

ta passando dalla quota + 0,50 alla quota - 2,00; in altri casi è stato riscontrato un andamento opposto, senza apparente influenza degli altri fattori sperimentali.

Pertanto l'opinione corrente secondo la quale le palancole si corrodono più intensamente in corrispondenza della quota dell'acqua non risulta confermata.

Passando ad esaminare l'influenza della presenza del rame nella lega di cui sono costituite le palancole, l'A. fa notare che le palancole costituite di ferro e rame non si sono corrose meno delle palancole costituite di solo ferro. Si deve concludere perciò che la presenza del rame non favorisce la resistenza alla corrosione.

Un altro fattore sperimentale nell'indagine dell'A. è rappresentato dagli anni di servizio delle palancole; come si è accennato questi variavano tra 21 e 29. Per le palancole con minor numero di anni di servizio si è ottenuto uno spessore medio annuo di corrosione pari a 0,012 mm; per le palancole con il massimo numero di anni di servizio tale valore è risultato di 0,008 mm. Da questi dati risulta quindi che il fenomeno della corrosione non procede linearmente nel tempo, ma è più intenso nei primi anni. Ciò confermerebbe i risultati di indagini precedenti; per trarre delle conclusioni definitive al riguardo occorrerebbe però estendere le osservazioni ad un periodo di vita delle palancole più esteso.

Vi sarebbe ancora da chiedersi infine se lo spessore della zona corrosa sia maggiore sulla faccia della palancola rivolta verso l'acqua o su quella rivolta verso il terrapieno. Su ciò l'A. non istituisce un vero confronto fra le misure, ma si limita ad osservare che da un esame qualitativo dei campioni la corrosione è sembrata relativamente più intensa sulla faccia rivolta verso l'acqua.

Sulla base delle misure eseguite, l'A. istituisce in ultimo calcolo del tempo necessario perchè la palancola si perfori; risulta che con il valore medio annuo più sfavorevole di 0,017 mm, ottenuto nelle misure, la vita di una palancola dello spessore di 7 mm (profili *Larssen I<sup>a</sup>*, *Hoesch I<sup>a</sup>*, *Krupp KS*) dovrebbe essere di 410 anni.

Ammettendo una corrosione di 1 mm, che nell'ipotesi precedente si dovrebbe verificare in 59 anni, la diminuzione del momento resistente di una palancola con profilo analogo risulterebbe del 15 %. Una diminuzione del momento resistente del 50 % si verificherebbe in 235 anni.

Calcolando in base al valore annuale di 0,010 mm, che è il valore medio e non il più sfavorevole, la stessa diminuzione si verificherebbe teoricamente in 400 anni.

Come si è posto in evidenza, l'A. ha eseguito una serie di confronti tra i vari fattori sperimentali che possono influenzare lo spessore della zona soggetta a corrosione nelle palancole metalliche. Non tutti questi confronti sono chiaramente interpretabili sul piano statistico, specialmente per quanto riguarda le interazioni. Ma valutando i risultati delle misure nel loro complesso è possibile concludere con l'A. che la corrosione non influenza apprezzabilmente la vita del-

le palancole metalliche e che lo spessore della zona corrosa non è tale da alterare sensibilmente il valore del momento resistente, se si ammette che la vita normale di un'opera di ingegneria è limitata a qualche secolo.

E' da tener presente però che le indagini dell'A. sono state eseguite su palancole che si trovano a contatto di acqua dolce ed esente da sostanze aggressive; poiché la composizione dell'acqua è senza dubbio uno dei fattori più importanti che influenzano il fenomeno della corrosione, le conclusioni dell'A. non possono senz'altro trasferirsi a tutti i casi della pratica.

R. Jappelli

#### L'uso delle iniezioni quali mezzo d'opera (*Iniektionen als Bauhilfsmassnahme*)

GÜMBEL K. - Die Bautechnik H. 3, 1956, pagine 94-96.

In occasione del II Convegno di Geotecnica (Roma, 1954), l'Ing. G. BARONCINI (1) illustrò un interessante caso di impermeabilizzazione di alluvioni profonde a mezzo di iniezioni di miscele di cemento e bentonite; scopo delle iniezioni era quello di consentire lo scavo per la costruzione del tampone della diga di Barrea della Società Meridionale di Eletticità. L'esperienza acquisita in occasione di questo lavoro indusse allora l'Ing. BARONCINI a concludere che nel caso delle alluvioni a grana grossa è possibile ottenere un consolidamento ed un'impermeabilizzazione tecnicamente perfetti mediante l'iniezione di particolari sostanze o miscele.

Un'interessante conferma di queste conclusioni viene portata dall'A. dell'articolo qui recensito, che descrive un caso in cui le iniezioni sono state adoperate quale mezzo d'opera per consentire l'esecuzione di un grande scavo in acqua in alluvioni a grana grossa.

I lavori, cui si riferisce l'A., sono quelli in corso sul « *Grand Canal d'Alsace* » nel tratto tra Basilea e Strasburgo per conto della Electricité de France.

Come è noto, lungo il Reno è già da molto tempo in costruzione una serie di traverse di sbarramento con annesse centrali idroelettriche. Finora è stato costruito, nell'ordine da monte verso valle, l'impianto di Kembs (1932) e quello di Ottmarsheim (1952); è in corso di completamento l'impianto di Fessenheim e sono stati da poco iniziati i lavori per l'impianto di Biesenheim. Altri tre impianti sono in fase di studio.

I terreni lungo l'asta del fiume sono costituiti da una formazione marnosa di base del terziario, molto compatta e poco permeabile, ricoperta da alluvioni recenti costituite da ghiaia e sabbia in strati alternati. Le curve granulometriche rappresentative della ghiaia e della sabbia sono riportate nella figura 1. Lo spessore della coltre alluvionale, che va aumen-

(1) BARONCINI G. - *Impermeabilizzazione di alluvioni profonde a mezzo di iniezioni con miscele stabilizzate di cemento e bentonite* - Geotecnica n. 5, 1954.

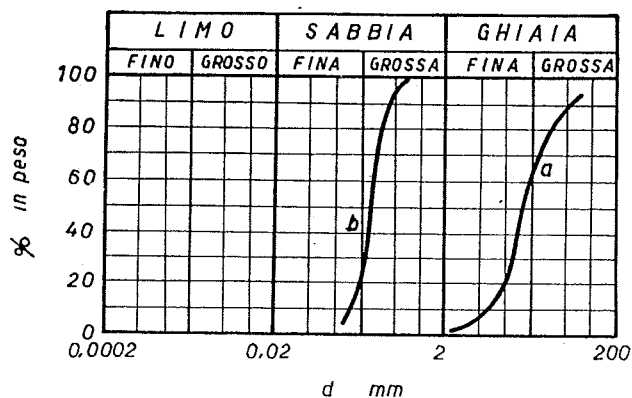


Fig. 1 - Centrale di Fessenheim - Curve granulometriche dei terreni permeabili di fondazione

tando da monte verso valle, è dell'ordine di qualche metro a Kembs e ad Ottmarsheim, e raggiunge i 200 m nei due impianti successivi di Fessenheim e di Biesenheim.

Per questa ragione i problemi costruttivi sono stati diversi nei vari casi. Mentre a Kembs e a Ottmarsheim è stato possibile procedere agli scavi di fondazione recingendo i cantieri con palancole di modeste proporzioni, a Fessenheim il problema è apparso subito molto più difficile.

Prima di descrivere le indagini che sono state effettuate ed il metodo di costruzione adottato a Fessenheim, l'A. fornisce alcune caratteristiche di questo impianto. Queste sono:

**Canale:** lunghezza (tra Ottmarsheim e Fessenheim) 16,5 Km - larghezza 92,5 m - profondità media 8,5 m - portata massima 1080 mc/sec.

**Chiusa:** a due bacini paralleli con dimensioni in pianta di 185 × 23 m e 185 × 12 m rispettivamente - massima differenza di livello d'acqua 18 m - tempo di riempimento rispettivamente 1,5 ÷ 3,0 min.

**Centrale:** dimensioni in pianta 157,7 × 67,2 m - altezza 52,0 m - macchinario costituito da quattro turbine Kaplan, ciascuna alimentata da una portata max di 290 mc/sec - potenza di 100.000 MWh.

La struttura per la quale si è presentato il più grave problema di fondazione è l'edificio della centrale. Le dimensioni degli scavi di fondazione di questo edificio misurano in pianta 175 × 88,8 m (v. figura 2); la profondità del piano di posa è variabile tra 22 e 32 m rispetto al piano di campagna. La falda si trova alla profondità di m 4,5 dal piano di campagna.

Le varie soluzioni in progetto prevedevano l'adozione di ture metalliche e di un calcestruzzo, abbassamento della falda, cassoni pneumatici, iniezioni. Per individuare la soluzione più idonea è stata effettuata una serie di studi e di prove intesa a determinare il profilo esatto dei terreni di fondazione, la loro permeabilità, la prevedibile portata affluente in uno

scavo aperto delle dimensioni suaccennate e l'iniettabilità dei terreni.

Oltre alle usuali prove di ritorno sono state effettuate due prove di pompaggio; la prima in uno scavo rettangolare delle dimensioni di 75 × 40 m e della profondità di 3 m al di sotto della falda, la seconda in uno scavo circolare del diametro di 20 m e della profondità di 8 m al di sotto della falda. Sono state effettuate inoltre alcune indagini con metodi geofisici per determinare la porosità del terreno, ma su queste l'A. non fornisce sufficienti chiarimenti.

Dal complesso di prove eseguite è risultato un coefficiente di permeabilità dei terreni con curva granulometrica *a* della fig. 1 dell'ordine di qualche unità per  $10^{-1}$  cm/sec $^{-1}$ . L'A. non fornisce dati sulla permeabilità dei terreni con la curva granulometrica *b* della fig. 1, nè sulla frequenza con la quale si rinviene quest'ultimo materiale rispetto al precedente, nè infine sulla permeabilità della formazione nel suo complesso.

In base ai risultati delle prove di permeabilità e di pompaggio è stato possibile valutare la portata da smaltire in uno scavo aperto delle dimensioni già indicate: per un abbassamento della falda di 30 m questa portata è di 6 mc/sec, mentre limitando l'abbassamento a soli 12 m la portata è di 2 mc/sec.

Alla soluzione con cassoni pneumatici, menzionata all'inizio, l'A. non accenna più in seguito. Rimanevano le seguenti soluzioni:

- Scavo aperto con abbassamento della falda;
- Scavo aperto con palancole ed abbassamento della falda;
- Scavo aperto con impermeabilizzazione completa delle pareti e del fondo mediante iniezioni.

La prima soluzione è stata scartata. Tra le soluzioni *b* e *c* è stata prescelta la soluzione *c*, combinandola con un parziale abbassamento della falda: l'impermeabilizzazione dei terreni è stata effettuata a profondità maggiori di 12 m circa dal piano di campagna, corrispondenti a sette metri al di sotto del livello indisturbato della falda; per i primi sette metri si è eseguito invece l'abbassamento della falda.

Tra quest'ultima soluzione e la soluzione *b* l'A. effettua un interessante confronto economico. Ne risulta che con le iniezioni ed abbassamento della falda a 7 m si è realizzato un risparmio del 16%. Secondo quanto fa notare l'A. la spesa per il preliminare abbassamento della falda, necessario per la pratica impossibilità di effettuare le iniezioni con ricoprimenti troppo bassi, rappresentava in questo caso una percentuale notevole del costo totale. Pertanto, se si fosse potuto evitare tale abbassamento preliminare, la maggiore economia della soluzione con iniezioni rispetto alla soluzione con palancole sarebbe stato pari al 25 ÷ 30%.

Inoltre, in favore della soluzione con le iniezioni, occorre tenere presente le difficoltà che si incontrano nel battere le palancole in terreni alluvionali a grana grossa.

L'A. fornisce quindi alcuni dettagli esecutivi relativi al lavoro di iniezione.

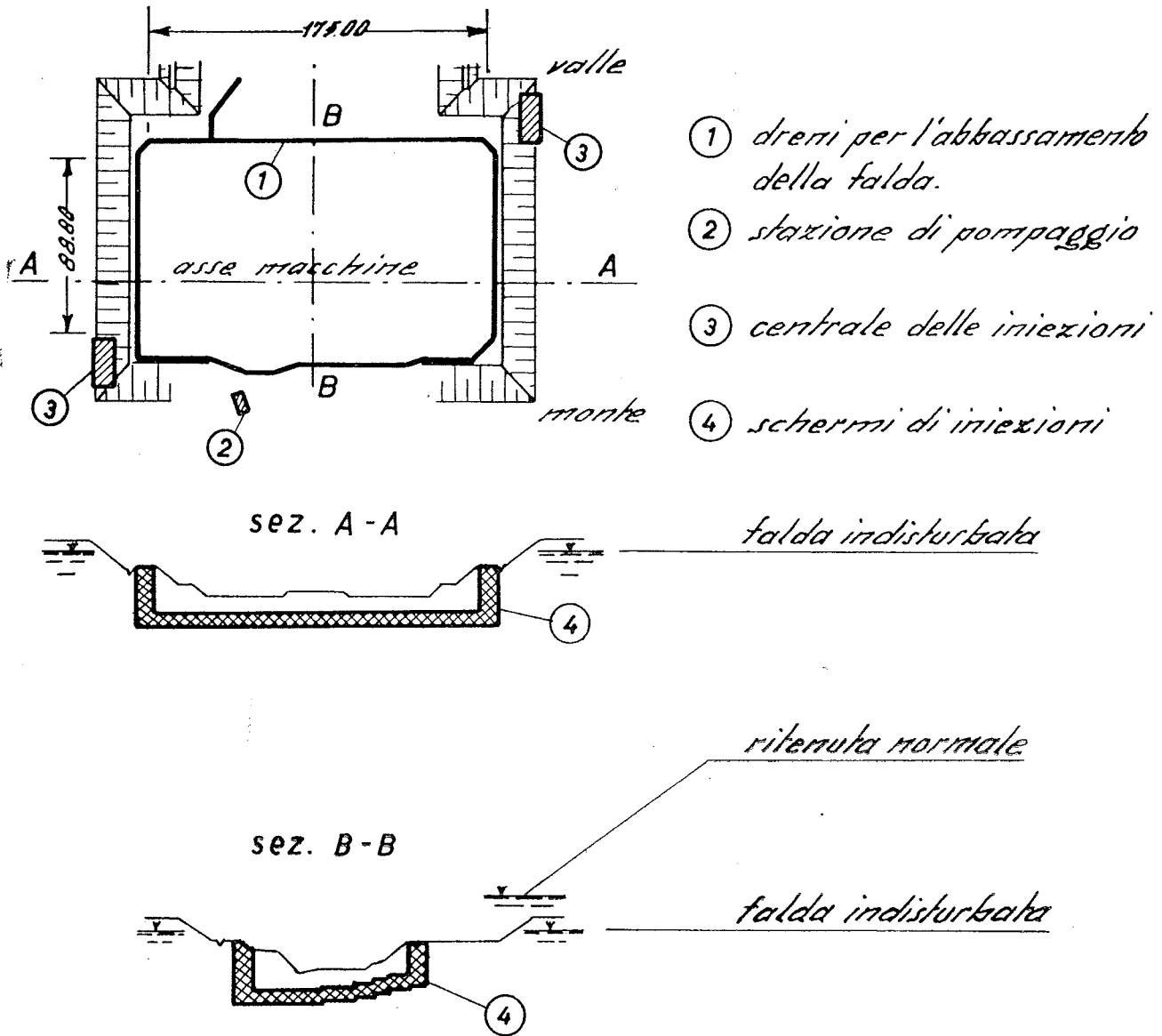


Fig. 2 - Pianta e sezioni dello scavo di fondazione della centrale con le cortine di iniezioni

Le miscele adoperate erano diverse a seconda del materiale incontrato; negli strati di ghiaia è stata adottata una sospensione di cemento e argilla; negli strati di sabbia una soluzione a base di silicati. E' evidente però, che, data la variabilità degli strati, le due miscele necessariamente si mescolavano fra loro e la loro azione si integrava a vicenda.

Il processo di iniezione è stato eseguito entro fori di sondaggio iniziando dal basso e proseguendo verso l'alto.

Al termine del lavoro le cortine verticali ed orizzontali di iniezioni si presentavano come è indicato schematicamente nella fig. 2.

Per la cortina orizzontale, che ha una superficie di 14.000 mq ed uno spessore teorico di 8 m, sono state adoperate 12 sonde e 24 mescolatrici ed apparecchi di iniezione. Sono stati eseguiti in totale 7.000 m di foro. La cortina verticale ha uno sviluppo di 16.000 mq ed uno spessore di 9 m; per essa sono stati eseguiti 15.500 m di foro con due file di sondaggi alla distanza di 3 m l'una dall'altra.

Complessivamente sono state iniettate 42.500 t di materiale (argilla 35.000 t, cemento 5.500 t, prodotti chimici 2.000 t).

I risultati raggiunti sono stati pienamente soddisfacenti: una volta terminato il lavoro di iniezione è stato possibile infatti eseguire lo scavo di fondazione all'asciutto, con il pompaggio di soli 100 l/sec.

L'A. conclude osservando che il successo del procedimento adottato si deve interamente alla precisione e completezza con la quale sono state svolte le indagini e le prove sui terreni in sito. Il costo di queste indagini è risultato pari al 5,5 % del costo dell'intero lavoro di iniezione.

Il caso che abbiamo illustrato dimostra che con lo sviluppo attuale raggiunto dalla tecnica delle iniezioni è già possibile prevedere l'uso di cortine di iniezioni, opportunamente studiate e realizzate, quale mezzo d'opera in sostituzione delle palancole, che mal si prestano in terreni a grana molto grossa.

R. Jappelli