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
21-23 maggio 2008

Risanamento non distruttivo di condotte interrate ed aeree, mediante Cement Mortar Lining

Dr. Ing. Renzo Chirulli

Sommario

Rinnovare tubazioni interrate senza scavare a cielo aperto, o senza ricorrere a demolizioni, è una concreta possibilità offerta dalle tecnologie No-Dig. Il Cement Mortar Lining (CML) è una di queste tecnologie, e risulta particolarmente efficace nel trattamento di tubazioni per acquedotto e per il trasporto di acqua in genere (acqua potabile, uso agricolo, antincendio, ecc.), deteriorate a causa di fenomeni corrosivi, fori e lesioni. Sperimentata e standardizzata da molti anni negli Stati Uniti, così come in diversi paesi europei (Germania, Gran Bretagna), 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, non sempre poste in adeguata evidenza nella letteratura tecnica specialistica. Nella presente memoria vengono descritti 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.

La tecnologia del Cement Mortar Lining.

Questa tecnologia di riabilitazione No-Dig (senza scavi a cielo aperto) consiste nell'applicazione di un nuovo rivestimento (relining) in malta cementizia a spessore controllato sulla superficie interna della tubazione da risanare (host pipe). Gli aspetti tecnologici, di questa metodica di intervento, risiedono essenzialmente nelle procedure e nelle attrezzature impiegate per la formazione di questo rivestimento in malta.
Lo schema di lavoro è concettualmente molto semplice; con riferimento alla fig 1:

1) 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 rispettivamente all'estremità di monte e di valle del tronco da risanare distanziate in genere di un massimo di 150 metri; in 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 casi particolari questo limite può essere superato);

2) 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);

3) terminata la fase diagnostica di effettua un'accurata e profonda pulizia della superficie interna, 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 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.

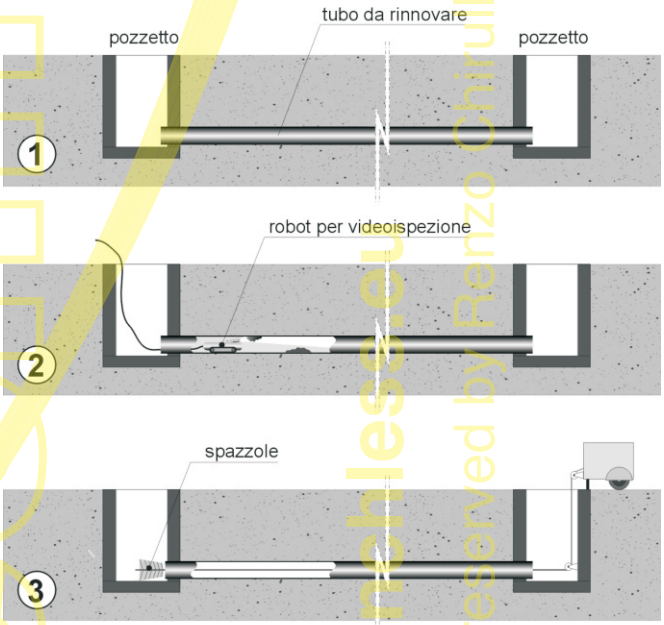
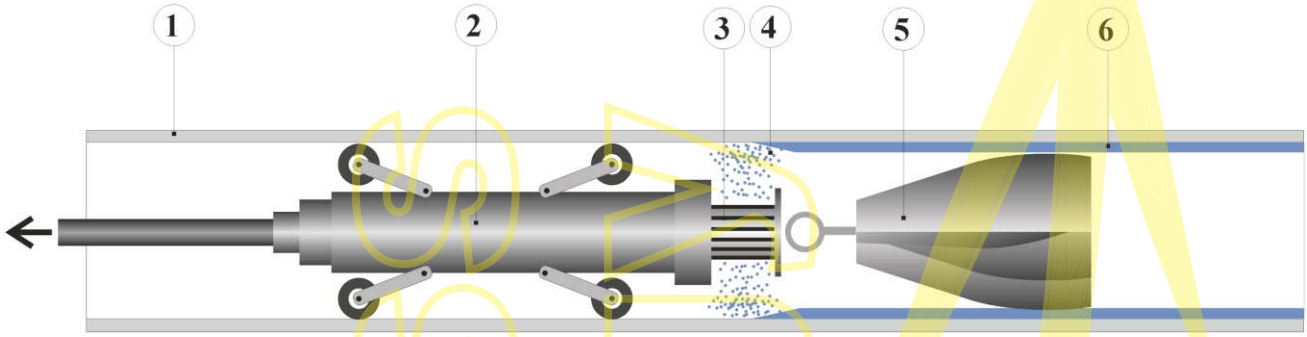


fig. 1 - fasi preparatorie al CML

L'applicazione della malta avviene mediante uno speciale applicatore autocentrante 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 all'applicatore. L'applicatore viene fatto traslare, con velocità costante, lungo il tronco da risanare e, se il grado di ovalizzazione della tubazione non è eccessivo (q < 2,5%), è seguito 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 spessore costante, la velocità di avanzamento della testa rotante viene controllata attraverso

All rights reserved by Renzo Chirulli



1 tubo ospite
2 applicatore
3 testa rotante
4 malta cementizia proiettata ad alta velocità
5 lisciatore conico
6 rivestimento finito

fig.2 - applicazione del rivestimento in tubazioni di piccolo diametro (inferiore a 600 mm).

l'uso argani di tiro a trazione controllata. 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.

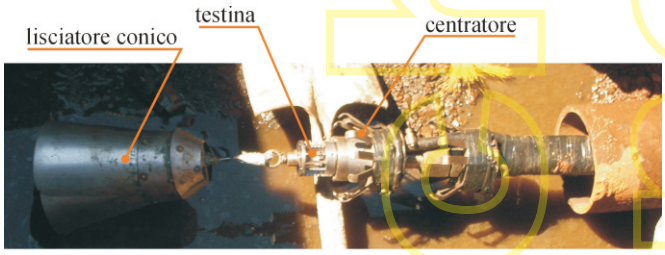


fig. 3 - applicatore con lisciatore conico per una tubazione di piccolo diametro

fig. 4 una testa rotante in azione in un'adduttrice idrica DN1200 mm

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 W 343 del DVGW che è il principale riferimento normativo sull'argomento in Germania).*

fig. 5 - la lisciatura di un tubo di grande diametro con una spatolatrice orbitale.

fig. 6 - una tubazione in acciaio prima della pulizia (a sinistra), dopo la pulizia (al centro) ed infine dopo il trattamento (a destra).

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

www.trenchless.eu
© All rights reserved by Pietro Chiriu

le molte evidenze sperimentali raccolte in questi anni (fig. 7).

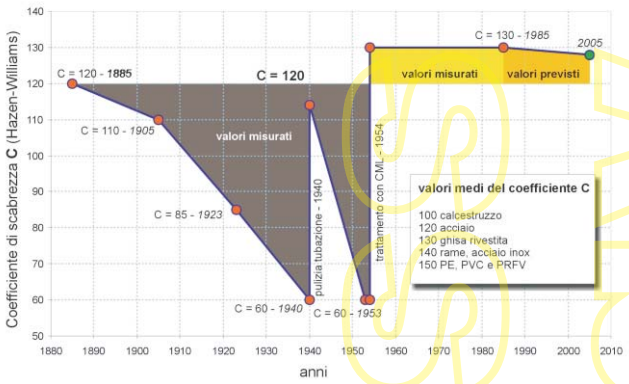


fig. 7 - variazione nel tempo della scabrezza (coefficiente di Hazen-Williams) in una tubazione per acquedotto da 16"in ghisa, a partire dal 1885. Nel 1940 la tubazione viene pulita e nel 1954 viene sottoposta ad un trattamento di CML che migliora notevolmente tale coefficiente (C=130) mantenendolo costante sino al 1985.

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 garantisce 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. Ciò, unito alla capacita 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.

Sul piano strutturale la malta di cemento va ad intasare e richiudere gli eventuali fori e lesioni presenti nella parete della tubazione con dimensioni anche significative (fino a 25 mm). Le evidenze sperimentali dimostrano che lo strato di malta si comporta come un piano impermeabile all'acqua, sino a gradienti di pressione notevoli. Dal punto di vista meccanico la sua resistenza è molto elevata, e ciò permette la chiusura di fori, anche di dimensione significativa, eventualmente presenti nella parete della tubazione da risanare, garantendo nel contempo un'ottima tenuta alla pressione.
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:

$$p = \frac{4t \cdot \tau}{D} \qquad [I]$$

Sono state condotte una serie di prove di tenuta idraulica (filtrazione) e di scoppio, su tubi in acciaio aventi diametro esterno pari a 168 mm, spessore di parete pari a 11 mm, con fori aventi diametro nominale D pari a 25 mm. Immettendo acqua in pressione, con l'apparecchiatura di prova mostrata nelle figure 8 e 9, sono state misurate prima le pressioni di filtrazione (alle quali l'acqua filtrava attraverso lo strato di malta) e quindi le pressioni di scoppio, 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 (fig. 10 e 11), e questa

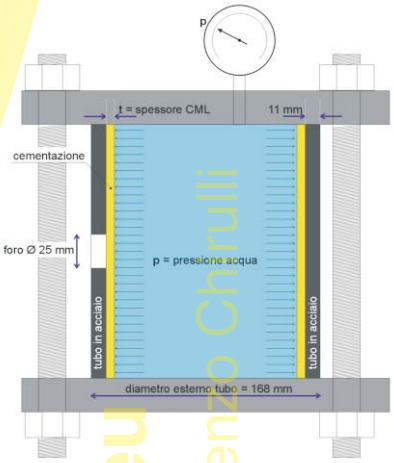


fig. 8 - schema dell'apparecchiatura di prova impiegata per le prove di scoppio condotte su rivestimenti in malta di cemento (gennaio 2008).

fig. 9 - l'apparecchiatura di prova durante uno dei test condotti (gennaio 2008).

www.trenchlesseurope.com
© All rights reserved by Lorenzo Chrulli

rappresenta una condizione certamente 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 condotti 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 [I] ha mostrato un valore medio pari a 11 MPa, con una deviazione standard pari a 1,9 MPa.

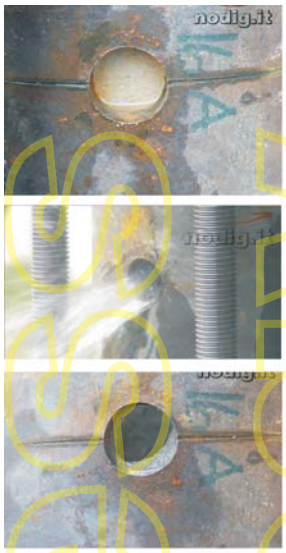


fig. 10 - foro da 25 mm, intasato con strato di malta confinata rispettivamente: al momento della filtrazione, dello scoppio ed al termine della prova.

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.

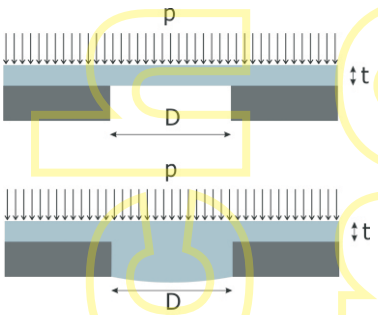


fig. 11 - (in alto) foro confinato; (in basso) foro non confinato.

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, infine, la cementazione costituisce certamente la soluzione più economica per il risanamento di tubazioni interrate ed aeree sia a livello di costi diretti (costo delle lavorazioni) sia a livello di costi indiretti, come è usuale per tecnologie di tipo No-Dig.

Note sull'autore

Renzo Chirulli, 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).
È membro del CSDU ed è membro del Consiglio Direttivo della IATT (*Italian Association for Trenchless Technology* - www.iatt.it).

Dr. Ing. Renzo Chirulli
www.nodig.it

Via Toscanini, 31/B - 20090 Settala (MI)
tel.: +39 02 95770517 - cell.: +39 340 7036992 - fax: +39 02 95770517
email: rchirulli@nodig.it
Skype: rchirulli

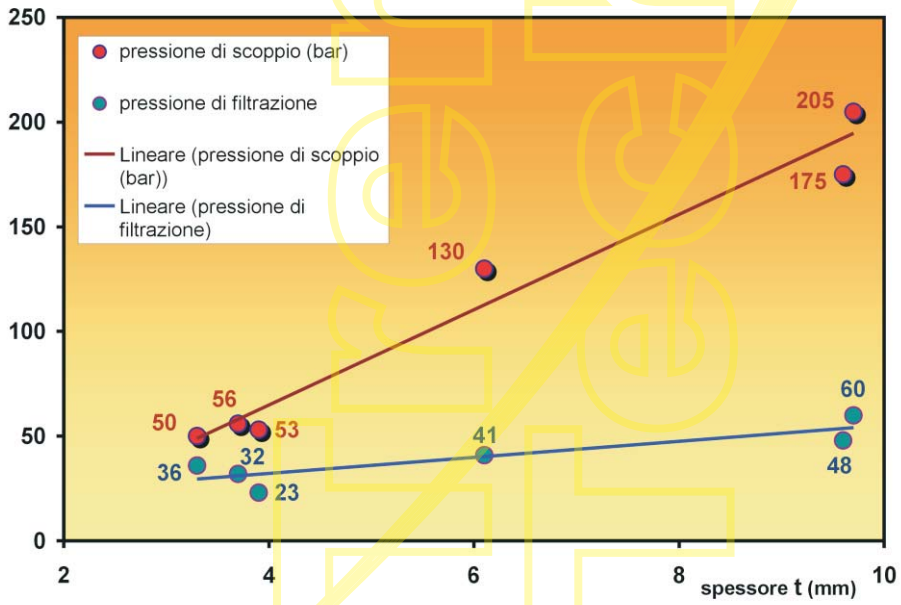


fig. 12 - i risultati delle prove di tenuta idraulica (trasudamento) e di scoppio

www.trenchless.eu
© All rights reserved by Renzo Chirulli