
LA COSTRUZIONE E IL RINNOVAMENTO DELLE RETI CON IL NO-DIG

Renzo CHIRULLI*

SOMMARIO

La complessità e l'intensità delle attività che si svolgono in ambiente urbano (muoversi, lavorare, abitare, svagarsi, ecc.) rendono particolarmente gravose le interferenze, e di conseguenza gli effetti, che si generano quando, per necessità legate alla realizzazione di nuove reti di servizi interrati o al loro rinnovamento, si deve intervenire nel sottosuolo per installare, riabilitare o sostituire tubazioni e cavi interrati. Questo avviene fondamentalmente perché le attività costruttive e manutentive si svolgono, nella gran parte dei casi, ricorrendo a metodi di lavoro che fanno ampio ricorso agli scavi a cielo aperto. Oltre 40 anni fa, in diverse parti del mondo, ha cominciato a svilupparsi e diffondersi un approccio alternativo caratterizzato dal limitato o nullo ricorso agli scavi a cielo aperto nelle attività di installazione, riabilitazione o sostituzione di tubazioni e cavi interrati: il così detto No-Dig o Trenchless Technology. Il No-Dig, che in altri Paesi rappresenta una realtà consolidata e diffusa, oggi comincia a trovare un'applicazione più diffusa anche in Italia, dove ha incontrato per anni forti resistenze culturali e corporative. Questa memoria fornisce una panoramica ampia e generale sulle tecnologie No-Dig oggi disponibili per la costruzione ed il rinnovamento delle reti di servizi interrati.

1. INTRODUZIONE

Quando parliamo di servizi interrati intendiamo riferirci essenzialmente alle tubazioni interrate e quindi a condotte fognarie, tubi per il trasporto e la distribuzione delle acque potabili (acquedotti), tubi del gas, cavidotti per l'alloggiamento di cavi telefonici, in fibra ottica, elettrici, o di altra natura, tubi per il teleriscaldamento. Così come possiamo riferirci anche a polifore (ovvero

* Ingegnere libero professionista, esperto in sviluppo e applicazioni di tecnologie No-Dig (Trenchless) – www.nodig.it

pacchi di cavidotti generalmente destinati ad accogliere cavi per le telecomunicazioni), così come a microgallerie utilizzate per l'alloggiamento contemporaneo di più servizi di differente tipologia.

Ma gran parte di ciò che verrà detto con riferimento a questo tipo di infrastrutture può essere di interesse anche per altri tipi di tubazioni interrato e non.

È il caso, ad esempio, delle tubazioni di drenaggio che vengono poste in opera negli interventi di stabilizzazione di pendii in frana, o nelle applicazioni di bonifica ambientale, destinate sia per il trattamento di siti inquinati, sia quelli per la messa in sicurezza di siti inquinanti. Oppure nel caso di tubazioni aeree per il trasporto di fluidi di varia natura (impianti chimici, di condizionamento dell'aria, ecc.), che possono essere riabilitate con tecnologie di tipo No-Dig..

L'esigenza fondamentale a cui il No-Dig risponde è quella di limitare o eliminare gli effetti indesiderati che si legano alle manomissioni di superficie in genere (scavo a cielo aperto, demolizioni rivestimenti, ecc.).

Specie in abito urbano, dove del resto è concentrata la gran parte dei servizi interrati, l'apertura di scavi a cielo aperto, per l'effettuazione di interventi sulle reti interrato, genera sempre degli effetti negativi ed indesiderati su componenti sensibili dell'ambiente urbano, quali:

- le strade
- il traffico veicolare e pedonale
- l'ambiente acustico ed atmosferico
- le attività economiche e di residenza locali
- l'immagine della città.

Questi effetti vanno dalla perdita permanente dell'integrità del corpo stradale e di conseguenza della portanza e regolarità delle pavimentazioni, alla congestione del traffico veicolare, al disturbo ed al disagio delle persone, all'inquinamento acustico ed atmosferico, alla perdita di fatturato di esercizi commerciali e delle attività economiche in genere, che hanno sede laddove vengono aperti i cantieri, sino infine al decadimento dell'immagine della città nel suo complesso.

In determinati ambiti urbani, come ad esempio i centri storici, molti di questi effetti possono diventare del tutto incompatibili con la struttura, la funzionalità e le attività che caratterizzano quel dato centro.

Nello stesso modo, laddove sono concentrate attività o flussi (veicolari o pedonali) particolarmente intensi, certi effetti indesiderati possono diventare del tutto incompatibili con l'ambiente.

Un altro importante fattore che giustifica il ricorso alle tecnologie No-Dig, è la possibilità di eseguire interventi che con tecnologie tradizionali o non risulterebbero eseguibili del tutto, oppure comporterebbero oneri economici talmente rilevanti da rendere l'intervento stesso proibitivo.

Un esempio tipico è costituito dagli interventi di sostituzione di servizi interrati. Con tecnologia tradizionale sostituire una vecchia condotta equivale a fare una nuova installazione, ovvero: scavare a cielo aperto demolendo la vecchia tubazione, quindi posarne una nuova, fare i

rinterri e ripristinare. Con talune tecnologie No-Dig, dette appunto di sostituzione, è invece possibile fare tutto questo senza scavare e senza produrre detriti, con enormi vantaggi sia sul piano economico che su quello ambientale.

2. CLASSIFICAZIONE DELLE TECNOLOGIE NO-DIG.

Esistono diversi i criteri secondo i quali possono essere classificate le tecnologie No-Dig. Il criterio più utilizzato è senz'altro quello che classifica tali tecnologie in funzione dell'utilizzo alle quali ciascuna di esse è destinata.

Nella fig. 1 è riprodotta schematicamente questa classificazione. Questa classificazione prevede tre livelli.

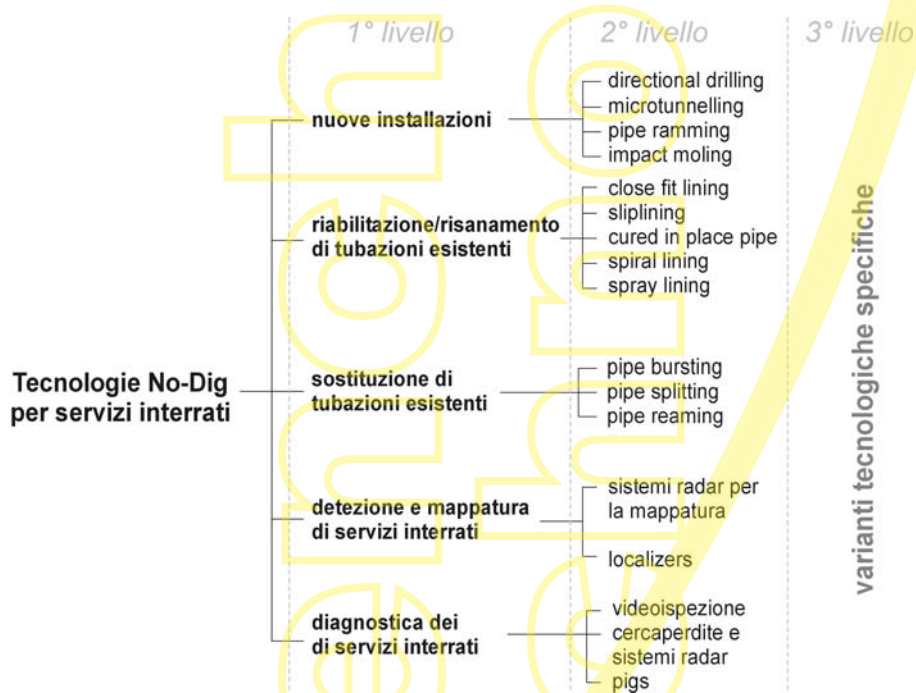


Figura 1 - classificazione delle Tecnologie No-Dig

Il primo è quello che distingue le tecnologie No-Dig in funzione dell'utilizzo alle quali ciascuna è destinata. Quindi vi è un secondo livello di classificazione in funzione della tipologia specifica di tecnologia utilizzabile per ciascun impiego, quindi un terzo livello, ancora più spinto che in ciascuna tecnologia specifica, distingue le varianti eventualmente esistenti (le così dette varianti tecnologiche specifiche).

3. TECNOLOGIE NO-DIG PER L'INSTALLAZIONE DI NUOVE TUBAZIONI (COSTRUZIONE)

Con nuova installazione si intende la posa ex novo di tubi e/o cavi nel sottosuolo, che vengono installati in posizioni in cui non sono presenti infrastrutture o tubazioni preesistenti.

Le principali tecnologie No-Dig destinate alle nuove installazioni sono le seguenti:

- directional drilling
- small bore tunnelling
- pipe ramming
- impact moling

3.1 DIRECTIONAL DRILLING.

Il Directional Drilling (DD) detto anche Perforazione Orizzontale Controllata o Horizontal Directional Drilling (HDD) e nota anche sotto altri nomi come Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) o Trivellazione Orizzontale Teleguidata (T.O.T.) o anche Perforazione Teleguidata o Perforazione Direzionale, è una tecnologia di perforazione con controllo attivo della traiettoria.

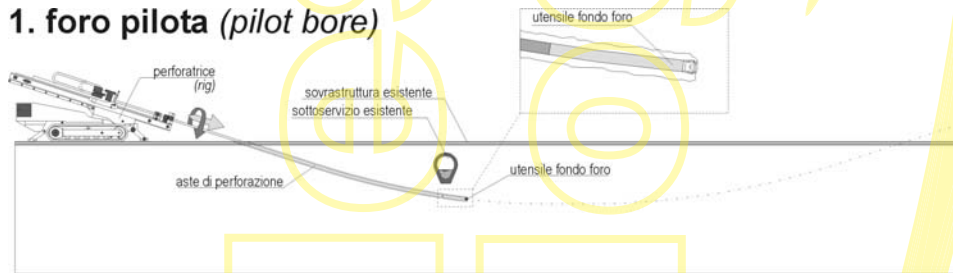
Il directional drilling viene realizzato impiegando speciali impianti di perforazione progettati e costruiti appositamente per quest'uso, in cui attraverso l'uso combinato di un sistema di guida e di utensili fondo foro direzionabili è possibile realizzare fori nel sottosuolo guidando la perforazione secondo percorsi prestabiliti contenenti anche curve plano-altimetriche.

Le tubazioni interrato installabili mediante directional drilling possono essere destinate ai più svariati impieghi, quali:

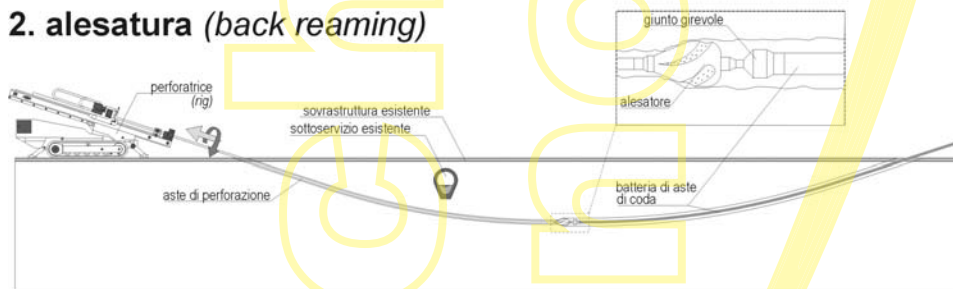
- cavidotti per telecomunicazioni
- condotte per il trasporto e la distribuzione dell'acqua
- condotte fognarie
- condotte per il trasporto e la distribuzione di gas ed olii combustibili
- cavidotti e cavi elettrici

- tubazioni per il teleriscaldamento
- tubazioni per drenaggi

1. foro pilota (*pilot bore*)



2. alesatura (*back reaming*)



3. tiro (*pullback*)

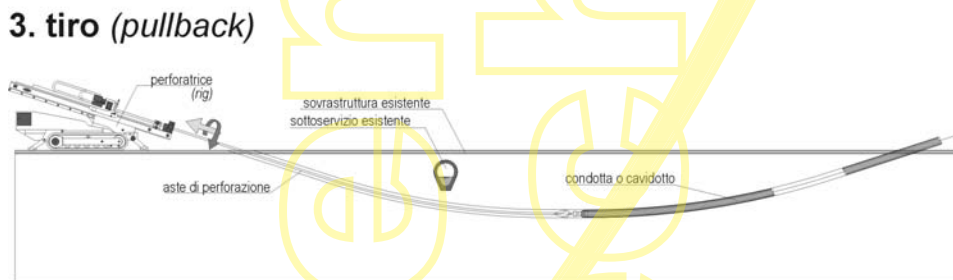


Figura 2 - schema esecutivo generale nel Directional Drilling

I materiali che più si prestano ad essere installati mediante directional drilling sono essenzialmente quelli duttili, e quindi polietilene (a bassa ed alta densità), acciaio e PVC.

Una caratteristica essenziale del directional drilling è quella di permettere di seguire lungo il tracciato curve plano-altimetriche con raggi di curvatura che, in funzione delle caratteristiche delle attrezzature usate, dei tubi da installare e del terreno presente in sito, possono raggiungere anche valori molto ridotti (15-20 metri).

Un altro vantaggio del directional drilling è la possibilità di operare sotto falda (o in sub-alveo come negli attraversamenti fluviali), anche a parecchi metri di profondità senza particolari problemi o limitazioni. Così come è possibile perforare e manovrare praticamente in tutti i tipi di terreni e litotipi esistenti..

Sotto l'aspetto della classe dimensionale oggi si va dalle grandi macchine adatte all'installazione di grandi tubazioni lungo tracciati di notevole lunghezza i così detti maxi-rig (i record attuali raggiungono i 4.000 metri di lunghezza ed i 1600 mm di diametro), sino alle micro perforatrici in grado di operare in spazi ristrettissimi ed in ambienti speciali (come ad esempio nei tunnel di metropolitana, o nelle intercapedini dei fabbricati per gli attraversamenti stradali).

I principali range dimensionali del directional drilling sono i seguenti:

- diametri installabili: da 50 a 600 mm (max 1.600 mm)
- lunghezze installabili: da 10 a 300 m (max 4.000 m)

Le varianti tecnologiche specifiche del directional drilling, sono principalmente legate al tipo di fluido di perforazione impiegato, ed alla capacità di perforare materiali anche molto duri.

In questo caso la principale sottoclassificazione delle varianti tecnologiche specifiche è quella che distingue in:

- directional drilling con fluidi in fase liquida (wet boring)
- directional drilling con fluidi in fase prevalentemente gassosa (dry boring o dry directional drilling)

Altre varianti tecnologiche specifiche caratterizzano parti dell'impianto di perforazione e riguardano quasi sempre il tipo di sistema di guida utilizzato. In questo caso pur lasciando invariata gran parte della tipologia d'impianto, cambierà in parte o in tutto l'architettura e la struttura della batteria fondo foro.

3.2 SMALL BORE TUNNELLING.

Si tratta di tecnologie mediante le quali è possibile realizzare e contemporaneamente installare per spinta o costruire durante l'avanzamento, una tubazione di medio/grande diametro (da 600 mm a 3.500 mm), avanzando nel terreno e contemporaneamente scavando a sezione piena un mini tunnel (small bore). Fino a poco tempo fa, facevano parte di questa categoria unicamente le

tecniche di pipe jacking (spingitubo) e microtunnelling (ovvero pipe jacking con sostentamento del fronte e smarino idraulico).

Una più moderna classificazione di queste tecniche deve necessariamente tenere conto anche di tecnologie che non appartengono né al pipe jacking né al microtunnelling.

È il caso ad esempio dello Small Bore Tunnelling o semplicemente SBT operato mediante teste motorizzate M-SBU (Motorized Small Boring Units) oppure dei mini tunnel costruiti mediante mini TBM (Tunnel Boring Machine) ovvero macchine di scavo meccanizzato a sezione piena di piccolo diametro (sino a 3,5 metri) con le quali il rivestimento del tunnel (se necessario) viene costruito in coda alla mini-TBM mano a mano che essa avanza nel terreno. Con questa particolare tecnica oggi è possibile costruire mini-tunnel con diametri variabili tra 1800 e 3500 mm e lunghezze a partire da 150 metri sino a qualche chilometro senza pozzi intermedi, come invece avviene nei sistemi per pipe jacking o per microtunnelling (in alcuni progetti sono stati raggiunti e superati i 9 chilometri di lunghezza senza).

Il che apre alla possibilità di realizzare progetti sino a ieri difficilmente realizzabili, come ad esempio l'attraversamento di intere montagne per la posa di condotte per l'acqua o per il gas, che sino a poco tempo fa potevano essere alloggiati solo in gallerie percorribili realizzate con metodi di avanzamento tradizionali.

Il pipe jacking è una tecnologia di installazione No-Dig nella quale si utilizzano teste fresanti o perforanti (scudo), limitatamente direzionabili, che vengono fatte avanzare nel terreno per spinta, a partire da un pozzo di partenza (detto per questo anche pozzo di spinta), sino a raggiungere un pozzo finale o intermedio detto pozzo di arrivo.

La forza necessaria all'avanzamento dello scudo viene fornita da una stazione o gruppo di spinta idraulico posizionato nel pozzo di spinta. Questo gruppo, rigidamente vincolato ad un muro di contropinta in cemento armato, generalmente è costituito da un complesso di due/quattro pistoni indipendenti posizionati secondo un quadrilatero e collegati allo scudo mediante un anello di ripartizione o distribuzione che permette un trasferimento distribuito delle forze concentrate sviluppate da ogni singolo pistone, lungo la circonferenza del microtunneller e dei successivi elementi interposti tra anello e scudo (conci della condotta).

Gli scudi possono essere di tipo:

- semplice
- stabilizzato
- direzionabile (motorizzati)

Negli scudi di tipo semplice, non è possibile nessuna correzione di direzione. In quelli stabilizzati è possibile controllare e mantenere una predeterminata inclinazione di perforazione (utile nelle installazioni di condotte fognarie a gravità), con gli scudi direzionabili è invece

possibile realizzare tracciati debolmente curvilinei (ovvero con raggi di curvatura molto ampi – nell'ordine delle centinaia di metri).

Nei sistemi mini-TBM la possibilità di direzionare il tracciato e quindi avere anche delle curve è ulteriormente migliorata.

Questo consente di ottenere delle precisioni nell'installazione, rispetto ai target prestabiliti lungo il tracciato, con tolleranze centimetriche, anche quando il percorso seguito si sviluppa per qualche centinaia o migliaia di metri. Questa estrema precisione, insieme alla possibilità di installare tubazioni anche di grande diametro (fino a 3,5 metri), è una delle caratteristiche principali delle tecniche di SBT.

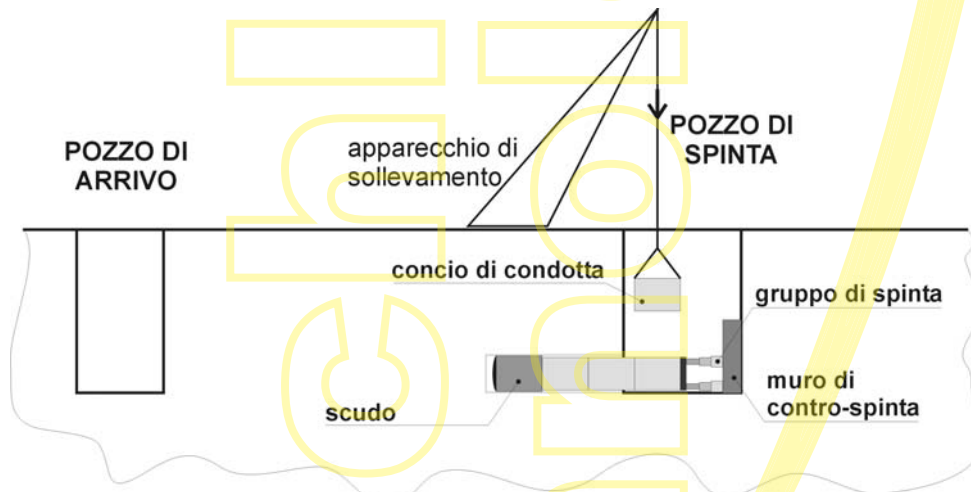


Figura 3 - SBT - schema generale del pipe jacking

Lo schema esecutivo tipico nel pipe jacking che viene utilizzato ad esempio per realizzare l'installazione di una condotta in unica tratta, prevede innanzitutto la realizzazione dei due pozzi (spinta ed arrivo). Partendo dal pozzo di spinta, lo scudo viene inserito completamente nel terreno. Quindi si ritraggono i pistoni di spinta con l'anello di distribuzione e si inserisce un primo concio di condotta che quindi strutturalmente viene ad essere interposto tra anello di distribuzione del gruppo di spinta e scudo, consentendo il trasferimento delle forze alla testa fresante. Quando anche il primo concio è completamente penetrato nel terreno, procedendo nello stesso modo, si aggiunge un secondo concio di condotta, e così via sino a che lo scudo non raggiunge il pozzo di arrivo. Quando lo scudo raggiunge il pozzo di arrivo fuoriuscendo completamente dal terreno, viene agganciato e tirato fuori terra. A quel punto l'installazione è sostanzialmente terminata.

Date le modalità esecutive appena descritte, con questa tecnica è possibile installare tubazioni di tipo rigido e quindi materiali come:

- calcestruzzo
- cemento armato
- materiali compositi fibro rinforzati
- acciaio

Non è invece possibile installare tubazioni in plastica.



Figura 4 - SBT – una Small Boring Unit motorizzata nel pozzo di partenza prima dell’inizio della perforazione (per gentile concessione della The Robbins Company – USA).

3.3 PIPE RAMMING.

Un’ulteriore tecnica di installazione di tipo No-Dig è il così detto pipe ramming, che letteralmente significa batti-tubo. Ed infatti il pipe ramming consiste sostanzialmente nell’infilaggio di tubi in acciaio nel terreno, per battitura.

È basato sull’impiego di unità percussive idrauliche o pneumatiche che vengono utilizzate per battere in testa spezzoni di tubo in acciaio.

Si tratta di una tecnica non direzionabile. Pertanto una volta stabilita la direzione di avanzamento, il tubo viene fatto scorrere su una slitta sufficientemente lunga, rispetto al diametro

del tubo da installare (da 5 a 10 volte il diametro), in modo da garantire un sufficiente rispetto della direzione pre-impostata.

In questo caso la testa del tubo funge anche da utensile di taglio. Se la tubazione da installare supera un certo diametro (150 mm), la testa del tubo viene lasciata aperta (infissione a fronte aperto) in modo da permettere al terreno di entrare all'interno del tubo, limitando così i dislocamenti di materiale e di conseguenza le sovrappressioni nel terreno e sulle sovrastrutture esistenti.

Le tubazioni in acciaio sono installate per spezzoni che vengono saldati testa a testa man mano che ciascun spezzone viene fatto penetrare completamente nel terreno.

Data l'impossibilità di controllare la traiettoria di avanzamento e poiché la gran parte della forza sviluppata dal percussore (rammer) viene assorbita dagli attriti molto intensi che si sviluppano al contatto tubo terreno, questa tecnica può essere impiegata per installazioni di ridotta lunghezza (sino a 30 m).

Le tubazioni installabili possono essere anche di diametro medio-grande (sino a 1200 mm).



Figura 5 - pipe ramming – attraversamento di una taxi way nell'aeroporto internazionale di Capodichino (Napoli) – per gentile concessione della I.CO.GE Srl (Napoli)

Un'altra limitazione riguarda i terreni attraversabili, che devono necessariamente essere omogenei di natura coesiva o granulare (purché di granulometria fine), oppure terreni granulometricamente stabilizzati. In questi terreni si riesce a raggiungere una buona precisione nella posa in opera.

Il vantaggio fondamentale che si lega all'utilizzo di questo tipo di tecnica (ed in particolare in quella a fronte aperto) è il ridotto disturbo che si arreca al terreno e alle sovrastrutture, in quanto il volume di terreno dislocato è pari (teoricamente) al volume delle sole pareti piene del tubo in acciaio (e pertanto trascurabile). Inoltre le leggere sovrappressioni che si generano a seguito dell'infissione, garantiscono che non si verifichino subsidenze della superficie sovrastante. Ecco perché questa tecnica ha trovato impiego prevalentemente negli attraversamenti dei corpi stradali e ferroviari e delle piste aeroportuali.

3.4 IMPACT MOLING

Nell'impact moling si utilizzano attrezzature piuttosto simili a quelle impiegate nel pipe ramming, con la differenza sostanziale che i percussori pneumatici o idraulici vengono inseriti e fatti viaggiare in testa, trainando una fune o una catena di tiro o direttamente il tubo da installare (che in questo caso è quasi sempre in materiale plastico). L'avanzamento avviene per inerzia. In pratica la massa battente del percussore (detto per questo motivo mole cioè "talpa") produce ad ogni colpo, che rilascia verso la testa del mole, un'energia sufficiente a produrne il movimento in avanti.

Naturalmente la testa del percussore è conformata in maniera da esaltarne la capacità di penetrare il terreno.

Poiché l'avanzamento avviene a fronte chiuso, il dislocamento del terreno è pari al volume del mole e del tubo in via di installazione. Pertanto i diametri installabili con questa tecnica sono piuttosto limitati (in genere non superano i 150 mm) così come limitate risultano le lunghezze percorribili (non oltre i 25 metri).

Anche in questo caso (come per il pipe ramming) è fondamentale che il terreno attraversato sia omogeneo e di natura coesiva (argille, limi) o sabbioso.

La precisione è limitata in quanto il mole può subire delle deviazioni dovute a locali disomogeneità del terreno. Recentemente sono stati sviluppati utensili limitatamente direzionabili, che potrebbero in futuro aiutare a superare il problema delle deviazioni accidentali dell'utensile.

Questa tecnica è molto semplice ed economica e può risultare estremamente vantaggiosa per la realizzazione di allacci utenza, in zone dove vi sia una scarsa presenza di sottoservizi preesistenti, o comunque in quei casi in cui le tolleranze nel raggiungimento di un prefissato punto di arrivo, possano essere anche piuttosto ampie.

4. TECNOLOGIE PER LA RIABILITAZIONE/RISANAMENTO DI TUBAZIONI ESISTENTI

Questo capitolo delle tecnologie No-Dig definisce quel complesso di metodiche che permettono di effettuare la riabilitazione funzionale di condotte esistenti senza dover ricorrere agli scavi a cielo aperto.

Si tratta di applicazioni particolarmente interessanti soprattutto nell'ambito fognario ed acquedottistico specie in un paese come l'Italia in cui queste reti, esistendo da molti anni, sono soggette ad un diffuso complesso di dissesti che rendono estremamente attuali ed urgenti gli interventi di riabilitazione o, come vedremo nel seguito, di sostituzione.

La riabilitazione No-Dig di condotte preesistenti copre anche il campo delle reti gas o per il trasporto di olii combustibili, così come le reti impiantistiche industriali.

Il quadro dei dissesti che può interessare una condotta interrata può essere estremamente vario.

Si va dai fenomeni tipici dovuti alla progressiva disgregazione del materiale di cui una condotta è costituita (per superamento della vita utile della stessa) come la formazione di fessurazioni, la vaiolatura, la formazione di falle, la distruzione dei rivestimenti; a fenomeni dovuti alle condizioni di esercizio, come le fessurazioni per superamento dei carichi ammissibili, oppure la formazione di depositi ed ostruzioni. Possono altresì verificarsi dei dissesti dovuti ad errori costruttivi o a scarsa qualità dei materiali impiegati, come spesso avviene quando si riscontrano perdite ai giunti anche a distanza di brevi periodi dal completamento dell'opera.

In generale, gli effetti di tali dissesti si manifestano nella perdita delle funzioni alle quali una condotta deve assolvere.

Queste funzioni possono essere diverse, ma dal punto di vista delle attività di riabilitazione, quelle che assumono particolare importanza sono le seguenti:

- a) portata (ovvero la capacità di garantire il trasporto di una prestabilita quantità di fluido nell'unità di tempo)
- b) impermeabilità (delle pareti della condotta)
- c) scabrezza (delle pareti interne)
- d) resistenza chimica (ovvero la capacità di resistere agli agenti aggressivi eventualmente presenti nei fluidi collettati)
- e) portanza strutturale (capacità di sopportare i carichi esterni ed interni)

Quando una condotta, a causa dei dissesti, perde una o più delle suddette funzioni, ne risulta compromesso l'esercizio del tronco di rete a cui quella specifica condotta appartiene.

Se si scarta l'idea di intervenire con tecnica tradizionale (scavo a cielo aperto) che in buona sostanza significa semplicemente ricostruire ex-novo la condotta ammalorata, la scelta del tipo di

intervento di riabilitazione No-Dig, dipende da considerazioni di carattere tecnico ed ovviamente economico.

Tra le tecnologie No-Dig destinate a questo particolare tipo di applicazioni, ne esistono alcune che permettono una riabilitazione funzionale totale ed altre che invece permettono anche una riabilitazione solo di alcune funzioni (e per questo parliamo di riabilitazione funzionale parziale).

Una classificazione può essere quella che distingue le tecnologie esistenti a seconda che esse prevedano:

- A. l'inserimento di una tubazione nuova entro quella esistente (che viene detta tubazione ospite oppure host pipe o semplicemente host)
- B. la formazione di un nuovo rivestimento direttamente entro la condotta esistente

Le tecnologie del gruppo A sono le seguenti:

A.1. close-fit lining

A.1.1. mediante swaged liners (nota anche come svage lining)

A.1.2. mediante folded liners

A.2. sliplining

Le tecnologie del gruppo B sono invece le seguenti:

B.1. Cured in place lining o CIPP (Cured in Place Pipe)

B.2.1. thermal /ambient cure

B.2.2. UV-lining

B.3. coating (principalmente Cement Mortar Lining - CML o Cementazione)

B.4. spiral lining (spirally wound lining)

Le tecnologie appena elencate (gruppo A e B) sono destinate in generale al risanamento di tronchi estesi di condotte interrato.

4.1 CLOSE FIT LINING.

Il close-fit lining prevede l'inserimento, secondo differenti modalità, di una nuova tubazione entro la condotta da risanare preventivamente pulita. La nuova tubazione è generalmente in polietilene ad alta densità (PEAD).

La caratteristica distintiva di questa tecnica è che la nuova tubazione, una volta inserita, va ad aderire perfettamente alle pareti interne della condotta da risanare (da qui la denominazione "close-fit", ovvero "aderente").

Questo può essere ottenuto, esecutivamente, in diversi modi quali ad esempio:

- **Swaged liners:** un tubo nuovo in materiale plastico, avente nello stato di fornitura un determinato diametro esterno iniziale, viene ridotto di diametro immediatamente prima dell'inserimento nella condotta da risanare oppure in stabilimento. Il tubo nuovo in tali condizioni viene tirato nella condotta da risanare (mediante opportuno cavo di trazione) e quindi una volta in posizione, riprende le dimensioni e la forma che possedeva originariamente mediante un'opportuna riformatura effettuata con il calore o con la pressione o con la combinazione di questi due fattori. Lo swage lining è applicabile a condotte con diametro variabile tra i 3" ed i 36" (75÷900 mm).
- **Folded liners:** come dice la parola stessa, si tratta di liner plastici ripiegati (folded) su se stessi. Questo genere di liners sono conosciuti anche come FFP – Fold and Formed Pipeliners. La più nota tecnologia di fold lining è lo U-lining, ed è chiamato in questa maniera per il fatto che il liner (originariamente di sezione circolare) viene ripiegato su se stesso a forma di "U" (o di "C") prima di essere inserito nell'host pipe. Una volta in posizione, si procede alla riformatura del liner o mediante sigillatura delle sezioni terminali e quindi messa in pressione, oppure inserendo all'interno del liner un'ogiva di espansione opportunamente riscaldata, collegata quindi ad un cavo di ritenzione e mossa dalla pressione che viene opportunamente applicata a monte. I materiali principalmente impiegati per la fabbricazione di folded liners sono: PE (polietilene), PE-X (polietilene cross-linked), PVC e PET (poliestere estruso).

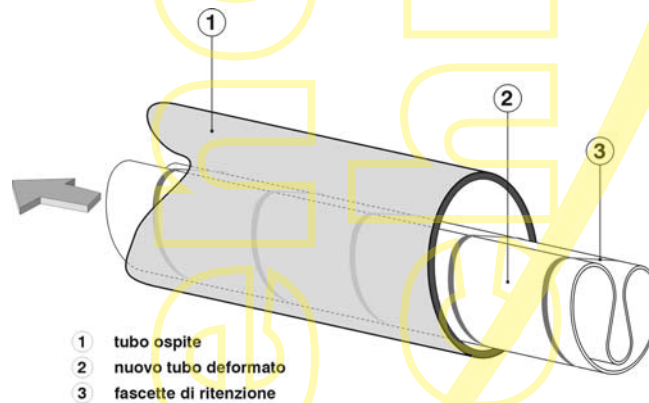


Figura 6 - Close-fit lining - schema di inserimento di un folded liner.

4.2 SLIPLINING.

Detta anche lose-fit lining (lose-fit = “non aderente”), si tratta di una delle metodologie No-Dig più elementari per il risanamento di condotte interrato. Consiste essenzialmente nell’inserire un tubo nuovo nella condotta da risanare (host pipe).

Il diametro esterno del tubo nuovo è leggermente inferiore di quello dell’host, e pertanto, se le condizioni geometriche sono opportune, l’inserimento avviene senza alcuna particolare difficoltà.

Il tubo nuovo può essere inserito nell’host o per spinta (dalla sezione di entrata) o per trazione e, almeno in linea di principio, può essere in qualsiasi materiale, anche rigido.

Prevalentemente si ricorre all’uso del PEAD, per questioni di rapidità d’uso e di flessibilità del materiale.

Recentemente grazie all’introduzione di nuovi materiali, come ad esempio i compositi armati in Kevlar[®], sono cresciute enormemente le performance e le possibilità applicative di questa tecnica specie nel rinnovamento delle tubazioni in pressione per acqua, gas, oli combustibili e carburanti. Parallelamente molti dei limiti tipici del tradizionale sliplining con PEAD, grazie all’introduzione dei compositi armati in Kevlar[®], sono stati del tutto superati, riportando questa tecnologia molto semplice e caratterizzata da grandi produttività, al centro dell’attenzione.

Con questo nuovo tipo di liner armati oggi è possibile rinnovare tubazioni sino a 500 mm di diametro e 20 bar di pressione di esercizio, con produzioni giornaliere, nel rinnovamento delle tubazioni, sino a 1.000 metri giorno. Il che si traduce in fermi impianto davvero esigui.

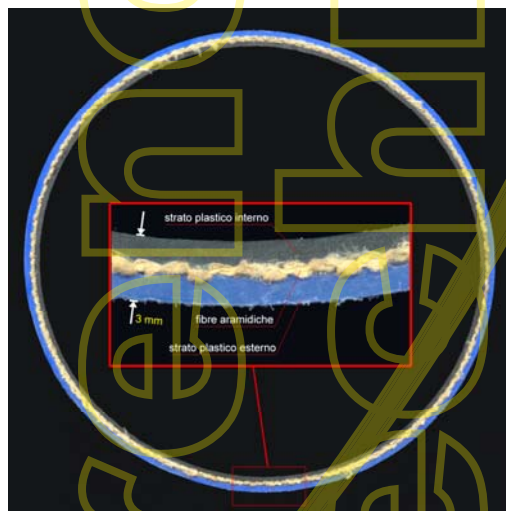


Figura 7 - Slip-lining - sezione di un liner in materiale composito armato in Kevlar[®].

4.3 CURED IN PLACE LINING O CIPP (CURED IN PLACE PIPE)

Si tratta probabilmente della famiglia di tecnologie No-Dig, per il risanamento delle condotte a gravità, più diffusa e sotto molti aspetti più flessibile ed efficace.

Come hanno dimostrato moltissimi test di invecchiamento precoce condotti in diversi studi sperimentali nonché le prove effettuate su liner installati con questa tecnica oltre trent'anni fa, il rivestimento che si costruisce mediante CIPP ha una durata in esercizio paragonabile a quella delle tubazioni nuove (50 anni) e caratteristiche idrauliche molto spesso migliori di quelle originarie del tubo ospite.

Il principio su cui si fonda il CIPP, noto anche come in-situ lining o anche soft lining, è assimilabile a quello visto per il fold lining, con la differenza sostanziale che il liner (che come vedremo oltre ad essere ripiegato è invertito durante il posizionamento) è costituito da una calza in feltro polimerico (quindi estremamente flessibile), opportunamente impregnato con resine che vengono fatte polimerizzare ad avvenuto posizionamento del liner nell'host, divenendo una parte integrante dell'host stesso e consentendo un recupero di tutte o di parte delle funzioni perse dall'host.

Un'altro peculiare vantaggio del CIPP, anche rispetto ad altre tecniche di riabilitazione di tipo No-Dig, è la possibilità di risanare (ovvero applicare il rivestimento) a condotte di forma non circolare (ovoidale, poligonale, ecc.), questo grazie alla caratteristica fondamentale che prima dell'indurimento il liner è flessibile e quindi durante il gonfiaggio nella condotta ospite può adattarsi perfettamente alla forma interna di questa.

Mediante CIPP è possibile riabilitare condotte di diametro variabile nel range 50-2500 mm, senza ricorrere a scavi a cielo aperto e con una produttività giornaliera del cantiere elevatissima se paragonata a quella ottenibile con tecniche tradizionali. Occorre infatti sottolineare che non solo con CIPP si va ad operare in genere dai pozzetti di ispezione, quindi senza alcuna escavazione o effrazione della superficie, ma che l'installazione anche di decine o centinaia di metri, può essere completata in poche ore, con enormi vantaggi sul piano dell'economia generale dell'opera.

Il CIPP trova applicazione principalmente nel recupero di condotte fognarie ed in generale di scarico.

Tuttavia, con lo sviluppo dei materiali (in special modo delle resine) il suo uso si è esteso al risanamento di condotte a bassa pressione anche destinate al trasporto di liquidi alimentari.

Molto del CIPP è basato sulla tecnologia delle resine che divengono per questo uno degli elementi caratterizzanti del processo, in quanto, in funzione del meccanismo secondo cui si attiva la loro polimerizzazione, cambieranno, anche sostanzialmente, sia le modalità operative, che le rese e le produttività.

Indipendentemente dalle tecnologie di dettaglio impiegate, di cui verranno esaminati nel seguito gli aspetti peculiari, il CIPP si articola in tre fasi essenziali:

- a) preparazione del liner (in sito o in stabilimento)
- b) posizionamento del liner nell'host (per inversione o per trazione)
- c) polimerizzazione della resina.

Naturalmente tali fasi sono precedute da quelle comuni, anche ad altre tecniche di risanamento, come l'ispezione e la pulitura dell'host, e sono quindi seguite dalle operazioni di riapertura e di sigillatura delle connessioni laterali.

La struttura fisica del liner è importante per quelle che saranno le caratteristiche fisiche dello strato di risanamento che si andrà a costruire con la polimerizzazione della resina.

A questo scopo si utilizzano feltri in poliestere eventualmente armati con fibra di vetro. Gli strati di feltro fungono da serbatoi di accumulo della resina. Una volta indurita questa formerà, insieme con gli strati impregnati di feltro ed eventualmente di fibra di vetro, un unico strato rigido, dotato di significative caratteristiche meccaniche (Il modulo di elasticità di un materiale composito come quello utilizzato nel CIPP varia tra 2.000 e 4.000 MPa, mentre la resistenza a trazione, varia dai 40 agli 80 MPa, a seconda della struttura del liner e della natura chimica della resina utilizzata).

Attraverso la formazione di questo nuovo strato aderente ed interno alla parete dell'host si può attuare un recupero funzionale parziale o totale.

Lo spessore al finito del liner è il risultato di un calcolo, standardizzato secondo la norma americana ASTM serie F 1216-03, che tiene conto delle condizioni nelle quali il rivestimento, una volta indurito, andrà a lavorare, e quindi, in ultima analisi, delle condizioni nelle quali si trova la condotta da risanare.

Lo strato più interno del liner (quello che sarà a contatto del fluido collettato dalla condotta) è costituito da feltro rivestito in poliuretano. La scabrezza di questo rivestimento interno è paragonabile a quella di tubi in PEAD o PVC (coefficienti di scabrezza di Gauckler-Strickler $c=120$).

Questo lato rivestito, se il liner viene posizionato nell'host per trazione, risulterà, durante questa fase, rivolto verso l'interno del liner. Se invece, come accade prevalentemente nel CIPP, il liner viene posizionato nell'host per inversione allora, questo lato rivestito, durante il posizionamento, risulterà esterno, anche se, data la tecnica di installazione, non verrà mai in contatto con le pareti dell'host pipe.

Di contro la faccia del liner propriamente in feltro, che dopo la preparazione sarà impregnata di resina, è quella che ad installazione avvenuta sarà a diretto contatto con la parete interna dell'host.

Il liner va' opportunamente impregnato con resina. Quest'operazione viene effettuata in stabilimento e più raramente direttamente in sito.

Per quanto riguarda le resine impiegate nel CIPP, queste possono appartenere a due grandi famiglie quali le epossidiche e le poliesteri (e tra queste una variante sono le resine vinilesteri). Si tratta in entrambi i casi di resine termoidurenti, ovvero di sostanze per le quali le fasi di formatura dei manufatti sono irreversibili (a differenza di quanto invece accade con resine termoplastiche, come il PE, che possono essere rilavorate previo riscaldamento o riplasticizzazione).

Risulta difficile definire, sotto l'aspetto delle prestazioni, una suddivisione netta tra le due famiglie di resine. Per entrambe l'indurimento (ovvero la polimerizzazione) ha luogo dopo l'aggiunta di opportuni catalizzatori che per azione del calore o di particolari attivatori, detti acceleratori, si decompongono dando origine al fenomeno.



Figura 9 - Cured In Place Pipe - Risanamento di un collettore di età romana, Pavia ottobre 2007 – prima e dopo l'applicazione del liner (per gentile concessione della IN.TE.CO. Srl – Vimercate MI).

4.3.1 Thermal – Ambient cure.

Questa tecnologia prevede che la polimerizzazione sia accelerata dal calore o da opportuni acceleratori o da entrambi in combinazione (come nelle tecnologie più recenti). Ricorrendo al calore (thermal cure) per l'inversione verrà utilizzata generalmente acqua calda. La pressione necessaria all'inversione del liner (circa 0.5 bar) viene ottenuta mediante il montaggio di una torre riempita con acqua (il che significa che al variare della profondità dell'host la torre potrà avere un'altezza variabile tra 0 e 4,0 metri, considerando una profondità minima di interrimento dell'host di almeno un metro).

Oltre alla pressione statica, viene generato, con un'opportuna pompa di pescaggio, un ricircolo dell'acqua calda al fine di controllare in maniera precisa lo scambio termico.

L'inversione può essere operata anche con miscela aria-vapore surriscaldato. In questo caso la torre viene sostituita da un compressore che immette la miscela in pressione direttamente nel magazzino del liner che assume una forma differente rispetto a quello impiegato con acqua.

L'aria può essere anche non riscaldata, ed in questo caso parliamo più propriamente di *ambient cure*. Non impiegando il calore nella formulazione delle resine si ricorrerà ad un impiego più massiccio di opportuni acceleratori come il naftenato o l'ottoato di cobalto, ammine terziarie, mercaptani, ecc, riducendo o eliminando l'uso di inibitori. Si tratta di metodiche utilizzate nelle sempre più rare operazioni che prevedono l'impregnazione in sito.

A seconda del tipo di resina e delle condizioni ambientali, quali temperatura ed umidità, la polimerizzazione può richiedere un tempo variabile da poche ore a un giorno. Trascorso questo tempo il processo di indurimento della resina è completato, e si può procedere alle operazioni di riapertura e sigillatura delle connessioni laterali.

4.3.2 UV-Lining.

Il core di questa tecnologia risiede nella formulazione di uno speciale tipo di resina la cui polimerizzazione è accelerata dall'esposizione ai raggi UV. A differenza dell'accelerazione mediante calore, quella con raggi UV è molto più rapida.

In questo caso si opera con liners preimpregati in stabilimento che opportunamente conservati (anche a temperature medie ~20 °C) e protetti dall'esposizione ai raggi UV (come quelli della luce solare) possono essere impiegati anche diverse settimane dopo il loro confezionamento.

Il posizionamento di questi liners avviene per trazione, ed in genere si utilizzano tessuti in fibra di vetro o tessuti misti fibra di vetro-feltro poliestere.

In tal caso un opportuno packer precede un treno lampade UV, opportunamente dimensionato.

La velocità con la quale il treno lampade deve avanzare perché la resina polimerizzi può essere anche nell'ordine di 1 m/minuto. Il che significa che l'indurimento di un liner per una tratta

ordinaria (da pozzetto a pozzetto e quindi di circa 50 m di lunghezza) può essere completato in meno di un'ora (e ciò costituisce sicuramente l'elemento più sorprendente di questa tecnologia).

Di contro, il limite attuale di questa tecnologia è nelle dimensioni massime di liner trattabili che in genere non eccede i 300-400 mm, a differenza di quanto è invece possibile fare con i sistemi di inversione e polimerizzazione ad acqua con i quali si possono trattare anche condotte di diametro notevole (oltre i 1500 mm). Inoltre è possibile trattare solo tubi a sezione circolare, ed il processo nel suo complesso non risulta essere ancora sufficientemente industrializzato e standardizzato.

4.4 COATING.

Il coating è una tecnologia molto semplificata basata sull'impiego di speciali unità entro-tubo dotate di spruzzatori in grado di nebulizzare e quindi applicare appositi grout (come nel Cement Mortar Lining - Cementazione) oppure resine epossidiche (come nello epoxy lining) alle pareti interne delle condotte da risanare.

Il coating non è adatto per il risanamento di condotte che presentano dislocamenti delle pareti, mentre risulta essere una soluzione efficace ed economica, specie la cementazione, nei casi in cui il trattamento abbia il solo scopo di proteggere le pareti dalla corrosione o dalla formazione di scorie o per la chiusura di lesioni e di fori di dimensione sino a $1/10 - 1/8$ del diametro del tubo.

Questi metodi sono utilizzati prevalentemente per il trattamento di condotte in pressione per l'acqua potabile e per il trasporto degli olii combustibili.

L'impianto base prevede un'unità di miscelazione e di pompaggio del grout ed un applicatore a spray autocentrante.

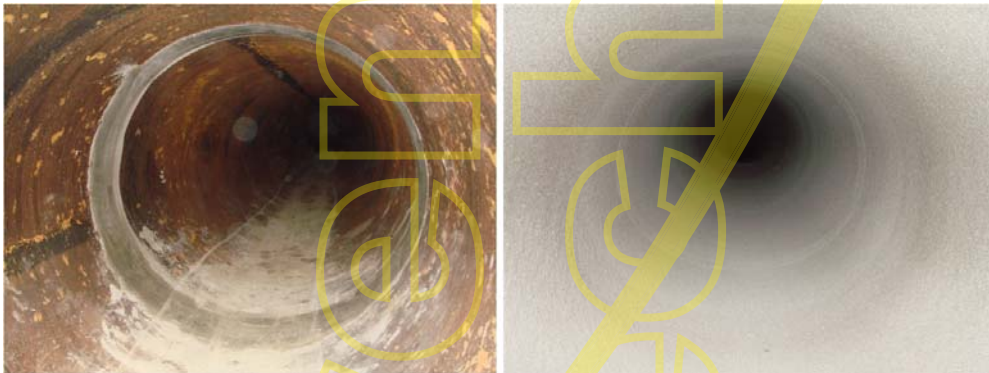


Figura 10 - Cement Mortar Lining (Cementazione) - Risanamento di un'adduttrice in acciaio da 1200 mm di diametro, Milano Agosto 2007 – prima e dopo l'esecuzione del trattamento (per gentile concessione della Risanamento Condotte Srl – MILANO).

4.5 SPIRAL LINING.

Lo spiral lining consiste nell'inserimento o nell'applicazione, nell'host pipe, di un nuovo tubo formato a partire da un nastro di materiale plastico opportunamente sagomato.

Nelle condotte praticabili questo nastro viene applicato manualmente alle pareti dell'host, ed in questo caso si parla più propriamente di spirally wound lining.

Lo spirally wound lining può essere impiegato per il risanamento di condotte a gravità (fognature) anche di dimensioni ragguardevoli (~3000 m di diametro) e aventi forme anche poligonali.

Certamente interessante è una tecnica di spiral lining che consente di formare il nuovo tubo (per questo ancora chiamato liner), ponendo una speciale attrezzatura entro un pozzetto di ispezione della condotta da risanare, a partire dal quale il liner viene formato, e man mano che il nastro viene riavvolto a formare il liner, questo avanza dentro l'host.

Questo consente di intervenire dalla superficie con spazi di occupazione molto ridotti.

Questa tecnica incontra tuttavia gli stessi limiti dello sliplining, in quanto perché sia possibile procedere nell'avanzamento del liner è necessario che l'host non presenti dislocamenti o deformazioni rilevanti delle pareti, pena una riduzione di sezione che può essere anche piuttosto sensibile.

5. TECNOLOGIE PER LA SOSTITUZIONE DI TUBAZIONI ESISTENTI

Le tecnologie No-Dig destinate alla sostituzione di condotte interrato, prevedono che la sostituzione della tubazione esistente avvenga sequenzialmente ad un'operazione di demolizione.

Si tratta di operazioni destinate alla sostituzione di condotte esistenti (idriche, fognarie, del gas, ecc.), con tubazioni nuove, che in genere presentano un diametro superiore o al limite uguale a quello della condotta da sostituire.

L'operazione complessiva di demolizione e sostituzione, viene detta tecnicamente relining sostitutivo.

Esistono differenti tecnologie No-Dig per il relining sostitutivo, alcune delle quali tra loro equivalenti, quanto a tipologie di condotte sostituibili, altre invece destinate alla sostituzione di tipologie particolari di condotte.

Mediante relining sostitutivo è possibile procedere alla demolizione e quindi alla sostituzione di condotte costruite con vari materiali, sia metallici, che lapidei che plastici.

La scelta tra le differenti tecnologie sostitutive esistenti, deve basarsi sulle caratteristiche del materiale da demolire e di quelle dell'ambiente d'inserimento, dalla profondità di posa e dalle caratteristiche delle sovrastrutture di superficie presenti (pavimentazioni).

Le diverse tecnologie di sostituzione oggi disponibili sono:

- 1) pipe bursting (o berstlining)
- 2) pipe splitting
- 3) pipe reaming

5.1 PIPE BURSTING.

La tecnologia del pipe bursting (letteralmente "esplosione del tubo") nota anche come berstlining, è forse la tecnologia per relining sostitutivo più nota ed utilizzata nel mondo.

Con delle varianti tecnologiche il pipe bursting presenta uno schema esecutivo generale che prevede le seguenti fasi:

- 1) apertura di due sezioni di accesso alla condotta da sostituire (si tratta in genere o di pozzetti di servizio preesistenti - tecnologie totalmente No-Dig - oppure di buche di servizio appositamente scavate atte ad accogliere gli utensili entro-tubo e le curve di deviazione dei tubi nuovi);
- 2) inserimento, nella condotta da sostituire, di un elemento per il tiro (cavo, catena o batteria di aste piene);
- 3) collegamento all'estremità libera dell'elemento per il tiro di una testa che può essere di tipo dirompente, tagliente o ad espansione variabile;
- 4) collegamento in coda alla testa di un eventuale utensile percussivo (pipe bursting a percussione);
- 5) collegamento in coda alla testa di un opportuno apparecchio di aggancio e traino per la tubazione nuova;
- 6) messa in trazione del treno entro-tubo (mediante argano esterno o tira-aste idraulica da pozzetto)
- 7) esecuzione del pipe bursting vero e proprio (ovvero avanzamento della testa con demolizione del tubo preesistente ed inserimento del nuovo).

Se invece di un argano esterno si utilizza un'unità idraulica tira aste da pozzetto, questa sarà alloggiata all'interno di una buca di servizio opportunamente realizzata.

Con questa tecnologia è possibile sostituire i tubi preesistenti sia con tubi in PEAD saldati testa a testa fuori terra, che con tubi in PVC o PEAD assemblati in conci. In genere i tubi in PEAD assemblati fuori terra trovano largo impiego nella sostituzione di condotte in pressione destinate sia alla distribuzione di gas che a quella dell'acqua, ed in generale dei fluidi per i quali il PEAD manifesti un comportamento stabile. I tubi in PEAD possono essere utilmente impiegati anche per la sostituzione di condotte a gravità.

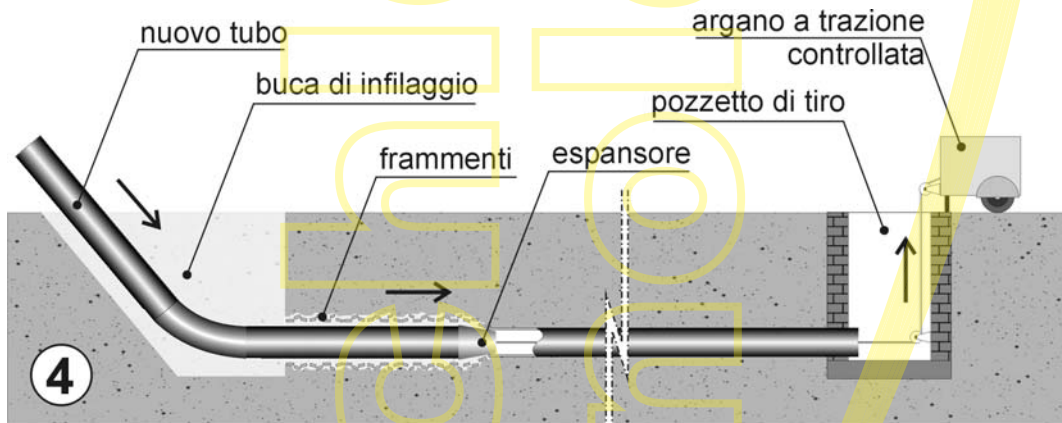


Figura 11 - Pipe Bursting – schema esecutivo generale.

In particolare si dovrà considerare con particolare cautela l'uso del pipe bursting tutte le volte che risultano verificate una o più delle condizioni seguenti:

- a) forti incrementi di diametro (> 2 volte)
- b) bassi ricoprimenti (< 70 cm)
- c) vicinanza o incrocio con altri servizi interrati (distanza inferiore a 3 volte il diametro dell'espansore)
- d) terreni poco compressibili
- e) applicazioni superficiali in presenza di pavimentazioni fragili.

Quanto ai diametri sostituibili con pipe bursting a percussione, esiste certamente un limite inferiore che è quello dei 50 mm interni, comune un po' a tutte le tecniche di pipe bursting, e

legato essenzialmente alla possibilità di inserire, entro la condotta da sostituire, l'elemento per il traino (cavo, catena o aste). In casi particolari questo limite può scendere a 40 mm.

Per quanto riguarda invece il limite superiore, per il pipe bursting a percussione, sono state sostituite condotte con diametro sino a 28" (711 mm). Ed oggi, negli USA, si sperimenta, con questa metodologia, la sostituzione di condotte sino a 1500 mm di diametro.

5.2 PIPE SPLITTING

La tecnologia del pipe splitting (letteralmente "taglio in due del tubo") è molto simile, sia per quanto riguarda le fasi di lavorazione, che la composizione dell'impianto di cantiere, al pipe bursting, con la differenza sostanziale che invece di espansori dirompenti, si impiegano speciali teste taglianti, denominate splitter, dotate di lame affilate, capaci di tagliare con facilità tubi in materiale duttile.

Ed infatti questa tecnologia trova impiego per la sostituzione di materiali quali l'acciaio, il ferro dolce, la ghisa malleabile (duttile), le materie plastiche ed il cemento-amianto (asbesto-cemento).

Non essendovi alcuna frantumazione della condotta preesistente, che viene quindi semplicemente aperta lungo una o più generatrici, è necessario che i lembi tagliati della condotta preesistente vengano allontanati sia per creare lo spazio necessario ad alloggiare il nuovo tubo, che viene tirato contemporaneamente al taglio della vecchia condotta, sia per evitare che i lembi taglianti della vecchia condotta, possano danneggiare la nuova.

Per questo motivo gli splitters sono composti da almeno tre sezioni:

- una sezione di taglio contenente una o più lame
- una sezione di espansione, per deformare o dislocare il tubo preesistente tagliato, in modo da allontanare i lembi del taglio
- una sezione di aggancio del tubo nuovo.

Mediante pipe splitting è possibile sostituire tubazioni con diametri variabili tra i 2" ed i 12" (50-300 mm) con velocità sino a 2 metri/min, e tratte lunghe sino a 150 m.

5.3 PIPE REAMING

La tecnologia del pipe reaming (letteralmente alesatura del tubo) si basa sull'impiego di perforatrici (rig) da directional drilling (perforazione orizzontale controllata) mediante le quali si procede, partendo fuori terra, direttamente dalla superficie, o da pozzetti di lancio appositamente scavati, ed in certi casi direttamente dai pozzetti di servizio preesistenti, al lancio pilota, entro la condotta da sostituire, di una batteria di aste di perforazione.

Una volta raggiunto il punto di arrivo, che può essere collocato entro un pozzetto di servizio oppure entro una buca appositamente scavata, o ancora fuori terra direttamente sulla superficie, si aggancia, all'estremità libera della batteria di aste, un alesatore di diametro adeguato alla condotta da installare, in sostituzione a quella preesistente.

Terminato il montaggio dell'alesatore e del treno di tiro, si procede al tiro ed all'alesatura.

Questa viene operata mettendo in rotazione la batteria di aste e con questa l'alesatore. Man mano che la batteria di aste viene tirata verso la sezione di partenza (punto di lancio), ove è collocata la perforatrice, il vecchio tubo viene distrutto dall'azione dell'alesatore e contemporaneamente viene creato un cunicolo di diametro leggermente maggiore a quello del tubo da installare, che simultaneamente viene tirato dietro l'alesatore.

Stante le capacità operative del directional drilling, mediante pipe reaming è possibile procedere alla sostituzione di condotte costruite essenzialmente con materiali lapidei (muratura, calcestruzzo, c.a., grés, cemento amianto, ecc.).

Il suo uso non è indicato in presenza di tubazioni di tipo metallico o plastico.

I range dimensionali sono piuttosto ampi, sia in termini di diametri sostituibili (sino a 1000 mm di diametro) sia in termini di lunghezza massima delle singole tratte (oltre i 500 m). Le produttività possono variare in un range compreso tra i 6 ed i 25 metri/ora.

Osserviamo infine che in presenza di elevati valori delle forze di attrito, al contatto tubo nuovo terreno, è possibile procedere, contemporaneamente all'alesatura, anche all'iniezione di fanghi bentonitici o di sostanze schiumogene lubrificanti.



Figura 12 - Pipe reaming – schema generale.

6. CONCLUSIONI.

A conclusione di questa breve panoramica sulle tecnologie No-Dig, possiamo certamente dire che la tecnologia mette oggi a disposizione dei tecnici, delle imprese, dei gestori di rete e degli amministratori del territorio nuovi strumenti per abbattere drasticamente gli effetti degli scavi a cielo aperto tradizionalmente utilizzati in tutte le attività esecutive che riguardano le reti interrato. Queste tecnologie, ormai ampiamente sperimentate ed utilizzate in altri paesi, attendono una concreta diffusione anche in Italia, con enormi e benefiche ricadute tecniche ed economiche non solo sulla collettività, ma anche sui gestori di rete e sulle imprese.

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Testi di approfondimento

- Renzo Chirulli – “**Progetto No-Dig**” – Vol.1-5, - Ed. La Fiaccola – Milano - 2005/2007
- Mohammad Najafi – “**Trenchless Technology**” – McGraw-Hill, New York, USA – 2005

Pubblicazioni specialistiche

- Renzo Chirulli - "**Tecnologie No-Dig ed Internazionalizzazione dell'Offerta d'Impresa**" - Confservizi - Giornata dei Servizi Pubblici Locali - Convegno "Internazionalizzazione delle Local Utilities - Sistemi d'impresa e tecnologie d'eccellenza" - 8 Maggio 2003 - Palazzo dei Giureconsulti - Milano, Italia
- Renzo Chirulli - "**Valutazione dei costi comparati delle diverse tecniche di scavo e posa di tubazioni in rapporto al No-Dig**" - FEDERGASACQUA - SEMINARIO SPECIALIZZATO: "Utilizzo delle tecniche no-dig per la messa in opera di servizi a rete" - Bologna, SAIE 2003 – 16 Ottobre 2003
- Renzo Chirulli - "**Tecnologie innovative a basso impatto ambientale per l'installazione, il risanamento e la sostituzione di reti idriche e fognarie: Il No-Dig**" - Convegno MERCATO DELL'ACQUA - Istituto Internazionale di Ricerca - Milano 13 Novembre 2003
- Renzo Chirulli – “**Risanamento di Condotte Interrate**” - Le Strade – n.1-2, Gennaio-Febbraio 2005 – Casa Editrice La Fiaccola S.r.l – Milano
- Renzo Chirulli – “**Le peculiarità del Microtunnelling**” - Le Strade – n. 3, Marzo 2005 – Casa Editrice La Fiaccola S.r.l – Milano



GEOLOGIA URBANA DI MILANO
PALAZZO DELLE STELLINE - 15 NOVEMBRE 2007, MILANO

-
- Renzo Chirulli – “**Directional Drilling – la tecnologia e le applicazioni 1ª parte**” – n. 4, Aprile 2005 – Casa Editrice La Fiaccola S.r.l – Milano
 - Renzo Chirulli – “**Directional Drilling – la tecnologia e le applicazioni 2ª parte**” – n. 5, Maggio 2005 – Casa Editrice La Fiaccola S.r.l – Milano
 - Renzo Chirulli – “**No-Dig e reti idriche interrato**” – n. 10, Ottobre 2005 - Le Strade – Casa Editrice La Fiaccola S.r.l – Milano
 - Renzo Chirulli – “**Sotterriamoli!**” – n. 1, Gennaio 2006 – Le Strade - Casa Editrice La Fiaccola S.r.l – Milano