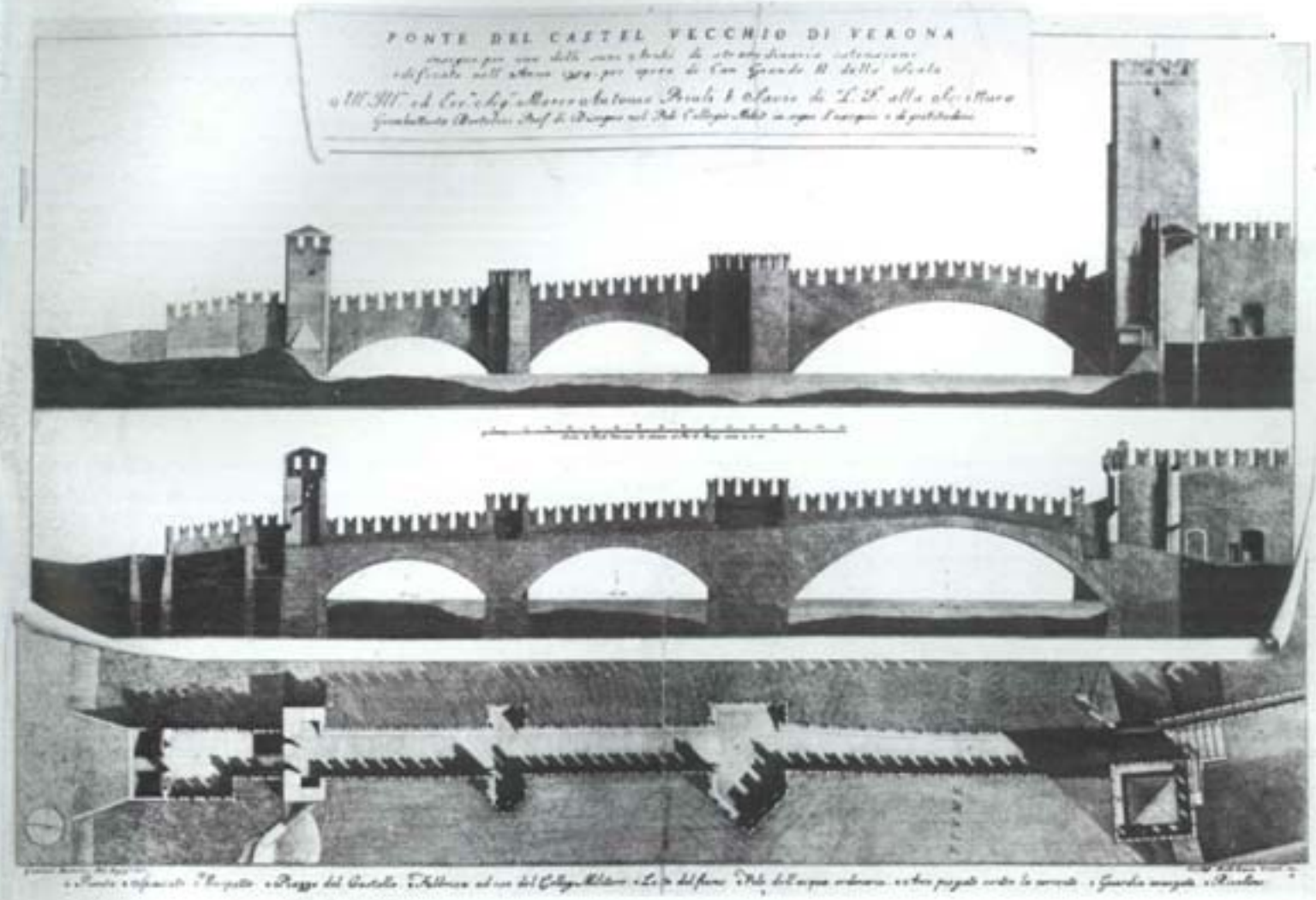


NOTIZIARIO

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI VERONA E PROVINCIA

4
2004

Nuovi aspetti relativi alla gestione e manutenzione delle opere di deflusso urbano

Fabrizio Zanetti

L'articolo seguente riguarda la relazione presentata dall'ing. Fabrizio Zanetti al convegno tenutosi il 29 aprile 2004 a Peschiera del Garda, promosso da:

Giunta Regionale del Veneto,
Ordine degli Ingegneri di Verona e Provincia,
Federceramica – Settore Merceologico Gres Ceramico sul tema:

- *L'applicazione della tecnologia del microtunnelling nella Provincia di Verona.*
- *La posa di condotte con la tecnica del microtunnelling: esperienze realizzative nel comune di Castelnuovo del Garda. Lavori di riassetto e potenziamento del sistema fognario comunale – 2° stralcio.*

Premesse sulla tecnica del microtunnelling

La rapida crescita dei sistemi di trasporto e comunicazione ha prodotto negli ultimi anni una crescente richiesta di attrezzature per costruzione di gallerie (tunneller) capaci di operare in situazioni sempre più difficili. Le tecniche e le attrezzature sono state migliorate e perfezionate specialmente nel caso di terreni poco consistenti e in presenza d'acqua, che spesso rappresentano le condizioni di maggiore complessità, che si incontrano nella realizzazione delle gallerie.

Se da un lato l'ingegneria civile ha conosciuto uno sviluppo maggiore nella costruzione di gallerie di grande diametro incrementandone le dimensioni, grazie anche all'introduzione di tecniche e attrezzature un tempo impensabili (consolidamento dei terreni, iniezioni speciali, congelamenti, attrezzature a scudo e frese speciali), dall'altro lato, nel campo dei tunnel di piccolo diametro, è rimasta vincolata dalla dimensione minima per l'ispezionabilità e percorribilità da parte dell'uomo fintantoché l'estensione della tecnica delle frese scudate dai grandi ai piccoli diametri ha consentito il nascere e lo svilupparsi del microtunnelling.

Pertanto, fino a circa dieci anni fa, non era possibile realizzare tunnel con diametro inferiore a 900 mm perché questa era la misura limite di accessibilità della galleria da parte dell'uomo.

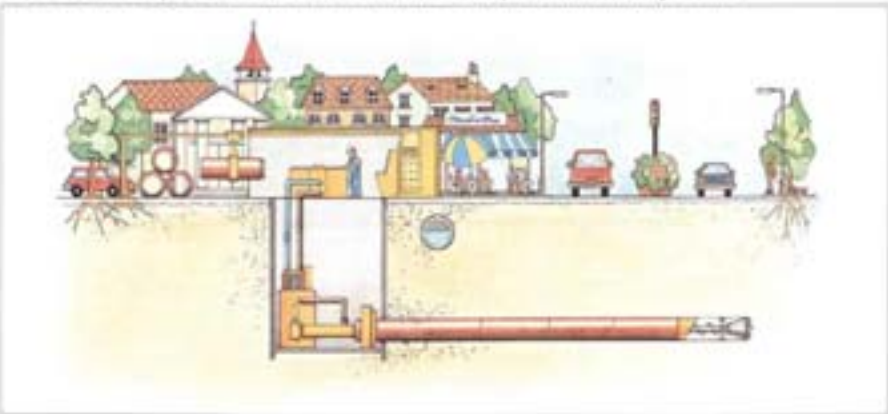
Due sono i fattori principali concomitanti alla promozione degli attuali rapidi sviluppi della tecnica del microtunnelling:

- il primo riguarda l'imponente incremento dei servizi tecnologici, che ha indotto un uso intensivo (e spesso non coordinato) del sottosuolo urbano: l'occupazione autonoma del sottosuolo da parte degli erogatori dei servizi, con posa di fognature, acquedotti, gasdotti, reti elettriche e di telecomunicazione, lo ha lentamente trasformato in un reticolo praticamente intoccabile di tubi, condotte e cavi tale da scoraggiare ulteriori interventi con tecniche di scavo;
- il secondo fattore di carattere incentivante è relativo all'applicazione di tecniche avanzate di miniaturizzazione, guida laser, e materiali ad alte prestazioni tecnologiche (ad es. frese in superlega).

In definitiva, l'esigenza di sviluppare alternative allo scavo in trincea ha favorito l'introduzione di tecniche di scavo e di guida di condotte di piccolo diametro, operando in modo continuo e completamente automatico in sotterraneo, con l'eliminazione degli scavi a cielo aperto e con l'esclusione di qualsiasi intervento diretto di uomini sul fronte di scavo stesso.

Lo scavo è del tipo a sezione piena ed è eseguito mediante una testa d'avanzamento a ruota fresante (o microtun-

Posati a Castelnuovo del Garda 1500 m di condotta fognaria con la tecnica del microtunnelling. Questa tecnica di posa consente la realizzazione di un'opera altrimenti impossibile



1. Testa fresante
2. Motore idraulico testa fresante
3. Cilindri di guida
4. Camera di evaquazione
5. Tubo alimentazione acqua
6. Tubo smarino
7. Pompa alimentazione acqua
8. Pompa smarino
9. Cilindri di spinta principali
10. Cilindri stazione di spinta intermedia
11. Muro di spinta
12. Laser
13. Bersaglio laser
14. Vasca di decantazione
15. Centralina oleodinamica
16. Centrale di guida e controllo
17. Tubo gres
18. Anello di tenuta

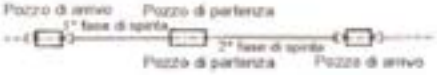
Fabrizio Zanetti - ingegnere in Verona

testa per argilla

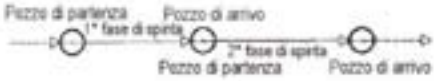
testa per roccia

testa per sabbie e ghiaie

neller) che è spinta nel terreno mediante la stessa tubazione che si vuole posare.
Individuata la profondità di posa di una condotta in modo da non creare interferenze con le condutture poste nel sottosuolo, si predispongono due pozzi, uno di partenza ed uno di arrivo.
Le dimensioni dei pozzi sono legate essenzialmente allo spazio di lavoro necessario durante le perforazioni: si usano preferibilmente prefabbricati di c.a. scatolari di dimensioni interne 4x2 m per i pozzi di spinta e 3x2 m per i pozzi di ricevimento della fresa. Frequente è anche l'uso di pozzi a sezione circolare di diametro 2,50 m.
La testa fresante è inizialmente messa all'interno del pozzo di partenza dove è spinta nel terreno e, tramite la condotta, raggiunge il pozzo di arrivo. Generalmente i pozzi di partenza e di arrivo si alternano e l'avanzamento avviene secondo lo schema seguente; terminata la prima operazione di spinta, si ruota il carrello di spinta di 180° e si esegue la seconda spinta:



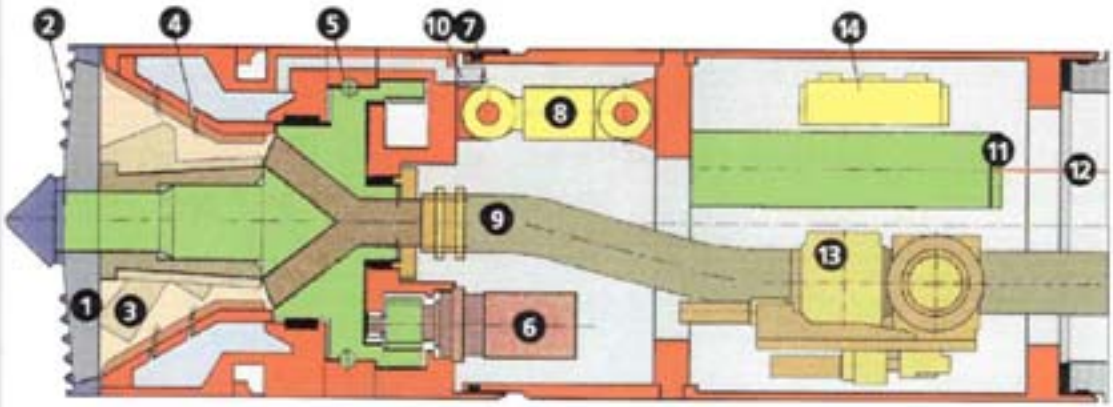
Quando ciò non sia possibile, si opera secondo lo schema seguente (più costoso); terminata la prima operazione di spinta, si sposta l'attrezzatura per il microtunnelling nel primo pozzo d'arrivo dove si esegue la seconda operazione di spinta, e così via:



La perforazione del tunnel avviene tramite una fresa telecomandata, detta comunemente microtunneller, mossa da un telaio di spinta, tramite la tubazione; la perforazione è del tipo a foro cieco con evacuazione idraulica dello smarino.
L'equipaggiamento standard, che viene di seguito descritto, prevede i seguenti componenti:
- testa fresante (microtunneller);
- sistema di evacuazione del materiale;
- sistema di spinta della condotta;
- sistema di guida.

Il ***microtunneller*** è uno scudo telecomandato munito di una fresa rotante che disgrega il materiale durante l'avanzamento.
La testa fresante permette l'ingresso dentro la camera di miscelazione del materiale frantumato anche di grande dimensione, la quale si restringe a cono ed ha le pareti munite di dentature convergenti; con l'avanzare della macchina il materiale scavato è sospinto sul fondo del cono e le parti solide tendono ad incastrarsi fra i denti che nella rotazione le sminuzzano a dimensioni tali da poter essere poi allontanate tramite un circuito chiuso a circolazione d'acqua o acqua e bentonite.
La tecnologia consente una notevole versatilità, potendo affrontare l'intera gamma di terreni, da quelli sciolti a quelli lapidei (sMAX=100 N/mm²), sia in falda sia fuori falda.
La testa fresante impiegata sarà scelta in funzione del tipo di terreno da attraversare (vedi figura sopra riportata).

La stabilità del fronte di perforazione è garantita in ogni istante sia dalla testa fresante, che è mantenuta costantemente a contatto con il terreno tramite la tubazione, sia mediante il bilanciamento della pressione idraulica sul fronte di scavo tramite la regolazione della portata dei circuiti di alimentazione e di smarino.
Nella tecnica del microtunnelling la microfresa ha lo stesso diametro esterno delle tubazioni che si prevede di posare.



Il sistema di evacuazione del materiale è un circuito idraulico composto da:
- serbatoio dell'acqua pulita;
- serbatoio dei fanghi;
- pompe di mandata dell'acqua e di evacuazione dei fanghi;

L'acqua pulita è pompata dal serbatoio al cono di frantumazione dove si mescola con il terreno disgregato per formare una miscela fluida (slurry) che è pompata in un container aperto; qui, il materiale è separato dall'acqua mediante semplice decantazione o tramite l'utilizzo di un'unità di dissabbiatura.
Il bilanciamento delle pressioni interstiziali del terreno in prossimità del fronte di perforazione è garantito tramite la regolazione della pressione del fluido in circolazione agendo sulle pompe a portata variabile di alimentazione e di ritorno.

Il sistema di spinta della condotta avviene a mezzo di un carrello e tramite i tubi costituenti la condotta definitiva. L'unità di spinta è composta da martinetti idraulici montati su un telaio metallico, da un anello di spinta mobile messo davanti ai martinetti idraulici e da un elemento di contrasto posto dietro ai martinetti.
La forza necessaria all'avanzamento

della tubazione deve soddisfare la seguente relazione:
dove:

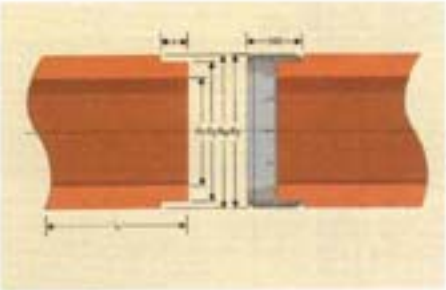
$$V_p > V_a$$
$$V_a > S + R$$

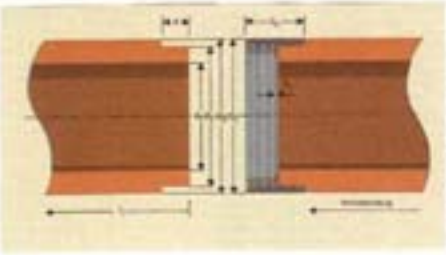
V_p = spinta pistoni,
V_a = forza d'avanzamento,
S = resistenza alla punta (si determina con formule empiriche ed è funzione del numero di colpi della prova SPT, Standard Penetration Test e dalla superficie della testa rotante; per le lunghezze di condotta usuali, questo contributo risulta trascurabile rispetto alla resistenza laterale);
R = resistenza laterale;
τ_a = attrito specifico tubo/terreno (funzione della pressione media ortogonale alla condotta sort, del coefficiente di attrito f_a dell'adesione unitaria cu e delle fasi di spinta),
D = diametro tubo;
Ls= lunghezza di spinta.

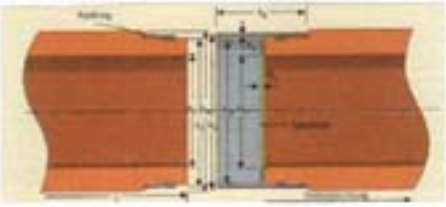
Per lunghezze di spinta maggiori di 80 m circa, la spinta esercitata dai martinetti idraulici sulla tubazione, può risultare insufficiente a vincere le forze di attrito laterale e di punta; per non dovere sovradimensionare eccessivamente l'unità di spinta e per contenere le sollecitazioni presenti nella condotta, si agisce riducendo il valore della forza di avanzamento V_a. Questo è possibile con:
- la riduzione del coefficiente di attrito (fa) che è possibile ottenere lubrificando l'interfaccia tubo terreno con pompaggio di miscela acqua e bentonite;
- la riduzione della lunghezza di spinta (Ls) che è possibile ottenere inserendo una stazione di spinta intermedia tra due elementi di tubazione al fine di dividere la sezione del tunnel in sezioni minori; durante l'avanzamento, la stazione di spinta intermedia è azionata alternativamente alla stazione di spinta principale posta nel pozzo di partenza.

Pertanto le tubazioni devono essere in grado di resistere alla forza di spinta assiale applicata durante la messa in opera, al carico del terreno di ricoprimento, al carico idrostatico e ad eventuali carichi esterni applicati in superficie.
Devono essere provviste di un giunto speciale. Infatti, la connessione tra i tubi deve essere contenuta dentro lo spessore del tubo e deve essere in grado di assorbire la forza longitudinale di spinta e la forza trasversale risultante dai movimenti di guida; il giunto deve essere inoltre in grado di garantire la tenuta idraulica dall'esterno verso l'interno e viceversa.

Le tubazioni ottimali sono in gres ceramico, conformi alle norme UNI EN 295; esse presentano necessariamente una elevata resistenza assiale. I giunti sono in spessore, in acciaio inox al molibdeno, con anelli di tenuta sagomati in materiale elastomerico; sono incorporati nelle due estremità tornite del tubo e garantiscono la perfetta tenuta idraulica.
I singoli elementi, lunghi 2 m (eventualmente 1 m), sono infissi senza vibrazioni e senza arrecare alcun disturbo in superficie; la perforazione avviene a sezione piena con sostentamento meccanico o idraulico del fronte di scavo, evitando la decompressione del terreno e quindi eventuali cedimenti.







Il sistema di guida consente di controllare la traiettoria del microtunneller dall'esterno mediante una consolle di comando, ubicata in un container, che permette di controllare e variare i parametri d'avanzamento in funzione della reazione del terreno attraversato.
Nella consolle di guida e controllo è possibile controllare in continuo e variare i seguenti parametri:
- coordinate X-Y della testa fresante;
- inclinazione longitudinale;
- angolo di rotazione;
- corsa dei pistoni di guida;
- pressione sulla testa fresante;
- pressione dei martinetti di spinta;
- corsa dei martinetti di spinta;
- numero di giri della testa fresante;
- senso di rotazione della testa fresante;
- portata dell'acqua di alimentazione;
- numero di giri della pompa di alimentazione;
- pressione dell'acqua d'alimentazione;
- portata dei fanghi d'evacuazione;
- numero di giri della pompa di evacuazione fanghi;
- pressione dei fanghi di evacuazione.

La posizione del microtunneller e gli altri dati sono controllati tramite una sorgente laser posizionata nel pozzo di partenza; il raggio laser colpisce una mira fotosensibile solidale alla testa fresante; le informazioni sono quindi trasmesse al computer che è in grado di determinare l'esatta posizione del microtunneller e le eventuali correzioni. Durante la perforazione i dati sono memorizzati sul disco fisso del computer e possono essere successivamente stampati.
Le correzioni plano-altimetriche nel corso della perforazione avvengono tramite tre martinetti idraulici, agenti singolarmente sulla testa fresante.
In questo modo è possibile ottenere tolleranze di 2-3 cm su distanze di perforazione di 100 m.
L'operatore, oltre che alla registrazione istantanea dei dati di spinta sul computer di comando, provvede alla compilazione manuale di un rapporto di spinta per ogni tubazione messa in opera.
Dato il contenuto errore di posa della condotta, all'occorrenza è anche possibile effettuare allacciamenti diretti al collettore.

I vantaggi del microtunnelling

Lo scavo a sezione piena, con sostentamento meccanico ed idraulico del fronte di scavo, il controllo continuo con sistema di puntamento laser per la verifica della direzione ed il controllo simultaneo eseguito dallo stesso operatore dei parametri di perforazione e di avanzamento, rendono il sistema particolarmente idoneo nelle aree urbane e negli attraversamenti fluviali, ferroviari e stradali, perché garantisce un'esecuzione sicura e precisa in ogni condizione, con minimi interventi di ripristino.

Rispetto alla posa con trincea aperta, si indicano di seguito i vantaggi conseguibili:
- la costruzione di microgallerie garantisce un rendimento qualitativo di alto valore, infatti i tubi presentano tolleranze estremamente basse, i materiali sono particolarmente sicuri e durevoli dal momento che devono affrontare le specifiche esigenze ed i carichi dettati dalla spinta;
- la costruzione di microgallerie offre nuove soluzioni per la pianificazione dei bacini di raccolta. Nella posa tradizionale a grandi profondità corrispondono grandi oneri di scavo e smaltimento dei materiali di risulta (si pensi alla difficoltà di reperire aree di accumulo provvisorio nelle aree urbane), di protezione delle trincee, di posa in sicurezza, di rinterro spesso con materiale sostitutivo, di compattazione e ripristino delle pavimentazioni. Tutto questo crea notevoli disagi per la comunità. Con il microtunnelling invece i costi sono relativamente indipendenti dalla profondità, con l'unica eccezione riguardante i costi di scavo e posa dei pozzetti;
- la pianificazione generale risulta meno influenzata dalle condizioni topografiche locali; possono essere progettate canalizzazioni a maggiore profondità eliminando così le stazioni di pompaggio (e quindi i relativi costi di costruzione e di gestione). Si riduce inoltre il pericolo di danneggiamento di altri sottoservizi lungo la linea di posa;
- la costruzione con il microtunnelling presenta anche vantaggi dal punto di vista dell'economicità, della sicurezza e dell'ecologia; infatti è possibile eliminare gli impianti di prosciugamento o limitare il pompaggio alla zona dei pozzi di spinta e di arrivo, ridurre i fattori di rischio e quindi gli incidenti sul lavoro;
- solo con il microtunnelling è possibile eseguire contemporaneamente lavori di costruzione in tutti i tratti stradali di un bacino idrografico, poiché possono essere garantiti sempre sufficienti accessi per i residenti e per i

Vista della consolle di comando e di guida.

veicoli di soccorso;
- i cantieri per la posa senza scavo sono "puntuali" e non si sviluppano, come nel caso a trincea aperta, lungo l'intera linea della condotta; questo comporta vantaggi sostanziali anche dal punto di vista ecologico quali: riduzione dell'inquinamento da emissioni, contenuta limitazione del traffico e attenzione per gli alberi e le zone verdi che possono essere attraversate sotto terra senza danni. Riducendo al minimo le aperture della strada ed i successivi ripristini, minime sono anche le conseguenze sul traffico veicolare ed il pericolo di incidenti. I lavori, risultano anche poco rumorosi;
- tutti i sistemi di costruzione con microtunnelling, contraddistinti da un elevato grado di meccanizzazione, sono concepiti in modo da richiedere poca assistenza (sono sufficienti 3 o 4 operai). Le dimensioni del cantiere e del suo equipaggiamento sono ridotte e le apparecchiature possono essere installate in pozzetti di spinta relativamente piccoli. Il tipo di posa compatto consente di sistemare le macchine in container d'acciaio adatti al cantiere. Il tipo di costruzione con container non solo ottimizza l'ingombro in pianta, ma consente di lavorare indipendentemente dai fenomeni atmosferici.

Confronti economici

Se si analizzano i costi nella posa con trincea aperta, le voci più significative sono rappresentate:
- dalla rottura della pavimentazione stradale;
- dallo scavo del terreno, nel rispetto di eventuali sottoservizi presenti (eventualmente dalla loro protezione o deviazione);
- dalla realizzazione delle protezioni delle pareti di scavo;
- dalla posa delle condotte;
- dalla (frequente) sostituzione del terreno di rinterro;
- dal rinterro con costipamento;
- dalla rimozione dei dispositivi di protezione degli scavi;
- dalla ricostruzione della pavimentazione stradale.

Con l'aumento della profondità cresce la percentuale del costo delle trincee e diminuisce l'incidenza della pavimentazione stradale. Il costo della posa di tubazioni e pozzetti riveste un ruolo secondario.
Nel caso di realizzazione senza scavo, sono predominanti i costi di:
- posa a spinta dei tubi;
- realizzazione dei pozzi;
- con scarsa dipendenza dai diametri, dalle profondità, dalle pavimentazioni di superficie, dagli attraversamenti di corsi d'acqua o vie di comunicazione, dalla quota di falda.

Si tratta quindi di individuare la profondità limite rispetto alla quale risulta più conveniente una tecnica di posa piuttosto che l'altra. Essa dipende da molti fattori, che fanno tutti propendere verso il microtunnelling:
- se debbano essere sostenute le pareti dello scavo;
- se siano necessari impianti per l'asporto dell'acqua di falda;
- se sia necessaria la sostituzione del terreno di riempimento;
- se siano richiesti provvedimenti preventivi per la sicurezza di fabbricati, tubazioni o altro, in prossimità della scarpata di scavi aperti;
- se sia necessario scavare i pozzetti manualmente;
- se si debba deviare il traffico, installare impianti di segnalazione ottica, ecc.

In mancanza di tali situazioni penalizzanti, può indicativamente indicarsi nella profondità facilmente raggiungibile dal braccio dell'escavatore (circa 3,50 m) il limite di convenienza tra le due tecniche.
È intuitivo che in taluni casi (pavimentazioni stradali particolarmente pregiate, attraversamenti di corsi d'acqua, di strade importanti o di ferrovie, ...) il microtunnelling risulta comunque più economico; tanto più se venissero considerati i "costi sociali indiretti" cui si è accennato in precedenza.

Il progetto

Il Comune di Castelnuovo del Garda, 9000 abitanti su una superficie di 34,5 km², è socio dell'Azienda Gardesana Servizi (AGS) che è il consorzio dei dodici Comuni della riviera veronese del Garda le cui reti fognarie fanno capo all'unico depuratore di Peschiera del Garda. Allo stesso depuratore confluiscono le reti dell'omologa azienda dei comuni bresciani, il Consorzio Garda Uno.
Gli abitanti del territorio comunale di Castelnuovo del Garda sono principalmente concentrati in sei località: il capoluogo (Castelnuovo), Cavalcaselle, Sandrà, Oliosi, Camalavicina, Ronchi.
La rete fognaria comunale è stata realizzata, fino agli anni '80 e per espressa disposizione regionale, del tipo ad acque miste; successivamente, nella maggior parte dei casi, si sono distinte le canalizzazioni delle acque nere da quelle bianche. Oggi essa è costituita per il 39% (26 km) da condotte di acque nere, per il 25% (16 km) da condotte di acque bianche e per il restante 36% (23 km) da condotte di acque miste.
Le reti di Castelnuovo e Sandrà confluiscono al depuratore di Castelnuovo; quella di Cavalcaselle è invece collegata al collettore consortile AGS in località Mandella di Peschiera. La frazione Oliosi è dotata di un proprio piccolo depuratore; l'altra frazione, Camalavicina, è stata recentemente collegata, con un impianto di sollevamento, al collettore AGS in comune di Valeggio attraverso la strada della Scarpina. L'abitato di Ronchi, infine, scarica direttamente al vicino collettore AGS.
La rete più vecchia fu realizzata negli anni '60 a servizio dei centri di Sandrà, Castelnuovo e Cavalcaselle. Allo scopo vennero utilizzate tubazioni di calcestruzzo del tipo senza bicchiere, con giunti maschio-femmina, stuccati con malta cementizia. A distanza di 40 anni le stuccature sono ormai degradate e consentono abbondanti immissioni di acqua di falda; è il caso soprattutto di Sandrà, ove la natura argillosa del terreno comporta la presenza della falda alla quota della rete fognaria.
Nel periodo da settembre 1982 a maggio 1985 è stato realizzato il collegamento della rete di Cavalcaselle con il collettore consortile AGS (allora gestito dal Consorzio della Riviera Veronese del Garda). Si sono utilizzate condotte di calcestruzzo con giunto a bicchiere e guarnizione di gomma, nei diametri di 50 e 60 cm.
Successivamente si sono utilizzati prevalentemente tubazioni in PVC tipo 303/1 per le fognature nere e bianche, quest'ultime realizzate anche con elementi in calcestruzzo tipo giunto a bicchiere e base piana.
Il Comune di Castelnuovo del Garda ha fatto predisporre un progetto di riassetto e potenziamento del sistema fognario in modo da far confluire ad un impianto di sollevamento, posto a sud della Ferrovia, la rete di Castelnuovo-Sandrà e parte di quella di Cavalcaselle, oltre che le nuove aree di urbanizzazione previste dal PRG comunale; l'impianto, rilancia in una condotta in pressione, alla località Zuccotti e quindi, a caduta, al pozzetto in Camalavicina dal quale parte il collegamento (esistente) con il collettore AGS.
A tale tracciato si è giunti dopo aver preliminarmente valutato una serie di interventi con tecniche tradizionali: condotte posate a piccola profondità (anche per la presenza superficiale della falda) ed impianti di sollevamento lungo il tracciato principale. Data l'orografia del territorio, si sarebbero dovuti però realizzare nuovi sollevamenti. È subito emerso che spingendo le condotte a maggior profondità si sarebbero

evitati i nuovi impianti e se ne sarebbero potuti eliminare almeno altri tre presenti lungo il tracciato. Approfondita questa ipotesi, accertatane la fattibilità, si è verificato che la posa tradizionale, a trincea aperta, non sarebbe stata neppure possibile in alcuni tratti.
L'intervento scelto prevede la costruzione di un unico impianto di sollevamento finale, la sua dotazione elettromeccanica e la posa di condotta di gres mediante la tecnica del microtunnelling a partire dall'attuale sollevamento di via Solferino, che sarà eliminato.
Oltre a collegare le nuove aree di urbanizzazione, ad intervento completato sarà possibile all'occorrenza sia sgravare il depuratore di Castelnuovo di gran parte dei reflui che oggi vi confluiscono, sia razionalizzare la rete fognaria di Castelnuovo sud, oggi problematica nelle vie Montini, Alberetti e zone limitrofe. Analogamente si potranno risolvere i problemi fognari di Cavalcaselle che gravitano su via Mantovana.
Il tracciato del collettore, che si sviluppa per una lunghezza di circa 1500 m, interessa esclusivamente strade od aree pubbliche. L'opera risulta oggi in corso di avanzata realizzazione.

Indagine geofisica

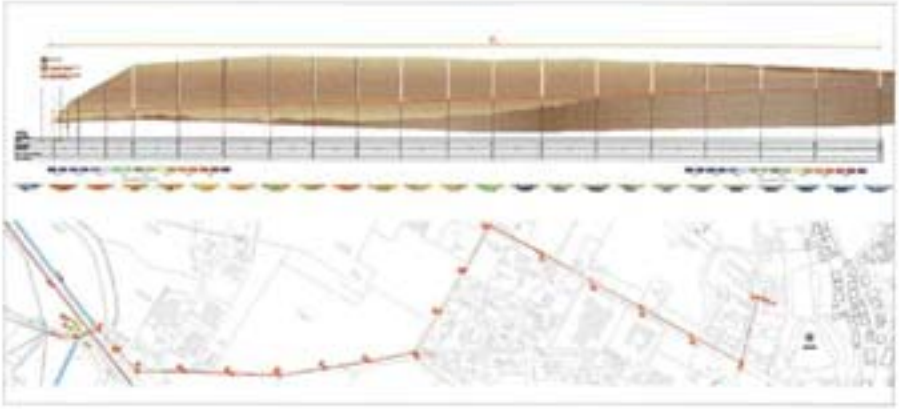
La progettazione esecutiva è stata preceduta da un'indagine geofisica integrata del sottosuolo. L'interpretazione dei sondaggi geognostici, integrata con i dati ottenuti dalle prospezioni geoelettriche, ha permesso di ricostruire in maniera verosimile il profilo litostratigrafico del suolo indagato.

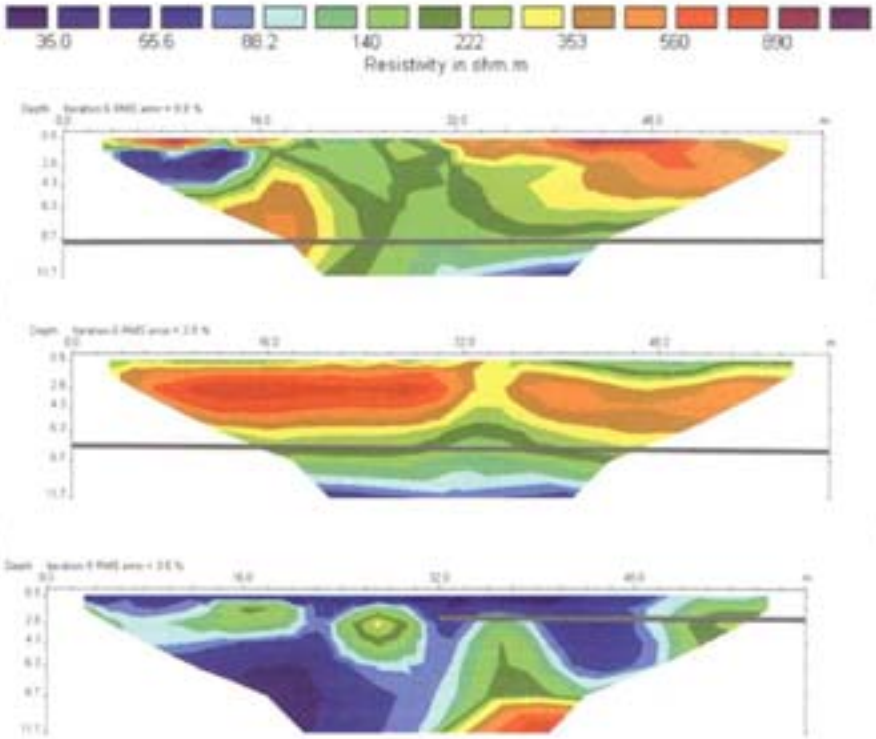
L'esito dell'indagine ha influenzato la progettazione esecutiva nel senso che:
- sono state ridotte le lunghezze di quelle tratte interessanti il sottosuolo maggiormente addensato, introducendo ulteriori pozzi;
- l'attraversamento ferroviario è stato leggermente traslato, sotto l'alveo del Rio Bisavola, per evitare la probabile fondazione della linea ferroviaria;
- si è scelto il sistema d'avanzamento di tipo idraulico, prevedendo di dover operare sotto falda e di incontrare terreni sciolti, senza grossi trovanti.

La realizzazione

Come detto, l'opera non era realizzabile con le tecniche tradizionali (posa in trincea aperta), date le profondità utili necessarie (fino a 9 m), al fine di:
- eliminare gli impianti di sollevamento di via Solferino, via Montini e via Ferrari, oltre che evitarne altri che si sarebbero resi necessari per servire nuove aree di urbanizzazione;
- garantire lo smaltimento delle acque nere prodotte da una parte della popolazione comunale, circa 8.000 abitanti equivalenti;
- intercettare il collettore attualmente diretto al depuratore di Castelnuovo;
- razionalizzare le reti fognarie di Castelnuovo-sud e di Cavalcaselle;
- raccogliere le future urbanizzazioni;
- posare le condotte in presenza di acqua di falda alla profondità di 2 m;
- sottopassare un torrente (Rio Bisavola) e la linea ferroviaria Milano-Venezia;
- costeggiare per un lungo tratto la S.S. 11, di grande traffico.

Si è quindi resa necessaria la valutazione della posa mediante microtunnelling che consiste, come detto, nella posa a spinta delle tubazioni in gres (verniciate internamente ed esternamente) tra due pozzi chiamati di spinta e d'arrivo, all'interno di una microgalleria realizzata da una particolare testa d'avanzamento a ruota fresante che disgrega il materiale durante l'avanzamento.
Le profondità di posa sono comprese tra –3 m e –9 m dal piano campagna.
La tipologia di fresa utilizzata (testa da roccia, più lenta di quella per sabbie e ghiaie ma più sicura, potendo frantu-





mare inerti di qualunque dimensione), tenendo conto che quest'ultima non può indietreggiare, ha consentito di:

- superare con successo il variegato orizzonte geologico del terreno in loco, caratterizzato da bruschi passaggi da argilla e/o sabbia a strati di ghiaia molto consolidati, grossi ciottoli e trovanti di dimensioni anche superiori al diametro della fresa;
- ottenere ottimi risultati di precisione a livello di quote e pendenze costanti di posa (errori di pochi millimetri di quota di arrivo su tratte di 100 m).

I limitati ingombri di cantiere e il loro posizionamento sulle banchine delle sedi stradali hanno consentito di:

- creare il minimo disturbo alla viabilità in entrambi i sensi di marcia, in particolare sulla S.S. 11 che, neppure nei mesi estivi di maggior traffico per l'affluenza turistica, non è mai stata interrotta;
- operare in condizioni ottimali di sicurezza, sia all'interno del cantiere che esternamente;
- evitare onerosi spostamenti di sottoservizi per il posizionamento dei pozzi, la cui posizione è stata definita puntualmente dopo accurate indagini e saggi in loco.

Sono due le attività che determinano i tempi di realizzazione: la formazione dei pozzi e la realizzazione delle condotte. Il primo mese è stato dedicato alla formazione dei primi pozzi, quindi le due attività hanno proceduto in parallelo. Complessivamente il tempo contrattuale è stato di circa un anno.

La produzione media giornaliera di posa è stata di circa 12 m, con punte di 18 m in giornate nelle quali si sono attraversati terreni argilloso/sabbiosi. In fase di spinta la condotta avanza di circa 3 cm al minuto.

Tipo di condotta

La tubazione ritenuta più idonea è stata quella di gres, dato che il sottosuolo di Castelnuovo è noto per il rapido deterioramento delle condotte metalliche per fenomeni elettrici (correnti vaganti).

Il tubo di gres, maggiorato nello spessore rispetto al tipo utilizzato per le condotte tradizionali, presenta indifferenza rispetto ai fenomeni elettrici ed elevata resistenza chimica ed all'abrasione, adattabilità agli assestamenti del terreno di posa, tenuta idraulica affidabile, velocità di autopulizia. Ciò sostanzialmente allunga la vita dell'opera e quindi ne riduce i costi di ammortamento e reintegrazione.

La condotta di gres di diametro 400 mm è in grado di smaltire, con la pendenza di progetto (circa lo 0,3%), una portata (con grado di riempimento del 50%) di oltre 60 l/s, corrispondenti alle acque nere di una popolazione di circa 20.000 abitanti equivalenti.

La condotta sarà, quindi, in grado di accogliere quanto proviene da tutto il territorio comunale, tenuto anche conto che non sarà possibile separare completamente alcuni apporti di acque bianche (di falda e meteoriche).

Del resto, ponendo in opera una condotta di diametro 300 mm non si sarebbero conseguiti significativi risparmi economici (solo il minor costo della condotta).

Condotta prevista:

diametro interno ..... O_{int} = 400 mm
diametro esterno ..... O_{est} = 560 mm
spessore della parete ..... s = 80 mm
lunghezza dell'elemento ..... L = 2,00 m

Tipo di materiale: gres ceramico

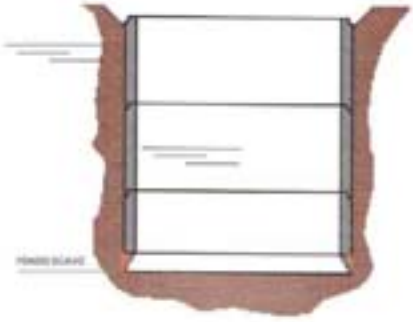
peso specifico ..... γ = 22 kN/m^3
modulo di elasticità ..... E = 50.000 N/mm^2
Carico di rottura a flessione
= 18 ÷ 40 N/mm^2 σ_{BZ} = 15 N/mm^2
Carico di rottura a compressione
= 150 N/mm^2 σ_{rpp} = 100 N/mm^2
Carico di rottura a trazione
= 16 ÷ 20 N/mm^2 σ_{rpp} = 6,65 N/mm^2
Coefficiente di dilatazione termica = 5x10^{-6} K^{-1}

Fasi di realizzazione dei pozzi

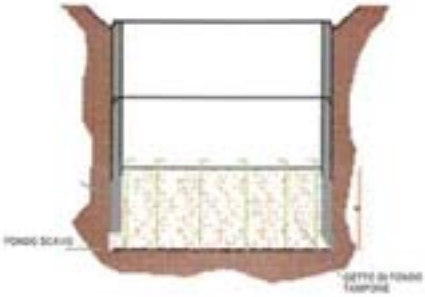
Le dimensioni dei pozzi sono state determinate dallo spazio di lavoro necessario durante le perforazioni: si sono impiegati elementi prefabbricati di c.a. scatolari di dimensioni interne 4x2 m per i pozzi di spinta e 3x2 m per i pozzi di ricevimento della fresa.
Data la profondità di posa e la quota di falda riscontrabile a 2 m dal piano campagna, i pozzi sono stati eseguiti con la tecnica dell'autoaffondamento, senza abbassamento del livello di falda.
Lungo il tracciato di lunghezza 1500 m sono stati previsti 18 pozzi, metà di spinta e metà d'arrivo, con profondità fino a 12 m, compresa la zavorra. Le distanze fra due pozzi sono comprese fra 50 e 120 m.

Prima fase
È stato eseguito uno scavo fino a 1,60 m dal piano campagna; quindi si è posato il primo elemento, dotato di tagliente alla base. Per alcuni pozzi è stato necessario realizzare un cordolo centratore superficiale con la funzione di guida durante l'affondamento degli elementi.
Si è scavato all'interno dei pozzi e quindi sono stati aggiunti i successivi elementi prefabbricati.

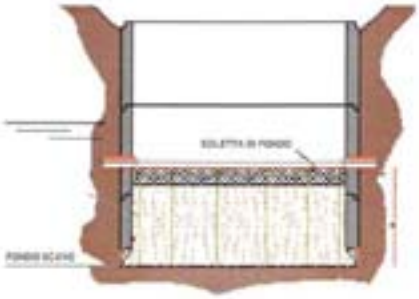
Seconda fase
Durante l'affondamento dei pozzi è stato necessario monitorare costantemente il livello della falda per controllare che non si presentassero significativi dislivelli fra l'acqua all'interno del pozzo e la falda all'esterno.
Le giunzioni degli elementi sono state sigillate al fine di evitare infiltrazioni d'acqua dalle pareti.
Gli scavi sono stati eseguiti in presenza d'acqua prestando particolare attenzione ai fenomeni di sifonamento.



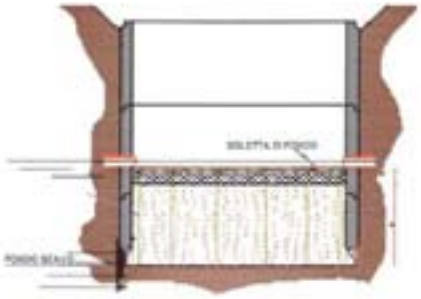
Terza fase
La quota di fondo scavo è stata determinata tenendo conto della zavorra (tappo di fondo) e della soprastante soletta. Il getto del tappo ha la funzione di contrastare la sottospinta idraulica ed evitare il galleggiamento.
È stato dimensionato in modo da garantire un coefficiente di sicurezza $g = P/S > 1,1$ (la situazione più sfavorevole, con P minimo, si ha durante la fase di spinta, in mancanza della soletta superiore), essendo P il peso del getto e della soletta di fondo (si trascura l'attrito laterale) ed S la sottospinta idraulica.



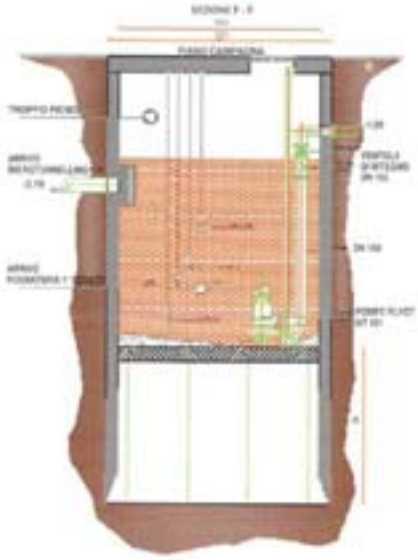
Quarta fase
Ultimato il getto del tappo di fondo, eseguito in presenza di acqua, il pozzo è stato prosciugato; quindi si è proceduto al getto della soletta, ancorata alle pareti del pozzo con connettori.

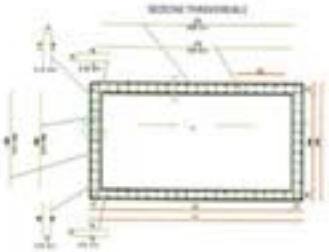


Quinta fase
Si è quindi installata l'attrezzatura di spinta, eseguiti i blocchi provvisori di contrasto e posizionato il puntatore laser per il controllo della traiettoria.
Il contrasto necessario all'avanzamento della condotta viene assicurato dalla resistenza passiva del terreno contro le pareti del pozzo di spinta; con gli usuali terreni, tale resistenza è assicurata.



Sesta fase
Chiusura del pozzo con predisposizione del passo d'uomo per ispezioni ed interventi di manutenzione.





La stazione di sollevamento

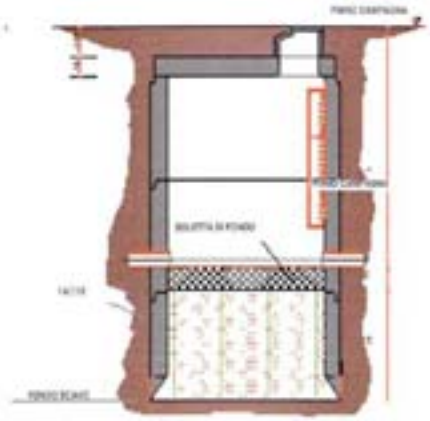
Il progetto prevede anche la realizzazione di una stazione di sollevamento a valle.
All'interno del manufatto sono previste due elettropompe sommergibili con giranti non intasabili aperte bicanale, adatte per il sollevamento di acque e fanghi di ogni tipo (provenienti da scarichi civili, industriali, domestici ed agricoli, acque di processo, piovane e di raffreddamento), con doppia tenuta meccanica (una interna ed una esterna) ed interposizione di un serbatoio d'olio tra la girante ed il motore. Le pompe hanno le seguenti caratteristiche:
- portata: 47,0 l/sec,
- prevalenza: 22,87 m di colonna d'acqua,
- potenza nominale del motore: 18,5 kW,

- diametro della mandata: DN 150 mm;
- alimentazione elettrica: 400 V, trifase.

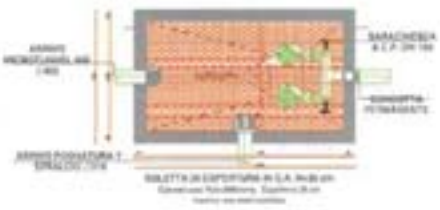
Ogni elettropompa è completa di:
- tubi guida DN 80 in acciaio (per estrazione pompa);
- catena in acciaio zincato a caldo;
- piede di accoppiamento al tubo di mandata.

Viene previsto, oltre al combinatore telefonico omologato PP.TT. per chiamate di allarme, anche un gruppo elettrogeno di emergenza da 60 kVA in grado di assorbire lo spunto di una elettropompa, costituito da motore diesel a 4 tempi ad iniezione diretta con 6 cilindri e raffreddamento ad acqua con radiatore. Il gruppo, unitamente al quadro elettrico, viene predisposto in un locale di dimensioni 5,60x2,30 m alto 2,80 m.

Attraversamento ferroviario



La condotta, posata sempre con la tecnica del microtunnelling, attraversa la linea ferroviaria Milano-Venezia in corrispondenza di un manufatto già esistente, sotto l'alveo del Rio Bisavola.
Nelle reti fognarie gli attraversamenti ferroviari (o stradali) trovano impedimento nella realizzazione a causa della estrema difficoltà che si incontra nell'interrompere il servizio ferroviario, dovendo generalmente eseguire gli



scavi a cielo aperto. L'introduzione nel terreno di condotte posate con tecniche "no-dig" (senza scavo) può risolvere il problema.
Anche se questa tecnologia elimina le interferenze con la superficie del terreno durante la posa, essa non elimina i problemi statici connessi alla condotta interrata.
Per tale motivo, nella realizzazione di attraversamenti con sistemi no-dig, per resistere alle sollecitazioni a cui il manufatto viene sottoposto spesso si ricorre all'impiego di condotte in acciaio o in calcestruzzo armato.
Però, soprattutto nel caso degli attraversamenti ferroviari, sussiste l'ulteriore problema della corrosione del metallo a causa delle correnti vaganti.
Una risposta efficace viene dall'impiego delle condotte in gres ceramico posate con la tecnica del microtunnelling: l'elevata precisione di posa consentita dalla perforazione con testa fresante e l'ottima resistenza meccanica e chimica del gres, assicurano un intervento di qualità, affidabile nel tempo.

Sono state esaminate le condizioni statiche della condotta in gres nell'attraversamento ferroviario eseguendo le verifiche delle tubazioni secondo i modelli di calcolo riportati:
- nel D.M. LL.PP. 23/02/1971 n. 2445;
- nella norma ATV 125 adottata dalle Ferrovie Tedesche.

La tenuta, assicurata da un manicotto alloggiato in nicchia ricavata per tornitura, è controllata e verificata durante la posa, dato che i detriti di perforazione sono evacuati a mezzo di un circuito chiuso che non potrebbe funzionare in presenza di perdite.

Dai calcoli eseguiti si evidenzia che, sia riferendo le verifiche alla normativa italiana (anche nell'ulteriore ipotesi cautelativa di trascurare il contributo alla resistenza dato dalle spinte laterali del terreno) sia a quella tedesca, le tensioni massime a cui vengono sottoposte le condotte sono sempre ampiamente inferiori (e ciò giustifica il metodo semplificato adottato) alla tensione ammissibile a flessione riportata in precedenza (15 N/mm²), com'è riassunto di seguito (ove si indicano con s+ la massima tensione di compressione e s- la massima tensione di trazione):
Per i diametri considerati, già oltre qualche metro di profondità non si risente del carico mobile soprastante. ■

Incidenze

Importo complessivo dei lavori (compresa IVA)	1.678.000 €	
Importo dei lavori in appalto	1.107.000 €	
Costo unitario	750 €/m	
Costo dell'indagine geofisica	1,2%	
Costo dei lavori:		
- pozzi di spinta	17.500 €/cad	14%
- pozzi di arrivo	11.000 €/cad	9%
- impianto di sollevamento	85.000 €	8%
- condotte (comprese rotazioni e spostamenti delle attrezzature di spinta)	500 €/m	67%
- altri costi	19.000 €	2%

	Verifiche secondo D.M. LL.PP. 23/02/1971				Verifiche secondo ATV 125	
Sezione	Considerando le spinte laterali del terreno		Senza considerare le spinte laterali del terreno		Considerando le spinte laterali del terreno	
s+ [N/mm²]	s- [N/mm²]	s+ [N/mm²]	s- [N/mm²]	s+ [N/mm²]	s- [N/mm²]	
Chiave (0°)	1,172	-0,500	2,493	-2,567	1,798	-2,149
Spalla (90°)	1,387	-0,391	3,095	-2,099	1,692	-2,799
Appoggio (180°)	1,765	-0,619	3,121	-2,726	1,799	-2,169