

TURA IN PALI TRIVELLATI PER LA COSTRUZIONE DEI CANALI DI SCARICO

CENTRALE DI BARCIS DELLA SOCIETÀ ADRIATICA DI ELETTRICITÀ

GIORGIO FORLÌ (*)

Elementi di progetto

La costruzione della Centrale di Barcis, in fregio al piccolo serbatoio formato dalla vecchia diga di presa del sottostante impianto di Malnisio, ha richiesto, tra l'altro, la esecuzione di importanti opere non solo ad un livello inferiore a quello della superficie dell'acqua del serbatoio, ma anche delle ghiaie, che ormai hanno pressochè inghiaiato tutto il serbatoio.

Da tener presente inoltre che motivi di esercizio non hanno permesso di abbassare il livello dell'acqua del serbatoio se non per lievissimi periodi.

I lavori eseguiti in queste condizioni, come risulta del resto dalle figure 1a, b, furono:

— costruzione degli sbocchi delle due gallerie di scarico delle turbine della nuova centrale;

— riapertura dell'imbocco della vecchia galleria di scarico di fondo costruita una cinquantina di anni or sono per deviare le acque del fiume;

— abbassamento delle soglie dei due ultimi fugatori della vecchia diga in sponda sinistra allo scopo di abbassare il livello delle ghiaie ed aumentare la capacità del serbatoio.

La disposizione delle opere e la loro situazione altimetrica risultano dai disegni della fig. 1 e dalle foto, fig. 2 e 3.

Alcuni sondaggi preliminari sul fondo del bacino nella zona dei lavori avevano fatto notare l'esistenza di un materasso alluvionale di potenza superiore ai 30 metri costituito da ghiaie, sabbie e grossi trovanti calcarei. Il problema di mettere all'asciutto la roccia pressochè verticale della sponda, destinata ad alloggiare il complesso degli scarichi, richiedeva la costruzione di una qualsiasi chiusura a tenuta d'acqua, di notevole sviluppo planimetrico e che fosse atta a sopportare con sicurezza un carico idrostatico esterno dell'ordine di una decina di metri.

I sondaggi eseguiti misero anzitutto in luce che non sarebbe stato tecnicamente possibile raggiungere, attraverso le ghiaie ed i trovanti, il fondo roccioso, assai accidentato.

Per ovvie ragioni fu scartata la possibilità di ese-

guire scavi armati, di affondare cassoni ad aria compressa od a cielo libero, o di infiggere una palancolata Larssen.

Dopo vari studi, fu progettata la costruzione di una palancolata in pali di cemento, su doppia fila, accostati e parzialmente compenetrantisi, da gettarsi in opera, previa trivellazione, e che avrebbe dovuto estendersi fino ad una profondità di circa 10 metri o poco maggiore, sotto il livello liquido del bacino, senza pur tuttavia innestarsi al fondo roccioso.

Il vano che si sarebbe creato fra tura e roccia sarebbe stato reso impermeabile mediante trattamento con iniezioni di cemento e composti chimici del suo fondo ghiaioso e del materasso alluvionale, di circa un metro di spessore, intercluso fra fila e fila di pali.

Alla resistenza meccanica della palancolata, contro la spinta idrostatica esterna, sarebbe stato provveduto armando i pali con una gabbia metallica onde renderli atti a resistere a flessione (effetto mensola con incastrato sul fondo) e conferendo alla tura un certo sviluppo planimetrico arcuato.

A contrastare la ingente spinta di sottopressione sul fondo avrebbe provveduto il crostone di materiale alluvionale che sarebbe risultato conglomerato a mezzo delle predette iniezioni cementizie. Le due file di pali armati sarebbero state per di più collegate in sommità, mediante un robusto anello di coronamento in cemento armato.

Il lavoro contemplato nel progetto così concepito fu affidato ad una impresa specializzata in opere del genere, e fu attuato rapidamente, con perfetta riuscita sia dal lato tecnico che economico, nonostante le condizioni locali piuttosto sfavorevoli e complesse facessero inizialmente presagire qualche imprevisto od addirittura dubbi sui risultati.

Modalità di esecuzione

Allo scopo di alloggiare il cantiere di lavoro e le attrezzature di sondaggio, impiegando il materiale di risulta dello scavo della Centrale, fu anzitutto costruita una piattaforma avente il suo piano camminabile ad un livello poco superiore (circa 50 cm) al

(*) Dott. Ing. Giorgio Forlì della Società Adriatica di Elettricità.

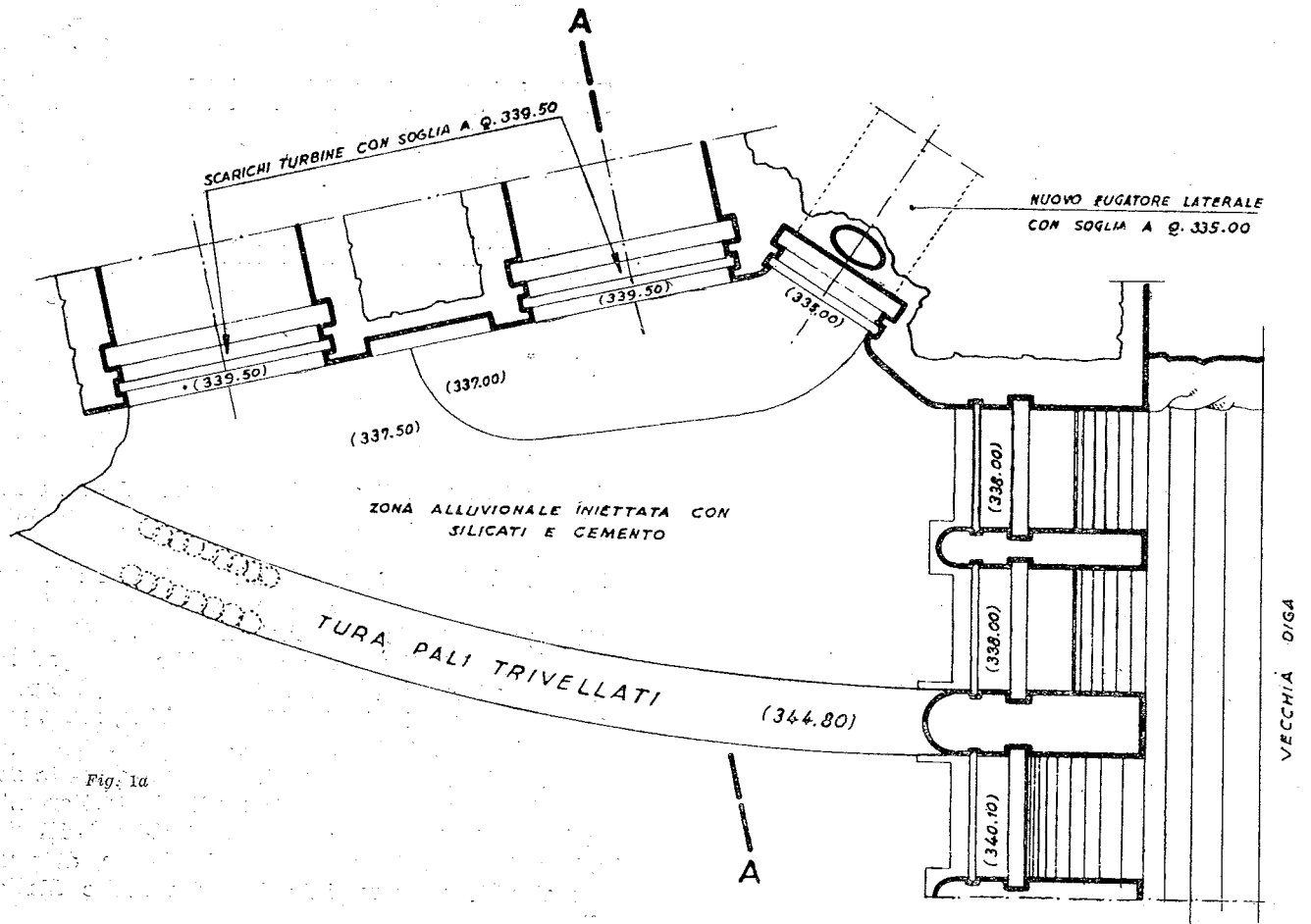


Fig. 1a

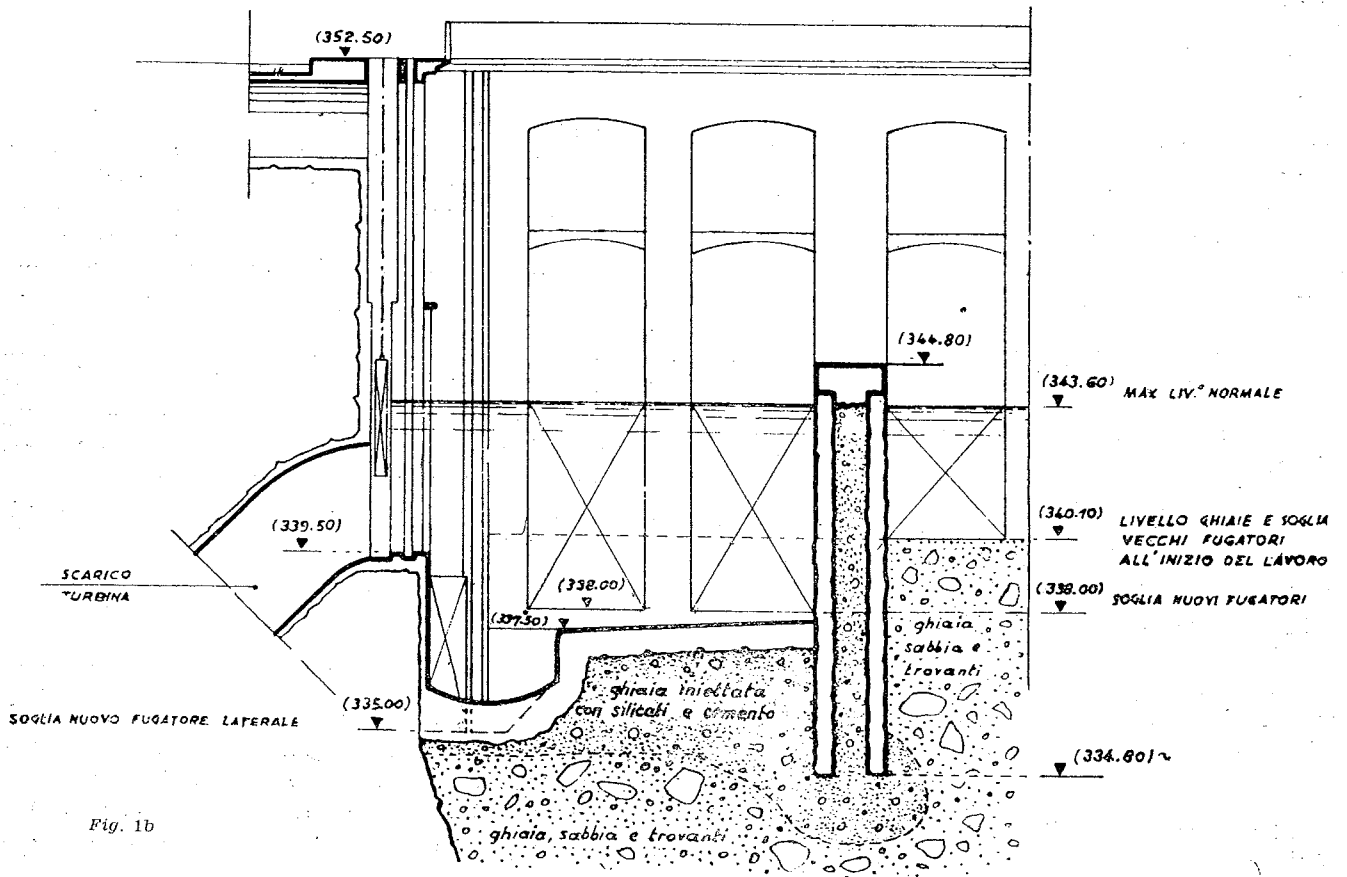


Fig. 1b

pelo liquido del bacino. Questa prima disposizione di poco costo (fu scaricato in acqua e spianato in superficie circa un migliaio di mc di marino) consentì ampia libertà di movimento e di azione al cantiere, senza necessità di ricorrere ad armature costose e senza interferire con l'esercizio del bacino nella sua funzione di vasca di carico.

Sulla piattaforma furono installati due gruppi di sonda a percussione da 53 cm di diametro, che operarono ognuno su una fila di pali, secondo il tracciato planimetrico progettato.

Il sistema di lavoro è quello noto di perforare, alla distanza esatta di un metro da asse ad asse, due pali in ordine alterno (per es. il palo n. 1 e quello n. 3) e di procedere al loro getto, per intercalare successivamente, fra di essi, un palo intermedio (il n. 2) il quale viene a trovarsi compenetrato per alcuni centimetri nei due pali già predisposti, lungo due sue generatrici diametralmente opposte.

Essendo stati curati al massimo il centramento e la verticalità di ogni palo, la desiderata compenetrazione, condizione essenziale per la buona tenuta della tura, risultò perfetta. I grossi trovanti incontrati durante la perforazione furono demoliti mediante scalpello a percussione ed in molti casi facendo esplodere in acqua, ad una certa profondità, piccole mine.

Quasi sempre, specie in profondità, fu in azione il pesante scalpello, ed il suo impiego è uno dei maggiori motivi di garanzia per la verticalità dell'avanzamento.

Quando era raggiunta, per ogni palo, la profondità stabilita, il getto del calcestruzzo veniva attuato mediante benna cilindrica dentro al foro ancora intubato e già armato con la prevista gabbia metallica.

A doppia corona di pali ultimata risultò una tura arcuata, impostata fra la parete rocciosa ed una pila della vecchia traversa sul Cellina (vedere fig. 2 e 3).

Il materasso alluvionale e di discarica intercluso fra le due file di pali fu iniettato, a sezioni dal basso in alto, con boiaccia di cemento mediante puntazze infisse nel terreno alla distanza di un metro l'una dall'altra. L'assorbimento complessivo fu di 860 ql di cemento per trattare circa 200 m³ di materiale. Le ultime sezioni di iniezioni verso il coronamento furono attuate dopo aver costruita la trave di collegamento delle teste dei pali.

La impermeabilità della tura risultò, anche durante il corso degli scavi più profondi, pressochè perfetta. Alcune piccole uscite d'acqua attraverso le suture dei pali furono stagnate mediante applicazione di qualche cuneo di legno.

I dati statistici riguardanti il lavoro compiuto in tre mesi consecutivi sono i seguenti:

- ml complessivi di palo 828,60, area totale delle due file di pali m² 460,62;
- calcestruzzo per il getto pali m³ 219, dosato a ql 3,00 di cemento per m³;
- ferro di armatura per i pali: spirale con tondino del diametro 8 mm avente un passo di cm. 20, rinforzata da n. 6 ferri ripartitori verticali diametro 10 mm;
- ore di mano d'opera, comprese iniezioni, n. 9494;
- ore di impiego di sonda n. 890.

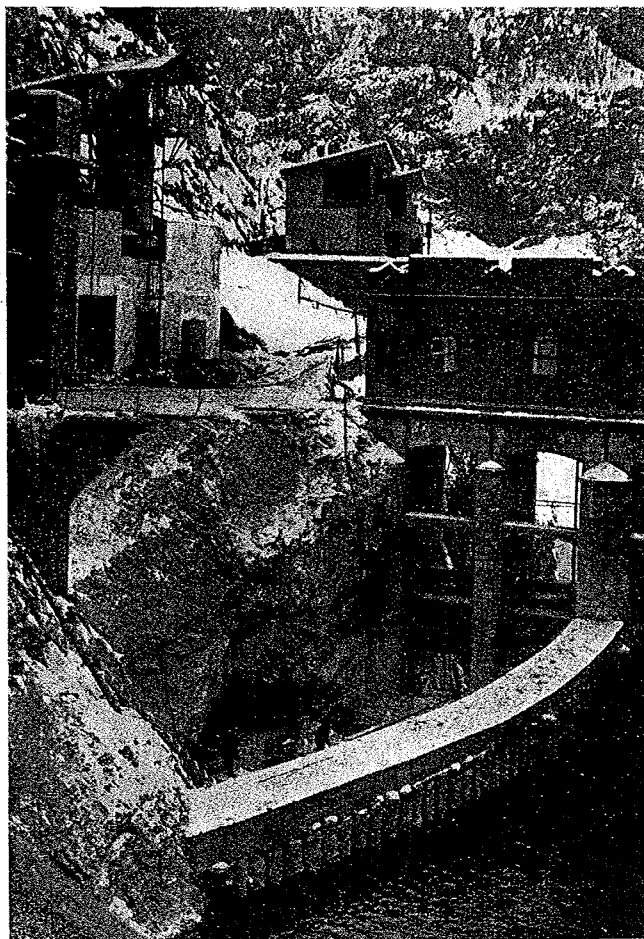


Fig. 2 - La tura in pali trivellati vista di fianco.

Quando la tura fu costruita, il nuovo problema tecnico che si presentava era quello di assicurare la tenuta e la stabilità del fondo del vano che si sarebbe creato dopo la asportazione del materiale sciolto, fortemente permeabile, esistente fra tura e roccia.

Scaricato a valle dai due esistenti fugatori uno strato di qualche metro di materiale, furono infisse sulle ghiaie numerose puntazze spinte ad un livello di qualche metro inferiore al fondo dei pali, e si procedette ad una prima campagna di iniezioni cementizie. Seguirono nuove fasi di scavo e successive iniezioni, che furono raffittite nelle zone nelle quali, col progredire dello scavo, sorgeva acqua in maggior quantità. Furono così iniettati circa 2.400 ql di cemento.

Purtroppo apparve subito che una parte del cemento iniettato sfuggiva a valle della vecchia traversa, al suo piede.

Questo fatto era previsto, essendo nota la esistenza di alcune travenazioni anche notevoli sotto le fondazioni di questa opera. Nelle sezioni, che maggiormente comunicavano a valle, fu anche immesso un notevole quantitativo di segatura e sabbia fine.

Quando il fondo dello scavo giunse a 7-8 metri sotto il livello liquido esterno, le risorgive del fondo

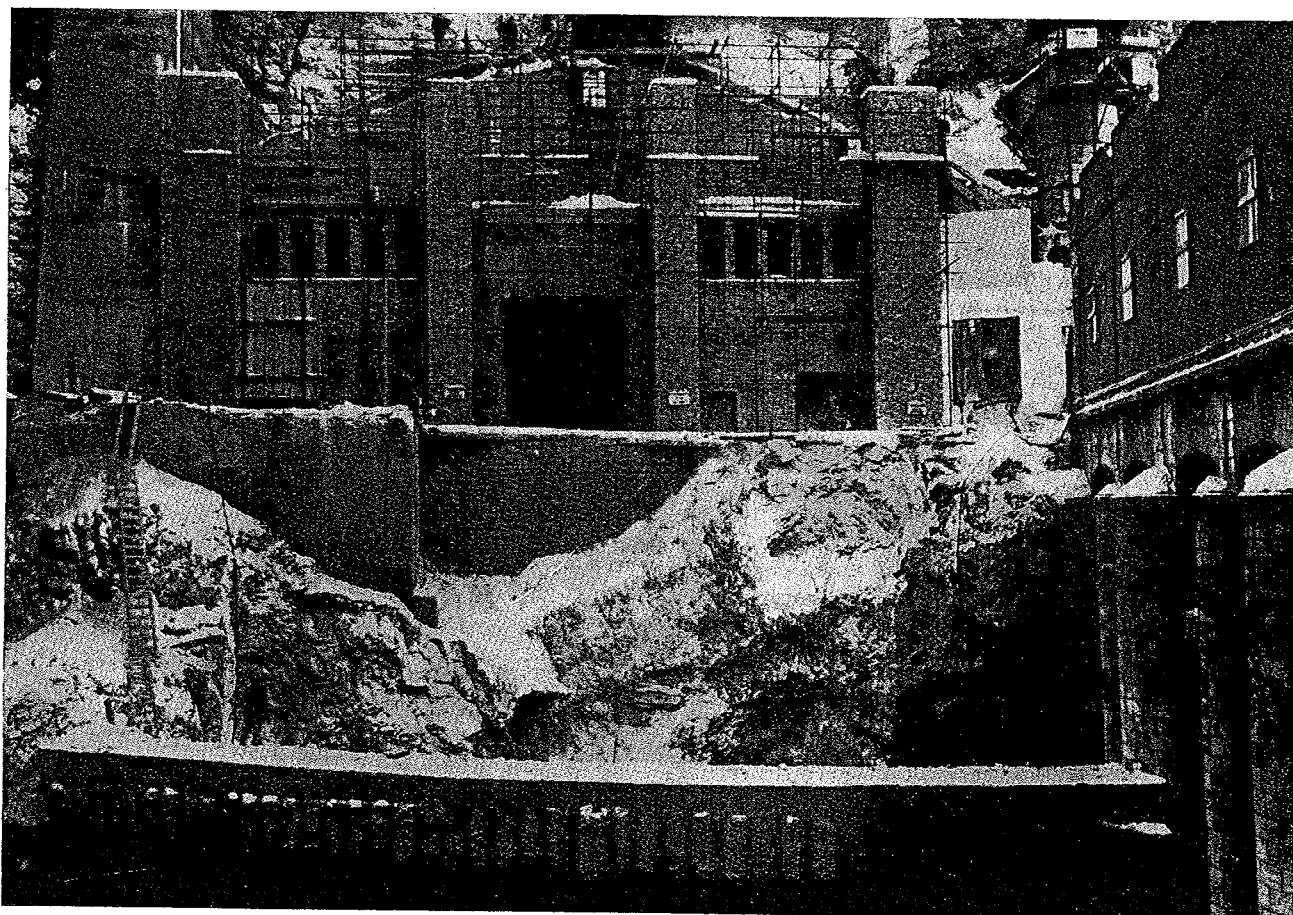


Fig. 3 - La tura vista di fronte.

apparivano così imponenti da far seriamente dubitare della resistenza meccanica del materasso ghiaioso, (che sarebbe dovuto risultare conglomerato dalle iniezioni) contro la ingente sottoppressione già esistente su tutta la superficie dello scavo.

Si decise di sospendere così lo scavo e, riempito il vano con acqua (onde avere equilibrio di carico con l'esterno), si procedette ad una ulteriore campagna di iniezioni, spinte a maggiore profondità e condotte con tecnica diversa.

Procedendo per gradi dalle vicinanze della traversa verso monte, furono iniettati contemporaneamente attraverso distinte puntazze, boiaccia di cemento e silicato di sodio.

Questo sistema di iniezioni aveva già dato buoni risultati in altri lavori simili eseguiti nella zona. Era stato constatato che boiaccia di cemento piuttosto densa incontrandosi, dentro ad un materasso ghiaioso, con silicato anche in presenza della falda in movimento fa rapida presa, occludendo a poco a poco le vie di travernazione. Con questo sistema furono, in pochi giorni, iniettati 70 ql di silicato e 410 ql di cemento, ed alla fine non furono più notate comunicazioni di cemento a valle della traversa, mentre si poté notare che tutta la boiaccia rimaneva sotto il fondo del vano che interessava effettivamente di consolidare e di impermeabilizzare.

Alla ripresa dei lavori di scavo si constatò che questi potevano venire proseguiti con la necessaria

sicurezza, in quanto il materiale sciolto, ora conglomerato, presentava una buona consistenza. Per di più risultarono molto ridotte e localizzate le venute d'acqua dal fondo, acqua che poté essere facilmente intubata e raccolta.

Per la formazione della soglia del nuovo fugatore laterale e per il consolidamento delle fondazioni della vecchia diga, opere che richiedevano scavi localizzati spinti a notevole profondità, furono costruite, dentro il vano, altre due piccole ture arcuate, seguendo gli stessi criteri adottati in precedenza. Esse permisero di proseguire i lavori con tutta sicurezza ed all'asciutto, a quote anche notevolmente inferiori alle fondazioni della tura esterna.

Queste nuove ture hanno poi servito da cassero per le gettate di calcestruzzo di consolidamento e sottofondazione, assumendo anche le funzioni di tagliani.

Il buon successo ottenuto dalla tecnica adottata delle iniezioni miste di boiaccia di cemento e di silicati, acceleratori della presa, su materasso ghiaioso, permeabile ed in presenza d'acqua filtrante, richiese la osservanza di accorgimenti particolari che furono frutto di molti tentativi. Le concentrazioni di cemento e di silicato dovettero essere dosate con molta cautela e le iniezioni dovettero essere condotte attraverso tubazioni e puntazze ben collocate in posizione relativa onde ottenere dentro alla ghiaia il più rapido contatto degli ingredienti iniettati prima che essi

fossero troppo diluiti dall'acqua di falda in movimento, e nel contempo evitando pericolosi intasamenti nei tubi, che talvolta tuttavia si verificarono, con conseguente perdita delle puntazze. Va notato che la riuscita del lavoro, nel caso particolare della Centrale di Barcis, fu resa possibile soprattutto dalla natura e dalla composizione granulometrica del fondo alluvionale trattato, che i primi sondaggi avevano dimostrato essere esente da banchi argillosi e di limo calcareo, nonché povero di sabbia fine, cosicchè esso

poteva prestarsi a venire iniettato con una certa uniformità (prepakt concrete). Fu appunto questa rara condizione favorevole, nota in precedenza, che permise di affrontare con una certa tranquillità il lavoro così come era stato concepito, nonostante le altre condizioni locali, nettamente difficili, fra cui presenza di grossi trovanti, letto roccioso molto profondo, incerto ed accidentato, ed acqua in movimento attraverso le ghiaie.

Pordenone, maggio 1954.

Un avvenimento nell'editoria tecnica!

MANUALI CREMONESE

MANUALE DELL'INGEGNERE CIVILE

Diretto da MARIO PANTALEO

62 collaboratori scelti fra i più insigni specialisti italiani

1650 pagine • 1583 figure • 588 tabelle

È una vera e propria

ENCICLOPEDIA DELLE COSTRUZIONI CIVILI

AGGIORNATISSIMA, sino agli studi matematici più recenti, alle modernissime applicazioni tecniche ed ai più nuovi materiali costruttivi,

TEORICA E PRATICA,

COMPLETA, dall'analisi infinitesimale all'urbanistica, dal cemento armato precompresso alle norme giuridiche ed alla consulenza tecnica.

Estesa trattazione dei capitoli dedicati alla GEOLOGIA TECNICA, ai materiali LITOIDI ed alle FONDAZIONI.

Volume in-16°, stampato su carta Oxford, rilegato in piena tela con sovracoperta e astuccio L. 5500

EDIZIONI CREMONESE - Via della Croce, 77 - ROMA

A RICHIESTA SI SPEDISCE OPUSCOLO ILLUSTRATIVO