

IMPERMEABILIZZAZIONI DI ALLUVIONI PROFONDE A MEZZO DI INIEZIONI CON MISCELE STABILIZZATE DI CEMENTO E BENTONITE

GIACOMO BARONCINI (*)

Diga di Barrea

Nella costruzione di sbarramenti, in genere, non è raro di trovarsi di fronte a fondazioni da eseguire in forre profonde, generalmente strette e riempite di alluvioni di varia natura e granulometria, inglobanti frequentemente trovanti di dimensioni anche notevoli [1], [2].

Ciò si è verificato anche per la costruzione sul fiume

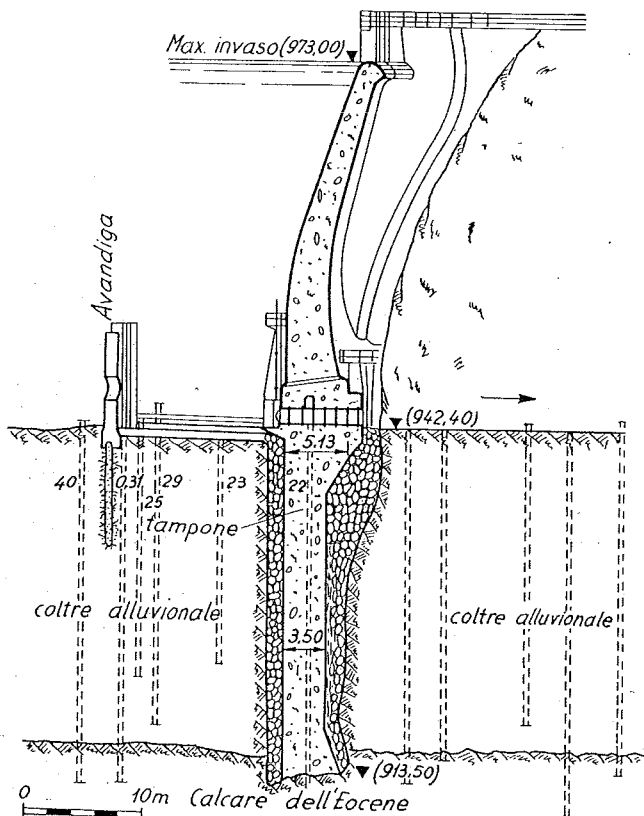


Fig. 1 - Diga di Barrea - Sezione trasversale.

(*) Dctt. Ing. Giacomo BARONCINI, Condirettore Centrale e Direttore della Costruzione della Società Meridionale di Eletticità, Napoli.

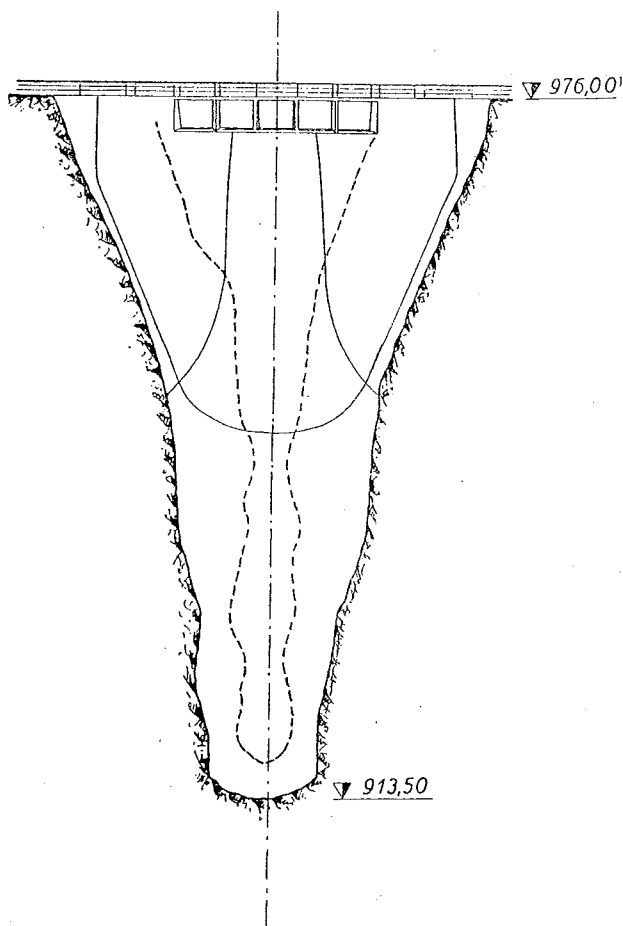


Fig. 2 - Diga di Barrea - Vista da monte.

Sangro della diga di Barrea di proprietà della Comune S.M.E.-Terni (fig. 1, 2, 3 e 4).

Durante la fase di studio i sondaggi avevano permesso di constatare che la forra si spingeva a oltre 30 m sotto l'alveo e che era riempita di alluvioni a granulometria assai variabile, generalmente grossolana, e fortemente permeabile.

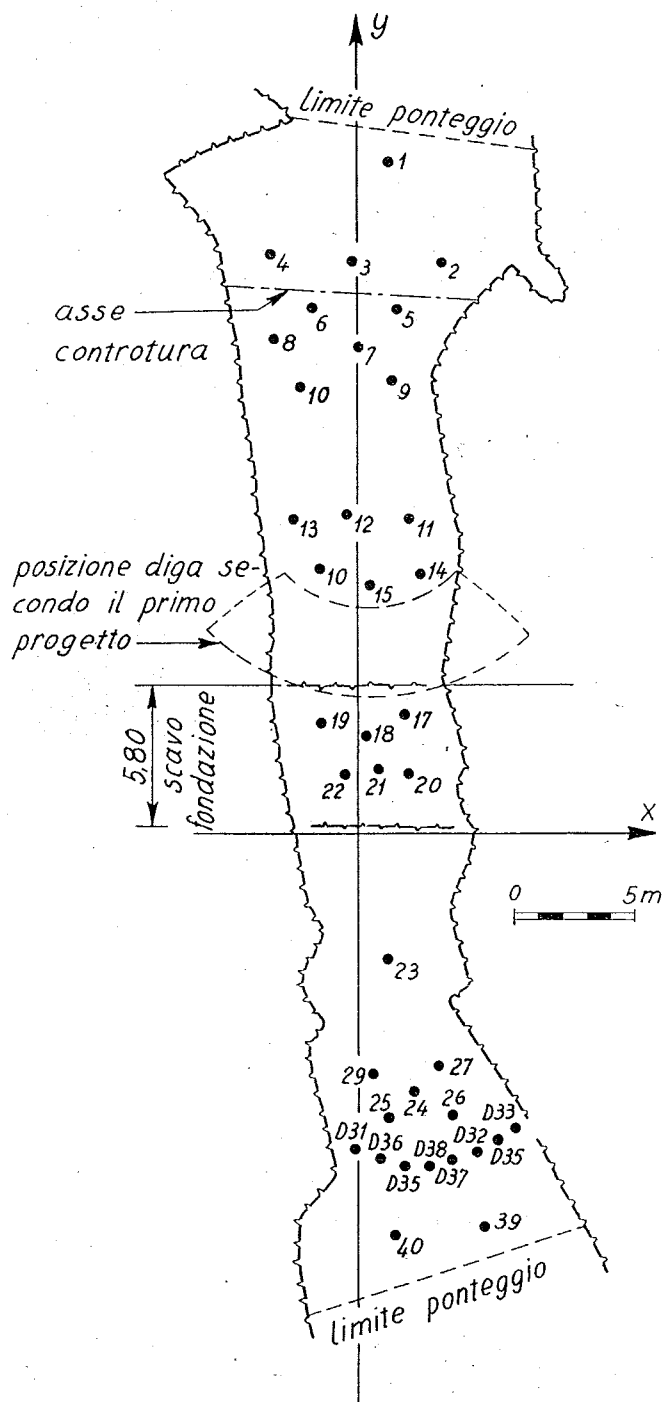


Fig. 3 - Diga di Barrea - Trattamento delle alluvioni per lo scavo della fondazione della diga.

Occorreva quindi eseguire uno scavo di oltre 30 m di profondità sotto un battente d'acqua che, in caso di piene, poteva raggiungere sul fondo i 35 m e con la necessità di profilare le fiancate rocciose con l'uso, sia pure limitato, di esplosivo, data la necessità di creare, nel calcare durissimo e compatto, delle fiancate per l'imbasamento del tampone.

Allo scopo di poter eseguire nel miglior modo possibile e all'asciutto la muratura del tampone, si imponeva di adottare una soluzione economicamente ac-

cettabile e che desse ampie garanzie della perfetta riuscita del lavoro nel minor tempo possibile.

Chi ha pratica di lavori per l'escavazione di pozzi profondi, entro alluvioni fortemente permeabili, sa quali siano i gravi rischi, in termini di tempo e spesa, cui si va incontro, specialmente di far franare le pareti alluvionali armate.

Per questo si venne nella determinazione di procedere, prima dello scavo, ad un trattamento delle alluvioni a base di iniezioni di impermeabilizzazione e consolidamento.

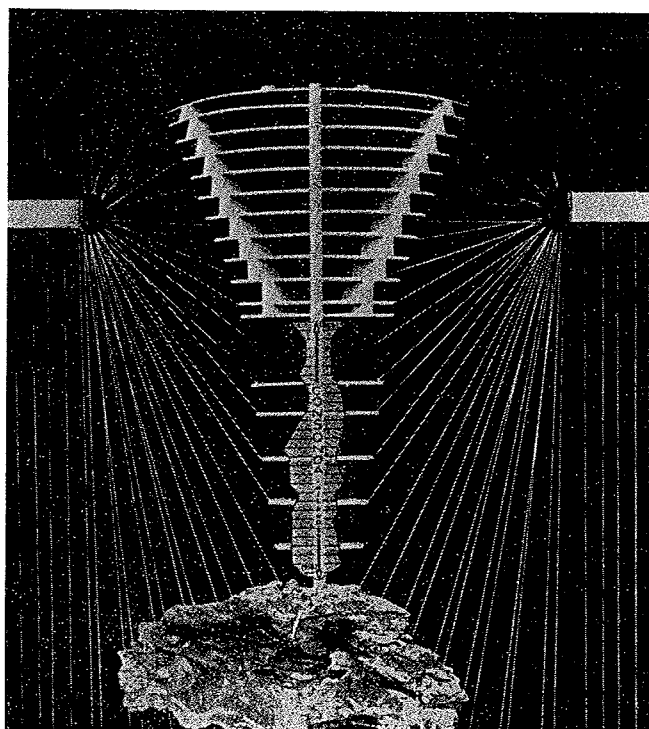
Tattamento delle alluvioni con miscele stabilizzate

Fra le soluzioni studiate ebbe la preferenza il trattamento con miscele stabilizzate di cemento e bentonite, allo scopo di ottenere oltre che un sufficiente grado di impermeabilità sui due fronti (monte e valle) della forra, anche un discreto grado di consolidamento in modo da rendere possibile lo scavo.

Dato il tipo di lavoro, è evidente che la composizione della miscela intasante costituisce il segreto per la buona riuscita del lavoro, sia per quanto riguarda la penetrazione della stessa nell'alluvione, sia per il grado di consolidamento che si avrà a presa avvenuta, sia per il costo, dato il variabile rendimento volumetrico della miscela stessa.

Come è noto la miscela acqua-cemento manca assolutamente di stabilità, specialmente se è necessaria la aggiunta di sabbia o di altro inerte, per cui sono

Fig. 4 - Modello della diga di Barrea vista da monte - Profilo sub-alveo della forra - In basso, un campione di alluvione iniettata.



sempre da temere insuccessi o, comunque, scarsa omogeneità dei risultati.

D'altro canto è pure noto che l'aggiunta di bentonite elimina l'inconveniente sopradetto perchè la miscela acquista parzialmente proprietà tixotropiche proprie dei geli bentonitici, garantendo così una molto maggiore scorrevolezza del fango e permettendo che esso arrivi in ogni punto della massa da iniettare, anche se occorre attraversare meati pressochè capillari.

Naturalmente occorre dosare in modo opportuno, a seconda del lavoro da farsi, i vari componenti ed in particolare la percentuale della bentonite, rispetto al cemento ed all'acqua.

Infatti, quando il rapporto cemento-bentonite è inferiore a 6 (sei) non si ha più il fenomeno della presa. D'altro lato la percentuale di bentonite, rispetto alle quantità dell'impasto, non deve essere inferiore al 3% se non si vuole avere una sospensione instabile; variando i rapporti notevolmente varia la resa volumetrica mediamente 5 volte; altra caratteristica molto importante.

In genere la miscela (percentuale in peso):

- 3% di bentonite;
- 30% di cemento;
- 67% di acqua;

è quella che garantisce contemporaneamente una ottima stabilità, una buona liquidità e trattiene tutta l'acqua.

Sul risultato incidono evidentemente le qualità dei materiali.

A Barrea si usarono cemento pozzolanico e, in prevalenza, bentonite avente le seguenti caratteristiche medie:

- attivata;
- ventilata;
- finezza 93% allo staccio di 6273 maglie per cm²;
- perdite al fuoco 6,80;

SiO ₂	70,60
Al ₂ O ₃	14,20
CaO	2,06
MgO	1,26
Na ₂ O+K ₂ O	3,62

Esecuzione delle iniezioni alla diga di Barrea

A Barrea lo schema di lavoro venne pertanto così disposto:

- Perforazione con sonda a percussione e rotazione e successivo trattamento del materiale di riempimento della forra, lavorando d'inverno da un ponteggio pre-

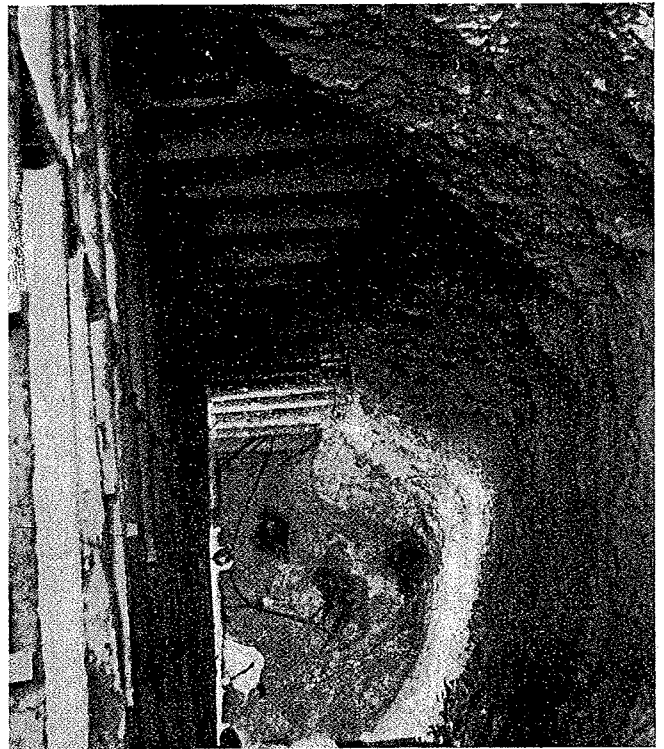
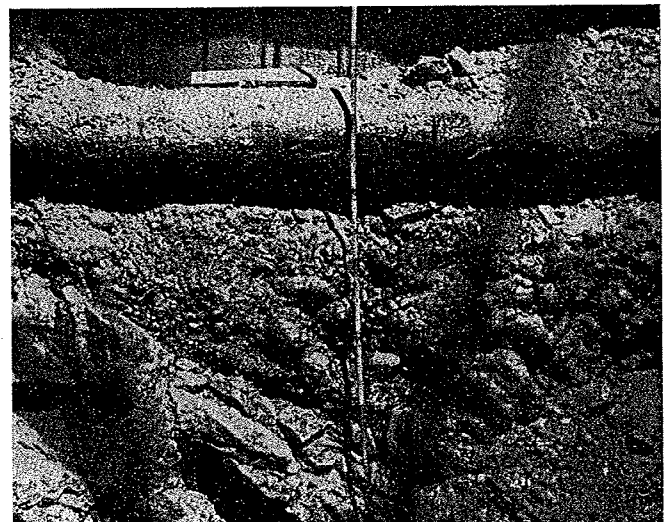


Fig. 5 - Scavo dell'imposta sinistra del taglione (vista dall'alto).

disposto sopra il livello delle piene. Le alluvioni furono trattate per una lunghezza di circa 40 m, lungo l'asta del fiume, e per un volume totale di circa 6000 m³. L'intasamento venne eseguito con miscele diverse a seconda che si voleva ottenere, a preferenza, impermeabilità o consolidamento (impermeabilizzazione 3000 m³ a monte e 2000 m³ a valle e consolidamento centrale 1000 m³);

— Deviazione del corso del fiume attraverso la galleria di scarico di fondo con l'ausilio di una dighetta provvisoria in calcestruzzo;

Fig. 6 - Alluvione iniettata del fondo scavo; fronte verso monte.



— Scavo, durante l'estate, dell'alluvione consolidata e profilatura delle pareti della roccia per l'imbasamento del taglione della diga;

— Getto del taglione nello scavo, perfettamente prosciugato (foto fig. 5), in modo da ottenere calcestruzzi assolutamente esenti da imperfezioni dovute all'acqua di filtrazione.

La fase di perforazione e di iniezione fu eseguita durante l'inverno 1949-50, periodo in cui si ebbe in novembre una fortissima piena che dimostrò quanto fosse stata opportuna la decisione di eseguire il lavoro da un ponteggio sopraelevato.

In totale furono eseguiti 40 fori, parte a percus-

sione (\varnothing 75 mm) e parte a rotazione (\varnothing 55 ÷ 45 mm) che vennero prolungati fino a raggiungere la roccia per un totale di 1055 m di perforazione.

In essi vennero iniettate miscele a composizione variabile per un totale di 8200 ql di cemento, di 925 ql di bentonite e di 591 ql di inerte fino (tab. I).

L'assorbimento medio di tutto il lavoro di impermeabilizzazione e consolidamento relativo ai 6000 m³ fu di ql 1,6 di miscela secca per m³ di alluvione interessata.

Le iniezioni si svolsero sia in avanzamento (dall'alto al basso) che in ritiro e a pressione variabile da 0 ad un massimo di 20 kg/cm².

TABELLA I.

Foreo	Profondità			A percussione			A rotazione			mine n.	Miscela iniettata	Quantità iniettate				
	ml	da q.	a q.	Ø	da q.	a q.	Ø mm	da q.	a q.			bentonite	cemento	inerte fino	volume	
																ql.
Zona controllura	1	30,27	943,65	913,38	3	943,65	913,38	—	—	—	4	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	110,22	440,88	—	185,19
	2	25,30	43,45	18,15	3	43,45	18,15	—	—	—	11	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	48,59	194,04	—	81,50
	3	32,40	42,65	10,16	3	42,65	10,16	—	—	—	9	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	45,18	180,72	—	75,90
	4	25,10	43,55	18,45	3	43,55	30,75	55	930,75	918,45	6	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	19,80	79,10	—	31,75
	5	31,50	43,15	11,65	3	43,15	11,65	—	—	—	7	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	35,28	141,12	—	59,27
	6	30,25	43,07	12,82	3	43,07	20,95	55	20,95	12,82	4	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	22,53	90,12	—	37,85
	7	25,70	43,20	17,50	3	43,20	17,50	—	—	—	11	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	20,37	81,48	—	34,22
	8	19,06	44,00	24,94	3	44,00	28,18	55	28,18	24,94	12	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	6,90	51,60	7	11,59
	9	30,00	42,85	12,85	3	42,85	18,81	55	18,81	12,85	5	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	30,24	120,96	—	50,80
	10	28,84	42,75	13,91	3	42,75	20,85	55	20,85	13,91	8	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	18,48	73,92	—	31,65
	11	26,17	43,30	17,13	3	43,30	20,45	65	20,45	17,13	10	C + 1	—	440,50	48	(49)
Zona diga	12	28,49	43,45	14,76	3	43,25	19,78	55	19,78	14,76	16	C + 1	—	376,00	43,75	(42)
	13	20,03	43,35	23,32	3	43,35	23,32	—	—	—	7	C + 1	—	215,00	31,75	(25)
	14	24,47	43,20	18,73	3	43,20	35,52	55	35,52	18,73	2	C + 1	—	632,00	70,75	(70)
	15	30,00	42,70	12,70	3	42,70	19,17	55	19,17	12,70	9	C + 1	—	276,50	40,55	(32)
	16	26,20	42,50	16,30	3	42,50	24,03	55	24,03	16,30	6	C + 1	—	259,50	43,40	(30)
	17	32,05	42,50	10,45	3	42,50	29,70	55	29,70	13,45	7	C + 1	—	620,50	85,60	(70)
	18	29,88	42,90	13,02	3	42,90	18,10	55	18,10	13,02	5	C + 1	—	349,50	53,65	(40)
	19	31,35	41,80	10,45	3	41,80	16,80	55	16,80	10,45	6	C + 1	—	535,50	63,30	(60)
	20	24,20	42,50	18,30	3	42,50	27,00	55	27,00	18,30	3	C + 1	—	241,00	28,65	(27)
	21	28,90	42,70	13,80	3	42,70	23,65	55	23,65	13,80	3	C + 1	—	292,00	38,40	(33)
	22	30,15	42,80	12,65	3	42,80	16,05	55	16,05	12,65	11	C + 1	—	259,00	36,90	(30)
Zona a valle dighetta	23	18,85	941,50	922,65	3	941,50	922,65	—	—	—	3	B ₃ C ₁₂ A ₄₅ ⁶⁰	73,83	295,32	—	114,99
	24	22,17	44,20	22,03	4½	44,20	30,75	—	—	—	2	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	50,04	200,16	—	81,07
	25	22,14	43,10	20,96	3	43,10	20,96	—	—	—	—	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	—	—	—	—
	26	19,47	43,20	23,73	4½	43,20	38,80	—	—	—	4	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	40,44	197,76	—	83,06
	27	21,43	41,50	20,07	3	41,50	20,07	—	—	—	2	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	30,24	120,96	—	50,80
	28	18,20	37,60	19,40	3	37,60	19,40	—	—	—	—	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	40,32	197,28	—	82,83
Asse dighetta	29	27,17	44,20	17,03	4½	44,20	35,50	—	—	—	1	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	—	—	—	—
	D 30	24,16	42,92	18,78	3	42,92	18,76	—	—	—	10	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	22,65	90,60	—	38,05
	D 31	30,20	43,25	13,05	3	43,25	16,45	55	916,45	913,05	3	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	29,22	166,88	—	49,09
	D 32	23,45	43,30	19,85	3	43,30	27,35	65	27,35	19,85	5	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	13,92	55,68	—	23,37
	D 33	20,70	43,46	22,76	3	43,46	34,81	45	34,81	22,76	1	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	8,28	33,12	—	13,91
	D 34	29,60	43,70	14,10	3	43,70	23,88	45	23,88	14,10	5	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	27,66	110,64	—	46,47
	D 35	25,30	43,70	18,40	3	43,70	27,20	65	27,20	18,40	3	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	26,07	104,28	—	43,79
	D 36	23,11	43,20	20,09	3	43,20	20,09	—	—	—	5	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	37,32	149,28	—	62,69
	D 37	20,77	43,10	22,33	3	43,10	22,33	—	—	—	7	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	45,96	183,84	—	77,21
	D 38	21,47	43,60	22,13	3	43,60	22,13	—	—	—	5	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	48,60	194,40	—	81,65
Zona a monte dighetta	39	20,30	43,80	23,50	3	43,80	23,50	—	—	—	6	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	25,62	162,48	—	43,64
	40	30,65	43,30	12,65	3	43,30	17,05	65	17,05	12,65	6	B ₃ C ₁₂ A ₄₅	29,52	118,08	—	49,59

La posizione planimetrica delle iniezioni è quella indicata nella fig. 3 allegata.

Il procedimento superò ogni più favorevole previsione e la prova di collaudo permise di constatare che le permeazioni (quasi tutte nella zona più alta) erano inferiori a 0,5 l/sec (esattamente 0,3 l/sec) su di una superficie di alluvione (tra monte e valle) di circa



Fig. 7 - Alluvione iniettata del fondo scavo; fronte verso valle.

260 m² tanto che lo scavo e i getti di tutta la fondazione si poterono effettuare perfettamente all'asciutto, nonostante che, a seguito di piene, il battente sul fondo avesse superato i 35 m.

Per eseguire lo scavo con tutta sicurezza, fu messa in opera un'armatura sufficientemente leggera lungo le due pareti alluvionali; armatura che non risultò mai soggetta a spinte apprezzabili, nonostante le numerose esplosioni di mine richieste dallo scavo e dalla sagomatura delle imposte sulla roccia.

Si ebbe così la possibilità di constatare *de visu* l'effettivo risultato delle iniezioni ed il comportamento delle miscele intasanti usate.

Durante la fase di scavo fu rilevato che:

— la miscela bentonitica, con scarso tenore di cemento, aveva assunto l'aspetto di marna leggera impregnata di acqua;

— le ghiaie e le sabbie erano impregnate diffusamente; i grossi trovanti erano letteralmente inglobati, mentre l'alluvione di sabbia grossolana era stata o intersecata o inglobata (vedi foto fig. 6 e 7);

— le miscele iniettate seguivano più facilmente le pareti della roccia e le superfici di separazione tra le alluvioni di varie granulometrie, così da creare tanti inglobamenti ognuno di per sé impermeabile;

— i materiali risultarono alquanto compressi da questo effetto di inglobamento.

Conclusioni

Dai brillanti risultati conseguiti si può trarre la conclusione che, nel caso di Barrea, come già in altri casi, si sarebbe anche potuto evitare lo scavo impostando la diga ad una modesta profondità facilmente raggiungibile, e riservando alla parte più profonda un ulteriore trattamento di adeguate iniezioni.

Naturalmente in tal caso si sarebbe dovuto disporre un adeguato piano di collaudo per accertare la perfetta riuscita del lavoro, sia dal lato impermeabilizzazione, sia dal lato consolidamento.

Tale collaudo avrebbe dovuto essere più accurato e severo verso la parte superficiale che non verso il fondo della forra, dato che le iniezioni riescono molto meglio in profondità; il che, oltre ad essere facilmente intuibile, risulta anche evidente a Barrea, dove le poche filtrazioni (totale 0,3 l/sec) erano distribuite tutte nella parte più alta dello scavo.

Da quanto è stato esposto e da altre prove effettuate pensiamo si possa concludere che:

— E' possibile ottenere il consolidamento e l'impermeabilizzazione tecnicamente perfetti mediante la iniezione di particolari sostanze o miscele.

— Questa operazione, specialmente dopo i progressi ottenuti nella perforazione con sonde a rotazione, risulta facile ed anche economica.

Ciò fa supporre che in avvenire si possa fare a meno di ricorrere, se non per le dighe dove il costo delle fondazioni può anche non essere decisivo, almeno per le traverse, alle costose fondazioni o in cassoni o con paratie e palificazioni, sostituendole con opportuni e ben delimitati trattamenti di impermeabilizzazione e consolidamento.

Napoli, 26 giugno 1954.

Bibliografia

[1] Ing. T. OGNIBENI: *Fondazioni profonde di dighe, ture, diaframmi* - E.E. VI-1946.

[2] Ing. F. PAGLIARO: *Fondazioni di dighe* - St. Tip. Niccolai - Pistoia, 1938.