



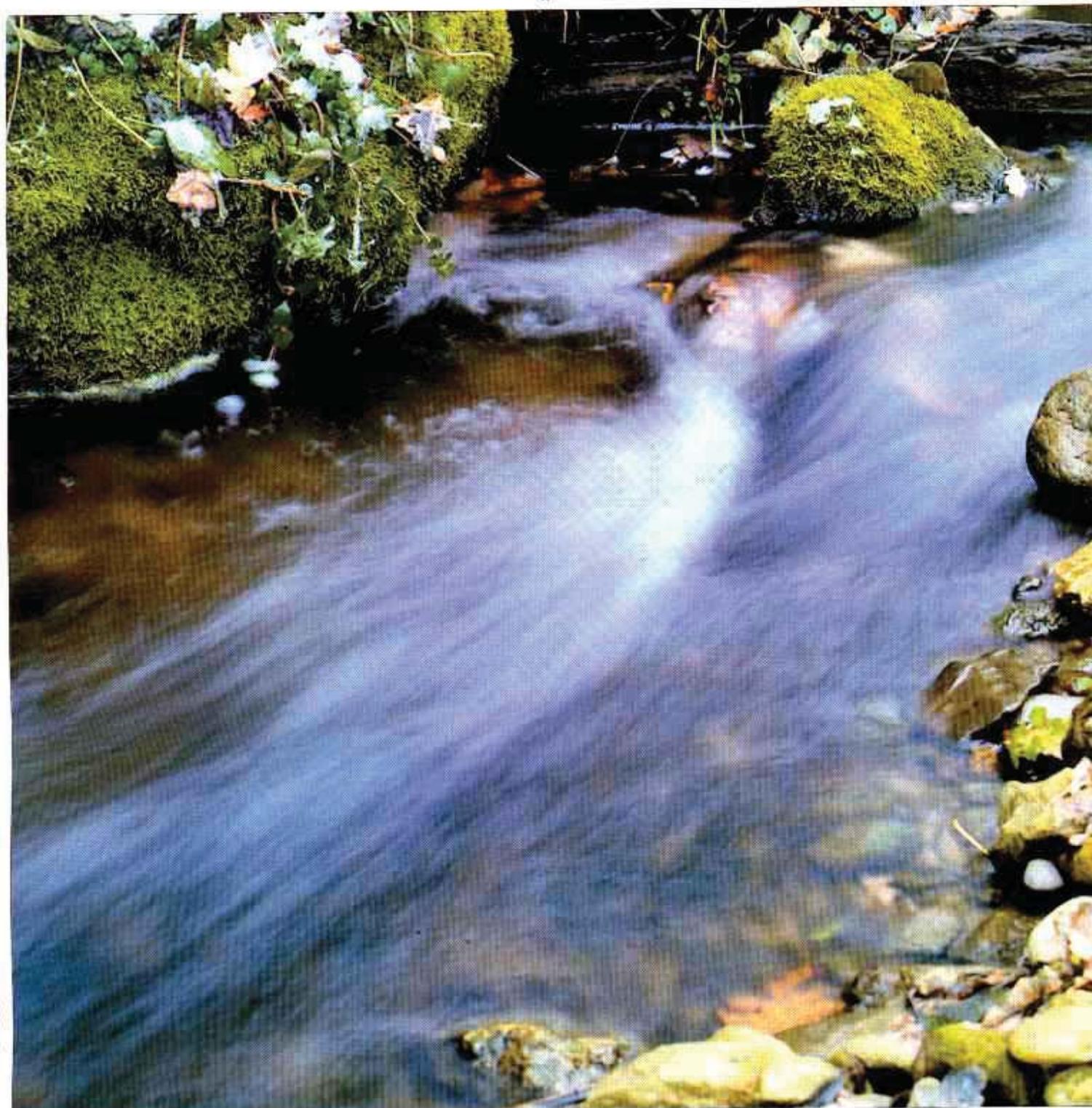
L'ACQUA

ESTRATTO

Renzo Chirulli

TRENCHLESS TECHNOLOGY

Installazione, riabilitazione e sostituzione di condotte interrato mediante tecnologie esecutive con limitato ricorso agli scavi a cielo aperto





Renzo Chirulli*

TRENCHLESS TECHNOLOGY.

Installazione, riabilitazione e sostituzione di condotte interrato mediante tecnologie esecutive con limitato ricorso agli scavi a cielo aperto

Summary

Especially in urban areas the yards needed to carry out installation, rehabilitation or replacement of underground pipes, affect traffic, quality of street pavements and economical and residential activities that take place near yards. Trenchless technologies not only allow to reduce those negative effects, but they allow to carry out innovative typology of works.

Sommaire

La mise en place de chantiers, nécessaires pour les opérations d'installation, de réhabilitation ou de substitution de conduites souterraines en milieu urbain en particulier, détermine des effets négatifs quant à la mobilité des véhicules, à la qualité des rues, et également aux quantaux activités économiques et résidentielles qui se déroulent au voisinage des chantiers. Les technologies "trenchless" permettent non seulement d'abattre ces effets négatifs, mais encore de réaliser des typologies d'interventions innovatrices.

Sommario

Le cantierizzazioni necessarie per l'effettuazione di operazioni d'installazione, riabilitazione o sostituzione di condotte interrato, specie in ambito urbano, determinano effetti negativi sulla mobilità veicolare, sulla qualità delle strade, nonché sulle attività economiche e di residenza che hanno luogo in prossimità dei cantieri. Le tecnologie trenchless consentono non soltanto di abbattere questi effetti negativi, ma anche di realizzare tipologie di intervento innovative.

1. INTRODUZIONE

Le tecnologie trenchless, note più gergalmente come tecnologie *No-Dig*, consentono di effettuare l'installazione, la riabilitazione (o rinnovamento) e la sostituzione di condotte interrato con un limitato, ed in certi casi nullo, ricorso agli scavi a cielo aperto. Il loro sviluppo, avvenuto nel corso degli ultimi vent'anni, è stato stimolato dall'esigenza, particolarmente sentita nei grandi centri urbani, di ridurre le inevitabili interferenze che si generano tra cantieri ed infrastrutture viarie, allorché è necessario procedere all'esecuzione di interventi che interessino condotte ed in generale servizi interrati.

Ma nel tempo sono andate emergendo esigenze di tipo differente, da quelle appena evidenziate, legate essenzialmente alla necessità di procedere al recupero funzionale ed alla sostituzione di parti consistenti delle reti interrato, senza dover necessariamente ricorrere all'effrazione delle pavimentazioni superficiali. Anche in questo caso la risposta è arrivata dal mondo del trenchless.

Naturalmente quanto più sono andate intensificandosi le attività senza scavo a cielo aperto, tanto più è divenuta imprescindibile la conoscenza preventiva del sottosuolo in termini di localizzazione dei servizi e di strutture interrato preesistenti, nonché di identificazione e classificazione dei suoli.

Lo sviluppo di tecnologie d'indagine non invasive ed ad alto rendimento, ed in particolare di quelle basate sull'impiego di sistemi radar ad array di antenne in multifrequenza ed in multipolarizzazione, ha permesso di costruire apparati dedicati alla ricerca servizi ed al riconoscimento suoli. Questi sistemi consentono oggi di rilevare vaste aree in ambito urbano ed extraurbano, con livelli di certezza nella detezione superiori al 90%, alti rendimenti (oltre 2500 m²/giorno) ed automazione nella restituzione cartografica, che avviene direttamente attraverso sistemi CAD integrati con sofisticati software di processazione ed interpretazione dei segnali.

*Ingegnere, responsabile della Ricerca della IT Consulting S.r.l. (BA).

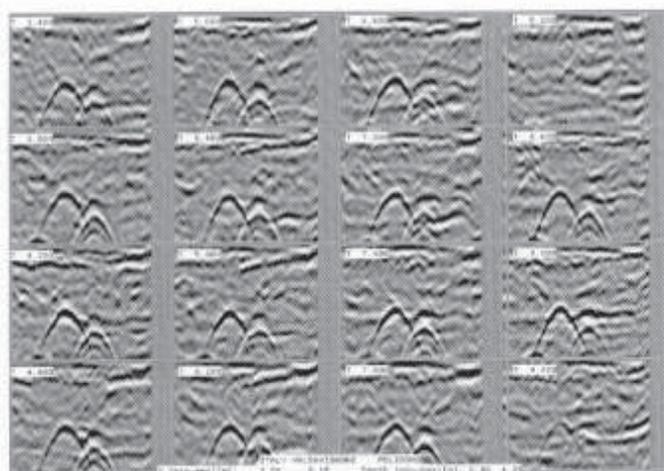


Figura 1 - Radargrammi ottenuti mediante un sistema radar per la ricerca servizi, operante in multifrequenza ed il multipolarizzazione. Le iperboli visibili rappresentano le tracce radar di tubazioni interrante.

Questo complesso di innovazioni e sviluppi tecnologici costituisce oggi una nuova ed importante materia di studio sia per i ricercatori e gli sviluppatori che per i professionisti, per i quali il No-Dig si offre non solo come un'alternativa efficace agli scavi a cielo aperto, ma soprattutto come approccio e come metodologie d'intervento innovative rispetto al passato, più compatibili con le esigenze e le caratteristiche dell'ambiente urbano e naturale.

2. LA FILOSOFIA BASE DEL NO-DIG

Se ci riferiamo unicamente al settore dei servizi interrati, e più in particolare a quello delle condotte interrante, le tecnologie No-Dig possono essere suddivise in funzione del tipo di applicazione che esse consentono di effettuare.

Da questa considerazione deriva la suddivisione in tecnologie trenchless per:

- l'installazione
- la manutenzione e la riabilitazione
- la sostituzione

tutte operazioni naturalmente che hanno per oggetto condotte interrante.

Se considerassimo le possibilità operative offerte dalle tecnologie tradizionali, l'installazione e la sostituzione di condotte interrante, che nel No-Dig sono attività profondamente diverse, sarebbero, al contrario, operazioni praticamente identiche (fatte salve le differenze che occorrono a causa delle opere che è necessario realizzare complementariamente a quella principale, come ad esempio i by-pass, i sezionamenti della rete preesistente, ecc.). Questo costituisce uno dei tanti esempi di come il No-Dig possa rappresentare non solo un'alternativa agli scavi a cielo aperto, ma anche un complesso di tecniche esecutive innovative in grado di permettere l'effettuazione di tipologie d'intervento sino a ieri nemmeno esistenti.

Il principio base che caratterizza ed unifica tutte le tecnologie trenchless, e che sotto certi aspetti ne costituisce anche la filosofia base, è naturalmente quello secondo il quale le operazioni devono essere effettuate con limitata o nulla effrazione della superficie, e conseguentemente con un limi-

tato o nullo ricorso agli scavi a cielo aperto. A questo primo principio, nel tempo, se sono andati ad aggiungere altri, come ad esempio quello secondo il quale nelle operazioni trenchless, propriamente dette, che ovviamente si svolgono prevalentemente nel sottosuolo, non vi debba essere, a differenza delle tecnologie tradizionali, presidio umano diretto nel sottosuolo, ciò al fine di elevare i livelli di sicurezza nelle operazioni di cantiere.

Ecco perché si tende oggi a considerare, come intervento di tipo tradizionale, e non propriamente No-Dig, quello genericamente di rivestimento (coating) delle pareti interne di una condotta praticabile che sia operato manualmente o comunque con la presenza diretta in condotta di personale, anche se questi interventi, non contemplando lo scavo a cielo aperto, potrebbero essere considerati di tipo trenchless.

Nel trenchless stanno infatti da tempo assumendo grande importanza anche altre caratteristiche, che stanno diventando prerequisiti perché una tecnologia possa definirsi effettivamente trenchless, quali:

- l'efficienza;
- l'alto rendimento (o produttività);
- i bassi rilasci di sostanze inquinanti in atmosfera e nel sottosuolo;
- l'automazione.

Il risultato di tutto questo processo è rappresentato dal perfezionamento di tecnologie che possono oggi garantire: bassissimi impatti ambientali, elevate produttività, elevati livelli di sicurezza. Tutto questo è oggi il No-Dig.

3. TECNOLOGIE TRENCHLESS PER LA RIABILITAZIONE E LA SOSTITUZIONE DI CONDOTTE INTERRATE

Sarebbe certamente interessante offrire una panoramica generale sulle tecnologie che il mondo del No-Dig mette oggi a disposizione, e ancora di più sarebbe poterne discutere nel dettaglio le possibilità applicative, i mezzi e le tecniche operative impiegate, le produttività conseguibili, ecc.

Questo naturalmente non può essere fatto nell'ambito di un singolo articolo. È quindi opportuno operare la focalizzazione del discorso su un solo approfondimento.

Tra le molteplici problematiche che riguardano la realtà delle reti di servizi del nostro paese, ve ne è una in particolare, di urgente attualità, che riguarda lo stato di manutenzione delle reti idriche e fognarie, per le quali si rilevano situazioni di degrado diffuso ed, in molti casi, profondo. Questo fenomeno, ampiamente noto e discusso, produce degli effetti indesiderati tra i quali è utile ricordare:

- a) le consistenti perdite lungo le linee di adduzione e distribuzione dell'acqua potabile, che per molti acquedotti rappresentano una delle voci più pesanti nei passivi di bilancio, e per molti utenti l'indisponibilità dell'acqua potabile per molte ore della giornata;
- b) le perdite lungo le condotte fognarie, che sono spesso causa di contaminazione delle falde, con incremento dei rischi per la salute pubblica;
- c) le infiltrazioni che interessano le condotte fognarie, con conseguenze sui regimi di funzionamento degli impianti di depurazione, che spesso divengono oltremodo critici, con nocimento della funzione primaria di tali impianti;
- d) le infiltrazioni (da molti considerate rare ma che in certe

regioni italiane così rare non sono) che possono interessare le condotte idriche con grave rischio per la salute pubblica.

Tutto questo è originato da varie cause, tra le quali figurano certamente:

- l'elevata età media delle condotte idriche e fognarie italiane;
- l'incremento dei volumi di traffico veicolare ed i cambiamenti, rispetto al passato, delle caratteristiche medie dei veicoli (peso, velocità), con conseguente aumento dei carichi esterni agenti sulle condotte e quindi delle deformazioni e rotture che si verificano (che sono una delle cause prime di degrado delle stesse);
- l'incremento della frequenza degli interventi di scavo per la posa di infrastrutture di servizio contigue, con conseguente decremento delle caratteristiche meccaniche degli strati di ricoprimento posti a protezione delle condotte;
- la scarsa manutenzione degli impianti.

Il recupero funzionale delle reti idriche e fognarie rappresenta uno dei maggiori impegni che, in questo fondamentale settore, gli enti di gestione e la pubblica amministrazione sono oggi chiamati a sostenere. Le tecnologie esecutive tradizionali forniscono, in tal senso, mezzi d'intervento limitati, a basso rendimento e ad alto impatto ambientale. Operando con tecnologie tradizionali non vi è alcuna differenza, sotto l'aspetto esecutivo, tra il dover operare un intervento di manutenzione straordinaria o di sostituzione, rispetto a quanto occorre fare per installare una nuova condotta, specie se si tratta di condotte non praticabili. In tutti questi casi si deve infatti scavare una trincea, mettere a giorno la condotta e quindi intervenire. Recenti normative, come la direttiva 3/3/99 della Presidenza del Consiglio, in materia di "razionale sistemazione nel sottosuolo degli impianti tecnologici", hanno stabilito un principio secondo il quale in futuro potranno essere tollerati sempre meno quegli interventi che comportano l'effrazione del piano viabile con le inevitabili e note conseguenze sull'ambiente urbano, di cui si è già parlato nell'introduzione.

Nessuna delle tradizionali tecnologie d'indagine è inoltre in grado di fornire quella mappatura estensiva delle reti che ri-

produca la loro reale struttura sia sotto l'aspetto geometrico che fisico (dimensioni, andamenti plano-altimetrici, articolazione, materiali, stato di manutenzione o di degrado, ecc.).

Poter disporre di un'informazione del genere significherebbe innanzitutto poter costruire una modellistica di simulazione di grande utilità per la gestione delle reti, e quindi poter ottimizzare sia gli interventi d'indagine e monitoraggio di dettaglio, sia gli interventi di recupero funzionale.

A questo complesso di esigenze rispondono le tecnologie trenchless per la riabilitazione e la sostituzione di condotte interrato, e le tecnologie d'indagine radar per la ricerca servizi, la mappatura del sottosuolo ed il riconoscimento e la classificazione suoli, che sono ormai parte integrante del No-Dig, e con esso stanno evolvendo attraverso continui perfezionamenti.

Il nostro approfondimento riguarda questi primi due temi: tecnologie riabilitative e tecnologie sostitutive.

4. TECNOLOGIE TRENCHLESS PER LA RIABILITAZIONE DI CONDOTTE INTERRATE

Sono noti gli svariati fenomeni di alterazione delle condotte interrato che, col procedere dell'esercizio, possono condurre alla perdita delle caratteristiche originarie che esse possedevano immediatamente dopo la costruzione.

In genere una delle prime caratteristiche che le condotte perdono con l'esercizio (siano esse destinate al trasporto di liquidi o di gas, sia in pressione che non) è l'impermeabilità al fluido trasportato o ai fluidi esterni.

Un altro fenomeno che si verifica con l'esercizio, è l'aumento della resistenza idraulica che si misura lungo la condotta. Questo incremento può essere causato sia dalla formazione di depositi ed incrostazioni lungo le pareti interne della tubazione, sia dalla formazione di lesioni, sia infine dall'accumulo di detriti, sostanze ed "oggetti" provenienti dall'esterno, in punti particolari del tracciato (avvallamenti, diramazioni, variazioni di sezione).

Un altro fenomeno rilevante, in termini di effetti sulle con-



Figure 2 e 3 - Lo stato in cui versano molte reti idriche e fognarie è disastroso.

dizioni di esercizio delle condotte interrate, è certamente rappresentato dal collasso strutturale delle condotte, che è un fenomeno che può aver luogo anche immediatamente dopo l'installazione, e che in genere è causato dall'azione di carichi esterni (traffico, sisma, movimenti franosi, ecc.). Generalmente le fenomenologie descritte sono concomitanti e sovrapposte, per cui lo stato di manutenzione delle condotte può essere anche notevolmente compromesso.

Con il termine *riabilitazione* vengono indicate quelle operazioni mediante le quali si attua un recupero parziale o totale delle funzioni che una data tubazione ha perso a causa dell'insorgenza di fenomeni di alterazione, quali quelli appena ricordati. In alternativa al termine *riabilitazione*, ma col medesimo significato, vengono spesso utilizzati i termini *risanamento* o *rinnovamento*.

Rispetto a quanto invece previsto nei metodi così detti sostitutivi (esaminati nel seguito), la riabilitazione non prevede una preliminare distruzione della condotta preesistente.

Una classificazione delle tecnologie trenchless (Tab. 1) per la riabilitazione di condotte può essere quella che distingue le tecnologie esistenti a seconda che esse prevedano:

- A) l'inserimento di una tubazione nuova entro quella esistente
- B) la formazione di un nuovo rivestimento direttamente entro la condotta esistente.

TABELLA 1 - Tecnologie No-Dig per la riabilitazione di condotte

A con inserimento di una tubazione nuova entro quella esistente	B con formazione di un nuovo rivestimento direttamente entro la condotta esistente
1.A) close-fit lining - swaged liners ¹ (nota anche come <i>swage lining</i>) - folded liners - expanded spiral liners	1.B) cured in place lining o CIPP (<i>Cured in Place Pipe</i>) - thermal /ambient cure - UV-lining
2.A) sliplining	2.B) spray lining
3.A) altre tecniche assimilabili al close-fit lining (come ad esempio il TROLINING™)	3.B) spiral lining (e spirally wound lining)

¹Il "liner" (in italiano tecnicamente calza) è il prodotto base impiegato nelle operazioni di relining (rifoderatura) sia che si tratti di operazioni di risanamento, sia che si tratti di operazioni sostitutive.

Le tecnologie appena elencate (gruppi A e B) sono destinate in generale al risanamento di tronchi estesi di condotte interrate. Nel seguito esamineremo tra queste, con maggiore dettaglio, le più significative, sotto l'aspetto della flessibilità applicativa.

4.1 Risanamento con formazione di un nuovo rivestimento direttamente entro la condotta esistente

Tra le tecnologie di risanamento che prevedono l'inserimento di una tubazione nuova entro quella preesistente, è

interessante approfondire la descrizione del *close-fit lining* e dello *sliplining*.

1) Close-fit lining

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

La caratteristica distintiva di questa tecnica è che la nuova tubazione, una volta inserita, aderisce perfettamente alle pareti interne della condotta da risanare.

Questo può essere ottenuto, esecutivamente, in diversi modi, tra i quali approfondiamo in particolare quello legato all'uso dei così detti *folded liners*.

Un *folded liner*, come dice la parola stessa, è un liner ripiegato su se stesso. Questo genere di liners sono conosciuti anche come FFP - Fold and Formed Pipeliners. La più nota tecnologia di fold lining è il così detto **U-lining**, per il fatto che il liner (originariamente di sezione circolare) viene ripiegato su se stesso a forma di "U" (o di "C") prima di essere inserito nell'*host pipe* (ovvero la condotta da risanare detta appunto "tubo ospite" - *host pipe*). Una delle principali caratteristiche richieste al materiale impiegato per i liner è, in questi casi, la memoria di forma.

Il polietilene, che possiede, come molti altri materiali polimerici, questa caratteristica, viene impiegato sia per la fabbricazione di tubi in spessore standard (per le condotte) sia in forma di sottili film (per applicazioni in tubazioni di piccolissimo diametro 12÷18 mm), entrambi destinati ad applicazioni di *close-fit lining*.

La formatura del liner (folding phase) può essere operata sia in stabilimento, che direttamente in sito, attraverso l'uso di opportune unità che piegano e fascettano contemporaneamente il liner durante la fase stessa di trazione con la quale il liner viene posizionato entro l'*host pipe*.

Una volta in posizione, si procede alla riformatura del liner o mediante sigillatura delle sezioni terminali e quindi messa in pressione, oppure inserendo all'interno del liner un'ogiva di espansione opportunamente riscaldata, collegata quindi ad un cavo di ritenzione e mossa dalla pressione che viene opportunamente esercitata a monte di questa.

Sia la formatura che la riformatura sono processi che possono essere condotti a caldo per facilitare le operazioni di cantiere.

Il fold lining può essere impiegato con successo per la riabilitazione di tubazioni aventi diametri variabili tra 100 e 1600 mm e per tratte continue di lunghezza variabile tra 0 e 1000 metri.

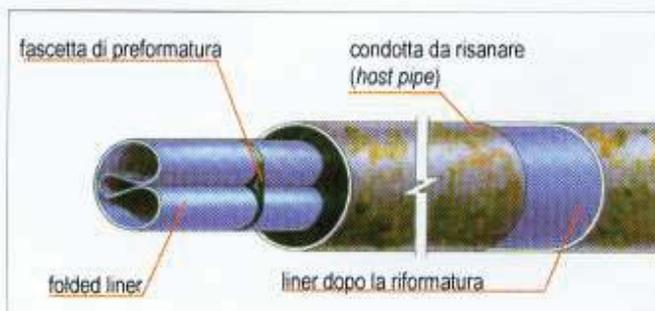


Figura 4 - U-lining. Schema di ripiegatura del folded liner.

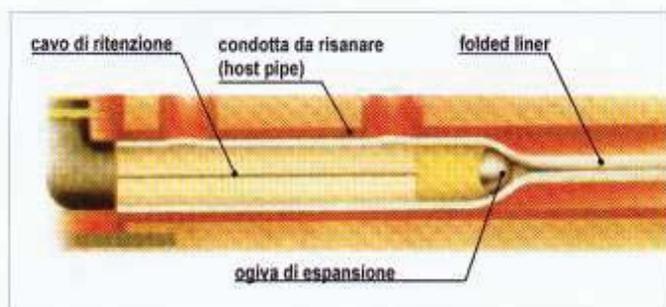


Figura 5 - Fold lining. Riformatura del liner, mediante ogiva metallica, dopo l'inserimento nella condotta ospite.

2) Sliplining.

Lo *sliplining* è certamente una delle metodologie No-Dig più elementari per il risanamento di condotte interrato. Consiste essenzialmente nell'inserire un tubo nuovo nella condotta da risanare (*host pipe*).

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

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

Prevalentemente però si ricorre all'impiego del PEAD o del PVC, per questioni di rapidità d'uso e di flessibilità del materiale.

Ad avvenuto inserimento, tra la parete esterna del liner e l'*host pipe* rimane un anulus che va intasato con l'iniezione di un opportuno grout (a base cementizia, o di resina epossidica).

Questa operazione è quella che pone i maggiori problemi esecutivi, al punto da diventare l'attività limitante di tutto lo *sliplining* (essenzialmente in termini di massime tratte continue realizzabili).

Un altro grande limite dello *sliplining* è costituito dalla riduzione di sezione utile della condotta conseguente all'inserimento del liner, anche perché non accade quasi mai di dover risanare una condotta che non presenti dislocamenti delle pareti interne.

Questa tecnologia può avere tuttavia la sua utilità, stante la sua economicità e nonostante le limitazioni evidenziate, in quei casi in cui un aumento della pressione di esercizio della rete risanata sia in grado di compensare opportunamente la diminuzione di portata conseguente alla riduzione delle sezioni di deflusso.

4.2 Risanamento con formazione di un nuovo rivestimento direttamente entro la condotta esistente

Tra le tecnologie No-Dig appartenenti a questo gruppo sicuramente è interessante approfondire la descrizione almeno del CIPP (*cured in place pipe*) e dello UV-lining, che è una sua variante di recente introduzione.

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

Il principio su cui si fonda il CIPP, noto anche come *insitu lining* o anche *soft lining*, è assimilabile a quello visto per il

fold lining, con la differenza sostanziale che il liner (che oltre ad essere ripiegato può in molti casi essere invertito durante il posizionamento) è costituito da una calza in tessuto, in genere poliestere o fibra di vetro, opportunamente impregnato con resine che vengono fatte polimerizzare ad avvenuto posizionamento del liner nell'*host*, divenendo una parte integrante dell'*host* stesso e consentendo un recupero di tutte o di parte delle funzioni perse dall'*host*.

Inoltre, a differenza di quanto visto per le tecnologie del gruppo A (tranne che per quelle destinate al risanamento di tubi di piccolissimo diametro), il CIPP è utilizzabile anche in presenza di curve strette del tracciato così come in presenza di condotte non circolari (ovoidali o poligonali) o di forma irregolare (come conseguenza del dissesto).

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

Indipendentemente dalle tecnologie di dettaglio impiegate, il CIPP si articola in tre fasi essenziali:

- preparazione del liner (in sito o in stabilimento), ovvero impregnazione con resina;
- posizionamento del liner nell'*host* (per inversione o per trazione);
- polimerizzazione della resina.

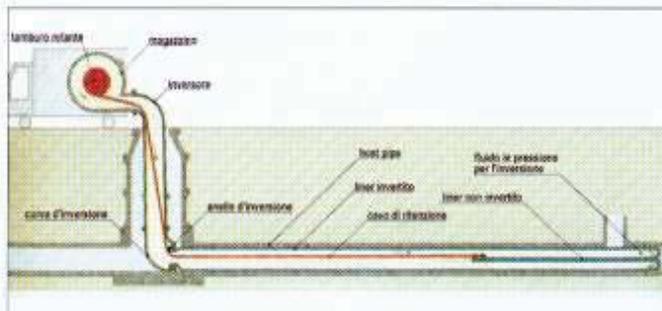


Figura 6 - Cured In Place Pipe. Schema esecutivo.

Naturalmente tali fasi sono precedute da quelle comuni, anche ad altre tecniche di risanamento, come l'ispezione e la pulizia dell'*host*, e sono quindi seguite dalle operazioni di riapertura e di sigillatura delle connessioni laterali, operate mediante sistemi entro tubo robotizzati.

Al di là degli aspetti prettamente tecnologici riguardanti la struttura dei liner e delle resine impiegate, nonché le modalità di polimerizzazione delle resine, è interessante osservare che il risultato finale, di un'operazione di CIPP, è costituito da un rivestimento, che ricopre la parete interna della condotta trattata, che può essere applicato con spessori variabili da 3 a 12 mm ed oltre e che è dotato di caratteristiche meccaniche ed idrauliche molto simili a quelle di una tubazione in vetro resina.

Per documentare quest'aspetto, a titolo esemplificativo, nella *Tabella* seguente sono riportate, alcune delle caratteristiche meccaniche salienti, determinate attraverso una prova di schiacciamento in pressa (secondo DIN 53769/3), di un rivestimento ottenuto con questa tecnica e costituito da un liner in fibra di vetro impregnato con resina poliestere.

Tabella II

Modulo di elasticità anulare	13.500	N/mm ²
Grado di deformazione	53%	con 5100 N
Resistenza anulare	255	N/mm ²
Rigidità anulare	0.035	N/mm ²

Ricorrendo all'uso di materiali come questi è possibile intervenire anche su condotte severamente danneggiate, ottenendo, dopo trattamento, una condotta che possiede caratteristiche idrauliche e meccaniche spesso migliori di quelle che la stessa possedeva in origine. Inoltre, in ambito fognario, il CIPP non richiede alcun genere di scavo, si tratta cioè di una tecnologia totalmente No-Dig. L'inserimento dei liner e tutte le operazioni necessarie a completare il trattamento possono infatti avvenire attraverso i pozzetti d'ispezione.

È opportuno dare un cenno, per gli interessanti sviluppi applicativi che ne conseguono, alle tecniche di CIPP nelle quali si ricorre all'impiego di resine *fotoindurenti* o *fotosensibili* (light curing resins), che hanno la proprietà di polimerizzare se esposte ad un'opportuna sorgente di raggi UV.

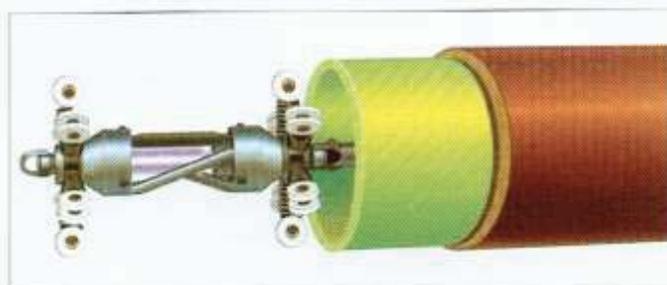
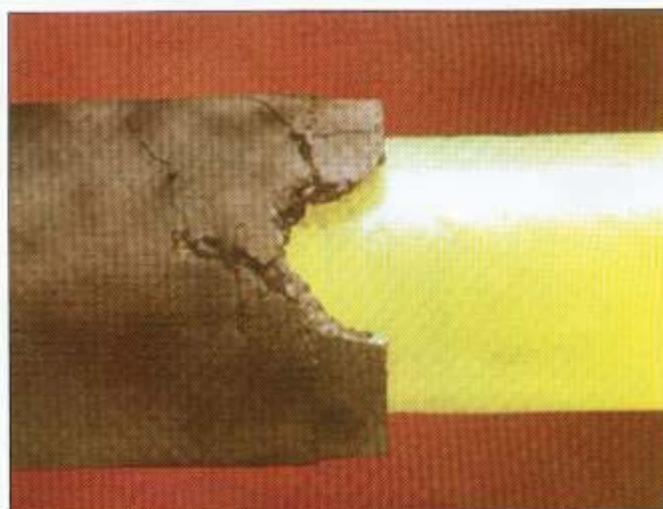
Questa tecnica di CIPP, prende il nome di **UV-lining**. L'aspetto interessante di questa tecnologia, peraltro piuttosto recente, risiede essenzialmente in due elementi:

- 1) la possibilità di impiegare liner pre-impregnati in stabilimento che possono essere conservati anche per periodi lunghi (qualche settimana) senza necessità di impiego di celle frigorifere;
- 2) l'elevata velocità (fino ad 1.0 m/min per una condotta \varnothing 300 mm) con la quale può essere fatta polimerizzare la resina, durante il trattamento.

Il risultato è una riduzione notevole delle attrezzature necessarie per effettuare il trattamento, ed un incremento significativo della produttività (fino a 20 m/h di condotta trattata e pronta all'uso).

4.3 Tecnologie Trenchless per la sostituzione di condotte interrate

Esistono tecnologie No-Dig mediante le quali è possibile procedere ad una sostituzione delle condotte preesistenti, con condotte nuove, mediante limitatissimo, o in molti casi nullo, ricorso agli scavi a cielo aperto. Queste tecnologie hanno utilità tutte le volte che occorre procedere non solo ad un recupero funzionale dei tronchi interessati (come avviene con le tecniche riabilitative) ma anche ad un incremento del diametro delle condotte stesse.


Figura 7 - UV-lining - Schema dell'applicazione.

Figura 8 - UV-lining - Esempio di liner polimerizzato entro una condotta in materiale lapideo.

L'incremento di diametro, che è possibile operare con tecniche No-Dig di tipo sostitutivo, senza che si debba cominciare a parlare di interventi di nuova installazione, può variare dal 50% al 100%, in funzione delle caratteristiche dell'ambiente d'inserimento della condotta trattata (caratteristiche del sottosuolo, promiscuità con altri sottoservizi, profondità di posa, caratteristiche delle sovrastrutture presenti, ecc.).

La sostituzione della tubazione esistente avviene sequenzialmente ad un'operazione di demolizione.

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

Esistono differenti tecnologie No-Dig per il relining sostitutivo, alcune delle quali tra loro equivalenti, quanto a tipologie di condotte sostituibili, altre invece destinate alla sostituzione di tipologie particolari di condotte. Mediante relining sostitutivo è possibile procedere alla demolizione e quindi alla sostituzione di condotte costruite con vari materiali, quali:

metallici	lapidei	plastici o compositi
- ghisa grigia	- calcestruzzo	- PVC
- ghisa sferoidale	- cemento amianto	- PE
- acciaio	- muratura	- PVRF
- ferro dolce	- grès	

Le principali tecnologie sostitutive sono:

- pipe bursting
- pipe splitting
- pipe reaming
- pipe eating

Tra quelle elencate certamente le più impiegate sono il *pipe bursting* ed il *pipe splitting*.

1) Pipe bursting

La tecnologia del **pipe bursting** (letteralmente "esplosione del tubo") nota anche come **berstlining**, è forse la tecnologia per relining sostitutivo più nota ed utilizzata nel mondo. È destinata alla sostituzione di condotte costruite con materiali fragili quali: ghisa (grigia o sferoidale) e materiali lapidei (cls, grès, asbesto-cemento, muratura).

Esistono tre tipologie base di pipe bursting:

- a percussione;
- a trazione semplice;
- con espansori ad apertura variabile.

Si tratta di varianti allo stesso schema tipo, che prevede le seguenti fasi esecutive:

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

Il pipe bursting presenta vantaggi rimarchevoli quali:

- elevata produttività (sino ad 200 m/giorno ed oltre);
- semplicità d'impiego;
- esiguità ed economicità dell'attrezzatura di cantiere occorrente.

È interessante approfondire, fornendo qualche dettaglio descrittivo ulteriore, la tecnologia del pipe bursting a percussione, che risulta essere, tra quelle elencate, certamente quella più efficace e produttiva.

Nel pipe bursting a percussione, immediatamente a monte della testa dirompente o tagliante, che è direttamente connessa ad un cavo o ad una catena di tiro, viene collegato un percussore di tipo pneumatico detto **ram** (ariete) o **mole** (talpa) opportunamente alimentato, mediante una tubazione in gomma, da un compressore per l'aria collocato fuori terra. Esistono anche *mole* di tipo idraulico, ma la tipologia oggi più diffusa è certamente quella pneumatica.

In taluni sistemi è direttamente il *mole* ad essere collegato al cavo di trazione mentre la testa dirompente, che si riduce ad un espansore, viene posto in coda al *mole*. In questo caso il diametro del *mole* è inferiore a quello del tubo da sostituire. Questo sistema risulta particolarmente utile quando l'arrivo del treno entro tubo avviene in pozzetti di servizio di dimensioni ridotte. In questo caso infatti, una volta eseguita la tratta, con l'arrivo del *mole* nel pozzetto, questo può essere disconnesso dalla testa d'espansione e quindi estratto, per tiro, a ritroso attraverso il tubo nuovo. Esistono infine sistemi misti che montano contemporaneamente una testa a lama su un'estremità del *mole* ed un espansore in coda al *mole*. In

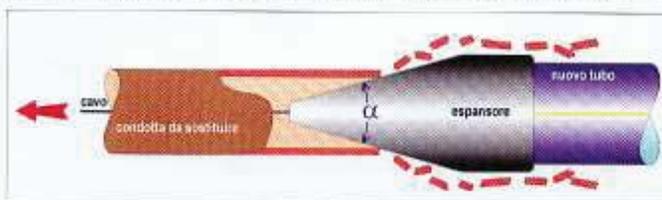


Figura 9 - Pipe bursting.

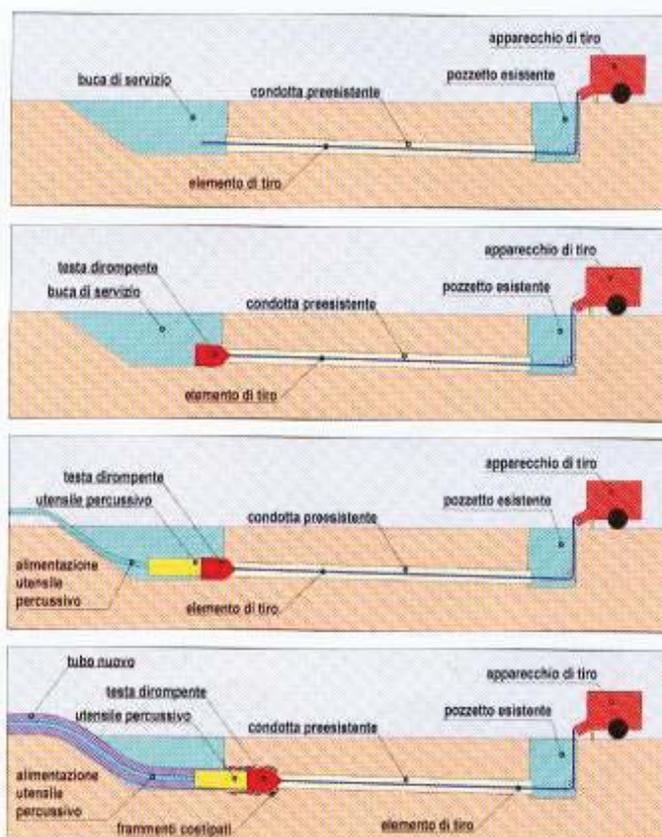


Figure 9a, 9b, 9c, 9d - Pipe Bursting - Schema esecutivo generale.

questo caso non è necessario che il *mole* presenti un diametro inferiore a quello del tubo preesistente.

Il *mole* altro non è se non un martello pneumatico, ed è quindi costituito da una camicia metallica valvolata, entro cui è inserito un apposito pistone (massa battente) che entra in movimento, per azione dell'aria in pressione che attraverso il tubo di alimentazione viene immessa nella camicia.

Il pistone, esaurita una breve corsa, impatta su una testa di battuta, solidale alla camicia, scaricando la propria energia cinetica. Il moto del pistone, all'interno della camicia, è alternativo, in altri termini il pistone impatta, contro la testa di battuta, con una determinata frequenza che è funzione della pressione e della portata di alimentazione.

Ad ogni impatto, l'energia cinetica si trasferisce dal pistone alla camicia del *mole*, e da questa alla testa d'espansione, oppure alla testa dirompente o tagliante. La frequenza e l'energia di battuta risultano determinanti per gli effetti generati al contorno dal passaggio del treno entro tubo, durante un'applicazione di pipe bursting. La tendenza attuale è quella di aumentare la frequenza di battuta diminuendo nel contempo l'energia scaricata per ogni singolo colpo, in modo da localizzare l'azione esercitata dalle teste dirompenti, riducendo in tal modo l'area d'influenza, presente nell'intorno della condotta in via di sostituzione, entro cui possono esservi effetti dannosi per altri sottoservizi o strutture presenti nel sottosuolo. A questo proposito è utile ribadire che il successo nell'applicazione del pipe bursting dipende in gran parte anche dall'accuratezza con la quale viene determinata, in fase di progetto, una mappatura del sottosuolo, sulla base della quale risulti possibile stabilire in quali sezioni è opportuno procedere all'apertura di buche di servizio perché presenti incroci ravvicinati con altri sottoservizi. Anche in questo ca-

so risulta efficace il ricorso a metodiche d'indagine basate sull'impiego di sistemi radar ad array di antenne in multifrequenza e multipolarizzazione (sistemi RIS).

2) Pipe splitting.

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

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

5. CONCLUSIONI

Quanto detto sinora costituisce solo una rapida panoramica su alcune delle tecnologie trenchless disponibili per applicazioni di riabilitazione o sostituzione di condotte interrato.

Una trattazione adeguata di questo argomento non può essere affidata ad un singolo articolo, ed in ogni caso lo scopo di queste descrizioni non voleva essere tanto quello di fornire elementi tecnici esecutivi per il loro impiego, quanto piuttosto quello di stimolare, anche in Italia, gli approfondimenti e la discussione su questi argomenti. Le tecnologie No-Dig, che quando non sono del tutto ignorate, vengono considerate nel nostro Paese tecnologie quanti meno "speciali" (attribuendogli quindi una pura valenza di nicchia), rappresentano al contrario, in molti paesi europei ed extraeuropei, una realtà tecnologica consolidata, matura ed estesamente impiegata, alla quale si ricorre perché notevoli sono i vantaggi che ne derivano sia sotto l'aspetto tecnico che economico (generalizzato). L'errore che talvolta è stato commesso in



Figura 10 - Pipe Splitting. Un esempio d'impiego su una tubazione metallica.

Italia, quando, in qualche caso si è optato per il ricorso al No-Dig, è stato duplice, perché da una parte in molti casi se ne è prescritto l'impiego senza possedere alcuna competenza specifica su tale materia e quindi in sostanza delegando agli esecutori finali importanti funzioni come la progettazione o il controllo delle opere, dall'altra perché in Italia, tutte le volte che si propone il No-Dig, si tenta sempre di porre queste tecnologie in competizione con quelle tradizionali, sul solo piano dei costi di costruzione, ignorando quindi il vero motivo per il quale il No-Dig è nato e ha una qualche utilità. Se il contenimento degli impatti ambientali, la mitigazione degli effetti negativi sul traffico e sulle attività umane, l'efficienza e l'ottimizzazione degli interventi, non rientrano tra i criteri che accompagnano la realizzazione di un dato intervento, costruttivo o manutentivo, operato su reti di servizi interrati, allora non ha alcun senso il ricorso alle tecnologie trenchless. Se al contrario questi fattori rappresentano obiettivi significativi allora è arrivato il momento, anche per l'Italia, di prepararsi a questo trasferimento tecnologico.

BIBLIOGRAFIA

- Boyce G.M., Bried E.M., Brinkerhoff P., "Social Cost Accounting for Trenchless Projects", *North America NO-DIG '98 Conference Paper*, Albuquerque, New Mexico, April 1998.
- Burrows B., Gough T., "Utilising trenchless technology to achieve a high quality, low cost, water mains rehabilitation programme", *14th International No-Dig '97*, Genoa, Italy, 21-24 April 1997.
- Chirulli R., "In ritardo sulle Tecnologie no dig l'Italia ancora scava le reti di cunicoli", *Edilizia & Territorio*, n° 14, Il Sole 24 Ore, 5/10 Aprile 1999.
- Chirulli R., "Il No-Dig in Italia. Fra potenzialità e superficialità", *Le Strade*, Editrice La Fiaccola, Settembre 1999.
- Chirulli R., "L'Evoluzione della Tecnologia del Directional Drilling", *Le Strade*, Editrice La Fiaccola, Gennaio 1998.
- Chirulli R., "Oriente ed Occidente a Confronto sulle Tecnologie Trenchless", *Quarry and Construction*, Edizioni PEI, Dicembre 1997.
- Chirulli R., "The role of Trenchless Technology Information Dispersion", *No-Dig International*, Vol.8, n° 7, Mining Journal Ltd., London - U.K., February 1999.
- Chirulli R., "Una direttiva per il sottosuolo urbano", *Quarry and Construction*, Edizioni PEI, Agosto 1999.
- Chirulli R., Calò M., "No-Dig - Tecnologie strategiche", *Strade & Autostrade*, Audino Editore, Novembre-Dicembre 1998.
- Chirulli R., Calò M., Curci G., "No-Dig: quali applicazioni?", *Quarry and Construction*, Edizioni PEI, Ottobre 1998.
- Chirulli R., Caruso A., "Un modello di analisi tecnico-economica nel confronto tra directional drilling e scavo a cielo aperto", in *Atti del Convegno Stato dell'Arte e nuove possibilità applicative del Directional Drilling*, Bari, Politecnico di Bari, 1998.
- De Pasquale G., Manacorda G., Buonaccorsi H.A., "A new radar approach to no-dig applications", *14th International No-Dig '97*, Genoa, Italy, 21-24 April 1997.
- Dilg R., Gumbel J., "European standards for sewer renovation by lining with cured-in-place pipes", *17th International No-Dig '99 - Documentation*, Budapest, Hungary, 11-13 October 1999.
- Hanisch L., Richter Th., "Economic Comparison between Conventional Trench Method and Trenchless Technology in an Urban Environment", *16th International No-Dig '98 - Proceedings*, Lousanne, Switzerland, 8-11 June 1998.
- Hsu S.C., Jiang D.H., "Economic Analysis and Social Cost of the Underground Pipelines Construction in Taiwan", *No-Dig International '97 - Proceedings*, Taipei, Taiwan, R.O.C., November 1997.
- Leonardo P., Bruzzone A., Bassetti M., Bergamino R., "Evaluation of Social Costs in Pipeline Rehabilitation: a Comparison between Conventional and Trenchless Technologies", *17th International No-Dig '99 - Documentation*, Budapest, Hungary, 11-13 October 1999.
- Morhing K., "Erfahrungen und Technisch-Wirtschaftliche Betrachtungen bei der Planung und beim Bau von Abwasserkanalen Kleiner Nennweiten in Geschlossener Bauweise", *Vortrag Anlässlich des 100 Jahrigen Bestehens der Società del Grès Ing. Sala*, Bergamo, Italy, October 1987.
- Sterling R.L., "Indirect Cost of Utility Placement and Repair Beneath Streets", *Minnesota Department of Transportation, Report n. MN/RC-94/20*, August 1994.