

in questo numero...

Torino, capitale del Jet Grouting

Organizzata da Quarry and Construction e coronata da un grande successo, ecco il resoconto di una giornata interamente dedicata al jet grouting, con esperti riuniti al Lingotto per discutere degli aspetti procedurali e realizzativi, di monitoraggio e di controllo nell'applicazione di questa tecnologia. La giornata si è conclusa con una visita al cantiere della Società del Passante di Torino. Focus su GPS e Controlli post trattamento



Il mondo del sotterraneo si incontra

Torino, capitale del jet grouting

Dall'applicazione pratica nella realizzazione del Passante di Torino alle nuove frontiere della tecnologia: nel corso della manifestazione Infrastructura, esimi esperti hanno discusso la messa a punto di nuove metodologie di monitoraggio GPS e controllo del jet grouting. Una giornata interamente dedicata a questa tecnologia, che si è conclusa con una visita al cantiere della Società del Passante di Torino.

BRUNELLA CONFORTINI



Dott. Stefano Ciufegni

Lo scorso 29 novembre alla manifestazione Infrastructura di Torino si è tenuto un importante convegno dal titolo "Le nuove frontiere del jet grouting". Moderato con garbo e competenza dall'ing. Enrico Maria Pizzarotti della società di progettazione milanese Proiter, il convegno si è focalizzato sul progetto del Passante di Torino fra Porta Susa e Corso Grosseto: illustri relatori ne hanno messo in luce i diversi aspetti progettuali e realizzativi, nonché le procedure di monitoraggio e di controllo in corso d'opera. Al convegno vero e proprio è seguito prima un vivace Question Time, in cui referenti di spicco del cantiere torinese, esperti di jet grouting e committenze si sono confrontati fra loro e con il pubblico presente in sala, e poi un consuntivo del settore da parte del Cav. Cesare Trevisani, Presidente di Aif, Associazione Italiana Fondazioni. A coronamento della giornata una visita al cantiere della Società del Passante Torino presso via Brenta, visita coordinata e gestita dal punto di vista logistico dalla Leica Geosystems Spa, la società che ha fornito la tecnologia e il supporto di consulenza per la jettizzazione all'interno del cantiere stesso. Dopo questa panoramica generale passiamo ora a una descrizione più dettagliata dei vari momenti del convegno, soffermandoci sui diversi interlocutori e sulle peculiarità dei loro interventi.

Gli interventi sul Passante di Torino

Dopo un primo saluto e un augurio di buon lavoro da parte dell'Assessore alla Viabilità e ai Trasporti di Torino Maria Grazia Sestero, i lavori sono stati aperti dall'ing. Bocchimuzzo, di RFI, che si è soffermato sull'inquadramento operativo, territoriale e motivazionale all'interno del quale ha trovato spazio l'applicazione del jet grouting. L'ing. Bocchimuzzo ha quindi innanzitutto messo in luce il significato del Passante per la città di Torino, sottolineando come si tratti di un'infrastruttura cardine per il riassetto urbanistico della città. Iniziati nel 1986, i lavori dovrebbero concludersi attorno il 2011-2012: a opera ultimata il capoluogo piemontese disporrà di un collegamento ferroviario integrato, interrato per ben 15 km, e riprenderà possesso di 260 mila metri quadri di superficie, cancellando la ferita che tagliava in due il tessuto urbano. «Quando all'inizio degli anni '80 si iniziò a parlare di Passante si veniva da oltre 80 anni di immobilità nello schema delle linee ferroviarie. Con il termine di Passante si dovrebbe indicare semplicemente il tratto in galleria compreso fra il Lingotto e Porta Susa, ma in realtà nell'immaginario collettivo della cittadinanza esso è andato a includere anche il quadruplicamento dei binari porta Susa-Stura. La necessità di eliminare la frattura determinata dai binari in città ha portato alla scelta di eseguire tutto il lavoro abbassando il piano del ferro, aggiungendo il concetto della riqualificazione urbana, e realizzando tutto in sotterraneo. Questo ha



questa parte del lavoro faremo circolare i treni in questa prima galleria e abbasseremo il piano ferroviario e realizzeremo la galleria est» L'intervento successivo è stato quello dell'ing. Valter Capata, Studio SGS, Progettista Società Passante

Torino che si è soffermato sugli aspetti progettuali e costruttivi dell'opera. In primo piano nella sua relazione le caratteristiche geologiche-geotecniche del territorio, le problematiche idrauliche

e le scelte operative rese necessarie dalle peculiarità del percorso, in particolar modo dal sottoattraversamento del fiume Dora. Particolarmente eloquenti i numeri del lavoro elencati con orgoglio dall'ing. Capata: 8 km di galleria artificiale da realizzare in ambito urbano, 980.000 mc di calcestruzzo, 113.600.000 kg di acciaio in barre, 2.100.000 mc di scavi prevalentemente in galleria, 275.000 mq di diaframmi di paratia, 710.000 ml di trattamento colonnare del terreno (jet-grouting) e 60.000 ml di pali di grande diametro.

«Innanzitutto ringraziamo Italferr, con cui abbiamo avuto rapporti di grande collaborazione, assolutamente necessaria per un'opera come questa, 8 km in galleria in due fasi, est e ovest, con approfondimento massimo del piano campagna di 20 m. Il tutto in ambiente urbano con forti e pesanti

condizionamenti, legati anche alla linea ferroviaria già esistente. Credo che già solo i 710.000 m lineari di trattamento colonnare bastino a dare un'idea dello sforzo del cantiere e delle imprese.

A livello di condizioni idrauliche ci siamo trovati a dover convivere con due diverse falde e abbiamo quindi dovuto ideare strutture

completamente stagne per evitare qualsiasi infiltrazione d'acqua. Abbiamo costruito paratie, scavi sotto copertura, impalcato di copertura, impalcato intermedio, solettone di fondo e rifodere interne. Un lavoro imponente insomma. E poi c'era il problema del sottoattraversamento della Dora: per evitare di sbarrare le linee di flusso del fiume e della rete idrogeologica siamo ricorsi all'ancoraggio dei pali del jet grouting, sviluppando un modello idraulico molto dettagliato con la collaborazione del prof. Civita del Politecnico di Torino. Questo ci ha permesso di evidenziare risentimenti accettabili in base al quale è stato dimensionato l'intervento di jet grouting: per evitare problemi ci siamo tenuti a una misura ideale che corrisponde a un innalzamento a monte inferiore ai 2 metri e un abbassamento a valle sempre di due metri. Il tampone di fondo è stato ottimizzato, studiando i campi prova in modo da individuare i parametri, la quantità di cemento, i tempi di risalita da utilizzare durante le lavorazioni. Il sistema di monitoraggio della falda,



Ing. Francesco Bocchimuzzo

significato non solo ricucire la frattura, ma anche liberare molte aree in superficie per costruire nuove infrastrutture. Nella prima parte della realizzazione delle gallerie il jet grouting è stato usato in alcuni passaggi, come in Corso Bramante o nell'area di attraversamento in galleria naturale. Più consistente invece l'uso nella seconda parte, quella a cavallo della stazione Dora: una zona in cui il progetto originario è stato modificato in zona Cesarini, prevedendo un interrimento della ferrovia anche lì. Raccogliere questa richiesta ha voluto dire dover inserire elementi importanti nella tecnologia del jet grouting, elementi che hanno consentito di realizzare un intervento che altrimenti non sarebbe stato fattibile. Passare sotto un fiume significa infatti dover scavare e realizzare un'intera struttura a bagno d'acqua. All'interno della nuova stazione ferroviaria di Porta Susa ci sono circa 400 m di galleria. La stiamo realizzando con modalità operative molto complesse che tuttavia ci consentono di mantenere attiva la circolazione ferroviaria: abbiamo iniziato con la galleria ovest, mantenendo attiva la circolazione dei treni in superficie. Una volta terminata

Ing. Valter Capata



Ing. Enrico Piovano



Ing. Giovanni Mario Cavallero



Le nuove frontiere del jet grouting



infine, è stato predisposto fino a 2 km a monte del fiume per verificare possibili innalzamenti anche repentini e far scattare soglie d'allarme. Per il tratto di sottoattraversamento della Dora sono state realizzate le paratie della galleria artificiale da un'isola, e successivamente delle contropartie plastiche e infine colonne di jet grouting sul fondo e in corrispondenza dei giunti per eliminare le venute d'acqua sia dal fondo scavo che lateralmente». Il terzo intervento è stato quello dell'ing. Enrico Piovano di Italferr, che ha presentato una memoria sviluppata con l'ing. Giovanni Mario Cavallero e con il dott. Stefano Ciufegni, accendendo i riflettori sul jet grouting, analizzando il monitoraggio e i controlli in corso d'opera, nonché le sperimentazioni in corso. Trattandosi di uno dei momenti centrali del convegno, ci sembra interessante riportare direttamente alcuni stralci della relazione. «Nel progetto di quadruplicamento della linea ferroviaria ed il suo contemporaneo interrimento nella tratta tra C.so Vittorio Emanuele e C.so Grosseto con il sottoattraversamento del fiume Dora Riparia - ha spiegato Piovano - buona parte del tracciato si trova sotto falda. Al fine di evitare il sifonamento del fondo scavo, sul quale si dovrà realizzare il solettone di base su cui correranno i treni, si è progettualmente ricorsi alla realizzazione di un tappo di fondo in jet-grouting. Tale consolidamento del terreno deve garantire un peso di volume minimo di 2 t/m^3 e, soprattutto, evitare, come detto, il flusso di acqua di falda in galleria ed il relativo sifonamento. Pertanto il jet-grouting deve anzitutto avere un carattere di continuità tale da evitare il costituirsi di percorsi preferenziali per i filetti fluidi diretti verso l'interno della futura galleria. La continuità deve essere garantita sia tra colonne di jet che sul limite tra il pannello di paratia (già realizzato) ed il tappo di fondo. Per comprendere l'entità e le dimensioni dell'intervento occorre specificare che, nella sola fase W attualmente in corso, si devono realizzare oltre 34.000 fori di jet con una lunghezza di colonne di terreno trattato di circa 300 km e circa 700 km di perforazione a vuoto. Al fine di un buon funzionamento del tappo di fondo occorre che siano rispettati i parametri imposti dal progetto. Questi sono frutto di un campo prove realizzato

nell'estate 2005 descritto nel numero di Quarry & Construction del giugno 2007. Il Controllo è fondamentale per la buona riuscita di qualsiasi tipologia di opera, tanto più per un consolidamento del terreno che, per sua intrinseca natura, è impossibile da controllare con il solo ausilio dei nostri sensi. Il tappo di fondo in jet-grouting che caratterizza quest'opera si trova in alcune sue parti a oltre 30 m di profondità rispetto al piano campagna».

L'ing. Piovano ha poi evidenziato come «la tipologia di controlli effettuati possa poi essere divisa in tre famiglie distinte tra loro da un carattere puramente temporale: - controlli PRE-trattamento (prima il controllo documentale dei certificati di conformità delle sonde e degli impianti e dei certificati di taratura dei manometri e delle bilance, ancora prima che le macchine entrino in cantiere; poi a seguire il controllo dell'attrezzaggio della sonda direttamente in cantiere. La completa corrispondenza dei dati dichiarati precedentemente con la realtà e la presenza del sistema di registrazione dei parametri di iniezione, nonché quello di posizionamento GPS, introdotto e sviluppato proprio in questo progetto, al fine di certificare la corretta realizzazione di ogni colonna); - i controlli DURANTE il trattamento (principalmente si tratta di controllare, in fase di iniezione, il mantenimento dei parametri previsti da progetto esecutivo ovvero della pressione di iniezione della miscela cementizia, la pressione dell'aria (trattandosi di sistema bifluido), la velocità di rotazione del monitor, la portata della miscela cementizia, il tempo di stazionamento ed il passo di risalita); - controlli POST-trattamento (il primo passo è il controllo dei tabulati del GPS - il cui funzionamento, lo sviluppo e la sperimentazione in corso sono riportati nella scheda a parte, i quali - ha continuato l'ing. Piovano - forniscono in automatico le variazioni di posizionamento, rispetto agli assi est-ovest e nord-sud, e li registra, evidenziandoli quando questi sono maggiori di 3 cm. Il sistema fornisce, inoltre, le variazioni di inclinazione della torre, come percentuale rispetto alla verticale, e la durata temporale da inizio perforazione fino a fine trattamento. Vengono poi analizzate le schede di registrazione dei



GPS: evoluzioni e sperimentazioni in corso

G. M. CAVALLERO, S. CIUFEONI, E. PIOVANO - ITALFERR

Tutte le macchine che stanno operando nel cantiere del Passante di Torino sono attrezzate con sistema di posizionamento con GPS Easy Drill Guide descritto nel numero di Quarry & Construction di giugno 2007.

Ogni sonda è dotata, quindi, di un inclinometro biassiale posto sulla torre per la verifica della corretta inclinazione delle aste di perforazione, nonché di una coppia di antenne GPS, in comunicazione con i satelliti di riferimento.

Il sistema è collegato, inoltre, per la correzione della posizione, con un'antenna fissa posta per il calcolo della posizione della testa perforante e dunque dell'ugello di iniezione (Figura 3).

Come esplicitato nel succitato articolo di Giugno 2006, il sistema GPS si somma a quello tradizionale di picchettamento a terra, che, visto quanto emerso nell'applicazione quotidiana è stato ridotto a piccoli campi, e fornisce esattamente la quota del piano di lavoro e quindi la profondità di inizio e fine trattamento, senza le verifiche continue che il sistema manuale richiede.

Questa ultima considerazione è conseguenza della sedimentazione dello spurgo che determina generalmente l'aumento, anche importante, della quota del piano di lavoro.

Infatti, una volta selezionato il punto di trivellazione sulla planimetria del display sono visualizzate le informazioni necessarie per effettuare una precisa collimazione. L'operatore deve semplicemente posizionare la torre di perforazione in modo vertica-



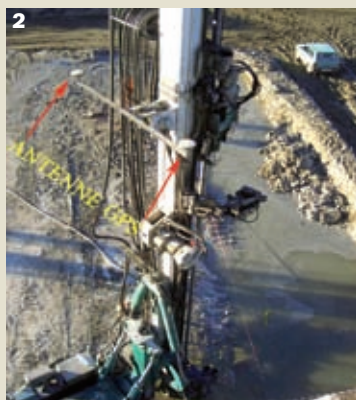
1

Figura 1

Vista di insieme

Figura 2 - Particolare torre di perforazione con le antenne GPS

Figura 3 - Schermo sistema GPS Easy Drill Guide



2



3



4

le, osservando la bolla elettronica (in alto a sinistra) e muovere la macchina in modo planimetrico cercando di individuare la migliore condizione rappresentata dalla grafia delle frecce verdi (angolo in basso a sinistra).

Posizionato l'utensile di perforazione sul punto prescelto e all'interno della tolleranza di configurazione, sul monitor si attiverà la casella "INIZIO TRIVELLAZIONE", e l'operatore deve confermare l'inizio della lavorazione. Finito il trattamento, l'operatore dovrà premere il pulsante apposito "Fine Trivellazione".

Durante l'operazione di guida il programma registra all'interno in un file di registro le seguenti informazioni:



5



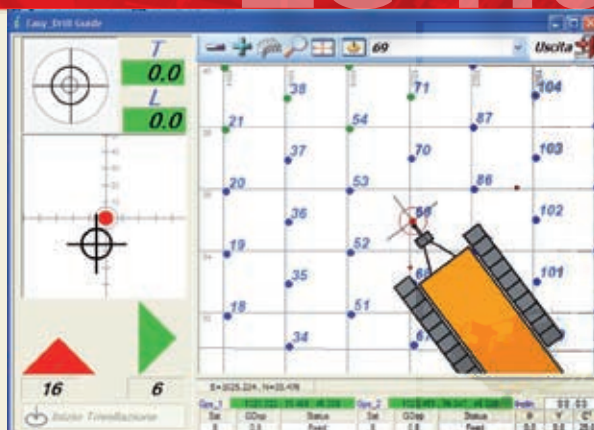
6

identificativo macchina;
sigla o numero della colonna;
scostamenti dalle coordinate di progetto;
data e ora inizio perforazione;
data e ora Termine perforazione;
durata complessiva perforazione.
I tabulati finali forniscono le eventuali variazioni di posizionamento, rispetto agli assi est-ovest e nord-sud, l'inclinazione della torre, come percentuale rispetto alla verticale, e la durata temporale da inizio perforazione fino a fine trattamento.

Quando le anomalie sono maggiori delle tolleranze impostate queste sono evidenziate in rosso.

La picchettazione tradizionale, come detto, è stata ridotta al minimo e serve solo per un primo avvicinamento alla posizione di perforazione, infatti è stato verificato che in presenza di problemi di spurgo e si creano sovrappressioni all'interno del terreno si possono avere spostamenti dei picchetti anche sensibili e superiori ai 30 cm, soprattutto per le prime colonne del campo da trattare.

L'esperienza acquisita in questi mesi e la conoscenza delle criticità



8



Figura 8 - Dettaglio schermata sistema Easy Drill Guide

Figura 9 - Dettaglio schermata sistema registrazione dati di perforazione e iniezione

ha portato a continuare la sperimentazione di nuove tecnologie che permettessero, da una parte, di ridurre al minimo le anomalie e dall'altra di ridurre ulteriormente i tempi per le operazioni preliminari, così come è avvenuto per le operazioni di posizionamento con l'implementazione del sistema Easy Drill Guide.

L'evoluzione del sistema, oramai perfettamente funzionante dopo un periodo di sperimentazione in cantiere, prevede il colloquio tra il sistema di posizionamento Easy Drill Guide ed il sistema di acquisizione dati di iniezione in automatico. Tale sperimentazione prevede che, una volta posizionata correttamente la macchina sul punto da trattare, nel momento in cui l'operatore preme il tasto di inizio trivellazione (attivatosi, come detto precedentemente, solo dopo un periodo di tempo in cui tutti i valori di posizionamento e inclinazione rimangono all'interno del range preimpostato), il sistema Easy Drill Guide comunica a quello di acquisizione dati di perforazione e iniezione le seguenti informazioni:

identificativo della colonna;
coordinate della colonna (longitudine e latitudine);
inclinazione del must (longitudinale e trasversale);
nonché la profondità di fine trivellazione e di fine trattamento rispetto al piano campagna.

L'obiettivo è, come detto, quello di eliminare gli eventuali errori dovuti a errata digitazione o lettura da parte degli operatori.

Alla fine del trattamento, il sistema di registrazione dati comunica al sistema Easy Drill Guide le profondità effettive di fine trivellazione e di fine trattamento.

Il sistema Easy Drill Guide registra quindi i dati reali di fine trattamento, trasformando le profondità registrate in quote assolute, ed evidenziando eventuali anomalie.



parametri di iniezione per verificare l'assenza di anomalie durante la fase di jettizzazione.

Inoltre, oltre a queste analisi dei documenti "cartacei", il tappo di fondo viene monitorato attraverso specifici e rigorosi controlli per la verifica del raggiungimento degli obiettivi progettuali, sviluppati sulla base delle esperienze maturate nel campo prova). Nel caso specifico il monitoraggio ha una sua evoluzione che procede con l'avanzare del cantiere e fa bagaglio delle esperienze che via via si acquisiscono.

Piovano ha concluso illustrando le tecniche utilizzate per il monitoraggio, presentate nei box a margine, che sono rappresentate da:

- indagini dirette: sondaggi a carotaggio continuo
- indagini indirette: tomografia sismica bi e tridimensionale.

Question Time e conclusioni

All'interessante intervento dell'ing. Piovano è seguito un vivace Question Time animato dall'ing. Giovanni Mario Cavallero e dal dott. Stefano Ciufegni di Italferr, dall'ing. Andrea Danese di SPT, dall'ing. Gaetano Cardano di Di Vincenzo Dino & C, dall'ing. Daniele Vanni di Trevi, dall'ing. Nicola Magnabosco di Vipp e dall'ing. Lorenzo Belicchi di Fondazioni Speciali. Ciufegni ha innanzitutto sottolineato l'importanza della cura dei dettagli durante il monitoraggio dell'esecuzione del jet grouting, ricordando come le prime specifiche tecniche in materia nel mondo ferroviario fossero degli anni '80 e non abbiano subito sostanziali modifiche fino ad oggi.



Dott. Stefano Ciufegni e Ing. Andrea Danese



Ing. Nicola Magnabosco e Ing. Gaetano Cardano

Le direttrici principali dello sviluppo del controllo, per ottenere migliori prestazioni, sono, a suo avviso, principalmente due: da una parte ridurre al minimo gli errori umani e dall'altra parte usare al meglio le tecnologie più moderne, come il GPS e le indagini geofisiche tridimensionali.

È poi intervenuto l'ing. Andrea Danese che ha evidenziato come il caso del Passante di Torino rappresenti una situazione particolare, fuori dagli schemi tradizionali. «Il lavoro del Passante è stato particolarmente impegnativo perché, vista la profondità delle gallerie e le aree urbane che si dovevano attraversare, sono stati necessari studi estremamente dettagliati.

Tutto è nato a monte, in fase di progettazione con la Di Vincenzo e poi è stato esteso in maniera sistematica nel corso dei lavori. L'incidenza a livello di costi è stata certamente consistente, ma i costi sono anche da misurare rispetto alla dimensione dell'opera ai tempi di risposta di queste indagini. Nonché ovviamente in merito alla loro efficacia».

L'ing. Vanni della Trevi ha poi portato il dibattito su un piano tecnico soffermandosi sulle modalità di verifica della qualità e delle caratteristiche dei tamponi idraulici e su tematiche legate alla geofisica bidimensionale.

Si è quindi sviluppato un interessante confronto fra lui, l'ing. Gaetano Cardano e l'ing. Andrea Danese.

A questo punto l'ing. Belicchi di Fondazioni Speciali ha messo sul tavolo le esperienze maturate con la sua società in merito al monitoraggio del jet grouting e alle varie fasi di controllo: la prima fase, in cui si realizzano e verificano le colonne superficiali e la seconda in cui si realizza un campo prove alla profondità e nei terreni di progetto, per vagliare al meglio le problematiche legate all'idrostatica.

L'ing. Magnabosco della VIPP ha infine portato la discussione ad un livello più generale, legati al malessere della filiera delle costruzioni in questi anni in cui la ricerca e la tecnologia si trovano ad essere sovente sacrificate a necessità di tipo economico. «In quest'ottica - ha evidenziato Magnabosco - il jet grouting rappresenta di certo una felice eccezione ed è auspicabile che tale continui ad essere, visti i notevoli vantaggi che esso comporta».

Nel corso del Question Time si è affacciato a sorpresa l'architetto Mario Virano, in visita ad Infrastruttura. L'arch. Virano ha evidenziato non solo la necessità di grandi committenze, serie

e responsabili, per realizzare grandi opere, ma ha anche messo in luce quanto sia importante la tecnologia per la realizzazione di infrastrutture. Per creare un habitat propizio per il futuro i costruttori dovranno secondo lui lavorare sull'immaginario collettivo delle popolazioni e sciogliere i nodi del consenso.

Solo veicolando ai cittadini il senso delle opere che si realizzano si potrà continuare a costruire e a far crescere il paese. A conclusione della mattinata ha preso la parola il Cav. Cesare Trevisani, Presidente dell'AIF, (Associazione Italiana Fondazioni): «Le esperienze oggi descritte dovrebbero essere d'insegnamento sul modo in cui fare i lavori. Purtroppo in Italia non sempre si ripete una così stretta connessione fra committenza, direzione lavori e impresa specializzata, perché vi sono i filtri rappresentati dai subappalti. E ne parlo con chiara cognizione di causa, visto che io oggi rappresento buona parte delle imprese specializzate del settore dei consolidamenti, un settore con problematiche legate alle qualifiche degli operatori e ai subappalti. Come imprese specializzate abbiamo un forte interesse a rimarcare la nostra identità specialistica e siamo quindi molto lieti di tutte quelle esperienze di controllo e di monitoraggio, realizzate prima, durante e dopo i lavori. La tecnologia fa davvero la differenza. E non solo per le nostre imprese, ma in generale per tutto il Paese». ■



Ing. Lorenzo Belicchi



Arch. Mario Virano



Ing. Daniele Vanni



Cav. Cesare Trevisani



Controlli post-trattamento

G. M. CAVALLERO, S. CIUEGNI, E. PIOVANO - ITALFERR

Di seguito sono riportate le tecniche di monitoraggio del grado e della qualità del trattamento illustrate dall' Ing. Piovano.

Le tecniche utilizzate sono frutto dei risultati del campo prova sia analizzando e sviluppandole sulla base dei risultati ottenuti su scala reale e sono rappresentate da:

- indagini dirette: sondaggi a carotaggio continuo

- indagini indirette: tomografia sismica bi e tridimensionale

Indagini dirette

Il metodo più tradizionale per la verifica della qualità del getto è l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo. Esso, però, fornisce informazioni puntiformi, permettendo il massimo grado di approfondimento delle caratteristiche



Figura 1 - Carotiere T65

del terreno indagato, non fornendo al contempo alcun valore aggiunto all'area presente nell'intorno dello stesso e ancor meno la presenza di anomalie diffuse. Inoltre l'attrezzaggio con tubi inclinometrici ha permesso di verificare come la deviazione rispetto alla verticale dei fori, sia spesso significativa, anche superiore al metro, lasciando quindi l'incertezza sulla vera colonna indagata. Al fine di aver il miglior risultato possibile si è deciso di effettuare carotaggi con carotieri con diametro da 131 mm che forniscono una qualità di risultato migliore rispetto a quelli normalmente utilizzati con diametro di 101 mm.

Infine, per ridurre al minimo i disturbi durante la perforazione, il carotiere utilizzato è stato prevalentemente il T6S. La differenza sostanziale tra questo e il T6 normale sta nella diversa modalità di scarico dell'acqua, circolazione per il raffreddamento e il trasporto dei residui di perforazione. Nel T6 normale, infatti, l'acqua esce all'interno della corona, in presenza di terreno consolidato con granulometria fine lo scarico può

essere in parte o totalmente bloccato, generando una sovrappressione all'interno del carotiere stesso che impedisce la corretta risalita della corona. Nel T6S lo scarico dell'acqua avviene direttamente sulla corona, senza entrare mai in contatto con la carota di terreno consolidato, annullando qualunque rischio di disturbo al campione stesso. L'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo ha permesso di prelevare campioni di terreno per la verifica delle caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno trattato, nonché la permeabilità dell'ammasso per mezzo di prove di permeabilità Leugeon.

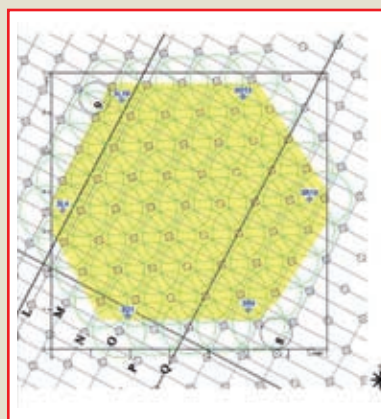
Indagini geofisiche 3D

Questa tecnica di indagine è stata presentata e analizzata nell'articolo pubblicato sul numero di Quarry & Construction del giugno 2007 e permette di analizzare un volume di terreno consolidato.

Nell'evolversi dell'esperienza si è deciso di "allargare" quanto già era stato realizzato, e presentando nel suddetto articolo, ove si era stato presentato e analizzato il rilievo sismico in 3D di un volume corrispondente a circa 20 colonne, eseguendo i carotaggi nelle zone di compenetrazione della fila di colonne più esterna rispetto a quella precedente passando così ad un volume indagato pari a circa 50 colonne.

Prima di sperimentare tale soluzione è stato sviluppato il modello teorico

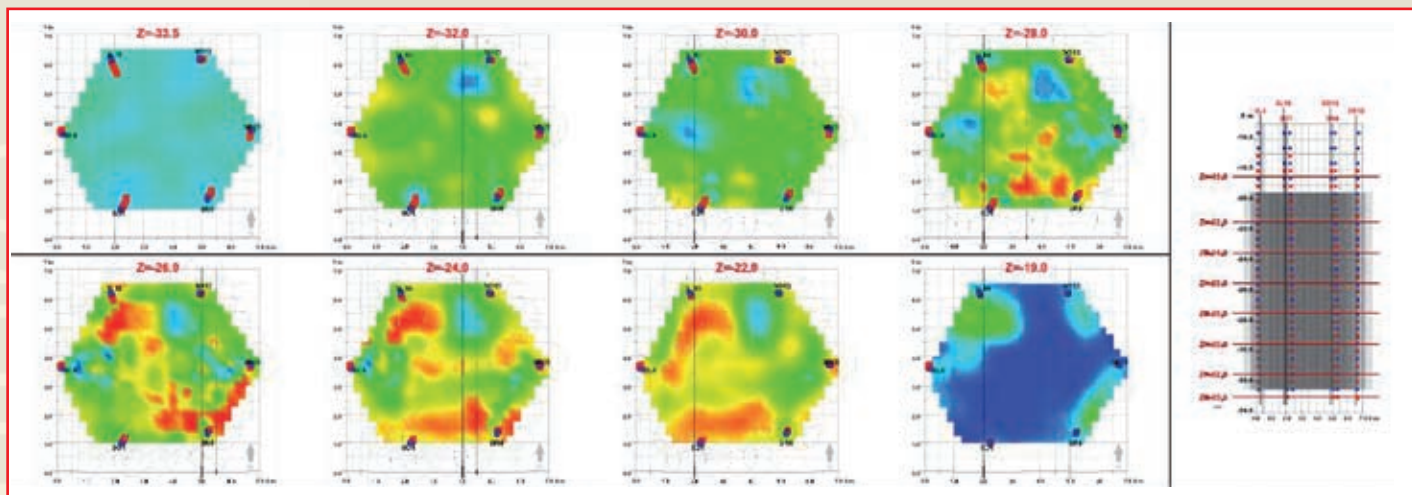
Figura 3 - Sezioni orizzontali



fissando le dimensioni di un'eventuale anomalia minima da indagare ed è stato verificato se la potenza delle energizzazioni sarebbe stata sufficiente ad attraversare tutti gli strati e ad essere ricevuta con buona qualità dagli idrofoni.

Una volta ottenuta la fattibilità teorica di tale geometria sono state eseguite 2 "rosette" concentriche, e verificando la perfetta concordanza dei

Figura 2 - Planimetria delle indagini



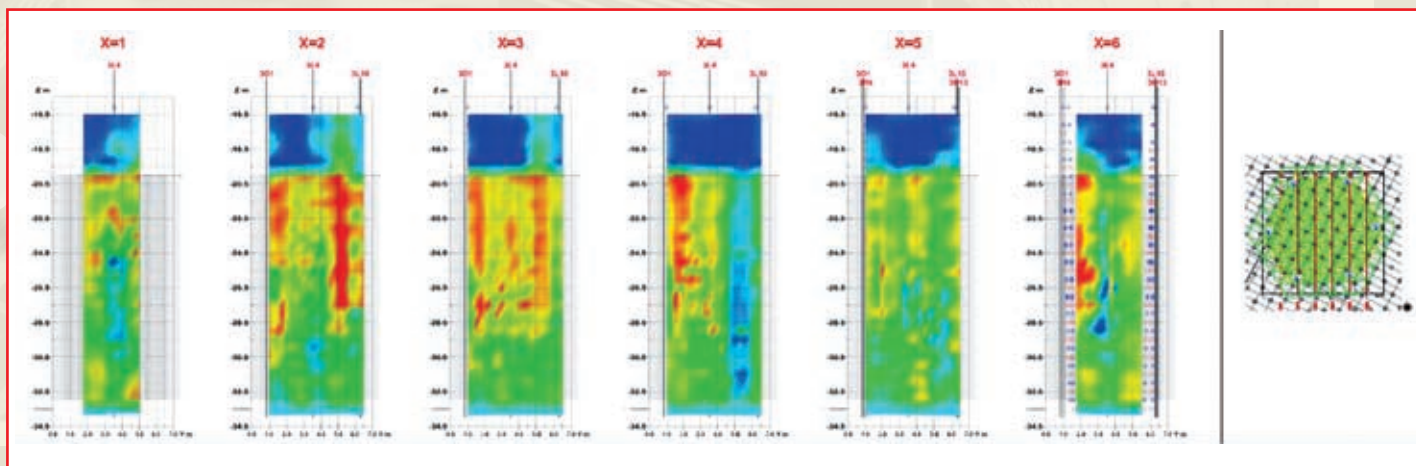


Figura 4 - Sezioni verticali

risultati registrati nelle zone di sovrapposizione.

Lo scopo di questo tipo di indagine è quello di verificare l'omogeneità del terreno consolidato mediante trattamento jet-grouting. Con questa tecnica di rilievo, attraverso l'acquisizione simultanea in posizioni diverse collocate in un volume geometrico definito (solitamente esagono), si ricostruisce la distribuzione della velocità sismica delle onde di compressione (onde P) in un ambito volumetrico di terreno investigato, e quindi rappresenta lo stesso, in termini di variazioni di "densità". L'elaborazione dei dati tomografici 3D permette la costruzione del modello tridimensionale del volume di terreno investigato. Viene costruito, così, il modello solido del volume del terreno trattato indagato, che può essere "tagliato" lungo piani predefiniti per rappresentare in modo bidimensionale la situazione esistente lungo specifiche direzioni corrispondenti a tagli effettuati sia su piani orizzontali che verticali. Confrontando i risultati di indagini dirette e attribuendo le velocità caratterizzanti le varie litologie consolidate, e gli eventuali tratti anomali, è possibile "estrarre" immagini tridimensionali di porzioni significative di dati, in cui siano evidenziati volumi con uguale velocità (isovolumi). In particolare, vengono evidenziati i volumi delle eventuali anomalie, per verificare la loro influenza con il progetto di consolidamento.

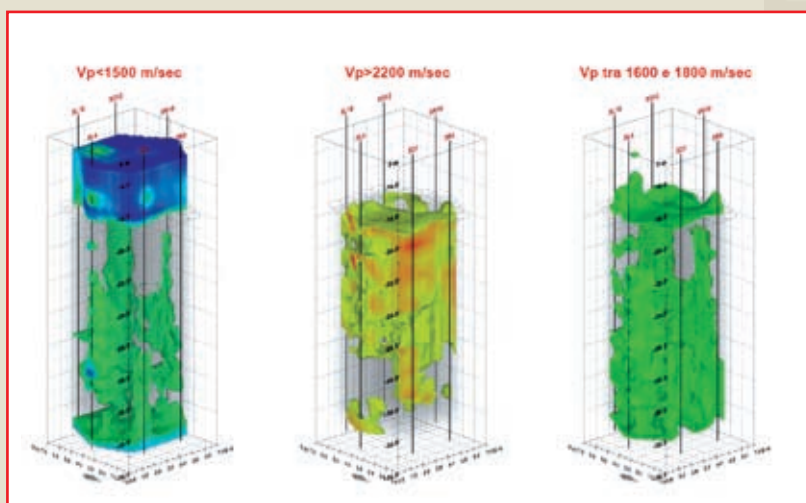
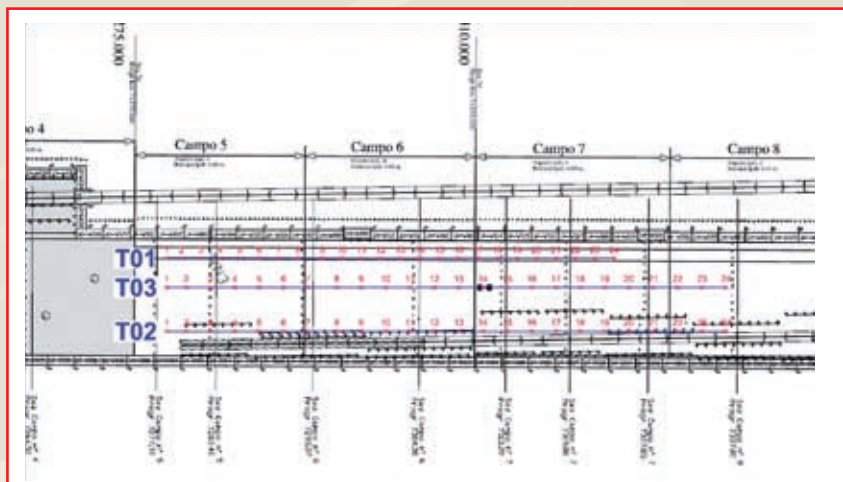


Figura 5 - Isovolumi

Questa metodologia di indagine è, senza dubbio, attualmente la più precisa e minuziosa tale da evidenziare anche piccole discontinuità in un ammasso, secondo lo schema ottenuto, composte da una cinquantina di colonne compenstrate, ma il presentarsi di anomalie nei carotaggi eseguiti per la verifica delle caratteristiche dell' ammasso hanno portato a sviluppare metodologie di indagine bidimensionale, che forniscono un minore dettaglio ma permettono di indagare un numero maggiore di colonne eseguite.

Figura 6 - Planimetria indagine campo 7



Indagini geofisiche 2D

Sulla base della profondità del tappo di fondo dal piano campagna si è puntato, per indagini più estese, a due tipologie di monitoraggio: l'indagine geofisica bidimensionale con stendimenti superficiali e idrofoni in foro (detti brevemente "Rettangoli") e gli stendimenti superficiali affiancati.

I profili tomografici affiancati vengono realizzati disponendo catenarie di geofoni affiancate tra loro ad una distanza massima di 4-5 m. Attraverso la registrazione dei tempi di arrivo delle onde sismiche longitudinali (onde P) emesse da una fonte di energia si correla alla stessa la densità del materiale che le onde percorrono e si discrimi-

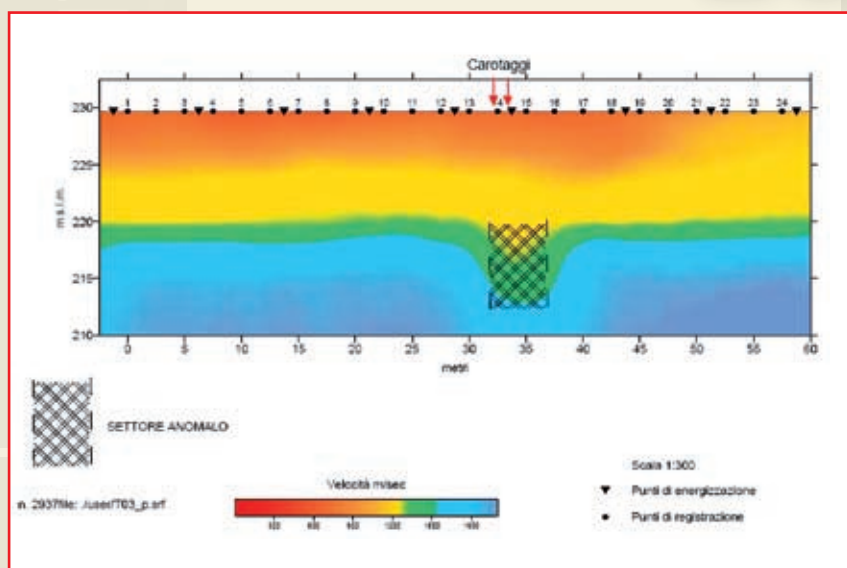


Figura 7 - Profilo centrale indagine campo 7

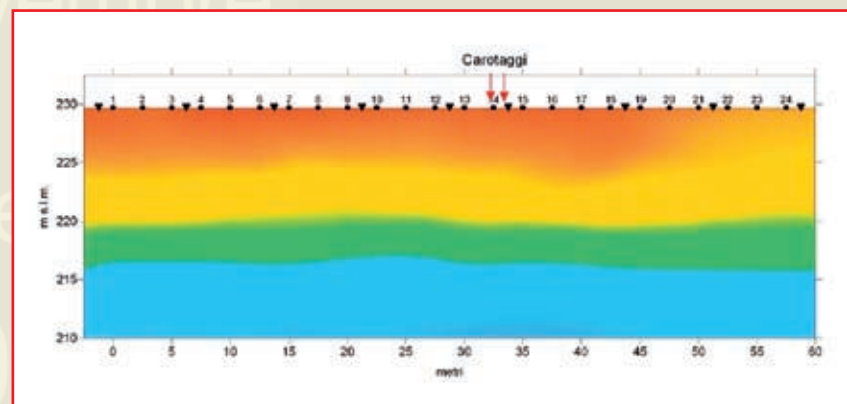
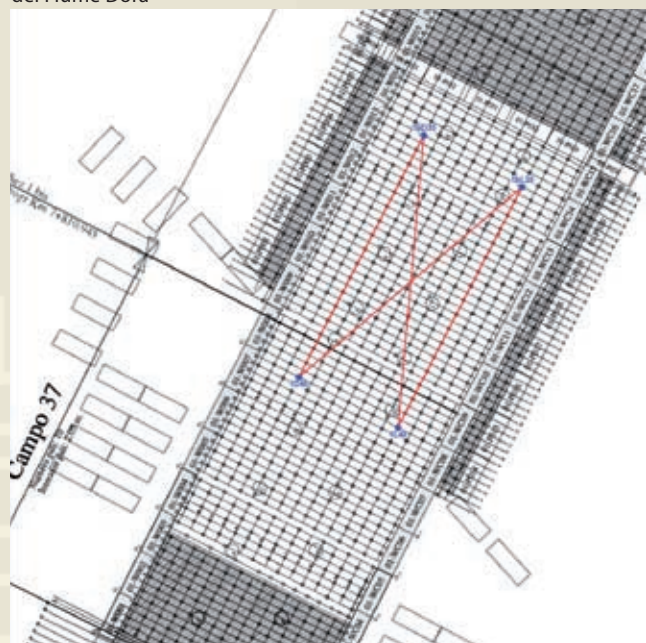


Figura 8 - Profilo centrale ripetuto dopo il rifacimento delle colonne

Figura 9 - Planimetria e schema indagine 1 tratto sottoattraversamento del Fiume Dora



zione dei sensori e dei punti di energizzazione.

Tale tecnica di indagine, con l'ausilio di stendimenti superficiali è stata utilizzata nella GA01, ovvero nel primo tratto del sottoattraversamento del Fiume Dora. In questo particolarissimo tratto dell'appalto è stato fondamentale controllare che non vi fossero anomalie di grossa entità nel tappo di fondo. In figura 9 è riportata la planimetria con lo schema di indagine.

L'analisi ha dimostrato che vi erano alcune zone anomale, (figura 10 e 11) nel terreno trattato, aventi velocità (e dunque densità) minori.

La particolare velocità di organizzazione e di analisi del sistema, e l'esperienza maturata precedentemente ha permesso di ricollocare, immediatamente

nano, visualizzandole in bidimensionale, le porzioni di terreno non trattato da quello jettiniettato e le eventuali discontinuità presenti.

Il caso studio qui riportato riguarda una discontinuità presente nel campo 7. In tale area sono stati eseguiti tre stendimenti così come riportati nella planimetria della fig. 6.

Dall'analisi dei risultati è emerso che nell'allineamento centrale la presenza di una anomalia in corrispondenza dei geofoni 14-16.

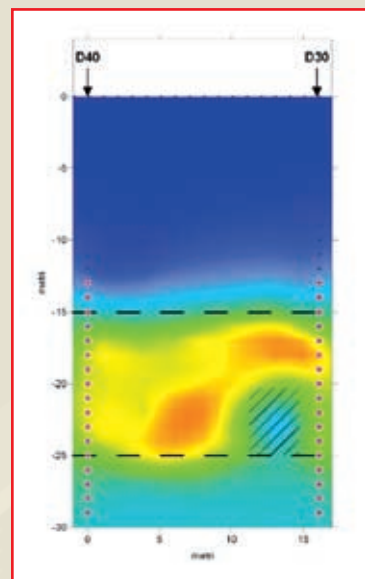
Sulla base di questi risultati, e per verificare la bontà della interpretazione, sono stati realizzati dei carotaggi che hanno svelato l'assenza quasi totale di trattamento in quell'area circoscritta.

L'azione correttiva è stata il rifacimento delle colonne "anomale".

I risultati dell'indagine eseguita successivamente evidenziano la bontà dell'azione correttiva (Fig. 8) intrapresa e la continuità ritrovata di trattamento nel terreno indagato.

La tomografia sismica bidimensionale con l'acquisizione delle sezioni tomografiche lungo la congiungente dei centri dei sondaggi precedentemente predisposti è stata sviluppata laddove la profondità del tappo di fondo era tale da rendere inutilizzabili gli stendimenti superficiali. L'acquisizione di ogni sezione prevede il posizionamento in un foro di una catenaria di idrofoni spazati 1 m, mentre nel foro opposto vengono creati impulsi sismici procedendo da fondo foro a superficie ad intervalli regolari di 1 m; contemporaneamente vengono anche registrati gli arrivi relativi ad una serie di geofoni allestiti sulla superficie lungo la congiungente dei sondaggi citati. La procedura di acquisizione è ripetuta invertendo la posi-

Figura 10 - Sezione tomografica in cui è evidenziata l'anomalia



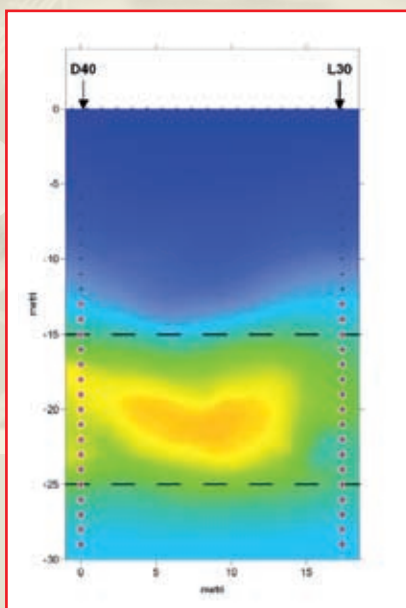


Figura 11 - Sezione senza anomalia

maniera diffusa su tutto l'intervento e analizzando cautelativamente il numero di colonne studiate con un'indagine di questo tipo si può affermare che esso interessa, in maniera cautelativa, circa l'82% delle colonne.

dopo la presentazione dei risultati, una sonda nelle zone "incerte" al fine di provvedere al rifacimento delle colonne anomale.

La bontà dell'intervento di correzione delle anomalie è testimoniato che ad oggi è stato realizzato il solettone superiore della futura galleria ferroviaria, andando a scavare sotto il letto del fiume (dunque in piena falda) e non si è verificata nessuna infiltrazione di acqua dal fondo scavo, così come dalle pareti laterali. (fig. 12).

Queste metodologie di analisi sono utilizzate in

Figura 12 - Scavo solettone galleria di sottoattraversamento del Fiume Dora

