

# Recensioni

## Criteria di progettazione e comportamento della diga in terra di Selset

A. W. BISHOP; P. R. VAUGHAN - « *Selset Reservoir: Design and performance of the embankment* » - Proc. Instn. Civ. Engrs., vol. 21 (febr. 1962), pagg. 305-346.

La memoria, oggetto di questa recensione, riferisce sulle caratteristiche e sul comportamento della diga di Selset, ubicata a sbarramento del fiume Lune nello Yorkshire settentrionale (Inghilterra del Nord). Essa è costituita da un rilevato omogeneo alto 39 m, di terreno argilloso (boulder clay) con intercluso un nucleo di argilla lavorata.

I fattori che hanno reso interessante l'esecuzione dell'opera sono: la regione particolarmente piovosa e la situazione geologica della vallata, che hanno solle-

Inoltre le scarpate, specialmente quelle a sud e a valle della diga, erano in condizioni di instabilità.

Pertanto assieme al problema principale della pressione dei pori, si affiancavano difficoltà di fondazioni e si rendevano necessarie misure per il consolidamento di quei pendii nei quali si erano verificati dei frangimenti ancor prima della costruzione dello sbarramento.

In considerazione di tali problemi e delle caratteristiche del materiale di fondazione e di rilevato molto impermeabile, è stato accettato come principio base di progettazione il controllo accurato e continuo delle pressioni dei pori che ha reso possibile la realizzazione dell'opera con successo.

Nel calcolo di stabilità della diga si è fissato il coefficiente di sicurezza  $F = 1,5$  e si è tenuto conto della sua interdipendenza con la pressione neutra  $u$ . Più convenientemente è stato introdotto il rapporto

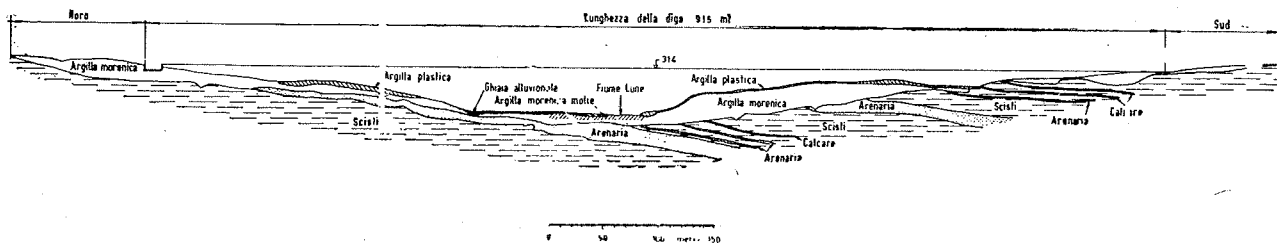


Fig. 1 - Sezione geologica della valle.

vato notevoli problemi costruttivi, associati sempre ad uno sviluppo notevole di pressione neutrale.

La sezione geologica in corrispondenza della diga — rappresentata schematicamente in Fig. 1 — mette in evidenza la presenza di argilla, spesso poco compatta, a copertura di strati composti da scisti, arenarie e calcari aventi una marcata inclinazione a sud.

$r_u = u/\gamma \cdot h$ , fra la pressione  $u$  e il peso di terreno che sta al di sopra dei punti della potenziale superficie di slittamento, di cui il coefficiente di sicurezza per una data scarpata è una funzione inversa. Con un pendio di 4:1 e valori di  $\phi'$  e  $c'/\gamma H$  approssimativamente eguali a quelli del rilevato di Selset, tale legge, in corrispondenza di una variazione di  $r_u$

da 0,33 a 0,56, riduce il coefficiente da 1,5 a 1 (Fig. 2), e ciò può verificarsi non appena il contenuto in acqua di costipamento durante la posa in opera della terra vari di solo l'1%.

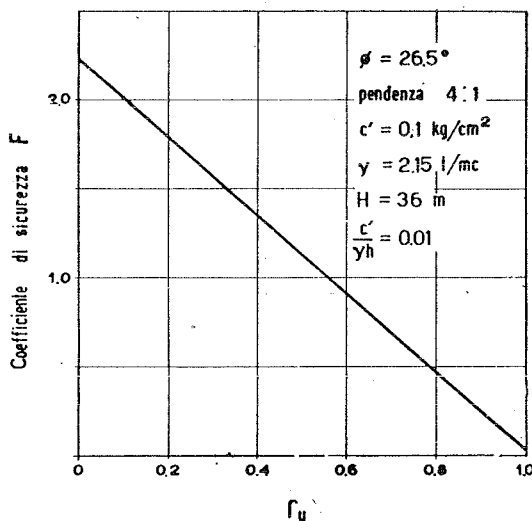
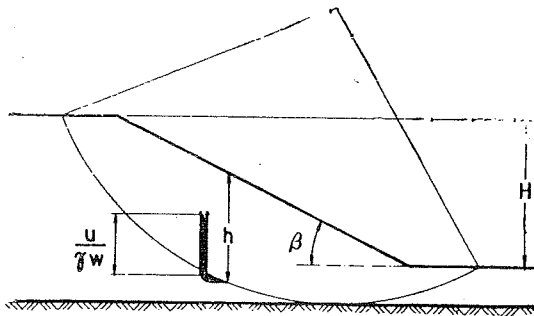


Fig. 2 - Relazione fra il coefficiente di sicurezza  $F$  ed il rapporto  $r_u$ .

Nel considerare il caso del serbatoio di Selset, dove l'argilla usata nella costruzione dello sbarramento era di natura morenica (boulder clay) con proprietà indici

comprese entro i limiti seguenti:

frazione argillosa %	16 - 28
LL %	22 - 39
PL %	14 - 19
IP	8 - 20

si è ricavato che la diga, durante e dopo la costruzione, si sarebbe trovata in condizioni quanto mai critiche.

In considerazione di tutto questo, la soluzione più economica e che dava garanzia di sicurezza nell'esecuzione dell'opera apparve quella di inserire nel rilevato una serie di strati drenanti orizzontali, col compito di ridurre la pressione neutra in eccesso (Fig. 3).

I dreni sono stati progettati con spessore di 23 cm, distanti verticalmente 4,5 m, in base alla stima del grado di consolidamento raggiungibile dagli strati di argilla, compresi fra due dreni, in tre anni di lavoro previsti. Il coefficiente di consolidamento  $c_v$ , ricavato dalle prove edometriche, è stato fissato in  $5,5 \cdot 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/sec, mentre il materiale filtrante è stato scelto con un coefficiente di permeabilità  $k$  dell'ordine di  $5 \cdot 10^{-2}$  cm/sec.

Con la sezione tipica rappresentata nella Fig. 3, è stata eseguita la verifica allo slittamento usando valori di  $r_u = 0,4$ ,  $c' = 0,25$  kg/cm<sup>2</sup>,  $\varphi = 24^\circ$ , nel rilevato e  $r_u = 0,8$ ,  $c' = 0$ ,  $\varphi = 24^\circ$  nel nucleo, ottenuti da prove di compressione triassiale a drenaggio chiuso. Per le superfici di slittamento più critiche sono stati riscontrati valori dei coefficienti di sicurezza  $F$  pari a 1,5 nel caso di superfici circolari e valori di circa 1,25 nel caso di superfici composite.

Il controllo del comportamento effettivo dell'opera così progettata, durante e dopo la costruzione, è stato effettuato con misure della pressione dei pori e degli spostamenti all'interno e all'esterno del rilevato. L'installazione dei piezometri e le relative osservazioni sulle pressioni dell'acqua, costituiscono la parte più delicata e interessante delle opere di controllo e sono state oggetto di una memoria dettagliata del primo Autore in collaborazione con altri (1).

(1) BISHOP, KENNARD, PENMAN: *Pore-pressure observation at Selset dam - Pore pressure and suction in soils* - Butterworths - London 1961.

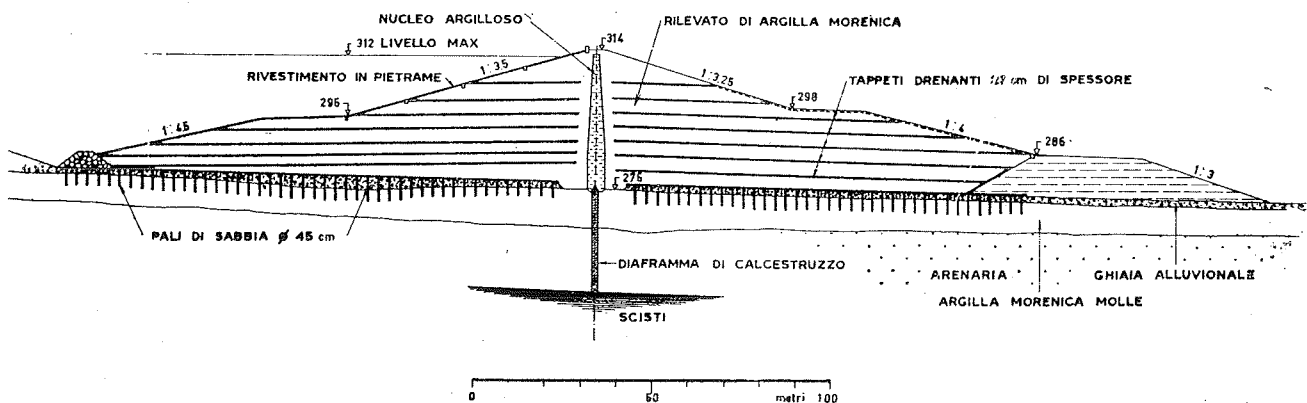


Fig. 3 - Sezione maestra della diga.

E' stato possibile con questi mezzi un utile confronto fra i valori previsti dalle prove di laboratorio e quelli realizzati « *in situ* », rilevando un buon accordo, pur con qualche divergenza imputabile principalmente alle variazioni locali del contenuto in acqua, all'uso di piezometri non sempre efficienti, ed alla diversa velocità di aumento della pressione neutra in posto e in laboratorio.

Di particolare interesse è risultato il fenomeno di assestamento relativo del nucleo rispetto al rilevato, che ha fatto registrare un cedimento verticale più marcato, sviluppando, come conseguenza, degli sforzi di taglio lungo i fianchi del nucleo stesso e riducendo quindi gli sforzi verticali dovuti al peso del terreno. Questo ha potuto spiegare la minore entità della pressione dei pori misurata nell'argilla satura, rispetto a quella prevista. C'è comunque da osservare, riguardo a quest'ultima interpretazione, che il numero delle osservazioni è stato piuttosto limitato e che si è fatto uso di estrapolazioni lineari nel periodo di sospensione dei lavori.

L'indagine geologica e i sondaggi effettuati nell'alveo del fiume Lune sulla sezione di imposta del rilevato, avevano indicato l'esistenza di zone composte da argilla poco compatta, caratterizzata — pur mediando largamente i vari valori trovati — da una resistenza al taglio inferiore di circa la metà a quella necessaria alla fondazione per rimanere in condizioni stabili.

Si è quindi presentato il problema di aumentare la suddetta resistenza, mediante consolidamento con dreni verticali di sabbia, fino ad un valore valutato in 1,6 kg/cm<sup>2</sup>.

Il calcolo, basato su un  $c_v = 2,5 \cdot 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/sec, ha fissato una disposizione dei pali di sabbia a maglia quadra di 3 m. di lato. La loro efficacia è stata controllata da 14 piezometri posti al centro di altrettanti gruppi rappresentativi posti sia a monte che a valle del diaframma centrale. La successiva verifica di stabilità della fondazione ha fornito, per la superficie di slittamento più critica, un coefficiente  $F = 2,4$ .

Questo valore molto elevato riflette la differenza esistente fra la stima fatta in laboratorio e quella osservata « *in situ* » del coefficiente di consolidamento  $c_v$ , che, anche a motivo di una serie di campioni prelevati non completamente rappresentativi, è risultata essere da 1 a 3.

La formazione del serbatoio ha — come è stato precedentemente accennato — ulteriormente accentuato il problema di stabilità della vallata, in particolare della scarpata a sud immediatamente dopo la nuova diga, dove si erano già verificati fenomeni di frana. Un'analisi di stabilità dei pendii lungo il corso del fiume Lune era stata effettuata da SKEMPTON e BROWN in una memoria in cui sono riportati i dati dell'indagine (2).

La verifica della situazione preesistente, fatta con i cerchi di slittamento e basata su dati di laboratorio e sulla pressione dell'acqua — il cui livello nell'ipotesi peggiore coincideva con la superficie del terreno — aveva dato luogo a un valore del coefficiente di sicu-

rezza leggermente inferiore a 1, dove le pendenze naturali erano di 1,9 : 1.

Era quindi evidente che la prima sistemazione poteva consistere in un addolcimento delle scarpate che fu portato ad un valore pari a 2,5 : 1 con il risultato di aumentare, nella successiva verifica di pendio, il coefficiente di sicurezza da circa 0,99 a 1,28.

Il pericolo maggiore, sorto come conseguenza dello innalzamento del pelo libero dell'acqua a monte della diga e della zona franosa, era rappresentato dall'aumento delle sottopressioni alla base degli strati di argilla generato da un moto di filtrazione verso la roccia sottostante relativamente più permeabile.

Per ridurre tale inconveniente è stata costruita una galleria che, partendo dal fianco del pendio a quota opportuna, è stata spinta fino ad intercettare la congiunzione tra argilla e roccia. Su tale galleria sono stati innestati dei pozzi di cemento poroso, infissi dalla superficie del terreno, per migliorare il drenaggio e controllare le pressioni di filtrazione entro limiti non pericolosi.

Tali sottopressioni sono state inoltre controllate con misure eseguite da piezometri e con l'inserimento di pozzi drenanti su tutta la zona a valle del diaframma centrale, posto sotto il nucleo della diga, e specialmente al piede del rilevato, dove le sottopressioni hanno raggiunto valori pari all'80% del peso del terreno sovrastante. Il pronto funzionamento dei pozzi però ha sempre evitato che tale zona critica si trovasse in situazione di instabilità.

Nel complesso il comportamento della diga di Selsset, come stanno ad indicare le misure della pressione dei pori e dei cedimenti, fatte dagli strumenti collocati in varie parti dell'opera, può ritenersi soddisfacente e in accordo con le previsioni fatte in fase di progetto sulla base delle prove di laboratorio.

Le misure adottate in fase di esecuzione, tendenti: ad accelerare il processo di dissipazione della pressione neutrale con l'impiego di tappeti drenanti nel rilevato; ad accelerare il processo di consolidamento della fondazione con dreni di sabbia verticale; a diminuire le pressioni di filtrazione, o sottopressioni, a valle del diaframma con l'adozione di opportuni pozzi di scarico, si sono dimostrate i mezzi più efficaci con i quali, solamente, è stata possibile la realizzazione dell'opera in condizioni di sicurezza.

Giuseppe Matteotti

### Norme sismiche austriache

In « *Earthquake resistant regulations of the world* » a cura del Comitato Organizzatore del 2° Congresso Internazionale di Ingegneria Sismica in Giappone, 1960.

Le norme sismiche austriache sono riunite con quelle relative alle sollecitazioni del vento e sono contenute nella ÖNORM - B - 4000 - 3ª Parte (Calcolo ed esecuzione delle strutture portanti - Fondamenti generali).

Il paragrafo 3 di questa parte della ÖNORM con tre articoli prescrive i criteri da seguire per tener conto dell'azione sismica, là dove questa è da preve-

(2) SKEMPTON A. W., BROWN J. D.: *A landslide in boulder clay at Selsset, Yorkshire*, Geotechnique, vol. XI, n. 4, 1961.