

## INTERVENTI DI RIABILITAZIONE: LE TECNOLOGIE NO-DIG

Renzo CHIRULLI\*

### 1. INTRODUZIONE

Nel settore del No-Dig con il termine “riabilitazione” si indica quel complesso di tecnologie e di tecniche esecutive finalizzate al recupero funzionale di tubazioni danneggiate o che nel tempo hanno gradualmente perso alcune o tutte le caratteristiche determinanti ai fini della funzionalità della tubazione stessa.

Riabilitare significa in buona sostanza risanare parte o tutta una tubazione che può presentare dissesti di vario genere. Nel Volume 2, abbiamo esaminato una casistica estesa dei dissesti che possono riguardare le tubazioni interrate.

Certamente ancora più interessanti sono quegli studi (peraltro non particolarmente estesi e diffusi) che indicano quale sia la percentuale media di tubazioni interessate da dissesti di varia natura.

Di certo in molti paesi, ed in particolare in Italia, alcune reti, tra le quali in maggior misura le reti idriche e fognarie, si presentano diffusamente degradate a causa principalmente dell’età media delle condotte e dell’incremento (quantitativo e qualitativo) del traffico veicolare.

Il quadro risultante è preoccupante in quanto i dissesti producono, in varie forme, disservizi delle reti che hanno effetti su vari piani, come quello economico, quello funzionale (essenzialmente fruibilità del servizio offerto dalla rete) e quello ambientale.

Se guardiamo ad esempio alle reti idriche, viene immediatamente in mente il grosso problema delle perdite. Senza fornire dati numerici (che avrebbero puro valore storico), è tuttavia importante rilevare che specie in paesi come il nostro, che forse prima di altri si sono dotati di reti acquedottistiche e fognarie molto diffuse e capillari, la gran parte delle reti idriche presenta un rilevante problema di perdite, che si traduce in una scarsa efficienza economica della rete, in uno spreco dell’acqua (che in molte regioni del nostro paese è una risorsa scarsa soggetta purtroppo a razionamento), e non ultimo nella frequente necessità di procedere ad interventi in regime di emergenza finalizzati alla riparazione localizzata di condotte nelle quali si sono verificate e rivelate delle perdite.

---

\* libero professionista ([www.nodig.it](http://www.nodig.it)), esperto in tecnologie No-Dig.

Nel settore fognario il quadro non è molto diverso, con l'aggravante che nella maggior parte dei casi i fluidi collettati (reflui fognari) a causa delle perdite dovute alle pessime condizioni in cui versa una gran parte dei sistemi fognari, non vengono rilevate (perché non costituiscono elemento economicamente rilevante) e vanno a creare un'importante ed in molti casi pericolosa fonte di inquinamento ambientale.

Davanti a problematiche come quelle a cui si è fatto cenno, le tecnologie tradizionali offrono una sola soluzione: scavare a cielo aperto, rimuovere la tubazione esistente, installare una nuova tubazione.

Tuttavia scavare a cielo aperto può essere antieconomico a causa dei costi indiretti che si generano, in particolar modo quando si operano interventi nei centri storici delle città.

Talvolta (ed è il caso di alcune reti fognarie) le tubazioni si trovano ad una tale profondità da rendere proibitivi anche i costi di costruzione, a causa della rilevanza degli scavi a cielo aperto che si renderebbero necessari. Il che, in certi casi, porta ad abbandonare le vecchie reti per costruirne di nuove più superficiali, spesso ostacolati in questo dallo sfavorevole grado di affollamento del sottosuolo.

L'abbandono delle vecchie reti, pone un ulteriore problema che si identifica nella scarsità dello spazio sotterraneo. Se si indaga il sottosuolo di una delle nostre attuali città si scopre che esso è occupato quasi completamente da reti interrato che si intrecciano su vari livelli, creando un intenso affollamento del sottosuolo che rende difficoltosa, costosa se non impossibile, qualsiasi operazione di nuova installazione che avvenga con tecnologia esecutiva (e quindi approccio progettuale) tradizionale.

La riabilitazione di tipo No-Dig, ovvero con un limitato o nullo ricorso agli scavi a cielo aperto, non solo permette quasi sempre di eliminare del tutto le operazioni di scavo a cielo aperto, ma consente di attuare un recupero funzionale parziale o totale della tubazione danneggiata in modo rapido ed efficace, limitando fortemente i costi indiretti ed evitando ulteriori occupazioni di sottosuolo.

## 2. LA RIABILITAZIONE FUNZIONALE PARZIALE O TOTALE DELLE TUBAZIONI INTERRATE.

Nel settore No-Dig la parola **riabilitazione** (in inglese "rehabilitation") presenta nella nostra lingua alcuni sinonimi, i principali dei quali sono: "risanamento", "rinnovamento" e "recupero".

In questo testo verrà utilizzata unicamente la parola riabilitazione accanto all'espressione "relining riabilitativo" per distinguerlo dal così detto "relining sostitutivo".

La riabilitazione può essere definita come quel complesso di operazioni ed attività finalizzate al recupero di una o più delle funzioni o delle caratteristiche perse da una tubazione.

Per funzioni o caratteristiche della tubazione intendiamo tipicamente:

- **impermeabilità**, ovvero la resistenza al passaggio di fluidi dall'interno all'esterno di una tubazione e viceversa;

- **capacità di deflusso**, ovvero la capacità di garantire la regolarità e l'efficienza (rispetto alle condizioni di esercizio progettate) del deflusso dei fluidi collettati, che si lega alla regolarità delle superfici di scorrimento ed alla loro **scabrezza**;
- **resistenza chimica**, ovvero la resistenza agli agenti aggressivi eventualmente presenti nei fluidi collettati;
- **resistenza strutturale**, ovvero la capacità di resistere ai carichi esterni (peso delle terre, azione delle acque di falda, carichi del traffico) ed interni alla tubazione (pressione del fluido, transitori).

Quando si attua un recupero di una o alcune delle funzioni o caratteristiche elencate, si parla di **riabilitazione funzionale parziale**. Quando invece il recupero è relativo a tutte le funzioni o caratteristiche della tubazione, allora si parla di **riabilitazione funzionale totale**.

Naturalmente la scelta di attuare una riabilitazione parziale o totale è legata a considerazioni di natura tecnico-economica.

Tutte le tecnologie No-Dig di relining riabilitativo hanno in comune il fatto che la riabilitazione viene attuata inserendo nella tubazione esistente un nuovo rivestimento le cui caratteristiche dipendono fortemente dalla tecnologia impiegata.

Nella terminologia No-Dig il tubo esistente che *accoglie* il nuovo rivestimento, viene detto “**tubo ospite**” (in inglese “**host pipe**” o semplicemente “**host**”), mentre il nuovo rivestimento viene detto “**liner**” (da qui il termine relining).

L'inserimento del liner porta in generale ad una riduzione della sezione utile del tubo ospite. Questa riduzione può essere trascurabile o significativa in funzione dello spessore del liner e della tecnica di inserimento.

Una riabilitazione funzionale parziale (ad esempio per il recupero di impermeabilità e scabrezza) richiederà in generale liner di spessore e caratteristiche meccaniche inferiori rispetto a quelle necessarie per un liner che deve invece assolvere (a parità di altre condizioni) anche a funzioni di portanza strutturale.

Il che si traduce in genere in un costo più elevato del liner destinato ad applicazioni strutturali, nonché in sezioni residue del tubo ospite più ridotte (a causa del maggiore spessore del liner).

Pertanto la scelta della tecnologia più adatta di relining riabilitativo No-Dig, e a seguire la scelta tra riabilitazioni funzionali parziali o totali, deve tener conto di una serie di fattori tecnici ed economici, che permettono di ottimizzare l'utilizzo delle risorse disponibili.

Questo ha portato non solo ad un'ampia diversificazione delle tecnologie esistenti, ma anche allo sviluppo (per alcune di queste tecnologie) di metodologie di calcolo finalizzate alla determinazione delle caratteristiche fisico meccaniche minime che possano garantire che un dato liner possa assolvere alle funzioni richieste nel modo più economico possibile.

La scelta tra riabilitazione funzionale parziale o totale deve fondarsi quindi su un'analisi della situazione reale, basata su specifiche indagini in sito, che permettano di operare scelte opportune e giustificate.

Sarebbe infatti antieconomico procedere ad una riabilitazione funzionale totale (ad esempio di una condotta fognaria in cemento armato) se la stessa condotta presenta unicamente perdite ai giunti dovute ad esempio ad un difetto di montaggio delle tubazioni o ad un difetto del materiale con il quale sono state realizzate le sigillature. In un caso come questo la tubazione è strutturalmente integra e può continuare ad assolvere per anni alla funzione di portanza strutturale. La riabilitazione funzionale può essere senz'altro di tipo parziale (in particolare finalizzata al recupero dell'impermeabilità) permettendo un notevole risparmio in termini economici.

È difficile definire un'unica metodologia quantitativa che permetta di scegliere la tecnologia di intervento No-Dig più adatta e, per ciascuna di esse, definire i parametri e le caratteristiche ottimali di impiego.

Certamente le indagini in sito, finalizzate alla descrizione dello stato funzionale della tubazione analizzata, dovrebbero essere condotte avendo particolare attenzione a descrivere lo stato delle singole funzioni.

Pertanto l'indagine dovrebbe essere tesa a stabilire:

- se ed in quale misura risulta pregiudicata l'impermeabilità della tubazione indagata (ricerca perdite, determinazione dell'entità della perdita, ecc.);
- se ed in quale misura sussistono problemi che hanno effetto sulla regolarità del deflusso (e quindi andrebbe analizzato lo stato della superficie interna della tubazione indagata, andrebbero localizzate ed identificate ostruzioni, intrusioni, depositi ed incrostazioni);
- se ed in quale misura la resistenza chimica delle pareti interne della tubazione è diminuita o andata persa;
- infine se sussistono ed in quale misura dissesti strutturali (come lesioni, dislocamenti o crolli) tali da compromettere la resistenza strutturale della tubazione ospite.

### 3. TECNOLOGIE NO-DIG PER LA RIABILITAZIONE

Le tecnologie No-Dig destinate alla riabilitazione di tubazioni sono fondamentalmente di tre tipi:

- riabilitazione con rivestimenti costruiti in sito: il CIPP ed il coating
- riabilitazione con tubi aderenti: il close-fit lining
- riabilitazione con tubi non aderenti: il loose-fit lining

Si tratta di tecnologie tra loro molto differenti che tuttavia possono condurre a risultati comparabili. La scelta tra tipologie differenti è spesso guidata da fattori tipicamente locali o ambientali, oltre che economici.

### 3.1 RIABILITAZIONE CON RIVESTIMENTI COSTRUITI IN SITO.

Nel No-Dig la costruzione di un nuovo rivestimento in sito avviene applicando specifici materiali o prodotti semilavorati alla parete interna della tubazione da riabilitare.

Questa peculiarità ha effetto sulla dimensione del cantiere fuori terra, che pertanto è limitato alla dimensione delle attrezzature necessarie alla manipolazione, alla lavorazione ed all'installazione dei materiali e prodotti impiegati.

#### 3.1.1 Cured In Place Pipe - CIPP

Con il termine **CIPP – Cured In Place Pipe**, noto anche come **CIPL – Cured in Place Lining**, viene identificata internazionalmente<sup>1</sup> una metodica di risanamento di condotte interrate ed aeree, basata sull'inserimento, all'interno del tubo ospite di un liner in tessuto di fibra poliestere, eventualmente rinforzato con uno o più strati di tessuto in fibra di vetro che, preliminarmente all'inserimento, viene impregnato con resina (poliestere, vinilestere o epossidica) e quindi gonfiato all'interno del tubo da risanare, in modo da aderire perfettamente alle pareti di questo, per essere infine sottoposto ad un processo di indurimento della resina.

Il liner, una volta installato ed indurito, può svolgere funzioni specifiche e complementari a quelle del tubo ospite, come ad esempio ripristinare l'impermeabilità o la scabrezza delle pareti interne, oppure può sostituire completamente tutte le funzioni del tubo ospite, incluse quelle strutturali. Nel primo caso parliamo di **riabilitazione non-strutturale**, nel secondo di **riabilitazione strutturale**.

Mediante metodi di CIPP ad acqua si possono realizzare risanamenti di condotte anche di significativo diametro (sino a 2500 mm) e rilevante lunghezza (sino a 150-200 m).

Con metodi di CIPP a secco invece i diametri e le lunghezze dei tubi da risanare sono più limitati (in genere non superiori ai 300 mm ed ai 50 m).

In Europa, ed in particolare in Italia la normativa di riferimento è la: UNI EN 13566-4:2005 "Sistemi di tubazioni di materia plastica per il ripristino di reti non in pressione di fognature e di scarichi - Parte 4: Ripristino con tubi polimerizzati in loco".

Le resine impiegate nel CIPP sono principalmente di tre tipi:

- poliesteri
- vinilesteri (*che rappresentano un tipo particolare di resina poliestere*)
- epossidiche.

---

<sup>1</sup> Glossary of Terms – "Trenchless Technology Guidelines" – ISTT, International Society for Trenchless Technology – London UK

Dato l'elevato costo, l'uso delle resine epossidiche è in genere riservato al relining di condotte per il trasporto di sostanze alimentari, inclusa l'acqua potabile.

Il costo della resina epossidica è mediamente pari a tre volte il costo della resina poliestere isoftalica.

**I materiali base** costituenti il liner, vengono assemblati in stabilimento. I fogli di feltro poliestere eventualmente, rinforzati con strati di tessuto in fibra di vetro, vengono tagliati, a misura, in funzione della geometria del tubo ospite nel quale verrà installato il liner.

Ciascun produttore ha sviluppato un proprio sistema di assemblaggio dei materiali base, che ha effetto certamente sulla resistenza e stabilità dell'intero prodotto.

Una volta assemblato il materiale portante del liner, si procede, generalmente in stabilimento, alla così detta **impregnazione**, che è quell'operazione mediante la quale la resina, miscelata ad opportuni additivi, viene iniettata nel liner per impregnarne gli strati portanti (ovvero il feltro e l'eventuale tessuto in fibra di vetro).

Si tratta di un'operazione molto delicata, in quanto è importante che gli strati portanti risultino uniformemente e completamente impregnati di resina, in modo che dopo l'indurimento, lo spessore del liner risulti costante e pari al valore nominale di progetto.

L'entità dello spessore del liner indurito, insieme alle caratteristiche meccaniche del materiale, risulta essere infatti il parametro fondamentale che compare nei metodi di calcolo utilizzati in questa tecnologia.

L'impregnazione viene in genere eseguita in stabilimento, in ambienti nei quali non esiste la possibilità che i prodotti e le sostanze utilizzate nel processo possano contaminare l'ambiente.

Più raramente, se non nelle applicazioni semplificate e di piccolo diametro, l'impregnazione viene eseguita direttamente in sito. Si tratta tuttavia di una prassi che tende a scomparire soprattutto a causa dei problemi che possono nascere dalla diffusione delle sostanze volatili contenute nelle resine e dallo sversamento accidentale nell'ambiente di sostanze potenzialmente tossiche.

**L'applicazione del liner** è quel complesso di operazioni ed attività finalizzate all'installazione del prodotto nella tubazione ospite. Le operazioni di cantiere possono essere suddivise in quattro fasi fondamentali:

- a) operazioni preliminari e preparatorie;
  - messa fuori esercizio della tubazione dal riabilitare e realizzazione del by-pass
  - videoispezione
  - pulizia della tubazione ospite
  - installazione del pre-liner
- b) installazione del liner nella tubazione ospite;
- c) ciclo termico ed indurimento della resina;
- d) collaudo e messa in esercizio della condotta.

Insieme con il ciclo termico per l'indurimento della resina, l'installazione del liner nell'host rappresenta una delle fasi più critiche di tutta la tecnologia del CIPP. Il successo o l'insuccesso di un'installazione dipendono infatti in massima parte dall'esito di tale fase. A seconda della particolare tecnologia di CIPP utilizzata, questa fase può avvenire con modalità differenti.

Nei sistemi con installazione per trazione, viene infatti dapprima inserito nel tubo ospite un cavo di trazione, mediante il quale il liner impregnato viene tirato lungo il tubo ospite, sino a raggiungere la sezione finale. Una volta steso entro il tubo ospite, il liner viene gonfiato ad acqua o ad aria e vapore surriscaldato e ha quindi inizio la fase di indurimento della resina.

Nei sistemi con installazione per inversione, che sono quelli di gran lunga più diffusi, il liner arriva in cantiere pre-impregnato, presentando all'esterno quella che sarà la parete interna del rivestimento. In altri termini il liner arriva in cantiere invertito.

Questa potrebbe sembrare una bizzarria, invece è una modalità estremamente efficace per procedere all'inserimento del liner nel tubo ospite.

Infatti l'inserimento avviene, grazie all'azione della pressione di una colonna d'acqua o di un flusso d'aria in pressione, "rigirando" il liner all'imboccatura della tubazione ospite.

Il liner viene infatti collegato esternamente ad un tubolare, il così detto anello o cilindro di inversione, e parzialmente rigirato all'interno di questo elemento anulare. L'azione del fluido premente (colonna d'acqua o aria in pressione) permette al liner di avanzare invertendosi nel contempo.

In questo modo, sezione per sezione, il liner oltre ad avanzare con una certa velocità, si mantiene costantemente gonfio ed in intimo contatto con le pareti interne del tubo ospite. In questo modo si evita che possano venirsi a formare sacche di aria o di liquido che possono restare intrappolate tra parete interna del tubo ospite e superficie esterna del liner (problema invece frequente quando si installa il liner per semplice trazione).

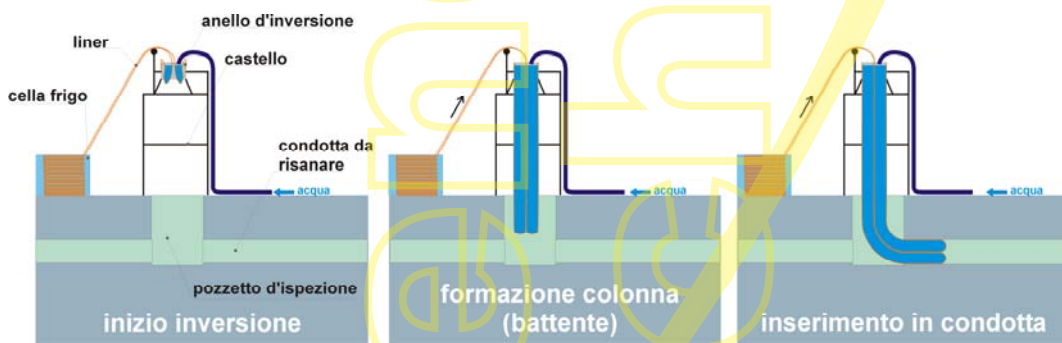


Figura 2 - fasi dell'inversione di un liner nel tubo ospite nel CIPP ad acqua (immagine tratta dal manuale "Progetto No-Dig" vol.4 – R. Chirulli – Editrice La Fiaccola – Milano 2005 ).

Nel caso in cui il fluido premente sia acqua (ed è il caso della riabilitazione di condotte di medio-grande diametro – da 400 mm ai 2500 mm), allora per permettere la formazione di una opportuna colonna d'acqua al di sopra dell'imboccatura della tubazione ospite, che garantisca il mantenimento di un sufficiente livello di pressione (in genere 0,5 bar), si costruisce una sorta di torre (detta tecnicamente "castello" o "castelletto"). La colonna d'acqua prende il nome di "battente" e la sua altezza è determinante ai fini dell'installazione per inversione.

Man mano che il liner viene invertito e quindi avanza nella tubazione ospite, viene immessa con una determinata portata, nuova acqua nel liner. La fase di inversione ha termine quando l'estremità libera del liner raggiunge la sezione terminale del tubo ospite da riabilitare.

A questo punto ha inizio la fase di indurimento del liner il cui scopo è appunto quello di somministrare l'energia necessaria ad attivare le reazioni di polimerizzazione della resina che porteranno all'indurimento del materiale.

A seconda del metodo di indurimento impiegato, l'energia necessaria al processo potrà essere somministrata in forma di calore o in forma di radiazione ultravioletta.

Nel primo caso, che è certamente quello di gran lunga più diffuso, il calore viene somministrato facendo circolare nel liner acqua calda (nei metodi ad acqua) o aria in pressione e vapore surriscaldato (nei metodi a secco).

I metodi ad acqua sono quelli più diffusi e di maggiore interesse per la riabilitazione di grandi collettori fognari.

In questo caso un'opportuna centrale termica, attrezzata con gruppi pompa, provvede al riscaldamento ed al ricircolo dell'acqua di trattamento, che viene portata in temperatura secondo un prefissato ciclo termico che dipende dal tipo di resina utilizzata e dalla struttura del liner.

La durata di questa fase dipende dal tipo di resina e dai volumi di acqua in gioco (e quindi dal tempo necessario per portare a temperatura la massa d'acqua impiegata). I tempi possono quindi oscillare dalle 5 alle 12 ore o più, a seconda delle dimensioni del tubo da riabilitare.

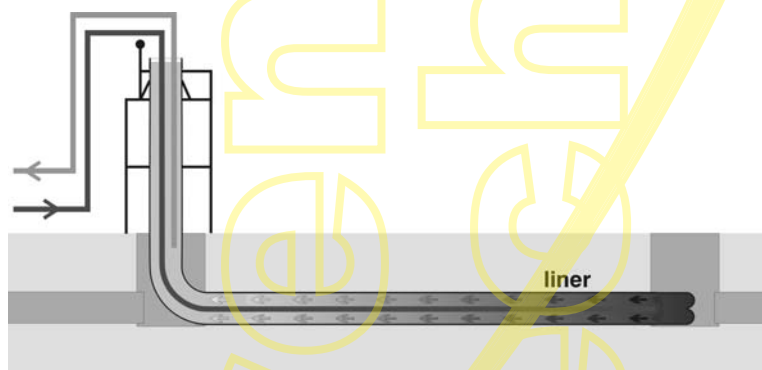
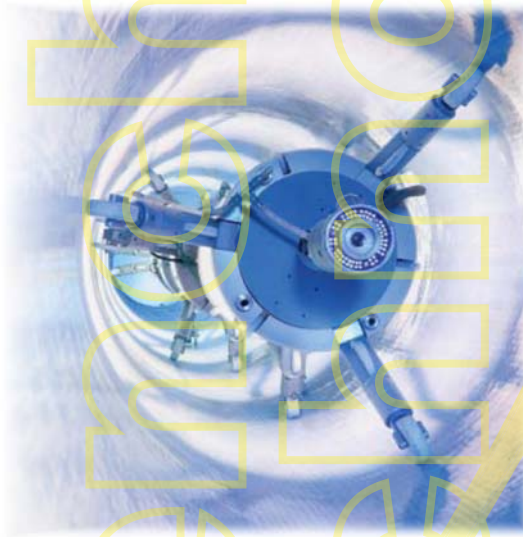


Figura 3 - ciclo termico per l'indurimento del liner (immagine tratta dal manuale "Progetto No-Dig" vol.4 – R. Chirulli – Editrice La Fiaccola – Milano 2005 ).



Nei metodi a secco, all'acqua si sostituisce aria in pressione e vapore surriscaldato. Questa miscela calda, ha una capacità termica inferiore a quella dell'acqua, e pertanto il ricircolo ed i volumi trattabili costituiscono aspetti che ne limitano l'applicabilità pratica ad un range dimensionale più limitato.

Nei metodi a raggi UV, l'energia necessaria al processo viene somministrata in forma di radiazione ultravioletta, erogata da appositi gruppi lampade, montate su opportuni centratori che vengono fatti scorrere all'interno del liner, opportunamente gonfiato ad aria, con velocità di avanzamento piuttosto elevate (siamo nell'ordine di grandezza di 1 m/min). Oggi i tradizionali limiti di questa specifica tecnologia sono stati ampiamente superati, ed infatti mediante UV-lining è possibile trattare tubazioni circolari sino a 1200 mm di diametro interno e tubazioni ovoidali. Inoltre nei sistemi di UV-lining più avanzati il liner è costituito da tessuto in fibra di vetro multistrato, e le caratteristiche meccaniche del liner indurito raggiungono valori molto elevati (modulo di elasticità a lungo termine  $E_L = 6.000-8.000$  MPa, che risulta essere da 2 a 4 volte maggiore del modulo di elasticità a lungo termine che si ha nei tradizionali liner in feltro poliestere con resina polimerizzata con acqua calda o vapore surriscaldato).



*Figura 4 - un treno di lampade UV durante il passaggio all'interno di un liner in fase di foto-polimerizzazione.*

Terminata la fase di indurimento, si procede all'apertura della sezione terminale, con eventuale svuotamento del liner (se si è utilizzata l'inversione ad acqua). Nel caso di inversione ad acqua, la presenza di eventuali inquinanti può richiedere il trattamento dell'acqua utilizzata nel processo, prima del suo scarico verso il recapito finale. Questo trattamento, quando necessario, consiste in genere nel passaggio dell'acqua attraverso opportuni filtri a carbone attivo.

Una volta riaperta la sezione terminale del liner e rifiniti gli attacchi tra estremo del liner ed estremo della tubazione ospite, si procede al collaudo e quindi alla messa in esercizio della tubazione riabilitata.

Il collaudo consiste essenzialmente nella messa in pressione della tubazione riabilitata e nella misura di eventuali cadute di pressione nel tempo.

Terminato positivamente il collaudo si può procedere alla riapertura delle eventuali connessioni laterali. Quest'operazione viene effettuata utilizzando teste fresanti che in genere vengono montate sugli stessi robot utilizzati per la videoispezione.

Con la riapertura delle connessioni laterali, la rimozione di tutti i packer installati e del by-pass, ed il ripristino delle eventuali buche di servizio realizzate, ha di fatto termine l'applicazione in cantiere. Un controllo visivo diretto o a mezzo telecamera può precedere l'entrata in esercizio del tronco di condotta risanata.

Tutte le operazioni sin qui descritte vengono effettuate a partire da stazioni di partenza di piccole dimensioni, che nel caso di reti fognarie coincidono con i pozzetti di ispezione. A meno che la tubazione da riabilitare non sia di grande diametro (> 800 mm) i pozzetti di ispezione sono generalmente abbastanza ampi da permettere l'esecuzione di tutte le operazioni descritte senza alcuna demolizione. In tal caso l'applicazione è del tipo No-Dig totale, ovvero senza alcuna manomissione di superficie.

Le metodologie per il calcolo dello spessore del liner sono standardizzate secondo la normativa **ASTM F 1216 – 03 - "Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube"**.

Importante, ai fini delle performance idrauliche del prodotto installato, risulta essere la scabrezza dello strato interno del liner, una volta indurito.

La scabrezza dello strato interno del liner a contatto con i fluidi in movimento è pari a quella che si ha per i tubi plastici nuovi in PE, PVC o PRFV (coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler  $c=120$ )

### 3.1.2 Il Coating.

La parola **coating** significa letteralmente "rivestimento". Ed le tecniche di coating nella riabilitazione No-Dig di tubazioni interrato, consistono esattamente nell'applicazione di rivestimento di spessore variabile da qualche decimo di millimetro, nei processi che utilizzano resine epossidiche, poliesteri, resine ureiche ed uretaniche, a qualche millimetro in quelli che utilizzano malta di cemento (Cement Mortar Lining).

Le due tecnologie di coating no-dig più note ed utilizzate sono:

- 1) Cement Mortar Lining
- 2) Epoxy Lining

Mentre il primo, come vedremo più approfonditamente, permette di costruire uno strato in grado non solo di attuare una protezione anticorrosiva sulla parete interna della tubazione da

riabilitare (in genere metallica) ma anche di costituire uno strato in grado di intasare eventuali fori o lesioni, ristabilendo una tenuta idraulica della tubazione, il secondo tipo di trattamento permette di costituire uno strato protettivo anticorrosione, ma non dotato di caratteristiche strutturali adeguate a sanare la presenza di eventuali fori o lesioni.

### 3.1.2.1 Cement Mortar Lining.

Il CML è una tecnologia di riabilitazione No-Dig, sperimentata e consolidata, ma purtroppo poco nota nel nostro Paese, che permette di riabilitare tubazioni di metalliche. Il suo utilizzo permette di eliminare la ruggine e proteggere la tubazione da nuovi fenomeni ossidativi, andando a richiudere nel contempo fori e lesioni eventualmente presenti. Un tubo metallico trattato con CML si presenta internamente nuovo, con al suo interno un rivestimento dotato di caratteristiche idrauliche e strutturali in grado di garantire il prolungamento della vita utile del vecchio tubo, di 50 anni ed oltre.

Il trattamento mediante CML consiste nell'applicazione di un nuovo rivestimento in malta cementizia a spessore controllato sulla superficie interna della tubazione da risanare. Le procedure e le attrezzature impiegate per la formazione di questo rivestimento in malta sono particolarmente importanti e lo schema di lavoro è concettualmente molto semplice

Esaminiamo più nel dettaglio la procedura di lavoro:

- si pone fuori esercizio e si isola il tronco da sottoporre a trattamento. Se si tratta di tubazione di piccolo diametro (< 600 mm) occorre aprire la tubazione in due sezioni poste rispettivamente all'estremità di monte e di valle del tronco da risanare, distanziate in genere di un massimo di 150 metri; se si tratta invece di tubazioni di grande diametro (> 600 mm) è sufficiente aprire la tubazione in una sola sezione ed il tronco da risanare può superare i 250-350 metri (in tubi aventi un diametro interno superiore a 1.200 mm questo limite può essere ulteriormente superato)
- si procede quindi alla fase diagnostica che consiste in genere in una videoispezione e nel prelievo di campioni della parete o dell'eventuale rivestimento interno per valutare il grado di alterazione della tubazione da risanare (quando possibile questa operazione va condotta preliminarmente alla predisposizione del progetto esecutivo di intervento)
- terminata la fase diagnostica si effettua un'accurata e profonda pulizia della superficie interna del tubo, in genere mediante sistemi a getto d'acqua ad alta pressione (> 250 bar), canaljet, spazzolatura con utensili metallici, o con speciali pig. Lo scopo della pulitura è quello di rimuovere depositi calcarei, eventuali ostruzioni e strati ossidati e corrosi, tubercoli, eventuali rivestimenti (bituminosi, epossidici, ecc.) per ottenere una superficie metallica pulita ed idonea a garantire un'ottimale aderenza della malta cementizia.

L'applicazione della malta avviene mediante uno speciale applicatore autocentrante (lining machine) dotato di testa rotante (spinning head) che proietta ad alta velocità, sulle pareti interne della tubazione da risanare, la malta cementizia, pompata dall'esterno attraverso un tubo di

iniezione collegato alla *lining machine*. Questa viene fatta traslare, con velocità costante, lungo il tronco da risanare e, se il grado di ovalizzazione della tubazione non è eccessivo ( $q < 2,5\%$ ), è seguita da un sistema per la lisciatura meccanica del rivestimento, che nelle tubazioni di piccolo diametro ( $< 600$  mm) è costituito da un frattazzo o lisciatore conico, mentre in quelle di grande diametro ( $> 600$  mm) è costituito da una serie di spatole rotanti.

Per garantire la formazione di uno strato di malta a spessore costante la velocità di avanzamento della testa rotante viene controllata regolando la velocità di traslazione della *lining machine*. Inoltre la portata di malta alla testa rotante viene mantenuta costante grazie alla particolare tipologia e struttura degli apparecchi di pompaggio.

Le prime applicazioni della cementazione risalgono alla fine del 1800, e negli anni è stata oggetto di studi e standardizzazione. Le principali norme di riferimento per il CML alle quali è possibile riferirsi sono le seguenti:

- ANSI/AWWA C-602-06 – “Cement Mortar Lining of Water Pipelines in Place 4 in. (100 mm) and Larger” 1° agosto 2006 (la prima versione risale al 1936)
- UNI EN 10298:2006 – “Tubi e raccordi di acciaio per condotte terrestri e marine. Rivestimento interno con malta cementizia” Febbraio 2006 (benché nella sezione iniziale “1.SCOPE” della norma europea EN 10298 sia specificato che: “this European Standard does not cover in situ applied or rehabilitation linings” – “questa Norma Europea non si estende i rivestimenti applicati in sito o riabilitativi”, la norma in questione è stata redatta seguendo il medesimo schema e contenuti della norma tedesca W343 del DVGW che è il principale riferimento normativo sull’argomento in Germania).

Questa tecnica è utilizzata diffusamente per la rapidità ed economicità del trattamento, che permette di prolungare notevolmente la vita utile delle tubazioni in acciaio ed in ghisa, come dimostrano le molte evidenze sperimentali raccolte in questi anni.

Lo spessore dello strato di malta può variare dai 4 ai 14 mm in funzione del diametro della tubazione da risanare, del suo stato interno e della pressione di esercizio (la norma ANSI/AWWA C-602-06 suggerisce l'utilizzo di spessori variabili, a seconda del diametro della tubazione, tra 8 e 14,3 mm). La compatibilità fisico-meccanica tra malta e acciaio (che è alla base della tecnica del cemento armato) ma soprattutto le moltissime evidenze sperimentali, garantiscono che la durabilità del trattamento sia superiore ai 50 anni.

Lo strato di malta cementizia, che viene applicato sulla superficie interna della tubazione da risanare, svolge una serie di funzioni sia sul piano della protezione dalla corrosione sia sul piano del risanamento strutturale della tubazione.

La malta di cemento crea innanzitutto un ambiente alcalino che, come è noto, contrasta la formazione di ossidi sulla superficie del metallo. Questa proprietà della malta di cemento permette di attuare una protezione efficace e prolungata del metallo contro la corrosione. In presenza di acqua, grazie alle molecole di biossido di carbonio, tende ad avvenire la carbonatazione del

cemento, fenomeno che porta ad un incremento della resistenza alla corrosione chimica del rivestimento in malta cementizia.

Altra caratteristica tipica dell'accoppiamento malta cementizia/acciaio, è l'aderenza che si sviluppa lungo la superficie di contatto malta-metallo, grazie alla quale il rivestimento in malta cementizia, già dalla fase di presa, aderisce perfettamente e tenacemente al substrato metallico. Inoltre poiché acciaio e malta cementizia presentano lo stesso coefficiente di dilatazione termica lineare, questi due materiali accoppiati si comportano monoliticamente in presenza di variazioni termiche e quindi alle conseguenti variazioni dimensionali, che come è noto in tubazioni interrate si mantengono in un campo di variabilità piuttosto limitato. Questo fatto, unito alla capacità di autoriparazione autogena della malta di cemento (*autogenous healing process*), previene la formazione di microcavillature e fessure, che potrebbero compromettere la tenuta idraulica del rivestimento.

Un'altra caratteristica del rivestimento finito è la scabrezza della superficie interna del tubo risanato. Se misuriamo la scabrezza secondo il coefficiente di Hazen-Williams, un rivestimento in malta cementizia perfettamente liscio, presenta un coefficiente  $C=130$ . Si tratta certamente di un valore ottimo, conseguente all'estrema compattezza della malta che si ottiene grazie agli elevati dosaggi di cemento, ai bassi rapporti acqua/cemento ed alla qualità e finezza dell'inerte. In rivestimenti non liscii, questo valore può arrivare a 100, e nei casi peggiori a 90. Si tratta comunque di valori certamente migliorativi della scabrezza, rispetto a quelli che caratterizzano le pareti interne di una tubazione aggredita dalla corrosione.

Sul piano strutturale la malta di cemento va ad intasare e richiudere fori e lesioni, aventi anche dimensioni significative (fino a 25 mm), eventualmente presenti nella parete della tubazione da risanare. Le evidenze sperimentali mostrano, come vedremo, che lo strato di malta si mantiene impermeabile all'acqua sino a valori notevoli della pressione interna nel condotto.

Secondo la norma americana ANSI/AWWA C-602-06 la malta cementizia deve presentare dopo 28 giorni di maturazione una resistenza alla compressione minima pari a 31 MPa. Le norme tedesche (W 343 del DVGW) pongono a questo proposito limiti più elevati prescrivendo per la resistenza a compressione un minimo di 64 MPa e per quella a trazione un minimo di 8 MPa. Nella norma Europea (UNI EN 10298:2006, seppure con le limitazioni di applicabilità in sito) questi limiti vengono posti rispettivamente a 50 MPa e 5 MPa. In realtà il soddisfacimento del limite imposto dalla norma americana si è rivelato, nelle applicazioni correnti, oltremodo sufficiente a garantire una adeguata resistenza del rivestimento in malta sia alla filtrazione che allo scoppio (quando il rivestimento è applicato in corrispondenza di fori e lesioni passanti).



Figura 5 - una fase del trattamento mediante CML di una tubazione in acciaio DN1200, durante i lavori di riabilitazione di un tronco dell'acquedotto di Milano – agosto 2007.

### 3.2 RIABILITAZIONE CON TUBI NON ADERENTI: LOOSE-FIT LINING

Il concetto di riabilitare senza scavare a cielo aperto trova una naturale ed intuitiva traduzione nelle tecnologie di **loose-fit lining**: ovvero riabilitazione con tubi non aderenti.

Si tratta del semplice inserimento, entro la tubazione da riabilitare, di una nuova tubazione le cui pareti esterne non aderiscono perfettamente alle pareti interne del tubo ospite.

Lo spazio esistente tra parete esterna del nuovo tubo e parete interna del tubo ospite, viene chiamato tecnicamente *anulus*, e la sua ampiezza può variare tra pochi millimetri e qualche centimetro, a seconda della tecnica utilizzata.

Nella terminologia tecnica specialistica un altro termine spesso utilizzato per indicare queste tecnologie è **slip-lining** (letteralmente *riabilitazione per infilaggio*), poiché l'inserimento del liner nell'host avviene quasi sempre per infilaggio (a spinta ma assai più spesso per trazione).

Le varianti tecnologiche in questo caso sono molte, e fanno quasi sempre capo a brevetti di proprietà di produttori specifici.

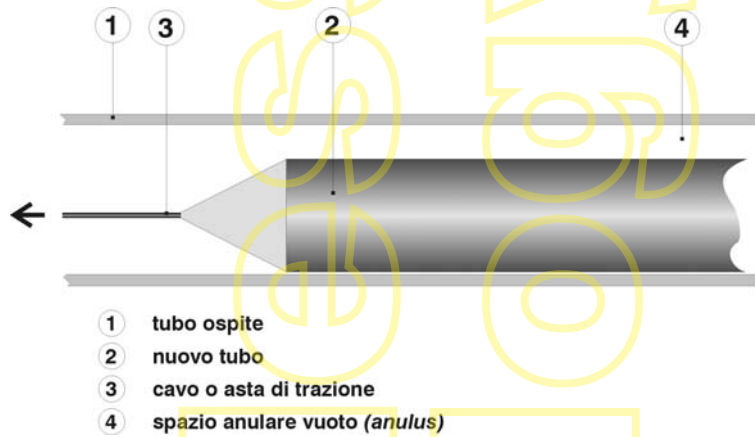


Figura 6 - *loose-fit lining (immagine tratta dal manuale “Progetto No-Dig” vol.4 – R. Chirulli – Editrice La Fiaccola – Milano 2005 ).*

Mediante tecnologie di loose-fit lining è possibile riabilitare sia tubazioni a gravità che tubazioni in pressione, installando i materiali più diversi: dal polietilene, al PVC, all'acciaio, fino ai materiali compositi.

I campi di applicazione spaziano dalle tubazioni per l'acqua, ai sistemi fognari, alle reti di distribuzione e trasporto del gas e degli olii combustibili.

La riabilitazione di una tubazione mediante loose-fit lining, specie quando questa è di lunghezza significativa (oltre i 100 metri) viene in genere operata per tronchi più corti, che vengono poi tra loro collegati mediante pozzetti (se si tratta di tubazioni a gravità, o pezzi flangiati o saldati (se si tratta di tubazioni in pressione), salvo il caso, come vedremo, della riabilitazione mediante speciali compositi plastici armati con fibra aramidica (Kevlar®).

Lo schema base di un'applicazione di loose-fit lining, prevede la realizzazione di due buche di servizio, una all'inizio ed una alla fine del singolo tronco da riabilitare.

La nuova tubazione viene spinta o trainata all'interno della tubazione ospite, lungo il singolo tronco, collegando così la buca di partenza con quella di arrivo.

Il range dimensionale standard varia: per i diametri tra i 4" ed i 16"; mentre per le lunghezze di installazione, con alcune particolari tecniche, si possono raggiungere, sul singolo tronco, anche i 1.000 metri. Le produttività possono invece variare tra i 50 ed i 1.000 metri giorno, a seconda della tecnologia utilizzata.

Il quadro normativo di riferimento è piuttosto scarso. La norma Europea che richiama queste tecnologie è la serie EN 14409 “Plastics piping systems for renovation of underground water supply networks” del marzo 2005.

Sempre a livello di concetti generali, una problematica comune che contraddistingue tutte le tecnologie di loose-fit lining, è quella legata alla realizzazione delle connessioni laterali.

Infatti può accadere che la tubazione da riabilitare possa presentare diverse diramazioni laterali (connessioni) verso utenze o altri rami secondari della rete di cui fa parte. Connettere il liner appena installato con le diramazioni presenti lungo il tronco risanato, può comportare una serie di problemi di cui occorre certamente tener conto nelle valutazioni che attengono alla convenienza ed all'opportunità di ricorrere a tecnologie di tipo No-Dig per la riabilitazione di tubi interrati.

Nonostante i grandi progressi e le molte innovazioni introdotte in questo campo, la realizzazione delle connessioni laterali resta ad oggi un'operazione che viene effettuata sostanzialmente ancora con scavo a cielo aperto. La realizzazione di connessioni laterali in modalità No-Dig, specialmente per tubazioni in pressione, resta infatti un'operazione ancora difficilmente realizzabile e di carattere ancora sostanzialmente sperimentale.

Il che significa che nel progettare un intervento di riabilitazione di tipo No-Dig, è necessario valutare la frequenza e la profondità delle eventuali diramazioni laterali presenti, in modo da poter analizzare se i vantaggi che si conseguono dall'eliminazione dello scavo a cielo aperto per la riabilitazione della tubazione principale, non vengano poi controbilanciati negativamente dal numero e dall'ampiezza degli scavi a cielo aperto necessari per realizzare le connessioni laterali.

Questo aspetto diviene alle volte la discriminante fondamentale che fa preferire una tecnica No-Dig ad una tradizionale o viceversa.

### 3.2.1 Loose-fit lining con tubi flessibili armati con fibra aramidica: Primus Line®.

Questa tecnologia si fonda sull'utilizzo di un tubo semirigido costituito da una matrice plastica armata con fibra aramidica (la più nota è il Kevlar®).

Le fibre aramidiche sono dotate di caratteristiche chimico-fisiche molto particolari, quali: elevatissima resistenza alla trazione (3,6 GPa – da 3 a 5 volte la resistenza di un acciaio speciale), basso peso specifico (1,4 gr/cmc), elevata rigidità strutturale (basso allungamento sotto carico), bassa conduttività elettrica, elevata resistenza chimica, basso ritiro termico, elevata resilienza, elevata stabilità dimensionale, elevata resistenza al taglio, resistenza alla fiamma, autoestinguenza.

Trovano impiego in svariatissime applicazioni, come ad esempio nella fabbricazione di giubbotti antiproiettile o di cavi ad alta resistenza meccanica.

I liner costruiti con fibre aramidiche presentano pareti molto sottili, pur essendo dotati di resistenze e quindi classi di pressione estremamente elevate.

Ad esempio un liner con diametro nominale da 6" (150 mm) ha uno spessore nominale di soli 5 mm e può lavorare in esercizio continuo con una pressione di 32 bar, potendo resistere a sovrappressioni nei transitori sino a 140 bar. Nello stato di fornitura pre-installazione, il liner viene fornito in un tronco unico senza giunzioni, ripiegato ed avvolto su bobina. La lunghezza di liner, che è possibile costruire, è limitata solo dalla dimensione della bobina. Attualmente il liner da 6" può essere fornito in lunghezza massima avvolta in bobina, pari a 6.000 piedi (circa 1.800 metri). L'installazione è estremamente veloce e può permettere la riabilitazione anche di 1.000 metri/giorno di condotta ospite.



L'applicazione è concettualmente semplice. Si taglia la condotta da riabilitare in due sezioni: una di partenza ed una di arrivo. Si procede ad una pulizia interna della condotta da riabilitare e quindi, dalla sezione iniziale di partenza, si inserisce un cavo di trazione in acciaio, che viene fatto emergere nella sezione di arrivo. In corrispondenza della sezione di arrivo si aggancia il liner, che viene fatto passare, prima di entrare in condotta, in una sezione di riformatura (costituita da una serie di rulli a doppio cono) nella quale man mano che il tubo scorre viene riportato, per semplice riformatura meccanica a freddo (che ha effetto sull'orientamento delle fibre di armatura), alla sua forma originaria circolare.



- ① **liner (PRIMUS LINE®)**
- ② **sezione di entrata del tubo ospite con i cilindri di riformatura**

Figura 7 - *riabilitazione di una tubazione in acciaio mediante Primus Line® (immagine tratta dal manuale "Progetto No-Dig" vol.4 – R. Chirulli – Editrice La Fiaccola – Milano 2005).*

Un opportuno argano, posto in corrispondenza della sezione di partenza, riavvolge il cavo di trazione in acciaio sino a che l'estremità del liner non emerge nella sezione di partenza.

A questo punto sui due terminali liberi del liner si assemblano delle speciali flange in acciaio, il tutto con operazioni a freddo che non richiedono particolari attrezzature di cantiere.

Le flange vengono fissate su opportune controflange preventivamente montate sulle testate terminali della tubazione ospite. Terminato il serraggio delle flange, la tubazione risanata può entrare immediatamente in esercizio. Con questa tecnologia oggi è possibile installare liner con diametro sino a 15" (380 mm).

Altre interessanti caratteristiche dei tubi armati con fibre aramidiche sono la bassissima scabrezza delle pareti interne ( $\epsilon = 0.007$  mm), l'elevatissima resistenza all'abrasione (meno di 3/100 mm dopo 600.000 cicli) e la durata di vita utile (18.650 cicli di pressione che simulano una durata in servizio di oltre 50 anni).

Questa specifica tecnologia trova la sua ottimale applicazione nella riabilitazione di condotte idriche e di tubazioni del gas, ed in tutti quei casi in cui la rapidità di esecuzione del lavoro sia la discriminante principale.

Grazie ai ridotti spessori dei liner costruiti con fibre aramidiche, la riduzione di sezione utile del tubo ospite, conseguente all'inserimento del liner, può essere piuttosto esigua. In ogni caso il valore assai ridotto del coefficiente di scabrezza delle pareti interne, insieme con la possibilità di aumentare la pressione di esercizio del tronco, possono rendere del tutto ininfluenza, sul piano della portata utile, la riduzione di sezione conseguente all'inserimento del liner. Con questa tecnologia non si rende necessario alcun intasamento dell'anulus.

### 3.3 RIABILITAZIONE CON TUBI ADERENTI: CLOSE-FIT LINING

Le tecnologie di riabilitazione No-Dig di tipo **close-fit lining** si basano su un semplice schema concettuale: l'inserimento nella tubazione da riabilitare di un tubo nuovo temporaneamente deformato successivamente riportato alla forma e dimensioni originali in modo da aderire perfettamente (close-fit) alle pareti interne del tubo ospite.

La deformazione temporanea del nuovo tubo serve a ridurne la sezione trasversale in modo da facilitare l'inserimento del nuovo tubo in quello da riabilitare. È temporanea perché, una volta che il nuovo tubo è stato posizionato in quello da risanare, esso viene riportato alla dimensione e forma originali.

Mediante close-fit lining si ottiene una riabilitazione totale delle funzioni del tubo ospite, senza avere riduzioni significative della sezione utile della tubazione da riabilitare, a differenza di come invece può accadere con lo sliplining classico.

Un altro termine spesso utilizzato per indicare le tecnologie di close-fit lining è **close-fit pipe** o **CFP**.

Il concetto base del close-fit lining è stato implementato negli anni in diverse tecnologie proprietarie, tutte coperte da brevetto e quindi, come tali, soggette al pagamento di royalties o a particolari accordi di licenza.

Ciascuna tecnologia proprietaria assume un nome proprio, che molto spesso è finito per diventare, erroneamente, il nome per indicare il close-fit lining nel suo insieme. Ecco allora che marchi come *Rolldown* o *Subline* (dell'inglese *Subterra*) sono stati alle volte utilizzati per indicare genericamente la tecnologia del close-fit lining.

Una classificazione delle tecnologie di close-fit lining è quella che distingue due classi:

- tecnologie basate sulla riduzione temporanea di diametro, dette **RDP** (reduced diameter pipe) o **swaged liners**
- tecnologie basate sulla deformazione temporanea di forma, dette **MFP** (mechanically folded pipe) o **folded liners**

In tutte queste tecnologie il materiale utilizzato è prevalentemente il polietilene; trovano tuttavia impiego anche il polietilene così detto cross-linked (PE-X), il PVC ed il poliestere estruso (PET).

Nelle tecnologie di close-fit lining di tipo RDP, la riduzione temporanea del diametro del liner si ottiene facendo passare la nuova tubazione attraverso una matrice di riduzione del diametro.

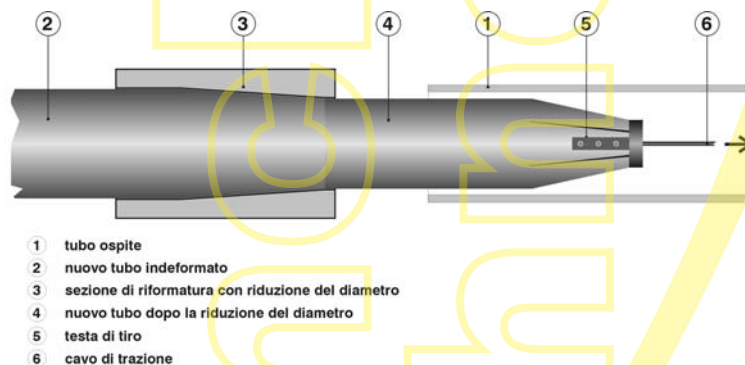


Figura 8 - *close-fit lining metodo RDP: riduzione temporanea del diametro ed inserimento del liner nell'host (immagine tratta dal manuale "Progetto No-Dig" vol.4 – R. Chirulli – Editrice La Fiaccola – Milano 2005 ).*

Questa operazione può avvenire, a seconda dei metodi, a freddo o a caldo. In ogni caso non viene mai superata la temperatura alla quale è stato originariamente estruso il tubo plastico, in maniera da non annullare la così detta *memoria di forma* del materiale, grazie alla quale con l'azione successiva della sola pressione o combinata di calore e pressione, sarà possibile riportare il tubo alla sua dimensione originaria.

La riduzione di diametro è intorno al 10%-15%, che è in genere sufficiente a far scorrere il liner dentro il tubo ospite, senza incontrare grandi resistenze all'inserimento.

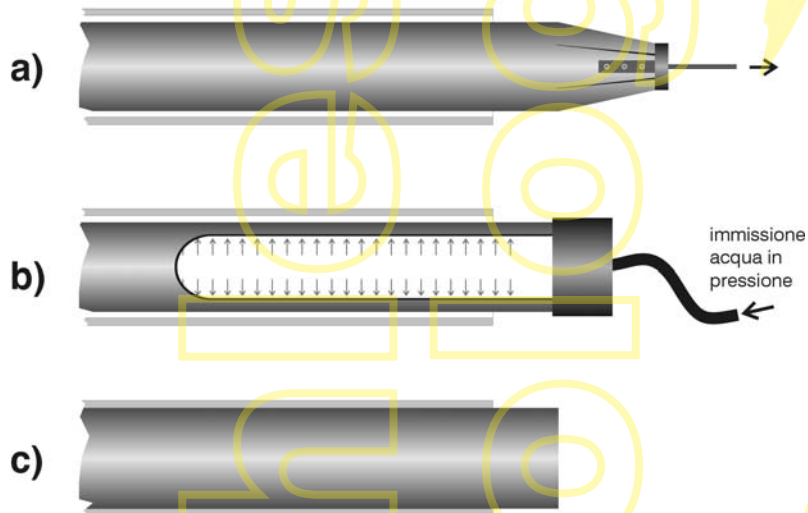


Figura 9 - *close-fit lining metodo RDP: riformatura del liner (immagine tratta dal manuale "Progetto No-Dig" vol.4 - R. Chirulli - Editrice La Fiaccola - Milano 2005).*

Nelle tecnologie di close-fit lining di tipo MFP, la deformazione temporanea di forma viene invece ottenuta ripiegando il tubo in due falde, che vengono quindi serrate mediante fascette di contenimento generalmente in materiale plastico.

Il tubo nuovo, così ripiegato, viene quindi inserito (quasi sempre per trazione) nella tubazione ospite, e quindi per effetto della pressione (e quando occorre - come nel caso del PVC - anche del calore) riportato alla forma originaria.

La riformatura del tubo nuovo avviene quasi sempre utilizzando acqua in pressione a temperatura ambiente.

Se invece il materiale lo richiede, allora la riformatura può avvenire o con acqua calda o con una miscela di aria e vapore surriscaldato in pressione. La pressione che si utilizza in genere non supera 0.5-1.0 bar.

Mediante close-fit lining è possibile riabilitare tubazioni in un range dimensionale che va dai 4" (100 mm) ad oltre 60" (1.500 mm), con lunghezze per singola tratta che possono superare i 300 m.

Le tecnologie di close-fit lining trovano applicazione in vari settori, come quello idrico, fognario e delle reti gas.

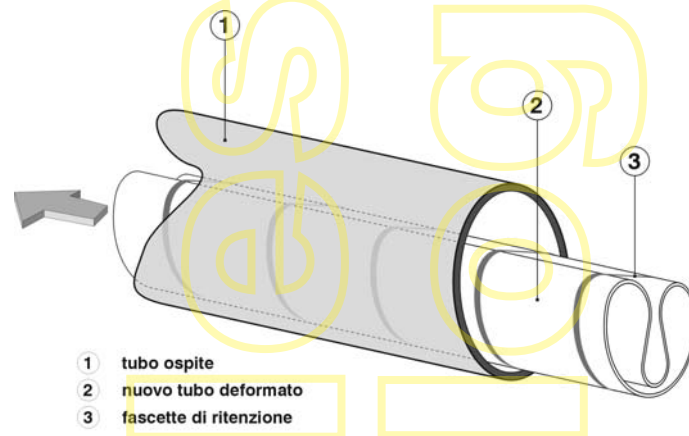


Figura 10 - *close-fit lining metodo MFP (immagine tratta dal manuale “Progetto No-Dig” vol.4 – R. Chirulli – Editrice La Fiaccola – Milano 2005 ).*

A livello normativo per le applicazioni di close-fit lining si applicano tutte le norme tecniche specifiche in materia di tubi in materiale plastico, naturalmente con riferimento al particolare campo di applicazione in cui ricade la riabilitazione (acquedotti, fognature, reti gas, ecc.).

Oltre a queste esistono, in particolare nel campo acquedottistico, alcune norme europee specifiche in materia di close-fit lining, quali:

- **UNI EN 14409** – “Sistemi di tubazioni di materia plastica per il ripristino delle reti di distribuzione dell’acqua interrate” - Parte 3: Ripristino con tubi ad alta aderenza (Plastics piping systems for renovation of underground water supply networks - Part 3: Lining with close fit-pipes) – marzo 2005
- **UNI EN 13566** - “Sistemi di tubazioni di materia plastica per il ripristino di reti non in pressione di fognature e scarichi” - Parte 3: ripristino con tubi aderenti (Plastics piping systems for renovation of underground non-pressure drainage and sewerage networks – Part 3: Lining with close fit-pipes) – in corso di approvazione (Data di prevista approvazione: dicembre 2007).

Nella normativa americana il close-fit lining è standardizzato ai sensi delle seguenti norme alle quali si rimanda per approfondimenti:

- **ASTM F 1504-97** – “Standard Specification for Folded Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pipe for Existing Sewer and Conduit Rehabilitation”
- **ASTM F 1533-97** – “Standard Specification for Deformed Polyethylene (PE) Liner”

- **ASTM F 1606-95**– “Standard Practice for Rehabilitation of Existing Sewers and Conduits with Deformed Polyethylene (PE) Liner”

#### 4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AA.VV., *Trenchless Technology Guidelines*, ISTT, U.K.

Chirulli R., *Progetto No-Dig*, Casa Editrice La Fiaccola, Italia, 2005-2006.

Chirulli R., *Risanamento non distruttivo di condotte interrate ed aeree, mediante Cement Mortar Lining*, Workshop CSDU & Università di Bologna “*La Progettazione e la gestione dei sistemi acquedottistici e fognari*” - H2O IX Mostra Internazionale delle tecnologie per il trattamento e la distribuzione dell'acqua potabile e il trattamento delle acque reflue – Ferrara, 21-23 maggio 2008.

Najafi M., *Trenchless Technology*, Mc Graw Hill, USA, 2005.