

Achille Balossi Restelli

Una soluzione d'avanguardia per un difficile problema di scavo in alveo fluviale

Omaggio della



**ING. GIOVANNI RODIO & C.
IMPRESA COSTRUZIONI SPECIALI S.p.A.**

ENGLISH SUMMARY

The article describes a method of alluvial ground consolidation and waterproofing in order to allow the excavation of pier foundations located in the Dora river bed (Quincinetto-Aosta motor-way construction - Northern Italy).

A circular grout curtain, 9,00 m inner diameter, has been executed by clay-cement and sodium-silicate injections. The thickness of the injected area was of 2,40 m.

The excavation could be easily carried out inside the treated area down to the 12÷14 m deep bed rock (12÷14 m below the water level).

The injected ground has always appeared well consolidated and watertight so that the excavation could be done without any guard falsework and only by using a small bailing pump operating with intermittence.

The author shows the advantages offered by this kind of treatments when applied to a ground where the execution of normal foundation piles is a very difficult and expensive operation.

As shown in photographs, the treated ground is formed by alluvials, boulders, very big blocks of rock fallen from the canyon walls, as well as fine sand strata.



Fig. 1 - Visione parziale della gola nella zona del « Ponte delle Capre »: sulla destra si nota una delle centrali d'iniezione della Rodio, in basso il letto della Dora, in fase di magra, che scorre fra le fondazioni delle pile 2SC, 1SC, 2DC; in alto gli imbocchi dell'e gallerie « Petit Monde ».

Autostrada Quincinetto Aosta

Una soluzione d'avanguardia per un difficile problema di scavo in alveo fluviale

di Achille Balossi Restelli

Il tracciato dell'autostrada Quincinetto Aosta si snoda generalmente sul fondovalle dell'incisione fluviale della Val d'Aosta e per ovvi motivi di fluidità di percorrenza si stacca, in qualche tratto, in modo radicale dalla S.S. 26, seguendo piuttosto il corso della Dora. In particolare immediatamente a monte dell'abitato di Montjovet, mentre la S.S. 26 affronta le balze rocciose di sponda sinistra della stretta gola e si arrampica con pendenze anche superiori al 6% per raggiungere St. Vincent, l'autostrada entra in una galleria con imbocco posto immediatamente sotto la strada statale e prosegue poi verso monte percorrendo la cosiddetta «gola del Montjovet» (fotografia 1).

La struttura geo-morfologica delle sponde di questa tortuosa strettoia ha obbligato i progettisti della S.A.V. (Società Autostrade Valdostane - concessionaria

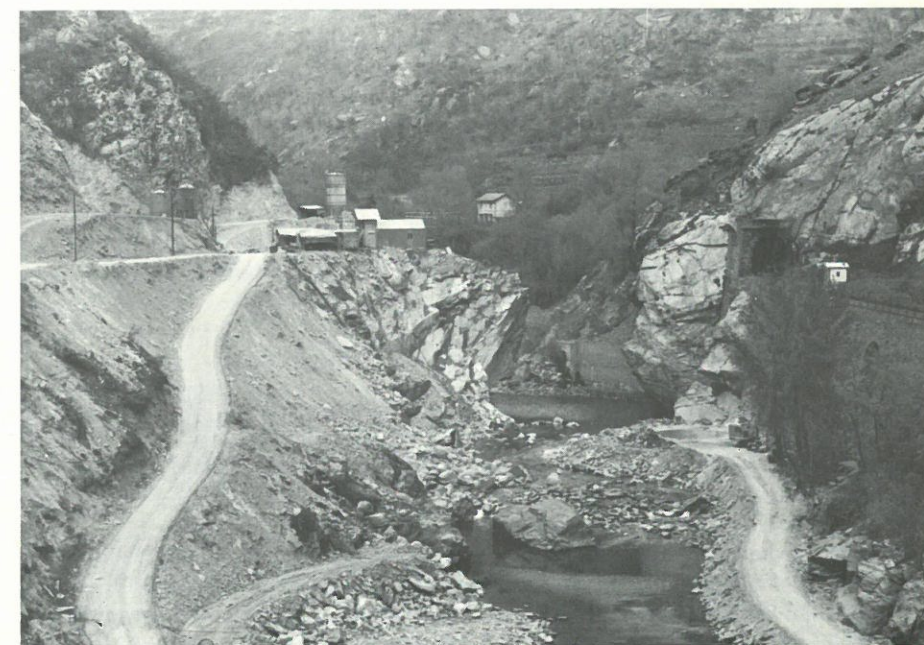


Fig. 2 - Vista della gola nella zona « Ponte gola Montjovet »: in alto a sinistra si nota la seconda centrale d'iniezione della Rodio, in basso a destra la fondazione della pila 2DM lambita dalla Dora, in alto a destra il rilevato ferroviario.

dell'opera) a separare le due carreggiate a doppia corsia dell'autostrada.

Seguendo il senso di marcia:

— la carreggiata Quincinetto - Aosta dopo aver percorso la «galleria Montjovet» lunga 1247 m, attraversa il fiume una prima volta con il «Ponte Gola Montjovet» lungo 160 m per entrare poi nella «Galleria Petit Monde» di lunghezza 372 m; subito dopo lo sbocco passa il fiume una seconda volta con il «Ponte delle Capre» di 120 m portandosi in sponda sinistra del fiume dove si ha il ricongiungimento con l'altra carreggiata, subito a valle del «Viadotto delle Capre» lungo in destra 298 metri.

— la carreggiata Aosta - Quincinetto dopo essersi staccata sul «Ponte Viadotto delle Capre» dalla gemella, entra nella «Galleria del Petit Monde» di 790 m, passa poi il fiume col «Ponte gola Montjovet» di 160 m ed entra infine nella «Galleria Montjovet».

Gli attraversamenti del fiume nelle due sezioni denominate «Gola Montjovet» (foto 2) e «Ponte delle Capre» (foto 3) hanno comportato opere di particolare rilievo per quanto concerne le fondazioni.

Fondazioni delle pile

La carreggiata dell'autostrada, quando si stacca dal terreno, appoggia su pile singole cilindriche cave aventi alla base un diametro esterno di 3,80 m; in sommità ogni pila porta un pulvino sul quale sono sistemate le travi longitudinali (foto 4).

Le pile sono fondate in modo differente in funzione del tipo di terreno sul quale appoggiano. Generalmente i carichi vengono ripartiti sul piano d'appoggio per mezzo di una platea in cemento armato; qualche volta, come ad esempio nel caso delle fondazioni del Ponte Carema, il terreno alluvionale del letto della Dora sottostante la platea ha dovuto essere trattato con iniezioni (a Carema eseguite dalla Rodio S.p.A. nel periodo gennaio-aprile 1966).

Scopi delle iniezioni sono l'aumento della portanza del terreno e la prevenzione contro eventuali processi di impoverimento del terreno dovuto a correnti subalvee.

La situazione delle pile impostate nella stretta gola del Montjovet si presentava assai delicata per le ragioni seguenti:

- sezione idraulica del fiume estremamente ridotta (contenuta dalle pareti rocciose); di conseguenza corrente molto veloce durante le piene e notevole innalzamento del livello;
- possibilità di piene improvvise a causa della presenza a monte di un'o-

pera di presa che qualche volta necessita l'apertura immediata delle paratoie per agevolare la pulizia in controcorrente delle griglie poste all'entrata della galleria di derivazione;

— terreno del letto del fiume costituito da alluvioni estremamente eterogenee; vi si trovano infatti veri e propri banchi sabbiosi alternati ad orizzonti di ciottoli di dimensioni anche notevoli; grossi trovanti sono sparsi un po' dovunque ed inoltre l'ammasso è complicato da grandi scaglie di roccia che si sono staccate dalle zone alte della parete della gola;

— infine il complesso andamento della superficie della roccia in posto che ha subito l'erosione progressiva del fiume.

Le pareti rocciose si affondano sotto l'attuale letto della Dora secondo pendenze pressoché verticali; sono visibili frequentemente vere e proprie «marmitte» e quindi si verificano sottosquadri della superficie rocciosa.

In tale situazione il problema di fondazione sicura per le pile, impostate sia nel centro dell'alveo sia ai bordi di esso, si presentava assai delicato. Appareva infatti difficile e comunque molto costoso assicurare la stabilità della platea di fondazione della pila impostata nell'alluvione fluviale: sono stati eseguiti tentativi di perforazioni di grossi pali, abbandonati poi perché risultati non economici. Di qui la decisione da parte della direzione della S.A.V. di fondare le pile direttamente sulla roccia in posto da raggiungersi mediante pozzi scavati nell'alveo del fiume.

A seguito di questa impostazione il problema mutava radicalmente il suo aspetto; era necessario mettere a punto una metodologia per il trattamento di quel difficile terreno subalveo in modo da consentire alla impresa generale (I.C.E. F.S. di Bologna) di raggiungere la roccia in posto mediante uno scavo cilindrico di 9,00 m di diametro, da eseguire sotto carico idraulico.

Si descrive qui la metodologia proposta dalla società Rodio, la sua applicazione ed i risultati ottenuti.

Il progetto

La figura 5 illustra schematicamente le operazioni previste per la realizzazione delle fondazioni di cinque pile. Descriviamole brevemente seguendo il loro ordine di esecuzione:

- 1) realizzazione di una piattaforma di lavoro con terreno di riporto.
- 2) costituzione di un cordolo circolare in calcestruzzo avente un diametro



Fig. 3 - Vista del vecchio «Ponte delle Capre»; sullo sfondo pile già erette appartenenti al ponte omonimo. Notare i sottosquadri delle pareti rocciose prodotti dall'erosione del fiume.

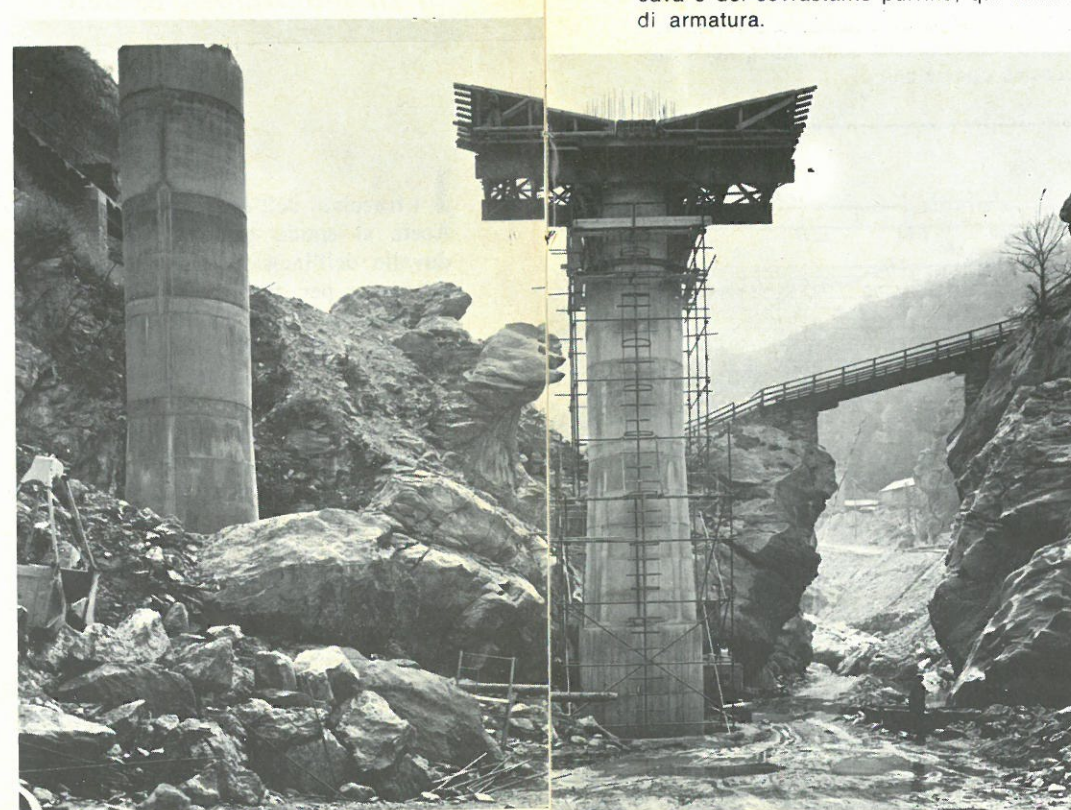


Fig. 4 - Particolare di una pila cilindrica cava e del sovrastante pulvino, qui in fase di armatura.

interno di 9,00 m ed esterno di 13,80 m.

L'altezza del cordolo varia da un minimo di 1,6 m (pila 1 SC) ad un massimo di 2,90 m (pila 3 SM), in modo da portare il piano di lavoro ad un paio di metri sopra al massimo livello delle acque della Dora previsto in fase di magra.

Nel getto del cordolo sono stati annegati tubi verticali di 4" di diametro in corrispondenza di ogni foro di iniezione;

- 3) perforazione dei fori per il trattamento del terreno lungo tre file concentriche distanziate di 0,70 m l'una dall'altra. I fori attraversano l'alluvione dell'alveo e penetrano in roccia per circa 0,50 m;
- 4) messa in opera dei tubi a valvole per l'iniezione del terreno;
- 5) operazioni di iniezione (descritte dettagliatamente più avanti);
- 6) scavo, senza armatura, del terreno a partire dall'interno del cordolo circolare fino a raggiungere la superficie della roccia;
- 7) getto della fondazione della pila.

Qualche osservazione sul progetto

La costruzione del rilevato e del cordolo in calcestruzzo è stata ritenuta ne-

cessaria per assicurare la continuità del lavoro durante tutto il periodo invernale e per creare un contenimento delle iniezioni nella zona superficiale.

Da un punto di vista organizzativo, dati i tempi di lavoro assai ristretti, diventava indispensabile che le varie operazioni di iniezione si susseguissero in modo ordinato secondo un programma ben preciso, stabilito a priori; di qui l'importanza di avere a disposizione un piano di lavoro ben definito sul quale macchine ed operatori potessero muoversi facilmente e la geometria del trattamento apparisse sempre chiaramente visibile senza possibilità di errore.

La disposizione dei fori di iniezione è stata determinata in funzione:

- 1) della composizione granulometrica del terreno, da cui dipende il raggio di diffusione delle miscele d'iniezione e quindi la distanza tra foro e foro;
- 2) dello scopo stesso da raggiungere col trattamento: costituzione di una zona di terreno impermeabilizzata e consolidata in modo tale da consentire lo scavo all'interno senza armature di protezione e con l'ausilio di sole pompe di aggotamento di piccola portata. La zona di terreno trattato doveva naturalmente, per motivi d'ordine economico, essere tenuta di spessore il più ristretto possibile.

Per quanto riguarda il primo punto riportiamo nella figura 7 alcune curve granulometriche relative a campioni del terreno subalveo. In tali curve evidentemente non appaiono gli elementi più grandi (grossi ciottoli, trovanti e scaglie rocciose) che, come detto più sopra, pure complicavano con la loro frequente presenza la struttura della formazione subalvea.

Dalle curve si può notare l'eterogeneità del terreno (visibile sulle fotografie 12 e 13 eseguite poi durante la fase di scavo): a zone costituite da elementi grossolani immersi in matrice di sabbia media si alternano lenti prevalentemente sabbiose (sabbia medio-fine). Il diametro efficace di tutti i campioni esaminati è compreso tra 0,40 mm e 0,06 mm.

Terreno dunque generalmente molto «chiuso»; per assicurare un buon trattamento (riempimento dei vuoti senza provocare rotture nel terreno stesso) si è dovuto fissare un raggio di diffusione abbastanza piccolo, pur pensando all'utilizzo di miscele a bassa viscosità. Teniamo sempre presente la necessità, nel caso specifico, di ottenere una distribuzione dell'iniezione assolutamente uniforme in modo che non rimanessero zone non trattate lungo tutta la massa cilindrica attorno allo scavo.

Il raggio d'azione massimo è stato fissato in 0,55 m: di conseguenza la di-

stribuzione dei fori come mostrato nella figura 6.

L'argomento esposto nel punto 2 ha determinato la struttura geometrica del trattamento; infatti per raggiungere un buon grado di sicurezza, tenuto conto del tipo di terreno, delle diverse miscele d'iniezione previste e della tecnologia stessa per la loro messa in opera, si è ritenuto indispensabile eseguire il trattamento attraverso 3 linee concentriche distanti 0,70 m l'una dall'altra.

Secondo il progetto le iniezioni di miscela esclusivamente a base di cemento e bentonite eseguite attraverso i fori appartenenti alle linee esterna ed interna avrebbero creato, oltre che un consolidamento generale d'insieme, anche un buon contenimento alle miscele chimiche introdotte in un secondo tempo attraverso i fori centrali.

Si è cercato in conclusione di raggiungere la massima efficacia del trattamento con volumi di miscela relativamente bassi.

IL CANTIERE

Esecuzione dei lavori

Il trattamento sopra descritto è stato applicato a 5 pile, delle quali le due (2 DM e 3SM) appartenenti rispettivamente alla sede sinistra e destra dell'attraversamento del «Ponte gola Montjovet» sono localizzate nel centro dell'alveo, le altre tre (1 SC, 2 SC e 2 DC) appartenenti all'attraversamento «Ponte delle Capre» occupano l'alveo solo parzialmente.

L'impianto del cantiere d'iniezioni è stato tutt'altro che semplice: da un punto di vista logistico si sono dovuti affrontare problemi derivanti dalla mutua lontananza delle pile da trattare e dalla mancanza di spazio a causa della ristrettezza della gola già ingombra dagli impianti dell'impresa ICEFS e percorsa dalla strada di servizio del cantiere.

I rigori dell'inverno che nella gola del Montjovet, battuta sovente da forte vento e mai raggiunta dal sole, sono particolarmente marcati, hanno contribuito ad impedire un normale svolgimento dei lavori.

A questi inconvenienti si è ovviato con la costruzione di 2 centrali d'iniezione. Osserviamo in particolare che nelle condizioni sopra descritte diveniva determinante, per la buona riuscita del lavoro, che la distanza tra il punto di confezione delle miscele e i punti di iniezione risultasse non superiore ad un centinaio di metri: la miscela chimica utilizzata, a basse temperature, tende ad accelerare il processo di gelificazione malgrado i ritardanti impiegati; e quindi per ottenere nel terreno la diffusione prevista era necessario ridurre il più possibile il percorso della miscela stessa nelle tubazioni.

Durante il periodo più rigido dell'inverno tali precauzioni si sono rivelate insufficienti per cui si è dovuto proteggere, e qualche volta riscaldare, gli ingredienti chimici prima della confezione della miscela.

Sulle foto 1 e 2 sono visibili le due centrali d'iniezione. La fotografia 8 offre la visione parziale dell'interno di una centrale.

Perforazione e posa canne per iniezione

La perforazione è stata eseguita con l'impiego di 4 wagon-drills alimentati da 2 compressori eroganti in totale 30.000 l d'aria.

Gli utensili erano costituiti da fioretti di diametro 3 1/2"; la perforazione avveniva dunque a distruzione di nucleo.

La circolazione di fango bentonitico assicurava lo spurgo dei detriti di perforazione e la stabilità delle pareti del foro.

E' stato registrato, come del resto prevedibile, un consumo di bentonite alto, pari a 45,10 kg/m.

Qualche difficoltà è stata riscontrata durante le operazioni di perforazione soprattutto nella zona più superficiale; si osserva che le velocità di avanzamento non hanno potuto essere elevate a causa dei frequenti franamenti che obbligavano a ripassare l'utensile varie volte lungo il tratto instabile.

Per le cinque pile sono stati eseguiti 3020 m di perforazione in alluvione e 326 m in roccia; la lunghezza dei fori in alluvione si estendeva da un massimo di 12,80 m ad un minimo di 4,10 m (nelle pile poste a lato dell'alveo fluviale, quindi trattate solo parzialmente). Nei fori colmi di fango venivano calate le canne a valvole per le iniezioni aventi un diametro di 1 1/2"; le valvole in

gomma per le iniezioni erano poste ad una distanza di 40 cm l'una dall'altra. Le canne, data la particolare funzione di resistenza che gli schermi avrebbero dovuto assumere, sono state costruite in ferro (non in plastica come spesso si usa).

Al termine della posa di ciascuna canna, attraverso la valvola più profonda, veniva inviata nel foro una miscela di cemento e bentonite che si sostituiva al fango di perforazione e veniva a formare una guaina di protezione tutt'attorno al tubo.

Tutte queste operazioni si sono svolte senza difficoltà particolari: solamente qualche perdita di miscela di guaina è stata avvertita alla base del cordolo di calcestruzzo.

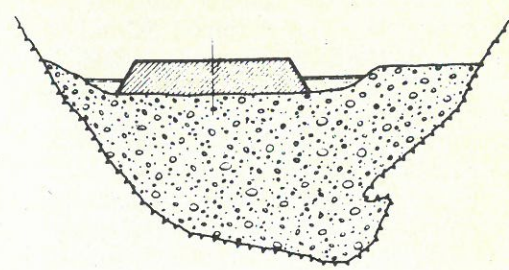
Iniezione e miscele impiegate

Le centrali d'iniezione sono state dotate, oltre che di tutto quanto necessario per la preparazione e circolazione del fango di perforazione, di iniettori, mescolatori, dosatori per la confezione ed iniezione simultanea di vari tipi di miscele.

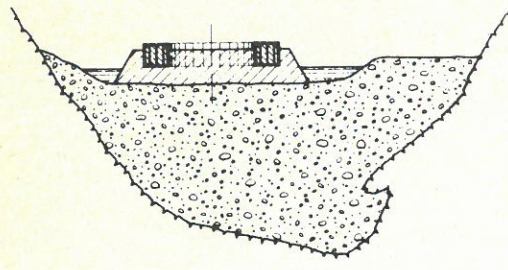
Una buona flessibilità degli impianti era necessaria a causa dell'eterogeneità del terreno che imponeva l'adozione di varie miscele di diversa fluidità in breve periodo di tempo.

Dalle centrali il fluido d'iniezione veniva pompato, attraverso tubazioni da 1", alla testa del foro da iniettare; di qui la miscela assorbita a pressione inferiore o uguale a quella stabilita di «rifiuto» percorreva il tubo di iniezione e, attraverso un doppio otturatore e la valvola, penetrava nel terreno (dopo avere rotto la guaina di protezione posta attorno alla canna); nel caso in cui il terreno interessato dalla valvola fosse di struttura tale da non ricevere entro quel-

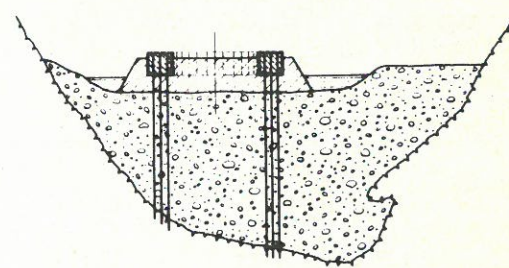
I Costruzione rilevato in alveo



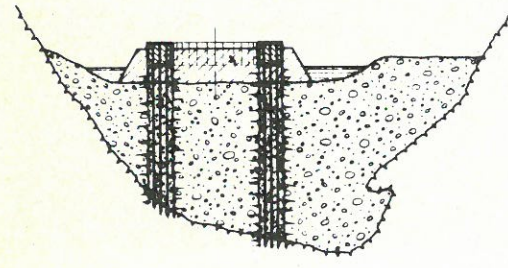
II Getto cordolo circolare in cls.



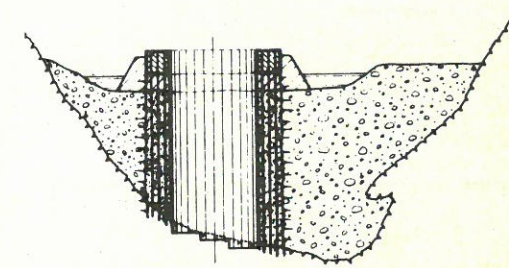
III Perforazione fino a roccia e posa canne a valvole per iniezioni



IV Esecuzione delle iniezioni di consolidamento e impermeabilizzazione



V Scavo del materiale all'interno della zona trattata con iniezioni



VI Getto della fondazione della pila

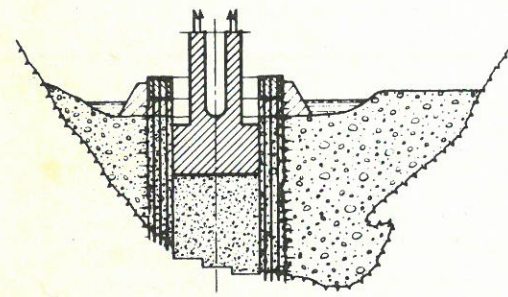


Fig. 5 - Illustrazione schematica delle successive operazioni.

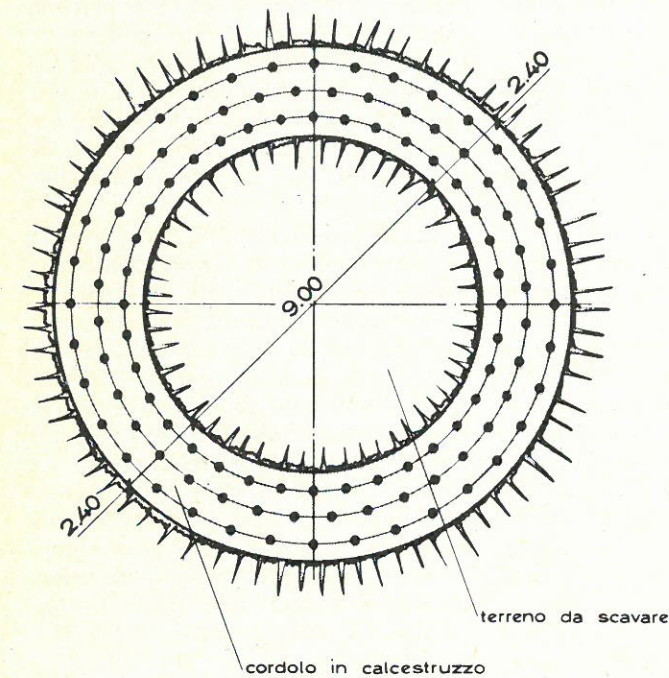


Fig. 6 - Pianta schematica del trattamento.

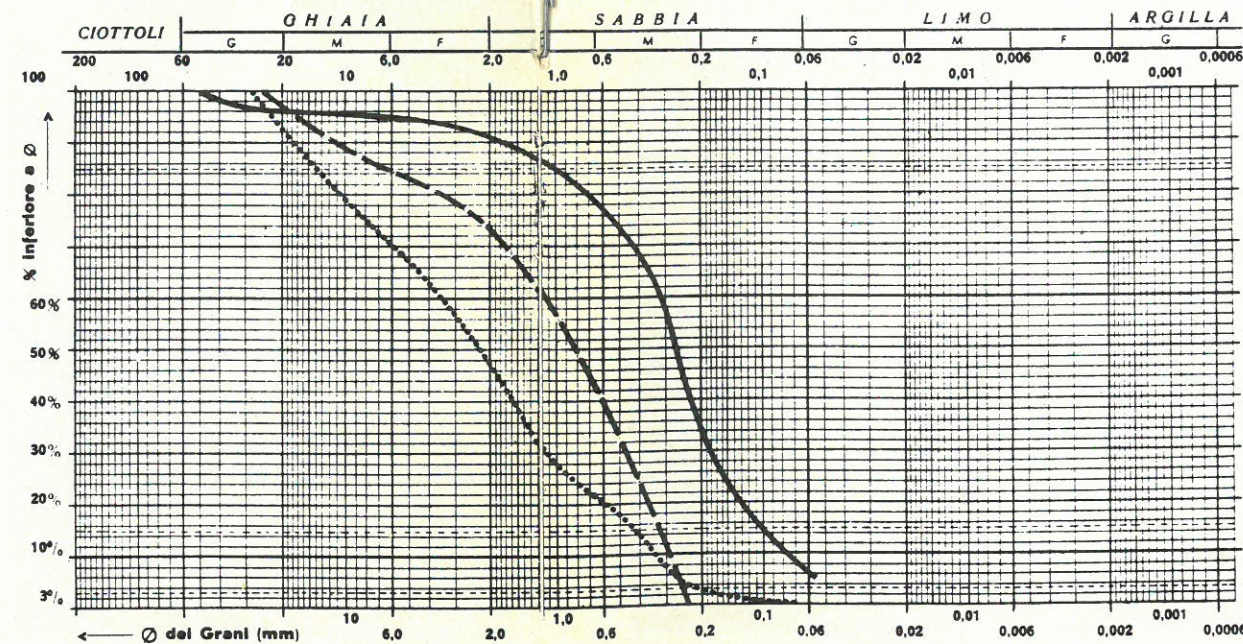


Fig. 7 - Curve granulometriche delle alluvioni dell'alveo della Dora.

— Campione prelevato da una sacca sabbiosa, 10 metri al di sotto del livello del fiume; il campione è stato estratto durante lo scavo della fondazione della pila 2 DM.

--- Campione prelevato, durante lo scavo della pila 3 SM, a 10 metri di profondità.

..... Campione prelevato, durante lo scavo della pila 3 SM, in prossimità del fondo roccioso, 11 metri circa al di sotto del livello del fiume.

la pressione «di rifiuto» tutta la portata pompata, il quantitativo in eccesso veniva rimandato attraverso un circuito di ritorno ai mescolatori posti in centrale.

Le pressioni di iniezione venivano registrate sia all'iniettore che alla sommità di ciascun foro.

Dalle specificazioni fornite al cantiere si legge:

— Volumi iniezione per file esterne: iniezione di n. 2 impasti di miscela cemento bentonite fluida per ogni valvola (133,8 l); nel caso di assorbimenti a basse pressioni (inferiori a 5 atmosfere) passare a miscela più densa;

— Volumi iniezione per fila centrale: iniezione di n. 1 impasto di miscela cemento-bentonite fluida per ogni valvola (66,9 l); iniezione successiva di 1 impasto di miscela chimica a base di silicato di sodio per ogni valvola (109,25 l).

— Pressioni «di rifiuto»: per le miscele cemento-bentonite da non eccedere mai le 15 atmosfere (da circa 1,50 m sotto il cordolo) Nel caso delle miscele chimiche 5 ÷ 6 atmosfere.

— Sequenza operazioni: iniezione della fila esterna, iniezione della fila interna, iniezione della fila centrale, con miscele cemento-bentonite e chimiche nell'ordine. Le iniezioni vanno sempre eseguite secondo fori alterni.

Quanto sopra esposto dà un'idea della prassi seguita durante il trattamento di iniezione; le iniezioni delle file esterne dovevano assolvere il compito di contenere al terreno un notevole grado di consolidamento e di creare delle schermature laterali nei riguardi delle suc-

cessive iniezioni eseguite attraverso i fori della fila centrale; queste ultime, oltre al completamento del consolidamento dell'insieme, avevano come scopo l'impermeabilizzazione definitiva di tutta la superficie cilindrica considerata.

Senza scendere in ulteriori dettagli possiamo dire che le iniezioni si sono svolte regolarmente e che con i volumi previsti si sono generalmente raggiunte pressioni vicine a quelle di rifiuto, soprattutto iniettando la fila centrale. Ciò ha dimostrato che il terreno era stato trattato sufficientemente; d'altra parte, l'innalzarsi quasi sempre regolare della pressione durante l'iniezione dava la certezza che il terreno, anche il più fine, veniva penetrato dalla miscela in modo uniforme senza che si verificassero rotture e quindi fessure sedi di percolazioni preferenziali di miscela.

Ci sembra possa essere interessante riferire qualche elemento sui tipi di miscele impiegate.

Per quanto riguarda le miscele binarie (cemento-bentonite) erano a disposizione 5 composizioni differenti da applicarsi a seconda del tipo di struttura più o meno aperta del terreno.

Tutte queste miscele erano ricche in cemento perché si volevano ottenere notevoli resistenze; il rapporto acqua/cemento passava da un minimo di 0,45 per la miscela più densa, ad un massimo di 1 per la più fluida; corrispondentemente la percentuale di bentonite rispetto all'acqua aumentava dal 6% al 9%.

Tutte le miscele venivano fluidificate con opportuni additivi, specialmente con Darex.

La resa volumetrica di queste miscele (percentuale di decantazione) è sempre risultata superiore al 97%, la loro re-

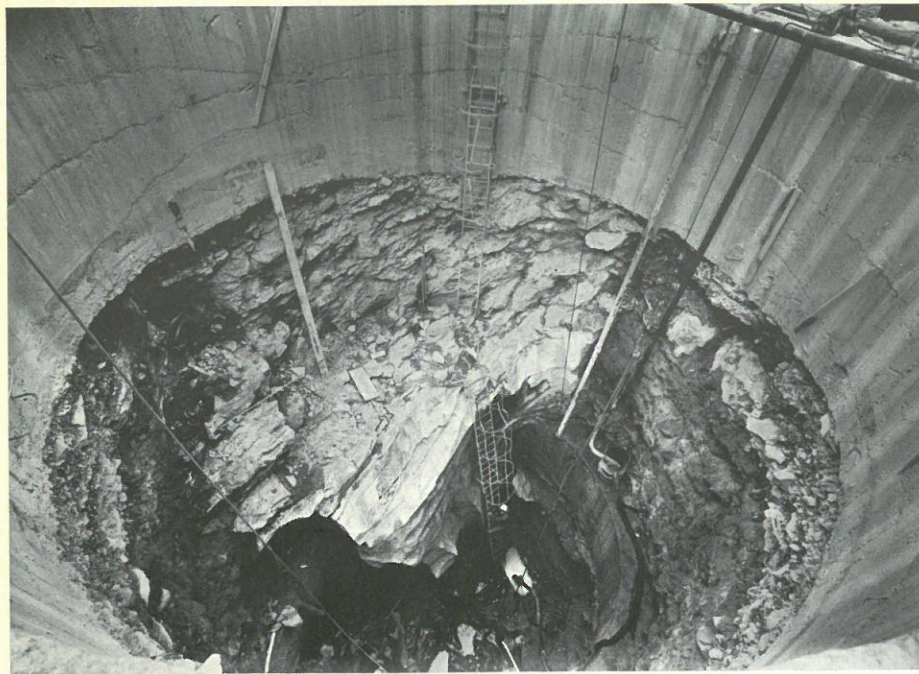


Fig. 13 - Fase finale dello scavo alla pila 3SM; l'asportazione delle acque filtranti dal fondo roccioso e da irrilevanti trasdazioni attraverso il terreno trattato è effettuata a mezzo di una unica pompa di piccola portata, funzionante ad intermittenza. Il cordolo visibile in profondità è stato eseguito prima di interrompere gli scavi a causa delle risorgenze che filtravano dal terreno non trattato posto in corrispondenza del sottosquadro dello sperone roccioso. Come già accennato, gli scavi furono ripresi e terminati dopo avere effettuato un trattamento supplementare di chiusura della zona del sottosquadro.

taggio e smontaggio del cantiere): dal gennaio alla metà di maggio del 1967.

La percentuale di assorbimento è alta; bisogna però tenere presente che il trattamento doveva risultare uniforme ed a tenuta perfetta, per essere in grado di consentire uno scavo profondo sotto falda senza armature di protezione e senza sensibili filtrazioni d'acqua.

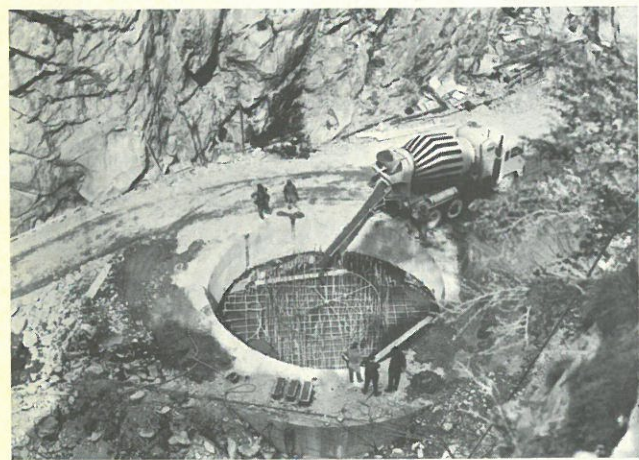


Fig. 14 - Fase di getto della fondazione di una delle pile trattate.



Fig. 15 - Vista panoramica dell'autostrada in costruzione.

Come si può constatare dalla ripartizione degli assorbimenti, non essendovi nel caso specifico pericolo di conseguenze dovute ad eventuali sollevamenti del terreno, si è avuto modo di spingere maggiormente le iniezioni cemento-bentonite, limitando al minimo indispensabile quelle più costose a base di silicato di sodio.

Già si è detto come queste ultime abbiano assunto un ruolo determinante per la buona riuscita del trattamento.

L'esperienza del lavoro sopradescritto, conclusasi in modo indiscutibilmente positivo, ci sembra rivestire notevole importanza perché dimostra come si possano consolidare ed impermeabilizzare terreni anche molto difficili dove non è economicamente possibile eseguire fondazioni di altro tipo (pali di grande diametro, paratie); le operazioni inerenti possono essere condotte in un tempo relativamente breve e comunque compatibile con i programmi di realizzazioni del genere ed il loro costo non è eccessivo.

Il successo del trattamento è da ascrivere essenzialmente all'essere stati in grado di interessare in modo uniforme un terreno di granulometria così variabile; tre sono i fattori principali che hanno condotto al risultato finale:

- 1) l'ottimo funzionamento delle canne a valvole;
- 2) la possibilità di utilizzo di miscele differenti, più o meno viscosi, in uno stesso punto di iniezione;
- 3) la messa in opera di tipi e quantitativi differenti di miscele in funzione delle reazioni del terreno, rilevate attraverso una rete di manometri.

* * *

L'esperienza insomma e tecniche appropriate hanno consentito di costituire il progettato diaframma cilindrico sufficientemente sottile (2,40 m circa) così da contenere la spesa entro limiti accettabili.

Dimostrazione palese di quanto sopra asserito è fornita dal terreno stesso visibile lungo le pareti degli scavi (vedere foto 9, 12, 13); il buon trattamento sia degli strati di ciottoli e ghiaie sia delle sabbie è sempre risultato chiaramente e d'altra parte l'aver inviato quantitativi di miscela in funzione della porosità e del volume di terreno da trattare ha dato la garanzia di avere interessato il terreno con minimo spreco di materiale iniettato; una riprova di questo fatto è stata fornita dall'esame del materiale scavato all'interno del cilindro che generalmente è apparso scarsamente impregnato di miscela.

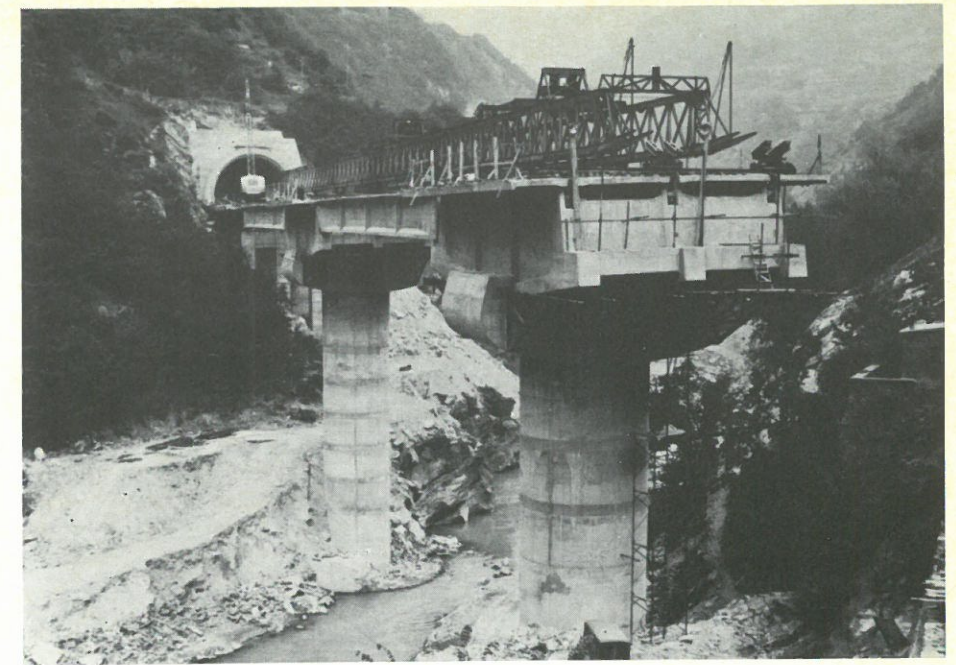


Fig. 16 e 17 - Particolari del « Ponte Gola Montjovet » in costruzione.

