

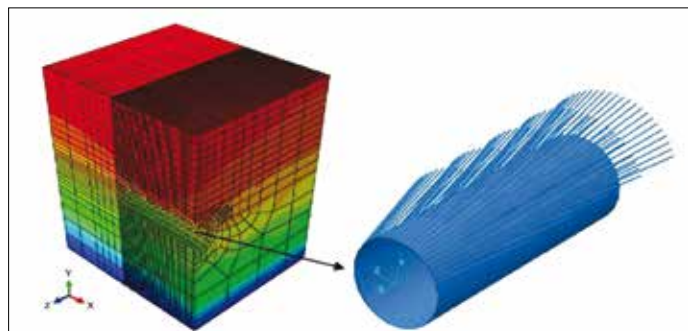
INFILAGGI DI RINFORZO DEL TERRENO IN GALLERIA

LA PROGETTAZIONE DI SCAVI IN SOTTERRANEO È DIVENUTA PIÙ AMPIA E COMPLESSA IN QUANTO RICHIEDE UN'ANALISI NUMERICA SEMPRE PIÙ SOFISTICATA PER CONTRASTARE CONDIZIONI DI TERRENO DIFFICILI, IN BASE ALLE QUALI POTREBBE ESSERE NECESSARIO UN RINFORZO PRIMA DI ESEGUIRE LO SCAVO (PRE-SUPPORTO) CON ELEMENTI STRUTTURALI RESISTENTI IL CUI COMPITO È QUELLO DI MIGLIORARE IL COMPORTAMENTO DELL'AMMASSO

Il preconsolidamento è il mezzo più utilizzato negli ultimi decenni per far fronte al problema dell'attraversamento di terreni difficili [1].

Visti i vantaggi in termini di tempo di esecuzione e di efficacia anche in relazione ai costi, il metodo Umbrella (Forepoling Umbrella Method), più comunemente noto come pretunnel, è certamente quello più utilizzato allorché scelte tecnico-economiche impediscono di eseguire lo scavo in sotterraneo mediante TBM (Tunnel Boring Machine) [2].

Il pretunnel attua la preconstituzione di un rivestimento in avanzamento rispetto al fronte di scavo, ottenendo già una sorta di arco avente geometria tronco-conica inserito nel terreno, prima di applicare lo scarico tensionale a seguito dell'apertura del cavo. Oke et al. (2014) definiscono il metodo Umbrella come un pre-supporto installato all'interno dell'ammasso dove verrà eseguito lo scavo, prima dell'esecuzione di quest'ultimo, al di sopra e nell'interno della corona del fronte di scavo del tunnel.



1. Il modello 3D del rinforzo del terreno mediante infilaggi

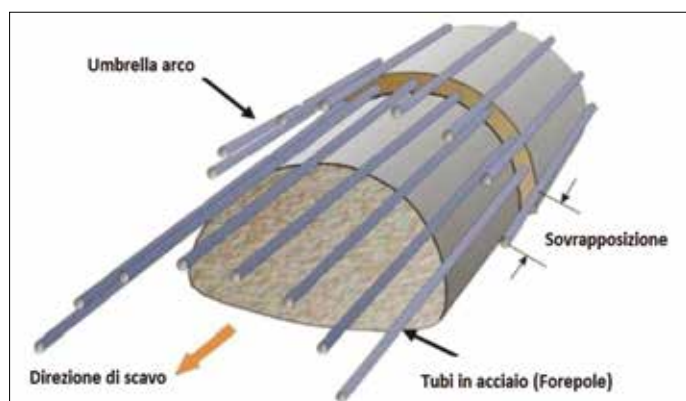


2. La fase operativa di esecuzione dell'Umbrella Arch mediante tubi in acciaio

Gli elementi resistenti che costituiscono il Forepoling Umbrella Method, fanno parte del sistema di supporto temporaneo dell'ammasso e sono parte del sistema stesso che è associato e utilizzato in combinazione con altri sistemi come: i bulloni di ancoraggio, le centine in acciaio, lo spritz beton armato con rete elettrosaldata, ecc..

I PARAMETRI DI PROGETTAZIONE

L'infilaggio in avanzamento in galleria è una tecnica di consolidamento del terreno che permette lo scavo in condizioni geologico-geotecniche difficili. Gli elementi strutturali sono tubi metallici inseriti in fori realizzati suborizzontalmente in volta dietro il fronte di scavo. Generalmente, i fori vengono suc-



3. La rappresentazione schematica della tecnologia

cessivamente riempiti con malta cementizia a bassa pressione per solidarizzare il tubo in acciaio con il terreno circostante. L'infilaggio è realizzato quando il terreno nell'intorno della galleria ha caratteristiche geotecniche tali da non consentire alla volta un'autoportanza per un tempo sufficiente alla posa del rivestimento temporaneo.

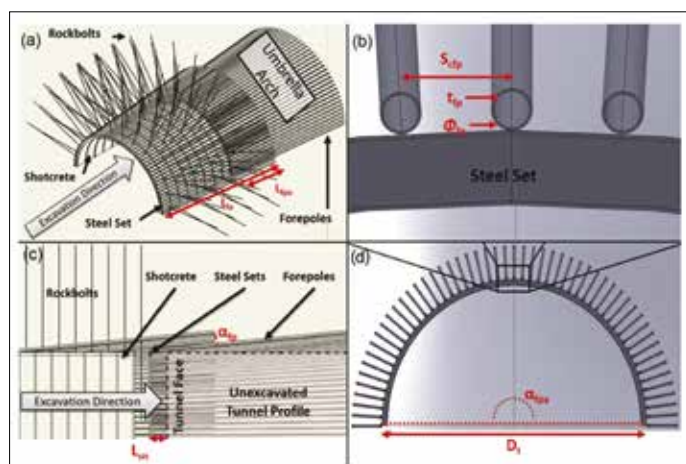
Il metodo è efficiente soprattutto in terreni eterogenei, anche in presenza di grossi massi. La lunghezza dell'infilaggio può variare, a seconda di alcune considerazioni che vedremo, e raggiungere i 20÷30 m.

I parametri per la progettazione sono:

- L_{fp} = lunghezza dell'elemento resistente forepole;
- L_{fp0} = lunghezza di sovrapposizione (porzione di arco in cui si sovrappongono due archi distinti).

Il parametro L_{fp} dipende da considerazioni economiche, disponibilità sul mercato, precisione di perforazione, accessibilità delle attrezzature e macchine, ovvero dalle possibilità di perforazione rispetto alle condizioni del terreno. Per tale motivo, tale parametro non è solitamente ottimizzato con una modellazione numerica.

Per contro, il parametro L_{fp0} può essere ottimizzato con una modellazione numerica. Infatti, la lunghezza di sovrapposizione tra due elementi forepole singoli e dell'insieme costituente gli archi è necessaria per garantire la stabilità del sistema e la risposta dell'ammasso.



4. La rappresentazione dei parametri che intervengono nella progettazione

Realizzato l'infilaggio a tetto, lo scavo procede costantemente protetto; la posa delle centine metalliche avviene quando il fronte di scavo è avanzato per una lunghezza inferiore alla lunghezza massima ($L_{scavo\ max}$) calcolata come la differenza tra la lunghezza dell'elemento resistente e la lunghezza di sovrapposizione calcolata in fase di progettazione.

$$L_{scavo\ max} = L_{fp} - L_{fp0} \quad (1)$$

Nel senso longitudinale, affinché l'elemento resistente risulti efficace, richiede una distanza di infissione sufficiente (in lunghezza) dalla regione dell'ammasso disturbata dallo scavo.

Una corretta esecuzione dell'arco costituito dai singoli forepole nonché una ben calcolata lunghezza di infissione longitudinale dell'arco garantiscono un esatto trasferimento delle sollecitazioni indotte sul fronte di scavo del tunnel al sistema di supporto davanti al fronte e all'ammasso stabile non ancora interessato dallo scavo che si trova dietro al fronte.

Sc_{fp} è un altro parametro importante per la progettazione ed individua l'interasse esistente centro-centro tra i tubi in acciaio, t_{fp} rappresenta lo spessore dell'elemento resistente e \varnothing_{fp} è il diametro dell'elemento resistente (forepole o tubo in acciaio). L'interasse massimo Sc_{fp} che è possibile adottare nell'applicazione del sistema dipende dallo sviluppo o meno dell'effetto arco nell'ammasso. Ciò può essere analizzato e quindi studiato attraverso modelli numerici in cui un ruolo importantissimo giocano anche gli altri due parametri t_{fp} e \varnothing_{fp} .

Anche l'angolo di installazione degli elementi resistenti rispetto all'orizzontale α_{fp} è importante per la stabilità dell'intero sistema: può variare da 5° fino a 40° ed è progettato per bloccare tutti i componenti strutturali garantendo anche un certo spessore del rivestimento cementizio definitivo intorno al cavo. Sul valore che α_{fp} può assumere, giocano un ruolo fondamentale anche gli altri elementi di supporto temporaneo come le centine in acciaio e lo spritz beton.

Non ultim, occorre ricordare che il valore che α_{fp} può assumere dipende anche dal tipo di attrezzature e macchine che si intende utilizzare, ovvero dagli spazi di manovra all'interno della galleria in costruzione.

Va sottolineato che l'angolazione minima possibile di installazione degli elementi resistenti è da considerarsi come l'ideale; infatti, molto spesso si verificano cedimenti e quindi l'asportazione del materiale di scavo fino agli elementi resistenti.

Un ulteriore parametro per la progettazione è la distanza L_{us} tra due centine in acciaio che costituiscono il rivestimento/sostegno temporaneo che influenza anche la stabilità del fronte di scavo e di cui si deve necessariamente tener conto durante le analisi numeriche di verifica del fronte stesso [3].

CONCLUSIONI

Gli studi più interessanti effettuati sugli interventi di rinforzo del terreno come il pretunnel a infilaggio di elementi resistenti in acciaio (Forepoling Umbrella Method), riguardano l'applicazione e gli effetti sulla riduzione della subsidenza e dei cedimenti del terreno intorno al tunnel.

Con l'applicazione di questa tecnologia, ad esempio, la sta-

bilizzazione del fronte di scavo viene eseguita creando una struttura ad ombrello con i tubi in acciaio in modo che la concentrazione delle tensioni si riduca nella parte anteriore e posteriore del fronte di scavo stesso. Così facendo, il livello di sollecitazione generato dalle operazioni di scavo resterà sotto controllo, così come le deformazioni lungo tutto il cavo e in superficie (particolarmente importante per le opere in sotterraneo in ambito urbano) [4 e 5].

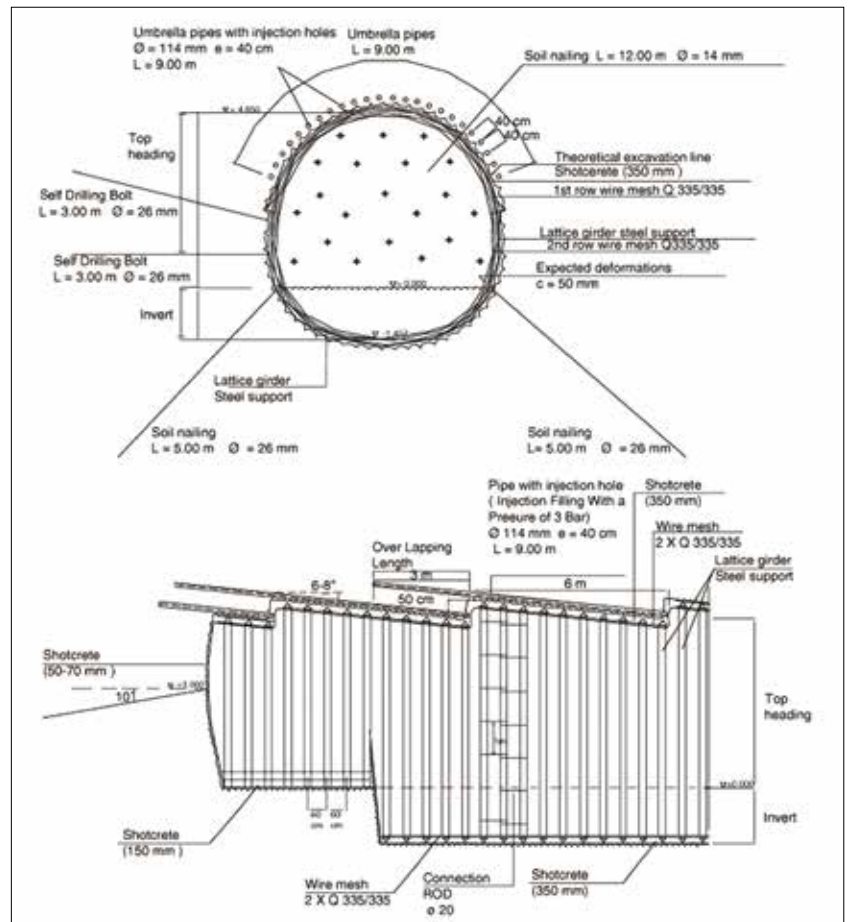
Per mezzo di numerosi studi, si è visto che la tecnologia dell'Umbrella Arch utilizzata come struttura di supporto del terreno riduce significativamente la subsidenza del terreno e, cosa ancora più significativa, risulta essere molto efficace nella riduzione della durata di evoluzione totale della subsidenza stessa [6].

Considerato che le sollecitazioni verticali sull'intervento di rinforzo dipendono dalla rigidità del rinforzo stesso e dal terreno circostante, variare il diametro dei tubi in acciaio - ovvero l'interasse - comporterà un cambio di rigidità del rinforzo, giocando un ruolo fondamentale nell'accrescimento della stabilità del tunnel. Infatti, l'aumento del diametro dei tubi e il loro numero fino al valore ottimale producono una riduzione della deformazione del terreno nell'intorno del cavo nonché una riduzione della subsidenza in superficie. Per contro, una diminuzione del diametro dei tubi e una riduzione del numero di infilaggi eseguiti per la realizzazione del supporto sono causa di una riduzione di rigidità, quindi di un aumento dei cedimenti di deformazione. Diretta conseguenza di ciò è l'aumento della subsidenza in superficie e l'impatto negativo in termini di stabilità del fronte di scavo [7 e 8].

⁽¹⁾ *Ingegnere, Progettista esperto in tecniche avanzate di scavo in sotterraneo*



6. L'esecuzione degli infilaggi in volta



5. Esempio di progettazione di un intervento di preconsolidamento

Bibliografia

- [1]. M. Chiarelli - "Gallerie realizzate in ammassi rigonfianti e/o spingenti", "Ingenio Web" del 4 Ottobre 2016, Imready Srl, RSM.
- [2]. M. Chiarelli - "L'Arte del costruire gallerie", Editrice Uni Service, Trento, 2009.
- [3]. M. Chiarelli - "La realizzazione di gallerie in formazioni geologicamente complesse", "Ingenio" n° 36 del 30 Settembre 2015, Imready Srl, RSM.
- [4]. M. Chiarelli - "Analisi di stabilità del fronte di scavo in galleria", "Ingenio" n° 41 del 12 Aprile 2016, Imready Srl, RSM.
- [5]. M. Chiarelli - "La costruzione di gallerie in ambiente urbano", "Ingenio" n° 28 e dossier di Geotecnica del 14 Novembre 2014, Imready Srl, RSM.
- [6]. M. Chiarelli - "Il metodo Top-Down e Bottom-Up - Le stazioni della nuova metropolitana di Roma" - "Strade & Autostrade" n° 119 Settembre/Ottobre 2016, EDI-CEM Srl, Milano.
- [7]. M. Chiarelli - "Interazione tra gallerie metrò e scavi profondi: il metodo smartGDE", "Strade & Autostrade" n° 108 Novembre/Dicembre 2014, EDI-CEM Srl, Milano.
- [8]. M. Chiarelli - "Analisi dei cedimenti per gallerie a doppia canna", "Strade & Autostrade" n° 125 Settembre/Ottobre 2017, EDI-CEM Srl, Milano.