

Jet Grouting

# Consolidamenti e opere di sostegno

**Matteo Gervasio**  
Ingegnere  
Responsabile di cantiere  
Keller Fondazioni

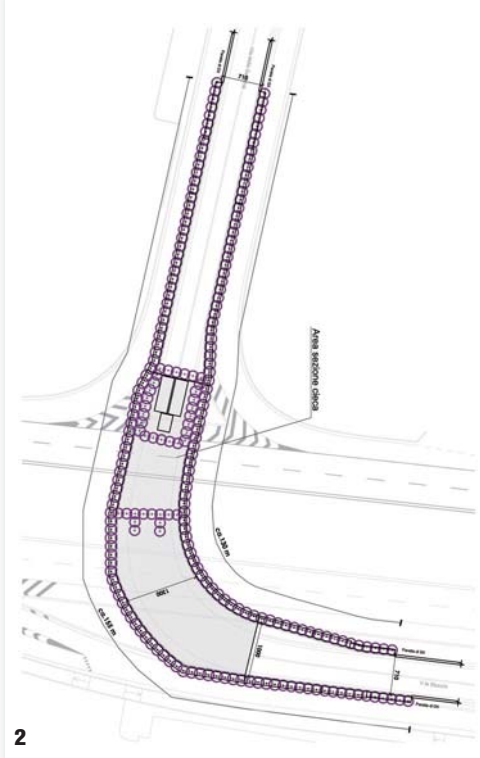
**Alessandro Monteferrante**  
Ingegnere  
Direttore Tecnico  
Keller Fondazioni

**Marco Romano**  
Ingegnere  
Project Manager  
Keller Fondazioni

PER REALIZZARE UN NUOVO SOTTOPASSO VEICOLARE, CAPACE DI OTTIMIZZARE L'ACCESSO A UN CENTRO COMMERCIALE IN COMUNE DI MONZA, L'IMPRESA HA PROPOSTO E REALIZZATO LE PARATIE DI SOSTEGNO LATERALI CON TECNOLOGIA SOILCRETE, PIÙ ADEGUATA ALLE ESIGENZE DEL CANTIERE.



**Tecnologie & Sistemi**



2

### 1. Panoramica dello scavo

### 2. Planimetria dell'intervento

### 3. Macchina Keller KB2 nel corso dei lavori



3

La sistemazione della viabilità in Via della Guerrina a Monza si è resa necessaria per permettere un'ottimizzazione del traffico veicolare in entrata e in uscita da un grande Centro Commerciale. Il progetto, oltre a prevedere una riqualifica della sede stradale e la realizzazione di nuove rotatorie, consiste principalmente nella costruzione di un nuovo sottopasso stradale su Viale Stucchi, grazie a cui viene velocizzato il traffico in uscita con direzione Sud e il traffico in entrata, proveniente da Nord, diretto al parcheggio principale del centro commerciale. L'intervento relativo al sottopasso, planimetricamente in curva, ha una lunghezza complessiva di 140 m circa. Le rampe sono caratterizzate da una pendenza massima dell'11% mentre l'altezza utile della sezione scatolare e relativi imbocchi è di 4,00 m. La sezione tipo prevede due corsie a doppio senso di circolazione di larghezza pari a 2,75 m ciascuna e banchina da 0,50 m. Al fine di ridurre l'impatto del cantiere sul traffico veicolare di un'arteria importante che collega la città di Monza con quella di Milano e per limitare i disagi all'attività commerciale del Centro, le paratie sono state eseguite in due fasi distinte gestendo la viabilità di superficie attraverso tradizionali deviazioni temporanee delle carreggiate.

Ulteriore vincolo di progetto era evitare l'utilizzo di puntoni o tiranti per garantire la stabilità delle paratie laterali. Dal punto di vista delle opere di sostegno degli scavi, il progetto ha richiesto l'individuazione della migliore soluzione tecnologica per coniugare diverse esigenze. Tra questi fattori, determinante erano i tempi di esecuzione che si sarebbero riflessi sulla data finale di

completamento dell'intervento e quindi di fruizione della clientela finale. Le opere dovevano assolvere al sostegno di pareti di altezza variabile da un minimo di 3,00 m circa ad un massimo di 7,50 m. Nella parte centrale le paratie vanno a costituire anche le spalle per il sostegno dell'impalcato stradale.

### L'assetto geologico-geomeccanico

A supporto della progettazione geotecnica, è stata eseguita dalla Committenza una campagna di indagini geognostiche in sito costituita da un sondaggio a carotaggio continuo e cinque verticali penetrometriche dinamiche DPSH. Le prove hanno evidenziato la presenza prevalente di depositi sedimentari ghiaiosi-sabbiosi e subordinatamente sabbioso ghiaiosi limosi.

In funzione delle variabilità stratigrafiche riscontrate, sono state individuate tre principali unità litotecniche le cui caratteristiche sono riepilogate in tab. 1.

In tab. 2 sono invece descritti i parametri geomeccanici utilizzati per il progetto.

Non si è riscontrata presenza di falda interferente o comunque a una quota significativa per le scelte progettuali.

**TAB. 1 CARATTERISTICHE GENERALI DEI MATERIALI RISCONTRATI IN SITO**

Unità litotecnica	Descrizione stratigrafica
LITOTIPO A	Terreno vegetale e/o rimaneggiato
LITOTIPO B	Ghiaia e sabbia o sabbia con ghiaia, limosa
LITOTIPO C	Ghiaia sabbiosa o deb. Sabbiosa

**TAB. 2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI IN SITO**

Unità litotecnica	Prof. [m]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$D_r$ [%]	$\Phi$ [°]	$E_v$ [MP <sub>a</sub> ]
LITOTIPO A	1.50	17.00	19.00	70.00	25 - 27	20.00
LITOTIPO C	3.30	19.00	20.00	85.00	28 - 30	30.00
LITOTIPO E	25.00	20.00	21.00	>95.00	30 - 33	60.00

$\gamma_n$  = peso di volume naturale

$\gamma_s$  = peso di volume saturo

$D_r$  = densità relativa

$\Phi$  = angolo d'attrito interno efficace

$E_v$  = modulo di deformazione

## La soluzione progettuale

Inizialmente, le soluzioni prospettate erano tra le più tradizionali ovvero la realizzazione di classiche paratie di pali trivellati di medio-grande diametro o l'alternativa con diaframmi in calcestruzzo armato. Le tempistiche prospettate erano però incompatibili con le esigenze del progetto, in considerazione anche delle notevoli difficoltà legate al contesto lavorativo e degli spazi comunque limitati che non consentivano di operare contemporaneamente con più macchine.

Sulla scorta del quadro geotecnico precedentemente descritto, Keller Fondazioni ha proposto una soluzione che ha previsto l'esecuzione di colonne Soilcrete Jet Grouting. Tralasciamo in questa sede dettagli tecnici specifici sulla tecnologia del Jet Grouting che ha ormai alle spalle decenni di ricerca, sperimentazione e innovazione e a oggi rappresenta una valida possibile alternativa o addirittura l'unica strada perseguibile su svariate casistiche. Il progresso tecnologico, la disponibilità di sonde di perforazione e stazioni di pompaggio sempre più potenti unitamente al notevole *background* ingegneristico accumulato fondendo principi teorici a riscontri sul campo fa sì che attualmente si possa spingere sempre più su questo tipo di soluzione, su geometrie e tassi di lavoro dei materiali sempre maggiori.

Nel caso specifico gli elementi colonnari adiacenti, opportunamente compenetrati, vanno a costituire un diaframma Jet Grouting idoneo a sostenere le spinte del terreno, nel tratto a cielo aperto, ma anche i piedritti per l'impalcato stradale. Le colonne, di diametro reso pari a 180-200cm, sono state opportunamente armate con tubolari d'acciaio S355, diametro 139,7mm, inseriti previa successiva ri-perforazione del Jet Grouting a valle della maturazione.

Il progetto è stato sviluppato nell'ottica di ottenere, dopo il consolidamento, un valore di resistenza caratteristica a compressione sul Jet Grouting  $\geq 4\text{MPa}$ . Il progetto delle opere di sostegno è stato curato dallo Studio Bergmeister di Bressanone (BZ) unitamente all'Ufficio Tecnico Keller Fondazioni di Verona. Il comportamento delle opere di sostegno è stato verificato mediante opportuna modellazione numerica di dettaglio sviluppata con avanzati *software* di settore in modo da analizzare le varie fasi esecutive dell'intervento.

La soluzione proposta presenta i seguenti vantaggi:

- notevole riduzione delle tempistiche esecutive,
- assenza di necessità di stoccaggio e movimentazione di ingombranti gabbie d'armatura,
- assenza di necessità di approvvigionamento continuo di calcestruzzo con evidenti vantaggi di minore impatto sulla viabilità adiacente il cantiere,
- ridotti ingombri delle attrezzature,
- possibilità di posizionare la stazione di confezionamento e pompaggio delle miscele cementizie in aree reliquarie poste anche a distanza di oltre 200m dall'area operativa,
- assenza di fanghi bentonitici,
- esclusivo utilizzo di miscele cementizie,
- conseguente possibilità di riutilizzare i reflui di risulta delle lavorazioni Jet Grouting per riempimenti, sottofondi, ecc. in modo da minimizzare gli oneri di smaltimento degli scarti.



tutto ciò senza inficiare il livello prestazionale dell'opera finita. Per proteggere meglio il corpo Jet Grouting dall'azione degli agenti atmosferici e inquinanti, ma soprattutto per l'estetica finale della parete è stata realizzata una fodera esterna, scegliendo adeguatamente la classe di esposizione del calcestruzzo.

Come già detto l'esecuzione delle paratie è stata divisa in due macrofasi distinte, operando dapprima sul fronte di Viale Stucchi e successivamente riprendendo l'intervento da Via della Guerrina. Per operare in questo modo è stato realizzato un setto di separazione trasversale Soilcrete Jet Grouting con contrafforti, anch'essi costituiti da colonne di terreno consolidato.

Per ciascuna fase si è operato con la seguente successione di attività:

- disattivazione e spostamento dei sottoservizi interferiti,
- demolizione e rimozione del piano stradale esistente,
- prescavo per una profondità pari a 0.50 m,
- realizzazione delle colonne Soilcrete Jet Grouting,
- riperforazione e inserimento dei tubolari d'armatura,

**4. Panoramica di cantiere nel corso della prima fase di lavoro**

**5. Seconda fase sul fronte opposto**



6

## 6. La paratia Soilcrete

- scavo generalizzato per il raggiungimento del fondo scavo;
- riprofilatura della parete Jet Grouting per sagomare con maggior dettaglio la superficie esterna delle paratie come da esigenze geometriche di progetto;
- realizzazione delle contropareti laterali, dei cordoli di sommità e, ove previsto, dell'impalcato;
- ripristino della viabilità di superficie,

coordinando efficacemente le operazioni in modo da garantire la minimizzazione delle interferenze tra i diversi operatori presenti in cantiere. La soluzione Soilcrete Jet Grouting ha permesso, inoltre, operando sempre da quota piano lavoro iniziale, la realizzazione di setti interni alle paratie per la successiva costruzione della vasca di prima pioggia.

### Engineering ante operam, campi prova, controllo qualità

L'adozione della soluzione progettuale precedentemente descritta ha comportato la necessità di definire i corretti parametri operativi per il consolidamento Soilcrete Jet Grouting.

Questi diversi fattori, numero e diametro degli ugelli, pressione di iniezione, velocità di risalita, velocità di rotazione e portata della miscela vengono definiti preliminarmente su basi teoriche e su *case history* analoghi avuti su terreni simili dal punto di vista geomeccanico e granulometrico. Da questo punto di vista riveste ovviamente fondamentale importanza il *know how* sulla specifica tecnologia dell'operatore specialistico che ingegnerizza e realizza l'opera. Non si può prescindere però dai riscontri sul campo, dall'esecuzione di alcuni *test* finalizzati a verificare le previsioni iniziali e semmai tarare meglio il protocollo. Nel caso in esame è stato realizzato un campo prova, ad inizio lavori, su alcune colonne fuori opera finalizzato alla suddetta verifica. Le colonne vengono generalmente scoperte dopo 2 giorni per verificare direttamente il corretto raggiungimento del diametro e l'omogeneità del trattamento. Dopo adeguato tempo di maturazione, si è passati all'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo nel corpo della colonna *jet*, mirati a verificare la continuità e al prelievo di provini cilindrici successivamente sottoposti, in laboratori certificati, a prove di



compressione monoassiale semplice. Tutte le prove hanno dato esiti positivi potendo riscontrare valori di resistenza meccanica superiori ai 4MPa inizialmente preventivati.

Di concerto con la DL si sono poi messe in atto altre misure di controllo e monitoraggio in corso d'opera oltre a gestire, ovviamente, in termini di qualità tutte le fasi esecutive con la registrazione in continuo dei parametri di trattamento e la restituzione di protocolli di trattamento per ciascuna colonna. Inoltre, sono stati installati anche alcuni tubi inclinometrici inseriti nelle armature tubolari della paratia. Gli stessi sono stati regolarmente controllati durante i successivi step di scavo o comunque durante tutte le fasi che hanno comportato variazioni dello stato tensionale sulla parete come ad esempio la posa in opera dell'impalcato stradale di copertura nella parte centrale dell'intervento. Le deformazioni a fine lavori si sono rivelate comunque minime, dell'ordine dei 2-5 mm, quindi ampiamente compatibili con le esigenze dell'opera e con le previsioni progettuali. Questi valori dimostrano le riserve in termini di risorse meccaniche del setto Soilcrete Jet Grouting, spesso ampiamente superiori a quanto si può stimare preliminarmente in fase di progetto.

## Conclusioni

L'utilizzo del Sistema Soilcrete, per la realizzazione delle paratie di contenimento, ha permesso di ridurre drasticamente sia i costi sia i tempi esecutivi del cantiere rispetto alle possibili soluzioni tradizionali con pali trivellati o diaframmi.

In totale sono state eseguite 227 colonne di diametro pari a 180-200 cm, per uno sviluppo totale di 2.350 m e successivo inserimento di 1.770 ml di armature tubolari. L'intervento è stato completato in 51 giorni lavorativi.

La scelta progettuale ha minimizzato l'impatto sulla "vita" del-

la strada sia in termini di traffico che di sicurezza per effetto "distrazione" sui conducenti delle auto. Come già detto non è stato infatti necessario sollevare gabbie d'armatura in adiacenza alla carreggiata ma esclusivamente piccoli tubolari di ridotta lunghezza. Il sistema ha poi dimostrato la massima flessibilità ad adattare le sagome geometriche delle colonne Soilcrete alle svariate esigenze di progetto, potendo realizzare con la massima facilità nicchie, piani ribassati, tratti curvilinei ecc. Il caso descritto non rappresenta comunque "la novità": sono già numerose le applicazioni nel territorio nazionale di opere stradali e ferroviarie in cui sono state realizzate paratie Soilcrete Jet Grouting. Tale tecnologia presenta, come noto, molteplici ulteriori campi di applicazione quali l'impermeabilizzazione di scavi profondi sotto falda, consolidamenti in galleria, consolidamenti superficiali per fondazioni dirette di nuove realizzazioni o sottofondazioni di opere esistenti. Agli occhi degli operatori di settore le soluzioni progettuali con il sistema Soilcrete Jet Grouting si stanno via via rivelando quindi valide possibili alternative alle applicazioni più tradizionali. ■■

**7. Muri laterali completati su viale Stucchi**

**8. Le fasi di scavo**