for cut-off and embankment toe by exposed. Deformability for a gravity dam foundation has been studied through site and laboratory tests: in order to reduce settlement, a large base has been adopted for the dam, and a particular drainage system was suggested, located in proximity of upstream toe.

For some other dams, the problems caused by the contacts between embankment and rigid abutments have been solved through some solutions, essentially based on geometrical preparation of the contact surface and an accurate selection of the involved core impervious soils. The good performance of the dams has shown the reliability of the chosen solutions.