

La costruzione dei due fianchi è stata effettuata contemporaneamente.

Negli articoli recensiti non sono illustrate la natura e le caratteristiche del materiale a grana grossa impiegato per la costruzione del paramento a monte, e del materiale dei filtri.

Date le caratteristiche dell'impianto e la piccola capacità del serbatoio secondario, il livello dell'acqua in quest'ultimo è soggetto a rapide e frequenti variazioni. Di ciò si è tenuto conto nel progettare la diga di terra, esaminandone la sua stabilità anche in seguito ad un rapido svuotamento del serbatoio. Il calcolo ha mostrato che la condizione innanzi detta è la più onerosa per la stabilità della diga; il coefficiente di sicurezza, in seguito ad un rapido svuotamento del serbatoio, è infatti risultato essere eguale ad 1,4;

Le celle sono state annegate nel materiale del rilevato durante la sua costruzione e collegate, mediante sottili tubazioni in polietilene, ai manometri posti nella stazione di misura, situata a valle della diga.

Dalle misure finora effettuate, i cui risultati singoli non sono però riportati negli articoli recensiti, emergerebbe che, come era da prevedersi, le celle risentono le oscillazioni del livello del serbatoio con un certo ritardo, che dipende dalla posizione della cella.

Le misure delle pressioni neutre nel corpo della diga hanno confermato le ipotesi, poste a base dei calcoli, sulle proprietà drenanti del materiale del rilevato.

A. Pellegrino

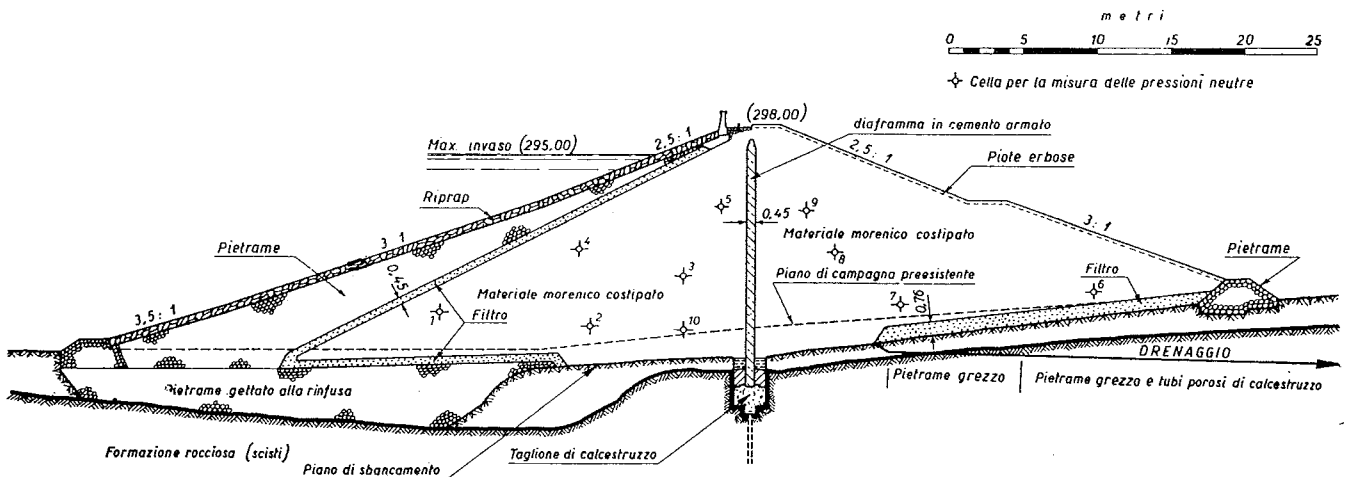


Fig. 1 - Sezione tipo della diga.

per le altre condizioni esaminate il valore minimo del coefficiente di sicurezza è stato pari a 2,0.

Al fine di poter conoscere l'andamento delle pressioni neutre nell'interno della diga, sono state poste alcune celle per la misura di dette pressioni (v. fig. 1).

Studio di alcune sezioni di sbarramenti (*Etude de quelques emplacements de barrage*). P. LEVEQUE - Notes et memoires du Service Géologique - N. 98 - Fasc. II - Editions du Service Géologique du Maroc.

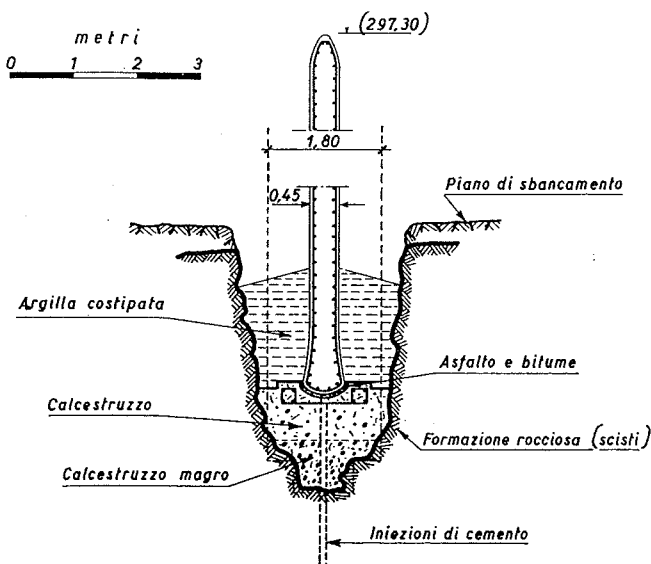


Fig. 2 - Particolare del taglione.

1) *Premessa* - E' descritto lo studio accurato e sistematico per determinare le caratteristiche geologiche di quattro sezioni d'imposta di dighe di ritenuta nel Marocco Francese.

Vengono ampiamente descritti i metodi seguiti per individuare le caratteristiche meccaniche (deformabilità e carichi ammissibili) della roccia di fondazione e la sua permeabilità.

Le ricerche sono state condotte eseguendo una serie sistematica di sondaggi, iniezioni di cemento e successive prove di acqua ed apertura di gallerie d'ispezione delle zone iniettate.

Le prove meccaniche sono state standardizzate con presa da 100 tonn. e disco d'acciaio ripartitore del carico da 70 cm. di diametro. Uniformate sono state pure le velocità di applicazione del carico e la durata della prova.

2) *Lo sbarramento di Ait Chouarhit su l'Oued Lakhdar* - Nel piano generale per l'irrigazione della pianura di Marrackek si inquadra tra l'altro la co-

struzione di una diga di ritenuta dell'altezza massima di m 116 su l'Oued Lakhdar fra le quote 845 e 961 alla stretta di Ait Chouarhit.

La zona della stretta è costituita da alternanze di arenarie massicce permeabili e di microarenarie argillose compatte e impermeabili ma fortemente alterabili che insieme a termini intermedi fra i due precedenti costituiscono un tipo di terreno complicato e forse pericoloso per la costruzione di una grande opera di ritenuta.

Lo studio della permeabilità è stato condotto con il metodo classico delle prove d'assorbimento d'acqua in sondaggi profondi, procedendo per tratte di m 2 di lunghezza.

Le pressioni di iniezione erano di 5, 10, 15, 20, 25, 30 Kg/cm²; le perdite d'acqua venivano misurate, ad ogni pressione e per ogni tratta, per un periodo di 15 minuti dopo i primi 5 minuti lasciati per la stabilizzazione delle perdite.

I risultati delle prove sono stati riassunti in un grafico con ascisse le portate in l/m/m', ordinate le profondità, parametro la pressione d'iniezione. (vedi fig. 1).

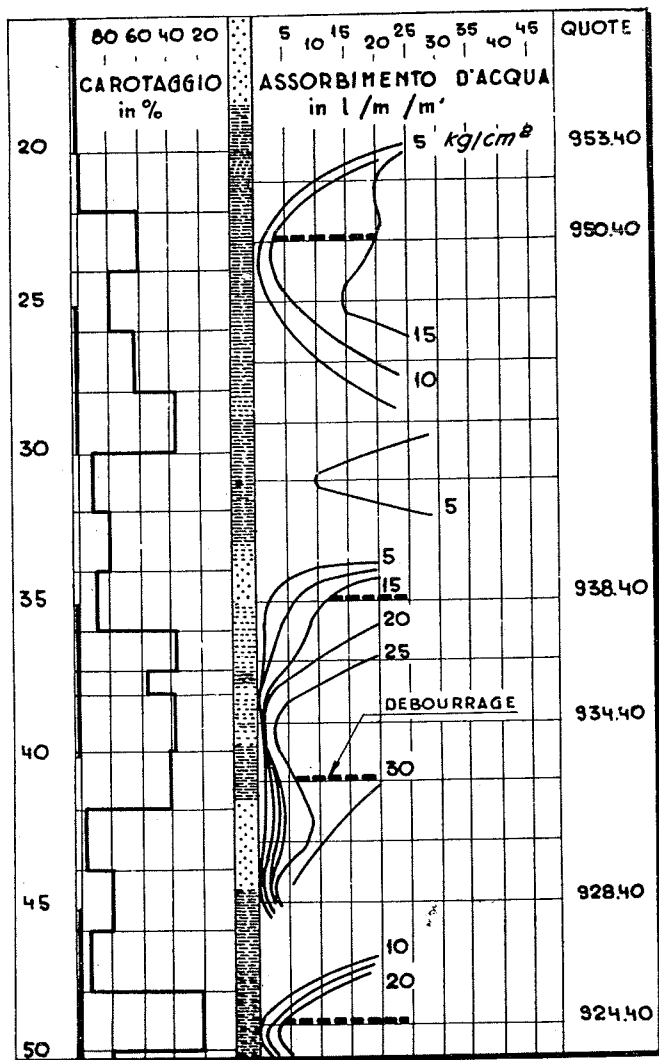


Fig. 1 - Debourrages nel sondaggio S. R. D. 3.

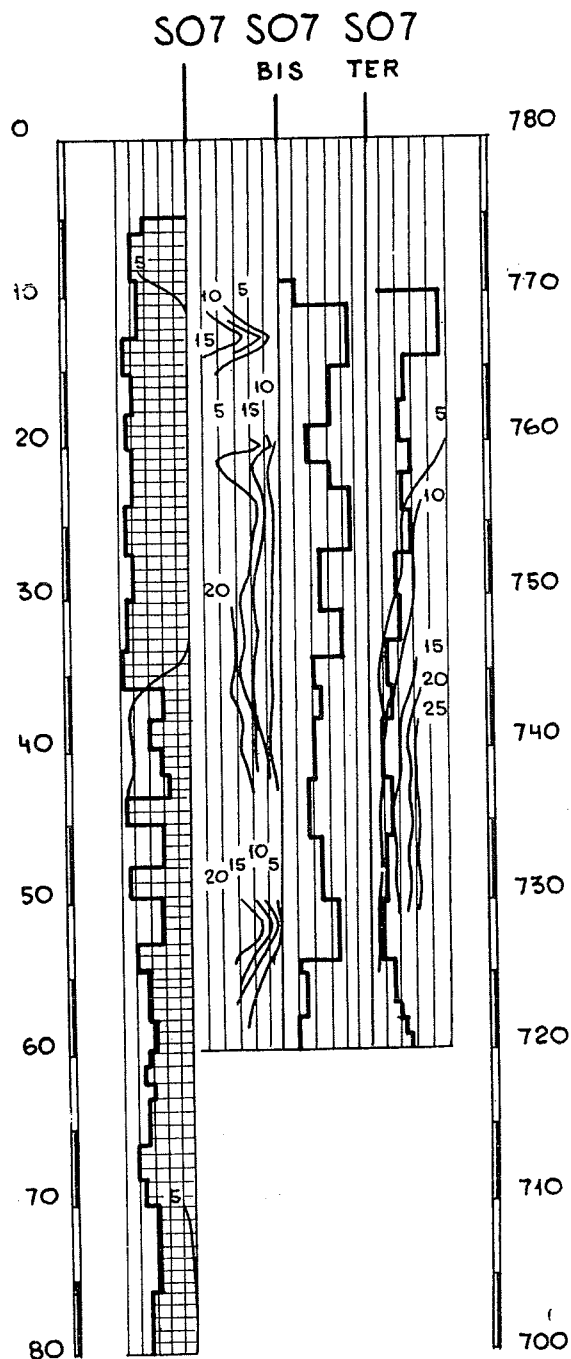


Fig. 2.

Ad ogni pressione corrisponde una curva isopiezica che indica le portate assorbite lungo il sondaggio.

Tale metodo di rappresentazione permette di mettere in luce il «debourrage» cioè l'aumento brusco della portata dovuto all'apertura di una fessura o al distacco di un giunto per effetto della pressione: in tal caso le due curve rappresentative della pressione inferiore e di quella superiore a quella del «debourrage» si discostano bruscamente.

Il fenomeno inverso, cioè la saturazione di tasche isolate di terreno permeabile è ugualmente messo in evidenza dall'accostamento delle curve isopieziche a quella di pressione massima e dal diminuire degli

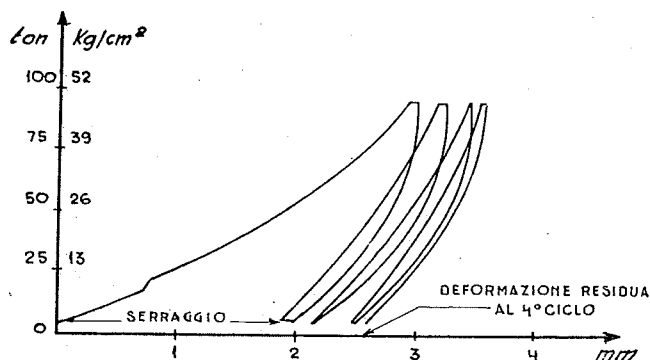


Fig. 3 - Prova di carico in terreno non iniettato.

assorbimenti con l'aumentare della pressione (vedi fig. 2).

Le prove di permeabilità sono state seguite da prove di carico su carote e in sito per mettere in evidenza le caratteristiche meccaniche del terreno.

I due diagrammi riportati (fig. 3 e 5) mettono in luce come la roccia ha un modulo «*E*» molto basso, con forti deformazioni residue dopo il primo ciclo di carico nel caso delle arenarie compatte (serraggio iniziale), e con un fenomeno di deformazioni irreversibili proporzionali alla pressione di carico nel caso delle microarenarie.

Con iniezioni a forte pressione era lecito attendersi una diminuzione del serraggio iniziale e delle deformazioni irreversibili.

Una prima serie di iniezioni di cemento è servita per fissare le modalità da seguire per ottenere i migliori risultati possibili.

L'analisi dei terreni iniettati, resa possibile dalla apertura di una galleria d'ispezione, ha condotto ai seguenti criteri da seguire:

- uso di cemento ad elevato grado di finezza e di elevate qualità meccaniche;
- rapporto cemento/acqua superiore ad 1;
- mescolamento a forte velocità di rotazione senza uso di catalizzatori colloidali tipo bentonite, dannosi per le resistenze;
- pressioni e velocità d'iniezione elevate in modo da evitare zone lavate dalla boiaccia fluida e non bene consolidate.

Il risultato che ci si proponeva di raggiungere era una vera e propria compattazione del terreno vincendo la coesione naturale e colmando le fessure con un cemento di elevata qualità.

Mentre quindi nella prima fase di iniezioni si trattava di perfezionare dei metodi già impiegati correntemente per il consolidamento di terreni, si è cercato in tale seconda fase di ottenere una modifica di natura fisica delle microarenarie più o meno cementate e fessurate, modifica molto aleatoria e controllabile solo con delle misure a posteriori dei moduli di elasticità.

Una galleria d'ispezione è stata quindi aperta nella zona iniettata ad alta pressione e in essa sono state eseguite diverse prove di carico.

Si riporta il risultato di una a titolo esemplificativo (fig. 4): si vede la differenza fra l'ordine di grandezza delle deformazioni in questo caso e in quello riportato nelle fig. 3 e 5.

Si riportano pure i risultati di prove di carico di lunga durata (100 ore) eseguite in terreno iniettato ad alta pressione e terreno non iniettato: anche qui sono evidenti le migliorate caratteristiche meccaniche (figg. 6 e 7).

In conclusione i risultati ottenuti hanno dimostrato che le microarenarie incontrate sono suscettibili di essere migliorate nelle loro qualità.

Tale miglioramento, ottenuto con iniezioni di cemento a pressione fino a 100 Kg/cm², in quanto consiste nel vincere la coesione interna del terreno per compattarlo, sarà più importante per i terreni più compressibili, cioè a caratteristiche meccaniche peggiori.

I moduli di elasticità misurati in condizioni di carico molto simili a quelle che si verificheranno in pratica hanno consentito di fare affidamento su valori non inferiori a 50.000 Kg/cm²: questo renderà possibile la soluzione «*diga ad arco*» o «*a gravità alliggerita*», soluzione che i risultati iniziali avevano senz'altro sconsigliato.

3) *Lo sbarramento di Sidi Driss su l'Oued Lakhdar* - Altra zona studiata per la costruzione di una diga di ritenuta su l'Oued Lakhdar è la stretta di Sidi Driss.

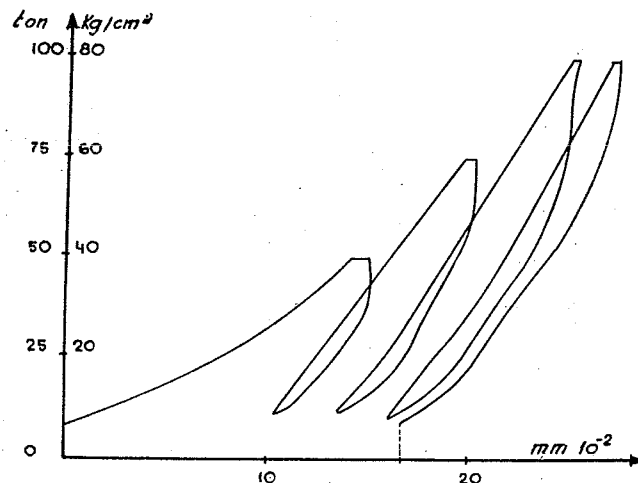


Fig. 4 - Prova di carico su terreno consolidato.

Lo studio iniziale aveva portato a dimensionare un'opera di 70 metri di altezza con un volume d'invaso di m³ 106.000.000.

I lavori d'indagine geognostica hanno mostrato come fosse conveniente costruire a Sidi Driss una semplice opera di presa di una decina di metri d'altezza al massimo, spostando a monte, ad Ait Chouarhit, la diga di ritenuta.

Non sarà tuttavia impossibile, previo un accurato lavoro di consolidamento e impermeabilizzazione delle dolomie e dei calcari marnosi, la costruzione a Sidi Driss di una diga di ritenuta.

4) *Lo sbarramento di Timi N'Outine* - Tale sbarramento costituisce insieme a quello di Ait Chouarhit uno dei due punti chiave di tutto il sistema di utiliz-

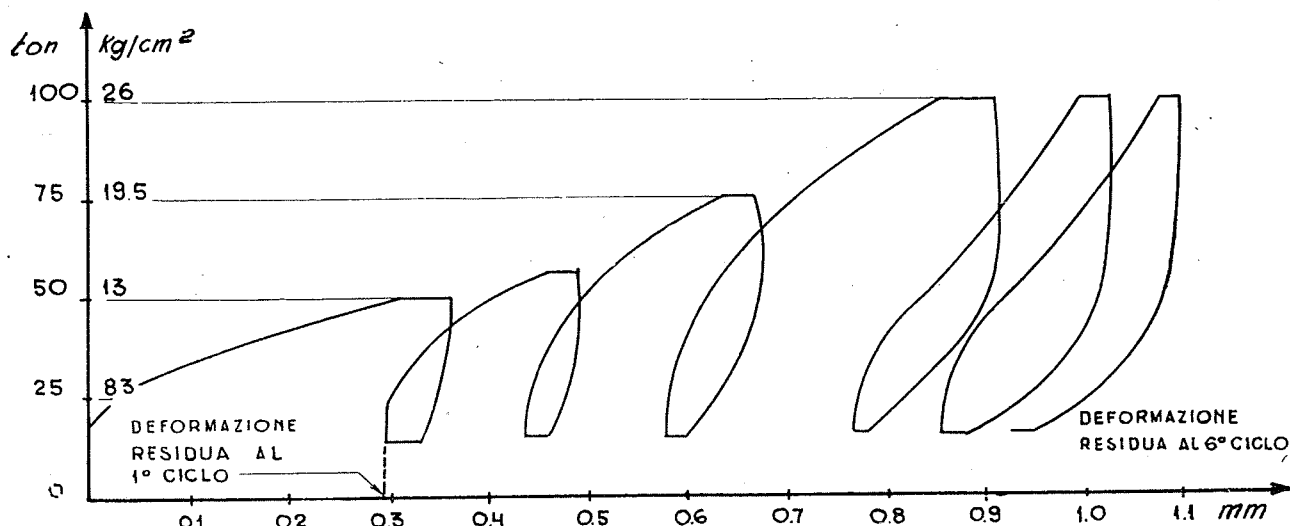


Fig. 5 - Prova di carico in microarenarie non consolidate.

zazione delle risorse idriche del versante nord della catena dell'Atlante.

Le indagini geognostiche e le prove di carico in sito hanno messo in luce la non idoneità della roccia a sopportare i carichi trasmessi da una diga in calcestruzzo o in muratura.

E' stato pertanto condotto un sistematico studio per decidere della possibilità di realizzare lo sbarramento con una diga in terra.

I terreni analizzati si sono rivelati di ottima composizione granulometrica, con un elevato limite di resistenza meccanica anche dopo imbibizione.

Peraltro la percentuale d'acqua con la quale si è raggiunto l'optimum nella compattazione in sede di laboratorio è stato molto bassa per cui sarà necessaria in pratica una notevole energia di compattazione.

5) *Lo sbarramento di Tankist* - Lo studio geologico ha permesso di individuare una serie alternata di banchi scistosi, quarzitici, e di arenarie, con giacitura sub-verticale, di cui i primi costituiscono la parte

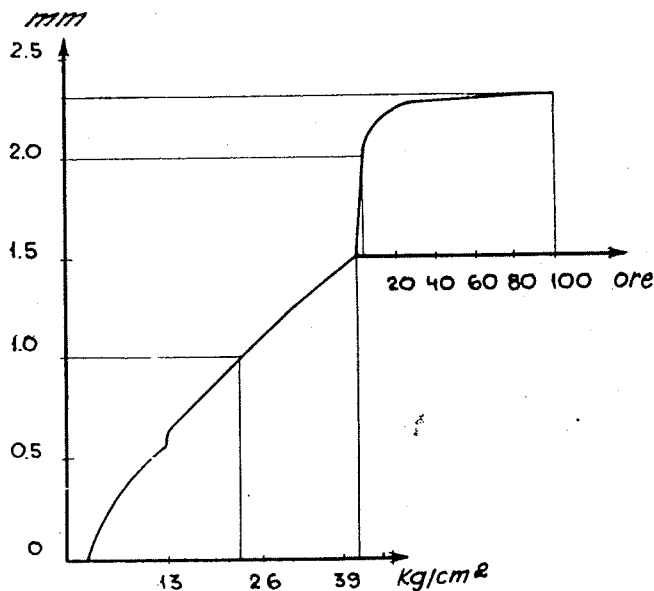


Fig. 6 - Prova di carico di lunga durata su terreno non consolidato.

centrale di un grande sinclinale tagliato perpendicolarmente dal corso d'acqua.

Tale sinclinale è stato poi disturbato da altri movimenti locali, che hanno provocato faglie, zone rimaneggiate, e fenomeni di metamorfismo nei tre tipi di rocce precedentemente indicati.

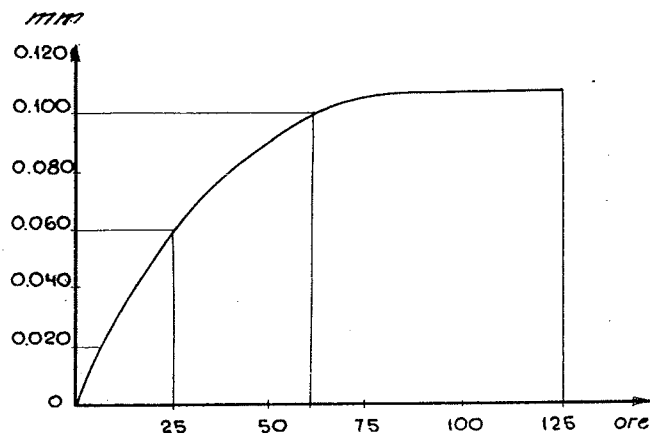


Fig. 7 - Prova di carico di lunga durata su terreno consolidato.

Le prove di carico e di permeabilità eseguite lasciano pensare alla possibilità di eseguire il consolidamento degli scisti e delle quarziti secondo il criterio seguito per lo sbarramento di Ait Chouarhit.

Per le zone scistose alterate, con passaggio a termini psammitici sarà prudente eseguire un accurato lavoro di protezione con iniezioni di silicati contro le alternanze di umidità e secco.

Dati i notevoli movimenti che le rocce hanno subito con conseguenti alterazioni fino a termini argillosi, si hanno variazioni locali di compressibilità, durevolezza e impermeabilità tali da sconsigliare l'adozione di una soluzione con diga in muratura o in calcestruzzo.

A conclusione delle prove eseguite viene indicata come la più idonea la soluzione con diga in pietrame alla rinfusa.

M. Beomonte