

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA

XIX CONVEGNO NAZIONALE
DI GEOTECNICA



IL MIGLIORAMENTO E IL RINFORZO
DEI TERRENI E DELLE ROCCE

Pavia, 19-21 Settembre 1995

ESTRATTO

VOLUME II

IL MIGLIORAMENTO ED IL RINFORZO DEI TERRENI E DELLE ROCCE CONTROLLI SULLA VALIDITÀ DEGLI INTERVENTI

A. BALOSI RESTELLI

Libero professionista - Milano

SOMMARIO

I controlli sulla validità degli interventi di miglioramento e rinforzo dei terreni vengono esaminati in funzione della tempistica della loro esecuzione (fase di indagine, in corso d'opera, alla fine dei lavori ed a lungo termine) ed a seconda dei differenti tipi di intervento.

Viene inoltre introdotto qualche accenno relativo alla normativa europea sui controlli di qualità in fase di stesura. Qualche esempio viene riportato allo scopo di meglio dimostrare il ruolo fondamentale che i controlli vengono ad assumere nei confronti dell'esecuzione di opere valide sia dal punto di vista tecnico, sia da quello economico. Le memorie di panel dell'ing. Vielmo, del dr. Rossi e del prof. Collepardi integreranno quanto qui accennato in generale, riferendo nel dettaglio alcuni argomenti specifici.

1. PREMESSA

Il tema assegnato coinvolge operazioni di importanza ritengo determinante agli effetti della funzionalità globale dell'intervento da eseguire o eseguito, ma deve essere affrontato con un certo coraggio perchè l'argomento non è tra quelli che risvegliano interesse per la loro singolarità o novità, spesse volte anzi volutamente disatteso, tuttalpiù considerato di importanza marginale.

Ed invece il controllo, specie in corso d'opera, oltre che garantire chi commissiona l'opera, dovrebbe essere considerato anche dall'Impresa esecutrice quale mezzo per ottimizzare le risorse, sveltire i tempi d'intervento, eliminare gli sprechi, correggere le eventuali inadeguatezze progettuali.

Nella trattazione si cercherà di esaminare le tempistiche più opportune per esercitare i controlli ed i differenti tipi di verifiche che ovviamente dovranno tenere conto dell'importanza dell'opera, seguire le varie fasi della realizzazione e dell'esercizio nel lungo termine.

2. FASE D' INDAGINE

Sarebbe auspicabile, non sempre possibile, che un buon controllo iniziasse fin dalla nascita di un'opera e cioè nel corso della sua fase di studio.

Si avrebbe il vantaggio di consegnare al progettista dei dati molto aderenti alla realtà; ne deriverebbe quindi una più sicura scelta della soluzione adeguata del problema, una progettazione più precisa ed una

limitazione sensibile delle correzioni da apportare durante lo svolgimento del lavoro.

Ad esempio è noto quanto nei terreni alluvionali a granulometria grossolana la reale composizione granulometrica sia difficile da determinare, a meno che non si adottino speciali accorgimenti e diametri dei carotieri adeguati, allo scopo di conservare nel campione estratto la giusta proporzione tra i quantitativi dei differenti diametri dei grani.

In sondaggi molto particolari eseguiti anni fa per studiare le fondazioni del Duomo di Milano, le dimensioni del carotiere erano di 300 mm di diametro e 500 mm di altezza ed alla base del campione prima dell'estrazione veniva fatto fluire dell'azoto liquido per costituire una sottile struttura di contenimento.

Altro elemento importante nei sondaggi profondi è la conoscenza di eventuali deviazioni, ossia il controllo dell'esatta direzione dell'asse di perforazione.

Questo naturalmente vale soprattutto per gli studi di dettaglio, quale ad esempio l'andamento del substrato roccioso al di sotto di un alveo fluviale o glaciale.

Le sorprese possono essere evitate sia verificando la deviazione, sia forse più semplicemente coniugando i risultati dei sondaggi con altre indagini più speditive, ad esempio geosismiche.

Sempre a titolo esemplificativo, le indagini su aree molto ampie (lungo gallerie, tratti di linee ferroviarie e stradali, bacini da sistemare, ecc.) i normali sondaggi potrebbero essere, con spesa relativamente modesta, integrati con prove puntuali di registrazione

dei parametri di perforazione ed evitare così che sfuggano situazioni anomale importanti.

I parametri devono essere interpretati da persona esperta, in grado di sfruttare una casistica che già oggi è molto ampia e ben documentata.

3. I CONTROLLI SULLE LAVORAZIONI ED IL MONITORAGGIO PER LE VARIE TECNOLOGIE OPERATIVE

L'argomento è così vasto da creare una certa perplessità sia per la velleità di non dimenticare nulla, sia per il desiderio di non proporre una elencazione noiosa e troppo scolastica, lontana da fatti reali e da fenomeni vissuti.

Il modo più semplice per affrontare la problematica dei controlli di qualità è sembrato quello di costruire dei tabulati molto sintetici con l'elencazione dei differenti tipi di lavorazioni, degli obiettivi da conseguire, dei sistemi di controllo oggi a disposizione o anche semplicemente proponibili e del tipo di monitoraggio consigliato.

E' tuttavia da sottolineare il fatto che i tabulati non pretendono certamente di essere completi ed inoltre esistono sistemi di controllo, che potremmo definire "indiretti", dei quali si parlerà più avanti, che si basano su osservazioni e combinazioni di dati desunti dall'andamento delle lavorazioni di cantiere.

Si è semplicemente tentato di proporre una schematizzazione che potrebbe costituire la base per una integrazione ed un continuo aggiornamento in funzione del progredire delle varie tecnologie.

Per non appesantire la relazione si è preferito raccogliere le tabelle nell'allegato A, poste al termine di questa relazione.

4. CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

Sono fondamentali per la buona riuscita dell'opera e sono ancora oggi così trascurati.

La loro importanza è ovvia: gli interventi nel campo della geotecnica, anche se regolati da precise e dettagliate specifiche progettuali (il che non capita frequentemente perlomeno in Italia), nella maggior parte dei casi non hanno riscontri immediati e palesi come in altre opere di ingegneria, ma la loro efficacia deve essere desunta indirettamente da differenti fattori spesso da combinarsi fra loro.

Si opera per lo più in sottoterraneo, nell'ambito del terreno, e si predispongono miglioramenti e rinforzi per opere che devono essere eseguite in seconda fase, a distanza di tempo.

La risposta dell'obiettivo finale da conseguire dunque non è immediata e d'altra parte se il risultato non fosse adeguato sarebbero necessari interventi ausiliari correttivi molto onerosi (in termini di opere e di tempo).

Di qui la necessità di eseguire controlli frequenti che procedano di pari passo con l'avanzare delle operazioni, siano in grado di fornire elementi di giudizio sulle idoneità dei trattamenti e suggeriscano quei correttivi che spesso devono essere adottati

proprio perchè si lavora in ambiente non palese e pieno di imprevisti.

Sarebbe auspicabile che i controlli fossero già previsti e specificati in sede progettuale: il ruolo preminente deve comunque essere assunto dal direttore dei lavori che deve imporre i controlli, seguirne la corretta esecuzione e successivamente riferire al cliente e, se necessario, al progettista.

Anche il collaudatore dovrebbe essere nominato anticipatamente ed essere tenuto al corrente dell'andamento di queste operazioni di verifica.

A tutt'oggi i controlli in corso d'opera sono molto deficitari, ad eccezione di alcuni sporadici episodi, spesse volte addirittura assenti.

Manca una normativa specifica al riguardo (ad eccezione delle generiche disposizioni del DM 11 marzo 1988) e la questione è generalmente lasciata al buon senso di chi opera.

In parte la cosa è comprensibile per i seguenti motivi:

- le tecnologie degli interventi nel sottosuolo sono molto specifiche, costituite da una sommatoria di elementi di dettaglio in continua evoluzione, tendenzialmente migliorativa per via delle esperienze successive vissute dalle Imprese specializzate

- hanno anche peso in questo senso alcuni brevetti che, essendo in Italia poco difesi, tendono a fare tacere su dettagli esecutivi importanti

- ma con assoluta preminenza gioca la variabilità delle situazioni da affrontare ogni volta. Alcuni interventi sono molto simili fra loro, ma mai possono venire risolti con identiche modalità, perchè devono adattarsi a condizioni al contorno e ad esigenze differenti che sovente variano anche nell'ambito del cantiere stesso.

Da quanto sopra derivano notevoli difficoltà per l'ingegnere direttore dei lavori che raramente può essere esperto di queste speciali tecnologie.

Ed allora sarebbe necessaria e di grande aiuto l'introduzione ufficiale di una normativa più dettagliata al riguardo, che renda obbligatorie le prove in corso d'opera in funzione di certi principi generali che tengano conto dell'importanza dell'intervento e consentano quindi una certa elasticità applicativa all'operatore per potere fronteggiare adeguatamente i singoli casi specifici che, come abbiamo detto, sono sempre differenti fra loro.

4.1. QUALCHE CONSIDERAZIONE SULLA NORMATIVA

Per quanto concerne la normativa sono sorte già da tempo varie iniziative: ricordo ad esempio le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (giugno 1977) elaborate dall'A.G.I., le "Nuove norme tecniche per terreni, opere di sostegno e fondazioni" D.M. del LL.PP. dell'11/3/1988, Supplemento Ordinario alla G.U. n. 127 dell'1/6/1988 e le "Raccomandazioni sugli ancoraggi nei terreni e nelle rocce" (maggio 1993) emesse a cura dell'A.I.C.A.P.

Da qualche anno ci si sta muovendo decisamente a livello europeo: il CEN (Comitato Europeo per la Normalizzazione), attraverso il TC 288 (Technical Committee on Execution of Geotechnical Works), si occupa delle normative relative alle procedure per l'esecuzione delle opere geotecniche speciali compresi i controlli relativi e le caratteristiche dei materiali utilizzati.

Nel 1991 si è costituita l'E.F.F.C. (European Federation of Foundation Contractor) di cui l'A.N.I.E.F. (Associazione Nazionale Imprese Esecutrici di Fondazioni) è tra i quattro Soci fondatori.

L'E.F.F.C. tra le altre attività si è collegata con il CEN proponendosi autonomamente per la compilazione delle normative tecniche europee "armonizzate" tra le varie Nazioni, allo scopo di favorire l'applicazione in ambito CEE.

Nell'allegato B di questa relazione si è riportato il punto sintetico attuale dei lavori così come è stato gentilmente trasmesso dal Dr. Erman Mongilardi, attualmente presidente dell'A.N.I.E.F., che assieme all'UNI segue oggi per l'Italia la stesura delle normative.

Così potrete vedere come le normative europee relative ad ancoraggi, pali trivellati, diaframmi e palancole saranno pronte entro l'anno in corso per l'approvazione finale e la pubblicazione; mentre le normative relative a pali infissi, iniezioni, jet grouting, micropali, vibroflottazione, drenaggi, dewatering sono tutte in corso di stesura e dovrebbero essere pubblicate entro il 1999.

Sono tutti lodevoli, indispensabili interventi, ai quali dovrebbero aggiungersi sin da ora tutti quei "passi" necessari per portare le normative europee a livello governativo, allo scopo che vengano al più presto imposte per Legge.

L'A.G.I., con il supporto dell'A.N.I.E.F., potrebbe essere in Italia l'Ente più qualificato per portare avanti quest'ultima fase del faticoso lavoro che si sta compiendo.

4.2. ESEMPI DI CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

Si riferisce qui di seguito su due casi in cui i controlli in corso d'opera sono stati eseguiti con grande cura per assolvere due differenti necessità.

Il primo, determinato da rischio e difficoltà, tratta delle delicate iniezioni di consolidamento del terreno sotto la platea di fondazione del grattacielo cosiddetto di Milano (piazza Repubblica, angolo Viale Tunisia) eseguite per consentire lo scavo in sicurezza della grande stazione a foro cieco del Passante Ferroviario.

Il secondo, determinato invece principalmente da ragioni di economia, tratta di iniezioni a volume controllato eseguite, nell'ambito di un tratto di galleria crollata, allo scopo di consolidare l'intorno e consentire la riapertura del cavo con buon margine di sicurezza.

4.2.1. LOTTO 1PB DEL PASSANTE FERROVIARIO DI MILANO

Questo intervento è già stato oggetto di alcune pubblicazioni (vedere bibliografia).

Il grande scavo della galleria di stazione (larghezza 24,80 m, altezza 10 m) ha lambito un lato della platea di fondazione del grattacielo di 29 piani, come mostra la fig. n. 1.

Il terreno tutt'attorno allo scavo è stato consolidato mediante iniezioni.

La difficoltà è consistita nel fatto che da una parte era necessario conferire al terreno un sufficiente grado di consolidamento ed un incremento sensibile del modulo elastico il più omogeneamente possibile, dall'altra parte non era consentito sollevare il lembo esterno delle fondazioni più di 2 mm, altrimenti le tensioni dei ferri d'armatura della parte centrale della platea di fondazione avrebbero raggiunto il limite di snervamento (a causa della notevole deformazione subita dalla fondazione all'epoca della sua costruzione).

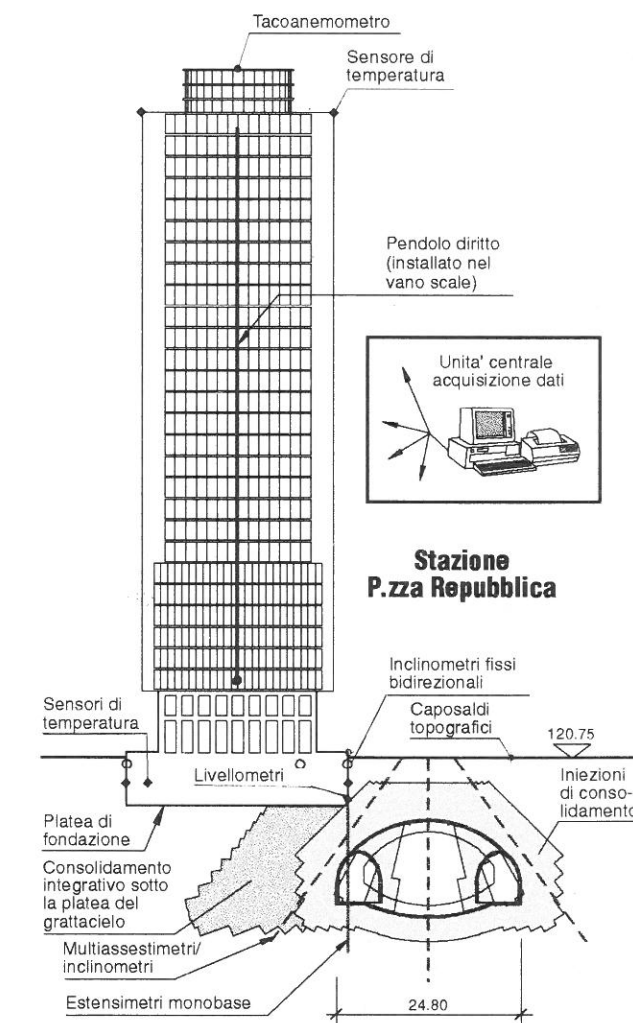


Figura 1 - Passante Ferroviario di Milano. Stazione a foro cieco di piazza Repubblica. Schema delle apparecchiature di controllo per la verifica delle deformazioni del cavo e dei movimenti del grattacielo nel corso dei lavori

Da quanto sopra la grande delicatezza delle operazioni d'iniezione, specialmente di quelle eseguite a partire dal cunicolo laterale a diretto contatto con la platea del grattacielo.

Si è allora deciso di procedere con i volumi immessi in ciascuna valvola di iniezione e con le relative pressioni di pari passo con le risposte delle varie

Così si è potuto verificare quanto segue:

- il funzionamento complessivamente regolare dell'arco consolidato, tanto che il peso del grattacielo si faceva risentire fin al di sotto delle fondazioni degli edifici sull'altro lato di viale Tunisia (spostamento verso l'esterno dell'inclinometro S3)
- in concomitanza cedimenti assai contenuti del lem-

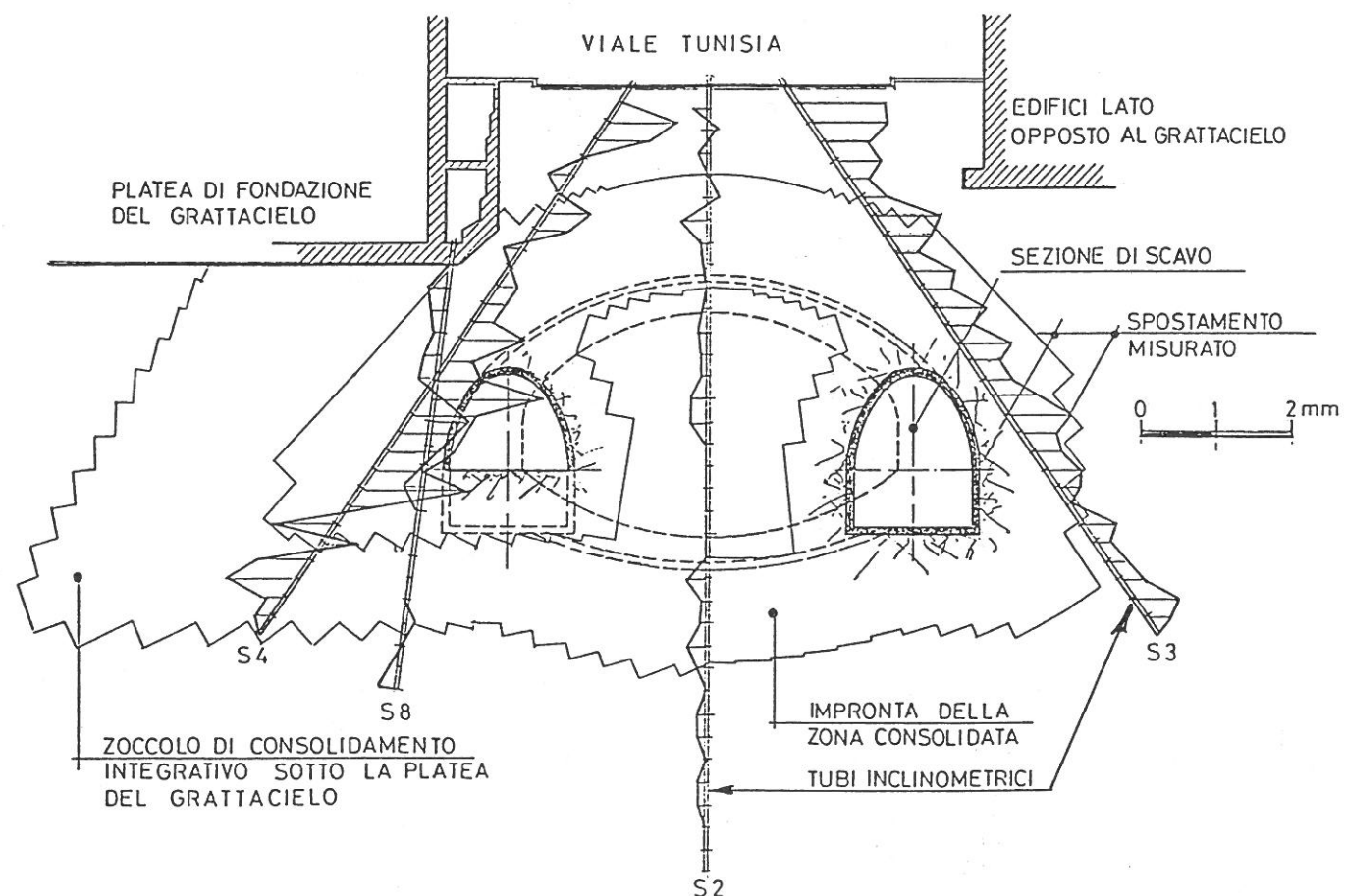


Figura 2 - Sono evidenziate le deformazioni indotte nel terreno per effetto dello scavo dei due cunicoli laterali. E' indicato il volume di consolidamento integrativo, eseguito successivamente, per deviare più in basso gli sforzi derivanti dal peso del grattacielo e così sgravare l'arco della grande calotta.

apparecchiature di monitoraggio a disposizione.

Inoltre le miscele di iniezione venivano di continuo controllate per assicurare la loro massima penetrabilità nel terreno in modo da evitare sollevamenti per "claquage".

L'importante strumentazione installata (due pendoli nel vano scale del grattacielo, multiassessimetri e deformometri nel terreno dell'arco di consolidamento, livellometri sui fabbricati limitrofi e misure topografiche di precisione) hanno fornito notizie interessantissime durante lo scavo dei due cunicoli laterali (che avrebbero poi alloggiato i getti dei piedritti del rivestimento).

In figura 2 si possono notare le deformazioni indotte da questa prima fase di scavo.

bo del grattacielo lato Tunisia

- nel complesso un leggero "sbandamento" del guscio consolidato resistente verso il lato opposto al grattacielo, il che ha messo in evidenza, in vista dell'apertura della grande calotta, l'opportunità di costituire, tramite iniezioni aggiuntive, un ulteriore "zoccolo" di consolidamento al di sotto del lembo esterno della platea di fondazione, allo scopo di deviare verso il basso parte degli sforzi trasmessi al terreno lateralmente al piedritto della galleria.

Le iniezioni, come già si è detto, hanno potuto essere eseguite in modo indolore, agli effetti del sollevamento, variando continuamente i dosaggi delle miscele e le pressioni in funzione delle reazioni segnalate dagli strumenti.

Per chi volesse saperne di più vi sono le pubblicazioni al riguardo; per quanto concerne il presente tema si è voluto solamente sottolineare il ruolo determinante che in questo caso hanno rappresentato i controlli ed il monitoraggio in corso d'opera.

4.2.2. VARIANTE DI ANTIGNANO DELLA S.S. AURELIA (LI): LA GALLERIA MONTENERO

Si riferisce qui brevemente sui controlli eseguiti nell'ambito di iniezioni di consolidamento per il riassetto statico di un tratto di 160 m circa, dove lo scavo delle due gallerie gemelle ha dovuto essere sospeso per una serie di sfornellamenti e camini che si sono manifestati a causa di un repentino peggioramento delle caratteristiche di coesione del terreno, proprio al momento del congiungimento tra i due fronti di avanzamento della canna di monte.

Grosso incidente che purtroppo non aveva potuto

essere previsto e quindi evitato perché il decadimento delle caratteristiche meccaniche del terreno in quella zona limitata (microscisti molto deteriorati con intrusioni di limo arenaceo) non era stato evidenziato dalle indagini geognostiche preliminari.

Dopo una serie di iniezioni di riempimento dei vuoti macroscopici eseguite tramite semplici perforazioni dall'alto ed inclinate a partire da una superficie sicura a valle della zona dei dissesti, si è impostato sempre dall'esterno un trattamento di iniezione a volume controllato attraverso tubi a valvola verticali.

Scopo di queste iniezioni era la costituzione di archi di terreno resistente tutt'attorno ai cavi da riaprire per una altezza oltre la calotta di 9 m (pari a circa il diametro delle gallerie - vedere fig. 3) ed al di sopra la ricomprensione fino in superficie del terreno dissestato nel corpo stesso dei camini.

Data la grande incertezza delle reazioni di questo

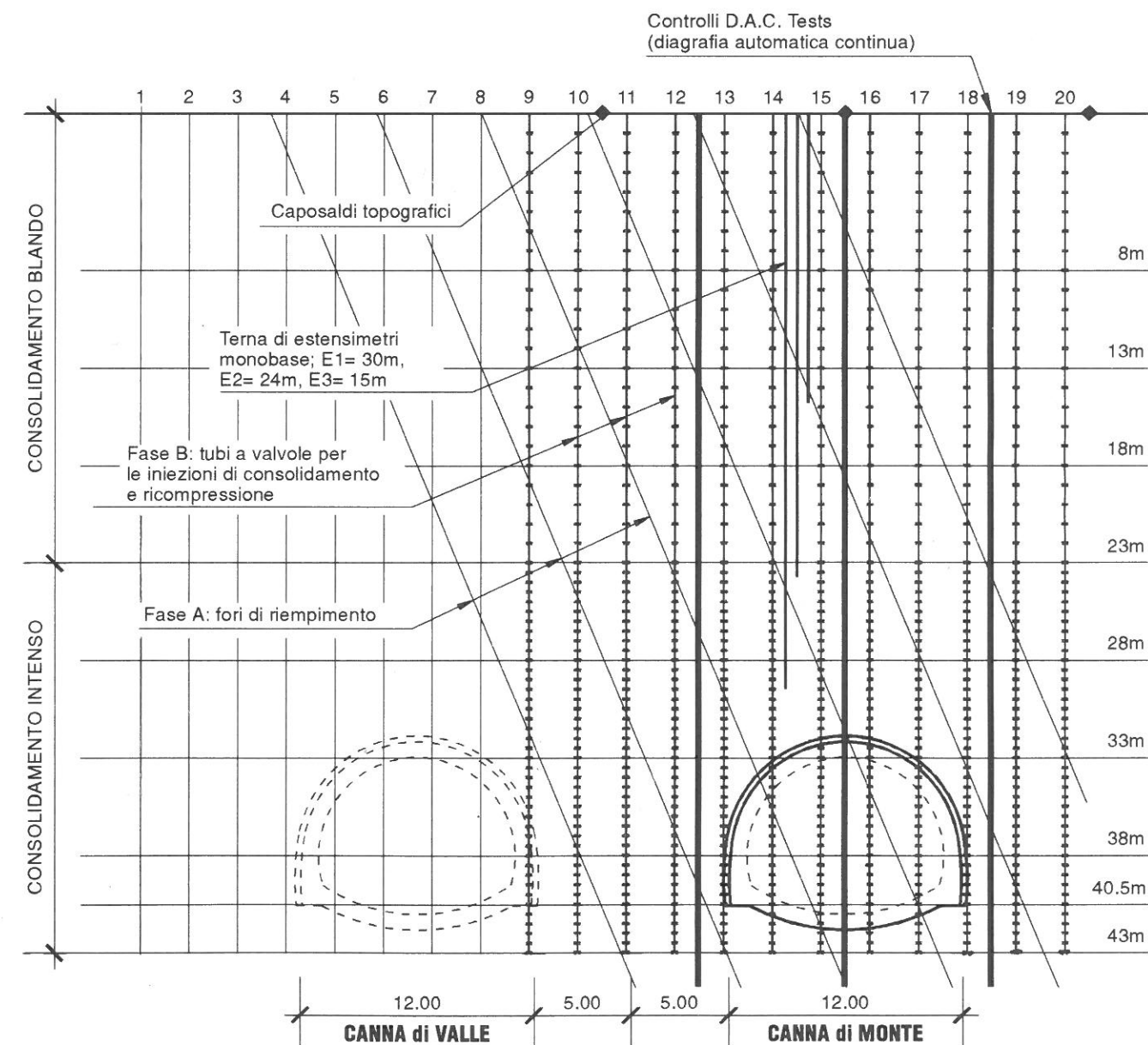


Figura 3 - S.S. Aurelia n. 1, variante di Antignano. Sezione delle gallerie gemelle Montenero; schema degli interventi di iniezione di ricomprensione e consolidamento e della strumentazione di controllo

ammasso caotico, è stata impostata una prova di iniezione lungo un tratto della galleria di monte di una quindicina di metri di lunghezza, allo scopo di mettere a punto le miscele più idonee, la metodologia di intervento ed i quantitativi necessari.

Durante le prime iniezioni sono subito emerse notevoli difficoltà operative originate soprattutto dalla presenza di vuoti residui e di zone di estrema decompressione: gli assorbimenti della stessa miscela di guaina attorno a tubi a valvola risultavano notevoli e la reazione del terreno quasi nulla anche dopo la prima passata di iniezioni.

Si è allora deciso innanzitutto di suddividere il trattamento in due fasi successive: la prima con miscela meno fluida per il completamento del riempimento e per ottenere un certo grado di ricomprensione, l'altra con miscela più fluida, ma decisamente stabile per completare il consolidamento con una sorta di permeazione tramite "microclaquages".

Le miscele preparate in cantiere venivano controllate più volte al giorno misurandone la densità, la viscosità, la stabilità e confrontando tali valori con quelli di progetto ottenuti sulle miscele campione preparate in laboratorio.

Nella seconda fase ci si è posti come obiettivo il raggiungimento di una pressione (fissata quale "pressione di rifiuto") di 15 bar.

La pressione di "rifiuto" era regolata all'uscita degli iniettori e l'iniezione veniva automaticamente sospesa quando la velocità di iniezione risultava troppo lenta e cioè quando, a quella determinata pressione, non si riusciva più ad iniettare miscela nel terreno.

L'andamento della pressione di iniezione per ciascuna valvola veniva inoltre registrato, in funzione del tempo, su supporto cartaceo e, quando l'iniezione doveva essere sospesa, veniva trascritto sul grafico il numero di colpi registrato dall'iniettore.

Dal numero di colpi si risaliva immediatamente al volume di miscela iniettato.

Purtroppo fin dall'inizio delle iniezioni di completamento finale la reazione del terreno risultava ancora decisamente bassa: a stento si raggiungevano, e non sempre, i 10 bar.

Si è allora incrementata di un paio di punti la percentuale complessiva del volume di miscela immesso in ogni valvola, portandola al 5% rispetto al volume di terreno da trattare.

In corrispondenza del campo prova e successivamente per tutta la zona iniettata fino al fronte lato Roma sono stati tracciati dei diagrammi di assorbimento a diverse profondità.

Su tali diagrammi veniva riportato il quantitativo di miscela iniettata per ogni strato di terreno di 5 m di spessore (vedere la figura n. 4 dove è esposta la situazione tra 23 m e 28 m di profondità).

Anche la composizione della miscela, dopo accurati, quotidiani controlli, è stata modificata in seconda fase con buon risultato.

Sulla base di quanto messo a punto come sopra descritto, si è proceduto al trattamento di tutta la zona del dissesto.

Permanendo tuttavia l'incertezza che il quantitativo di miscela immesso non fosse sufficiente per ottenere lo scopo prefissato, si sono intraprese delle sistematiche verifiche mediante Dac tests (diagrafia automatica continua) che si sono rivelate utilissime per le seguenti ragioni:

- con prove comparate eseguite nel corpo di uno sfornellamento, lateralmente in zona certamente non coinvolta dai fenomeni di cedimento e nel terreno consolidato, si è potuto capire che il trattamento di iniezioni aveva apportato un notevole stato di coesione, qualche volta anche superiore a quello del terreno al suo stato naturale (vedere figura n. 5)

- tramite prove eseguite in zone molto lontane a monte ed a valle dell'incidente si è inoltre compreso come la zona in questione fosse caratterizzata da resistenze meccaniche decisamente inferiori rispetto alla media di tutta la restante parte della galleria

- in definitiva, prima di dare il via allo scavo i dati desunti dalle prove hanno potuto fare comprendere maggiormente le ragioni di quanto occorso e soprattutto fare constatare come il grado di consolidamento ottenuto con i quantitativi a disposizione (non avrebbero potuto essere aumentati per ragioni di limitazione di spesa) fosse compatibile con la stabilità del cavo, sempreché il fronte di avanzamento venisse ulteriormente tenuto mediante l'intervento già previsto con tubi in vetroresina.

Lo scavo di tutta la galleria di monte è stato successivamente completato e la galleria forata senza particolari problemi.

Questo esempio dimostra ancora una volta come i controlli in corso d'opera effettuati abbiano aiutato il progettista e la Direzione Lavori a procedere con interventi correttivi idonei, utilizzando i quantitativi minimi indispensabili per la sicurezza.

5. I CONTROLLI FINALI

Queste verifiche al termine dei lavori sono di gran lunga più richieste dalla committenza, perchè rientrano nella prassi normale della conduzione di un'opera.

Essi rivestono una importanza rimarchevole perchè possono fornire il giudizio definitivo sull'idoneità di un certo intervento: assumerebbero tuttavia maggiore valore se fossero precedute da verifiche in corso d'opera e così potere essere considerate come il punto finale di tutto il sistema di controllo.

Si ribadisce dunque ancora una volta il concetto della ottimizzazione degli interventi di tipo geotecnico che non può che essere conseguita se non di giorno in giorno con l'introduzione delle opportune correzioni a quanto previsto dal progetto.

Anche nel campo dei controlli finali manca totalmente una normativa precisa ed il tutto è lasciato alla iniziativa del progettista o del direttore dei lavori.

A questo punto è necessario dire che non sempre le prove imposte sono le più idonee e spesso vengono desunti dei dati che si discostano in senso qualche volta ottimistico, altre volte pessimisti-

co, dall'effettiva realtà dello stato di miglioramento o rinforzo ottenuto.

Ad esempio per un terreno trattato con iniezioni, la prova normalmente richiesta è l'estrazione di campioni mediante carotaggio; la rispondenza dei risultati all'effettivo grado di consolidamento ottenuto dipende in questo caso dall'accuratezza con la quale viene eseguito il carotaggio e dal tipo di carotiere utilizzato.

Il campione deve essere disturbato il meno possibile e quindi protetto durante la perforazione sia nei

vamente costose) in modo da potere dedurre tramite risultati mediati l'incremento reale del miglioramento apportato, superando così devianti fenomeni locali.

Così ad esempio:

- per la verifica di uno schermo impermeabile: si è soliti ricorrere a carotaggi ed a prove puntuali di permeabilità (Lugeon o Lefranc a seconda del tipo di terreno, roccioso o granulare).

Per le dighe (fondate su roccia) esiste anche una normativa in termini di unità Lugeon.

Tuttavia, senza togliere merito alcuno alle prove

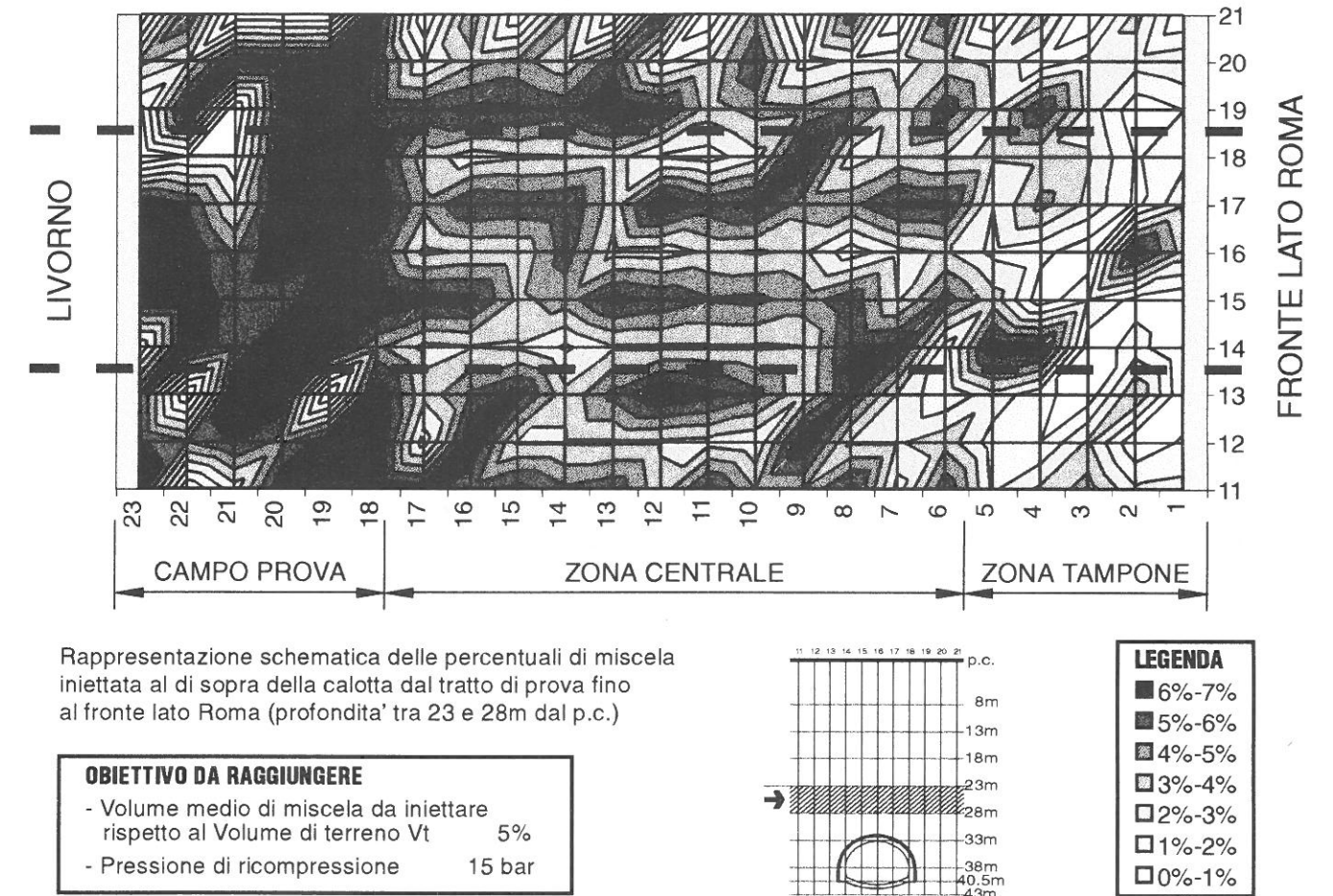


Figura 4 - Diagramma a "macchia" che evidenzia con colori sempre più chiari gli scostamenti dall'obiettivo da raggiungere.

confronti dei fluidi, sia dagli effetti degli attriti che possono provocare torsioni e rotture.

Nel caso dei terreni granulari è praticamente impossibile, anche adottando precauzioni particolari, ricavare campioni integri e questo porta generalmente ad una sottostima delle caratteristiche meccaniche.

Un notevole miglioramento può essere conseguito utilizzando diametri molto grandi (oltre ϕ 300 mm) e speciali carotieri con anima interna girevole.

Sono comunque sempre preferibili prove di tipo globale che siano in grado di verificare l'insieme del risultato raggiunto, oppure un notevole numero di prove puntuali (che naturalmente non siano eccessi-

suaccennate che se bene eseguite risultano utilissime, sono le verifiche globali da raccomandare vivamente, perchè solo attraverso di esse si può avere una precisa idea del grado di impermeabilizzazione raggiunto nelle varie zone.

Così per gli schermi realizzati in terreno alluvionale incoerente con presenza di falda, ottime informazioni ha sempre fornito la prova di emungimento tramite pozzo posto al centro di uno schermo su corona circolare ed una serie di piezometri localizzati tutt'attorno all'esterno.

Durante la fase di invaso con l'innalzamento del livello d'acqua a monte è sempre utilissima un'attenta correlazione fra i dati forniti dai piezometri realizzati

appena a valle dello schermo (generalmente eseguiti a partire dal cunicolo perimetrale) e dai piezometri a maggiore distanza sempre verso valle.

Si possono così verificare bene, ad opera ultimata, le reti di flusso che d'abitudine vengono studiate in fase di progettazione per stabilire l'entità e la profondità delle schermature impermeabili - per la verifica del consolidamento di un terreno: non bisogna dimenticare in questo caso la possibilità di eseguire molte perforazioni strumentate con rilevamento dei parametri tipici (Dac tests): il sistema è poco conosciuto ed in via di perfezionamento (calcolo dell'energia specifica).

È tuttavia già stato utilizzato molte volte ed i dati

per consentire l'esecuzione di scavi (gallerie, pozzi profondi, ecc...) è importante verificare le deformazioni finali del terreno tutt'attorno fino in superficie, tramite multiassestimetri e livellometri.

È così possibile confrontare i valori realmente ottenuti con quelli calcolati.

Nei casi più delicati, sempreché sia consentito dalla tempistica del cantiere, è raccomandabile un tratto di scavo di prova.

Così è stato fatto per una ventina di metri nel lotto 1PB del Passante Ferroviario di Milano (già più sopra accennato), prima di arrivare nella zona del grattacielo.

I dati finali dopo lo scavo hanno evidenziato una

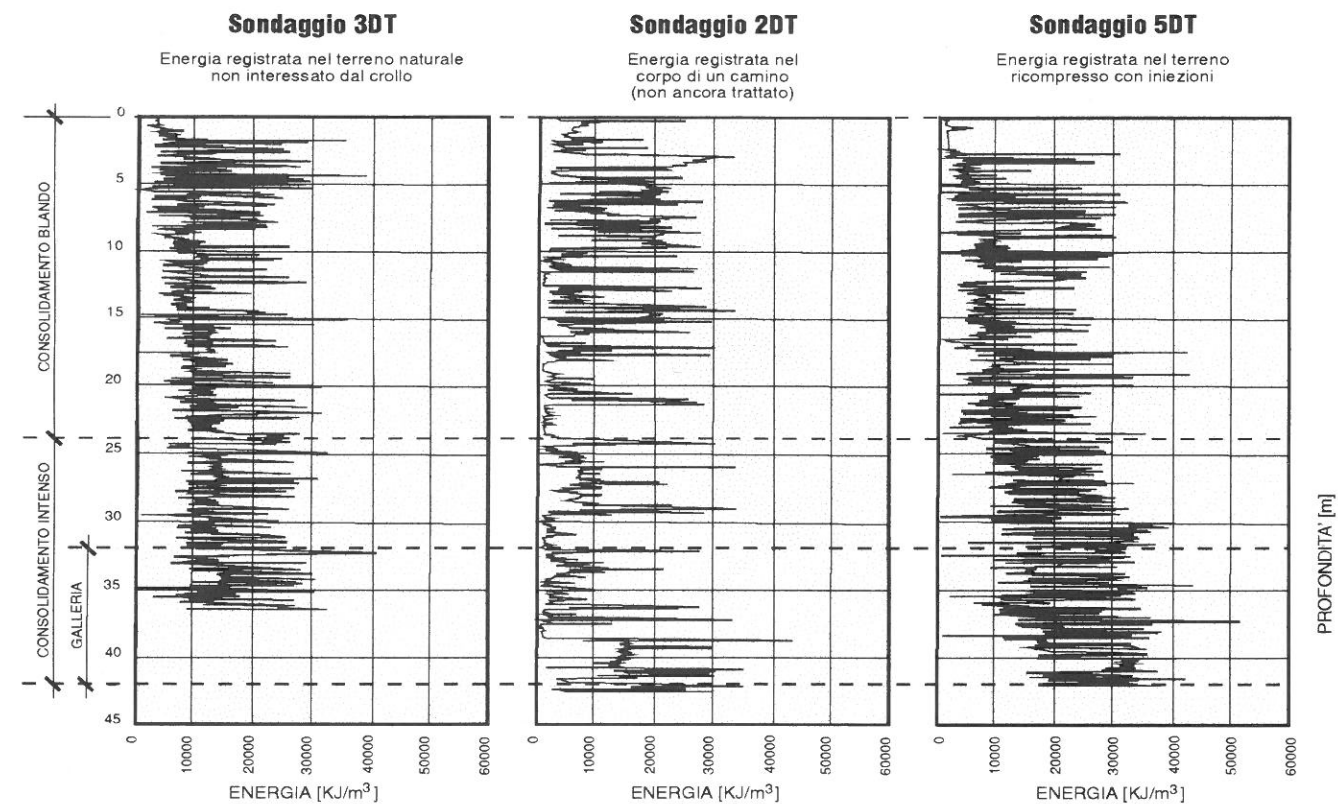


Figura 5 - Diagrammi delle energie, calcolate combinando differenti parametri di perforazione (velocità di avanzamento e di rotazione, spinte sull'utensile, pressione di fluido di circolazione, momento torcente dell'utensile) nelle differenti situazioni indicate - Dac tests (Diagrafia Automatica Continua)

mediati di numerose prove hanno sempre fornito risultati molto interessanti; è consigliabile avere a disposizione dati dello stesso tipo eseguiti nel terreno prima dell'intervento.

Le prove con pressimetro sono decisamente più costose e più lunghe da eseguire: d'altra parte sono quelle che forniscono dei dati abbastanza precisi sul modulo di deformazione.

È quindi auspicabile un'integrazione fra prove pressimetriche (in misura limitata) e numerosi Dac tests.

In particolare per giudicare la funzionalità degli archi resistenti di consolidamento del terreno costituiti

deformazione inferiore al calcolato (sottostima del modulo) e tramite back-analysis hanno consentito una revisione dei valori dei moduli elastici del terreno consolidato ed infine una revisione generale dei tipi di miscela da impiegare e dei volumi necessari.

6. IL MONITORAGGIO A LUNGO TERMINE

Questi controlli nel lungo periodo rivestono due ruoli molto importanti: l'uno di carattere decisamente scientifico, l'altro più legato all'efficienza dell'opera ed alla obsolescenza degli interventi praticati. A titolo esemplificativo, per quanto riguarda il primo ruolo sarebbe molto interessante potere seguire nel lungo

periodo l'evoluzione dei cedimenti di un rilevato stradale fondato su bancate di terreno argilloso cedevole, magari oggetto di intervento con dreni per accelerare i fenomeni.

Passando ad un esempio concreto, in epoca recente ho avuto modo di seguire un interessante cantiere della nuova superstrada Pisa-Livorno (Vicarello Stagno): per ragioni di infrastrutture già esistenti al contorno, in un tratto si è eseguito un trattamento con il sistema deep-mixing perché era qui necessario ridurre al minimo i cedimenti; viceversa in un secondo tratto, più libero al contorno, i brevi tempi di entra-

Ma purtroppo in seguito le misurazioni sono cessate ed è così stato impossibile ricostruire la parte finale della curva dei cedimenti.

Nel caso specifico ciò non ha comportato alcuna conseguenza negativa, ma si è perduta un'occasione per verificare il calcolo dei cedimenti nella zona forse meno indagata dell'assestamento, là dove i cedimenti sono di entità piccola e tendono a protrarsi per un periodo molto lungo fino all'incognito esaurimento finale.

Per quanto concerne il secondo ruolo, e cioè l'obsolescenza degli interventi praticati, una esem-

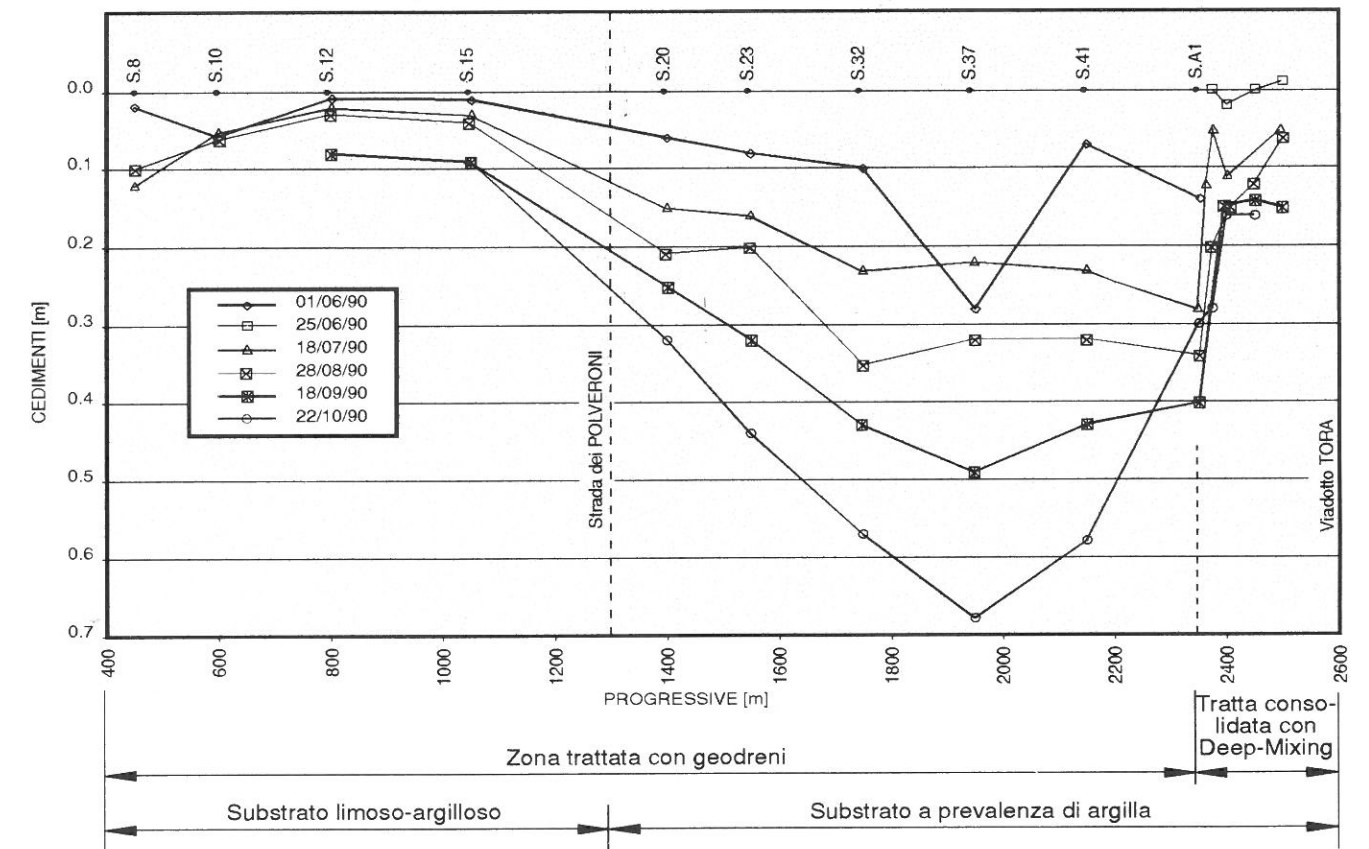


Figura 6 - Superstrada Pisa-Livorno. Cantiere di Vicarello Stagno. Evoluzione dei cedimenti, nei primi 7 mesi, della tratta consolidata con deep-mixing e della tratta interessata dai geodreni

ta in funzione della strada hanno imposto l'accelerazione massima dei cedimenti che è stata ottenuta mediante geodreni molto ravvicinati fra loro.

Ambedue le tratte sono state poste sotto controllo sistematico (con assestimetri a piastra; vedere la figura n. 6) e fino alla fine del cantiere i cedimenti hanno potuto essere controllati e verificata la loro rispondenza con quanto calcolato in fase progettuale.

Si è così colta la parte certamente più importante del fenomeno.

Nel caso del deep mixing, a seguito della costruzione del rilevato stradale, il cedimento massimo dopo 7 mesi dalla costruzione del rilevato è stato di 15 cm, contro i 19,5 cm totali previsti; nel caso dei geodreni, di 70 cm contro gli 87 cm totali previsti.

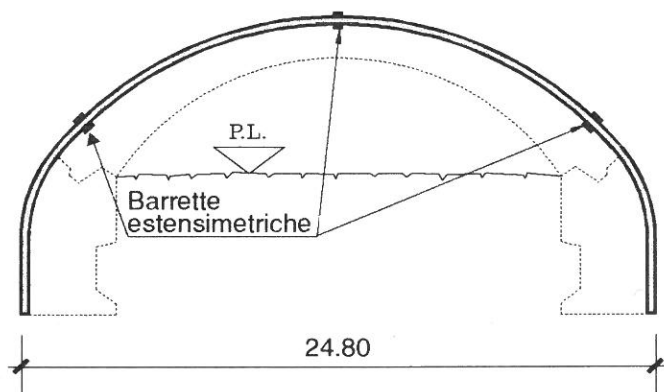
plificazione molto importante sembra possa essere quella della permanenza nel lungo periodo del grado di consolidamento fornito ad un terreno mediante iniezioni.

Qualche tentativo in questo senso è stato fatto dalla MM: ad esempio nel lotto 1PB del Passante Ferroviario di Milano, già più sopra menzionato, in un paio di sezioni in corrispondenza del grattacielo sono state strumentate due centine con barrette estensimetriche e nel rivestimento definitivo in c.a. sono state applicate barrette ai ferri d'armatura sia all'estradosso che all'intradosso e celle di pressione in chiave calotta ed alla sommità dei due piedritti (vedere fig. n. 7).

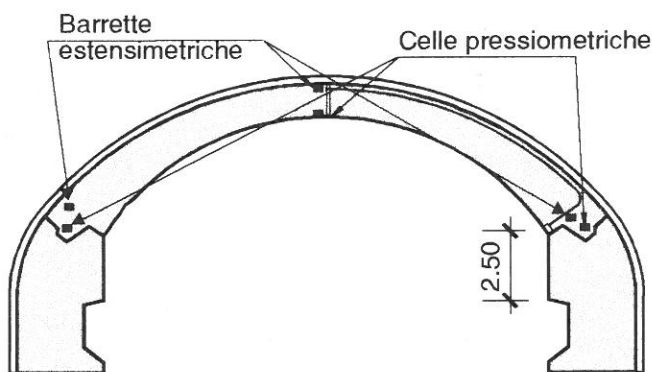
Si è così potuto seguire con grande precisione la funzionalità dell'arco resistente di terreno iniettato tutt'attorno e per un certo periodo si ha avuto modo di constatare senza alcun dubbio sia la piccola entità delle sollecitazioni trasmesse dal terreno a centine e rivestimento, sia la costanza nel tempo di tutti questi valori.

Queste misure dovrebbero continuare per vari anni e questo potrebbe portare anche a delle conclusioni interessanti dal punto di vista economico: infatti se le sollecitazioni trasmesse tendessero a non mutare o raggiungessero valori ben definiti, si potrebbe anche esaminare la possibilità di ridurre o addirittura eliminare l'armatura dei rivestimenti del calcestruzzo delle gallerie metropolitane, coinvolgendo dunque

Strumentazione della centina



Strumentazione del rivestimento in c.a.

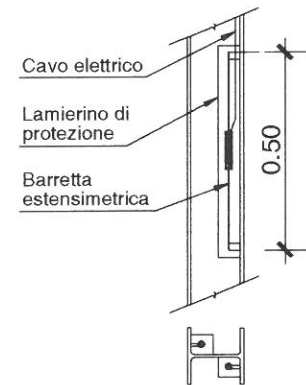


rabili, sono di importanza determinante perchè non solo proteggono l'opera nella sua globalità, ma attraverso di esse si può ottenere un'ottimizzazione dei trattamenti di miglioramento e rinforzo.

Purtroppo i controlli a lungo termine sono di fatto quelli più disattesi e trascurati, forse perchè, una volta terminata un'opera, il gruppo che l'ha costruita si scioglie, Impresa e Direzione Lavori sono chiamate ad altri incarichi, forse perchè i progettisti si rivolgono come è naturale a nuove realizzazioni, forse anche perchè i gestori stessi dell'opera non sempre comprendono l'importanza e la necessità di queste precauzioni o semplicemente non vogliono spendere.

Questa realtà, cui fanno forse un po' eccezione le

Schema d'installazione della barretta estensimetrica sulla centina



Schema d'installazione della barretta estensimetrica sulla gabbia d'armatura

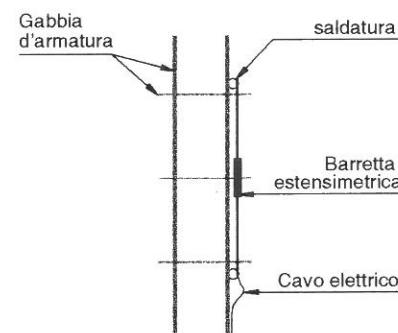


Figura 7 - Passante Ferroviario di Milano. Stazione Repubblica con scavo a foro cieco. Schema delle apparecchiature di controllo a lungo termine, inserite nelle centine e nel rivestimento definitivo della grande calotta.

nel lungo termine direttamente gli archi di terreno consolidato.

Come si può notare queste verifiche nel tempo, che certamente richiedono un notevole sforzo organizzativo ed anche comportano dei costi non trascurabili,

dighe, evidenzia e rafforza l'inderogabile necessità di stabilire al più presto una normativa impositiva anche per quanto riguarda il lungo termine.

7. I CONTROLLI RELATIVI AD UNA PARTICOLARE TECNOLOGIA OPERATIVA: IN CORSO D'OPERA, FINALI ED "INDIRETTI"

A questo punto della relazione si è ritenuto utile, sempre a titolo esemplificativo, scendere nei dettagli esecutivi dei controlli relativi ad una qualsiasi tecnologia operativa.

Pur essendo molto interessante ed utile la difficile problematica che ruota attorno alle miscele di iniezione, si è invece deciso di ispezionare nel dettaglio la tecnica della gettiniezione (jet grouting) a causa soprattutto della utilizzazione sempre più diffusa di questa lavorazione.

La tecnologia è nota: concettualmente semplice, richiede tuttavia una grande esperienza e l'adozione di manovre assai delicate che, se non applicate adeguatamente, portano ad insuccessi anche clamorosi.

In questo capitolo dunque vengono esposti tutti i controlli che possono essere eseguiti sulla lavorazione del jetgrouting sia "diretti" sia "indiretti", che permettono di verificare il risultato delle lavorazioni nel loro complesso.

E' ovvio che la tipologia e la frequenza dei controlli siano definite in rapporto all'entità del lavoro ed alle difficoltà che i requisiti di progetto possono comportare.

A quest'ultimo proposito gli interventi più impegnativi riguardano i consolidamenti intensivi di terreni coesivi ed in questi casi la disponibilità di una esauriente documentazione dovrebbe essere implicita nella programmazione dei controlli.

Ne consegue che le elaborazioni statistiche in oggetto (fra le quali è di particolare interesse la stima "indiretta" del diametro medio delle colonne) si basano essenzialmente su dati di controllo che dovrebbero comunque essere acquisiti e registrati dal cantiere.

7.1. GETTINIEZIONE E CONTROLLI "DIRETTI" IN CORSO D'OPERA

7.1.1. CONTROLLI DELLA MISCELA STABILIZZANTE

Il fluido stabilizzante è generalmente costituito da una sospensione con rapporto cemento/acqua variabile in funzione degli obiettivi preposti, e pertanto è importante controllare la qualità del cemento e la costanza del rapporto cemento/acqua.

Questi controlli possono essere facilmente eseguiti sulla miscela e consistono nella verifica di:

- peso di volume
- decantazione
- resistenza a compressione.

7.1.2. CONTROLLI DEI MATERIALI DI SPURGO

La quantificazione del materiale di spurgo, rifluente durante il jet grouting, è necessaria soprattutto nel caso di terreni coesivi di bassa permeabilità, dove il rapporto volumetrico fra materiale rifluito e miscela iniettata deve essere controllato onde evitare ecces-

sivi spostamenti laterali e sollevamenti del terreno circostante.

Tale controllo, se difficile da realizzare continuamente, deve essere abbastanza frequente da consentire tempestive modifiche operative, se lo spurgo è troppo scarso.

Associando ai rilievi volumetrici il prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio, atte a stimare la composizione, ed eseguendo analoghe prove su campioni di terreno trattato, è possibile eseguire dei "bilanci analitici" che consentono di valutare indirettamente le dimensioni medie delle colonne, come accennato nel par. 7.1.5.

I suddetti controlli del materiale di spurgo sono pertanto importanti sia in fase esecutiva, che nel consuntivo finale dell'intervento.

7.1.3. DIMENSIONI DELLE COLONNE

La misura diretta delle dimensioni delle colonne è difficilmente realizzabile soprattutto nel caso di trattamenti profondi.

Prescindendo infatti dall'osservazione visiva mediante scavo e messa a giorno delle colonne e salvo il caso di interventi relativi a scavi di pozzi e gallerie, la misura delle dimensioni delle colonne stesse può essere attuata mediante carotaggi o prove penetrometriche.

Tenuto però conto della inevitabile deviazione sia delle colonne sia delle perforazioni stesse di indagine, risulta che tali controlli, nel caso di trattamenti colonnari puntuali o lineari sono affidabili solo fino a modeste profondità.

Al contrario, nei trattamenti di massa, eseguendo perforazioni sia verticali, sia inclinate, tali controlli possono ritenersi attendibili anche a considerevoli profondità.

7.1.4. CONTINUITA' ED OMOGENEITA' DELLE COLONNE

Sono controlli che possono essere eseguiti fino a modeste profondità in quanto, anche in questo caso, si presenta il duplice problema della verticalità della colonna e del carotaggio di controllo. Anche i vari metodi "non distruttivi" quali ad esempio il "carotaggio sonico" o la "eco", presentano problemi di interpretazione.

7.1.5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Le caratteristiche da valutare su campioni rappresentativi del terreno trattato possono suddividersi in due categorie:

- caratteristiche meccaniche (resistenza e deformabilità a compressione), generalmente sufficienti per un giudizio con riferimento alle specifiche od alle previsioni
- caratteristiche volumetriche, in base alle quali si può stimare la composizione in termini di cemento, terreno secco ed acqua totale.

La composizione, valutata con analoghe procedure analitiche anche sul materiale di spurgo, è l'indispensabile presupposto che consente di stimare la dime-

sione media delle colonne, come vedremo in seguito (par. 7.2.3.).

7.1.6. COMPORTAMENTO SOTTO CARICO

Per una corretta verifica delle ipotesi progettuali è sempre bene distinguere la deformabilità delle colonne da quella del terreno sottostante.

I dispositivi multiassessimetrici, installati nelle colonne e nel terreno sottostante, permettono di misurare la deformabilità delle colonne stesse ed inoltre, sempre che questo sia compatibile con successive lavorazioni, di seguire l'andamento dei cedimenti a lungo termine.

7.2. CONTROLLI "INDIRETTI" E BILANCI ANALITICI

7.2.1. PARAMETRI DI PERFORAZIONE

Sulla base della registrazione continua dei parametri di perforazione (velocità di avanzamento, spinta sull'utensile, coppia applicata e velocità di rotazione) può essere elaborato il valore dell'energia specifica di perforazione in funzione della profondità.

I "profili energetici" che se ne deducono possono essere utilizzati per valutare l'efficacia del trattamento, per esempio confrontando il "profilo energetico" del terreno naturale con quello ottenuto all'interno di una colonna.

I valori dell'energia specifica possono inoltre essere correlati a valori di resistenza nel caso in cui, in corrispondenza di una stessa colonna di taratura venga rilevato il profilo energetico e vengano anche prelevati campioni per l'esecuzione delle prove di

resistenza.

7.2.2. PARAMETRI DI JET GROUTING

I parametri da controllare sono:

- la velocità di trattamento (risalita dell'utensile)
- la forza applicata durante la risalita
- la velocità di rotazione
- la pressione dei fluidi disgreganti e stabilizzanti
- la portata dei suddetti fluidi
- i volumi specifici (per metro di colonna) dipendenti dalla combinazione dei parametri a) ed e).

La traduzione dei parametri operativi in "energia specifica" lineare caratterizza l'onere energetico riferito all'unità di lunghezza delle colonne.

La registrazione continua non è indispensabile, se con l'ordinaria strumentazione si controlla la rispondenza alle prescrizioni; ma essa può essere utile sia per chi esegue il lavoro, che per chi lo deve controllare, in quanto costituisce una dettagliata documentazione che consente eventuali tempestive modifiche in corso d'opera ed un completo consuntivo alla fine.

Il controllo dimensionale diretto od indiretto consente poi di valutare l'"energia specifica" volumetrica, cioè un indice di rendimento in quanto espressione dell'onere energetico in rapporto al volume unitario di terreno trattato.

7.2.3. DETERMINAZIONE DELLE DIMENSIONI DELLE COLONNE

In questo paragrafo si accenna ad un metodo che consente la determinazione indiretta del diametro delle colonne.

Tale metodo è di più semplice utilizzo e più affi-

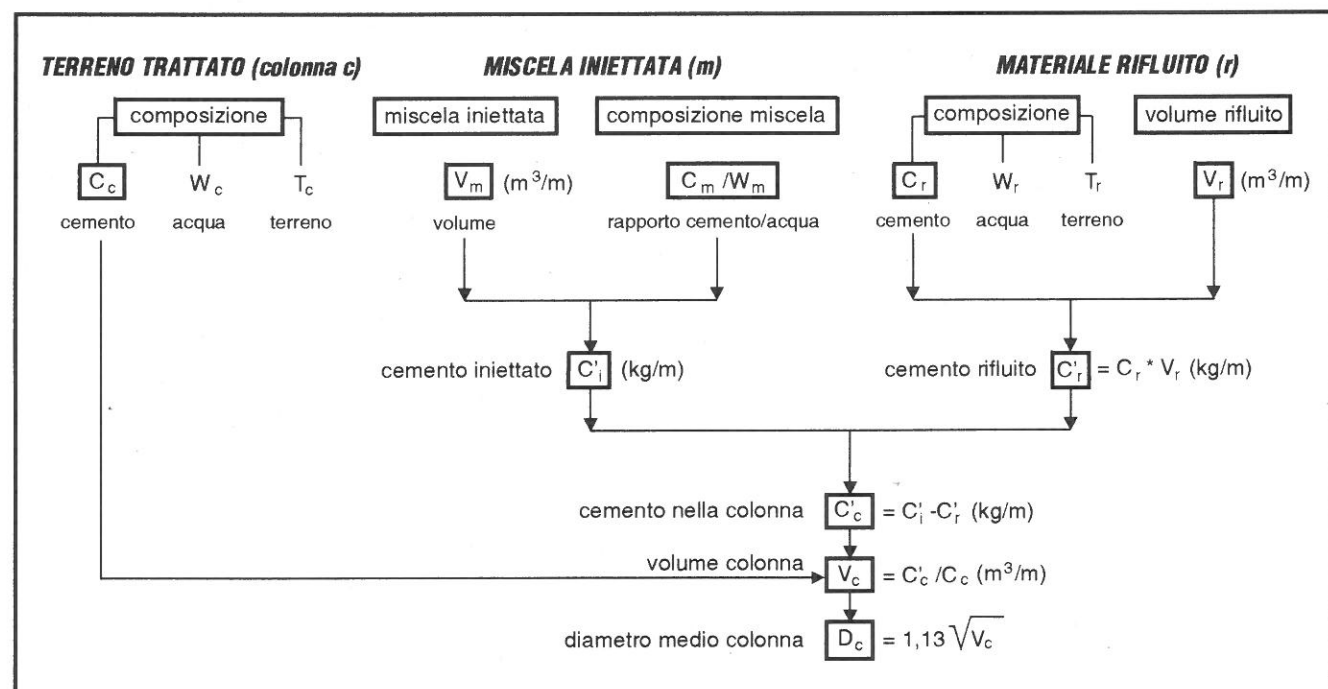


Figura 8 - Schema di elaborazione dei dati operativi e sperimentali per la valutazione "indiretta" del diametro medio delle colonne di terreno trattato (Tornaghi, 1989)

dabile per trattamenti eseguiti in terreni coesivi col sistema monofluido, per i quali può ritenersi valida l'ipotesi di "drenaggio nullo", ma può essere applicata anche ad altri casi più generici.

In figura n. 8 è illustrato schematicamente il procedimento da seguire per arrivare alla determinazione del diametro medio delle colonne (Tornaghi, 1989).

Come si può vedere, devono essere noti o stimabili con una certa approssimazione:

- la composizione della miscela iniettata (contenuti di cemento C_m e acqua W_m nell'unità di volume)
- la composizione del terreno trattato (contenuti di cemento C_c , terreno secco T_c e acqua totale W_c nell'unità di volume della colonna)
- la composizione del materiale rifluito (C_r, W_r e T_r)
- il quantitativo di miscela iniettata V_m
- il volume di terreno rifluito V_r .

terminazione della resistenza a compressione semplice R e si basa sulla correlazione fra R ed il rapporto cemento/acqua totale (C/W):

$$R = R_0 \cdot (C/W)^n$$

Per ogni data coppia terreno-miscela ed ogni data età di maturazione l'indice di resistenza R_0 e l'esponente n possono essere definiti mediante prove preliminari di laboratorio su impasti con C/W variabile.

Dall'esperienza risulta generalmente lecito assumere $n = 2$ e quindi dedurre C/W dai dati sperimentali disponibili in base alla relazione statistica generale:

$$C/W = (R/R_0)^{0,5}$$

Gli altri approcci alternativi o complementari di verifica, indipendenti dalla resistenza, comportano la conoscenza dei seguenti dati:

- contenuto di acqua evaporabile
- rapporto ponderale fra acqua di idratazione

Cantiere	SINGAPORE	OUED NIL (Algeria)	Cantiere	SINGAPORE	OUED NIL (Algeria)
V_m (m^3/m)	0,25	0,30	R_r (kg/cm^2)	5,2	88
C_m/W_m	0,6	1,2	C_r/W_r	0,27	1,09
C'_i (kg/m)	125	262	C_r (kg/m^3)	175	713
R_0 (kg/cm^2)	70	75	W_r (kg/m^3)	642	657
R_c (kg/cm^2)	10,9	78	T_r (kg/m^3)	797	336
C_c/W_c	0,39	1,02	V_r (m^3/m)	0,225	0,075
C_c (kg/m^3)	276	648	V_r/V_m	0,9	0,25
W_c (kg/m^3)	699	634	C'_r (kg/m)	39	53
T_c (kg/m^3)	556	458	C'_c (kg/m)	86	209
Resistenza alla compressione semplice:			V_c (m^3/m)	0,225	0,075
$R_c = R_0 \cdot (C_c/W_c)^2$			V_c/V_m	1,24	1,07
$R_r = R_0 \cdot (C_r/W_r)^2$			D_c (m)	0,63	0,64

Figura 9 - Dati medi di progetto, controllo ed elaborazione statistica relativi a due trattamenti mediante jet grouting monofluido

Per quanto concerne la composizione della miscela ed il quantitativo iniettato per metro di colonna, questi sono dati di progetto facilmente controllabili durante l'esecuzione dei lavori.

Il volume specifico di materiale rifluito deve essere rilevato nel corso del trattamento e deve costituire un dato statisticamente attendibile per ogni formazione tipica interessata.

Per quanto riguarda la composizione sia del terreno trattato che del materiale di spurgo, la stima può essere fatta con criteri diversi a seconda dei dati sperimentali disponibili, ma che presuppongono in ogni caso come costanti note:

- i pesi specifici assoluti dei componenti solidi (cemento e terreno naturale)
- le caratteristiche volumetriche dei campioni.

Il criterio finora più ampiamente utilizzato e citato in varie pubblicazioni nel periodo 1983-1989 dall'ing. Tornaghi come autore o co-autore, comporta la de-

(differenza fra quella totale e quella evaporabile) e cemento

- contenuto di cemento valutato direttamente mediante analisi chimica.

Se sono note le caratteristiche volumetriche del terreno naturale e nel caso di trattamento monofluido (cioè con sola immissione di miscela cementizia) si può inoltre raffrontare il contenuto stimato di acqua totale con la somma di quelli associati alla miscela utilizzata ed al terreno naturale.

La suddetta somma dovrebbe risultare superiore se vi è stato un effetto di drenaggio, mentre nel caso di terreni coesivi di bassa permeabilità e cioè di drenaggio nullo o trascurabile si dovrebbe essere prossimi all'equivalenza, ed aversi quindi un impasto di terreno e miscela con i rispettivi contenuti d'acqua originari; se ciò viene verificato in modo congruente con altri dati e criteri analitici se ne può dedurre la

proporzione volumetrica fra terreno naturale e miscela stabilizzante.

A titolo di esempio pratico, nella tabella della figura n. 9, sono elencati i dati medi di progetto, controllo ed elaborazione statistica relativi a due importanti e ben documentati lavori eseguiti dall'Impresa Rodio, con la stessa simbologia adottata nello schema procedurale della figura n. 8.

Il primo esempio riguarda il lotto 106 della Metropolitana di Singapore e comprende 4 tronchi di galleria con una lunghezza complessiva di 380 m circa.

Si tratta di una delle prime impegnative applicazioni del jet grouting monofluido in aree urbane, realizzata operando dalla superficie ed in formazioni costituite in gran parte da argille molli di alta plasticità, con falda acquifera a 1-2 m dal p.c.

Date le condizioni idrogeologiche e l'ubicazione altimetrica delle gallerie fra 10 e 18 m sotto il piano stradale, era necessario un preconsolidamento del terreno da scavare sopra un substrato di terreno compatto o roccia tenera.

La figura n. 10 mostra gli stralci planimetrici di due zone di intervento con le sezioni tipo e gli schemi

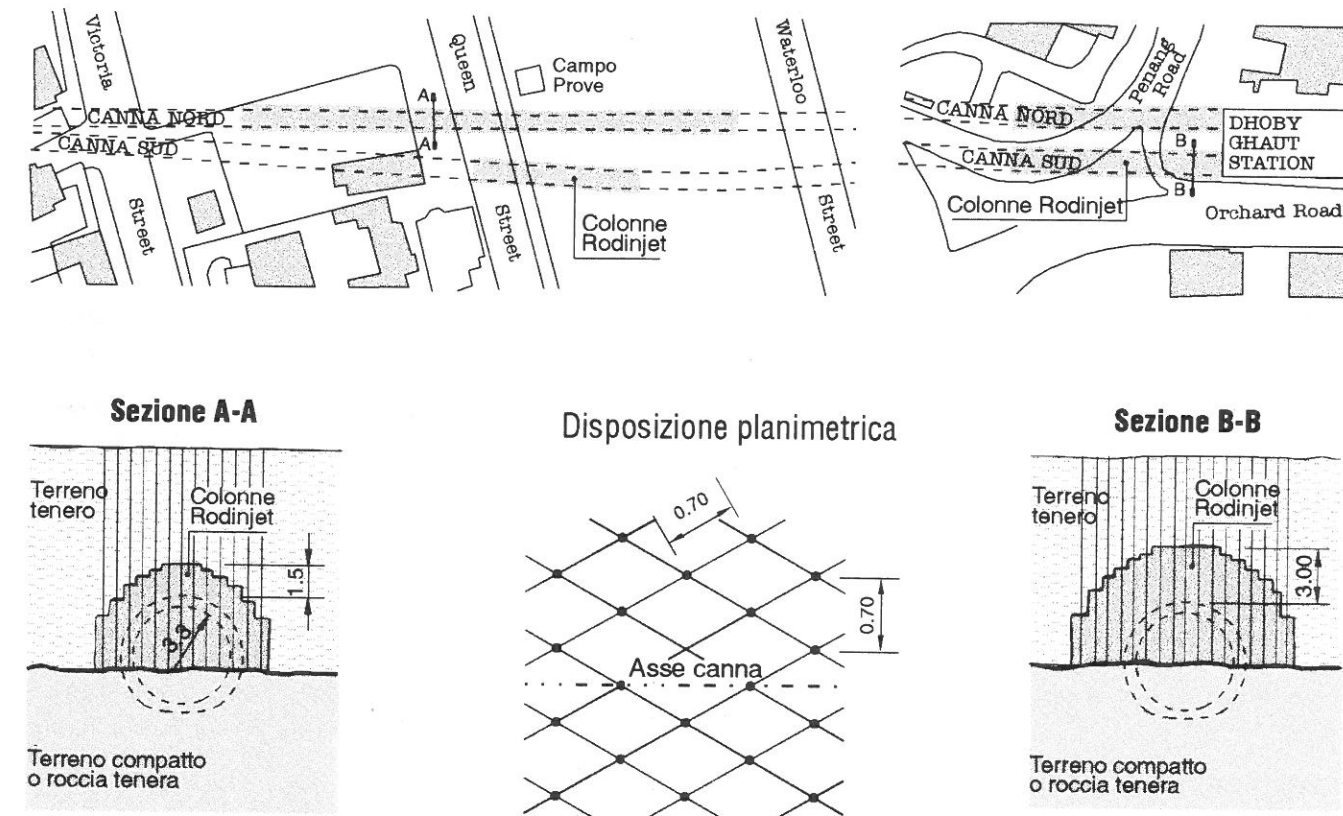


Figura 10 - Metropolitana di Singapore. Schemi di trattamento mediante jet grouting monofluido (Lunardi, Mongilardi e Tornaghi, 1986)

planimetrici ed altimetrici di trattamento; lo spessore dell'arco di terreno consolidato di 1,5 m (sez. A-A) è stato aumentato a 3 m in prossimità della stazione (sez. B-B) ove non era possibile operare con lo scu-

do (Lunardi, Mongilardi, Tornaghi, 1986 - Mongilardi, Tornaghi, 1986).

Nel complesso si sono realizzate oltre 10.000 colonne con il trattamento di circa 9.400 m³ di terreno contenendo i sollevamenti in superficie entro i limiti prescritti di sicurezza (2-3 cm).

Ciò è stato ottenuto mediante modifiche operative atte a favorire lo spurgo che era risultato assai scarso nel campo prove, comportando notevoli sollevamenti di terreno.

Le analisi di laboratorio su centinaia di campioni hanno consentito interessanti elaborazioni e correlazioni statistiche sinteticamente documentate nelle comunicazioni sopra citate ai Congressi di Firenze sulle grandi opere sotterranee e di Pechino sulle fondazioni profonde nel 1986.

Le composizioni indicate nella figura n. 9 si basano sulle caratteristiche medie relative a due tipi principali di terreni interessati dal trattamento: le formazioni argillose più plastiche, talvolta torbose e quelle da limo-argillose, meno plastiche, a limo-sabbiose.

Le prove preliminari di laboratorio avevano fatto registrare indici di resistenza R₀ variabili da 40 a 80

kg/cm². Il valore medio di 70 kg/cm² è stato definito indirettamente con verifiche di congruenza in una analisi statistica basata sull'ipotesi di drenaggio praticamen-

te nullo nel corso del trattamento, confermata dall'elevato rapporto volumetrico fra materiale rifluito e miscela iniettata (V_r/V_m = 0,9).

Il diametro medio risultante della colonna (D_c = 0,63 m) è in ottimo accordo con l'ordine di grandezza medio accertato direttamente sulle colonne durante lo scavo delle gallerie.

Il secondo esempio di analisi della figura n. 9 riguarda le fondazioni a pozzo di un ponte stradale in Algeria, costituite da 4 grandi e profondi blocchi di terreno consolidato intensivamente mediante jet-grouting monofluido (Fruguglietti, Roberti e Tornaghi, 1989).

La figura n. 11 mostra la sezione longitudinale del manufatto con le fondazioni suddette ed una sintesi stratigrafica.

- l'esigenza di un miglioramento assai più accentuato delle proprietà meccaniche del terreno ha comportato l'impiego di una miscela molto più ricca di cemento (raddoppio del rapporto C_m/W_m) ed anche una maggiorazione del volume specifico iniettato (V_m da 0,25 a 0,3 m³/m)
- i risultati del bilancio analitico rivelano mediamente nel terreno consolidato un rapporto cemento/acqua 2,6 volte superiore rispetto al caso di Singapore ed una resistenza maggiore di 7 volte circa, con indici di resistenza R₀ poco dissimili
- il diametro medio delle colonne risulta praticamente identico (0,64 cm) e lievemente superiore a quello teorico di progetto; in un bilancio globale ciò implica un volume di terreno trattato superiore del 3% circa a quello teorico

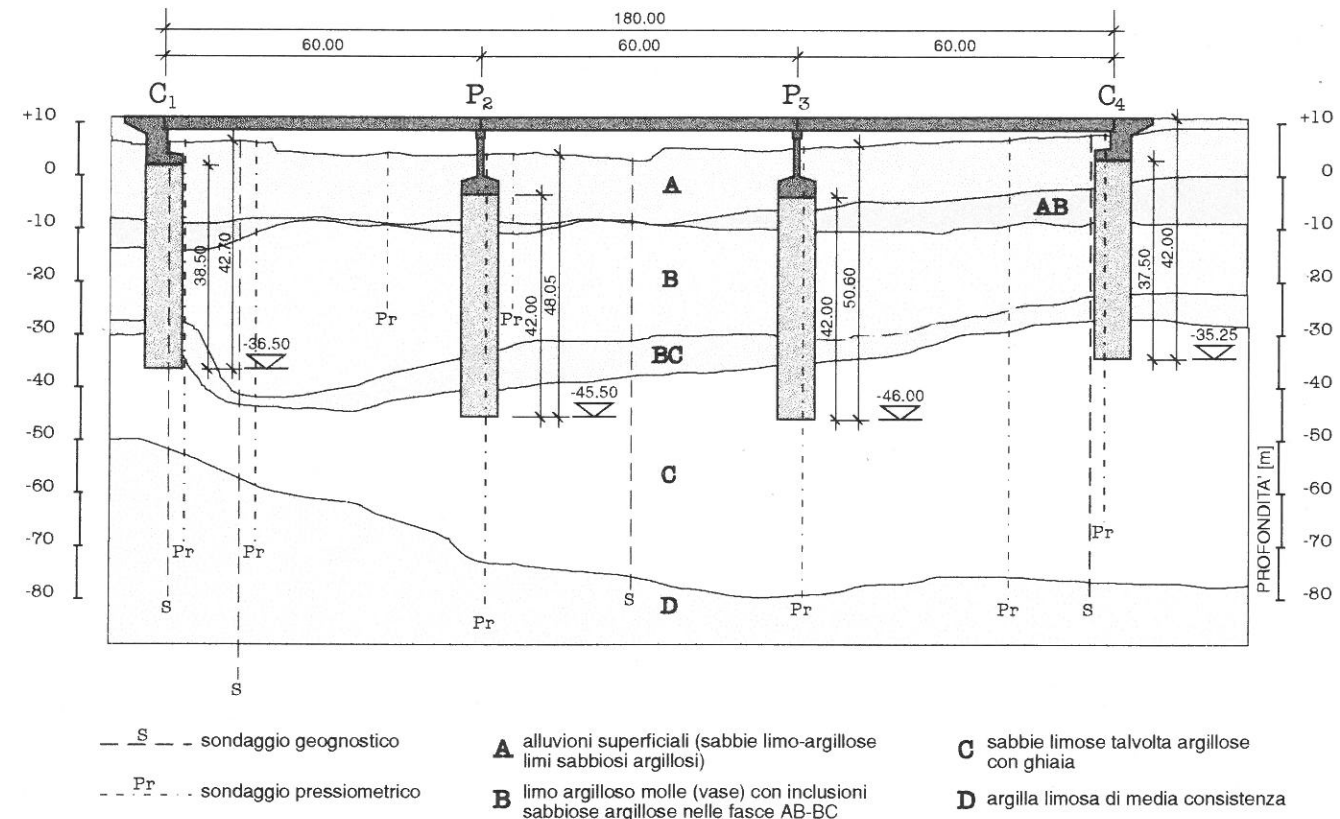


Figura 11 - Fondazioni a pozzo di un ponte stradale in Algeria, realizzate mediante jet grouting. Sintesi stratigrafica del terreno consolidato (Fruguglietti, Roberti e Tornaghi, 1989)

I 4 blocchi di fondazione sono stati realizzati con un complesso di 824 colonne di lunghezza mediamente pari a 40 m circa, disposte a quinconce con interasse di 0,6 m, equivalente al diametro medio di progetto.

Data la superficie totale di 260 m² circa, il volume totale di terreno trattato è dell'ordine di 10.000 m³.

A confronto con il caso di Singapore, i dati esposti nella figura n. 9 consentono di osservare:

- a differenza del caso di Singapore il volume di materiale rifluito è mediamente scarso (solo il 25% del volume di miscela iniettata); ciò ha comportato notevoli sollevamenti di terreno, tollerabili in questo caso ed anzi favorevoli al risultato finale in quanto hanno consentito di realizzare colonne più ricche di cemento (e quindi di migliori proprietà meccaniche) ed anche di maggiori dimensioni.
- La verifica di queste ultime considerazioni si può avere approfondendo il bilancio analitico in base ai

dati esposti nella figura n. 9, ai fini di valutare il diametro di azione del getto a confronto con quello della colonna realizzata.

La massa di terreno coinvolto nel trattamento è data dalla somma dell'aliquota inclusa nella colonna e di quella rifluita nello spurgo.

Con riferimento all'unità lineare di colonna si ha quindi:

$$T' = T'_c + T'_r$$

Introducendo la densità secca del terreno naturale, si ottiene il volume specifico di terreno coinvolto: $V_t = T'/\gamma_d$

e quindi il diametro medio di influenza del getto:

$$D_t = 1,13 (V_t)^{0,5}$$

Nel caso di Singapore si ha:

$$T'_c = T_c \cdot V_c = 172,4 \text{ kg/m} \quad T'_r = T_r \cdot V_r = 179,3 \text{ kg/m}$$

$$T' = 351,7 \text{ kg/m}$$

Essendo mediamente per il terreno naturale: $\gamma_d = 1120 \text{ kg/m}^3$ si ottiene: $V_t = 0,31 \text{ m}^3/\text{m} = V_c$ e quindi un diametro d'azione D_t pari a quello della colonna (D_c).

Questa deduzione giustifica l'esiguità dei sollevamenti osservati.

Nel caso dell'Algeria si ha:

$$T' = 173 \text{ kg/m} \quad \gamma_d = 1200 \text{ kg/m}^3 \quad V_t = 0,144 \text{ m}^3/\text{m}$$

e quindi un diametro d'azione del getto notevolmente inferiore a quello mediamente stimato per le colonne di terreno trattato: $D_t = 0,43 \text{ m}$

Ciò giustifica i notevoli spostamenti di terreno nell'intorno delle zone trattate, sia pure con una certa attenuazione dovuta ad effetti di drenaggio nelle intercalazioni più permeabili, che possono essere pure quantificati globalmente con un bilancio dei contenuti di acqua, come accennato in precedenza.

Da quanto esposto in questo paragrafo si capisce come possa risultare utile il controllo e la registrazione in corso d'opera dei parametri di progetto ed operativi con il complemento di semplici prove di laboratorio.

Infatti queste informazioni non solo costituiscono una documentazione interessante sia per l'esecutore che per il committente dei lavori, ma permettono di stimare i risultati ottenuti, spesso difficilmente verificabili mediante controlli diretti.

Ma l'interesse è ancora più generale se si considera l'utilità della raccolta di dati in una casistica ben documentata che arricchendosi consentirà di orientare meglio la progettazione, rendendo sempre meno incerte le previsioni sui risultati ottenibili a seconda della natura del terreno e delle modalità operative adottate.

È auspicabile che analoghe procedure di analisi teorico-sperimentali possano svilupparsi per altre tecnologie operative.

8. CONCLUSIONI

In questa trattazione si è cercato di mettere in evidenza il ruolo fondamentale assunto dai controlli di qualità nei confronti del conseguimento di prodotti sempre migliori.

I controlli, di qualsiasi tipo essi siano, adeguati all'importanza degli interventi, devono essere anche visti nell'ottica dell'economia generale dell'opera da realizzare.

Auspicabile sarebbe l'entrata in vigore al più presto di una normativa impositiva, sulla quale, come già accennato sopra, si sta lavorando molto a livello europeo, capace di fornire una precisa linea di condotta per i progettisti, le imprese, i direttori dei lavori ed i collaudatori.

In questo periodo transitorio è necessario l'impegno di tutti per cercare di migliorare, tramite controlli sistematici, la qualità, negli ultimi tempi molto scaduta, degli interventi e questo sia per realizzare opere pulite e durature, sia per acquisire sempre maggiore competitività sui mercati stranieri.

I sistemi di verifica esistono, come diffusamente dimostrato nelle memorie di panel ed in quelle presentate al Convegno; essi sono stati ormai sperimentati per ogni tipo di lavorazione e diventano sempre più semplici da utilizzare.

È necessario allora che veramente tutti si rendano conto come, nell'economia generale di un'opera, sia di basilare importanza prevedere e potere disporre di una somma di denaro, spesse volte non trascurabile, da devolvere specificatamente ai controlli di qualità.

RINGRAZIAMENTI

Credo sia mio dovere ringraziare in particolare l'ing. Renato Tornaghi e l'ing. Elena Rovetto per il valido aiuto, i colleghi ing. I. Vielmo, Dr. P.P. Rossi e prof. M. Collepardi che, tramite le memorie di panel, hanno fornito un apporto veramente determinante al tema relativo ai controlli delle opere.

Un grazie sentito a tutti quelli che hanno fornito preziosi contributi su questo specifico tema.

ALLEGATI A e B

BIBLIOGRAFIA

- AMAGLIANI U., BALOSSO RESTELLI A. (1991)- "Movimenti di un grattacielo interessato dallo scavo di una grossa stazione metropolitana nella città di Milano". Atti del congresso su il consolidamento del suolo e delle rocce nelle realizzazioni in sotterraneo, Milano, Vol. 1, pp.291-309.
- BALOSSO RESTELLI A. (1973) - "La tecnica del congelamento dei terreni per risolvere un delicato problema geotecnico sulla S.S. 36". Estratto dalla rivista L'industria delle costruzioni. Nov-Dic.
- BALOSSO RESTELLI A. (1986)- "Stabilizzazione della roccia d'imposta della parete sovrastante S. Caterina del Sasso". Atti del XVI Convegno Nazionale di Geotecnica, Bologna, Vol. 1, pp.23-31.
- BALOSSO RESTELLI A. (1988)- "Interventi di stabilizzazione e consolidamento di pareti rocciose". Secondo ciclo di conferenze di meccanica e ingegneria delle rocce MIR, Torino, Memoria 14

BALOSSO RESTELLI A. (1995)- "Il congelamento del terreno può risolvere situazioni difficili di scavo sotto battente di falda", in fase di pubblicazione sulla Rivista Italiana di Geotecnica.

BALOSSO RESTELLI A., BARLA G., JARRE P. (1986) - "Miglioramento delle condizioni di servizio e di sicurezza di una galleria ferroviaria con rivestimento in muratura". Atti del Congresso Internazionale su Grandi Opere Sotterranee, Firenze, Vol.1, pp.39-48.

BALOSSO RESTELLI A., BERTERO M., LODIGIANI E. (1991)- "Deep Mixing Technology to improve the Bearing Capacity of a Very Soft Clayey Soil under an Earth Embankment". Proc. of 4th Int. Conf. on Piling and Deep Foundations, Stresa, Vol. 1, pp.171-179.

BALOSSO RESTELLI A., CASTELLOTTI U., CECOLINI E., GHELFI G., FINZI B. (1991)- "Blindhole Tunnel for Underground Station in Milan: Finite Element Analysis and Comparison with in Situ measured Settlements". Proc. Tunnels et micro-tunnels en terrain meuble, Paris, pp 295-306.

BALOSSO RESTELLI A., ROVETTO E., FAVA A.R. (1993)- "La tratta Dinagro-Principe della metropolitana di Genova". Atti del XVIII Convegno Nazionale di Geotecnica, Rimini, pp.51-60.

SUMMARY

This report deals with the quality controls that should be done on works of improvement and reinforcement of soils and rocks.

Such controls are examined according to the time schedule of their execution (both in the investigation phase, in the construction phase, at the end and during the service life of the works themselves) and according to the different kinds of treatment.

In particular we want to stress the following items:

- the decisive role played by the controls in order to achieve better and longlasting works
- the "standards" related to quality controls still rather scarce in Italy
- the importance of drawing very clear specifications (which are under study on a European basis) and of their enforcement by law
- we are reporting a number of examples of difficult treatments that could be carried out safely only with the help of controls and monitoring. Such controls allowed the technicians to take important decisions in the course of the works, including setting out additional treatments that it was impossible to foresee in the design phase
- namely, we examine in detail all the controls that can be carried out in the application of the jet grouting technique.

Finally we want to state that it is of a basic importance in the general economy of a work that technicians may have at their disposal an adequate sum of money, often a considerable one, to be used specifically for quality controls.

FORTUNATI F., TOMIOLO A. (1995)- "Specific Energy Parameters for Grouting Control and Soil Classification". Proc. of 4th Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics, Bergamo, pp.209-215.

FRUGUGLIETTI A., ROBERTI R., TORNAGHI R. (1989) - "Fondazioni a pozzo di un ponte realizzate mediante consolidamento del terreno". XVII Convegno di Geotecnica, Taormina, 26-28 aprile.

LUNARDI P., MONGILARDI E., TORNAGHI R. (1986) - "Il preconsolidamento mediante jet-grouting nella realizzazione di opere in sotterraneo" Congr. Int. Grandi Opere Sotterranee, vol. II, pp. 601-612.

MONGILARDI E., TORNAGHI R. (1986) - Construction of large underground openings and use of grouts". Int. Conf. Deep Foundations, Beijing, vol. II.

TORNAGHI R. (1989) - Trattamento colonnare dei terreni mediante gettiniezione (jet grouting)". Convegno Nazionale di Geotecnica, Taormina, 26-28 aprile.

WOLF E., COLLINI R., BALOSSO RESTELLI A. (1979) - "Attraversamento di una tratta della galleria Capo Calavà (autostrada Messina - Palermo) in presenza di gas tossici in pressione". Estratto dal periodico Gallerie e grandi opere sotterranee. N°8 Marzo.

ALLEGATO A
(Alla relazione generale 3ª sessione)

Controlli e monitoraggio per le differenti tecnologie operative

Tipo di intervento	Obiettivo da conseguire	Controlli in corso d'opera sulle lavorazioni	Monitoraggio in corso d'opera	Controlli finali	Monitoraggio lungo termine	Interazione con l'ambiente	Riferimento a memorie del Convegno e bibliografia
Iniezioni	- Consolidamento diffuso. - Impermeabilizzazione (fluidi e gas). - Riempimento vuoti.	- Caratteristiche reologiche e meccaniche delle miscele. - Densità, resa volumetrica, viscosità col cono di Marsh e il Rheometer, filtrabilità in pressa, penetrazione in candela di sabbia standard, prove di resistenza. - Controlli di assorbimenti, pressioni e portate.	- Movimenti strutture esistenti (*). - Deformazioni del terreno (**).	- Caratteristiche geotecniche (°). - Prove di permeabilità.	- Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno (**).	- Interazione con strutture esistenti (Sollevamenti indotti, volontari e non). - Inquinamento falde.	- Amagliani et al. (1991) - Balossi Restelli et al. (1991) - Fortunati et al. (1995) - Wolf et al. (1979)
Gettiniezione armata	- Consolidamento diffuso. - Impermeabilizzazione (fluidi). - Stabilizzazione fronti di scavo e scavi in sotterraneo.	- Composizione della miscela (Rapporto c/a). - Parametri di gettinizzazione (Velocità di rotazione e di risalita dell'utensile, forza applicata in risalita, pressione dei fluidi, portata dei fluidi). - Controllo della verticalità. - Analisi del materiale di spurgo.	- Movimenti strutture esistenti (*). - Deformazioni del terreno. (**). - Pressioni interstiziali (piezometri).	- Dimensioni delle colonne - Continuità e omogeneità del trattamento. - Caratteristiche geotecniche. - Comportamento sotto carico. - Prove di permeabilità. - Controlli indiretti (ved. par. 7.2.).	- Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno (**). - Pressioni interstiziali (piezometri).	- Interazione con strutture esistenti (sollevamenti indotti).	- Rampello et al. - Santoro, Bianco - Angeloni et al. - Fortunati et al. (1991) - Tornaghi (1986)
Compattazione (compaction grouting)	- Consolidamento diffuso.	- Caratteristiche meccaniche della miscela (resistenza a compressione). - Assorbimenti di miscela.	- Movimenti strutture esistenti (*). - Deformazioni del terreno (**).	- Dimensioni delle colonne (pozzetti di ispezione). - Caratteristi che geotecniche	- Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno	- Interazione con strutture esistenti (sollevamenti indotti).	

Tipo di intervento	Obiettivo da conseguire	Controlli in corso d'opera sulle lavorazioni	Monitoraggio in corso d'opera	Controlli finali	Monitoraggio lungo termine	Interazione con l'ambiente	Riferimento a memorie del Convegno e bibliografia
Deep mixing	- Consolidamento diffuso.	- Regolazione temperatura, umidità e pressione dell'aria. - Velocità di rotazione e di risalita dell'utensile. - Assorbimenti specifici. - Pressione di iniezione. - Controllo della verticalità.	- Pressioni interstiziali (piezometri). - Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno (**). - Pressioni interstiziali (piezometri).	- Dimensioni delle colonne (pozzetti di ispezione, carotaggi inclinati). - Continuità e omogeneità del trattamento (carotaggio sonico). - Caratteristiche geotecniche (°). - Comportamento sotto carico (°°)	- Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno (**). - Pressioni interstiziali (piezometri).	- Interazione con strutture esistenti (sollevamenti indotti).	- Pane et al. - Balossi Restelli et al. (1991)
Geodreni	- Accelerazione processi di consolidazione	- Esecuzione dello strato drenante superficiale con riferimento alle testate dei geodreni.	- Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno (**). - Pressioni interstiziali (piezometri).	- Verifica della acqua drenata.	- Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno (**). - Pressioni interstiziali (piezometri).	- Interazione con strutture esistenti (Cedimenti indotti).	- Balossi Restelli et al. (1991)
Elettrosmosi	Resistenza	- Consumi di energia - Controlli dei flussi d'acqua con prelievo dai catodi, se possibile. - Prelievi di campioni di terreno da sottoporre a prove di laboratorio	- Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno (**). - Pressioni interstiziali (piezometri).	- Controlli chimici del terreno. - Caratteristiche geotecniche (°). - Comportamento sotto carico (prove di carico).	- Movimenti strutture esistenti (*). - Cedimenti e deformazioni del terreno (**). - Pressioni interstiziali (piezometri).	- Interazione con strutture esistenti (Cedimenti indotti). - Variazione della natura chimica del terreno e della falda.	
Preariche	- Anticipa-		- Movimenti	Eventuale acqua		- Interazione	- Garassino

Tipo di intervento	Obiettivo da conseguire	Controlli in corso d'opera sulle lavorazioni	Monitoraggio in corso d'opera	Controlli finali	Monitoraggio lungo termine	Interazione con l'ambiente	Riferimento a memorie del Convegno e bibliografia
	zione processi consolidazione		strutture esistenti (*) - Cedimenti e deformazioni del terreno (**) - Pressioni interstiziali (piezometri).	drenata.		con strutture esistenti (Cedimenti durante le lavorazioni).	et al.
Vibroflottazione	- Consolidamento diffuso.	- Energia assorbita dall'utensile. - Assorbimento di inerte ghiaioso.	- Movimenti strutture esistenti (*) - Cedimenti e deformazioni del terreno (**).	- Caratteristiche geotecniche (°). - Comportamento sotto carico (°°).	- Movimenti strutture esistenti (*) - Cedimenti e deformazioni del terreno (°°).	- Interazione con strutture esistenti (Cedimenti indotti). - Vibrazioni.	Ausilio et al.
Compattazione pesante	- Consolidamento diffuso.	- Altezza di caduta del maglio, geometria dell'intervento - Profondità dei "crateri" (cedimenti irreversibili).	- Movimenti strutture esistenti (*) - Cedimenti e deformazioni del terreno (**).	- Caratteristiche geotecniche (°).	- Movimenti strutture esistenti (*) - Cedimenti e deformazioni del terreno (**).	- Interazione con strutture esistenti (Cedimenti indotti). - Vibrazioni.	
Pozzi e gallerie drenanti	- Stabilizzazione mediante regolazione della falda.	Misura variazioni falde e portate drenate.	- Movimenti del versante e della piezometrica (topografia, inclinometri, piezometri).	Stabilità dei cavi.	- Movimenti del versante e della piezometrica (topografia, inclinometri, piezometri). - Controlli effluo idrico dai drenaggi.	- Alterazione del livello naturale della falda.	
Terra armata	Aumento di resistenza del terreno	- Diffusione regolare dell'armatura e controllo dell'aderenza dell'armatura e del terreno.			- Deformazioni del terreno. (Topografia, inclinometri). Corrosione delle armature	- Interferenza con opere future.	Benigni C. Bosca G. e Mongiovi L.
Soil Nailing	Aumento di resistenza del terreno	- Registrazione automatica della pressione esercitata, e della penetrazione	- Deformazioni del terreno. (topografia, inclinometri).		- Deformazioni del terreno (topografia, inclinometri). Corrosione delle armature	- Interferenza con opere future e circostanti.	

Tipo di intervento	Obiettivo da conseguire	Controlli in corso d'opera sulle lavorazioni	Monitoraggio in corso d'opera	Controlli finali	Monitoraggio lungo termine	Interazione con l'ambiente	Riferimento a memorie del Convegno e bibliografia
Congelamento	- Resistenza. - Impermeabilizzazione (fluidi e gas).	- Temperatura del terreno. - Temperatura salamoia o gas di scarico. - Consumo di azoto.	Controllo della temperatura (termometri registratori).	- Omogeneità di temperatura nel masso congelato.	nometri). Corrosione delle armature	costanti. - Disagi in fase di lavorazione dovuti alla rumorosità dell'intervento e dispersione gas di scarico.	- Balossi Restelli (1973) - Balossi Restelli (RIG 1995)
Infilaggi metallici. "Parapioggia"	Presostegno della calotta.	- Controlli di direzione e geometria di assieme. - Omogeneità di cementazione.	- Cedimenti dell'arco di scavo (misure di convergenza).		- Cedimenti dell'arco di scavo (misure di convergenza, di deformazione del rivestimento definitivo). Cedimenti edifici (**).	Coinvolgimento di eventuali opere limitrofe.	- Balossi Restelli (1988) - Balossi Restelli et al. (1993)
Pretaglio meccanico "premill"	Precontenimento della calotta.	- Controlli della regolarità del taglio, della sovrapposizione dei conci successivi, della resistenza del calcestruzzo proiettato e dei volumi immessi.	- Cedimenti dell'arco di scavo (misure di convergenza).		- Cedimenti dell'arco di scavo (misure di convergenza, di deformazione delle opere di rivestimento definitivo). Cedimenti edifici (**).		
Chiodature del fronte scavo con bulloni in vetroresina	Precontenimento del fronte di scavo.	Controlli sulle perforazioni e cementazioni dei tubi.		Regolarità della cementazione.			
Micropali. Creazione di un arco di scarico (bulbi e controbulli) per il rinforzo di un ca-	- Contenimento di scavi in sotterraneo.	- Controlli sulle caratteristiche della miscela di guaina e di iniezione del bulbo (resistenza, ritiro). - Pressione di iniezione	- Assestamenti delle zone scavate (misure di convergenza e di deformazione in genere).		- Registrazione degli sforzi nei pali (barrette estensimetriche).	- Interferenze con opere future.	- Balossi Restelli et al. (1986) - Balossi Restelli (1988)

Tipo di intervento	Obiettivo da conseguire	Controlli in corso d'opera sulle lavorazioni	Monitoraggio in corso d'opera	Controlli finali	Monitoraggio lungo termine	Interazione con l'ambiente	Riferimento a memorie del Convegno e bibliografia
vo esistente.		del bulbo ed assorbimenti di miscela.					
Tiranti a trefoli	Ancoraggio di strutture.	- Controlli sulle caratteristiche della miscela del bulbo e della guaina (resistenza e fluidità). - Registrazione dei volumi e delle pressioni di iniezione.	- Spostamenti di pareti o manufatti (multiassessimetri, inclinometri).	- Diagrammi di tesatura forzata allungamento. - Misure di deformazione o spostamento delle strutture ancorate.	- Celle di pressione sulle teste. - Spostamenti delle strutture ancorate (estensimetri e misure topografiche).	- Coinvolgimento di eventuali opere limitrofe presenti o future. - Sistemazione estetica delle piastre di ancoraggio e delle travi di collegamento.	- Balossi Restelli (1986)
Bulloni e chiodi di ancoraggio	Ancoraggio di parti di strutture o di ammassi rocciosi.	- Controlli sulle caratteristiche della miscela o della resina (resistenza, lavorabilità, viscosità). - Registrazione dei volumi di iniezione.		- Diagrammi di tesatura forzata allungamento per i soli bulloni. - Misure di deformazione o spostamento delle strutture ancorate.	- Celle di pressione sulle teste dei bulloni. - Spostamenti delle strutture ancorate (estensimetri e misure topografiche).	- Sistemazione estetica delle piastre di ancoraggio e delle travi di collegamento.	- Balossi Restelli (1986)
Resine (armate e non)	Consolidamento delle rocce o delle murature.	- Controlli sulle caratteristiche della resina (tempo di polimerizzazione e lavorabilità). - Controllo della temperatura in cantiere della preparazione delle superfici da trattare. - Registrazione dei consumi.		- Prove di resistenza a compressione e di aderenza. - Controlli visivi.	- Spostamenti delle strutture ancorate (estensimetri e misure topografiche).	- Impatto visivo nei trattamenti in parete.	- Balossi Restelli (1986)
Berlinesi (tirantati e non)	Contenimento di scavi. Rinforzo di terreni frastinosi.	- Verticalità delle perforazioni. - Controlli sulle caratteristiche della miscela di ammarro (resistenza, ritiro).	- Misure delle deformazioni del terreno e degli spostamenti di edifici limitrofi agli scavi (§).	- Controllo visivo della cementazione dei pali e della verticalità nel corso degli scavi.	- Misure delle deformazioni del terreno e degli spostamenti di edifici limitrofi agli scavi (§). - Registrazione	- Interferenze con opere future per opere tirantate. - Variazioni nella falda.	- Pontoni

Tipo di intervento	Obiettivo da conseguire	Controlli in corso d'opera sulle lavorazioni	Monitoraggio in corso d'opera	Controlli finali	Monitoraggio lungo termine	Interazione con l'ambiente	Riferimento a memorie del Convegno e bibliografia
Diagrammi in c.a. (tirantati e non)	- Contenimento di scavi.	- Controllo della verticalità dello scavo. - Controlli delle caratteristiche del fluido di perforazione (peso specifico, densità e viscosità). - Controllo in cantiere delle caratteristiche dei materiali impiegati (prove di rottura su cubetti di cis e prove di trazione sui tondini).	- Misure delle deformazioni del terreno e degli spostamenti di edifici limitrofi agli scavi (§).	- Controllo visivo dei getti (verticalità, copriferro, distanza tra i giunti, irregolarità). - Controlli sulle caratteristiche di resistenza del conglomerato (Carotaggi, carotaggi sonici).	- Misure delle deformazioni del terreno e degli spostamenti di edifici limitrofi agli scavi (§). - Registrazione degli sforzi nei pannelli (Barrette estensimetriche).	- Interferenze con opere future. - Variazioni nella falda.	
Bioingegneria	- Interventi superficiali antierosivi e di rinverdimento.			- Validità inerbamenti ed apparsi radicali. - Profondità e diffusione.	- Controllo visivo delle scarpate.	Estetica dell'intervento.	

(*) Topografia, catene livellometriche, inclinometri

(**) Topografia, assessimetri mono e multibase, inclinometri

(°) Resistenza, deformabilità e caratteristiche volumetriche su campioni, prove pressiometriche, profili energetici e sismici in sito

(°°) Prove di carico con dispositivi multiassessimetri

(§) Inclinometri, livellometri, letture topografiche

ALLEGATO B
(Alla relazione generale 3ª sessione)

Sintesi aggiornata di E.P. Mongilardi sulle normative geotecniche europee

"Il CEN (Comitato Europeo per la Normalizzazione) attraverso il TC 288 (Technical Committee on Execution of Geotechnical Works) si occupa delle normative relative alle procedure per l'esecuzione delle opere geotecniche speciali, delle prove e dei controlli relativi e delle caratteristiche dei materiali utilizzati.

Non appena creata nel 1991 l'E.F.F.C. (European Federation of Foundation Contractors) di cui l'A.N.I.E.F. (Associazione Nazioni Imprese Esecutrici di Fondazioni) è tra i quattro soci fondatori, si è dedicata alla compilazione di una normativa tecnica europea "armonizzata", al fine di favorire l'applicazione in ambiti CEE.

Si trattava di stilare una normativa "armonizzata" comprensiva dei requisiti essenziali contenuti nelle diverse procedure esistenti in ogni Nazione appartenente all'Unione Europea, senza penalizzazione o vantaggi tecnologici per nessuno.

A tale scopo l'E.F.F.C. si è raccordata con il CEN proponendosi autonomamente per la stesura delle norme esecutrici.

Il CEN TC 250/SC7 ha accolto con interesse questa proposta, tanto più che detto Comitato si stava già occupando come prima iniziativa dell'EURO-CODICE EC7, che sarebbe entrato in vigore alla fine del 1994 ed aveva già programmato altri due progetti concernenti le prove geotecniche in laboratorio e in sito.

L'elaborazione delle normative tecniche esecutive sarebbero iniziate successivamente, finanziamenti permettendo.

Per evitare dannosi ritardi l'E.F.F.C. ha deciso di fornire al CEN (e quindi al nascente TC 288) il supporto di tecnici provenienti dalle Imprese sue associate; gli è stato pure richiesto di finanziare il coordinamento di ogni Gruppo di Lavoro.

Nel 1992 l'E.F.F.C. ha quindi nominato un Comitato Tecnico con l'incarico di formare e coordinare i gruppi di lavoro ed armonizzare le terminologie dei vari Paesi relativamente alle opere geotecniche.

Sono stati formati finora 7 gruppi di lavoro.

I gruppi di lavoro sono costituiti da un Coordinatore, da un Redattore e da una Segreteria che hanno l'incarico di raccordarsi anche con gli esperti delegati dalle altre nazioni: i componenti devono conoscere almeno due lingue.

I singoli rappresentanti nazionali sono confortati, nel loro lavoro, dall'aiuto di un gruppo nazionale di esperti (Mirror Group) che fornisce suggerimenti e consigli per la risoluzione degli aspetti più complessi, al fine di fornire un documento che contenga tutte le esperienze disponibili.

Si tratta di elaborare normative che consentano:

- di garantire la qualità fissando dei requisiti chiari, precisi e sufficienti, ma senza vincoli penalizzanti per i singoli Paesi
- di effettuare controlli esaurienti, efficaci, ma semplici.

Questa attività dell'A.N.I.E.F. viene seguita in Italia dall'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) che è costantemente informata e coinvolta durante la prosecuzione dei lavori e che è titolata a presentare in sede CEN le conclusioni finali dei gruppi di esperti.

Va sottolineato che, nonostante l'attuale fase recessiva, le Imprese Italiane del Settore hanno dato un apporto essenziale a questa attività mettendo a disposizione i loro esperti nei gruppi di lavoro.

Come si è detto, i 7 gruppi di lavoro ora in attività si occupano dei seguenti capitoli: ancoraggi, pali trivellati, diaframmi, palancole, pali infissi, iniezioni, jet grouting.

Le prime tre tecnologie sono state compilate; si stanno vagliando i commenti finali ricevuti dai Gruppi Nazionali coinvolti ed è già stata programmata una riunione finale entro il 1995: saranno pronte all'inizio del 1997; la quarta tecnologia (palancole) lo sarà nel 1998 e tutte le altre entro il 1999.

Successivamente, con scadenza biennale, verranno compilate le altre tecnologie: micropali, vibroflotazione, drenaggi, dewatering, ecc."

1 marzo 1995

