

Risanamento non distruttivo di tubazioni per acquedotto

↓ Il Cement Mortar Lining (CML) risulta particolarmente efficace nel risanamento di tubazioni metalliche per acquedotto e per il trasporto di acqua in genere, deteriorate a causa di fenomeni corrosivi, fori e lesioni. Già da molti anni sperimentata e standardizzata negli Stati Uniti, così come in diversi paesi europei (Germania, Gran Bretagna), questa tecnologia è molto utilizzata per la sua efficacia e per la sua economicità. Una serie di prove sperimentali dimostrano le capacità di risanamento strutturale di questo trattamento. In queste pagine vengono descritte la tecnologia, il suo campo di applicazione, le caratteristiche delle tubazioni dopo il trattamento ed i risultati di prove di filtrazione e scoppio condotte su campioni di tubazione in acciaio trattate con CML.

■ di Renzo Chirulli

LA TECNOLOGIA

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 acquedotto 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. È necessario eseguire il trattamento con precise regole e procedure sia per i materiali base quanto per le tecniche di costruzione del nuovo rivestimento. Parlare di CML, entrando anche nel merito tecnico di questa tecnologia riabilitativa, risulta in questo momento quanto mai attuale e di stretto interesse per i gestori di reti idriche.

Essa consiste nell'applicazione di un nuovo rivestimento in malta cementizia a spessore controllato sulla superficie interna della tubazione da risanare (*host pipe*). Le procedure e le attrezzature impiegate per la formazione di questo rivestimento in malta sono particolarmente importanti e lo schema di

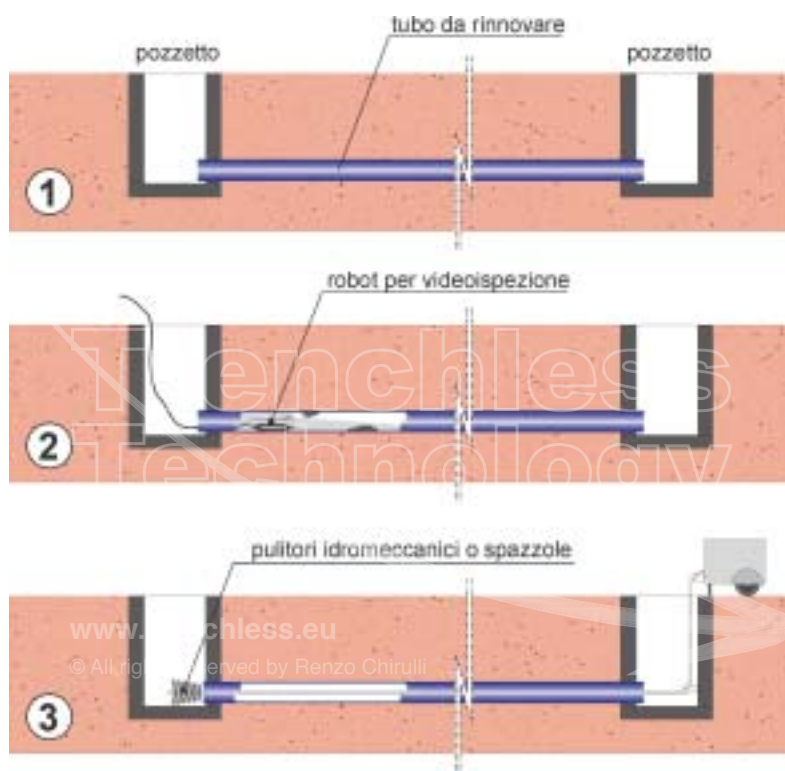


FIGURA 1 - FASI PREPARATORIE AL CML

lavoro è concettualmente molto semplice (Figura 1)

Procedura:

- 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

Risanamento non distruttivo di tubazioni per acquedotto

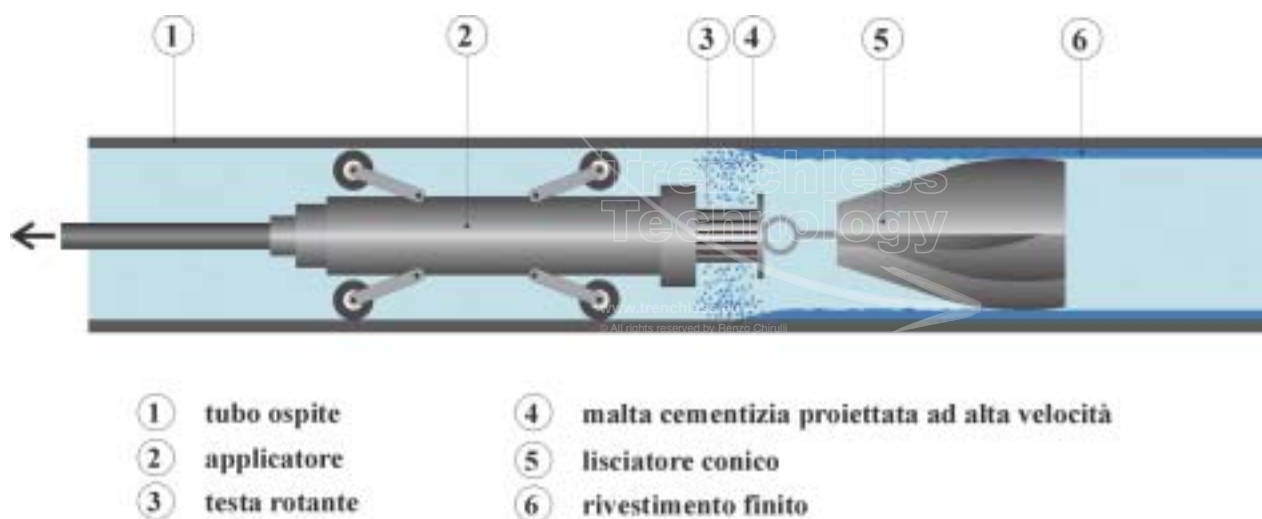


FIGURA 2 - APPLICAZIONE DEL RIVESTIMENTO IN TUBAZIONI DI PICCOLO DIAMETRO (INFERIORE O UGUALE A 600 MM)

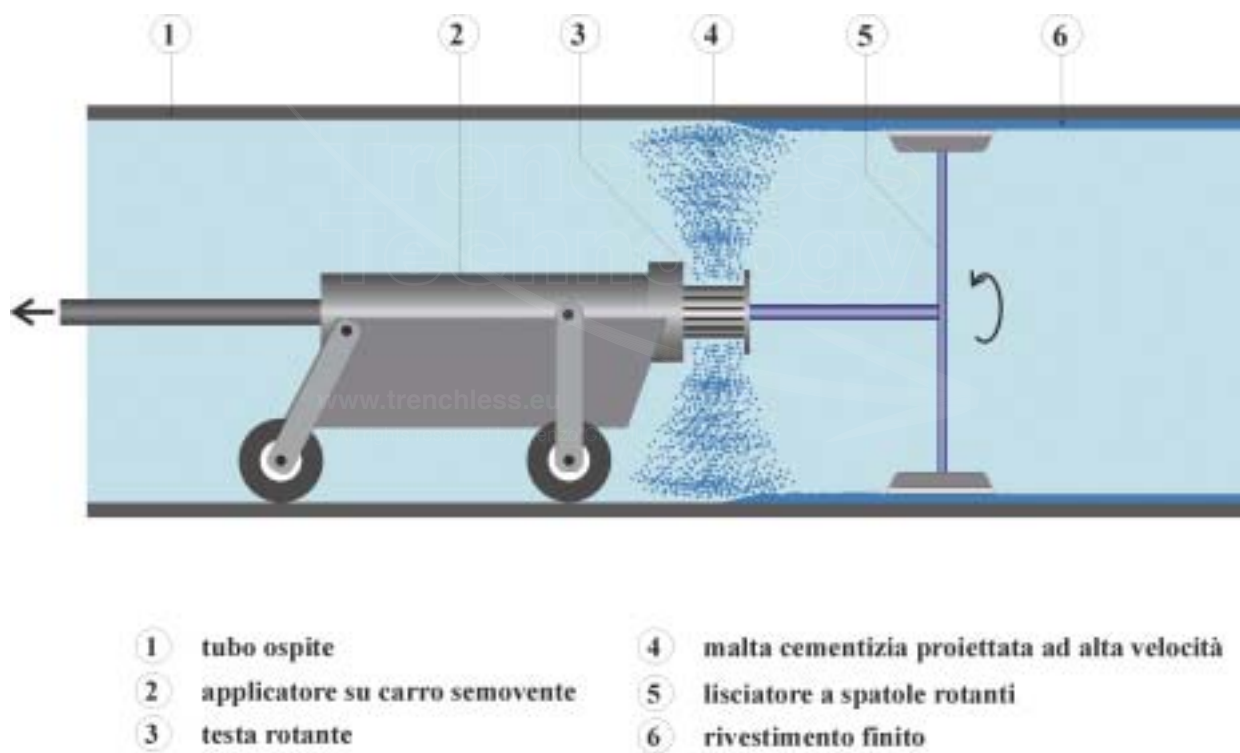


FIGURA 3 - APPLICAZIONE DEL RIVESTIMENTO IN TUBAZIONI DI GRANDE DIAMETRO (SUPERIORE A 600 MM)

metri (in tubi aventi un diametro interno superiore a 1.200 mm questo limite può essere notevolmente 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 opera-

zione 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), *canal-jet*, spazzolatura con utensili metallici, o con speciali *pig*. Lo scopo della pulitura è quello di rimuov-

vere 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*)



FIGURA 4 - LINING MACHINE CON LISCIATORE CONICO PER UNA TUBAZIONE DI PICCOLO DIAMETRO



FIGURA 5 - UNA TESTA ROTANTE IN AZIONE IN UN ADDUTTORE IDRICO DN1200



FIGURA 6 - UNA RIPRESA DALL'INTERNO DI UNA TUBAZIONE PRATICABILE DURANTE L'APPLICAZIONE DEL RIVESTIMENTO IN MALTA CEMENTIZIA

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 liscivatura 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 (turbine).

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 C602-06 – “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 per acquedotto in acciaio ed in ghisa, come dimostrano le molte evidenze sperimentali raccolte in questi anni (figura 7).

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 C602-06 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 auto-riparazione autogena della malta di cemento (*autogenous healing process*), previene la formazione di microcavillature e fessure, che potrebbero compromettere la tenuta idraulica del rivestimento.

Risanamento non distruttivo di tubazioni per acquedotto

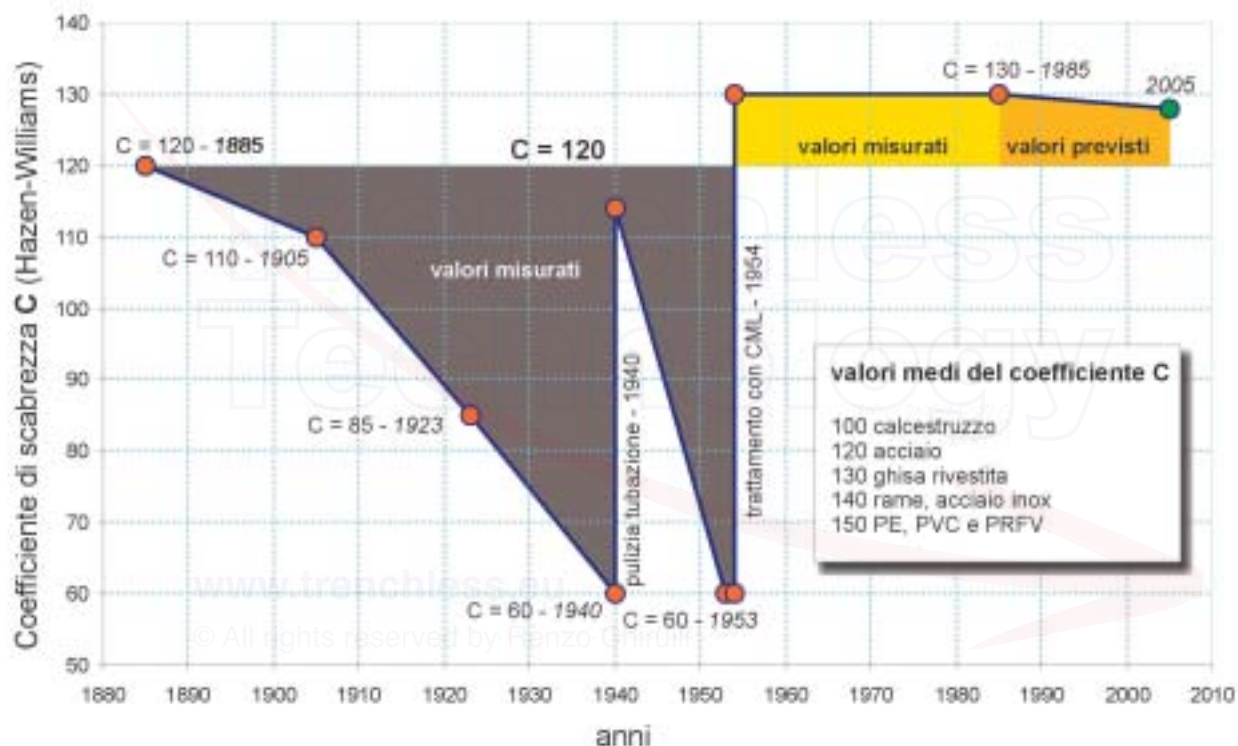


FIGURA 7 - VARIAZIONE NEL TEMPO DELLA SCABREZZA (COEFFICIENTE DI HAZEN-WILLIAMS) IN UNA TUBAZIONE PER ACQUEDOTTO DA 16" IN GHISA, A PARTIRE DAL 1885. NEL 1940 LA TUBAZIONE VIENE PULITA E NEL 1954 VIENE SOTTOPOSTA AD UN TRATTAMENTO DI CML CHE MIGLIORA NOTEVOLMENTE TALE COEFFICIENTE (C=130) MANTENENDOLO COSTANTE SINO AL 1985

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 C602-06 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).

PROVE SPERIMENTALI DI SCOPPIO E FILTRAZIONE

Per misurare la resistenza del rivestimento in malta cementizia, alla filtrazione ed allo scoppio in presenza di fori passanti nel tubo ospite, sono state condotte nel gennaio del 2008 una serie di prove sperimentali che hanno dimostrato che

strati di malta, anche con spessore assai ridotto ($t < 4$ mm), e con pochi giorni di maturazione (da 3 a 4), presentano resistenze notevoli.

Il piano di esperimenti ha permesso di dimostrare che la pressione di scoppio "p", di un foro di diametro "D" intasato con uno strato di malta confinato di spessore "t", è legata alla tensione tangenziale della malta, dalla relazione espressa in formula 1.

$$p = \frac{4t \cdot \tau}{D} \quad [1]$$

Le prove di tenuta idraulica (filtrazione) e di scoppio sono state condotte su tubi in acciaio, aventi diametro esterno pari a 168 mm e spessore di parete pari a 11 mm, sui quali sono stati praticati dei fori aventi diametro nominale D pari a 25 mm.

Una volta applicato sulla parete interna dello spezzone di prova lo strato di malta cementizia, per ogni campione è stata immessa internamente acqua in pressione, con l'apparecchiatura di prova mostrata nelle figure 8 e 9, misurando prima le pressioni di filtrazione (alle quali l'acqua filtrava attraverso lo strato di malta) e quindi le pressioni di scoppio, e

Risanamento non distruttivo di tubazioni per acquedotto

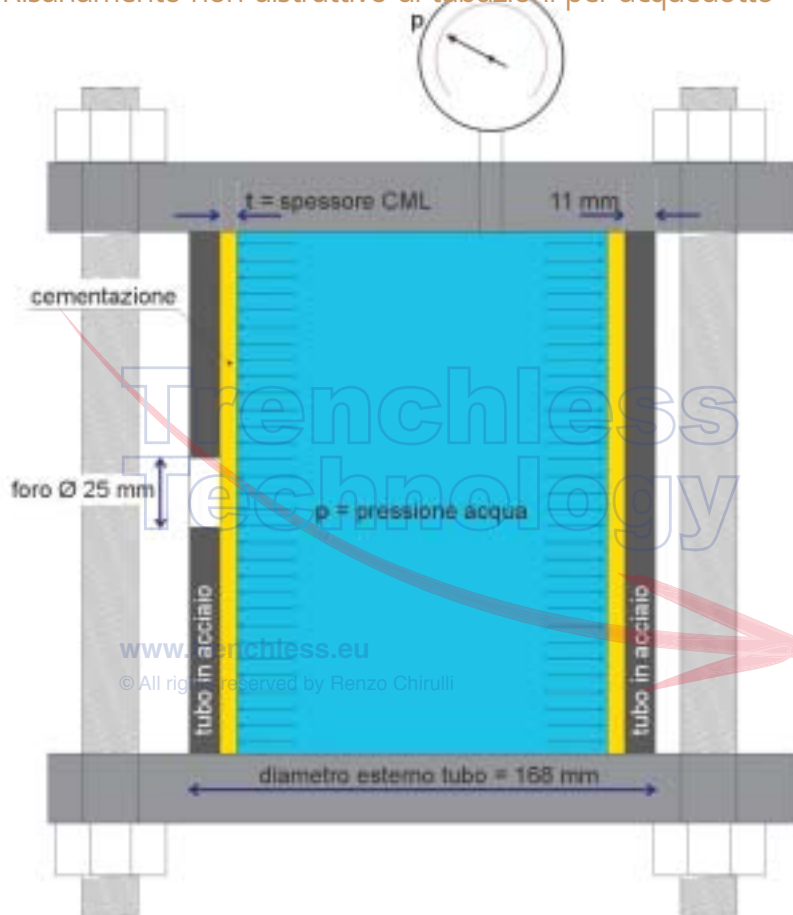


FIGURA 8 - SCHEMA DELL'APPARECCHIATURA DI PROVA IMPIEGATA PER LE PROVE DI SCOPPIO CONDOTTE SU RIVESTIMENTI IN MALTA DI CEMENTO (GENNAIO 2008)

ottenendo i risultati sintetizzati nel diagramma di figura 12.

Occorre sottolineare che i test sono stati condotti confinando lo strato di malta in modo che non intasasse il foro (figure 10 e 11), e questa rappresenta certamente una condizione peggiorativa sia per la tenuta idraulica sia, soprattutto, per la resistenza allo scoppio.

A dimostrazione di questo fatto, su ciascuno spezzone di tubo è stato praticato un secondo foro, delle stesse dimensioni del primo, ma intasato con malta senza alcun confinamento. In nessuno dei test con-

dotti il foro non confinato ha mostrato una pressione di filtrazione o di scoppio inferiore a quello intasato con strato confinato di malta. Inoltre tutte le prove sono state condotte su una malta fatta maturare in bagno d'acqua (a temperatura ambiente) per 3 o 4 giorni. Con tempi di maturazione maggiori, la resistenza meccanica ovviamente cresce di un fattore che può oscillare tra 2 e 3.

Negli esperimenti condotti, la tensione tangenziale che compare nella relazione [1] ha mostrato un valore medio pari a 11 MPa, con una



FIGURA 10 - FORO DA 25 MM, INTASATO CON STRATO DI MALTA CONFINATA RISPETTIVAMENTE: AL MOMENTO DELLA FILTRAZIONE, DELLO SCOPPIO ED AL TERMINE DELLA PROVA



FIGURA 9 - L'APPARECCHIATURA DI PROVA DURANTE UNO DEI TEST CONDOTTI (GENNAIO 2008)

deviazione standard pari a 1,9 MPa.

Per la filtrazione è stato invece riscontrato che essa si verifica per un valore del gradiente di pressione mediamente pari a 6,1 bar/mm con una deviazione standard pari a 0,7 bar/mm.

Il comportamento alla filtrazione, e quindi la tenuta idraulica, migliorano notevolmente in presenza di intasamento non confinato dei fori, che rappresenta la condizione che si verifica durante l'applicazione reale.

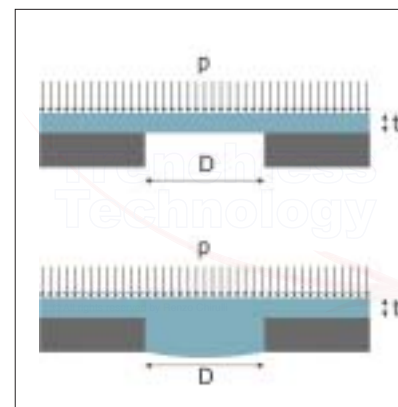


FIGURA 11 - FORO CONFINATO (IN ALTO); FORO NON CONFINATO (IN BASSO)

Risanamento non distruttivo di tubazioni per acquedotto

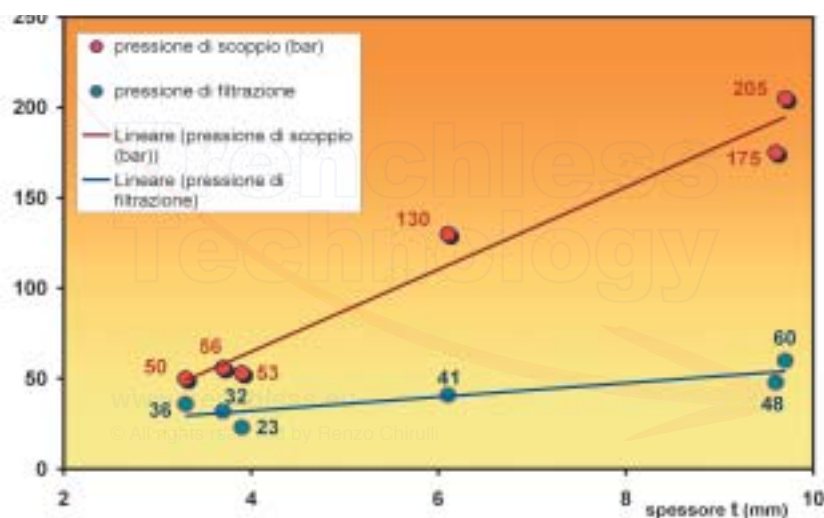


FIGURA 12 - I RISULTATI DELLE PROVE DI TENUTA IDRAULICA (FILTRAZIONE) E DI SCOPPIO

LE APPLICAZIONI IN CAMPO

Le prove sperimentali hanno dimostrato che anche in presenza di fori di grande diametro, il CML permette di ricostruire l'integrità della tubazione, oltre ad eliminare del tutto i problemi di corrosione interna delle tubazioni metalliche. Queste proprietà del trattamento ne hanno favorito una grande diffusione, specie negli Stati Uniti, dove il CML è una tecnologia nota ed ampiamente utilizzata da almeno ottant'anni.

Sul piano applicativo è utile fornire qualche informazione sulle produzioni giornaliere ottenibili con questo genere di trattamento. Se ci riferiamo ad una singola squadra operativa, il risanamento di una tubazione di piccolo diametro (< 600 mm) può avvenire, in cantieri estesi, con produzioni giornaliere che possono superare i 250 metri al giorno. In tubazioni di grande diametro (> 600 mm) questa produzione giornaliera può anche crescere, soprattutto nelle tubazioni aventi diametro interno maggiore di 1.200 mm, nelle quali il trasporto della malta, internamente alla tubazione da risanare, può avvenire mediante carrelli semoventi.

Un altro aspetto, piuttosto rilevante dal punto di vista applicativo, riguarda i costi di trattamento. Ad oggi il CML rappresenta la metodica di risanamento non distruttivo, di tubazioni metalliche per acquedotto, certamente più economica in assoluto, non solo nel confronto con altre metodiche di tipo No-Dig, ma anche nei confronti delle tecniche tradizio-

nali di sostituzione con scavi a cielo aperto. La sua economicità è legata al basso costo delle materie prime impiegate ed all'elevata produttività raggiungibile. Questo è un altro dei fattori che ha reso il CML molto popolare negli Stati Uniti, nonché in Gran Bretagna e Germania.

In Italia, come già detto nell'introduzione del presente articolo, questa tecnologia, sebbene efficace e assai economica, è rimasta praticamente sconosciuta. Le applicazioni notevoli sono davvero assai poche. Recentemente Metropolitana Milanese Spa, gestore unico del servizio idrico integrato della città di Milano, ha sperimentato con successo l'utilizzo di questa tecnologia nel risanamento di un tratto limitato di una tubazione in acciaio DN1200, che rappresenta uno dei grandi adduttori della città. La sperimentazione di MM è stata condotta nell'agosto del 2007. Il trattamento è stato eseguito da un'impresa specialistica italiana (Risanamento Condotte Srl). L'ottimo risultato tecnico-economico ottenuto su questo tratto sperimentale, ha convinto il gestore ad introdurre questa tecnologia nei progetti programmati di riabilitazione della

rete idrica milanese. Certamente un inizio importante nella diffusione anche in Italia di questa efficace tecnologia riabilitativa.

CONCLUSIONI

Alla luce dei dati appena illustrati possiamo quindi concludere che il risultato del trattamento mediante CML non si limita alla protezione dalla corrosione, ma si traduce anche in un risanamento semi-strutturale ed idraulico delle tubazioni, con recupero della tenuta, anche in presenza di fori di diametro significativo e pressioni di esercizio elevate e con un sensibile miglioramento della scabrezza delle pareti interne del tubo che, quando la lisciatura meccanica è possibile, assume valori comparabili a quelli tipici di tubi nuovi in ghisa rivestita (C = 130).

Sul piano dei costi la cementazione costituisce certamente la soluzione più economica per il risanamento di tubazioni per acquedotto sia a livello di costi diretti (costo delle lavorazioni) sia a livello di costi indiretti, come è usuale per tecnologie di tipo No-Dig. Una maggiore conoscenza di questa tecnologia riabilitativa e delle normative che la standardizzano, può contribuire ad una sua diffusione anche nel nostro Paese. ■



FIGURA 13 - LA TUBAZIONE DN1200 IN ACCIAIO RISANATA DA METROPOLITANA MILANESE SPA NELL'AGOSTO DEL 2007 (PER GENTILE CONCESSIONE DELLA RISANAMENTO CONDOTTE SRL)

Renzo Chirulli

rchirulli@nodig.it . Ingegnere libero professionista, si occupa dal 1994 di sviluppo ed applicazioni di tecnologie No-Dig. Lavora come consulente per diverse imprese ed aziende industriali attive in questo settore. Ha collaborato con diversi enti gestori per favorire l'impiego del No-Dig. Autore prolifico ha all'attivo oltre 60 pubblicazioni nazionali ed internazionali sulla materia, tra cui un manuale dal titolo "Progetto No-Dig" pubblicato nel 2005 dalla casa editrice La Fiaccola (Milano).