La costruzione di microtunnel o posa a spinta di tubazioni: un'alternativa ecologica ed economica per la realizzazione di condotte fognarie.

• ***Fotografia n. 1*** *- Microtunnelling sotto antichi alberi.*

Introduzione

Gli sviluppi avuti nell'arco degli ultimi decenni riguardanti i procedimenti per la costruzione di fognature sono avvenuti in modo relativamente lento. In generale, si sono limitati alla meccanizzazione dell'attività di cantiere, in particolare hanno riguardato la fase dello scavo. Nella realizzazione di canali praticabili sono stati raggiunti vantaggi economici di un certo rilievo soltanto dopo che si sono resi possibili sistemi di costruzione a tunnel. Tutto questo è stato possibile grazie a tubazioni ed elementi di giunzione di elevata qualità, efficienti sistemi di avanzamento, tecniche di misura e controllo affidabili. In particolare dove si rendono necessari collettori di grande profondità al di sotto del livello della falda è possibile attuare, con la cosidetta "costruzione chiusa", sensibili risparmi rispetto alla costruzione di canali in trincea aperta. L'avanzamento a spinta con tubi o scudi è oggi all'ordine del giorno.
Sono altrettanto possibili progetti di realizzazione che prevedono lunghezze di avanzamento anche superiori a 1000 m, la risalita di pendenza, curve lungo il percorso, ecc..
In questi lavori le diverse condizioni geologiche non sono mai fonte di difficoltà, oggi è possibile avanzare attraverso ogni tipo di roccia, porosa o solida, naturalmente anche attraverso la falda freatica.
Le reti pubbliche di fognatura, tuttavia, sono prevalentemente costruite in sezioni non praticabili. A Berlino, per esempio, oltre l'88% dei canali hanno diametro nominale ≤ 800 mm (Tab. 1).

Data la notevole prevalenza di sezioni non percorribili per i diametri nominali medi e in particolare per quelli piccoli, esisteva un crescente interesse per le tecniche di costruzione senza scavo. Fino a quando non si sono resi disponibili sistemi di avanzamento adatti, nei progetti di fognature dal diametro nominale 500 a 900 mm ed a grande profondità, abbiamo cercato di abbassare i costi di costruzione in altri modi, per esempio facendo ricorso a un sistema di costruzione a due gusci. Il metodo consisteva nel far avanzare un tubo di sezione praticabile mediante aria compressa e poi di posare al suo interno un tubo medio più piccolo (1). Per anni questo ha rappresentato una soluzione più economica rispetto alla costruzione di canali in trincee aperte. A lungo termine, tuttavia – ed in particolare per quanto riguarda i diametri ridotti – questo sistema di costruzione non poteva essere soddisfacente, in quanto non era possibile sfruttare la grossa cavità tra le due sezioni di tubo.
Si rendevano quindi necessari processi di costruzione più favorevoli dal punto di vista dei costi. Va tenuto presente che non esiste un metodo universale, generalmente valido per tutti i campi di applicazione: per le riparazioni, le ricostruzioni e per i rinnovamenti. Ad ogni metodo va riservata una determinata "nicchia di applicazione". L'ingegnere progettista dovrà optare per l'una o per l'altra soluzione tenendo conto delle situazioni e dei vincoli locali, dei requisiti funzionali e in base a considerazioni di tipo economico. In modo particolare, sono coinvolti in queste valutazioni sia committenti pubblici che gli studi di ingegneria.
Quando sono stati resi noti i primi risultati, provenienti dal Giappone, relativi all'avanzamento a spinta per tubi di diametro minore (il microtunnelling o costruzione di microgallerie) promossi con l'appoggio della Bundesregierung Forschungsvorhaben di Amburgo, anche i produttori tedeschi hanno preso numerose iniziative. Sono state valutate le possibilità che il mercato offriva e si è avuto un rilevante sviluppo. La costruzione di tunnel per piccole e medie fognature è ormai uscita dalla fase sperimentale e di ricerca. Oggi le macchine di avanzamento tedesche si sono diffuse ovunque, e hanno superato i fabbricanti giapponesi, inizialmente in vantaggio. Nell'utilizzo del microtunnelling Berlino assume una posizione di primo piano.
I sistemi di avanzamento computerizzati e guidati da un laser a estrazione del terreno di scavo, con coclea o idraulica, danno luogo ad un ampio ventaglio di vantaggi e consentono all'utente numerose possibilità d'im-

• ***Fotografia n. 2*** *- Microtunnelling traffico regolare.*

• ***Fotografia n. 3*** *- Tubo in Gres per posa con avanzamento a spinta DN 400 completo di manicotto di tenuta in acciaio.*

piego. In particolare, i sistemi di avanzamento introdotti sul mercato garantiscono l'indispensabile precisione di posa per un futuro funzionamento senza inconvenienti delle fognature e, nel contempo, soddisfano anche le esigenze che si presentano in campo economico. Tra i principali vantaggi vanno ricordati:

- la precisione di posa delle tubazioni;
- il funzionamento di diversi tipi di terreno, anche in presenza di acqua di falda;
- lunghezze di avanzamento sufficienti;
- pozzetti di partenza e arrivo di piccole dimensioni;
- ridotto ingombro delle attrezzature di cantiere;
- poca spesa per la manutenzione e possibilità di impiego anche con il maltempo e d'inverno.

Per l'esecuzione degli allacciamenti domestici, allo scopo di garantire la necessaria precisione di posa, occorre l'uso di macchine manovrabili. Per questo fine sono disponibili diversi sistemi, di concezione semplice e di facile manutenzione (3), (7).
Gli avanzamenti a spinta sono sistemi di costruzione estremamente favorevoli dal punto di vista ecologico.
I vantaggi rispetto alla costruzione convenzionale di condotte si manifestano soprattutto in città. Si possono suddividere in due gruppi:

a) vantaggi il cui valore si può quantificare esattamente e indicare in termini di risparmio rispetto ai sistemi di posa con trincea:

- riduzione delle rotture e dei successivi ripristini alle pavimentazioni stradali;
- riduzione degli interventi/spostamenti su tubazioni/sottoservizi esistenti;
- eliminazione o riduzione del pompaggio delle acque sotterranee.

b) vantaggi, soprattutto in campo sociale, il cui valore è di difficile quantificazione.

- limitazione dei disturbi alla circolazione;
- riduzione dei rumori e delle emissioni;
- riduzione dei pericoli di incidenti;
- eliminazione di eventuali danni a costruzioni vicine;
- eliminazione di tempi di interruzione del cantiere dovuti al maltempo;
- conservazione del patrimonio arboreo (alberi, giardini).

I vantaggi pure importanti dal punto di vista della politica economica elencati sotto b), almeno per il momento,

in Germania non vengono tenuti in considerazione come punti a favore della posa a spinta.
Questo significa che soluzioni di avanzamento che risultassero più convenienti soltanto per i "costi sociali" non verrebbero richieste, in quanto il committente non può mai far valere la differenza di valore non quantificabile. Fino a quando questa situazione non si modificherà, bisognerà cercare di attuare il procedimento di posa a spinta puntando ad un costo più basso, rispetto al sistema di costruzione convenzionale, e quindi ricorrendo soltanto a possibilità di risparmio calcolabili con precisione. Nel caso singolo questo può essere difficile. Come si descriverà in seguito all'esempio "sistema di costruzione berlinese", il committente pubblico ha tuttavia la possibilità di raggiungere questo importante obiettivo per una gran parte dei suoi lavori.
Con i sistemi di posa senza scavo, che hanno un impatto ridotto sull'ambiente, oggi si possono svolgere i seguenti lavori:

- costruzione sotterranea di canali per ampliare reti di fognatura;
- sostituzione di canali attraverso la posa sotterranea di nuove tubazioni in terreni liberi. I sistemi da rinnovare continuano a svolgere le loro normali funzioni fino a quando non saranno allacciate e funzioneranno le condotte di nuova costruzione;
- rinnovamento di condotte mediante l'attraversamento di tubazioni danneggiate (Pipe-Eating). Questa soluzione risponde alla necessità che spesso si presenta di allargare il profilo dei vecchi canali. Le immissioni esistenti devono essere preventivamente staccate e le acque di scarico estratte mediante pompaggio;
- successiva realizzazione sotterranea delle condotte di allacciamento.

A Berlino l'azienda Municipalizzata (Berlin Wasser-Betriebe) è riuscita ad imporre la realizzazione di fognature di piccolo diametro posate a spinta, mediante l'introduzione del cosiddetto "sistema berlinese" dimostrandone la convenienza economica (2). Alla fine del 1990, impiegando solo circa 6 anni, è stato possibile costruire oltre 72.000 metri di condotte fognarie dal diametro nominale DN 150 fino a DN 800. In questo modo si sono avuti risparmi di circa 11 milioni di DM. Si è riusciti inoltre ad evitare la demolizione e successivo ripristino di circa 120.000 m^2 di superficie stradale. È stato evitato di estrarre, trasportare e successivamente ricolmare oltre 215.000 m^3 di terra. In questo modo si è evitato il trasporto di 17.900 camion di terra: una fonte di enormi emissioni di sostanze nocive rimasta inattiva. Con le macchine di avanzamento adatte per il funzionamento in acque sotterranee, è stato possibile limitare l'abbassamento della falda acquifera. Come risultato si è avuto che circa 19 milioni di metri cubi di falda acquifera non hanno dovuto essere pompati, una quantità sufficiente per l'approvvigionamento d'acqua potabile di Berlino (Ovest) per circa 38 giorni.

Il committente pubblico nell'attuazione di nuovi processi edili

Per lo sviluppo di nuove tecnologie possono risultare vantaggiose le sovvenzioni mirate. In questo modo si possono attuare procedure che si sono dimostrate vantaggiose. Questo è avvenuto nei primi sviluppi e prove di sistemi di avanzamento per sezioni non praticabili in Germania, per le quali si è resa necessaria una certa spinta iniziale.
L'attuazione di un nuovo processo di costruzione sul mercato rimane però, in ultima analisi, compito della concorrenza. Le sovvenzioni – da chiunque siano fatte – non sarebbero soltanto fuori luogo ma in questo caso addirittura dannose, in quanto non stimolerebbero in misura sufficiente la disponibilità all'innovazione, finalizzata al progresso tecnico attraverso l'esperienza pratica. Le esperienze, a fronte di un flusso di informazioni costante tra capocantiere, utente e fabbricante di macchine e tubi, possono essere raccolte e rese efficaci soltanto se alle imprese vengono date tutte le possibilità di formulare opportuni piani di costruzione.
Chi deve emettere regolarmente un grosso volume di appalti può sollecitare il mercato, aumentare la concorrenza, e quindi raggiungere prezzi più favorevoli soltanto attraverso frequenti richieste di offerta dal mercato. Inoltre mediante standardizzazione di processi e di prodotti in campo edile si può determinare un effetto di razionalizzazione che ha come risultato una riduzione dei costi.
Di fronte ai nuovi processi nell'edilizia si raccomanda di valutare con occhio molto critico i primi provvedimenti. Per quanto riguarda le condizioni locali, dovrebbero essere prive di rischi non valutabili.
Nei primi sistemi di avanzamento per sezioni non praticabili, l'incognita maggiore era costituita dalle condizioni del terreno: là dove le carte geologiche e i sondaggi di prospezione lasciavano intuire la presenza di strati di terreno molto variabili, si sarebbero verificate condizioni sfavorevoli all'attuazione di questi nuovi processi di costruzione. A Berlino, ci siamo attenuti a questo, dopo un primo progetto pilota nel 1984.
Là dove è stato possibile valutare il rischio, in fase di pianificazione, a seguito di una attenta valutazione delle condizioni del terreno, si è proceduto ad attuare il maggior numero di progetti.
Ciò è avvenuto in un periodo di tempo prolungato, con specifiche alternative di volta in volta attuate per sistemi di costruzione aperti o chiusi. In questo modo il committente ha avuto in tempi brevi una panoramica dei limiti di economicità tra i due diversi sistemi, consentendo all'amministrazione pubblica di bandire gare con specificazioni mirate.
Alla fine del 1990 sono stati eseguiti oltre 70.000 m^2 di canali e tubazioni di

acque di scarico, di diametro nominale compreso tra 150 e 800 mm, soltanto attraverso gli ordini della Berliner Wasser-Betriebe.
Il tutto senza alcuna forma di sovvenzionamento. Inoltre, nella costruzione di canalizzazioni, abbiamo integrato gli apparecchi comandati per lo scavo in avanzamento di allacciamenti domestici, attuando la standardizzazione di elementi e altri processi di affiancamento.

Il sistema di costruzione berlinese

Per l'ampliamento della rete di fognatura si è quindi sviluppato quello che è stato definito come il "sistema di costruzione berlinese". Questo metodo ha richiamato molta attenzione anche a livello internazionale. (2)
L'obiettivo di partenza è stato quello di ridurre le numerose interruzioni di strada.
Infatti la rottura del manto stradale e il ripristino dello stesso danno luogo, secondo i nostri accertamenti, a circa il 31% dei costi di costruzione di fognature nei sistemi di posa a trincea aperta. Un altro 39% deve essere investito nelle palancole, nello scavo, nella sostituzione e nel riempimento delle trincee (Tabella 2).
Questi costi hanno poco a che fare con la posa vera e propria dei canali e sono perciò molto discutibili dal punto di vista politico-economico. Possono però essere drasticamente ridotti applicando metodi di costruzione senza scavo. Il "sistema di costruzione berlinese", da noi sviluppato, consiste in una coerente applicazione dei sistemi di posa a spinta (senza scavo) per canali stradali e per allacciamenti. I pozzetti occorrenti per la posa a spinta delle condotte stradali, sono anche punto di partenza per la posa a spinta delle tubazioni per gli allacciamenti domestici.
Le condotte per gli allacciamenti vengono collegate a raggiera alle camerette principali (Fig. 1).

In questo modo la cameretta viene utilizzata per diversi scopi:

- come pozzetti di partenza e contrasto per la posa a spinta nelle altezze e nelle direzioni desiderate;
- per la posa a raggiera senza scavo delle tubazioni per gli allacciamenti domestici, nelle altezze e nelle direzioni volute. Disponendo le camerette in modo ottimale, tenuto conto della suddivisione del terreno su ambo i lati della strada, si possono raggiungere almeno quattro proprietà senza avere, per i canali di allacciamento domestico, lunghezza eccessiva evitando che si debba passare sotto terreni di terzi. Le restanti proprietà vengono raggiunte – pure a raggiera – da un "pozzetto ausiliario".
  Il "pozzetto ausiliario"" – prefabbricato con anelli – alla fine della posa può essere riutilizzato (Fig. 2, 3 e 4) per la conversione in pozzetto per l'ispezione della rete di canali, oppure per raccogliere un pozzetto di ispezione convenzionale fatto con i consueti materiali (Fig. 2).

Fino a quando non si incomincia a lavorare sui pozzetti di partenza o di arrivo, le aperture nel piano stradale vengono coperte con elementi prefabbricati in cemento armato.
I pozzetti di partenza e arrivo per la posa a spinta di canali stradali impiegati anche per la posa sotterranea di tubazioni per allacciamenti domestici, offrono il vantaggio di dover realizzare soltanto uno scavo.
Allo stesso tempo è sufficiente un solo scavo quando viene realizzato il congiungimento della tubazione di allacciamento domestico alla condotta stradale. Questo complesso processo tecnico è una integrazione importante e necessaria per la posa senza scavo a raggiera, in quanto spesso occorre provvedere ad allacciamenti successivi che devono essere realizzati sulla condotta. (3)
Con l'impiego dei pozzetti per gli allacciamenti a raggiera posati a spinta, si ha il vantaggio che le tubazioni per i collegamenti domestici possano essere posate a profondità ridottissime, sopra il livello della falda. All'arrivo nel pozzetto di ispezione, gli allacciamenti previsti vengono guidati alla

• ***Fotografia n. 4*** *- Tubi in Gres per posa con avanzamento a spinta.*

quota di scorrimento del condotto stradale per mezzo di tubazioni di discesa verticale.
Operando in questo modo sono possibili, in modo semplice, cambiamenti di direzione ed il regolare aliacciamento di tubazioni che si innestano in senso contrario alla direzione di scorrimento del canale (Fig. 2).
Questo non è possibile nella posa tradizionale dove si effettuano collegamenti ad angolo retto sul condotto principale.
Nei "pozzetti ausiliari" le tubazioni di allacciamento scaricano nel collettore principale attraverso tubazioni verticali (Fig. 3 e 4). Se la condotta principale si trova sopra il livello della falda, il "pozzetto ausiliario" deve essere realizzato solo dopo la posa a spinta del canale stradale (Fig. 3). Se la tubazione principale è al di sotto del livello della falda, i "pozzetti ausiliari" devono essere realizzati prima dell'inizio della posa a spinta della tubazione stradale. In questo caso i "pozzetti ausiliari" nonché i pozzetti di partenza ed arrivo, devono essere chiusi ermeticamente sul fondo con un sigillo di calcestruzzo. L'avanzamento del tubo avviene quindi successivamente attraverso aperture predisposte e munite di guarnizioni per la tenuta alla pressione della falda (Fig. 4).
Fino all'avvento della posa a spinta non era consuetudine collegare gli allacciamenti domestici ai pozzetti di ispezione.
Siamo tuttavia dell'avviso che con il collegamento degli allacciamenti ai pozzetti di ispezione, si ottengono vantaggi non solo economici ma anche funzionali. Questi in quanto:

- esistono migliori possibilità di pulizia;
- la verifica delle tubazioni di allacciamento viene facilitata, in quanto il canale può essere ispezionato da ambo i lati;
- le prove di tenuta all'acqua sono semplici da eseguire;
- si elimina un innesto sul condotto principale;
- essendo accessibile da ambo i lati è possibile riparare la condotta di allacciamento con processi di relining;
- nel pozzetto di ispezione in ogni momento è possibile la verifica sulla qualità delle acque scaricate.

Questi evidenti vantaggi hanno determinato che nel foglio di lavoro A 142 della "Abwassertechnischen Vereinigung" "canali e tubazioni di fognatura nelle aree di approvvigionamento idrico" (4), si trovi la seguente formulazione:
"... il collegamento tra le tubazioni di allacciamento e la condotta di scarico principale deve essere previsto nella zona di protezione delle falde all'interno di un pozzetto".
Nelle disposizioni in materia di salvaguardia della zona di protezione delle acque, l'autorità di Berlino esige che tutti gli allacciamenti debbano essere realizzati in pozzetti praticabili.
Il sistema di costruzione "berlinese" è nato e si è sviluppato a seguito degli ampliamenti delle reti di fognatura della città. È applicabile anche, su nuovi percorsi, per il rinnovamento di canali e allacciamenti esistenti. Il sistema di costruzione berlinese può costituire quindi una possibilità di soluzione anche per il rinnovo, su un percorso diverso, di condotte già poste in opera.
In questo caso nel nuovo percorso è possibile attuare l'avanzamento a spinta come nel caso delle nuove realizzazioni. Durante la lavorazione la condotta esistente serve per mantenere in funzione la rete. È possibile soddisfare l'esigenza fondamentale di collegare a spinta anche le tubazioni di allacciamenti. I collegamenti domestici devono partire da pozzetti ausiliari che andranno realizzati sulla nuova condotta posata a spinta. Dai pozzetti ausiliari viene realizzata la "prolunga" del raccordo fino al punto di allacciamento precedente (Fig. 5).
Il "sistema di costruzione berlinese" richiede il pozzetto di partenza cilindrico. Per tubi da posare a spinta con lunghezza 1000 mm dal diametro nominale compreso tra 250 a 400, è previsto un pozzetto di diametro 2000 mm realizzato in fibrocemento o cemento armato. Per le condotte dei tubi di diametri 400, 500, 600 e 800 vengono utilizzati tubi di avanzamento lunghi 1500 mm e 2000 mm., o pozzetti in calcestruzzo con diametro 3200 mm. (5).
Per quanto riguarda le tolleranze dimensionali, i requisiti richiesti ai tubi d'avanzamento a spinta sono molto più rigidi che non per i tubi posati secondo il metodo tradizionale (trincea aperta). Inoltre le tubazioni devono sopportare la forza di pressione occorrente per superare le compressioni di punta e l'attrito del mantello, comprese le sollecitazioni eccentriche provocate dai movimenti di comando. Complessivamente è possibile soddisfare questi requisiti soltanto attraverso un opportuno controllo di qualità sui materiali impiegati. Per maggiore sicurezza abbiamo, per esempio, introdotto il controllo obbligatorio di ogni singolo tubo da effettuare prima di immetterlo nel pozzetto di partenza. Mediante un apparecchio di prova a manicotto, di facile impiego, vengono applicate pressioni di 15 bar alle due estremità di ogni tubo. Se un tubo presenta fessure sottilissime, invisibili ad occhio nudo, e dovute per esempio al trasporto, con questa prova va in frantumi. Il "sistema di costruzione berlinese" rispetto al sistema di posa a trincea aperta presenta una suddivisione completamente diversa di costi (Tabella 3). Significativo è il calo dei costi di rottura e ripristino del manto stradale, dal 31% a circa l'8%.
Con l'introduzione del "sistema di costruzione berlinese" abbiamo stabilito un forfait dei costi a carico dei proprietari per l'esecuzione degli allacciamenti domestici. Gli importi forfettari per gli allacciamenti domestici vengono fissati annualmente ex novo. L'importo forfettario è fissato in base alla contabilità lavori delle ditte che effettivamente eseguono le opere. In questo modo diventa superfluo preoccuparsi di convincere i privati che il canale più corto non è necessariamente anche sempre il più economico.

Il bando di gara e la preparazione ai lavori

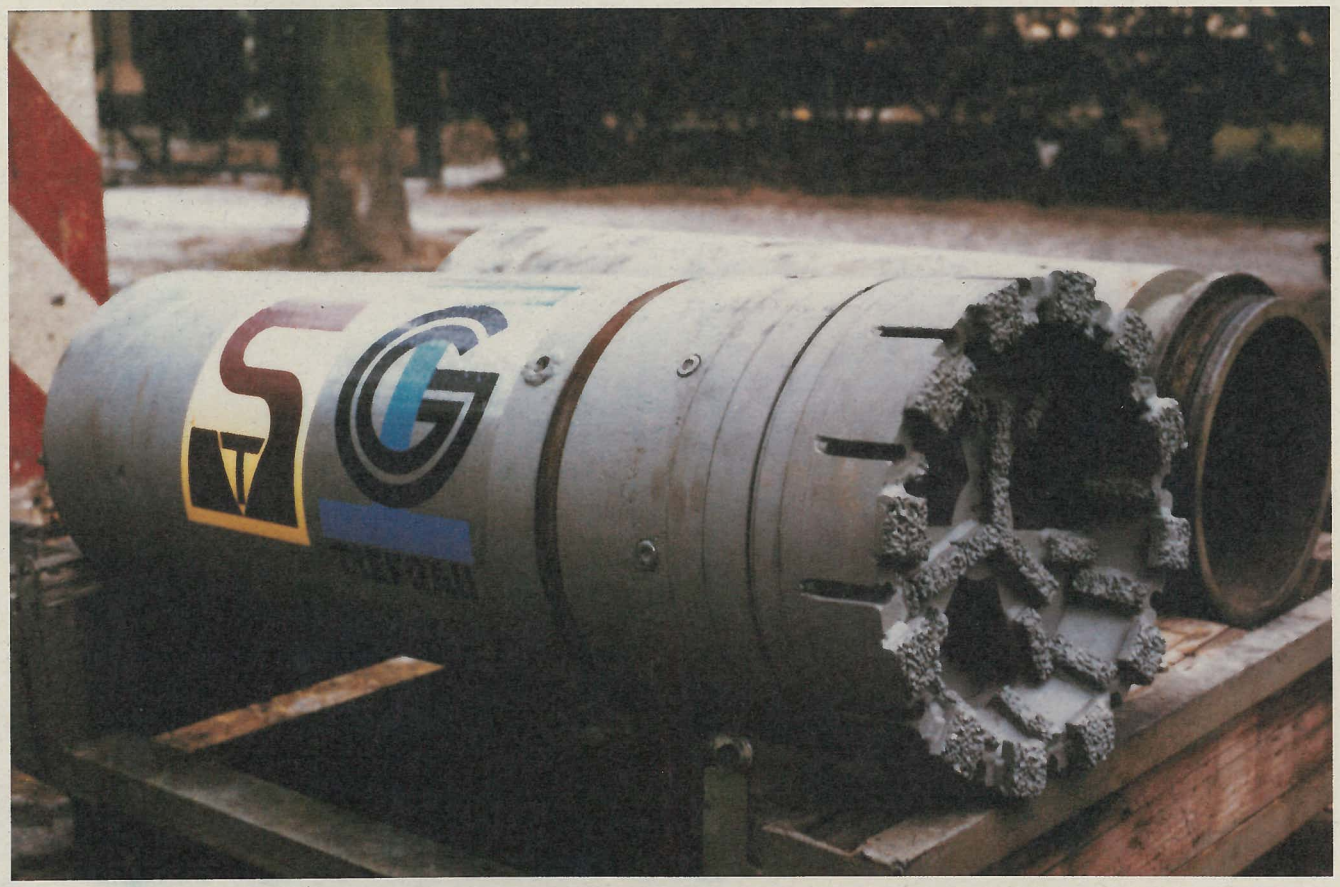
Le condizioni del terreno, i fabbricati esistenti e i relativi sistemi di approvvigionamento idrico e di scarico, possono influire sull'economicità del sistema di posa a spinta. È quindi necessario disporre di sufficienti dati al riguardo.
Occorre acquisire dati relativi alla posizione dei cavi, delle condutture, dei canali o di altri manufatti. Quando vi sono dubbi sull'ubicazione di sotterranei esistenti, l'esatta posizione va individuata mediante sondaggi o scavi nel terreno. Eventualmente, impianti esistenti vanno protetti mediante opportuni provvedimenti. Tutta la documentazione topografica su impianti esistenti, deve essere presente ed a disposizione anche in cantiere. Sia per l'esecuzione dell'avanzamento a spinta che per il calcolo statico dei tubi, occorrono dati sulle caratteristiche del terreno e le condizioni della falda. Se l'avanzamento avviene in roccia non compatta, per il terreno è necessario che vi siano le seguenti informazioni:

- elenco degli strati;
- risultati di sondaggio per pressione o per costipazione;
- granulometria;
- forma dei grani;
- densità di deposito;
- consistenza;
- tenore di acqua;
- resistenza al taglio e coefficiente di permeabilità;
- influenza dell'acqua e del terreno sul materiale costituente la tubazione da posare.

Per il calcolo statico dei tubi da posare a spinta, secondo il foglio A 161 "Abwassertechnischen Vereinigung", occorrono:

- tipo di terreno con indicazione del peso specifico sopra e sotto l'acqua di falda e dell'angolo di attrito interno;
- livello dell'acqua freatica sia durante la posa che nelle condizioni di esercizio.

I risultati delle ricerche sulla meccanica del terreno devono far parte integrante di ogni documentazione di gara d'appalto.
A Berlino ha dato buoni risultati una frequenza di indagine a intervalli tra 50 e 100 metri a seconda del terreno di intervento.
Malgrado i progressi avuti si ha un rallentamento nell'avanzamento a



• ***Fotografia n. 5*** - *Testa di avanzamento DN 250 per Pipe-Eating*

spinta durante l'attraversamento in roccia per la frammentazione mediante frantoi e il convogliamento finale del materiale.
Nei casi più sfavorevoli vanno anche previste misure (scavi) per il recupero di ostacoli, per esempio grossi sassi non previsti.
Questi sono i rischi dell'avanzamento a spinta che aumentano col diminuire del diametro nominale.
Nella pratica è risultato che con tutti i sistemi di spinta vengono estratte senza problemi pietre fino a 40 mm di diametro.
Con una specifica testa di scavi oggi è possibile anche l'attraversamento, la frantumazione, ed il trasporto di roccia.
Se tuttavia le rocce più grosse non vengono affrontate in modo corretto, esiste il pericolo di deviare la testa di comando.
Sarebbe quindi utile se fossero presto sviluppati dei georadar o altri processi finalizzati, per l'ambito limitato della sezione di tubo da fare avanzare, ad accertare la presenza di grossi depositi rocciosi.
Le ricerche sul campo condotte a Berlino hanno portato a ipotesi di soluzioni (2).
Con queste conoscenze a disposizione dei progettisti si può:

- ottimizzare la posizione dei pozzetti di partenza e arrivo tenendo conto dei depositi di roccia;
- predisporre recuperi preventivi;
- scegliere un tracciato più favorevole;
- dato il rischio eccessivo, privilegiare un altro processo di posa.

Fino quando non si disporranno di metodi di ricerca precisi, sarà necessario valutare il più accuratamente possibile le carte geologiche, le prospezioni e i sondaggi.
Questi documenti tuttavia forniscono soltanto dati validi per un punto. Bisognerà quindi prevedere nella documentazione delle gare di appalto, l'eventuale presenza di depositi ed adottare le modalità di calcolo economico per le imprese.
A Berlino si è ritenuto opportuno il seguente modo di procedere.
La scelta del sistema di avanzamento è riservata all'impresa.
Nell'offerta tuttavia deve essere indicato il sistema prescelto e, nel contempo, fissata l'entità dell'ostacolo che le macchine sono in grado di frantumare e scavare.
Gli scavi occorrenti per il recupero degli ostacoli di diametro superiore a quello indicato ed i costi per il periodo di fermo delle attrezzature di avanzamento, vengono compensati a parte.
Con questa procedura il committente in base ai valori sperimentali può prevedere un certo numero di scavi di recupero di varia entità e profondità.
In questo modo è possibile preventivare in proprio gli imprevisti senza correre eccessivi rischi di errore.
Chi indice la gara trova quindi facilitato il compito di verifica dell'offerta. In Germania il tema dell'appalto di opere che prevedono la posa a spinta di condotte, è di estrema attualità.
Nella "Commissione Generale Scavi" del Comitato Appalti per l'Edilizia tedesco, si stanno elaborando le condizioni tecniche generali di appalto per la posa a spinta di tubi. In un gruppo di lavoro della "Abwassertechnischen Vereinigung", è stato rielaborato il foglio di lavoro A 125 del dicembre 1975 "Posa a Spinta di Tubi" ed adeguato ai livelli tecnici attuali. Questo elaborato intende essere una guida per i tecnici impegnati nella pianificazione e nell'esecuzione delle opere.
Nella nuova stesura si tiene conto dei notevoli progressi tecnologici avuti nel settore delle attrezzature specialmente per le sezioni non praticabili, vengono trattate questioni di pianificazione e attuazione delle opere, si definiscono i requisiti dei tubi di avanzamento a spinta e inoltre sono inserite norme tecniche di sicurezza e speciali prescrizioni per l'avanzamento sotto ferrovie, strade di grande comunicazione e corsi d'acqua.
L'importanza di una scrupolosa progettazione e programmazione degli interventi si evince da un articolo intitolato "Indagine sui danni causati ai fabbricati nella posa sotterranea di tubazioni" dell'Istitut fur Bauschadenforschung e. V. di Hannover (6). Secondo questo articolo alla fine del 1990 sono stati esaminati circa 400 casi di danni alle costruzioni, a seguito di pose sotterranee a spinta di tubi.
Il 52% di essi si riferivano a sezioni non percorribili.
È indicativo il fatto che le fonti di danno erano ripartite come segue:

- 8% errori nei capitolati;
- 20% errori nella pianificazione;
- 28% errori di esecuzione;
- il 18% era dovuto a fatti imprevedibili;
- il 26% le cause non erano accertabili.

La suddivisione percentuale dei danni nel corso dei lavori di avanzamento a spinta per sezioni non percorribili, ha dato i seguenti risultati:

- Tubo di avanzamento danneggiato	33%
- Rottura della testa di scavo	32%
- Pozzetto di spinta inondato	11%
- Deviazione dalla posizione	7%
- Spalla danneggiata	3%
- Altri	14%

Infine, in base alle analisi, è stato redatto un elenco di provvedimenti che avrebbero probabilmente evitato gli inconvenienti.
Ne risulta che sarebbe stato possibile eliminare il 77% dei danni, e che soltanto il 23% era inevitabile.
Si potevano evitare:

- il 34% con una migliore comunicazione tra amministrazione e impresa;
- il 22% con una verifica dei calcoli statici;
- il 18% con perizie sul terreno sulla base di dati concreti;
- l'8% con bandi di gara corretti e completi;
- il 18% con altri mezzi.

• ***Fotografia n. 6*** *- Prova di verifica delle estremità con pressione a 15 bar su tubi in Gres per posa con avanzamento a spinta.*

Economicità rispetto alla posa convenzionale di condotte

I costi di costruzione dipendono da numerose circostanze locali, condizioni e fatti marginali. Anche il livello dei prezzi vigenti localmente ha un suo ruolo.
È quindi difficile rilasciare un giudizio generale. Il modo più sicuro per ricercare la soluzione più economica consiste nell'indire gare per progetti alternativi.
Se questo avviene per un periodo di tempo prolungato, si ottiene rapidamente una panoramica sicura della situazione di mercato, e si è in grado di giudicare quando si può adottare un certo procedimento e quale risulta più economico.
Partendo dalle esperienze effettuate a Berlino, con i valori acquisiti si possono fare le seguenti analisi:

a) Costo a metro (solo attrezzatura), per posa con sistema di avanzamento a spinta.
L'onere d'acquisto e di ammortamento degli impianti di avanzamento a spinta, può essere rappresentato in funzione del grado di utilizzo annuo.
Se si prendono come dati base:

- il 7,5% annuo di interessi;
- l'ammortamento entro 4 anni;
- i costi delle riparazioni, usure e materiali di esercizio nella misura di 75 DM/m,

risultano i costi di posa per metro di avanzamento come raffigurato nel diagramma (Fig. 6).

b) Costi di avanzamento a spinta a metro (esclusi i pozzetti).
Nel diagramma seguente (Fig. 7), sono riportati i costi relativi alla posa a spinta di una condotta (esempio gres DN 250).
Anche in questo caso, i costi sono ovviamente in funzione del grado di utilizzo annuo delle attrezzature.
Nel diagramma si sono considerati:

- i costi dell'impianto di avanzamento secondo a);
- i costi del personale pari a 60 DM/h;
- manodopera: per l'allestimento 4 persone, per l'avanzamento 3 persone;
- prezzo dei tubi ca. 217 DM/m;
- aggiunta per spese d'ufficio, rischio e utile 40%.

c) Confronto tra costruzione chiusa e aperta.

Tabella 1

RIPARTIZIONE IN PERCENTUALE DEI DIAMETRI NOMINALI RIFERITI ALLA RETE DI CANALI PUBBLICI DELLA BERLINER WASSER-BETRIEBE	
Diametro nominale DN	**Quota in % riferita a 5159 km di lunghezza complessiva**
≤ 250	50,2
> 250 ≤ 300	12,3
> 300 ≤ 400	11,1
> 400 ≤ 500	7,4
> 500 ≤ 600	3,6
> 600 ≤ 700	2,0
> 700 ≤ 800	1,8
Sezioni praticabili	11,6

Con i dati base di cui ai punti a) e b), sono stati posti a confronto i costi di costruzione per metro di un canale al di sopra del livello dell'acqua freatica, relativi a diametri nominali 250, 300, 400, 500 e 600.
Nei due diagrammi (Fig. 8 e 9), sono state poste a confronto la posa tradizionale (con trincea aperta) e la posa con avanzamento a spinta. In entrambi i casi si sono considerati tubi in gres e differenti profondità di posa.
Per la posa con trincea aperta l'andamento della curva rileva l'influenza significativa della profondità, evidenziando quindi che gli avanzamenti a spinta sono più economici già a profondità ridotte.
In questo studio non sono stati presi in esame le condotte e gli allacciamenti domestici.
Il confronto economico relativo all'esecuzione degli allacciamenti domestici, è già stato affrontato in passato. Con il "sistema di costruzione berlinese" è stato dimostrato che partendo da pozzetti di partenza, di arrivo o ausiliari, si possono ottenere risparmi di circa il 14% rispetto a collegamenti tradizionali, anche se le lunghezze aumentano in media del 4% (Tabella 4) (7).
L'economicità dell'avanzamento a spinta alle basse profondità, è dimostrata anche dal fatto che oltre il 30% di tutti i tratti di condotte posate a Berlino si trovano a profondità inferiore di 2,50 metri, e quasi il 40% al di sotto del livello dell'acqua freatica.

Il bilancio attuale dei lavori a Berlino

Le nostre attività hanno portato alla situazione odierna in cui sono regolarmente in funzione un elevato numero di macchine per l'avanzamento a spinta di fabbricazione diversa.
Senza alcuna sovvenzione, la posa a spinta di tubazioni è in continuo aumento e copre oltre il 50% dei tratti di condotte posate.
La posa a spinta di tubi è quindi diventata una alternativa concorrenziale alle opere convenzionali.
La molteplicità delle applicazioni si può osservare nelle Tabelle 5 e 6.
Il lavoro giornaliero viene svolto in un turno di 8 ore e, a seconda dei diametri, vengono posati da 10 a 30 metri di condotta.
Non ha alcuna rilevanza se si lavora con lunghezze di tubo di 1,00, 1,50 o 2,00 metri. È importante invece, che preventivamente un team affidabile s'impegni cercando di immedesimarsi nei problemi, facendo in modo che l'impresa stessa offra il "background" necessario per quanto riguarda manutenzione, lavori di preparazione e verifica delle apparecchiature tecniche avanzate.
Assumono importanza non tanto gli importanti progressi giornalieri, quanto soprattutto i progressi medi compiuti tenuto conto di tutti i tempi di riattrezzatura.
Ne fanno parte il recupero delle attrezzature dopo il compimento dell'opera, l'inversione di direzione delle macchine o la loro reinstallazione e il successivo avanzamento.

Tabella 2

RIPARTIZIONE PERCENTUALE DEI COSTI DI COSTRUZIONE PER CONDOTTE DI SCARICO DELLE ACQUE LURIDE (DN 200 e DN 250) REALIZZATE CON SISTEMA TRADIZIONALE (trincea aperta) A BERLINO	
	Quota costi in %
Attrezzatura di cantiere	3
Rottura e ripristino del manto stradale	31
Palancole, sterro, sostituzione, riempimento	39
Trattenimento dell'acqua di falda	8
Camerette d'ispezione	7
Prolungamenti, diramazioni	12

Il "Pipe-Eating", un ulteriore sviluppo dell'avanzamento a spinta di tubazioni

Il successo raggiunto dallo sviluppo dell'avanzamento a spinta di tubi, ha naturalmente portato a prendere in considerazione l'adozione di questa tecnica anche per il rinnovamento dei canali lungo lo stesso tracciato. Infatti, nelle città non è sempre possibile trovare ancora spazio libero per l'installazione di nuove condotte. Si è pensato così di passare "dentro" i vecchi canali con l'aiuto dell'avanzamento a spinta, praticamente "mangiandoli", "divorandoli" (Pipe-Eating). Questa soluzione viene anche incontro all'esigenza che spesso si presenta, di aumentare il diametro dei canali danneggiati. Qualche anno addietro in un progetto pilota abbiamo potuto raccogliere le prime esperienze. A tale scopo, è stata utilizzata una testa di scavi modificata del sistema di avanzamento a spinta RVS 100 A della ditta Soltau (8). Dopo alcune difficoltà iniziali il Pipe-Eating ora funziona in modo soddisfacente. È stata attuata l'eliminazione di condotte danneggiate, anche con una macchina di avanzamento Herrenknecht ad estrazione idraulica. Il tratto di canale danneggiato viene percorso in modo puntuale. Il tubo vecchio viene distrutto, i resti del materiale asportati attraverso il sistema di estrazione all'interno del nuovo tratto di condotta che segue. I raccordi esistenti devono essere preventivamente staccati e l'acqua di scarico presente, eliminata mediante pompaggio.

Sviluppi occorrenti

Oltre alla già citata innovazione del "geo-radar", sono necessari apparecchi che rendono possibile una localizzazione molto precisa (posizione-profondità) di tubazioni con andamento parallelo o trasversale al tracciato da percorrere. Un apparecchio del genere, risulta necessario soprattutto nell'ambito delle indagini preventive da effettuare per la posa a spinta di condotte di canali per allacciamenti domestici. I canali di allacciamento domestico infatti, sono spesso alla stessa profondità di altre tubazioni di alimentazione, per cui si presenta il pericolo di danni e incidenti. Anche se è stato possibile compiere notevoli progressi nel miglioramento della sicurezza di esercizio, questi

Tabella 3

RIPARTIZIONE PERCENTUALE DEI COSTI COSTRUZIONE PER CONDOTTE DI SCARICO DELLE ACQUE LURIDE DN 250 E TUBAZIONI DI ALLACCIAMENTO DOMESTICO DN 150 SECONDO IL "SISTEMA DI COSTRUZIONE BERLINESE"	
	Quota costi in %
Attrezzatura di cantiere	9
Rottura e ripristino del manto stradale	8
Pozzetti di partenza e arrivo con scavo	14
Trattenimento dell'acqua di falda	6
Avanzamento a spinta di tubazioni per canali ed allacciamenti domestici incluso il costo del materiale	63

• ***Fotografia n. 7*** *- Pipe-Eating; si passa attraverso una vecchia tubazione in terracotta DN 180.*

punti continuano ad essere una sfida costante. Dai fabbricanti di tubi e pozzetti vanno richiesti contributi di razionalizzazione, in quanto questi componenti hanno un peso economico rilevante ed assai superiore rispetto alla posa convenzionale di condotte. Puntare su procedimenti di fabbricazione a basso costo, potrebbe dare la possibilità di vendere un maggior numero di tubi a un prezzo unitario favorevole. Infine deve essere svolto un lavoro di persuasione comune, da parte di tutti gli interessati, presso i responsabili delle politiche comunali, mirato a fare in modo che si tenga conto dei cosidetti "costi sociali", sempre rilevanti dal punto di vista politico-economico.
In questo modo si favorirebbe il procedimento d'avanzamento a spinta già in fase di valutazione dell'offerta.

Osservazioni finali

Con gli impianti di avanzamento a spinta oggi reperibili, sono disponibili sistemi completi per la costruzione sotterranea di condotte di scarico compresi gli allacciamenti domestici. L'esperienza quotidiana permette un continuo miglioramento e sviluppo dei particolari.
È inoltre disponibile sul mercato un impianto di avanzamento montato su autocarro, che consente così la massima modularità. In questo modo diventa possibile il rapido cambio di cantiere senza l'ausilio di rimorchi a cassone basso. Per il montaggio e lo smontaggio degli impianti di spinta non occorrono gru o altre apparecchiature. I gruppi diesel con generatori di corrente integrati assicurano la completa indipendenza dalle reti elettriche pubbliche o altre fonti di energia. Con i vantaggi della mobilità ottimale, tempi di allestimento ridotti e la completa indipendenza, i sistemi a spinta, anche per i piccoli interventi, diventano una alternativa economica rispetto ai procedimenti convenzionali. Dal punto di vista tecnico il microtunnelling assicura un'opera d'alta qualità.
I tubi per avanzamento a spinta, poiché devono rispondere ad esigenze particolari, presentano tolleranze ridottissime. È al riguardo da segnalare che a seguito dell'esperienza effettuata, ci si sta orientando decisamente all'impiego di tubi in gres ceramico per la realizzazione di condotte di scarico (acque nere o miste), dal DN 150 al DN 800. Questa scelta è motivata dal fatto che non è oggi disponibile sul mercato un materiale simile, per caratteristiche di resistenza chimica, fisica e di durata nel tempo.
La scelta di tubazioni in gres diventa quindi indispensabile per garantire sicurezza di funzionamento, durata ed economicità.
Per quanto riguarda il procedimento di posa vero e proprio, le ormai avanzatissime tecniche di comando delle macchine garantiscono una maggiore precisione di posa, rispetto alla costruzione convenzionale di condotte.
L'esperienza quotidiana mostra quanto sia difficile far rispettare con precisione le direttive relative alla posa in opera, la DIN 4033 oppure il foglio di lavoro A 139 della "Abwassertechnische Vereinigung". Sono cosa d'ogni giorno le infrazioni delle norme su scavi, sottofondi, posa e rinfianco dei tubi ed in particolare sulla tenuta dei sistemi di giunzione. Poiché questi "peccati" in genere non vengono subito a galla, si prevedono numerosi danni a lungo termine.
Tutto ciò è quasi totalmente eliminabile con i procedimenti di costruzione chiusi (senza scavo), in quanto ogni singolo difetto ha per esito una rapida interruzione del-

Tabella 4

ECONOMICITÀ DI DIVERSE SOLUZIONI PER ALLACCIAMENTI DOMESTICI NELL'ESEMPIO DI UN TRATTO DI STRADA A BERLIN-HEILIGENSEE

Soluzione	L_{min} L_{max}	L_{tot}	Costi totali	Differenza percentuale dei costi totali da Soluzione 1
	(m)	(m)	(TDM)	(%)
1	13 16	419	187.712	100
2	13 19	436	162.192	86,4
3	13 19	436	190.096	101,3
4 a	13	670	300.160	159,9
4 b	37		219.760	117,1

Soluzione 1: Raccordo ad angolo retto secondo il procedimento a trincea aperta (Fig. 10)
Soluzione 2: Raccordo a raggiera ai pozzetti d'ispezione e "ausiliari" secondo il procedimento a spinta ("sistema di costruzione berlinese") (Fig. 11).
Soluzione 3: Come la soluzione 2, ma "pozzetti ausiliari" trasformati in pozzetti d'ispezione (Fig. 12).
Soluzione 4 a: Introduzione a raggiera degli allacciamenti domestici secondo il procedimento aperto nei pozzetti d'ispezione (Fig. 13).
Soluzione 4 b: Come la soluzione 4 a, ma secondo il procedimento a spinta (Fig. 13).
1 min: Lunghezza minima della tubazione di allacciamento domestico.
1 max: Lunghezza massima della tubazione di allacciamento domestico.
L_{tot}: Lunghezza totale della tubazione di allacciamento domestico.

Tabella 5

SISTEMA DI POSA CON AVANZAMENTO A SPINTA PER SEZIONI NON PRATICABILI Tratti di condotte posate 56.621 m (Berliner Wasser-Betriebe, situazione al 31.12.1990)			Quota
Tipo di intervento	Ampliamento	41.099 m	72,6%
	Rinnovamento in nuovo tracciato	14.486 m	25,6%
	Rinnovamento in vecchio tracciato (Pipe-Eating)	1.036 m	1,8%
Sistema di fognatura	Rete Nere	47.234 m	83,4%
	Rete Mista	1.585 m	2,8%
	Rete Bianca	7.802 m	13,8%
Materiali	Fibrocemento	24.568 m	43,4%
	Gres	28.758 m	50,8%
	Cemento armato	3.189 m	5,6%
	GFK	106 m	0,2%
Tipo di estrazione terreno scavato	A coclea	48.958 m	86,5%
	Idraulica	7.663 m	13,5%

Tabella 6

SISTEMI DI POSA CON AVANZAMENTO A SPINTA PER SEZIONI NON PRATICABILI Diametri delle tubazioni e fabbricante dei sistemi di avanzamento per le condotte installate (Berliner Wasser-Betriebe, situazione al 31.12.1990)									
	Tratti di canale								
	DN 250 (m)	DN 300 (m)	DN 400 (m)	DN 500 (m)	DN 600 (m)	DN 700 (m)	DN 800 (m)	Σ (m)	Quota (%)
Herrenknecht	525	162	496	2.600	1.101		821	5.705	10,1
Iseki	418		760	481	193	106		1.958	3,4
Soltau	39.264	1.859	3.238	959	676	29	171	46.196	81,6
Witte	2.486		276					2.762	4,9
Σ	42.693	2.021	4.770	4.040	1.970	135	992	56.621	100,0
Quota %	75,4	3,6	8,4	7,1	3,5	0,2	1,8		100

l'avanzamento e quindi si rivela "puntualmente".
È importante che altre imprese ed altre amministrazioni adottino le nuove tecnologie, perchè moltiplicandosi e sollecitando la domanda del mercato, si avrà come vantaggio un'ulteriore economicità.

Dipl.-Ing. Knut Möhring
Ing. Capo della Berliner Wasser - Betriebe

Bibliografia

(1) K. Möhring: "Hauptsammelkanäle für Berlin-Heiligensee"
Steinzeug - Information 1981.

(2) K. Möhring: "Die 'Berliner Bauweise' – Einsatz von grabenlos arbeitenden Vortriebsmaschinen"
bbr – Wasser und Rohrbau, Heft 5/1990.

(3) Uffmann, H.P.: "Unterirdische Herstellung von Hausanschlüssen"
Tiefbau, Ingenieurbau und Straßenbau 3/1989.

(4) Abwassertechnische Vereinigung Regelwerk Arbeitsblatt A 142 Entwurf Oktober 1990
"Abwasserkanäle und – leitungen in Wassergewinnungsgebieten".

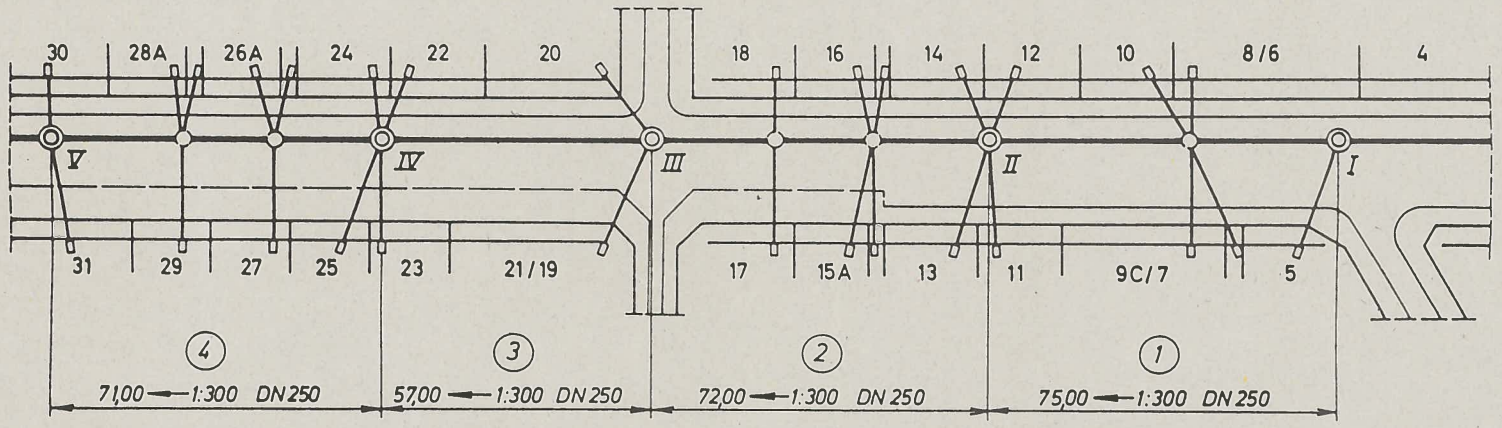
(5) DIN 4124 "Baugruben und Gräben"
Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau – August 1981.

(6) Rizkallah, V. und Vogel, J.: "Untersuchungen zu Bauschäden bei der unterirdischen Verlegung von Leitungen"
bbr, Wasser und Rohrbau, Heft 8/90.

(7) Möhring, K.: "Möglichkeiten der Heranführung von Anschlußkanälen an Einsteigschächte"
Korrespondenz Abwasser, 5/87.

(8) Möhring, K.: "Das Überfahren schadhafter Abwasserkanäle (pipe-eating)"
Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau 4/1988.

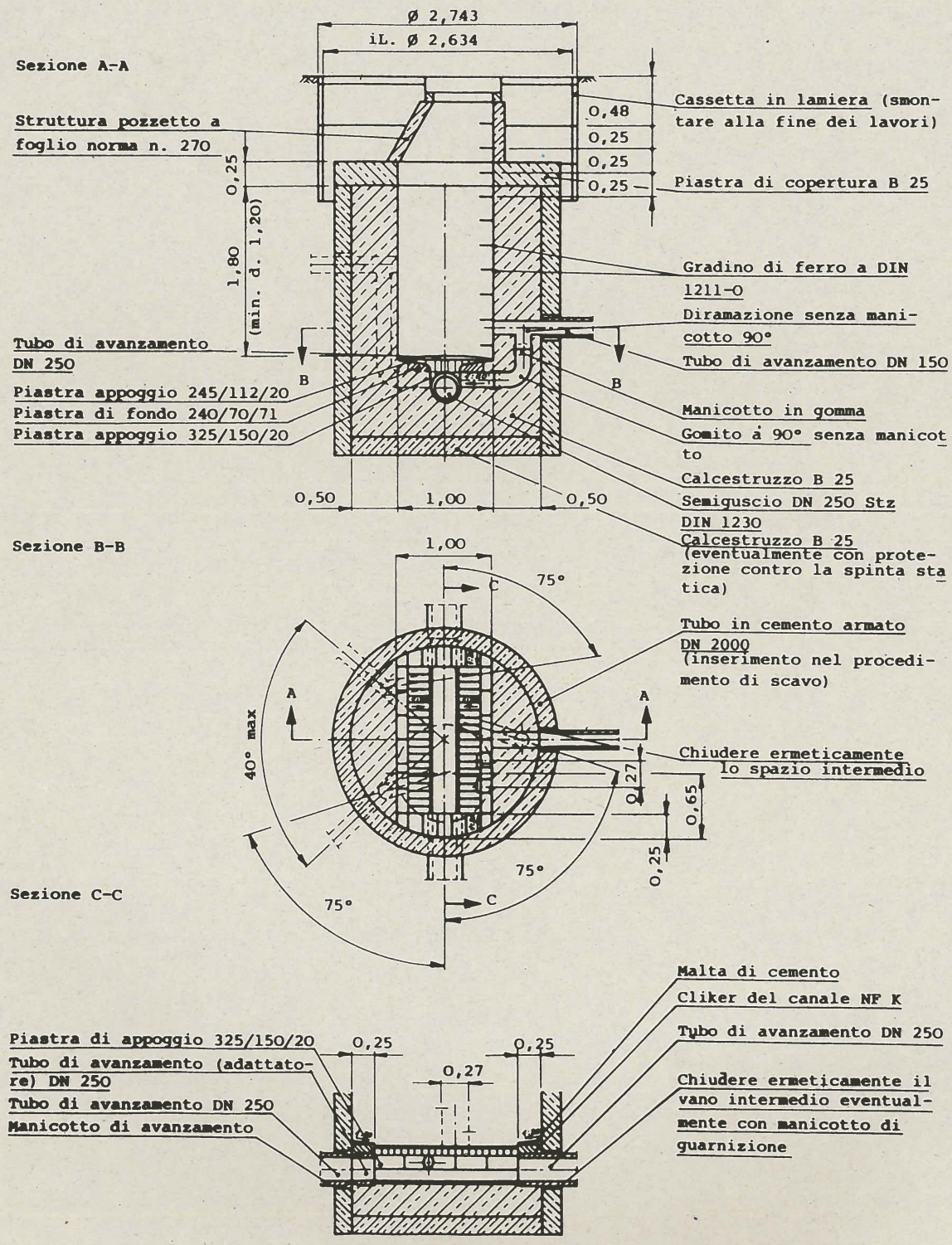
• ***Figura 1*** *- "sistema di costruzione berlinese". Planimetria.*



II = cameretta d'ispezione con allacciamenti domestici, realizzata in opera da pozzetto di partenza o arrivo

○ = pozzetto ausiliario con allacciamenti domestici

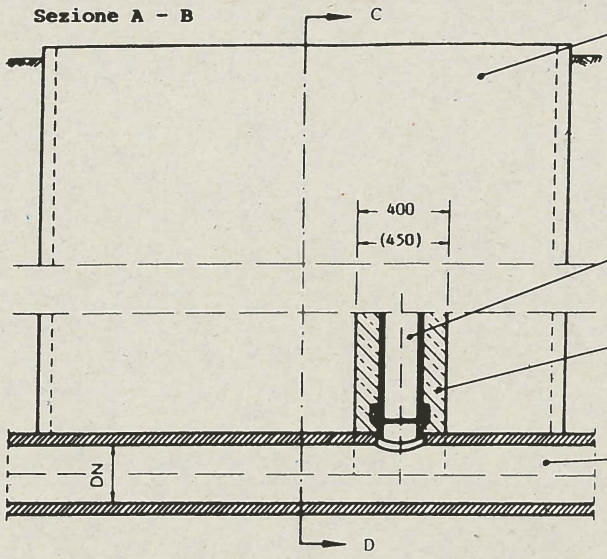
• *Figura 2* - *"sistema di costruzione berlinese".*
Pozzetto di ispezione per condotta posata a spinta DN 250 e DN 300 con allacciamenti domestici.



• ***Figura 3*** - *"sistema di costruzione berlinese".*
Pozzetto ausiliario per la posa di tubazioni per allacciamenti domestici. Posa del canale sopra la falda.

Misura in mm **Scala 1 : 25**

Sezione A - B



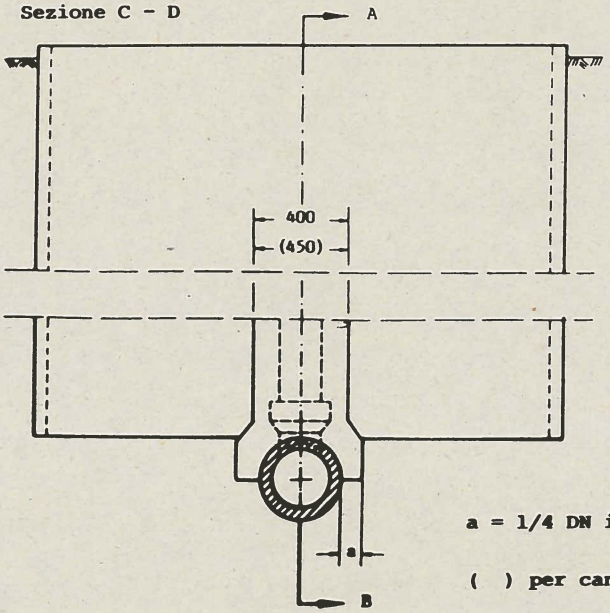
Cassero in lamiera d'acciaio
7 1/2 piastre
Diametro 2286 mm
Smontare dopo la fine dei lavori

Canale di allacciamento domestico
DN 150, eventualmente con appoggio

Rivestimento con calcestruzzo
Calcestruzzo esterno min. B 10

Tubo posato con avanzamento a
spinta ≥ DN 250

Sezione C - D



Distanza minima degli appoggi (asse foro) dall'estremità del tubo di avanzamento 300 mm

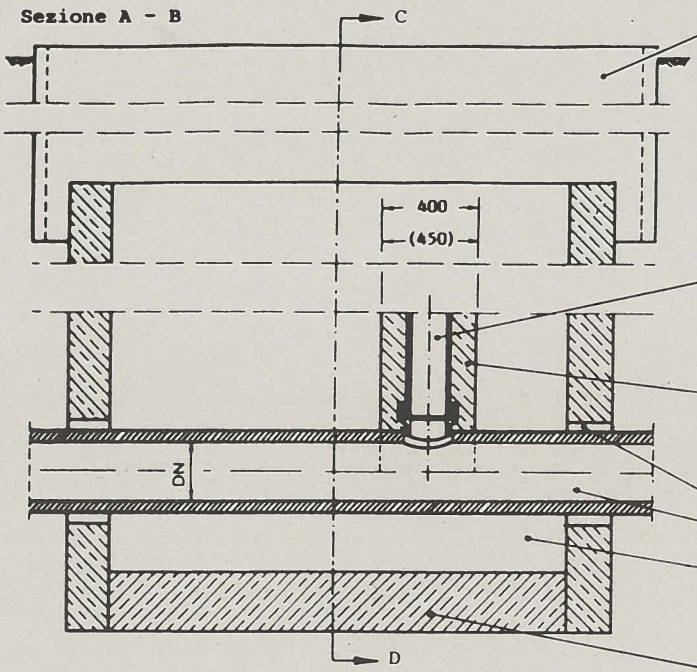
a = 1/4 DN in mm, minimo 100 mm

( ) per canale di allacciamento domestico DN 200

• ***Figura 4*** - *"sistema di costruzione berlinese".*
Pozzetto ausiliario per la posa di tubazioni per allacciamenti domestici. Posa del canale nella falda.

Misure in mm **Scala 1 : 25**

Sezione A - B



Cassero in lamiera d'acciaio
9 piastre

Diametro 2743 mm

Smontare dopo la fine dei lavori

Canale di allacciamento domestico DN 150
eventualmente con appoggio

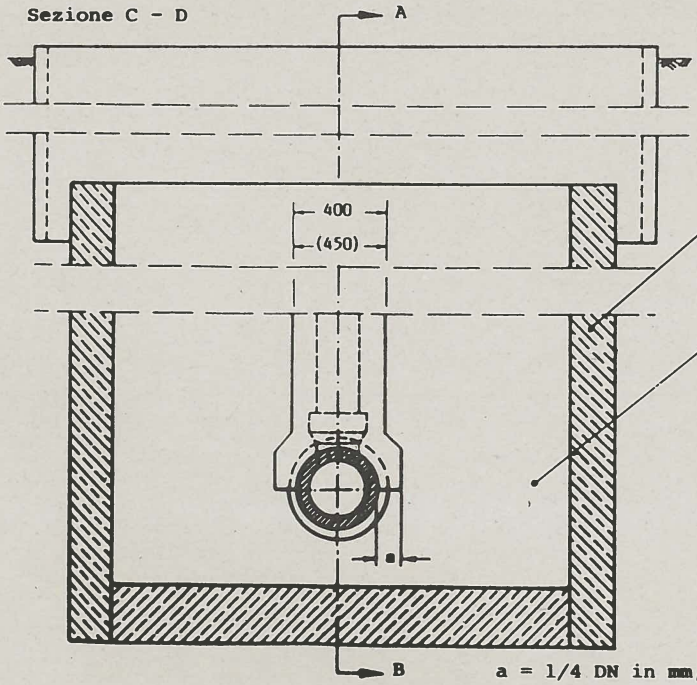
Rivestimento con calcestruzzo
Calcestruzzo esterno min.B 10

Manicotto di guarnizione
Tubo di avanzamento ≥ DN 250

Riempimento con sabbia compattata da provvedere prima dell'avanzamento tubo

Piastra di base in cemento armato per sigillo contro l'infiltrazione dell'acqua di falda secondo prova statica calcestruzzo B 25

Sezione C - D



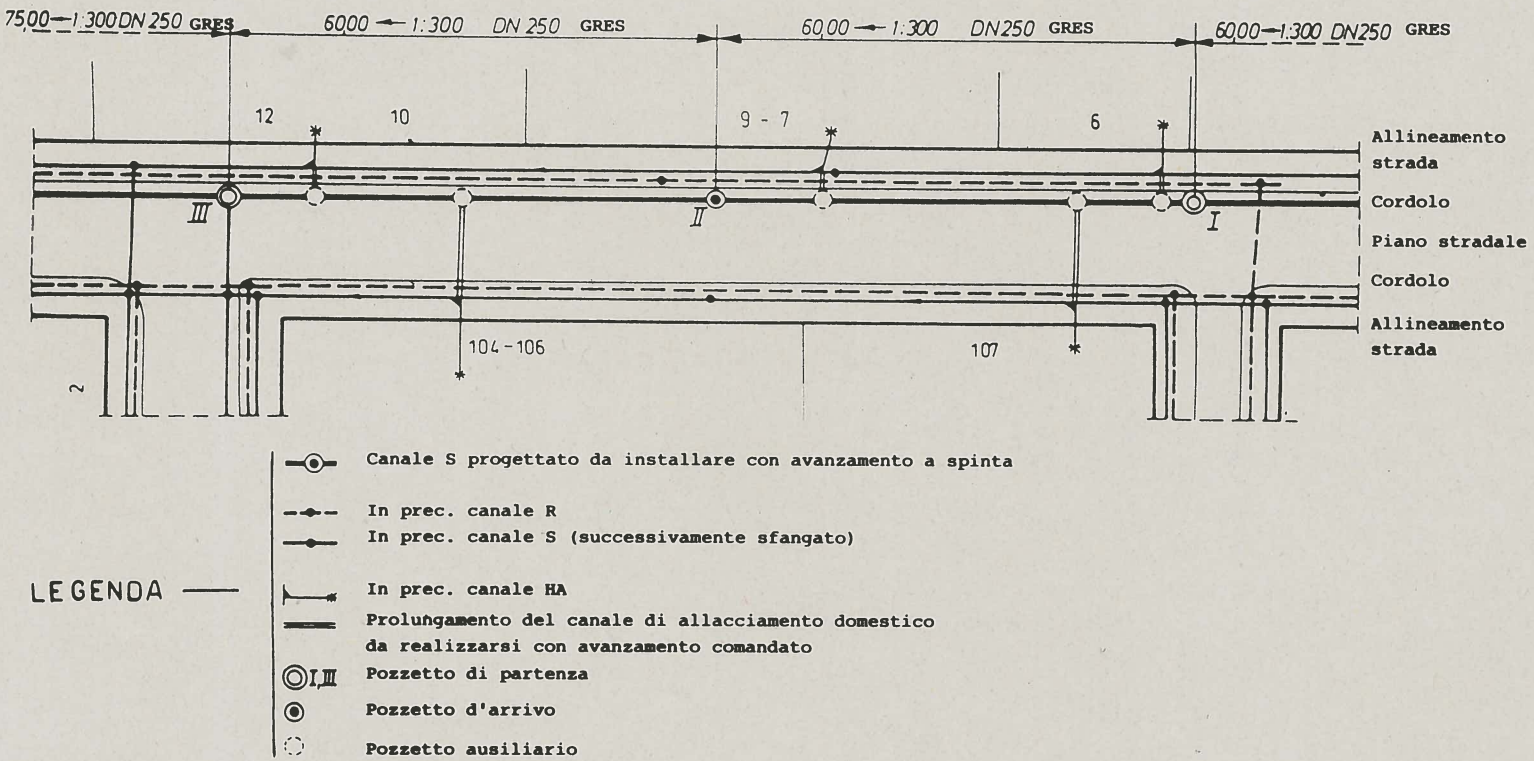
Tubo in cemento armato DN 2000
Inserimento nel procedimento di scavo

Riempimento con sabbia compattata da provvedere prima dell'avanzamento tubo

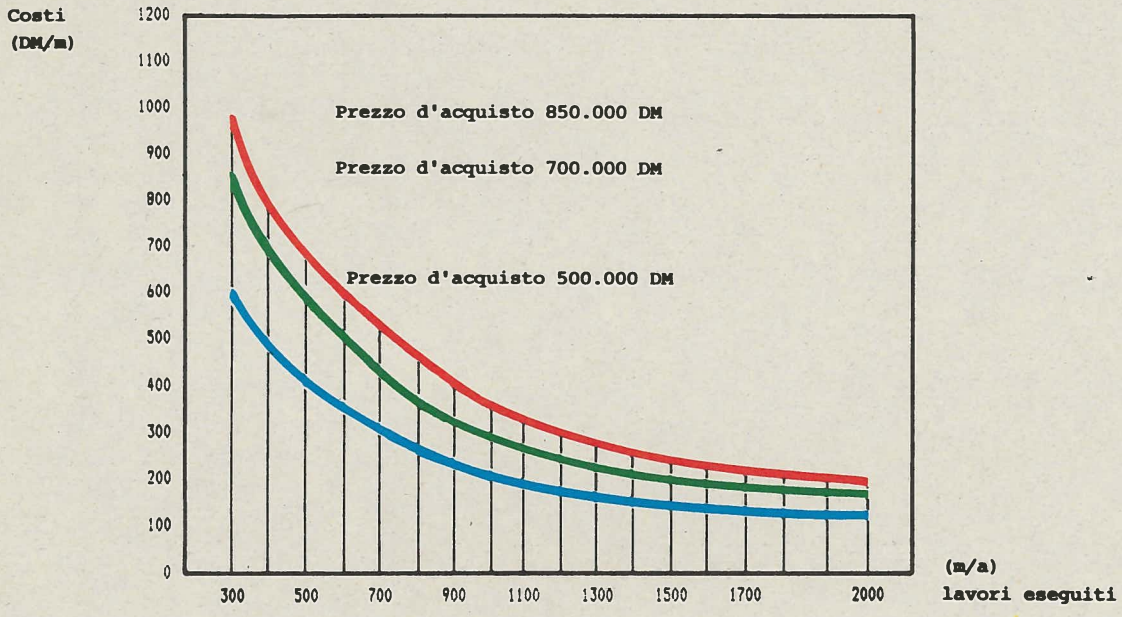
Distanza minima degli appoggi (asse foro) dall'estremità del tubo di avanzamento 300 mm

a = 1/4 DN in mm, minimo 100 mm
( ) per canale di allacciamento domestico DN 200

• ***Figura 5*** *- Procedimento di posa a spinta / rinnovamento canale in tracciato nuovo. Planimetria.*

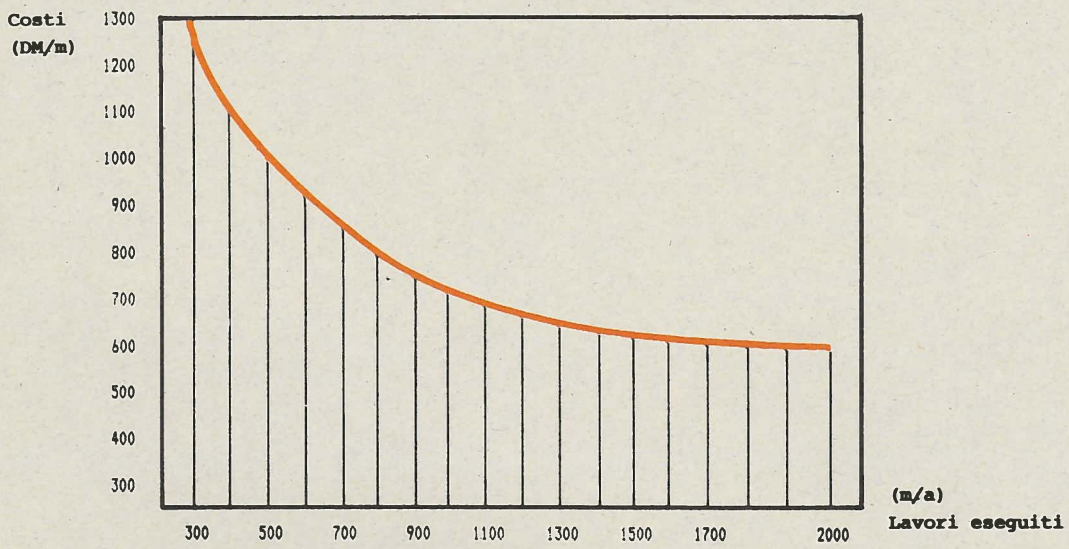


• *Figura 6* - *Costo a metro (solo attrezzature) per posa con sistema di avanzamento a spinta in funzione del grado di utilizzo annuo.*



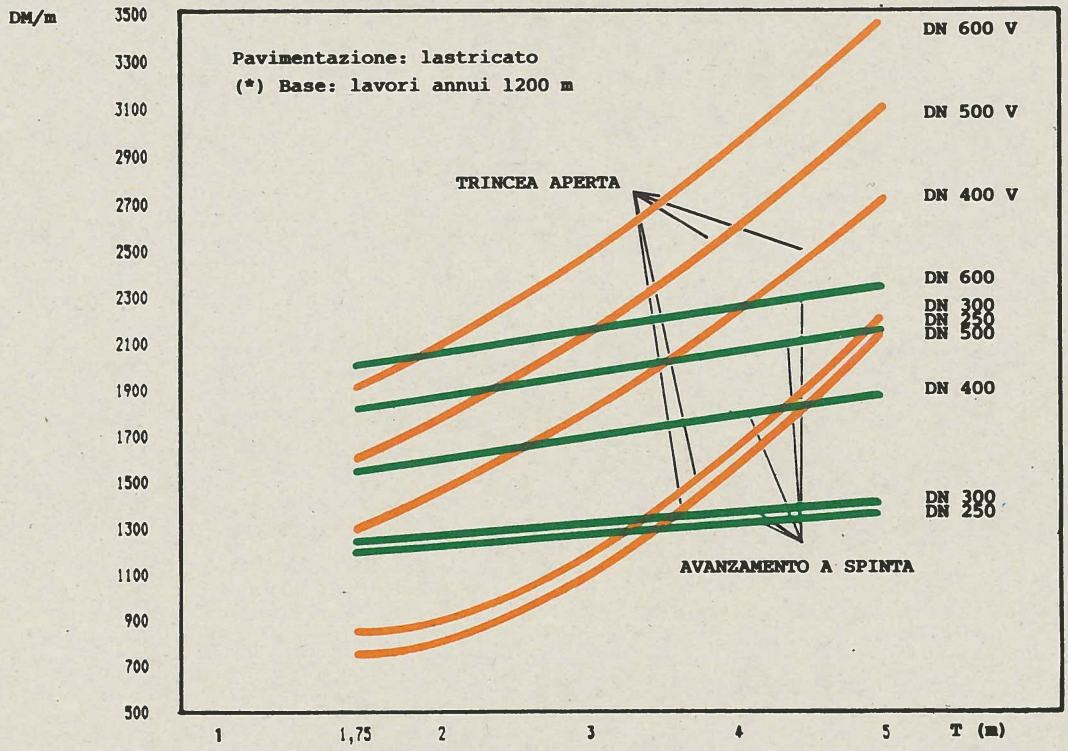
Dati di partenza: **Ammortamento in 4 anni**
Interessi 7,5% annuo
Costi di riparazione, usura
Materiali di consumo: 75 DM/m

• *Figura 7* - *Analisi dei costi per metro di avanzamento a spinta in funzione dei lavori di avanzamento annui.*

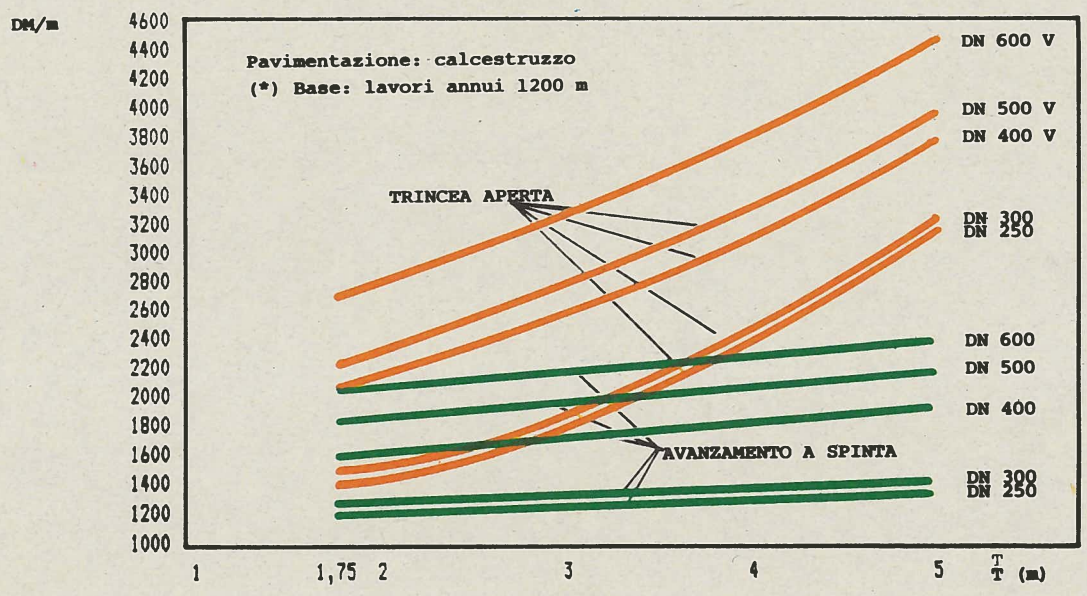


Dati di partenza: **Prezzo d'acquisto dell'impianto di avanzamento 500.000 DM, interessi 7,5%**
Ammortamento in 4 anni
Costi del personale 60 DM/h (allestimento 4 persone, avanzamento 3 persone)
Tubo 217 DM/m, costi per materiali di consumo, trasporti ed usura 75 DM/m
Aggiunta per costi di esercizio, rischio e utile:40%

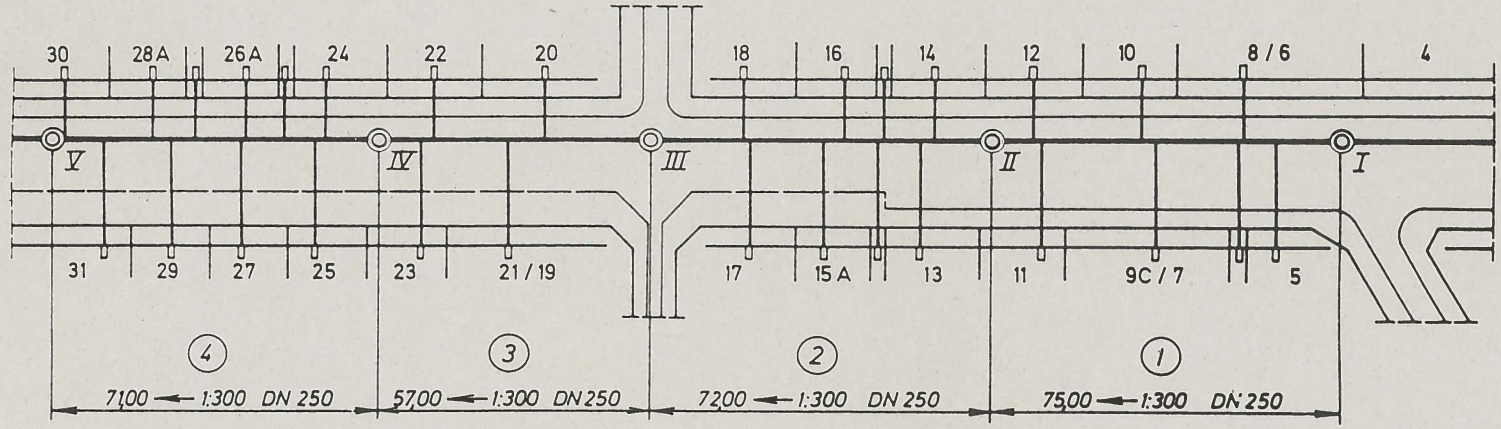
• ***Figura 8*** *- Confronto costi di posa per tubazioni installate con procedimenti trincea aperta/avanzamento a spinta (*). Sopra il livello dell'acqua freatica con uso di tubi in gres.*



• ***Figura 9*** *- Confronto costi di posa per tubazioni installate con procedimenti trincea aperta / avanzamento a spinta (*). Sopra il livello dell'acqua freatica con uso di tubi in gres.*



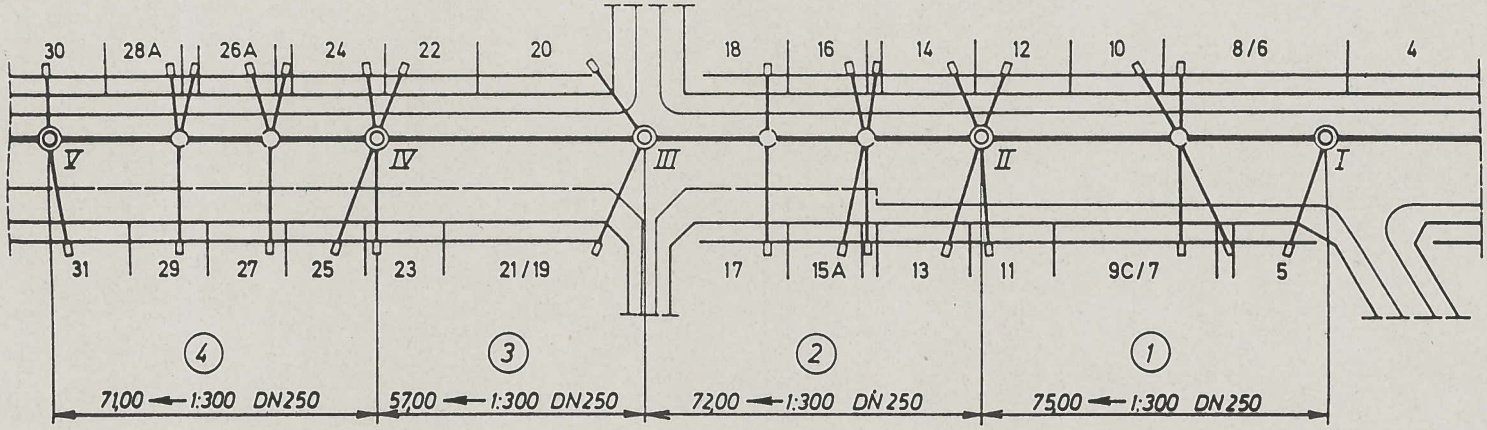
• ***Figura 10*** *- Collegamenti alla condotta principale ad angolo retto secondo procedimento con trincea aperta.*



◎ II = pozzetto d'ispezione

T = allacciamento domestico

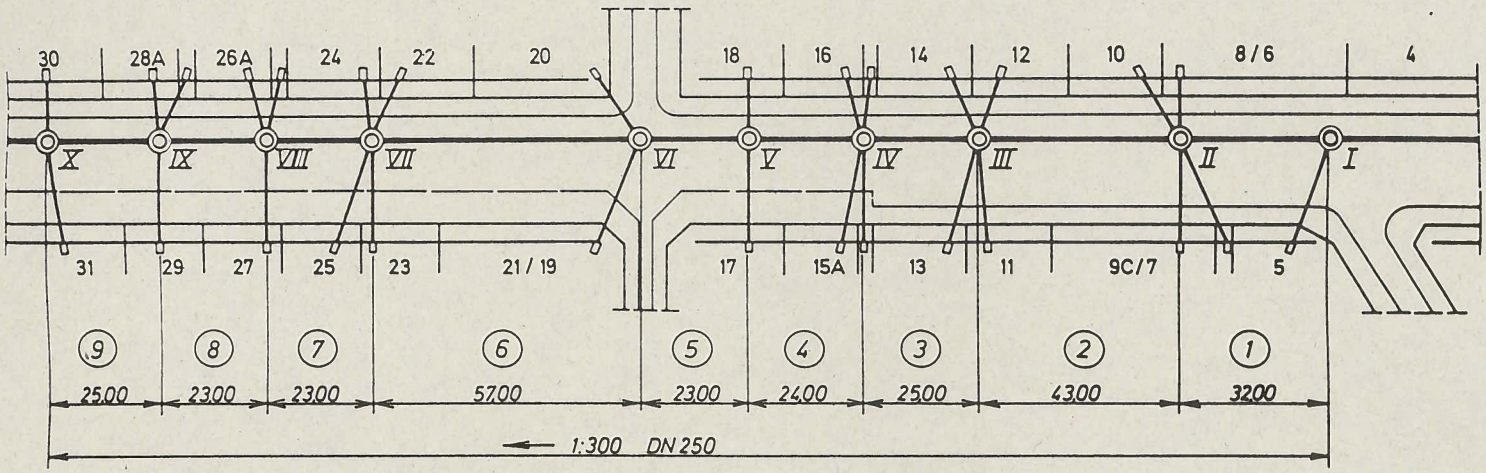
• ***Figura 11*** - *"sistema di costruzione berlinese".*



II = pozzetto d'ispezione con allacciamenti domestici

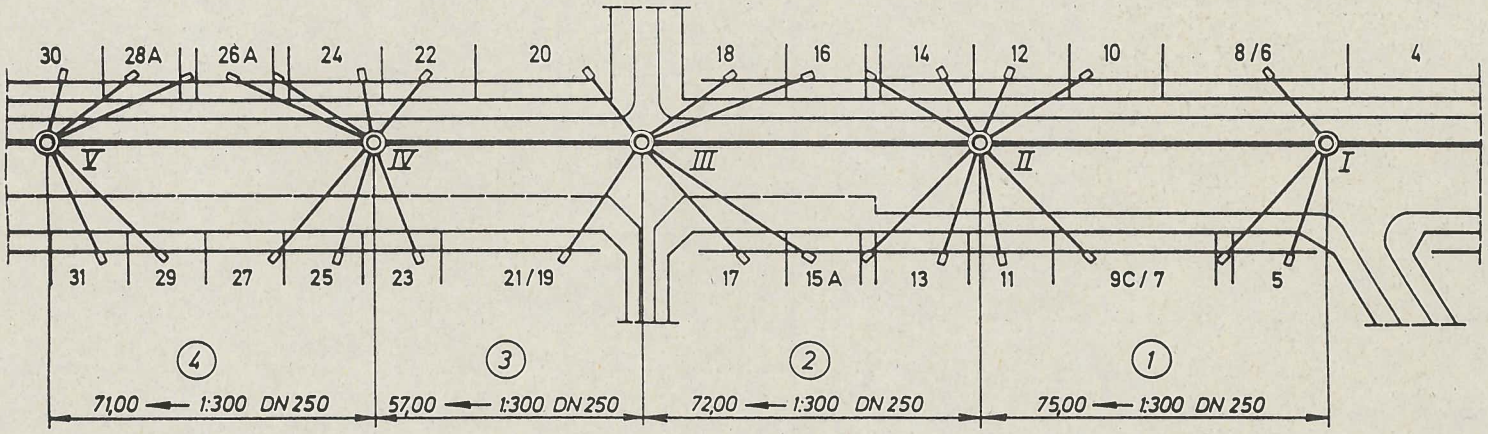
○ = pozzetto ausiliario con allacciamenti domestici

• ***Figura 12*** *- "sistema di costruzione berlinese" più pozzetti ausiliari trasformati in pozzetti d'ispezione.*



VI = pozzetto d'ispezione con allacciamenti domestici

• ***Figura 13*** *- Collegamento a raggiera senza pozzetti ausiliari secondo procedimento aperto o chiuso.*



= **pozzetto d'ispezione con allacciamenti domestici**