

TECNOLOGIE NO-DIG: LA SOSTITUZIONE SENZA SCAVI A CIELO APERTO DELLE TUBAZIONI INTERRATE

RENZO CHIRULLI *

SOMMARIO

In molti casi la riabilitazione di una tubazione esistente non è un'opzione praticabile, o perché il dissesto è oltremodo spinto oppure perché il condotto risulta di sezione insufficiente rispetto alle mutate esigenze dell'esercizio. In tutti questi casi si può valutare l'opportunità di procedere ad una sostituzione della tubazione operando in modalità no-dig (senza o con un limitato ricorso agli scavi a cielo aperto). In questa lezione vengono descritte le principali tecnologie di sostituzione. Il testo e le immagini che seguono sono tratte dal "Manuale di Tecnologie No-Dig" (edizioni Nodig.it – Maggio 2011).

1. INTRODUZIONE.

La sostituzione senza scavo a cielo aperto di tubazioni interrato costituisce uno dei capitoli sicuramente più innovativi di tutto il no-dig. L'innovazione sta nel fatto che con tecniche sostitutive di tipo no-dig è possibile, senza dover scavare a cielo aperto, demolire una tubazione esistente installandone contemporaneamente una nuova, che può avere un diametro maggiore della tubazione preesistente.

Con tecnologie tradizionali, sia che si debba installare, riabilitare o sostituire una tubazione interrato, l'operazione che si compie è sempre la medesima: si scava a cielo aperto, quindi si installa, si riabilita o si sostituisce e infine si rinterra ed eventualmente si ripristina la sovrastruttura che è stata demolita.

Le tecniche di sostituzione (*replacement methods*) contribuiscono in modo sostanziale ad ampliare uno scenario del tutto innovativo ed interessante nel campo dei servizi interrati in quanto rendono concretamente possibile ed economicamente vantaggioso il riuso di volumi di sottosuolo occupati da tubazioni spesso abbandonate e non risanabili, abbattendo drasticamente tutte le interferenze e gli impatti ambientali che invece deriverebbero dall'utilizzo di tecniche sostitutive di tipo tradizionale.

* esperto in tecnologie trenchless – Amministratore Unico di nodig.it Srl – rchirulli@nodig.it

Ciò che differenzia sostanzialmente le tecniche sostitutive dalle tecniche riabilitative è la possibilità di sostituire una tubazione esistente con una nuova tubazione avente un diametro uguale o maggiore.

Uno dei limiti delle tecniche riabilitative, benché con alcune di esse sia possibile un recupero funzionale totale, è l'impossibilità fisica di ottenere un diametro interno del tubo ospite identico o maggiore di quello originario. Inoltre esistono casi in cui le funzioni della tubazione esistente sono talmente compromesse da non poter essere in alcun modo riabilitate. In questi casi le tecniche sostitutive possono offrire un'ulteriore possibilità di intervenire senza scavo a cielo aperto.

Come vedremo in questo capitolo esistono tecniche con le quali è possibile sostituire tubazioni costruite con i più svariati materiali, come ad esempio tubazioni metalliche (acciaio, ghisa), tubazioni in materiale plastico (polietilene, PVC), tubazioni cementizie (cemento-amianto, calcestruzzo), tubazioni in laterizio.

Le tecniche sostitutive costituiscono un'alternativa estremamente economica e competitiva, per la sostituzione di tubazioni interrato, rispetto a tutte le altre tecniche oggi disponibili, incluse quelle che richiedono lo scavo a cielo aperto. Questo aspetto ne ha favorito un'ampia diffusione in molti paesi come ad esempio gli Stati Uniti, l'Inghilterra e la Germania. Per questo motivo la gran parte dei produttori di attrezzature e materiali destinati alla sostituzione senza scavo a cielo aperto provengono da questi paesi ed è sempre in questi paesi che si concentrano i moltissimi casi applicativi a cui oggi possiamo fare riferimento.

Secondo la classificazione adottata sinora, le tecnologie di sostituzione possono essere distinte in tre gruppi fondamentali:

- tecnologie di sostituzione per frantumazione: *pipe bursting*;
- tecnologie di sostituzione per taglio: *pipe splitting*;
- tecnologie di sostituzione per alesatura: *pipe reaming* e *pipe eating*.

Questi tre diversi gruppi si distinguono in funzione del meccanismo utilizzato per la demolizione della tubazione esistente.

In realtà le tecniche sostitutive per frantumazione e per taglio oltre ad avere in comune l'intero schema esecutivo, hanno in comune anche le attrezzature principali, con esclusione degli utensili adoperati per demolire il tubo esistente, che nelle tecniche di frantumazione è costituito da un espansore conico o tronco-piramidale, mentre nelle tecniche per taglio è costituito essenzialmente da una batteria di lame seguita da un divaricatore.

1.1 TECNOLOGIE DI SOSTITUZIONE PER FRANTUMAZIONE - PIPE BURSTING.

Nel primo gruppo di tecnologie sostitutive (*pipe bursting*¹), la demolizione del tubo esistente avviene per frantumazione. I materiali che possono essere frantumati sono quelli fragili e questo costituisce il naturale ambito di applicazione delle tecniche di *pipe bursting* propriamente detto.

I principali materiali che possono essere sostituiti con *pipe bursting* sono quindi:

- gres
- ghisa
- calcestruzzo
- cemento-amianto

La caratteristica comune dei tubi costruiti con questi materiali e che sottoposti a un'azione di tipo percussivo, oppure a un'espansione meccanica del diametro, tendono a frantumarsi in piccoli frammenti. Da questa caratteristica deriva il nome inglese di questa tecnica *pipe bursting* che significa appunto *esplosione del tubo*, in italiano un termine che potrebbe sostituire quello inglese è tecniche **spaccatubo** per il *pipe bursting* e tecniche **tagliatubo** per il *pipe splitting*.

Le tecnologie di *pipe bursting* più conosciute e diffuse, sono essenzialmente due:

- *pipe bursting* di tipo **statico**, nel quale si utilizzano semplici coni o cunei di espansione detti espansori;
- *pipe bursting* di tipo **dinamico**, nel quale si utilizzano utensili di tipo percussivo, alimentati ad aria (pneumatici) o a liquido (idraulici)

A queste due tecnologie principali se ne aggiunge una terza molto meno diffusa, sebbene abbia diverse caratteristiche di interesse: il *pipe bursting* con **espansori idraulici**.

1.1.1 Fasi esecutive.

Nel *pipe bursting* lo schema esecutivo tipo non cambia passando da quello statico a quello dinamico, o con espansori idraulici, così come non cambia rispetto alle tecniche di *pipe splitting*.

Pertanto lo schema che illustriamo qui di seguito costituisce un riferimento generale al quale nel seguito si rimanderà costantemente.

Non tutte le fasi di lavoro nelle quali questo schema generale si articola ricorrono in tutti i casi applicativi reali; l'opportunità di eseguire tutte o solo parte delle fasi di seguito indicate, andrà valutata caso per caso, in funzione della rilevanza che la mancata esecuzione di una di queste fasi potrebbe avere sull'esito dell'intera installazione.

¹ In particolar modo in Germania il termine più utilizzato per indicare queste tecniche è *berstlining*.

Le fasi di lavoro nelle quali si articola lo schema generale del *pipe bursting* sono le seguenti:

- videoispezione pre-esecutiva;
- pulizia della tubazione da sostituire, finalizzata unicamente alla rimozione di ostruzioni che potrebbero ostacolare il passaggio degli apparecchi di tiro²;
- scavo della buca di tiro (sezione di partenza) o preparazione di eventuale pozzetto esistente;
- scavo della buca di infilaggio nella nuova tubazione (sezione di arrivo) o preparazione di eventuale pozzetto esistente;
- posizionamento delle macchine di tiro (argano a trazione controllata o macchina tira aste);
- infilaggio degli elementi di tiro (cavo di trazione, catena oppure batteria di aste di trazione) dalla partenza verso l'arrivo;
- montaggio dell'utensile di frantumazione con espansore (o di taglio con divaricatore se trattasi di *pipe splitting*) all'estremità dell'elemento di tiro nella sezione di arrivo;
- aggancio della nuova tubazione all'utensile di frantumazione (o di taglio);
- fase di trazione con la frantumazione (o il taglio) della tubazione preesistente e contemporaneo tiro della nuova tubazione;
- termine della fase di trazione, con lo smontaggio di tutti gli apparecchi di tiro e dell'utensile di frantumazione (o di taglio), rinterro delle buche e ripristino delle eventuali sovrastrutture demolite.

Come già detto non tutte le fasi appena elencate ricorrono in tutti i casi applicativi, oppure ricorrono con talune varianti. Se ad esempio la videoispezione della tubazione da sostituire non rivela la presenza di ostruzioni è evidente che la pulizia non si rende necessaria. Sempre a titolo di esempio, se l'infilaggio degli elementi di tiro lungo la tubazione da sostituire, può avvenire attraverso un pozzetto di ispezione dell'impianto sul quale si sta operando, può non essere necessario lo scavo di una buca di tiro. Più raramente può non rendersi necessario lo scavo della buca di infilaggio della nuova tubazione.

Un'altra considerazione riguarda le macchine di tiro, che nel *pipe bursting*, così come nel *pipe splitting*, possono essere costituite da semplici unità idrauliche tira-aste sino ad arrivare a complessi argani a trazione controllata (argani a cabestani) utilizzati soprattutto nel *pipe bursting* dinamico.

Riguardo i materiali installabili mediante tecniche di *pipe bursting* e di *pipe splitting* possono essere installati tutti i materiali giuntabili mediante saldatura testa a testa oppure giunti resistenti alla trazione. Sono pertanto installabili tubazioni in PEAD, PVC, PP, acciaio e ghisa.

² Nelle tecniche di sostituzione poiché la tubazione esistente viene distrutta, non è necessario procedere a lavorazioni preparatorie, come la pulizia preliminare, accurate come avviene per le tecniche riabilitative.

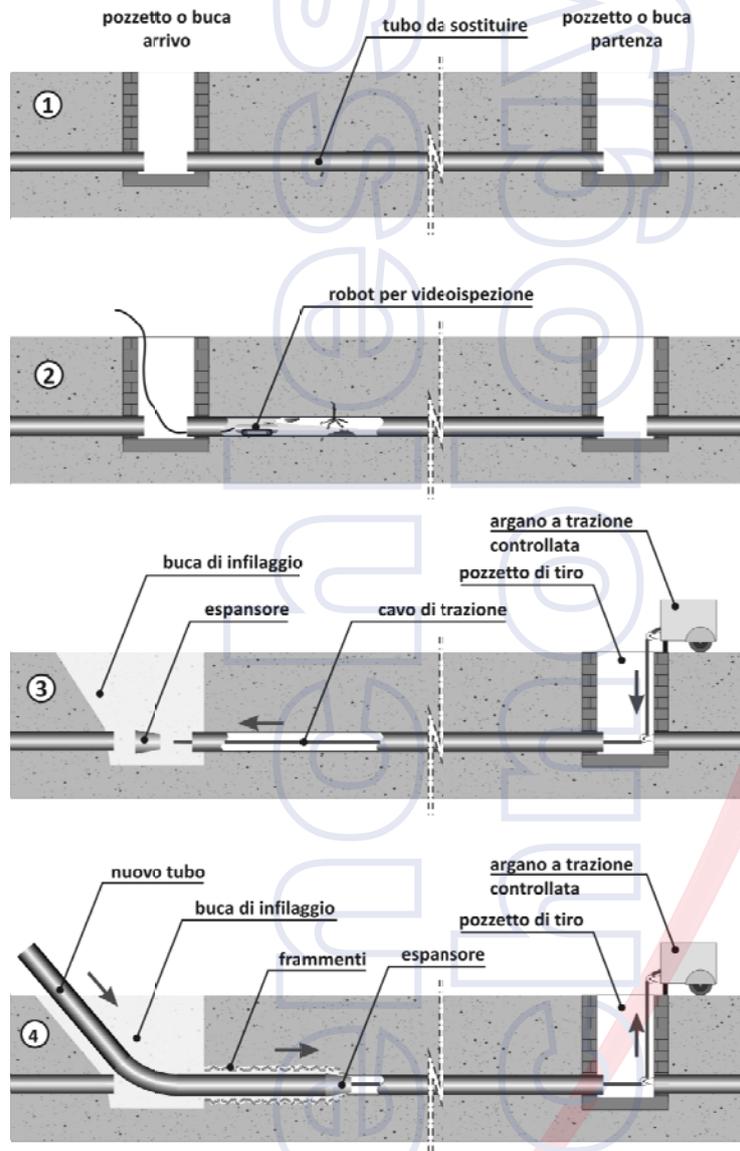


FIGURA 1 - fasi operative del pipe bursting (pipe splitting): 1) sezionamento tronco da sostituire; 2) videoispezione ed eventuale pulizia; 3) infilaggio elemento di tiro; 4) tiro della testa dirompente (tagliante) e del nuovo tubo.

1.1.2 Pipe bursting statico.

Il *pipe bursting* statico si basa sulla frantumazione del tubo esistente ottenuta per superamento della massima tensione membranale circonferenziale (*circumferential membranial stress*) che il materiale di cui è costituito il tubo può sopportare.

Per innescare questo meccanismo di rottura si utilizza un espansore tronco-conico la cui funzione principale è quella di decomporre la forza di tiro V , esercitata sull'espansore da un elemento di trazione (cavo, catena o batteria di aste), in forze applicate radialmente al tubo stesso (per i dettagli del calcolo si rimanda al "Manuale di Tecnologie No-Dig" dal quale è tratta la presente memoria)

Le formule illustrate nel testo permettono di calcolare la forza di tiro occorrente per la rottura del tubo in condizioni non confinate (ovvero senza terreno attorno) e confinate (ovvero tenendo conto del contributo alla resistenza offerto dal terreno di rinfianco) permettendo così di effettuare il predimensionamento iniziale dell'attrezzatura di *pipe bursting* occorrente per una determinata applicazione.

Utilizzando *pipe bursting* statico con espansore conico, nel caso di materiali resistenti alla trazione come la ghisa, risulterebbero necessari valori di forza di tiro notevoli per frantumare una tubazione di dimensioni relativamente piccole.

Se consideriamo che le macchine per il *pipe bursting* statico di maggiore dimensione, oggi in commercio, hanno forze di tiro massime che difficilmente superano i 3.500 kN, si comprende facilmente perché, per la frantumazione di materiali ad elevata resistenza alla trazione come le ghise, la forma degli espansori, che per materiali lapidei è solitamente quella di un tronco di cono, debba cambiare diventando ad esempio tronco-piramidale a spigoli vivi o tronco-conico con lame.

Negli espansori tronco-piramidali, all'effetto di pressione radiale tipica degli espansori tronco-conici si aggiunge un meccanismo di rottura per taglio che si origina in corrispondenza dei contatti tra spigoli vivi e tubazione, dove si raggiungono pressioni di contatto molto elevate con superamento delle tensioni massime di rottura per taglio del materiale.

In questo caso, sebbene i materiali in questione presentino scarsa o nulla duttilità, al contatto tra spigolo vivo e tubazione, si innescano delle fratture che si propagano radialmente portando alla rottura del materiale molto prima che si raggiunga la tensione massima di trazione.

L'analisi tensionale risulta in tal caso più semplice se affrontata con metodi numerici (tipo il calcolo agli elementi finiti – FEM) anche se un simile approccio, benché molto utile se la finalità è la progettazione delle attrezzature, è decisamente poco pratico se la finalità è il progetto di una sostituzione di tipo *no-dig*.

L'evoluzione di questi sistemi ha portato comunque negli ultimi anni a preferire, agli espansori tronco-piramidali, i sistemi di sostituzione per taglio (*pipe splitting*) tipicamente utilizzati in presenza di materiali duttili, oppure a preferire l'utilizzo di sistemi di *pipe bursting* di tipo dinamico (percussivo) e più raramente con espansori idraulici.

Un altro aspetto che non abbiamo ancora affrontato e che caratterizza le tecniche di sostituzione, riguarda la possibilità di installare, al posto della tubazione da sostituire, un tubo avente un diametro maggiore di quello preesistente. Perché ciò sia possibile devono essere verificate due condizioni:

- che il terreno nell'intorno del tubo preesistente presenti una sufficiente compressibilità;
- che nelle vicinanze della tubazione da sostituire non siano presenti altri sottoservizi e che non possano verificarsi effetti di superficie.

Sulla base dell'esperienza comune maturata in questi anni in molte applicazioni di *pipe bursting*, possiamo certamente dire che nella maggior parte dei casi un incremento del diametro pari al 30% è quasi sempre possibile. In condizioni particolarmente favorevoli (assenza di effetti di superficie e sufficiente distanziamento rispetto a sottoservizi preesistenti) l'incremento di diametro arriva a superare anche il 50%. Sono tuttavia documentati casi applicativi in cui l'incremento di diametro ha superato il 100%.

Quanto alla velocità di avanzamento dell'espansore nel *pipe bursting* statico questa può variare tra 0,5 ed 1,5 m/min.

1.1.3 Gli effetti sulla superficie e sui sottoservizi preesistenti.

Le operazioni di *pipe bursting* possono determinare effetti di superficie ed effetti sui sottoservizi preesistenti. Entrambi questi fenomeni trovano origine nel dislocamento dei frammenti del tubo frantumato e del terreno circostante ad esso che viene determinato dal passaggio dell'espansore. Vediamo più nel dettaglio in cosa consistono questi fenomeni.

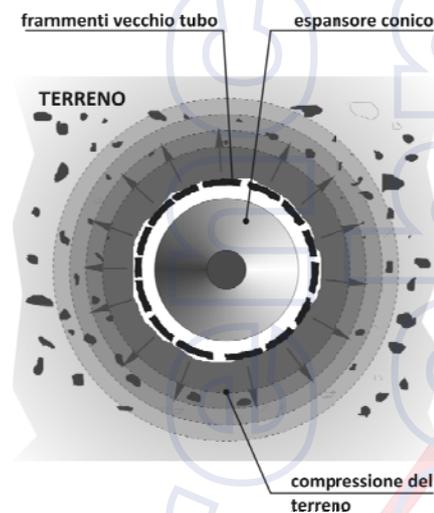


FIGURA 2 - l'avanzamento dell'espansore determina, oltre alla frantumazione del tubo, anche il dislocamento dei frammenti e del terreno che subisce una compressione.

1.1.3.1 Effetti di superficie.

Durante l'operazione di frantumazione del tubo, ed in particolar modo quando l'incremento di diametro nella sostituzione è significativo, il dislocamento radiale del materiale frantumato, con conseguente compressione del terreno presente nell'intorno nel vecchio tubo, può propagarsi fino a raggiungere la superficie del terreno.

In determinate condizioni ciò può dare origine ad un incremento dello stato tensionale a livello della superficie, con formazione di fessurazioni e sollevamento della superficie stessa: il così detto fenomeno del *bumping*. Nel caso sia presente una sovrastruttura (ad esempio una pavimentazione stradale) se l'incremento dello stato tensionale supera la resistenza a trazione del materiale con cui è costruita la sovrastruttura, si verifica anche in questo caso la formazione di fessurazioni con *bumping* della superficie.

Il *bumping* si manifesta come un sollevamento della superficie del terreno simmetrico rispetto all'asse del tubo. Questa simmetria può essere disturbata dalla presenza di significative anisotropie del terreno o dalla presenza di elementi rigidi sotterranei paralleli alla tubazione da sostituire (come ad esempio fondazioni, muri, gallerie, ecc.).

Sebbene lo stato tensionale indotto dall'espansore, nell'immediato intorno del tubo preesistente, sia assialsimmetrico, le deformazioni non sono in generale assialsimmetriche (a meno che tutta l'operazione non venga condotta a profondità elevata).

Operando a bassa profondità infatti il fenomeno deformativo avviene in un semispazio (il sottosuolo) spiccatamente anisotropo. Oltre alle possibili stratificazioni litologiche, vi è da mettere in conto il naturale aumento con la profondità delle tensioni verticali litostatiche, che ha effetto sullo stato di compressione del terreno stesso; in questo caso le deformazioni tenderanno ad essere maggiori in direzione della superficie e più contenute nelle altre direzioni, e tali differenze saranno tanto più apprezzabili quanto più ci si avvicina alla superficie del terreno.

Le condizioni che concorrono al manifestarsi degli effetti di superficie sono principalmente:
insufficiente profondità alla quale è posto il tubo da sostituire;
elevato grado di compattazione del terreno che circonda il tubo preesistente (bassa compressibilità);
eccessivo l'incremento di diametro tra tubazione nuova e tubazione preesistente.

Per evitare o rendere trascurabili gli effetti di superficie è utile applicare alcuni criteri di pratica esecutiva (*good practice*) che derivano dall'esperienza condotta su migliaia di installazioni eseguite in tutto il mondo.

Il principale criterio riguarda il ricoprimento minimo del tubo da sostituire (ovvero la sua profondità) ed il grado di compattazione del terreno. L'esperienza ha dimostrato che generalmente non si verificano apprezzabili effetti di superficie (nell'ipotesi di un incremento di diametro massimo pari al 30%), se il tubo da sostituire si trova ad una profondità minima variabile tra 5 a 7

volte il diametro dell'espansore. Questa variabilità dipende principalmente dal grado di compattazione del terreno che circonda il vecchio tubo.

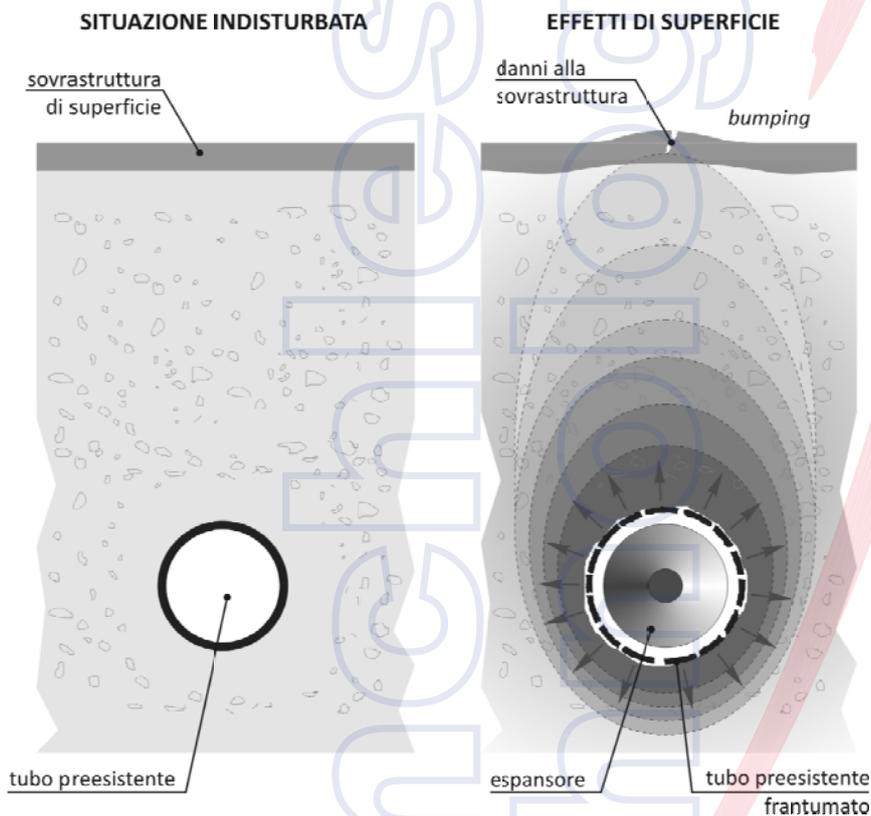


FIGURA 3 - effetti di superficie: a sinistra, la situazione preesistente con il terreno indisturbato; a destra, lo stato tensionale assialsimmetrico, prodotto dal passaggio dell'espansore, determina deformazioni nel terreno che possono non essere assialsimmetriche. I maggiori dislocamenti si manifestano in direzione della superficie del terreno dove possono verificarsi fenomeni di bumping.

Adotteremo quindi un ricoprimento pari a 5 volte il diametro dell'espansore in presenza di terreni poco compattati, mentre occorrerà adottare un valore minimo di ricoprimento pari a 7 volte il diametro dell'espansore, quando questo grado di compattazione è elevato.

Un terreno può essere considerato poco compattato quando la percentuale della massima densità a secco, determinata secondo il metodo di prova D 698 o AASHTO T-99 (prova Proctor), è inferiore all'80%; è invece da considerare molto compattato quando questa percentuale supera il

95%. Per i dettagli sul metodo di prova Proctor si rimanda alle norme di riferimento ed ai molti testi specifici sull'argomento.

A titolo di esempio: una tubazione nuova pari a 150 mm di diametro, potrà andare a sostituire una tubazione preesistente avente un diametro non inferiore a 110 mm, utilizzando un espansore da 200 mm e senza apprezzabili effetti di superficie, se posta ad una profondità variabile tra 1,0 ed 1,4 metri. Mentre una tubazione nuova da 300 mm di diametro, potrà andare a sostituire una tubazione preesistente avente un diametro non inferiore a 220 mm utilizzando un espansore da 400 mm e senza apprezzabili effetti di superficie, se posta ad una profondità variabile tra 2,0 e 2,8 metri.

I parametri appena esposti sono conservativi ed essendo del tutto generali non vanno assunti in modo rigido in quanto i fattori che possono contribuire a rendere più o meno importanti gli effetti di superficie possono variare in modo assai significativo da caso a caso.

Inoltre la tipologia di sovrastruttura esistente gioca un ruolo notevole nella comparsa di eventuali effetti di superficie. È evidente che a parità di altre condizioni (diametro del nuovo tubo, percentuale di incremento del diametro, diametro dell'espansore, grado di compattazione del terreno e profondità del tubo) gli effetti di superficie in presenza ad esempio di una pavimentazione in cemento armato, potrebbero essere del tutto assenti, risultando al contrario rilevanti in presenza di una pavimentazione flessibile di ridotto spessore (come ad esempio le pavimentazioni tipiche delle strade urbane secondarie).

Di fatto nel caso di progetti estesi, quando i limiti cautelativi prima indicati non possono essere rispettati è sempre consigliabile procedere all'esecuzione di campi prova, prima di escludere o avallare il ricorso al *pipe bursting*.

1.1.3.2 Effetti sui sottoservizi preesistenti.

Le operazioni di *pipe bursting* possono indurre degli effetti indesiderati anche su altri sottoservizi preesistenti posti nelle vicinanze della tubazione da sostituire.

A meno che l'operazione di sostituzione non venga condotta ad elevata profondità, in generale subiranno effetti più significativi, a parità di distanziamento, quei sottoservizi che si sviluppano nel volume compreso tra la tubazione da sostituire e la superficie del terreno.

Inoltre gli effetti potranno avere un carattere transitorio o permanente a seconda che il sottoservizio interessato si sviluppi rispettivamente: parallelamente oppure ortogonalmente alla tubazione da sostituire. Questi due andamenti (parallelo e ortogonale) rappresentano le configurazioni geometriche limite tra le quali possiamo avere molteplici andamenti con caratteristiche intermedie.

Quando si esegue un intervento di *pipe bursting* in vicinanza ad un altro sottoservizio che corre parallelamente al tubo in via di sostituzione si verificano in generale delle distorsioni che avranno generalmente un carattere temporaneo.

In 0è illustrato schematicamente l'effetto che il dislocamento di frammenti e terreno ha su un sottoservizio parallelo. La distorsione conseguente al dislocamento ha una durata limitata nel tempo, in quanto man mano che l'espansore procede attraverso il tubo da sostituire il dislocamento si propaga lungo l'asse del tubo. L'effetto di questa distorsione dinamica sarà diverso a seconda della natura del sottoservizio interessato.

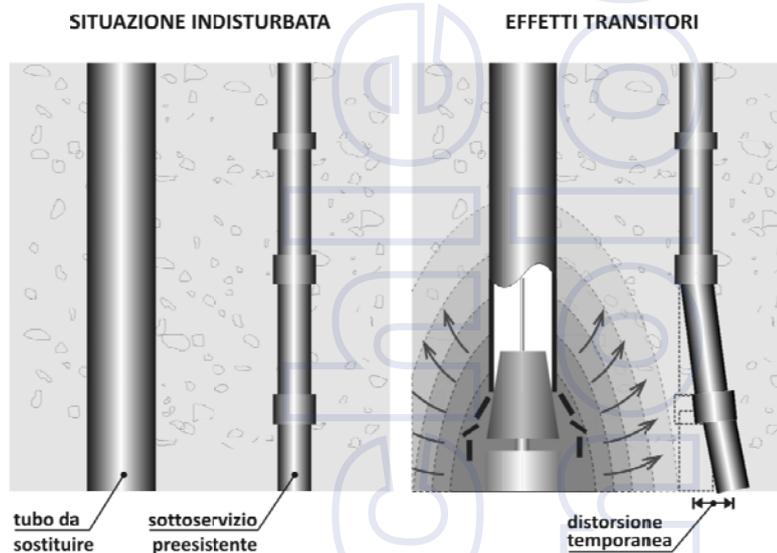


FIGURA 4 - interferenza con sottoservizio parallelo: a sinistra, situazione indisturbata; a destra, effetto transitorio (distorsione temporanea) indotto dal passaggio dell'espansore.

Nel caso in cui il sottoservizio preesistente si sviluppi ortogonalmente all'asse del tubo da sostituire, la distorsione indotta dal dislocamento di frammenti e terreno non sarà temporanea bensì permanente e localizzata come mostrato in fig. 5.

In entrambi i casi (distorsione temporanea o permanente) se il sottoservizio è costituito da un cavo flessibile l'effetto della distorsione, in termini tensionali, sarà trascurabile; al contrario se il sottoservizio è costituito ad esempio da una tubazione in materiale fragile con giunti rigidi (cemento amianto, ghisa grigia) è assai probabile che anche in presenza di piccole distorsioni si potranno avere stati tensionali incompatibili con il materiale, che di conseguenza si romperà.

Anche in questo caso più che complicati modelli di calcolo, peraltro inficiati nei risultati finali dalle necessarie approssimazioni e semplificazioni iniziali del modello (elasticità ed isotropia del

terreno, infinità del mezzo nelle tre dimensioni, ecc.) risultano di ausilio dei criteri di buona pratica costruttiva derivanti dall'esperienza.

Molti autori concordano sul fatto che gli effetti del dislocamento di frammenti e terreno su sottoservizi preesistenti possano essere considerati trascurabili qualora la distanza minima tra le superfici esterne del tubo da sostituire e del sottoservizio, sia maggiore di:

- 2 ÷ 3 volte il diametro dell'espansore, quando il sottoservizio preesistente corre al di sotto o a lato del tubo da sostituire;
- 3 ÷ 4 volte il diametro dell'espansore, quando il sottoservizio preesistente è posto nello strato di ricoprimento della tubazione da sostituire.

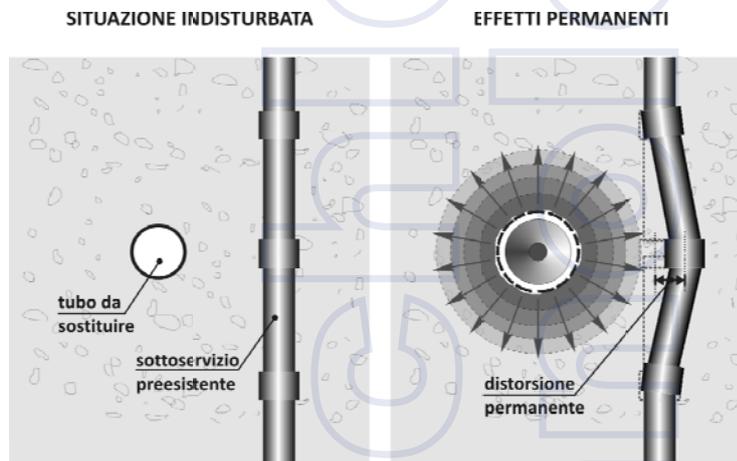


FIGURA 5 - interferenza con sottoservizio ortogonale: a sinistra, situazione indisturbata; a destra, effetto transitorio (distorsione temporanea) indotto dal passaggio dell'espansore.

Come visto per gli effetti di superficie, i valori più bassi del distanziamento possono essere assunti in presenza di terreni poco compattati, mentre i valori più alti vanno cautelativamente assunti in presenza di terreni molto compattati o qualora il sottoservizio preesistente sia costruito con materiali fragili.

I distanziamenti minimi appena indicati vanno raddoppiati qualora il sottoservizio preesistente è costituito da:

- tubi gas a media-alta pressione
- elettrodotti ad alta tensione
- grandi adduttrici idriche (con diametro maggiore di 400 mm)

A conclusione di questo paragrafo risulta quindi utile riassumere in una tabella i valori suggeriti per i distanziamenti minimi di sicurezza al variare del grado di compattazione del terreno e della natura e posizione degli eventuali sottoservizi preesistenti.

TAB. I distanziamenti di sicurezza minimi

grado di compattazione del terreno (prova Proctor)	ricoprimento minimo	distanziamento minimo da altri sottoservizi		
		sottoservizio laterale o sottoposto	sottoservizio nello strato di ricoprimento	sottoservizio critico (media-alta pressione gas, elettrodotti alta tensione, grandi adduttrici idriche)
< 80%	5 De	2 De	3 De	6 De
> 95%	7 De	3 De	4 De	8 De

De = diametro dell'espansore



FIGURA 6 - pipe bursting statico: entrata dell'espansore nel tubo ospite (per gentile concessione di Volta Macchine Srl e TRACTO-TECHNIK GmbH & Co. KG.)



FIGURA 7 - pipe bursting statico: macchina tira aste con snakes (per gentile concessione di Volta Macchine Srl e TRACTO-TECHNIK GmbH & Co. KG.)

1.1.4 Pipe bursting dinamico

Il limite della frantumazione statica è proprio nell'entità delle forze di tiro necessarie quando si affronta la sostituzione di tubazioni di grande diametro ed elevato spessore, costruite con materiali dotati di elevata resistenza alla trazione.

L'elevata resistenza alla trazione si accompagna in molti materiali ad una bassa resilienza (ovvero bassa resistenza agli urti) e quindi ad un'elevata fragilità.

I materiali fragili si frantumano facilmente se soggetti ad azioni di tipo impulsivo (urto o percussione). Il vetro ad esempio, che è un materiale tipicamente fragile, presenta una resistenza alla trazione estremamente elevata, tuttavia si rompe facilmente quando sottoposto ad urto.

Sulla base di questo concetto è stato sviluppato il *pipe bursting* dinamico.

Nel *pipe bursting* dinamico la frantumazione del tubo avviene grazie all'azione percussiva esercitata da un opportuno utensile fondo foro solidale all'espansore.

Questo utensile, chiamato *mole* o *ram* ma che in italiano possiamo chiamare semplicemente percussore, è lo stesso tipo di macchina impiegata nell'*impact moling* e nel *pipe ramming*.

Si tratta pertanto di una macchina pneumatica (più raramente idraulica) nella quale un pistone metallico si muove liberamente all'interno di una camicia valvolata trasformando l'energia di pressione dell'aria compressa che alimenta il percussore, in energia d'urto che il pistone scarica ad ogni fine corsa contro la parete di battuta.

Questa parete di battuta è solidale con il corpo dell'espansore che a sua volta è a stretto contatto con il tubo da frantumare, in modo tale che l'energia d'urto del pistone venga trasferita ad ogni colpo al tubo, che così viene frantumato per urto.

L'azione percussiva, addirittura controproducente dei materiali duttili poiché può produrre un effetto di incrudimento a freddo che ne incrementa la resistenza, si rivela particolarmente efficace in tubazioni costruite con materiali fragili consentendo una drastica riduzione delle forze di trazione occorrenti per la demolizione del tubo.

In materiali come la ghisa grigia e la ghisa sferoidale, per i quali si hanno carichi unitari di rottura anche elevatissimi (sino a 800 N/mm² per la ghisa GS800-2), risultano molto bassi sia gli allungamenti percentuali a rottura (< 2%) sia la resilienza (KCU < 15 J); questo si traduce in una minore resistenza agli urti.

L'espansore nel *pipe bursting* dinamico può essere a singolo stadio (come nel *pipe bursting* statico) oppure a doppio stadio; gli stadi sono generalmente così suddivisi:

- un primo stadio, in diretto contatto con il tubo, è destinato essenzialmente alla frantumazione di quest'ultimo. Pertanto il primo stadio può assumere anche una forma a tagliente o a cuneo e più propriamente viene chiamata *testa dirompente*;
- un secondo stadio, del tutto simile agli espansori tronco conici del *pipe bursting* statico, ha la funzione di dislocare e compattare i frammenti ed il terreno.

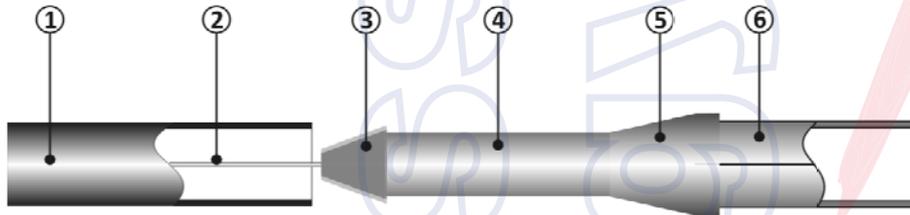


FIGURA 8 - schema di sistema da pipe bursting dinamico: 1) tubazione da sostituire; 2) cavo di trazione; 3) espansore 1° stadio; 4) percussore; 5) espansore 2° stadio; 6) nuova tubazione.

Il percussore presenta in genere un diametro inferiore a quello delle tubazioni da sostituire e da installare e ciò ne permette un agevole recupero a fine installazione, per tiro a ritroso attraverso in nuovo tubo, specie quando si opera attraverso pozzetti di ispezione preesistenti, anziché attraverso buche di servizio appositamente scavate.

Rispetto ad un impianto di *pipe bursting* statico, quello di tipo dinamico presenta in più un apposito compressore per la produzione di aria compressa. I tubi dell'aria per l'alimentazione del percussore, passano internamente alla nuova tubazione.

La macchina di tiro come già visto, diventa un'unità fuori terra (l'organo a trazione controllata), con forze di tiro molto più contenute (da 8 a 10 volte più basse) rispetto ai tiri sviluppati dalle macchine tira aste.

Nel *pipe bursting* dinamico la maggiore compattezza del cantiere (grazie alla possibilità operare direttamente da pozzetti preesistenti, evitando così lo scavo di una buca di tiro) insieme con la riduzione delle forze di tiro occorrenti ed alla maggiore efficacia specie in presenza di materiali fragili dotati di elevata resistenza a trazione, hanno favorito lo sviluppo e la diffusione di questa tecnologia.

I percussori oggi disponibili sul mercato coprono un *range* dimensionale molto ampio, con diametro della camicia del percussore variabile tra i 90 ed gli 800 mm (4"-32"). Per quanto riguarda i distanziamenti minimi di sicurezza, anche per il *pipe bursting* dinamico si consiglia di rispettare i valori indicati nella TAB. I.

Il *pipe bursting*, ed in particolare quello dinamico, può essere utilizzato con successo per la sostituzione di quasi tutti i materiali impiegati per costruire condotte interrato. Fanno eccezione certamente l'acciaio ed i materiali duttili in generale, per i quali risultano essere più efficaci le metodologie di *pipe splitting* che esamineremo nel seguito.

Quanto al range di diametri sostituibili con *pipe bursting* dinamico, che è certamente quello più ampio, esiste un limite inferiore che è quello dei 50 mm interni, comune un po' a tutte le tecniche di *pipe bursting*, 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 inferiore può scendere a 40 mm.

Per quanto riguarda invece il limite superiore, per il *pipe bursting* dinamico, esso è attualmente intorno a circa 60 pollici (1.524 mm di diametro).

Con riferimento ai diametri dei percussori più frequentemente utilizzati, che ricadono nel range dimensionale che va dai 2 ai 10 pollici (50-250 mm), i modelli attualmente in commercio richiedono una portata d'aria compressa che va dai 2 ai 7 mc/min a 5-7 bar di pressione; la frequenza di battuta può variare dai 200 ai 600 colpi/min, mentre la velocità di avanzamento varia da 0.2 a 1 m/min.

La capacità di tiro degli argani è invece contenuta tra le 2 e le 20 t, ma nel range dimensionale più frequente (50-250 mm), si ricorre ad argani con capacità massima di tiro non superiore a 5 t.

A titolo d'esempio, la sostituzione di una condotta da 28 pollici (711 mm) richiede l'uso di un percussore da 18 pollici di diametro (457 mm), alimentato con 35 mc/min di aria. L'argano in questo caso deve avere una capacità di tiro di almeno 20 t, e la velocità di avanzamento può oscillare tra 0,1 e 0,9 metri al minuto.

1.1.5 Pipe bursting con espansori idraulici.

In questo tipo di *pipe bursting* si fa uso di speciali espansori idraulici ad apertura variabile in cui, alla superficie conica tipica di un espansore statico, si sostituiscono alette o petali mobili azionati idraulicamente, in grado di esercitare un'azione radiale diretta dall'interno verso l'esterno che produce la frantumazione del tubo.

Osserviamo che la forza di trazione V , che nel *pipe bursting* statico assume valori rilevanti, nel *pipe bursting* con espansori idraulici si riduce drasticamente, in quanto la trazione in questa tecnologia serve unicamente all'avanzamento dell'espansore in posizione chiusa e al tiro del nuovo tubo. La forza che invece occorre per la frantumazione del tubo e per il dislocamento di frammenti e terreno viene prodotta direttamente dal sistema idraulico di espansione che può essere a pistone singolo o a pistoni multipli.

Con gli espansori ad apertura variabile, con trazioni esterne applicate decisamente inferiori a quelle utilizzate nel *pipe bursting* statico, è possibile raggiungere diametri in sostituzione sino ai 600 mm.

Quale apparecchio di trazione si può far uso sia di *rod puller* che di argani, anche se, date le caratteristiche di tali espansori, si preferisce ricorrere all'uso di argani.

In questo caso, l'elemento per il tiro è in genere una catena e l'impianto di cantiere diventa più simile a quello visto per il *pipe bursting* dinamico, con la differenza che tutti i circuiti di alimentazione sono di tipo idraulico e non pneumatico.

Questo genere di sistema, data la compattezza dell'espansore, consente di lavorare direttamente da pozzetti di servizio preesistenti, realizzando interventi sostitutivi in senza alcuno scavo. La produttività media è pari a 10 m/h con tratte fino a 150 m.

1.2 TECNOLOGIE DI SOSTITUZIONE PER TAGLIO - PIPE SPLITTING.

La tecnologia del *pipe splitting* (letteralmente "*taglio in due del tubo*") che in italiano possiamo tradurre con il termine **tagliatubi** è del tutto simile, sia per quanto riguarda le fasi di lavorazione, che la composizione dell'impianto di cantiere, al *pipe bursting* del quale rappresenta la naturale estensione ai materiali ferrosi duttili ed ai materiali plastici.

Con *pipe splitting* è infatti possibile sostituire materiali quali:

- acciaio
- ferro dolce
- ghisa malleabile
- rame
- piombo
- PVC
- PE
- PVRF

La differenza sostanziale rispetto al *pipe bursting* consiste nel fatto che invece di utilizzare teste dirompenti per frantumare il tubo preesistente si utilizzano speciali teste taglienti, denominate **splitter**, dotate di lame affilate, capaci di tagliare con facilità tubi in materiale duttile.

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 taglienti della vecchia condotta possano danneggiare la nuova.

Per questo motivo gli *splitter* sono composti da almeno tre sezioni:

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

Nel *pipe splitting* si opera a trazione semplice, mediante *rod puller* identici a quelli utilizzati nel *pipe bursting* statico.

Attualmente mediante *pipe splitting* è possibile sostituire tubazioni con diametri variabili tra i 50 e gli 800 mm (2" ÷ 32") con velocità di avanzamento dello *splitter* sino a 2 metri/min e lunghezza massima della singola tratta sino a 200 m.

A livello indicativo per il tiro di una testa tagliante come quella mostrata in fig. 10, per il taglio di una tubazione in acciaio da circa 800 mm di diametro e 8 mm di spessore è necessario un *rod puller* da 2550 kN di tiro.

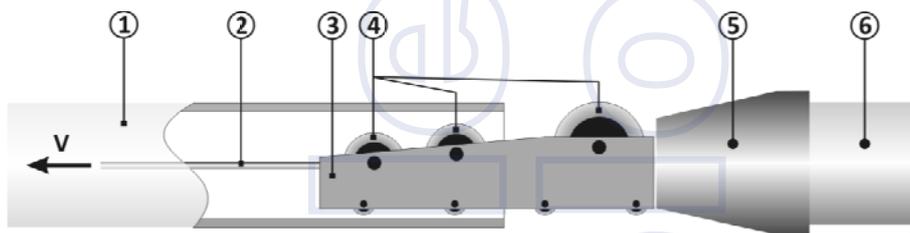


FIGURA 9 - schema di splitter: 1) tubazione da sostituire; 2) aste di trazione; 3) corpo dello splitter; 4) lame; 5) espansore-divaricatore; 6) nuova tubazione.

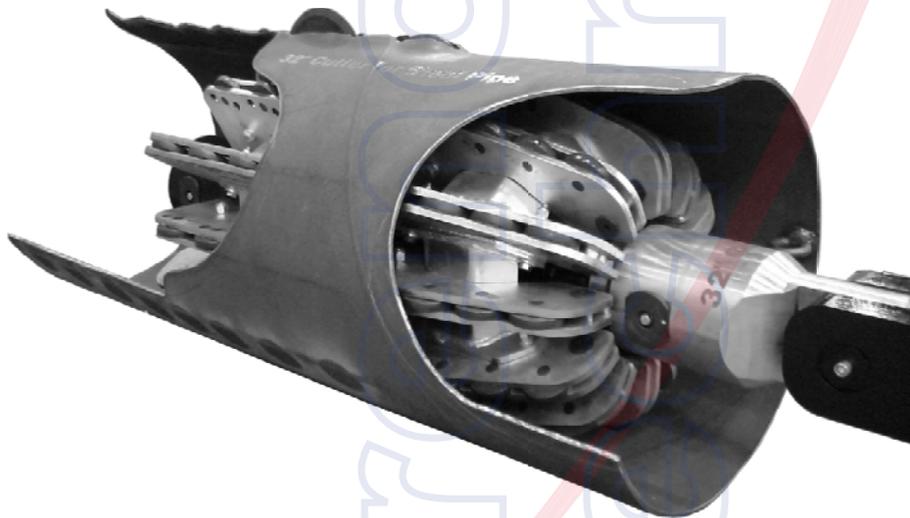


FIGURA 10 - splitter da 800 mm (foto di R. Chirulli di attrezzature di TT Technologies Inc.)

1.3 TIPOLOGIE DI TUBAZIONI INSTALLABILI CON PIPE BURSTING E PIPE SPLITTING.

I tubi in PEAD assemblati fuori terra trovano largo impiego nella sostituzione di condotte in pressione per acqua e gas ed in generale per tutti quei fluidi per i quali il PEAD è compatibile. I tubi in PEAD possono essere utilmente impiegati anche per la sostituzione di condotte a gravità.

L'assemblaggio delle tubazioni in PEAD avviene testa a testa per termosaldatura delle barre tubolari. Nei diametri più piccoli (< DN110) le tubazioni in PEAD possono essere fornite anche in rotoli di diverse decine di metri di lunghezza.

La termosaldatura testa a testa delle barre in polietilene consiste in un preriscaldamento delle superfici di battuta delle teste tubo da saldare e nella successiva messa in contatto delle teste tubo sotto un determinato carico assiale.

Il carico assiale resta applicato finché la giunzione non si raffredda al di sotto di un valore di temperatura prestabilito, raggiunto il quale la saldatura è completata. La resistenza al giunto è paragonabile a quella del materiale base.

I vantaggi derivanti dall'uso del PEAD (tubi in bobine o in barre a saldare) risiedono essenzialmente:

- nella stabilità del PEAD, e nella mancanza di fenomeni corrosivi,
- nel ridotto numero o nella mancanza totale di giunti lungo la condotta,
- nella rapidità di assemblaggio di lunghe tratte,
- nell'economicità,
- nella facile reperibilità.

L'assemblaggio fuori terra dei tubi in PEAD comporta invece alcuni svantaggi legati essenzialmente alla necessità di dover disporre di aree esterne per la stesa delle tratte assemblate. Le barre hanno infatti una lunghezza variabile tra i 6 ed i 12 m. Di contro quando si opera con diametri piccoli, e cioè sino al DN 110, i tubi in PEAD vengono forniti in bobine, col duplice vantaggio di azzerare o limitare il numero di saldature e quindi dei giunti presenti lungo la condotta, riducendo nel contempo le aree di occupazione del cantiere fuori terra.

Con lo sviluppo della tecnologia di produzione dei tubi in PEAD si sono andati diffondendo tubi dotati di strati esterni di protezione contro l'abrasione ed i tagli accidentali che si possono produrre nel corso di installazioni mediante *pipe bursting* o *pipe splitting*.

Lo strato protettivo esterno, spesso chiamato corazza (da cui il nome di *tubi corazzati* dato a questa specifica tipologia di prodotti) ha uno spessore di pochi millimetri (2-4 mm) ed è fatto in genere di polipropilene con cariche minerali.

Questo materiale ha una durezza notevolmente più elevata del PEAD e resiste bene all'abrasione ed all'intaglio. Di contro rende la tubazione meno flessibile portando ad una riduzione delle massime curvature possibili con PEAD di pari diametro nominale ma non corazzato.

La necessità di impiegare tubi corazzati in applicazioni di *pipe bursting* o *pipe splitting* deve essere valutata in funzione delle caratteristiche del tubo da sostituire.

Nella sostituzione di quei materiali che tendono a creare frammenti o bordi taglienti (ghisa e gres) l'uso di tubi corazzati può essere consigliato a fronte di un incremento di prezzo del nuovo tubo, a volte significativo, rispetto al PEAD non corazzato.

Altri materiali utilizzabili nel *pipe bursting* o nel *pipe splitting* sono le tubazioni costruite in PVC, in polipropilene o in ghisa, a patto che si tratti di tubazioni dotate di giunti espressamente costruiti per resistere alla trazione.

Queste tubazioni vengono fornite in barre che possono avere anche lunghezze molto ridotte, come nel caso del polipropilene che viene fornito anche in barre da 0,6÷1 m di lunghezza.

Il vantaggio connesso con l'uso di tubi in barre corte è legato alla possibilità di assemblare la nuova condotta durante l'operazione di tiro operando direttamente in buca, senza dover quindi pre-assemblare l'intera condotta fuori terra.

Questa possibilità costituisce un sicuro vantaggio quando è necessario operare in aree per le quali sono ammesse occupazioni fuori terra di estensione minima, oppure quando è necessario lavorare solo attraverso pozzetti preesistenti, per l'impossibilità di aprire buche di servizio.

Di contro questo genere di prodotti presenta alcuni svantaggi legati essenzialmente:

- al maggior costo di acquisto del tubo per metro lineare;
- alla minore produttività;
- alla presenza di un elevato numero di giunti.

1.4 TECNOLOGIE DI SOSTITUZIONE PER ALESATURA: PIPE REAMING E PIPE EATING

La sostituzione per alesatura di tubazioni esistenti viene eseguita impiegando i procedimenti e le attrezzature dedicate al *directional drilling* ed al *microtunneling*.

Si tratta tuttavia di tecnologie ibride, la cui potenzialità è certamente interessante, ma il cui sviluppo attuale è ancora piuttosto limitato.

Le principali tecnologie di sostituzione per alesatura sono:

- **pipe reaming** nella quale si utilizzano le attrezzature ed i procedimenti da *directional drilling*
- **pipe eating** nella quale si utilizzano le attrezzature ed i procedimenti del *microtunneling*.

Va detto che mentre il *pipe reaming*, pur essendo una tecnica innovativa, è una tecnologia che sta iniziando a conoscere una certa diffusione, il *pipe eating* resta sostanzialmente una tecnologia sperimentale.

1.4.1 Pipe reaming

La tecnologia del *pipe reaming* (letteralmente *alesatura del tubo*) si basa sull'impiego di perforatrici da *directional drilling* mediante le quali si procede, partendo fuori terra direttamente dalla superficie o partendo da pozzetti di lancio appositamente scavati ed in certi casi direttamente

dai pozzetti di servizio preesistenti, al così detto **lancio pilota**, lungo la condotta da sostituire, di una batteria di aste di perforazione alla cui estremità viene montato, al posto del consueto utensile di perforazione, un “naso” costituito da uno spezzone di asta con una terminazione emisferica.

Questo evita che in fase di lancio pilota la punta della batteria di perforazione possa incunearsi in ostacoli o imperfezioni interne della tubazione da sostituire.

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, che comprende un giunto girevole reggispinta per l'aggancio della nuova condotta da posare all'alesatore, si procede in un'unica fase all'alesatura e al tiro.

Man mano che la batteria di aste viene tirata con una certa velocità di rotazione 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.

La nuova tubazione può presentare un diametro significativamente maggiore di quello della tubazione da sostituire. Quando l'incremento di diametro supera determinati valori (70% - 100%) ed in relazione alla natura del terreno che circonda il vecchio tubo, possono rendersi necessari dei passaggi di alesatura intermedi, fino al raggiungimento di un diametro nominale del foro (sovralesatura) sufficiente al tiro del nuovo tubo.

In questo caso le problematiche di lavoro sono del tutto simili a quelle viste nelle installazioni di tubazioni nuove mediante *directional drilling*.

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 *pipe reaming* non può essere utilizzato in presenza di tubazioni di tipo metallico o plastico per le quali è efficace il *pipe splitting*.

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 300 m).

1.4.2 Pipe Eating.

Il pipe eating (letteralmente "*mangia tubi*") è una particolare applicazione del *microtunneling* al quale si rimanda per quanto concerne le attrezzature e le fasi di lavorazione.

Anche per la sostituzione di tubazioni esistenti è possibile utilizzare sia scudi a fronte aperto che a fronte chiuso, con escavazione sia manuale che meccanizzata.

A differenza di quanto accade nel *pipe reaming*, nel *pipe eating* l'alesatura del tubo esistente avviene in avanzamento.

Il *pipe eating* con scudi a fronte aperto può essere utilizzato per la sostituzione di qualsiasi materiale, mentre con scudi a fronte chiuso è possibile sostituire unicamente tubazioni in materiale lapideo.

Questa tecnologia, analogamente a quanto accade nel microtunneling propriamente detto, è l'unica in grado di permettere la sostituzione di condotte di grande diametro (sino a 2 m ed oltre), potendo tra l'altro installare, in sostituzione a quelle preesistenti, tubazioni costruite in conci di materiale lapideo (calcestruzzo, c.a., c.a.p., ecc.) o composito.

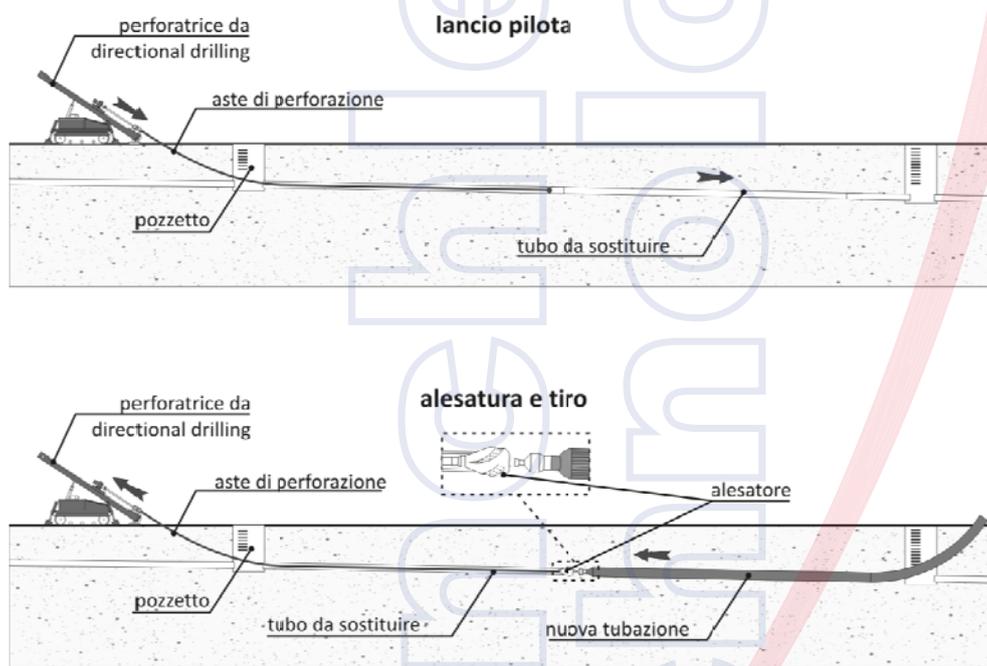


FIGURA 11 - fasi del pipe reaming.

2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Il testo e le immagini della presente memoria sono tratte dal libro: “**Manuale di Tecnologie No-Dig**” di R. Chirulli, disponibile nelle due edizioni Standard (a colori, copertina rigida e) e Student Edition (in bianco e nero, copertina morbida) pubblicate da nodig.it rispettivamente nel maggio 2011 e nel gennaio 2012. Il volumi sono in vendita on-line (www.nodig.it) e nelle maggiori librerie italiane.