

Trenchless Microtunnelling Technology: un'idea che sta "attraversando" il mondo.

// Introduzione

La tecnica tradizionale di posa delle tubazioni lungo strada ha fin qua portato con regolarità ad una serie di non lievi inconvenienti: lamentele, disagi, costi sociali, sottoservizi, dissesti stradali etc

A nulla, o quasi, è giovata l'evoluzione tecnica del cantiere che ha prodotto: macchine più potenti, attrezzature più sofisticate, sbadacchi più maneggevoli, compattatori più efficienti etc.; la demolizione della sede stradale non perdona: è certo l'inizio dei problemi, non la loro fine.

Per questi motivi il metodo di posa delle tubazioni senza scavo sta assumendo nei Paesi più industrializzati una sempre maggiore importanza. Questa tecnica trae origine dai metodi di scavo in galleria e ne conserva i medesimi sistemi per i grossi diametri (cutter boom shield, backacter shield etc.). Per i piccoli diametri invece, dove è impossibile lo stazionamento di un operatore all'interno, viene utilizzata la tecnica del controllo a distanza della fresa, il cui avanzamento è teleguidato da una cabina opportunamente attrezzata. Il tutto è completato da una serie di martinetti idraulici (jacks) che consentono di far avanzare all'interno della galleria così predisposta le tubazioni della canalizzazione progettata. Analizziamo ora nel dettaglio il metodo.

// Brevi cenni storici

Alcuni autori fanno risalire i primi esperimenti di tubo a spinta agli antichi Romani che usavano tale tecnica per impedire l'accesso di acque indesiderate negli acquedotti a mezzo di pali di legno infissi nel sottosuolo.

A parte tali curiosità, i primi tubi spinti dell'era moderna, di cui si trova notizia nella letteratura, sembrano essere

quelli compresi nella serie di lavori Commissionati dalla Northern Pacific Railroad Company tra il 1896 e il 1900 per sottopassare con tubi in acciaio il corpo ferroviario in vari punti del Paese.

Risale alla fine degli anni '20 l'inizio dell'uso di tubi in cemento armato per la realizzazione di attraversamenti per sottoservizi o pedonali con diametro delle tubazioni variabile tra 750 e 2400 mm.

I sistemi usati consistevano in martinetti idraulici opportunamente contrastati da apposite pareti, che spingevano i tubi in scavi eseguiti prevalentemente a mano dove il diametro delle tubazioni lo permetteva o con sistemi diversi laddove la piccolezza del foro impediva l'accesso di strumenti diversi da coclee o analoghi utensili.

Lo sviluppo del sistema si ha negli anni '60 con l'introduzione di metodi di guida della spinta, con l'uso di anelli in gomma per sigillare i giunti tra i tubi, e, più tardi, con l'adozione di comando a distanza della testa di escavazione. Nel 1965 venne sviluppato in Giappone il primo sistema di trasporto liquido del materiale scavato con bilanciamento della pressione su tutta la faccia di scavo.

In Germania il sistema di posa senza scavo fu introdotto nel 1981 con l'acquisto di un macchina ISEKI per il programma microtunnelling della Città di Amburgo del periodo '81 : '84, durante il quale furono installati circa 2500 m. di tubi di piccolo diametro.

La Germania ora vanta il maggior numero di macchine da microtunnelling, operando sul suo territorio circa il 75% delle 200 attrezzature presenti in Europa.

Siamo comunque ben lontani dai livelli raggiunti in Giappone, dove si stima operando non meno di 1500 : 2000 macchine per microtunnelling e dove la percentuale delle condutture posate con sistema no-dig ha superato quella con metodo tradizionale.

Thomas Bloonfield

Roberto Penazzi



Tecnica del “pipe jacking”

La realizzazione di una condotta con questa tecnica inizia con la costruzione di due pozzetti: uno di spinta ed uno di ricevimento.

Questi pozzetti potranno avere forma e dimensioni diverse dal diametro e dalla lunghezza degli elementi di tubo da spingere.

In generale il pozzo di spinta avrà dimensioni maggiori per consentire tutte le operazioni di lavoro che consistono nel set-up della macchina (jacks, laser, pompe, etc.), nell'allontanamento del materiale di scavo, nel calo della tubazione, nella spinta della medesima e nel controllo continuo dell'avanzamento.

Il pozzo di ricevimento avrà invece le misure strettamente necessarie alla fuoriuscita della fresa, la cui lunghezza è funzione diretta del diametro.

In fig. 1 è rappresentato un cantiere per tubazione di piccolo diametro dove viene sottopassata una ferrovia, un fiumiciattolo ed una strada di grande traffico.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella costruzione del pozzo di spinta, che dovrà assicurare il contrasto alla forza esercitata dai martinetti sui tubi.

In terreni poveri può essere necessario realizzare della palificazioni per aumentare la capacità di reazione della parete di appoggio. Dove non si ha a disposizione la profondità sufficiente per costruire un normale pozzo di spinta, per esempio in banchine, esso dovrà essere rinforzato per mezzo di una struttura costruita al di sopra del livello del terreno che presenti un adeguato contrasto a mezzo di pali, palancole o altri metodi che assicurino il trasferimento degli sforzi orizzontali.

Le principali forze necessarie per il “pipe jacking” vengono fornite da martinetti ad alta pressione. Il diametro dell'ariete e il tiro dei martinetti (jacks) può variare a seconda della tecnica. Si possono utilizzare martinetti con tiro corto e distanziatori multi-

• *Figura 1*



• *Figura 1 - Cantiere per tubazione di piccolo diametro*

pli, a medio tiro e una tubatura di lunghezza minore, oppure a tiro lungo che consentano la spinta di tutta la tubazione in una unica operazione.

La lunghezza dei tubi può variare da 1 a 3 metri.

Per assicurare che le forze di spinta siano distribuite uniformemente attorno alla circonferenza della tubazione si darà all'anello di spinta una certa forma a seconda del numero di martinetti utilizzati. I martinetti vengono interconnessi idraulicamente in modo che la spinta che parte da ciascuno di essi sia uguale. Il numero di martinetti utilizzati può variare da due a quattro a seconda delle dimensioni del tubo, della resistenza dei tubi utilizzati, della lunghezza dei tubi e della resistenza dell'attrito laterale.



Utilizzazioni e vantaggi

Le tecniche del “microtunnelling” e del “pipe jacking” trovano la loro principale applicazione in: posa in opera di condotti fognari e di scarico; installazioni di tubature per gas e acqua, condotti petroliferi, tubi guida per le telecomunicazioni e l'elettricità e

canali sotterranei. Tra le applicazioni speciali vi sono invece l'installazione di sezioni circolari o rettangolari per i sottopassaggi pedonali o stradali.

Questa tecnica può essere impiegata per superare ostacoli rappresentati da strade principali, binari ferroviari, fiumi, canali, edifici, aeroporti che venissero a trovarsi sul percorso delle tubature.

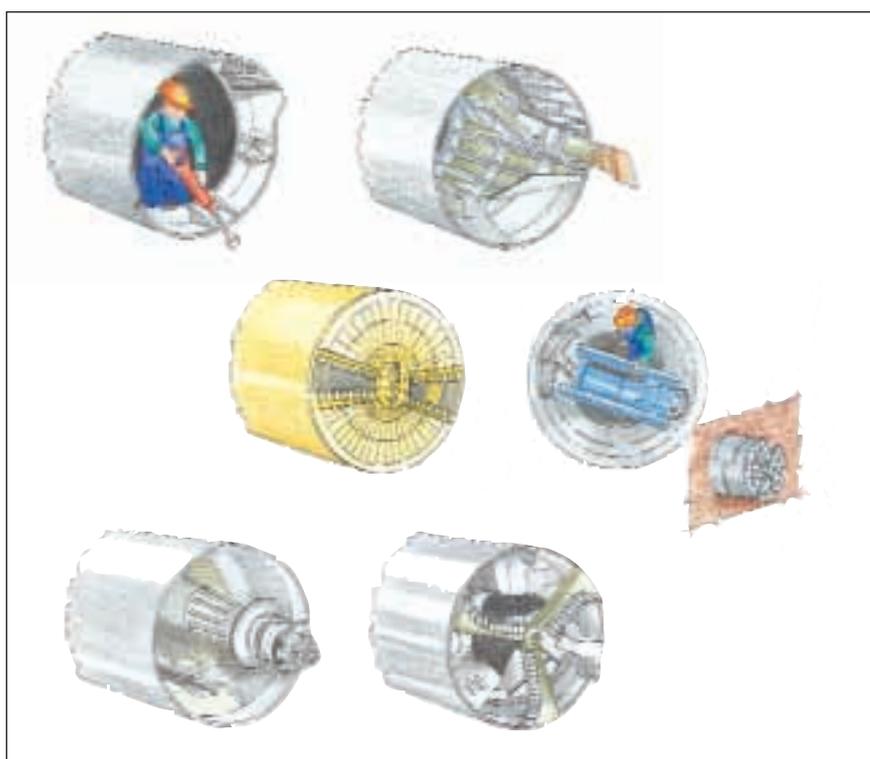
I tubi con un diametro inferiore ai 900 mm, che non permettono l'ingresso dell'uomo, vengono installati usando i sistemi di “microtunnelling” con controllo a distanza. Si può raggiungere una lunghezza variabile tra 80 m e 120 m. Il “pipe jacking” con l'operatore all'interno della testa viene utilizzato, invece, principalmente per tubazioni più grandi come alternativa agli scavi aperti o altri sistemi di scavo di gallerie. Le lunghezze possono superare i 300 m con l'ausilio di stazioni intermedie di spinta. Il “pipe jacking” può essere comunque impiegato per brevi attraversamenti di canali, binari, strade, ecc. Sono a disposizione diversi metodi di costruzioni adatti a terreni coesivi e non coesivi, in condizioni asciutte o in presenza di falda. Vi sono anche delle tecniche di scavo disponibili per roccia, trovanti di grosse dimensioni e terreni misti. I principali vantaggi del “pipe jacking” e del “microtunnelling” sono i seguenti:

- tenuta della condotta risultante;
- minimo disturbo del terreno e della superficie;
- minori rischi di cantiere;
- ripristino ridotto al minimo;
- minima attrezzatura per la deviazione dei sottoservizi in aree urbane;
- significativa riduzione dei costi sociali rispetto alla trincea aperta in aree urbane;
- minimo disturbo ambientale.

// Tecniche di scavo nel “pipe jacking”

Sono usate una grande varietà di tecniche. Nella maggior parte dei casi la scelta del metodo dipende dalla tecnica usata per sostenere il fronte dello scavo:

- scudi aperti: testa nella quale si scava a mano;
- TBM (Full face tunnel macchine): una fresa provvista di una testa rotante tagliente in cui la faccia può essere separata dal resto da una paratia di sostegno dalla spinta della terra. Sono disponibili numerose teste adatte ad operare in diversi terreni.
- Cutter boom shield: uno scudo aperto nel quale è montato un braccio di scavo;
- Backacter shield: uno scudo aperto nel quale è installato un escavatore meccanico per permettere lo scavo;
- Slurry: macchina che trasporta il materiale di scavo dalla faccia di avanzamento mediante un liquido di ricircolo, generalmente acqua. Sono disponibili diverse teste da taglio a seconda del tipo di terreno. La pressione della testa è usata per bilanciare la pressione del terreno.
- EPCBM (Earth pressure counter balanced macchine): un apparecchio che sostiene la faccia di avanzamento in cui il materiale di scavo viene trasportato dal fronte da una coclea o da una miscela liquida. Il fronte è sostenuto dal materiale di scavo tenuto in pressione dietro la testa. La pressione è controllata dal flusso del materiale di scavo attra-



● *Figura 2 - Tecniche di scavo nel “pipe jacking”*

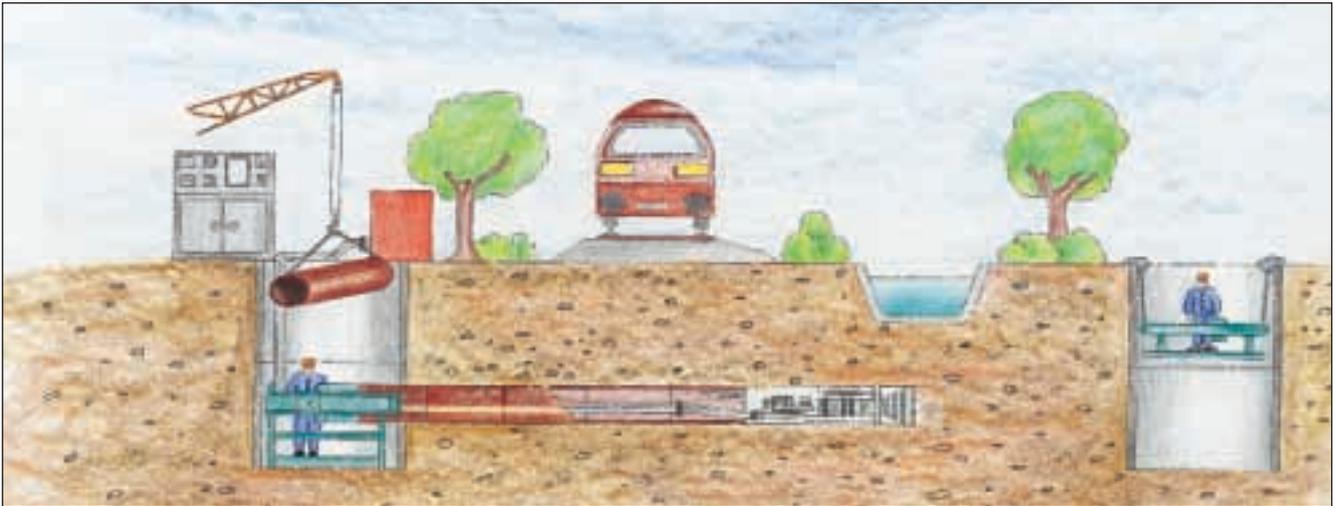
verso la coclea o le valvole del sistema slurry.

- Scudo ad aria pressurizzata: uno scudo sul quale viene bilanciata la pressione dell’acqua di falda utilizzando aria compressa nella camera di scavo.

// Microtunnelling

Le macchine per la posa di tubazione con sistema di “microtunnelling” si dividono in due grandi famiglie a seconda del metodo di allontanamento del materiale di scavo adottato:

Criteria	Trincea aperta	Microtunnelling
Strade	Bassa densità di traffico, piano unico	Alta densità, multi piano
Area	Da bassa a media residenza Poco commerciale, aperta campagna	Altamente commerciale
Traffico	Basso Strade secondarie	Intenso Arteria principale
Terreno	Uguale	Uguale
Livello di falda	Bassi livelli	Alti livelli
Profondità	<4/5	>4/5m



● **Figura 3 - Metodo "Anger system"**

● **Anger system:** coclea di trasporto del materiale scavato dalla testa della fresa al pozzetto di spinta, dove viene scaricato in un vagonetto e quindi portato a rifiuto.

● **Slurry system:** sistema idraulico di trasporto della miscela formata dal materiale di scavo e dal liquido di ricambio. La separazione della parte solida avviene in appositi tanks di sedimentazione o in separatori vibranti.

In terreni limosi, sabbiosi, argillosi o in roccia tenera il microtunnelling con coclea può essere utilizzato quando l'altezza della falda non supera di oltre 2-3 metri la macchina.

Un'apparecchiatura standard è composta da un container di contenimento del computer e del gruppo motore, e del paranco di sollevamento. La testa di scavo per "microtunnelling" misura approssimativamente 2.5/3 m di lunghezza e viene fatta partire da un pozzo di spinta del diametro di 2.70-4.50 m. Le teste disponibili sono adatte a terreni sciolti, argilla compatta, rocce tenere, trovanti di dimensioni inferiori al 30% del diametro esterno, rocce compatte.

Il controllo della testa viene effettuato per mezzo di un laser con obiettivo attivo che invia le informazioni al computer di comando. La coclea viene fatta ruotare da un sistema idraulico e la spinta viene data da due jack idraulici.

Vi è una limitazione alla lunghezza di terreno che la fresa può effettivamente rimuovere prima di essere sovraccariata: generalmente la lunghezza massima è di 80-90 m. La dimensione della coclea varia da 250 mm a 1200 mm. Le tubazioni da spingere hanno generalmente una lunghezza di 1 o 2 mm. La produzione media si aggira attorno ai 10 m con punte massime di 20 m in terreni sciolti.

Le eccessive altezze d'acqua e l'instabilità del terreno limitano l'impiego dei sistemi a coclea a causa della loro incapacità di controllare il flusso dei fluidi e di conseguenza anche la stabilità della superficie di scavo.

Gli apparecchi che utilizzano lo slurry system sono invece adatti a tali condizioni; essi sono dotati di scudi che utilizzano un liquido di ricambio pompato per rimuovere il terreno scavato dalla fresa, trasportarlo in superficie e per controbilanciare la pressione di falda.

I vantaggi dei sistemi a slurry sono:

- controbilanciamento della pressione del terreno coordinando meccanicamente la velocità di scavo, la pressione del fronte di taglio e la forza di spinta;
- bilanciamento della pressione dell'acqua coordinando la pressione dello slurry, il suo flusso e la sua densità.

Questi vantaggi permettono di costruire le gallerie anche in condizioni del terreno molto critiche senza utilizzare compressori d'aria, senza emungimento della falda o altro tipo di trattamento.

Ricerche e progetti hanno portato all'elaborazione di tecniche che permettono di operare in terreni diversissimi, dall'argilla al limo, alla ghiaia e persino in rocce tenere e compatte.

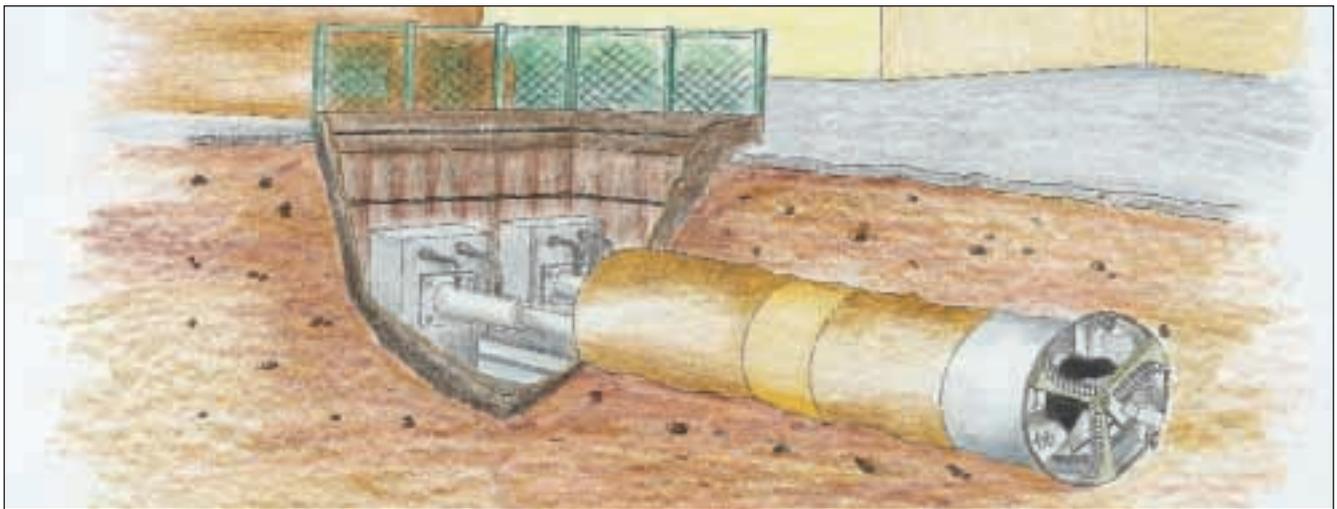


Criteria per la scelta del "microtunnelling"

Gli aspetti basilari da prendere in considerazione quando si deve valutare la convenienza della tecnica del "microtunnelling" rispetto ai metodi tradizionali di scavo a ciclo aperto per la costruzione di nuove condotte, sono i seguenti (elencati in ordine di importanza):

- condizioni del terreno;
- costi;
- condizioni del sottosuolo;
- livelli di falda.

La condizione del terreno è generalmente il fattore critico per la scelta dell'utilizzo del "microtunnelling", immediatamente seguita dai costi. La



● *Figura 4 - Metodo "Slurry system"*

decisione di utilizzare il "microtunneling" nella maggioranza dei casi dipende, però, dalla scelta dell'Amministrazione committente di evitare l'interruzione delle attività nelle aree di operazione. La decisione scaturisce spesso dall'attenta valutazione dei vantaggi portati dal sistema non distruttivo rispetto a quello tradizionale, in presenza di terreni particolari ed altezze di scavo non trascurabili. La profondità di installazione ha infatti un effetto diretto sui costi e sulla quantità della superficie stradale manomessa. A grandi profondità la tecnica della trincea aperta richiede più tempo, una maggiore area stradale, un più esteso e complesso allontanamento dell'acqua di falda, che può rappresentare fino a un terzo del costo totale dello scavo.

Nel "microtunneling" la profondità non è un fattore determinante per il costo in quanto l'unica variazione rilevante si ha per la costruzione del pozzo di spinta e quello di ricevimento.

Alti livelli di falda tendono dunque a favorire la scelta del "microtunneling" perché i costi nella tecnica con trincea aperta incrementano in modo non lineare. Alti livelli di falda nel terreno e apprezzabili profondità di posa dei tubi rendono, poi, il sistema "microtunneling" più sicura sia dal punto di vista operativo che nel risultato.

La tabella riporta alcuni criteri per la scelta del "microtunneling" per l'installazione di nuove condotte rispetto al metodo tradizionale.

// Progettazione

Prima di affrontare una dettagliata analisi della progettazione si dovrà verificare se i parametri fondamentali soddisfano le esigenze del progetto.

Per una rete fognaria si dovrà probabilmente guardare a:

- fabbisogni idraulici;
- percorso;
- requisiti dei pozzetti;
- profondità;
- pendenza.

Dopo aver eseguito l'accertamento dei parametri ingegneristici, ambientali e economici, il "pipe jacking" o "microtunneling" ed i loro pozzetti di spinta a ricevimento dipenderanno da numerosi fattori, tra i quali:

- le condizioni del terreno;
- una dettagliata individuazione dei sottoservizi;
- la posizione dei pozzi di spinta e ricevimento delle aree di lavoro;

- la lunghezza necessaria;
- il diametro delle tubature;
- l'economicità delle dimensioni dei pozzi in funzione della lunghezza del tratto e della lunghezza dei tubi da posare.

Una volta terminata la fase di progettazione e di valutazione dei costi per l'utilizzo della tecnica del "microtunneling", si dovrà redigere una dettagliata relazione geologica del luogo di lavoro, per determinare le caratteristiche dei diversi tipi di terreno che si potrebbero incontrare e le informazioni sull'escursione della falda, come ad esempio la variazione di livello ad ogni cambio stagionale, ecc.

Le condizioni del terreno hanno un ruolo fondamentale per la determinazione del tipo di pozzo di spinta da costruire, del metodo di spinta e scavo da adottare e dei sistemi ottimali di sostegno della faccia di scavo.

Infine quando si prende in considerazione l'utilizzo della tecnica del "pipe jacking" o "microtunneling" come alternativa agli scavi a cielo aperto (open cut), è utile valutare anche i vantaggi della linearità del percorso ottenibile sottopassando certi ostacoli; questo potrebbe portare ad una diminuzione della lunghezza totale delle tubazioni e ad una riduzione del costo finale.