

Senza conoscere in modo approfondito tutte le variabili in gioco è impossibile prevedere con attendibilità costi e tempi di qualsiasi opera

VERSO L'INDUSTRIALIZZAZIONE DEL TUNNELLING

Pietro Lunardi

Da quando nel 1908 Henry Ford iniziò la produzione in serie della Ford T dimostrando al mondo i vantaggi conseguibili attraverso un'organizzazione industriale del lavoro, le sue teorie si sono rapidamente diffuse rivoluzionando in successione tutti i settori produttivi, escluso l'atipico mondo del tunnelling.

Quest'ultimo, com'è noto, sino a pochi anni fa è stato caratterizzato da un elevato grado di aleatorietà dei tempi e dei costi di costruzione, con conseguenti ingenti danni per le Amministrazioni e le Imprese, ma anche per la credibilità stessa del settore.

Se si analizza a fondo l'origine delle difficoltà ogniquale volta queste si sono verificate, si vede che esse sono sovente il prodotto di un'insufficiente conoscenza dei terreni e delle situazioni tenso-defor-



Figura 1 - La galleria Appia Antica (GRA di Roma): le operazioni di consolidamento del nucleo d'avanzamento

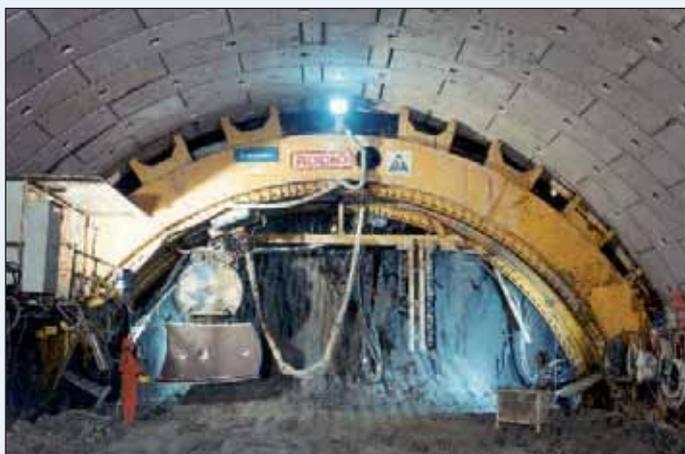


Figura 2 - La stazione Baldo degli Ubaldi (metropolitana di Roma, Linea A): l'assemblaggio del rivestimento di conci prefabbricati di c.a. in prossimità del fronte di scavo

mative in gioco con il concorso di agenti naturali quali acqua, gas, contatti tettonici, fenomeni di rigonfiamento e alterazione, carsismi, ecc.. Alcune importanti esperienze maturate nel corso degli ultimi anni dimostrano che la strada maestra per superare dette difficoltà e restituire l'auspicabile credibilità al tunnelling prevede:

- ◆ di investire almeno il 2% del valore dell'opera sulla conoscenza dei terreni e delle situazioni tenso-deformative cui sono soggetti;
- ◆ di considerare la galleria, al momento della progettazione, non più come un problema 2D, bensì 3D;
- ◆ di scommettere sull'industrializzazione degli scavi o con sistemi meccanizzati o, dove ciò non sia possibile o non convenga economicamente, con sistemi tradizionali d'avanguardia.

Per quanto riguarda il primo punto, è lapalissiana l'impossibilità di prevedere con attendibilità l'esito di una qualsiasi opera in termini di tempi e di costi di realizzazione se non si possiede una sufficiente conoscenza di tutte le variabili in gioco, soprattutto quando queste possono condizionare la fattibilità stessa dell'opera, come nel caso delle co-



Figura 3 - La galleria Tartarville (TGV Méditerranée, Francia): il posizionamento della centina a ridosso del fronte di scavo

struzioni in sotterraneo in cui la più importante di queste variabili, il terreno, ne è anche il principale materiale da costruzione.

A questo proposito, vale la pena ricordare che prima del 1981, anno in cui il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici emanò per la prima volta le “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di fondazione” (D.M. 21 Gennaio 1981), in Italia - ma non solo in Italia - si navigava nel... buio, più metaforico che mai.

I progetti di gallerie consistevano in semplici elaborati per lo più a contenuto empirico, corredati da sezioni geologiche di larga previsione e scala, con scarso supporto di indagini geognostiche indirette. Era convinzione che il costo dell’indagine geognostica non giustificasse il beneficio del risultato. Di conseguenza, non era infrequente il rinvenimento, in corso di costruzione, di situazioni geologiche differenti rispetto a quelle previste in fase progettuale (i famosi “imprevisti geologici”), tali da richiedere agli esecutori, per tentare di risolvere al meglio le difficoltà incontrate, la messa in opera di interventi di contenimento e di stabilizzazione improvvisati e assolutamente non previsti dal progetto, con conseguenti risvolti negativi nel profilo economico, contrattuale e della sicurezza.

Le nuove disposizioni di legge e l’applicazione dei sistemi qualità hanno sicuramente ridimensionato questo aspetto, favorendo una progettazione più certa e corretta.

Il Decreto Ministeriale del 1981, pur nella sua estrema genericità, focalizzando per la prima volta l’attenzione sulla necessità delle indagini preventive è stato l’inizio di un processo di sensibilizzazione di Progettisti e Costruttori riguardo alla necessità di conoscere a fondo il comportamento del terreno nella sua interazione col manufatto in sotterraneo.

Oggi, grazie:

- ◆ al progressivo aggiornamento della Normativa;
- ◆ alla messa a punto di un moderno approccio progettuale e costruttivo quale l’Analisi delle DEformazioni COntrollate nelle Rocce e nei Suoli (A.DE.CO.-RS), che non è un prodotto commerciale, bensì una ricerca durata più di 30 anni su oltre 800 km di gallerie realizzate e su più di 2.000 fronti di scavo analizzati, e che come tutti i risultati scientifici nulla lascia all’improvvisazione, imponendo una seria fase conoscitiva del mezzo e degli stati tensionali in cui si deve operare prima ancora d’iniziare a progettare l’opera;
- ◆ al conseguente rinnovo dei Capitolati d’appalto delle principali Amministrazioni italiane interessate alle costruzioni in sotterraneo (ANAS, Società Autostrade, Italferr);
- ◆ all’uscita e infine all’assimilazione delle “Linee Guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo” elaborate nell’ambito del Progetto Nazionale Normativa Opere in Sotterraneo promosso dalla SIG (Società Italiana Gallerie), al quale hanno collaborato le più importanti Associazioni italiane (AGI, ANIM, GEAM, IAEG, ITCOLD, SIG, SIGI);

- ◆ il ricorso preventivo allo studio geologico e geotecnico è diventato sistematico e, mentre l'imprevisto geologico è sempre meno riconosciuto nei contratti base d'appalto per le opere in sotterraneo, le spese da sostenere per le indagini geognostiche preventive sono considerate un investimento necessario per l'economia e la sicurezza degli scavi.

Grazie alla migliorata conoscenza dei diversi tipi di terreno e delle situazioni tenso-deformative da affrontare, anche l'organizzazione dei lavori di scavo in galleria negli ultimi 20 anni ha assunto caratteristiche sempre più industriali.

Rimandando a più oltre l'illustrazione dell'importanza del secondo punto (considerare la galleria, al momento della progettazione, non più come un problema 2D bensì 3D), passiamo brevemente ad analizzare il terzo.

Con i sistemi meccanizzati mediante TBM, l'industrializzazione del tunnelling oggi si può considerare più o meno risolta. Sono disponibili sul mercato macchine capaci di affrontare tutti i tipi di terreno: dalle TBM da roccia aperte o scudate, adatte alle formazioni strutturalmente complesse, alle cosiddette EPB, concepite per lo scavo dei terreni più soffici anche in zona urbana, dove il controllo dei cedimenti in superficie è un fattore critico. Salvo errori nella scelta della macchina (che deve adattarsi al terreno non essendo possibile il contrario), lo scavo meccanizzato mediante TBM oggi garantisce produzioni industriali medie, per gallerie ordinarie da 12-14 m di diametro, dell'ordine dei 5 m/giorno nei terreni più difficili, sino a oltre 20 m/giorno negli ammassi rocciosi più omogenei.

Con i sistemi tradizionali l'industrializzazione del tunnelling oggi è diventata possibile anche nelle situazioni di terreni e di stati tensionali più difficili grazie all'approccio dell'Analisi delle DEformazioni CONTrollate nelle Rocce e nei Suoli (A.DE.CO.-RS), di cui abbiamo già ac-

cennato parlando di conoscenza del mezzo. Infatti questo approccio, che ha già permesso di realizzare nel nostro Paese numerose importanti opere di tunnelling nel pieno rispetto dei tempi e dei costi di costruzione preventivati (tra cui gli oltre 100 km di gallerie della nuova linea ferroviaria ad alta velocità/capacità Bologna-Firenze, recentemente inaugurata), raggiunge l'obiettivo dell'industrializzazione degli scavi attraverso un percorso progettuale e costruttivo che ha come irrinunciabile punto di partenza la conoscenza del terreno da scavare e del campo di tensioni naturali cui è sottoposto. In un tale percorso, lo scavo della galleria - che si esprime nell'avanzamento del fronte all'interno del mezzo, avanzamento che produce una perturbazione degli stati tensionali preesistenti sia in senso longitudinale che trasversale - si identifica nell'Azione, cioè nel complesso di operazioni che si compiono per realizzarlo. L'A.DE.CO.-RS focalizza quindi l'attenzione sui fenomeni che avvengono allorché le tensioni preesistenti nell'ammasso, deviate dall'apertura del cavo, si canalizzano al suo contorno nelle tre dimensioni, producendo la Risposta Deformativa (reazione) del terreno all'Azione dello scavo sia in senso longitudinale (estrusione) sia in senso trasversale (preconvergenza e poi convergenza).

Primo e più importante compito del Progettista di gallerie è studiare come potrà evolvere la canalizzazione delle tensioni deviate dallo scavo e garantire - calibrando appropriatamente, in funzione delle diverse situazioni tenso-deformative, modalità di scavo e interventi di stabilizzazione - che essa evolva verso la formazione di un effetto arco il più possibile vicino alle pareti dello scavo.

E' evidente, e qui veniamo al secondo punto sopra menzionato, che questo, soprattutto quando le situazioni di terreno e stato tensionale sono difficili, è possibile solo se al momento della progettazione la galleria è considerata come un problema a tre dimensioni e non solo a due come semplificavano i vecchi approcci progettuali. Lo

studio della Risposta Deformativa in tutte e tre le sue componenti (estrusione, preconvergenza e convergenza) in termini di analisi e di controllo prima a monte e poi a valle del fronte di scavo, come funzione della canalizzazione delle tensioni e della velocità d'avanzamento, è infatti il presupposto indispensabile per l'industrializzazione degli scavi, visto che alla fine i tempi e i costi di costruzione saranno funzione della sua entità.

L'aver recepito per prima i principi proposti dall'A.DE.CO.-RS nelle proprie Normative e nei Capitolati delle Pubbliche Amministrazioni ha consentito all'Italia di realizzare in pochi anni, con sistemi tipicamente industriali, numerose gallerie per infrastrutture stradali e ferroviarie, conseguendo nel mondo una riconosciuta leadership in tema di tunnelling in condizioni difficili. Incontri anche recenti con operatori del sotterraneo e responsabili delle opere pubbliche di diversi Paesi, anche extraeuropei, mi hanno confermato l'estremo interesse verso i nostri approcci progettuali e costruttivi. Occorrerà tempo, perché l'adozione di nuove procedure progettuali e costruttive richiede, come già fu nel nostro Paese, di adeguare Normative e capitolati nazionali, ma l'attuale posizione di vantaggio dell'Italia è di buon auspicio per tutti gli operatori italiani del tunnelling. ■

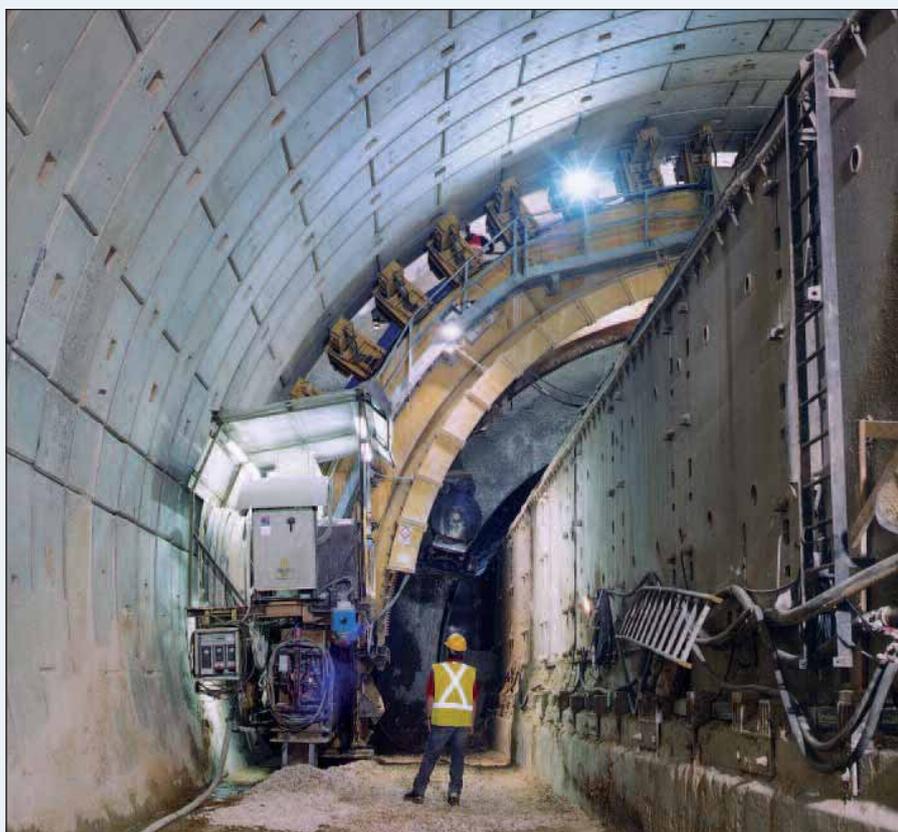


Figura 4 - La galleria Nazzano (Autostrada A1 Milano-Roma-Napoli): l'allargamento della galleria in presenza di traffico