

Stefano Tani

Stefano Mambretti

TECNICHE DI BUONA CONDOTTA

L'innovazione nel rinnovamento delle reti del Servizio Idrico

ACADEMY

MM



Prima edizione: marzo 2018

Cura editoriale e edizione
Direzione Comunicazione MM Spa

Referenze fotografiche
Rotech S.r.l.
Risanamento Fognature S.p.a.
Idroambiente S.r.l.
RELINNEUROPE AG
Fondo MM Spa
Copertina: Bojan Dzodan

Copyright
MM Spa a socio unico
Via Del Vecchio Politecnico 8, 20121 Milano
Tel. 02.77471
www.mmspa.eu
comunicazione@mmspa.eu

© Proprietà letteraria riservata.
È vietata la pubblicazione e la duplicazione con qualsiasi
mezzo delle immagini e dei testi contenuti nel volume.

L'opera è inserita nel catalogo dell'attività editoriale di
cultura tecnico scientifica realizzata da MM Academy,
la corporate university di MM Spa.

Stampa: AGF Spa Unipersonale
Codice ISBN: 978-88-908224-3-8



RINGRAZIAMENTI

Il mio personale ringraziamento va all'azienda italiana che più di altre investe in tecniche di scavo non invasive. MM Spa ha promosso questa pubblicazione e lo ha fatto con la convinzione di voler diffondere buone pratiche e la cultura dell'innovazione nella gestione dei cantieri. Su questi temi, e in generale sulla necessità di realizzare alte performance nella ricerca tecnologica e scientifica, il Presidente Davide Corritore e il Direttore Generale Stefano Cetti, hanno sempre riposto particolare attenzione.

Si ringrazia, inoltre, Luca Montani Direttore Comunicazione, per la cura del volume e per la realizzazione editoriale. L'impaginazione del volume e il trattamento delle immagini sono ad opera di Lorenzo Griffo della Direzione Comunicazione. Alla realizzazione di schemi tecnici e figure hanno collaborato Diego Zanetti e Mauro Santagostino di Servizi Divisione Servizio Idrico e Grazia Mele.

Grazie a IATT per il supporto diretto e indiretto ovvero grazie a tutti gli Associati che hanno fornito contributi condividendo con gli autori dati e informazioni tecniche.

Un ringraziamento infine a chi ha concesso agli autori prezioso tempo, per lo più serale, utile alla redazione di un volume con esclusivi scopi divulgativi, che trova fondamento nella passione e nel desiderio di fornire un contributo allo sviluppo di tecnologie rispettose dell'ambiente, del territorio e della società.

Stefano Tani – Servizi Divisione Servizio Idrico

PREFAZIONE

Nel nostro Paese, ogni giorno, vengono dispersi circa 9 miliardi di litri di acqua a causa della vetustà delle infrastrutture delle reti idriche e fognarie, che in molti casi sono state realizzate anche più di 60 anni fa, e a causa della mancanza di un piano di manutenzione programmato nel tempo. Per ogni 100 litri di acqua immessi nei 474.000 km di rete idrica, 40 litri vengono dispersi, provocando - assieme ad altri importanti fattori come il cambiamento climatico, la siccità e il dissesto idrogeologico - danni a coltivazioni e allevamenti, per un importo stimato in oltre 2 miliardi di euro l'anno.

Di fronte a numeri così importanti le Istituzioni hanno cominciato a muoversi, comprendendo la necessità di avere, anche in Italia, una rete efficiente al pari degli altri Paesi europei. Per l'efficientamento sono stati stanziati ingenti investimenti volti a risanare, innovare e sviluppare la rete idrica e fognaria italiana, prioritariamente nei centri storici delle nostre belle città, per l'80% città d'arte, dove si trovano gli impianti più vecchi.

In questo contesto, diventa importante ottimizzare, per ciascun intervento, le modalità di esecuzione in termini di velocità, poca invasività e soprattutto, economicità, attraverso una scelta intelligente e oculata della tecnologia più idonea da impiegare.

Un contesto in cui le tecnologie trenchless - denominate anche "no-dig" o "a basso impatto ambientale" (dalla normativa italiana che ne ha voluto evidenziare la caratteristica peculiare) - potranno diventare predominanti. Stiamo parlando di sistemi con cui si può intervenire nel sottosuolo per la posa e il risanamento

delle infrastrutture dei sottoservizi senza, o con un limitato ricorso agli scavi a "cielo aperto".

Sistemi che, per le modalità di applicazione, possono essere paragonati alla medicina non invasiva e che riducono drasticamente gli impatti sulla collettività (-80%), i consumi energetici (-45%), gli incidenti sui cantieri (-70%) e i tempi di esecuzione, rispettando l'uomo e l'ambiente.

Questo volume offre una panoramica generale delle tecnologie trenchless per poi focalizzare l'attenzione su quelle legate al risanamento delle reti idriche e fognarie. Attraverso il richiamo alla normativa di settore e ai campi di applicazione, queste pagine sono in grado di fornire le indicazioni progettuali fondamentali per consentire agli addetti ai lavori di poter scegliere la soluzione migliore per ogni tipologia di intervento.

Su questo tema c'è ben poco e, questo lavoro in particolare, non potrà che essere accolto con favore in quanto consentirà ai lettori di avvicinarsi al mondo del trenchless con facilità e dovizia di informazioni. Si tratta di un manuale operativo completo e non di un testo accademico teorico.

Vorrei ringraziare in particolare l'ing. Stefano Tani e il prof. Stefano Mambretti, autori e ideatori di questo prezioso volume, che con la loro opera hanno aggiunto un tassello importante al mondo del "no-dig" in Italia a dimostrazione che il mercato è oramai maturo per applicare questi sistemi innovativi, non più in casi eccezionali, ma come metodologie standard.

Paolo Trombetti – Presidente IATT

INTRODUZIONE

MM Spa, gestore del Servizio Idrico della Città di Milano, in considerazione dello stato delle reti, ovvero delle criticità infrastrutturali e ambientali rilevabili nel contesto urbano, è quotidianamente impegnata nella realizzazione di una serie di investimenti sulle tubazioni acquedottistiche e sulle condotte fognarie cittadine, per mantenere e conservare gli attuali standard e livelli di servizio e in parte per raggiungere, dove possibile, di un miglioramento dello standard attuale fino ad una performance di massima eccellenza.

La circolazione veicolare nelle città italiane, non di meno a Milano, rappresenta una criticità di sempre maggiore portata: ai problemi viabilistici direttamente legati all'eccessivo numero di automezzi che percorrono le vie cittadine, si uniscono problematiche ambientali, quali l'emissione di gas nocivi, di particolato, nonché l'innalzamento del livello di rumore.

Da qualche tempo, grazie al nostro operato, Milano può vantare innovative tecnologie di rinnovamento delle reti del servizio idrico. Dopo una prima serie di interventi "trenchless" di varia tipologia che hanno consentito una diretta valutazione delle diverse tecnologie disponibili in questa città, si rileva oggi il sempre più frequente ricorso a tecnologie non invasive che, perseguendo la minimizzazione degli scavi (interventi tipo "no-dig"), consentono la riabilitazione e il ripristino di importanti arterie acquedottistiche, nonché il recupero statico e strutturale di condotti fognari esistenti con evidenti vantaggi economici, ambientali e sociali per la città. Gli interventi di tipo "no-dig" consentono infatti il rinnovo delle reti esistenti abbinando un basso impatto ambientale e un rilevante abbatti-

mento dei costi indotti sociali, garantendo rapidità di esecuzione, minore movimentazione e produzione di materiali di risulta, bassa interferenza delle attività di superficie, limitati e circoscritti interventi di demolizioni della pavimentazione stradale con consistente risparmio dei tempi di realizzazione.

Da questo nuovo modus operandi derivano inoltre minori rischi in termini di salute e sicurezza degli operatori in cantiere.

Questi risultati saranno a breve determinati e misurati con metodologie basate sul Life Cycle Assessment (LCA), attraverso analisi comparative di intervento tra le classiche metodologie di scavo e le nuove tecnologie "trenchless".

MM Academy, l'accademia dei saperi di MM, pubblica questo volume, redatto sulla base delle dirette esperienze acquisite in attività progettuali e realizzative, per divulgare il patrimonio di know-how presente in azienda.

Stefano Cetti – Direttore Generale MM

SOMMARIO

INQUADRAMENTO GENERALE	12
IL CONTESTO NAZIONALE	13
Stato delle reti e delle infrastrutture idriche in Italia	13
IL SERVIZIO ACQUEDOTTO	15
Caratteristiche della rete acquedottistica principale	15
IL SERVIZIO FOGNATURA	16
Caratteristiche della rete di fognatura	16
LE TECNOLOGIE "NO-DIG"	16
I BENEFICI AMBIENTALI E SOCIALI DEL TRENCHLESS	17
L’AFFERMAZIONE DEGLI INTERVENTI "NO-DIG"	19
INTERVENTI "SENZA SCAVO": DEFINIZIONI E METODI	22
DEFINIZIONI TECNICHE PRELIMINARI	23
ALTRI METODI DI RIABILITAZIONE DELLE CONDOTTE	24
Condotta continua – <i>Loose Fit</i>	24
Condotta continua – <i>Close Fit</i>	25
Condotte a tronchetti – <i>Discrete Pipe</i>	29
Tubi avvolti a spirale	29
Segmenti di condotte	31
Rivestimenti applicati a spruzzo	32
RIPARAZIONI	35
CLASSIFICAZIONE STRUTTURALE	35
SOSTITUZIONE E NUOVA POSA SENZA SCAVO	37
Sostituzione di condotte – <i>Pipe bursting</i>	38
Trivellazione orizzontale controllata – <i>Directional drilling</i>	39
Microtunnelling	41
DEFINIZIONI AMMINISTRATIVE PRELIMINARI	42
Norme e linee guida	42
Prove e laboratori	44
Appalti pubblici	46
PROBLEMI DELLE CONDOTTE, CLASSIFICAZIONE DEL DANNO, INDAGINI PRELIMINARI	50
CRITERI DI SELEZIONE DELLE AREE DA INVESTIGARE	51
GEORADAR	53
ISPEZIONI	56
CLASSIFICAZIONE DEL DANNO	59
CODIFICA DEL DANNO A SEGUITO ANALISI VISUALE EX UNI EN 13508-2:2012	62

RICERCA POLITECNICO DI MILANO – MM Spa	64
CRITERI DI SCELTA E DIMENSIONAMENTO	68
SCELTA DELLA TECNOLOGIA	69
Inversione ad aria o acqua e polimerizzazione per calore	71
Inserimento per traino e polimerizzazione a lampade ad ultravioletti	77
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	80
Materiale in stato M	84
Materiale in stato I	87
RIVESTIMENTI, POZZETTI, ALLACCI	91
Rivestimenti	91
Pozzetti	91
Allacci	92
DIMENSIONAMENTO STATICO	95
Linea guida ASTM 1216:2009	100
Norma UNI 11681:2017	104
Esempio di applicazione	105
Uso di programmi di calcolo	106
CENNI ALLA VERIFICA IDRAULICA	107
CANTIERE E COLLAUDI	112
ISPEZIONI INIZIALI	113
OPERAZIONI DI CANTIERE	113
Preparazione della condotta	113
Ture e diversioni	116
PROVE E COLLAUDO	117
RACCOLTA DEI CAMPIONI PER LE PROVE DI LABORATORIO	118
OPERAZIONI DI MANUTENZIONE	120
APPENDICE A: BREVI RICHIAMI SULLE CARATTERISTICHE DELLE RESINE	124
A.1 INTRODUZIONE	125
A.2 RESINE SENZA STIRENE	126
A.3 RESISTENZA A LUNGO TERMINE	127
A.4 PROVE A 10.000 ORE	128
A.5 CARATTERISTICHE MINIME DELLE RESINE SECONDO LA UNI EN ISO 11296-4	130
BIBLIOGRAFIA	132

INQUADRAMENTO GENERALE

IL CONTESTO NAZIONALE

Nel 2013 l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) apriva la parte dedicata alle risorse idriche nell'ambito dei Rapporti sulle performance ambientali constatando che in Italia "nonostante i progressi compiuti, la gestione delle acque rimane eccessivamente complessa, caratterizzata da decisioni dettate dall'urgenza e focalizzata su soluzioni di breve termine", e segnalando, conseguentemente, l'opportunità di dotarsi di una visione di lungo periodo "al fine di risolvere i problemi legati alle incertezze strategiche" del comparto.

Limitandosi al tema della gestione del Servizio Idrico Integrato, ovvero l'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue (così come definito dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152), occorre un'analisi delle cause del ritardo infrastrutturale: dalla mancanza di precise ricognizioni dell'esistente e dall'assenza di un disegno di sviluppo alle inerzie e allo stallo istituzionale dovuto ai conflitti tra Stato, Regioni e Comuni, a piani di investimento rimasti perlopiù sulla carta per mancanza di fondi o per procedimenti autorizzativi complessi, in un generale contesto dove è assente ogni responsabilità sulle conseguenze del non fare.

Stato delle reti e delle infrastrutture idriche in Italia

La relazione prodotta da AEEGSI nell'anno 2017 sullo stato dei servizi evidenzia, o meglio ribadisce, che il settore idrico soffre di una cronica mancanza di inve-

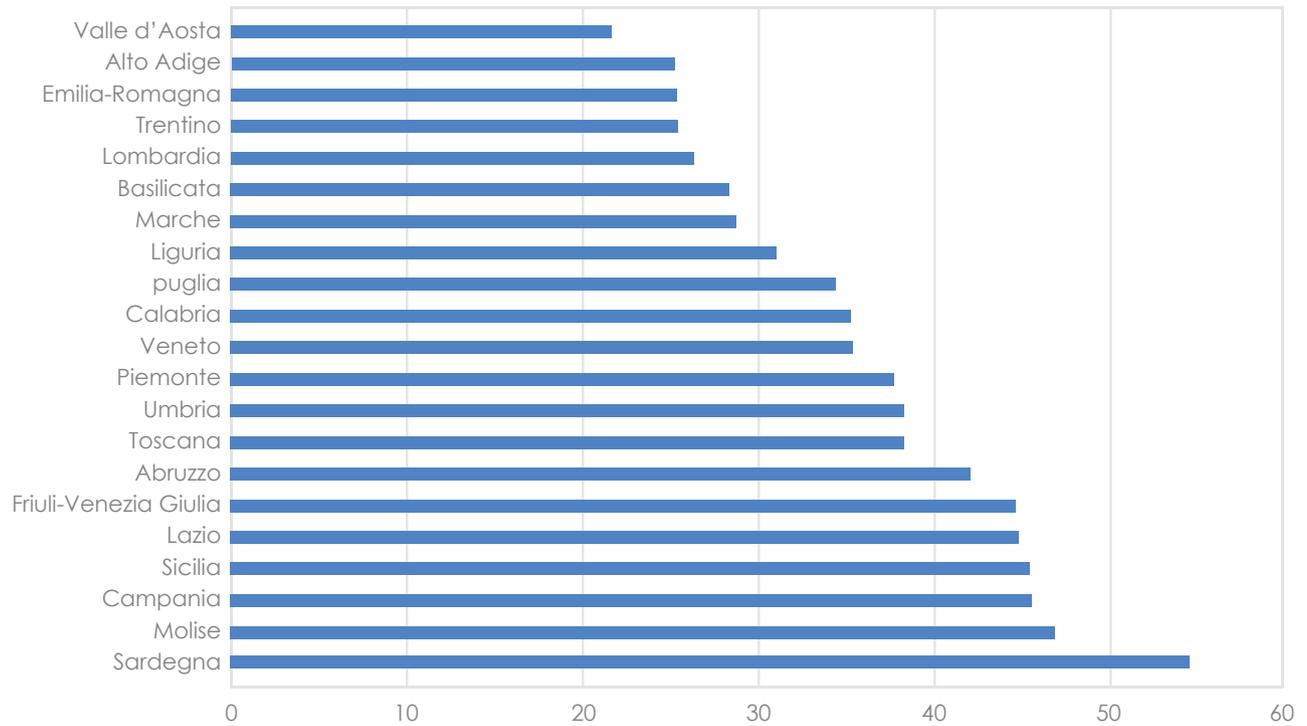
stimenti. Da tempo vengono evidenziate le criticità che lo caratterizzano: dall'obsolescenza delle infrastrutture, agli elevati livelli delle perdite idriche nelle reti, alle carenze negli standard di qualità dell'acqua destinata al consumo umano, al deficit di trattamento dei reflui urbani. Sebbene, in generale, il servizio di acquedotto presenti un buon grado di copertura esistono ancora problematiche persistenti e gravose che riguardano l'efficienza della rete idrica di adduzione e distribuzione.

Secondo gli ultimi dati disponibili (figura 1.1), le dispersioni idriche rimangono elevate, con il 37,4% dei volumi immessi in rete che non raggiungono le utenze finali, in peggioramento rispetto al 2008 (32,1%). I casi di maggiore criticità si concentrano soprattutto nelle Isole e nel Centro-Sud; tuttavia un deterioramento dello stato delle infrastrutture è documentato in tutte le nostre regioni.

La ricognizione sulle criticità registrate nei relativi territori ha evidenziato la presenza di situazioni di inefficienza, nel tema specifico, principalmente riguardo alla vetustà e allo stato di conservazione di reti e impianti gestiti, con conseguenti perdite di rete. Le informazioni trasmesse e, nella maggior parte dei casi, validate dai relativi Enti di governo dell'Ambito presentano un grado di copertura, in termini di popolazione residente, pari all'83% per il servizio di acquedotto e pari al 79% per il servizio di fognatura.

La rappresentazione dello stato delle infrastrutture nel Paese (analisi svolta da AEEGSI sulla base dei Piani di Intervento proposti dai Gestori del SII e convalidati dagli Enti di Governo d'Ambito) evidenzia un maggiore bisogno di investimenti.

Figura 1.1 Perdite di rete nelle diverse regioni italiane (in percentuale)



Fonte: Istat, Censimento delle acque per uso civile - 2012

Dall'esame del documento citato (che vi invitiamo a leggere nella sua versione integrale, scaricabile dal sito di ARERA) emergono, per quanto concerne le reti acquedottistiche e fognarie, significative criticità di sistema. Le criticità risultano strettamente conseguenti alle condizioni di vetustà delle reti e di scarso tasso di rinnovo.

IL SERVIZIO ACQUEDOTTO

Il servizio di acquedotto è costituito dalla captazione, adduzione, potabilizzazione e distribuzione della risorsa idrica e comprende anche le attività legate alla fornitura e alla gestione delle utenze finali, inclusa la misura dei volumi consegnati.

Caratteristiche della rete acquedottistica principale

Con riferimento alla rete principale di acquedotto (condotte di adduzione e distribuzione), sulla base dei dati raccolti da AEEGSI a livello nazionale (con un grado di copertura, in termini di popolazione residente, pari al 44%), è possibile condurre una breve analisi sulla tipologia dei materiali impiegati per la relativa realizzazione e sull'età di posa, soffermandosi poi sulla tipologia di interventi eseguiti sull'infrastruttura (figura 1.2). Si evidenzia una prevalenza di reti di acciaio/ferro (circa 35%), facendo anche rilevare condotte di materiale plastico (circa 30%) e di ghisa (circa 20%). Si osserva, inoltre, come ulteriore elemento di criticità, la presenza residuale dell'8% circa di condotte di cemento amianto. Il dato relativo all'età di posa delle condotte di adduzione e distribuzione (figura 1.3) mostra una rete acquedottistica particolarmente vetusta: il 36% delle condotte risulta

avere un'età compresa tra i 31 e i 50 anni, mentre il 22% è caratterizzato da un'età maggiore ai 50 anni.

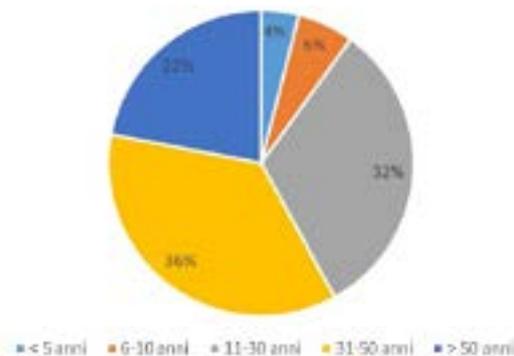
Figura 1.2 Tipologie di materiali delle condotte della rete acquedottistica principale



Fonte: AEEGSI

Relazione 2017 sullo stato dei servizi e sull'attività svolta

Figura 1.3 Età di posa della rete acquedottistica principale



Fonte: AEEGSI

Relazione 2017 sullo stato dei servizi e sull'attività svolta

IL SERVIZIO FOGNATURA

Il servizio di fognatura comprende l'insieme delle operazioni di realizzazione, gestione e manutenzione delle infrastrutture per l'allontanamento delle acque reflue urbane e delle acque meteoriche di dilavamento convogliate in reti dedicate.

Caratteristiche della rete di fognatura

Emerge un minor grado complessivo di copertura del servizio di fognatura rispetto a quello di acquedotto, nonché un'eterogeneità tra le diverse aree del Paese con riguardo alla tipologia di infrastruttura fognaria. Anche per la fognatura si rileva un elevato grado di vetustà e obsolescenza delle reti, seppure i dati analizzati si riferiscano a un campione di Gestori che copre appena il 33% della popolazione residente .

L'esame della lunghezza della rete per anni di posa mostra che circa il 35% della rete fognaria presenta un'età compresa tra i 31 e i 50 anni, mentre circa il 25% risulta avere oltre i 50 anni. Anche per le reti fognarie l'età media delle stesse risulta superiore alla vita utile considerata ai fini regolatori.

LE TECNOLOGIE "NO-DIG"

Reti vetuste attendono che vengano realizzati ingenti interventi. Ma ciò implica però, inevitabilmente, l'apertura di innumerevoli cantieri. Considerato che le

reti acquedottistiche e fognarie, di servizio primario, si sviluppano nel sottosuolo cittadino, diventa ineludibile la necessità di perseguire obiettivi di sostenibilità integrale.

La circolazione veicolare nelle città italiane è una rilevante criticità di sempre maggiore portata: ai problemi viabilistici direttamente legati all'eccessivo numero di automezzi che percorrono le congestionate vie cittadine, si uniscono le problematiche ambientali correlate (l'emissione di gas nocivi, di particolato, l'innalzamento del livello di rumore) e quelle sociali, (quali l'intralcio delle attività commerciali, l'aumento del traffico).

Premesso che la soluzione al problema necessita una complessità di interventi specifici su più fattori, l'approccio necessario, nell'ottica di contribuire a risolvere uno dei fattori è di tipo mirato, ovvero focalizzato a risolvere o comunque attenuare il contributo negativo fornito dalla presenza di scavi a cielo aperto, per gli interventi sulle reti idriche interferenti con la viabilità urbana.

Non è infatti una novità il fatto che, oltre alla congestione provocata dall'elevato numero di automezzi, un elemento di netto peggioramento della qualità del transito sia la presenza di cantieri stradali che limitano, o precludono, l'uso di vie di percorrenza veicolare o addirittura arterie di scorrimento urbano.

Le innovative modalità di realizzazione degli interventi sui servizi a rete interrati che fanno il minimo ricorso agli scavi di tipo "no-dig" (neologismo da "no-digging", letteralmente: "no scavo") o "trenchless", e l'utilizzo dei PUGSS (Piani Urbani per la Gestione

dei Servizi Interrati, già previsti dalla Direttiva del 3 Marzo 1999 emessa dal Ministero dei Lavori Pubblici e oramai ripresi dalla normativa nazionale e regionale) sono i due strumenti gestionali e operativi a disposizione dell'Amministrazione e dei Gestori delle reti.

Le tecnologie "trenchless" sono attualmente collocabili nell'ambito della classificazione SOA OS35 (Interventi a Basso Impatto Ambientale).

L'utilizzo di tecnologie non invasive, perseguendo la minimizzazione degli scavi (interventi tipo "no-dig" o "trenchless"), consente, soprattutto in contesti altamente urbanizzati, la riabilitazione di importanti arterie acquedottistiche e fognarie con significativi minori impatti sulla viabilità e con evidenti benefici rispetto alla interruzione dei passaggi pedonali e veicolari e conseguente aggravio del traffico, allo smaltimento dei materiali da scavo, all'acquisizione, trasporto e messa in opera di materiale di riempimento, all'alterazione della qualità estetica dell'area interessata nonché rispetto a impatti di rumore e inquinamento atmosferico.

Utilizzare questo tipo di tecnologie non invasive non può quindi essere oggi una scelta di opzione residuale ma deve diventare un normale modus operandi.

Dovrà però essere definita una rigorosa metodologia di calcolo dei costi diretti e indiretti: oggi la valutazione economica "tradizionale", in base alla quale vengono effettuate le scelte, si basa esclusivamente sui costi diretti di costruzione che comprendono i materiali, l'energia, i mezzi d'opera e la manodopera impiegati direttamente nel processo

di scavo, risanamento o sostituzione di condotte, ripristino delle pavimentazioni, ma non vengono invece considerati i cosiddetti costi indiretti misurabili in termini di principali indicatori ambientali, di disagio, di diseconomie esterne indotti dalle diverse operazioni svolte nel cantiere (interferenze con le infrastrutture di trasporto, effetti economici negativi provocati dai cantieri sulle attività economiche poste in vicinanza, disagio provato dalle persone).

I BENEFICI AMBIENTALI E SOCIALI DEL TRENCHLESS

Come sopra accennato l'addensamento delle attività economiche nelle aree urbane, insieme al consolidarsi di stili di mobilità dei cittadini sempre più diversificati, ha prodotto negli ultimi anni una crescita generalizzata della domanda di trasporto delle persone e delle merci.

L'aumento esponenziale del traffico nei centri cittadini è l'inevitabile deriva di questa dinamica, con effetti dirimpenti sulla vivibilità degli ambienti urbani in termini di congestione (perdita di tempo, stress) e di inquinamento ambientale. Secondo i dati riportati dall'ultimo Libro verde della Commissione Europea ogni anno l'economia europea perde circa 100 miliardi di euro, ovvero l'1% del Pil, a causa della congestione nelle città. Inoltre, il traffico urbano genera il 40% delle emissioni di CO2 e il 70% delle altre emissioni inquinanti prodotte dagli autoveicoli; e determina circa un terzo di tutti gli incidenti mortali, a danno soprattutto di pedoni e ciclisti. In Italia i termini della questione non sono molto

diversi, anzi alcune criticità caratteristiche della relazione tra domanda di mobilità e contesto urbano tendono ad accentuarsi.

Da un lato, infatti, i centri storici delle nostre città, piccole e grandi, ospitano un patrimonio storico e monumentale che non ha eguali nel mondo, e proprio per questo sono più fragili e vulnerabili; dall'altro lato il trasporto urbano è monopolizzato dall'auto in misura ben superiore alla media europea.

La pressione sulle città determinata dalla crescente congestione da traffico e dal difficile controllo dei livelli di inquinamento – a cui si accompagna la “morsa” sempre più stretta delle regole e degli standard nazionali ed europei da rispettare soprattutto in campo ambientale – ha spinto gran parte degli Enti locali a riflettere sull'organizzazione del proprio sistema di mobilità e a tentare soluzioni alternative, ancorché parziali; i pesanti investimenti necessari sulle reti acquedottistiche e fognarie non possono non considerare tali aspetti, anche solo per renderli attuabili ovvero cantierizzabili.

Per quanto di competenza i Gestori delle reti idriche non possono quindi non fornire delle soluzioni incisive rispetto agli aggravanti impatti dati dai cantieri rispetto ai problemi di inquinamento e di mobilità urbana.

Non da ultimo devono essere ricordati gli impegni europei su tematiche di sostenibilità ambientale: il Piano d'azione per l'Economia Circolare UE ha infatti obiettivi di sostenibilità ambientale con possibile declinazione, nel settore in esame, in minori impatti dei cantieri sull'ambiente e il territorio, nella dimi-

nuzione dei rifiuti e dei materiali di risulta, in politiche di recupero e riparabilità, nell'incremento della qualità dei processi e dei materiali, nell'efficienza energetica.

Gli interventi con tecnologie “trenchless”, riducendo la movimentazione di materiale (ad esempio il conferimento del materiale di risulta in discarica), il traffico di mezzi pesanti, il tempo e lo spazio di occupazione del suolo pubblico, l'apertura del manto stradale e l'impatto sulla viabilità, le interferenze con attività commerciali, residenziali o di svago, oltre a diminuire, da prime stime, i costi sociali/ambientali (addirittura dell'80% secondo TILab applicato a modello di impatto ambientale elaborato dalla Federazione delle Industrie Svedesi) sembrano poter ridurre sensibilmente l'infortunistica sui cantieri (del 67% da prime stime da fonte INAIL).

I bassi impatti delle tecnologie “trenchless” nel risanamento delle reti dei sottoservizi dovranno quindi necessariamente essere definiti e quantificati così da poterli confrontare con quelli derivanti dall'uso delle classiche tecnologie di nuova posa che prevedono scavi, così da chiarire, situazione per situazione, la soluzione tecnica ambientalmente più sostenibile per il risanamento o la sostituzione delle reti e di conseguenza misurare i benefici ambientali e sociali attesi e raggiungibili.

Nell'ambito della valutazione di impatto ambientale di qualunque intervento è necessario analizzare l'impatto della fase di cantiere e, per quanto sopra detto, nell'ambito del risanamento delle reti idriche esiste oggi la possibilità di una prima importante discriminazione legata alla tipologia delle operazioni previste (tecniche tradizionali o “no-dig”).

Un secondo aspetto, in termini di impatto ambientale, riguarda i materiali utilizzati, il cui impatto sull'ambiente deve essere analizzato, per completezza, nell'arco dell'intero ciclo di vita, come previsto dalle metodologie di Life Cycle Assessment.

La scelta dei materiali si basa normalmente su criteri di prestazioni e di qualità, oggi spesso in modo slegato dalla valutazione delle implicazioni ambientali o tenendo conto di queste solo in un arco temporale limitato.

D'altra parte i materiali determinano le caratteristiche e quindi l'impatto dei cantieri, e gli effetti in fase di esercizio e non da ultimo in fase di manutenzione, una volta realizzate le opere: il materiale scelto determina, inoltre, la durata nel tempo dell'opera e, quindi, gli impatti che possono derivare dal deterioramento e dalla necessità di interventi di manutenzione e/o di sostituzione di parti delle opere realizzate.

L'AFFERMAZIONE DEGLI INTERVENTI "NO-DIG"

A fronte di quanto riportato nei paragrafi precedenti, per la definitiva affermazione dell'insieme di operazioni e tecnologie "trenchless" dovranno necessariamente essere definiti adeguati strumenti normativi ed operativi.

Le diverse tecnologie dovranno essere puntualmente descritte attraverso specifiche tecniche di riferimento, i progettisti e le Stazioni Appaltanti dovranno disporre di voci di capitolato utilizzabili dalla progettazione al collaudo degli interventi nonché di listini prezzi di valorizzazione dei costi. Opportuni modelli

di calcolo, scientificamente validati, dovranno poi rendere evidenti i benefici ambientali e sociali.

Il processo tecnico e scientifico dovrà essere parallelamente accompagnato da una crescita culturale più complessiva del settore di risanamento dei sottoservizi: la sfida consiste nell'ingegnerizzare sempre di più il settore e nel regolare l'utilizzo delle tecnologie "trenchless" attraverso un maturo confronto tra Gestori e Operatori e con il necessario supporto delle Università, così da definire i suddetti strumenti normativi e operativi.

Una crescita culturale e di sistema che dovrà essere costantemente alimentata dalla diffusione di conoscenza, dalla condivisione di sapere e dalla messa a fattor comune di esperienze.

Grande è l'impegno, a questo proposito, dell'Italian Association for Trenchless Technology (IATT), dove confluiscono tutti i portatori di interesse del settore, nel promuovere e diffondere conoscenza e tecnologia "no-dig" anche attraverso accordi e collaborazioni con Ministeri, Regioni, ANCI, Utilitalia, Formedil, UNI, ecc.

Grande dovrà essere l'impegno dei gestori, con il supporto degli operatori specialistici qualificati, per consentire di arrivare in tempi brevi a strumenti operativi, oggi in parte lacunosi o mancanti, e permettere ai progettisti adeguate analisi, conseguenti strategie di intervento, pianificazione di investimenti e quindi adeguati progetti di risanamento delle reti idriche con tecnologie "trenchless". Altrettanto fondamentale potrà essere il ruolo delle Università e più in generale dei Centri di Formazione Profes-

sionale, per portare “tra i banchi” le tematiche in questione così da formare tecnici, in realtà non solo progettisti ma anche operatori, specializzati nell’utilizzo di tecnologie “no-dig”. Da ultimo pare importante fornire qualche prima e breve considerazione rispetto al Nuovo Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 50/2016 e successive modifiche e integrazioni - Il Codice degli appalti pubblici e concessioni di Lavori, Servizi e Forniture).

Il nuovo Codice degli Appalti si presenta infatti come strumento basilare e fondamentale, definita progettualmente la migliore soluzione tecnica, per perseguire qualità ed economicità nella realizzazione degli interventi.

Il Legislatore, attraverso il criterio dell’offerta economicamente più vantaggiosa, individuata sulla base del miglior rapporto qualità/prezzo, pone l’accento sugli aspetti qualitativi, ambientali o sociali degli interventi; per quanto sopra pare evidente che le tecnologie “trenchless” non potranno che trovare riconoscimento e adeguata valorizzazione.

L’attento esame e l’oggettiva valutazione degli aspetti tecnici delle tecnologie “trenchless”, dell’organizzazione del cantiere, della qualificazione specialistica degli operatori, dei ridotti tempi di intervento e delle prevedibili prestazioni superiori rispetto ad alcuni o tutti i criteri ambientali minimi (D.M.MATTM del 24/05/2016) saranno certamente di supporto all’affermazione del “no-dig”.

La necessità di risanare il pubblico patrimonio infrastrutturale del Paese costituito dalle reti acquedottistiche e fognarie deve trovare rapide risposte e

definite soluzioni nel mondo delle tecnologie “trenchless”; i Gestori del Servizio Idrico Integrato devono potere realizzare investimenti sulle reti idriche con opportune certezze normative e tecniche.

Riabilitare le reti acquedottistiche e fognarie con significativi minori impatti sulla viabilità e comunque con evidenti benefici socio-ambientali, perseguendo la sostenibilità ambientale e il miglioramento della qualità della vita dei cittadini deve diventare un normale “modus operandi” in un più generale contesto di innovazione tecnologica finalizzata alla realizzazione degli investimenti sulle infrastrutture idriche per una più efficiente, efficace ed economica gestione dell’acqua.

**INTERVENTI
"SENZA SCAVO":
DEFINIZIONI E METODI**

Prima di concentrare l'attenzione specificamente sulle tecniche C.I.P.P. (acronimo di Cured In Place Pipe ovvero condotto polimerizzato in sito) è opportuno fornire alcune definizioni di carattere generale ed illustrare sinteticamente le altre tecnologie disponibili, individuandone il campo di applicabilità e le tecniche di intervento.

DEFINIZIONI TECNICHE PRELIMINARI

In via preliminare, e facendo riferimento anche alla normativa UNI EN ISO 11295:2010, si hanno tre macro classificazioni dei possibili interventi in condotta; si parla di:

- *riabilitazione: quando si adottino misure per il ripristino (e miglioramento) della funzionalità di una condotta esistente o della rete;*
- *rinnovo: quando si eseguono lavori che incorporano tutta o parte di una struttura originaria di rete idraulica tramite i quali il funzionamento dell'opera viene migliorato;*
- *riparazione: quando si effettua un intervento di correzione o sistemazione di un danno locale.*

Per manutenzione si intendono invece le attività e lavori routinari che hanno lo scopo di evitare il degrado del sistema e mantenerlo efficiente.

Nel caso di cui si tratta, i condotti sui quali si opera con tecniche C.I.P.P. sono da considerarsi riabilitati.

Nella letteratura di settore, con il termine anglosassone *lining* si intende il processo di riabilitazione o di rinnovo di una condotta ottenuto tramite l'inserimen-

to di materiali all'interno della stessa. A lavori eseguiti, la nuova condotta prende il nome di *liner*.

Il lining può essere realizzato con diverse famiglie di tecniche:

- *con condotta continua: quando l'intervento è effettuato con una condotta resa continua prima dell'inserimento in quella da riabilitare (Loose Fit);*
- *con condotta "su misura": quando la nuova condotta ha un diametro esterno precisamente corrispondente a quello interno di quella da riparare (Close Fit);*
- *con condotta preparata in loco (C.I.P.P.): quando si utilizza una condotta flessibile impregnata di una resina che viene polimerizzata in loco;*
- *con condotte a tronchetti (discrete pipe): quando la lavorazione avviene inserendo nella condotta esistente dei piccoli tronchi, che vengono giuntati progressivamente durante l'inserimento per formare una condotta continua;*
- *con tubi avvolti a spirale: quando il rinnovo avviene con una striscia profilata, che viene inserita nel condotto esistente con un avvolgimento a spirale in modo da formare, dopo l'installazione, un tubo continuo;*
- *con una superficie plastica interna ancorata rigidamente: quando il rinnovo è realizzato con una superficie plastica interna ancorata a un getto di resina o malte che sono contenute dal tubo esistente o da un'altra superficie plastica;*
- *con segmenti di condotte: quando si utilizzano segmenti longitudinali che coprono il fondo, oppure il cielo, oppure tutta la condotta (venendo saldati longitudinalmente); l'ancoraggio avviene con colle e chiodature;*
- *con spruzzo, in generale di malte (CML: Cement Mortar Lining) oppure con resine.*

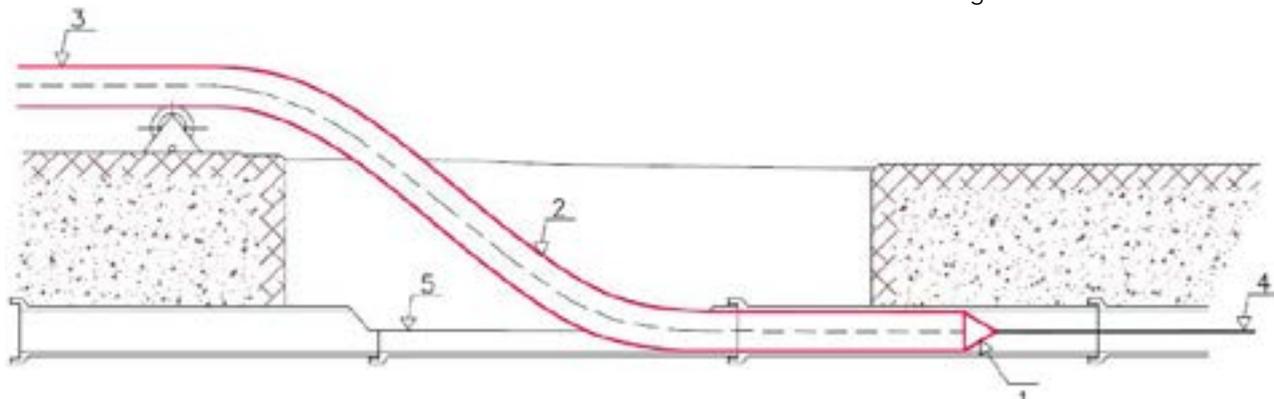
I risanamenti realizzati possono avere o non avere effetto strutturale; nel caso vi sia effetto strutturale, la condotta esistente può essere considerata collaborante con il liner inserito, oppure non collaborante: in ogni caso, i carichi esterni non sono mai interamente trasferiti al liner. Il C.I.P.P. è trattato specificamente nel presente testo e quindi non in questo capitolo, nel quale si ritiene invece opportuno accennare alle altre metodologie.

Figura 2.2.1

Schema di inserimento di un condotto Loose Fit

LEGENDA

- 1 Testa del nuovo condotto
- 2 Condotta continua LOOSE FIT
- 3 Costruzione della condotta prima dell'inserimento
- 4 Trazione (dal pozzetto di valle)
- 5 Condotto ospite, già esistente



ALTRI METODI DI RIABILITAZIONE DELLE CONDOTTE

Condotta continua - *Loose Fit*

La riabilitazione con condotta continua Loose Fit prevede la costruzione del condotto da posare all'esterno del condotto ospite, nel quale viene tirato mediante argano da un pozzetto, o comunque un'apertura posta a valle del condotto. Lo schema dell'inserimento è riprodotto in figura 2.2.1 mentre un'immagine del condotto prima dell'inserimento è presentata nella figura 2.2.2. La testa del condotto può essere rivestita in modo da eliminare difettosità locali che potrebbero danneggiare la nuova condotta durante la posa.

Tra il vecchio e il nuovo tubo rimane uno spazio, detto *anulus*, che in genere viene riempito con malta. Con questa metodologia le lunghezze ripristinabili con un singolo lancio sono intorno al centinaio di metri, ma in questi tratti non possono essere comprese curve. La riabilitazione statica è garantita.



Figura 2.2.2
Condotto costruito all'esterno, pronto per l'inserimento (By Rotech)

Condotta continua - *Close Fit*

Se si prevede la posa di una condotta continua *Close Fit*, invece, la condotta nuova aderisce perfettamente a quella vecchia, evitando la presenza del citato anulus e quindi limitando la riduzione della sezione della condotta al solo spessore del nuovo tubo.

Ovviamente, in questo caso, la difficoltà consiste nell'inserire il nuovo condotto, che deve essere adeguatamente deformato prima dell'inserimento, per poi riprendere forma quando correttamente collocato all'interno del condotto ospite. Tutte le tecniche sfruttano le proprietà dei materiali plastici, come si vedrà in seguito.

La tecnica usuale è quella presentata nella figura 2.2.3, ovvero la piegatura del nuovo condotto avviene in modo da fargli assumere una forma a "C" con la

quale quindi viene inserito nel condotto ospite. Poiché quando il condotto è piegato le sue dimensioni sono molto ridotte, può essere inserito senza eccessive difficoltà; quando è in posizione, i blocchi che lo tengono piegato vengono rimossi e la memoria del materiale gli consente di assumere nuovamente la forma originaria. Lo schema di inserimento è mostrato in figura 2.2.4, mentre alcune fotografie dell'inserimento nella figura 2.2.5.

Questa metodologia può essere usata per condotte rettilinee e, allo stato attuale della tecnologia, fino a diametri DN 600. La piegatura deve avvenire in cantiere, appena prima dell'inserimento, ad evitare che il condotto resti deformato troppo a lungo.

Il recupero della sezione originaria avviene appena possibile, prima meccanicamente inserendo dei dispositivi ad aria sul tipo degli air bag, quindi con acqua fredda o aria in pressione.

Figura 2.2.3
Schema di piegatura di un condotto Close Fit

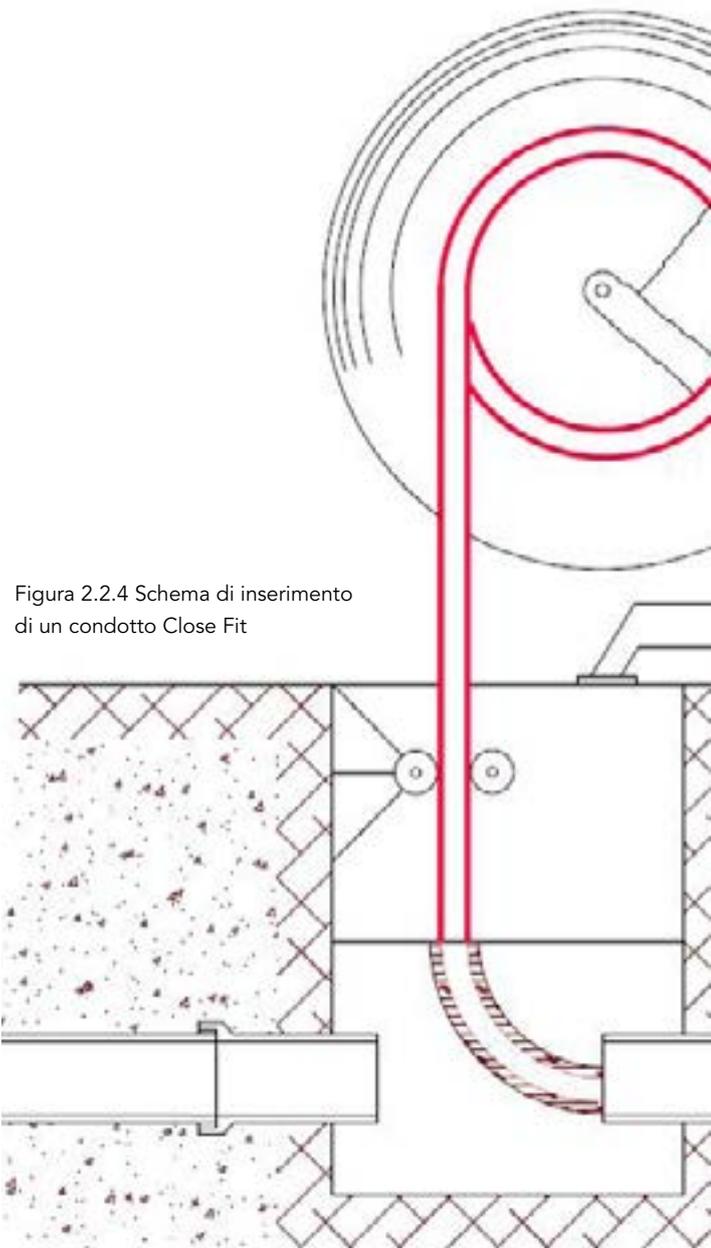
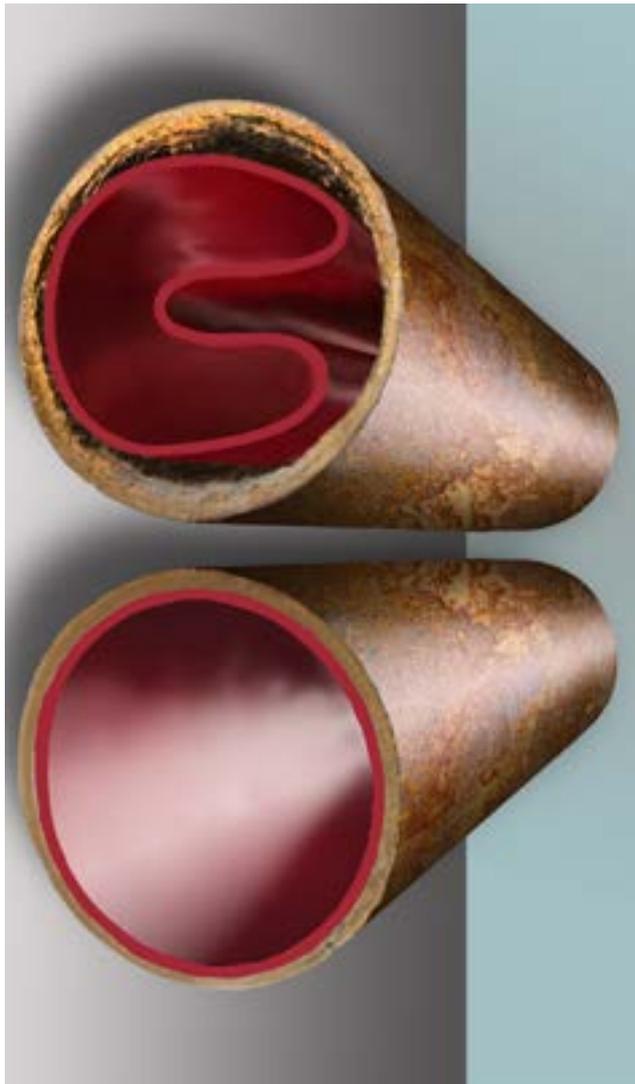


Figura 2.2.4 Schema di inserimento
di un condotto Close Fit



Figura 2.2.5
Come si presenta un condotto Close Fit nel pozzetto di inserimento (in alto) e nel pozzetto di arrivo (in basso)
(By Rotech)



Un'ulteriore possibile metodologia per l'inserimento di condotti Close Fit consiste nel produrre una riduzione del diametro mediante un iniziale riscaldamento del condotto nuovo, in polietilene, fino ad una temperatura di circa 100° che quindi viene fatto passare attraverso una forma conica che ne riduce il diametro (figura 2.2.6) di circa il 5-6%: a questo punto il nuovo condotto può essere inserito per trazione nel condotto ospite. Una volta che il condotto è posizionato, le tensioni vengono rilasciate naturalmente e non occorre un processo di rimessa in forma. In questo caso i diametri possibili sono anche ben superiori a quelli utilizzabili con la metodologia precedente.

Occorre prestare attenzione al fatto che per effetto della metodologia il condotto subisce un allungamento, e pertanto risulta necessario provvedere al

Figura 2.2.6
Particolare dell'invito (By Rotech)



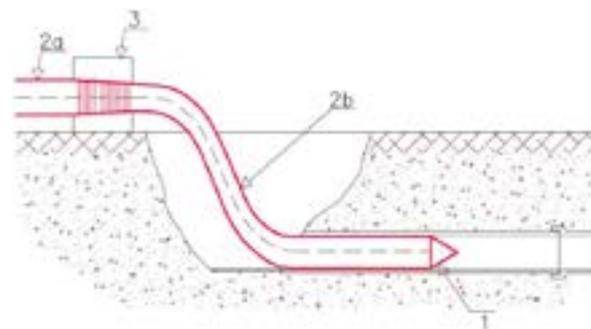
suo inserimento nel condotto ospite di una lunghezza superiore a quella apparentemente necessaria, per compensare il suo ritiro quando le tensioni si sono rilasciate. In alcuni casi è anche possibile pensare ad un inserimento a temperatura ambiente, che però risulta più difficoltoso e in generale necessita di maggiore lubrificazione. Lo schema di inserimento è mostrato in figura 2.2.7.

In tutti i casi, si tratta di un processo continuo difficile da fermare una volta che è iniziato, dato che qualsiasi rilascio di tensione permetterà l'inizio del processo di stabilizzazione. L'inserimento del nuovo condotto deve pertanto iniziare immediatamente dopo il passaggio attraverso la forma conica che produce la riduzione della sezione.

Figura 2.2.7
Schema di inserimento del condotto Close Fit

LEGENDA

- 1 Testa del nuovo condotto
- 2a Condotta continua CLOSE FIT
- 2b Condotta con sezione ridotta
- 3 Dispositivo per ridurre la sezione



I condotti devono essere saldati insieme in un prodotto continuo e quindi ci deve essere spazio sufficiente sul posto per permetterne la costruzione e l'inserimento.

Un'ulteriore variante di questa metodologia consiste in una riduzione semipermanente della sezione del liner (fino al 10%) prima di essere inserito nel condotto ospite, che è ottenuta facendolo passare attraverso una serie di rulli. Tale riduzione di diametro consente una posa piuttosto agevole, con ridotti attriti tra le pareti dei tubi ospite e nuovo, e quindi la possibilità di collocare in opera condotti di maggiori lunghezze, riducendo il numero degli scavi necessari. Una volta che il liner è stato inserito nel tubo portante, viene fatto ritornare al suo diametro originale mediante l'applicazione di acqua fredda pressurizzata.

Condotte a tronchetti Discrete Pipe

Con questa tecnologia si "costruisce" un nuovo tubo di plastica nel condotto ospite, spingendolo mano a mano in pezzi di lunghezza ridotta.

Nel caso di condotte fognarie, il nuovo condotto può essere inserito attraverso i passi d'uomo già presenti nella rete. Il metodo è veloce e si possono inserire fino a diverse centinaia di tronchetti in una sola volta. Il nuovo condotto ha capacità portante, ma naturalmente deve essere di dimensioni inferiori rispetto al condotto esistente, in questo modo risultando una riduzione del diametro finale. In figura 2.2.8 è mostrato un tronchetto in cantiere, prima dell'inserimento nel condotto ospite.

Figura 2.2.8

Inserimento di un tronchetto Discrete Pipe



Tubi avvolti a spirale

Anche in questo caso si tratta di una metodologia che consente di effettuare il rivestimento senza alcuno scavo, se si è in presenza di condotte fognarie (lo scavo per accedere alla rete di acquedotto è invece, ovviamente, sempre necessario).

Il nuovo tubo è costruito in situ nel condotto esistente a partire da un nastro profilato di PVC, rinforzato in acciaio PVC o HDPE, situato su una bobina posta fuori terra, che alimenta una macchina bobinatrice posta all'imbocco del condotto esistente (si veda uno schema in figura 2.2.9 e una fotografia in figura 2.2.10). La bobinatrice ruota unendo i bordi dei nastri profilati che si bloccano in modo stagno

formando un rivestimento impermeabile. L'azione di rotazione fa avanzare il nuovo condotto all'interno del tubo ospite. Anche in questo caso si forma uno spazio tra i tubi nuovo ed ospite, che viene generalmente riempito di malta, che consente il trasferimento dei carichi dal tubo esistente al liner, in questo modo contribuendo alla stabilità statica.

La macchina di avvolgimento può rimanere ferma nella cameretta di inserimento o, per applicazioni di diametro maggiore, può spostarsi lungo il tubo ospitante. La macchina itinerante installa la spirale formando un rivestimento Close Fit generalmente conforme al profilo del tubo ospitante.

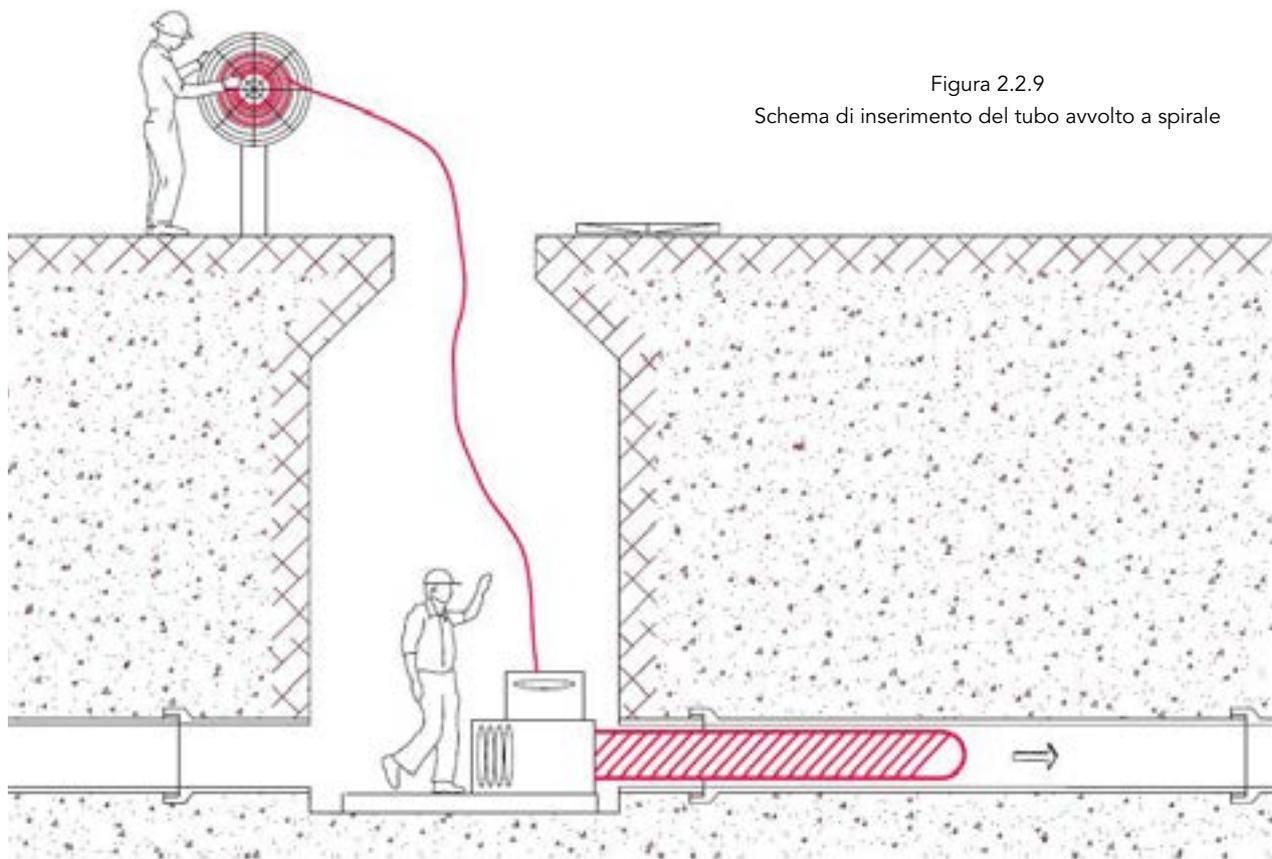


Figura 2.2.9

Schema di inserimento del tubo avvolto a spirale

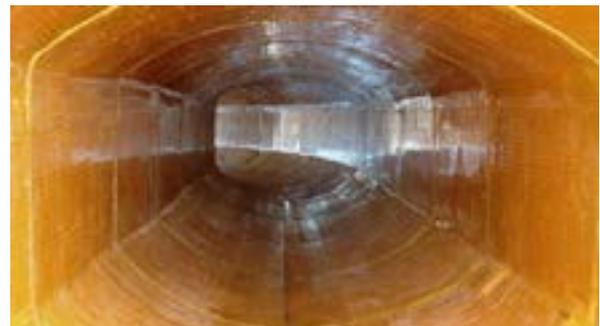
Figura 2.2.10
Macchina bobinatrice
(By Rotech)



Segmenti di condotte

La metodologia presentata in questo paragrafo è applicata generalmente per condotte di grandi dimensioni, dove è consentito l'accesso dell'operatore umano. A parte questa limitazione, che talvolta ne impedisce l'utilizzo, la metodologia è notevole in quanto rende possibile il ripristino di condotte anche di forma non regolare e con cunette, come visibile nella figura 2.2.11. Le piastre che costituiscono il rivestimento hanno generalmente una struttura costituita in polietilene ad alta densità e vengono fissate alla parete del collettore ospite mediante iniezioni di boiaccia cementizia. La distanza dal tubo ospite è garantita dalla presenza di borchie estruse presenti sulle lastre, che inoltre ne consentono un fissaggio permanente. Il rivestimento è invece, generalmente, in polietilene a densità più bassa, che offre una maggiore resistenza all'abrasione. Lo spazio tra il condotto ospite e il nuovo tubo è riempito con malta ad alta pressione, in modo da ottenere anche un effetto di rinforzo statico, se richiesto.

Figura 2.2.11
Relining con segmenti di condotte
(Cortesia Idroambiente)



Rivestimenti applicati a spruzzo

È possibile infine applicare il rivestimento a spruzzo. La modalità più diffusa consiste nell'applicare malta cementizia (CML – Cement Mortar Lining) che, nelle condotte di dimensioni minori (nelle quali l'operatore umano non ha accesso), è utilizzata principalmente per la protezione dalla corrosione delle tubazioni metalliche o comunque per ricostruirne il rivestimento interno, senza avere alcuna finalità statica. Nelle condotte di dimensioni maggiori, dove l'operatore umano può entrare e lavorare, è possibile preparare la condotta in modo tale da garantire anche un effetto strutturale all'operazione di rinnovo.

Il rivestimento con malta cementizia offre due vantaggi. In primo luogo, questi rivestimenti sono altamente alcalini e proteggono il tubo ospite dalla corrosione. Inoltre, la superficie interna relativamente liscia del rivestimento riduce la scabrezza migliorando le caratteristiche idrauliche del condotto, a fronte di una riduzione del diametro del tutto trascurabile (lo spessore del rivestimento raramente supera il centimetro).

Lo strato di malta cementizia viene applicato mediante spruzzo con una macchina a testa rotante (figura 2.2.12) da regolare in modo tale che l'erogatore sia centrato e parallelo all'asse della tubazione, in modo che lo strato steso sia il più possibile uniforme. La malta è alimentata dall'esterno, mediante apposite condotte, oppure, per i condotti di maggiori dimensioni, da una tramoggia fissata sulla macchina stessa. La velocità con la quale la macchina viene tirata nel condotto determina lo spessore del rivestimento.

L'applicazione a spruzzo è generalmente seguita dalla frattazzatura che è effettuata o ruotando una spatola montata sulla macchina o mediante un dispositivo tubolare tronco-conico che viene tirato attraverso il tubo dietro la macchina (figura 2.2.13).

Un'alternativa alle malte cementizie è il cosiddetto relining chimico, che viene effettuato spruzzando apposite resine; questa procedura consente di ripristinare le tubazioni in materiale ferroso interessate da corrosione, presenza di calcare, fori da corrosione e fessure date da cedimenti strutturali, avendo tale rivestimento anche proprietà di rinforzo statico in funzione dello spessore posato. In entrambi i casi è possibile l'uso anche su collettori di acquedotto, essendo i materiali compatibili con l'acqua potabile.

Figura 2.2.12

Inserimento di una macchina a testa rotante in un condotto per l'applicazione di malta cementizia a spruzzo



Figura 2.2.13
Inserimento del dispositivo tronco-conico per la frattazzatura



In figura 2.2.14, infine, è mostrato lo schema di intervento per procedere ad un rinforzo della condotta mediante posa di rete elettrosaldata prima della

finitura con malte. In questi grandi collettori la malta viene spruzzata da un operatore umano (figura 2.2.15).

Figura 2.2.14

Schema di intervento con posa di rete elettrosaldata in collettore di grandi dimensioni

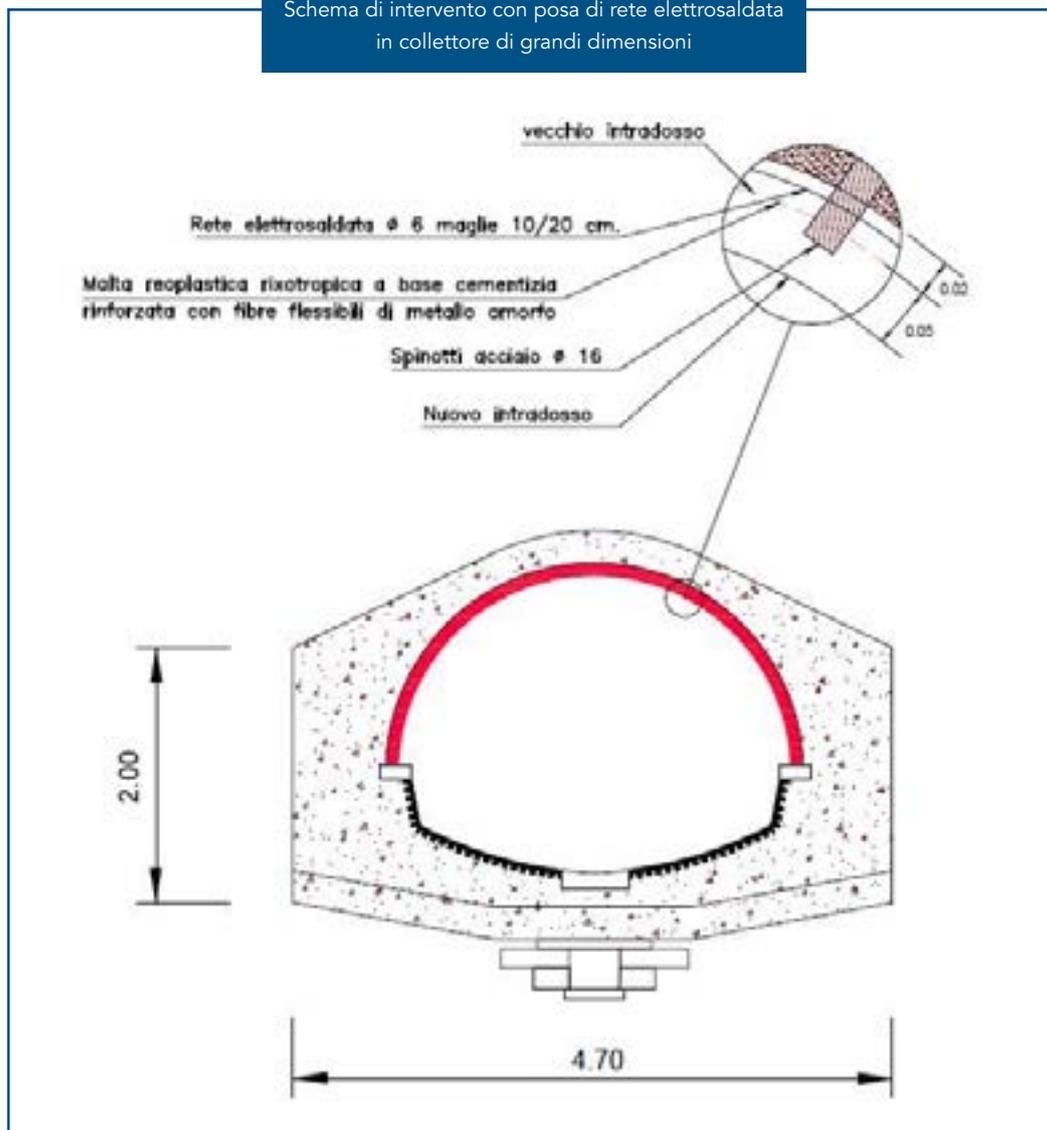


Figura 2.2.15
Esempio di intervento con posa di rete elettrosaldata
in collettore di grandi dimensioni



RIPARAZIONI

Anche per le riparazioni possono essere impiegate diverse tecniche: con iniezioni di malta o resine (generalmente in pressione) o dirette oppure nel suolo circostante. Le riparazioni di rotture e perdite possono essere realizzate mediante iniezioni sigillanti di resina o malta, con l'ausilio di un packer o appositi casseri.

Per rotture di maggiori dimensioni possono essere realizzati rattoppi, mediante resine termoindurenti messe in opera localmente.

Difetti strutturali locali con ricostruzione delle parti ammalorate possono essere effettuate con materiali

spatolati, malte o resine (in figura 2.2.16 una macchina spatolatrice filoguidata).

Le giunzioni di condotte possono essere riparate con collari di connessione laterale, mentre la sigillatura meccanica può essere ottenuta con materiali elastomerici compressi da un anello metallico.

Figura 2.2.16
Macchina spatolatrice guidata da
un operatore esternamente al condotto



CLASSIFICAZIONE STRUTTURALE

Secondo la norma UNI EN ISO 11295:2010 la tecnologia di relining può essere suddivisa secondo una categorizzazione strutturale come riportato in tabella 2.4.1.

Tabella 2.4.1
 Classificazione strutturale dei liner
 (dalla norma UNI EN ISO 11295:2010)

Caratteristiche del liner	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Resiste a collassi del tubo ospite	√	–	–	–
Pressione di resistenza a lungo termine ≥ massima pressione ammessa	√	–	–	–
Rigidezza anulare intrinseca ^a	√	√	– ^b	– ^b
Resistenza a lungo termine del ricoprimento delle aperture, alla massima pressione ammessa	√	√ ^c	√	–
Fornisce un livello di barriera interno ^d	√	√	√	√

^a La richiesta minima è che il liner risulti autoportante quando il condotto non è in pressione.

^b Il liner si affida all’adesione al tubo ospite per essere autoportante quando il condotto non è in pressione.

^c Il liner è sufficientemente vicino al tubo ospite per trasferirgli radialmente gli sforzi interni, sia durante l’installazione, sia nel primo periodo dell’applicazione della pressione di esercizio.

^d Il liner serve come barriera contro la corrosione, abrasione del tubo ospite e dalla eventuale contaminazione del fluido per possibili rilasci del tubo ospite; in genere, riduce anche la scabrezza del condotto esistente.

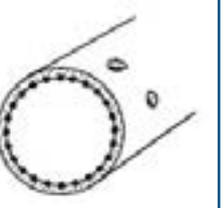
Un liner in classe A è in grado di resistere ai carichi imposti indipendentemente dal condotto nel quale è inserito; liner in classe B o C collaborano con il condotto esistente; liner in classe D sono semplicemente dei rivestimenti interni.

In tabella 2.4.2, tratta anch’essa dalla medesima norma sopra citata, si osservano le diverse caratteristiche dei differenti tipi di liner.

La norma attesta che i liner costruiti in loco, CIPP, di cui stiamo trattando, possono avere caratteristiche strutturali o no, a seconda di come sono progettati.

Come si vedrà più avanti, infatti, è possibile dimensionare lo spessore del nuovo condotto che si sta costruendo per resistere a diverse tipologie di sollecitazioni, sia interne che esterne. Con riferimento alla classificazione e all’inquadramento normativo

Tabella 2.4.2
 Caratteristiche tipiche dei liner
 (dalla norma UNI EN ISO 11295:2010)

Classe A		Classe B		Classe C		Classe D						
												
Non aderente		Aderente		Rigidezza anulare intrinseca		Si affida all'adesione						
Indipendente		Collaborante										
Completamente strutturale				Semi strutturale			Non strutturale					
Lining con condotti continui		Tecniche non comprese nello scopo della norma										
								Lining con condotti Close Fit				
								Lining con CIPP				
										Lining con condotti aderenti		

delle diverse tecnologie trenchless si segnala il documento, redatto nel giugno 2014, dalla Commissione Tecnica Permanente IATT (cui hanno preenziato i due autori) – Tecnologie di riabilitazione e rinnovamento di infrastrutture a rete con limitato ricorso a scavi con metodi tradizionali (Trenchless – no-dig) - Classificazione ed inquadramento normativo.

SOSTITUZIONE E NUOVA POSA SENZA SCAVO

Anche in questo caso occorre rimandare ad altri testi specializzati per maggiori dettagli in merito alle diverse metodologie e tecniche di installazione. È però necessario rimarcare come possa capitare di

trovare condotti in condizioni tali da non consentire la riabilitazione con queste tecniche, sia dal punto di vista statico, sia perché idraulicamente il condotto risulta insufficiente. In tali circostanze è quindi necessario procedere alla loro sostituzione, eventualmente con altri di diametro superiore. In altri casi può anche essere necessario posare un nuovo condotto dove non ne esiste uno e dove è difficile, o impossibile, scavare per effettuare una posa tradizionale.

Sostituzione di condotte

Pipe bursting

La tecnologia del pipe bursting consente di sostituire una condotta esistente con una nuova, avente un diametro uguale o maggiore, usualmente fino al 30% in più, della precedente; nel caso di incremento di diametro superiore al 30%, di per sé tecnicamente possibile, dovrà essere svolta puntale e attenta analisi progettuale così da valutare gli effetti attesi rispetto ai sottoservizi presenti nelle vicinanze e comunque alla sovrastruttura stradale.

Per procedere, occorre effettuare degli scavi all'inizio ed alla fine del condotto da sostituire, per consentire le usuali operazioni di inserimento e rimozione dei materiali necessari. Quindi si inserisce l'ogiva, munita di appositi utensili di taglio, che è la parte che consente l'avanzamento del nuovo condotto, che viene agganciato alla stessa. L'ogiva ha forma tronco conica: la parte anteriore ha dimensioni inferiori a quelle del tubo da sostituire, per permetterle di entrare agevolmente nella sezione esistente; la parte finale dell'ogiva ha le medesime dimensioni del nuovo condotto.

Figura 2.5.1

Inserimento di un'ogiva nel vecchio condotto da sostituire



Nella figura 2.5.1 è raffigurata un'ogiva che sta entrando nel vecchio condotto del quale è prevista la sostituzione. Le lame di taglio possono essere fisse (come utilizzato frequentemente nel caso di materiale duttile: acciaio, materie plastiche, ghisa sferoidale) o mobili (per materiali fragili: per ghisa grigia, cemento, gres). L'ogiva viene trainata da un argano posto nella

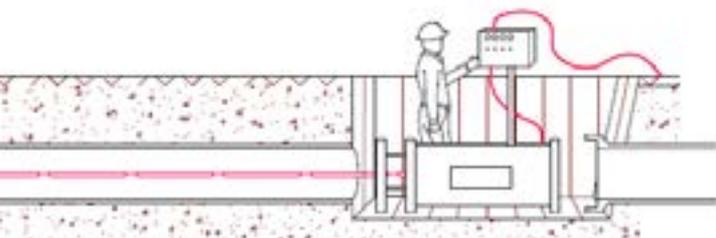
Figura 2.5.2 Schema di funzionamento della tecnica di pipe bursting



sezione di arrivo e, avanzando, distrugge la vecchia condotta posizionando la nuova. Lo schema di funzionamento è mostrato in figura 2.5.2. Occorre rilevare come il tracciato della nuova condotta segua esattamente quello della vecchia: pertanto, in caso di contropendenze, avvallamenti od altri errori di pendenza dovuti alla posa o ad un successivo assestamento, non vengono corretti mediante l'impiego di questa tecnologia. È pur vero che se un condotto a gravità risultasse idraulicamente insufficiente per un problema dato dalla pendenza, con questa tecnologia è possibile posizionare un condotto di dimensioni maggiori che tale insufficienza potrebbe risolvere.

Un'altra osservazione di carattere pratico riguarda l'induzione nel terreno di pressioni dovute all'avanzamento dell'ogiva, tanto maggiori se il condotto che si va a posare presenta dimensioni superiori a quello esistente. In questo caso occorre preventivamente controllare la presenza di ulteriori sottoservizi in prossimità del condotto sul quale si va ad operare, in modo da effettuare le necessarie verifiche e prevenire gli eventuali danni che possono essere loro arrecati.

Inoltre serve anche verificare la necessaria copertura della condotta, dato che se questa fosse insufficiente anche lo stesso manto stradale potrebbe alzarsi al passaggio dell'ogiva.



Trivellazione orizzontale controllata *Directional drilling*

Questa tecnica permette di eseguire traiettorie curve e quindi di passare sotto ad eventuali ostacoli partendo direttamente dalla superficie.

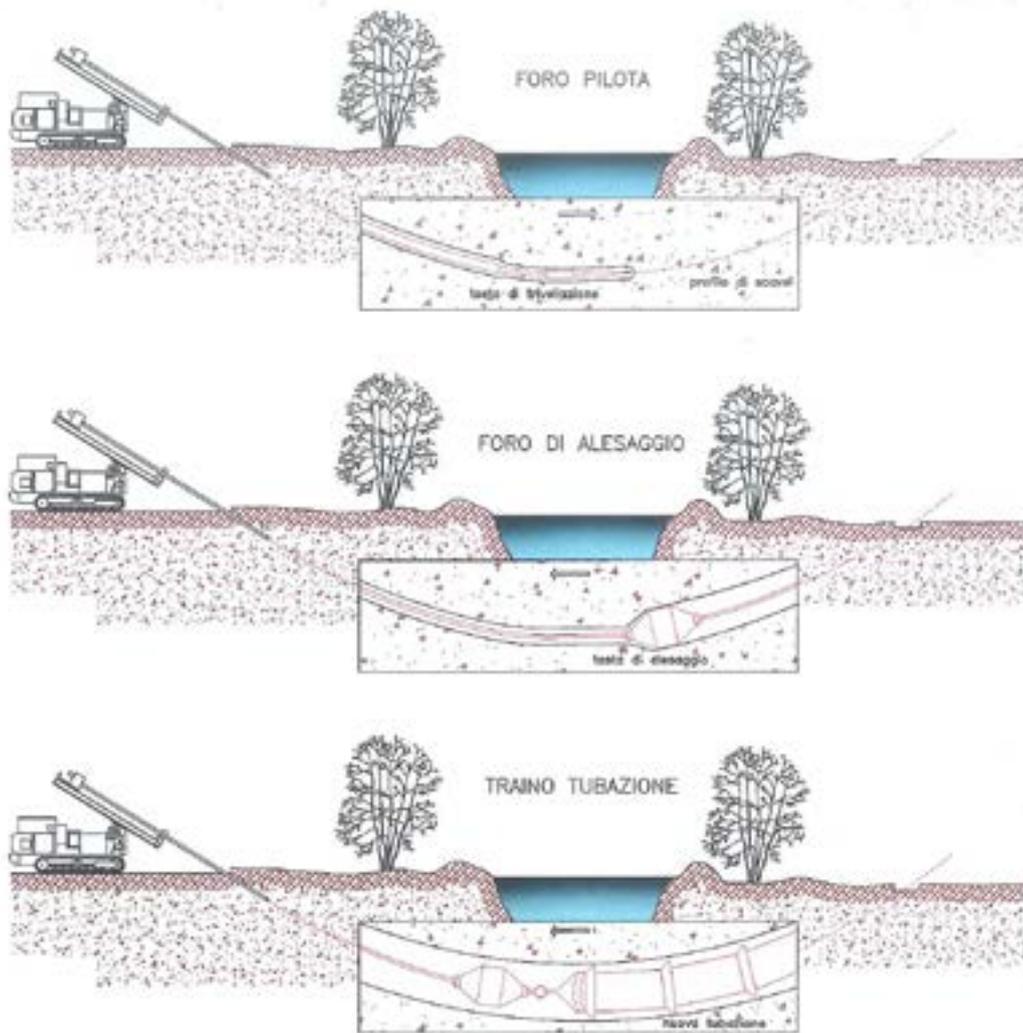
La buona riuscita, o addirittura la stessa possibilità di realizzazione, dipende fortemente dalle caratteristiche del terreno: mentre è possibile operare in suoli argillosi o in suoli rocciosi, la presenza di ghiaia rende, allo stato attuale della tecnologia, difficile la sua applicazione.

Per eseguire l'opera è necessaria la presenza di una testa di trivellazione, dotata di ugelli di iniezione e di una sonda, che segnala all'operatore la propria posizione piano-altimetrica in modo da guidare la trivellazione. La testa di trivellazione esegue il cosiddetto foro pilota (di un diametro generalmente compreso tra 10 e 15 centimetri) fino alla destinazione, azionata dalle aste di trivellazione che spingono la testa e la direzionano.

La testa della trivella che esce all'estremità è sostituita da una testa di alesaggio che viene trainata in senso inverso, allargando il foro pilota fino ad una dimensione superiore al diametro del condotto da installare di una misura che varia dal 20 al 50% in più. Per diametri elevati può rendersi necessario procedere con alesaggi successivi, utilizzando teste di alesaggio di diametro crescente.

Lo schema di posa di una condotta con questo metodo è presentato in figura 2.5.3.

Figura 2.5.3
Schema di installazione di una condotta con la tecnica del directional drilling



Completata l'ultima fase di alesaggio, il nuovo condotto, assemblato esternamente, viene posizionato per trazione all'interno dello scavo.

È pertanto evidente che sia i materiali che costituiscono il nuovo condotto, sia i giunti, devono essere resistenti a trazione.

Sia per la realizzazione del foro pilota che del successivo foro di alesaggio è necessario l'uso di fanghi bentonitici, che consentono il raffreddamento degli strumenti di scavo, il consolidamento delle pareti di scavo, agevolano l'avanzamento dello scavo stesso per via delle forti pressioni e, mediante il loro ricircolo, agevolano anche l'evacuazione dei materiali di scavo prima dell'inserimento della condotta.

Le potenzialità di questa tecnologia sono considerevoli, poiché risulta possibile la posa di condotti fino a 1500 mm per distanze fino a 2000 m, almeno con le tecnologie oggi disponibili.

Per una più completa trattazione dei sistemi a perforazione guidata si rimanda alla Prassi di Riferimento UNI 26.03:2017 – Sistemi di perforazione guidata: Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC).

Microtunnelling

Questa tecnologia consente la posa di condotti rettilinei, la cui pendenza può essere predeterminata con grande precisione e quindi sono particolarmente adatti quando il liquido all'interno degli stessi si muove per gravità. Il condotto, il cui diametro può variare dai 25 ai 250 cm, viene installato per spinta in tratti che possono superare i 1000 metri.

Innanzitutto vengono realizzati, alla distanza richiesta, i due pozzi di partenza e di arrivo. Lo scavo avanza per mezzo di una testa dotata di una fresa che perfora il terreno a sezione piena, avanzando grazie a un carrello di spinta dotato di martinetti che agiscono sui tubi già installati, i quali fungono da colonna di trasmissione della spinta.

All'avanzare del fronte di scavo, i nuovi condotti vengono man mano posizionati e giuntati in coda a quelli già installati, per mezzo dei quali trasmettono la spinta alla fresa. I martinetti fanno contrasto su un muro in calcestruzzo armato detto di contropinta opportunamente dimensionato, realizzato all'interno del pozzo di monte, come mostrato in figura 2.5.4.

Figura 2.5.4
Schema di installazione di una condotta con la tecnica del microtunnelling



Con l'avanzamento della fresa il materiale di scavo è frantumato fino a dimensioni tali da poter essere

trasportato all'esterno con circolazione di acqua o di acqua e bentonite in circuito chiuso.

La posizione della testa fresante viene indicata in continuo da un computer che elabora le informazioni raccolte da un sistema di puntamento laser, costituito da un bersaglio fotosensibile, solidale con la fresa, colpita da un raggio laser originato da una sorgente ubicata nel pozzo di partenza.

L'inserimento progressivo dei condotti termina quando la testa perforante emerge in corrispondenza del pozzo di arrivo.

Per una più completa trattazione dei sistemi di posa a spinta si rimanda alla Prassi di Riferimento UNI 26.02:2017 – Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali.

DEFINIZIONI AMMINISTRATIVE PRELIMINARI

Ancora preliminarmente, prima di addentrarsi nella descrizione delle procedure e metodologie e nella descrizione di quanto viene richiesto dai diversi Enti, occorre chiarire il livello di autorità che ciascun provvedimento emanato possiede.

Norme e linee guida

Secondo il Regolamento UE 1025 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sulla normazione europea, per norma si intende:

(...) una specifica tecnica, adottata da un organismo di normazione riconosciuto, per applicazione ripetuta o continua, alla quale non è obbligatorio conformarsi, e che appartenga a una delle seguenti categorie:

- *norma internazionale: una norma adottata da un organismo di normazione internazionale;*
- *norma europea: una norma adottata da un'organizzazione europea di normazione;*
- *norma armonizzata: una norma europea adottata sulla base di una richiesta della Commissione ai fini dell'applicazione della legislazione dell'Unione sull'armonizzazione;*
- *norma nazionale: una norma adottata da un organismo di normazione nazionale.*

Le sigle degli organismi di normazione riconosciuti in Unione Europea sono riportati in tabella 2.6.1.

Nonostante sia dal punto di vista lessicale, sia dal punto di vista degli effetti giuridici vi sia una sostanziale equivalenza si preferisce definire:

- *norma: un documento emanato da un organismo di normazione riconosciuto.*
- *specifica tecnica o linea guida: un documento emanato da un ente o associazione privato e non riconosciuto.*

Tabella 2.6.1
Organismi di normazione riconosciuti
in Unione Europea

Belgio	NBN	Lituania	LST
Bulgaria	БИС	Lussemburgo	ILNAS
Repubblica Ceca	UNMZ	Ungheria	MSZT
Danimarca	DS	Malta	MCCAA
Germania	DIN / DKE	Paesi Bassi	NEN/NEC
Estonia	EVS / TJA	Austria	ASI/OVE
Irlanda	NSAI	Polonia	PKN
Grecia	ΕΣΥΠ/ΕΛΟΤ	Portogallo	IPQ
Spagna	AENOR	Romania	ASRO
Francia	AFNOR	Slovenia	SIST
Croazia	HZN	Slovacchia	SUTN
Italia	UNI/CEI	Finlandia	SFS/FICORA/SESKO
Cipro	CYS	Svezia	SIS/SEK/ITS
Lettonia	LVS	Regno Unito	BSI

Le principali sigle che caratterizzano le norme sono:

- **UNI:** contraddistingue tutte le norme nazionali italiane e nel caso sia l'unica sigla presente significa che la norma è stata elaborata direttamente dalle Commissioni UNI o dagli Enti Federati;
- **EN:** identifica le norme elaborate dal CEN (Comité Européen de Normalisation). Le norme EN devono essere obbligatoriamente recepite dai Paesi

membri CEN e la loro sigla di riferimento diventa, nel caso dell'Italia, UNI EN. Queste norme servono ad uniformare la normativa tecnica in tutta Europa, quindi non è consentita l'esistenza a livello nazionale di norme che non siano in armonia con il loro contenuto;

- **ISO¹**: individua le norme elaborate dall'ISO (International Organization for Standardization). Queste norme sono un riferimento applicabile in tutto il mondo. Ogni Paese può decidere se rafforzarne ulteriormente il ruolo adottandole come proprie norme nazionali, nel qual caso in Italia la sigla diventa UNI ISO (o UNI EN ISO se la norma è stata adottata anche a livello europeo).

Più avanti, trattando del dimensionamento statico del liner, si farà riferimento a due specifiche linee guida, che ne consentono un calcolo speditivo. Tali linee guida sono emanate dall'ASTM e dalla DWA.

La **ASTM International** è un organismo di normalizzazione statunitense, acronimo di American Society for Testing and Materials International. Fu fondato il 16 giugno 1898 su iniziativa di Charles Dudley, allora responsabile del (diremmo oggi) Controllo Qualità di Pennsylvania Railroad, che ebbe l'iniziativa di far cooperare le aziende dell'acciaio e del trasporto su ferro

fino ad allora conflittuali. Nel 2001 ASTM assume la denominazione di ASTM International, ed è oggi tra i maggiori contributori tecnici dell'ISO.

La **DWA** è l'Associazione tedesca per l'acqua, acque reflue e rifiuti. DWA (nata unendo le associazioni ATV e DVWK) è la portavoce in Germania per tutte le questioni in materia di acque. Il focus del suo lavoro è l'elaborazione e l'aggiornamento di un insieme comune di tecniche, le regole DWA, così come la collaborazione per la creazione di specifici standard tecnici a livello nazionale e internazionale. Questo comprende non solo questioni tecniche e scientifiche, ma anche gli interessi economici e giuridici della tutela ambientale e dell'acqua.

Prove e laboratori

I requisiti del laboratorio di prova presso i quali portare i campioni prelevati in cantiere, nel numero e forma che saranno specificati più avanti, sono descritti nella norma ISO 17025, che elenca le richieste generali per effettuare prove e calibrazioni, compresa la campionatura.

Copre le prove e le calibrazioni effettuate usando i metodi standard, i metodi non-standard e i metodi

¹Fondata il 23 febbraio 1947, l'ISO (International Organization for Standardization) ha la sua sede a Ginevra in Svizzera ed è il più autorevole organismo a livello mondiale per la determinazione di regole tecniche, valutazioni, ispezione e standardizzazione dei processi di qualità in ambienti produttivi. L'ISO nasce nella sfera comunitaria come sistema di attestazione di conformità su base volontaria e competitiva della peculiarità e qualità dei processi e dei prodotti. Nell'ISO confluiscono gli Enti di normativa di 157 Paesi industrializzati e in via di sviluppo di tutto il mondo. Per l'Italia le norme ISO a livello mondiale e CEN (Comitato europeo di normazione) a livello europeo vengono rappresentate dal consorzio privato senza scopo di lucro UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione).

sviluppati nei laboratori stessi, e contiene tutti i requisiti che i laboratori di prova e di calibrazione devono avere se vogliono dimostrare che operano in un sistema di corretta gestione, sono tecnicamente competenti ed in grado di generare risultati tecnicamente validi.

La prima edizione della norma si riferiva alle ISO 9001:1994 e ISO 9002:1994; dopo l'uscita della ISO 9001:2000 la norma di cui si tratta è stata aggiornata.

Per un tecnico esperto o per un ricercatore, la norma può sembrare fornire solo consigli di buon senso, in quanto non è specifica per una particolare tipologia di prove (ad esempio quelle sulle tecnologie C.I.P.P., di cui trattiamo), ma ha validità generale. Tuttavia, è importante che vi sia una procedura standard che copra i diversi aspetti delle prove che interessano.

Ad esempio, la norma offre delle prescrizioni in merito alle prove non-standard e su come possono essere controllate; richiede che venga valutata l'incertezza di misura, ed indica come questo può essere fatto; impone regole per la tracciabilità delle misure; indica come devono essere trattati i campioni; descrive accuratamente che cosa devono contenere le certificazioni. In sostanza, l'adesione alla norma rende possibile confrontare i risultati ottenuti da due laboratori diversi, il che rende le prove ripetibili ed in quanto tali scientifiche.

ACCREDIA è l'Ente unico nazionale di accreditamento designato dal Governo il 22 dicembre 2009, nato come Associazione riconosciuta senza scopo

di lucro dalla fusione di SINAL e SINCERT e con il contributo di SIT - INRIM, ENEA e ISS.

L'Ente attesta che gli organismi di certificazione ed ispezione, i laboratori di prova e quelli di taratura abbiano le competenze per valutare la conformità dei prodotti, dei processi e dei sistemi agli standard di riferimento.

ACCREDIA opera sotto la vigilanza del Ministero dello Sviluppo Economico e svolge un servizio di pubblica autorità, in quanto l'accreditamento è un servizio svolto nell'interesse pubblico ed un efficace strumento di qualificazione dei prodotti e servizi che circolano su tutti i mercati.

L'accreditamento garantisce che i rapporti di prova e di ispezione e le certificazioni (di sistema, prodotto e personale) che riportano il marchio ACCREDIA siano rilasciate nel rispetto dei più stringenti requisiti internazionali in materia di valutazione della conformità, e dietro una costante e rigorosa azione di sorveglianza sul comportamento degli operatori responsabili (Laboratori e Organismi).

Un ente indipendente verifica il comportamento degli organismi di certificazione e, quando accerta che operano in conformità alle norme di riferimento, accredita l'organismo di certificazione, sorvegliandone il comportamento nel tempo.

L'ente di accreditamento italiano per la certificazione volontaria (sistemi di gestione, prodotti, personale) è ACCREDIA.

Tra i diversi organismi di certificazione e i diversi enti di accreditamento europei esistono accordi di

mutuo riconoscimento, per assicurare riconoscibilità e validità delle certificazioni rilasciate in Paesi diversi, tramite diversi accreditamenti.

È da sottolineare che non esiste, ad oggi in Italia, una legge che obblighi un organismo di certificazione ad accreditarsi: sono solo le singole disposizioni (ad esempio i bandi di gara della pubblica amministrazione) che prescrivono che l'azienda, il prodotto o servizio, la figura professionale sia certificata da ente accreditato.

L'accredimento è concesso con riferimento alle singole prove; di conseguenza uno stesso laboratorio può effettuare prove accreditate e non accreditate: tali circostanze devono essere precisate nei certificati o attestati di prova.

È possibile che un laboratorio sia certificato ISO 9001 da un ente di certificazione; tuttavia, questa certificazione non è l'accredimento, ovvero non assicura la competenza del laboratorio ad effettuare le singole prove, ma solo che lo stesso è dotato di un sistema qualità conforme alla norma citata.

Pertanto, laboratori di prova o di taratura possono essere sia certificati che accreditati oppure solo certificati, o solo accreditati. Ma qualora il risultato della prova o della taratura debba avere validità riconosciuta (per contratto, per norma, per legge, per regolamentazione di settore, ecc.) è solo l'accredimento che garantisce il soddisfacimento dei requisiti previsti.

Nei casi di certificazioni non accreditate è il mercato e l'utenza che devono pertanto valutare la validità

delle stesse sulla base dell'autorevolezza e reputazione dell'organizzazione che le ha rilasciate.

Appalti pubblici

Prima del 25 gennaio 2000, data di pubblicazione del D.P.R. 34, primo "Regolamento" SOA, le imprese erano soggette ad iscrizione all'Albo Nazionale dei Costruttori, ora abrogato. Con l'avvento del Regolamento sopracitato, l'unico documento qualificante diviene l'Attestazione SOA.

Nel dicembre 2010 viene pubblicato il D.P.R. 207, secondo "Regolamento" SOA, che abroga il precedente ed entra in vigore l'8 giugno del 2011. Pertanto, qualunque impresa che intenda partecipare a pubbliche gare d'appalto per l'esecuzione di opere con importo maggiore di € 150.000,00, è tenuta a conseguire l'Attestazione SOA e presentarla come documento unico di Qualificazione.

Le classifiche di qualificazione sono 10; esse sono identificate da un numero romano e da un corrispondente controvalore, espresso in euro:

- *I fino a euro 258.000*
- *II fino a euro 516.000*
- *III fino a euro 1.033.000*
- *III bis fino a euro 1.500.000*
- *IV fino a euro 2.582.000*
- *IV bis fino a euro 3.500.000*
- *V fino a euro 5.165.000*
- *VI fino a euro 10.329.000*
- *VII fino a euro 15.494.000*
- *VIII oltre euro 15.494.000*

Esse abilitano l'impresa a partecipare ad appalti per importi pari alla relativa classifica accresciuta di un quinto (cioè incrementata del 20%).

Le categorie di qualificazione riguardano le tipologie di lavori e si dividono in Opere Generali (OG, classificate da un numero arabo da 1 a 13) e in Opere Specialistiche (OS, classificate da un numero arabo da 1 a 35, con alcune categorie suddivise in A e B).

Le opere relative alle tecnologie trenchless, come quelle che stiamo trattando, riguardano la categoria OS35, "Opere a basso impatto ambientale", la cui declaratoria recita:

Riguarda la costruzione e la manutenzione di qualsiasi opera interrata mediante l'utilizzo di tecnologie di scavo non invasive. Comprende in via esemplificativa le perforazioni orizzontali guidate e non, con l'eventuale riutilizzo e sfruttamento delle opere esistenti.

Il Nuovo Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 50/2016 e successive modifiche e integrazioni) prevede infine che le opere pubbliche siano aggiudicate prevalentemente con il metodo dell'offerta economicamente più vantaggiosa (art. 95 c. 3); è possibile anche usare il metodo del massimo ribasso (art. 95 c. 4) in casi particolari che devono essere giustificate (art. 95 c. 5).

Sostanzialmente, è possibile ricorrere al metodo del massimo ribasso quando si tratta di lavori di importo non eccessivo (sotto i due milioni di euro) e le lavorazioni sono abbastanza standard, per le quali è difficile ipotizzare che vi siano imprese che possano proporre tecnologie effettivamente innovative. Non

è questo il caso delle tecnologie di rinnovamento senza scavo, nel quale è necessario distinguere l'improvvisazione dall'eccellenza.

Si rimanda infatti al significato più profondo dell'offerta economicamente più vantaggiosa che, individuata sulla base del miglior rapporto qualità/prezzo, deve essere valutata sulla base di criteri predefiniti, quali gli aspetti qualitativi, ambientali o sociali: descrizione che pare calzare a pennello per le tecnologie "trenchless" che nell'innovazione, nei vantaggi ambientali e sociali trovano loro aspetti qualificanti.

Si rimarca quindi la necessità di definire, con supporto di normative tecniche di settore, linee guida sia tecniche sia economiche, così da consentire alle stazioni appaltanti la stesura di precisi e completi Capitolati Tecnici "no-dig" corredati da Listini Prezzi di supporto. Da evidenziare, d'altro canto, come, nel noto panorama nazionale di piccole e medie imprese, le limitazioni imposte al subappalto comportino la necessità di crescita e sviluppo, o più probabilmente di aggregazione, delle imprese stesse, con un'attesa e auspicata industrializzazione e ingegnerizzazione del complessivo comparto delle tecnologie "trenchless".

Il metodo dell'offerta economicamente più vantaggiosa prevede l'assegnazione di punteggi qualitativi e quantitativi; il Codice dei Contratti stabilisce il tetto massimo di punteggio da attribuire all'offerta economica in 30 punti. L'offerta economica ricade evidentemente tra i criteri di tipo quantitativo, insieme all'offerta di riduzione del tempo di esecuzione dell'opera. Per quello che riguarda i criteri di tipo qualitativo, la stessa ANAC offre degli spunti

esemplificativi; in linea di massima, e facendo riferimento al caso di cui si tratta, si possono indicare i seguenti:

- **Attività similari e pregresse:** dall'esame delle quali si può evincere il grado di esperienza dell'Impresa concorrente. Sotto questa voce si può anche inserire la richiesta relativa alle competenze della squadra che effettuerà l'intervento.
- **Cantiere:** in questo capitolo l'Impresa concorrente dovrà descrivere le diverse fasi delle lavorazioni, le protezioni che intende adottare sia per i propri lavoratori, sia per il pubblico, e come intende, in linea generale, gestire le aree; qui dovrà anche specificare particolari in merito alla generazione di vibrazioni, rumore, polveri e soprattutto odori, dato che alcune resine sono problematiche da questo punto di vista. Infine, dovrà descrivere la gestione della viabilità, anche e soprattutto in relazione al numero e posizione degli scavi, al traffico dei mezzi di servizio e all'impegno della sede stradale.
- **Comunicazione verso l'esterno:** questa richiesta è data dalla necessità di spiegare ai residenti lo scopo del lavoro, i metodi utilizzati e la durata del cantiere.
- **Scelte tecniche:** qui l'Impresa concorrente dovrà descrivere come intende preparare le condotte, la resistenza statica che propone, le opere di finitura (camerette, oppure valvole, e allacci), come intende gestire le operazioni in luoghi inaccessibili al personale e come intende posare la nuova condotta.

- **Caratteristiche dei materiali e certificazioni:** è necessario che l'Impresa concorrente definisca con precisione quali sono i materiali, anche grezzi, che intende utilizzare, e quali certificati produce. Inoltre, deve fornire garanzie sulla durata garantita del prodotto finale e indicare le corrette modalità di manutenzione.

Naturalmente nel capitolato le richieste minime, anche in base alla normativa, dovranno essere dichiarate; tuttavia, a causa delle diverse tecnologie disponibili, è del tutto probabile che le diverse imprese propongano dei miglioramenti rispetto a quanto richiesto come basilare, che deve essere opportunamente riconosciuto.

Pare opportuno evidenziare che gli evidenti scopi di semplificazione del quadro normativo, di ricerca della qualità nel solco della trasparenza non hanno trovato, purtroppo, una reale e concreta veloce attuazione: il nuovo codice degli appalti, certamente anche a causa del rinvio a numerosi decreti attuativi di successiva emanazione, ha frenato le gare e l'avvio di nuovi cantieri. Nell'anno 2016, per il solo comparto del servizio idrico il valore delle gare avviate è infatti crollato del 39%.



Copyright: keantian

**PROBLEMI DELLE CONDOTTE,
CLASSIFICAZIONE DEL DANNO,
INDAGINI PRELIMINARI**

L'impiego della tecnologia C.I.P.P. comporta la necessità di verificare accuratamente lo stato del vecchio sistema composto da tubo e suolo. Il condotto esistente, all'interno del quale dovrà essere posato il nuovo liner, deve essere stabile e sufficientemente libero da ostacoli. In caso di danni, crolli od ostacoli, prima di effettuare il ripristino con la calza è necessario effettuare un'operazione locale di correzione. In caso di danni riconducibili a modifiche della posizione del condotto esistente, o modifiche o deformazioni della sezione, è necessario valutare con attenzione le ragioni che hanno portato a tali danneggiamenti in modo da poter apportare le necessarie correzioni prima di procedere con la riabilitazione e rischiare che il condotto sia soggetto alle medesime sollecitazioni dannose che hanno portato al degrado del condotto esistente.

La valutazione delle condizioni del condotto esistente devono pertanto essere effettuate almeno con una ispezione visiva, effettuata da un operatore in persona se al condotto è possibile accedere, oppure mediante videoispezione.

CRITERI DI SELEZIONE DELLE AREE DA INVESTIGARE

È del tutto evidente che quando si ha in gestione una rete composta da diverse migliaia di chilometri di condotte, non è possibile procedere ad effettuare una analisi tramite videoispezione di tutte le condotte presenti. L'obiettivo di ogni Gestore dovrebbe essere quello di arrivare a lavorare con un data base di tutta la rete, con tutte le informazioni relative ai

diversi condotti (materiali, diametri, anno di posa, difettosità ed interventi effettuati nel corso degli anni, allacciamenti, ecc.) unito ad un modello matematico calibrato che sia di ausilio alla gestione e alla progettazione, consentendo la simulazione di diversi scenari di intervento in modo da poter decidere il più vantaggioso.

In una situazione come quella sopra tratteggiata è del tutto evidente che i piani di investimento possono essere redatti con considerevole certezza e solo le situazioni realmente imprevedibili sono da fronteggiare con mezzi di emergenza.

Tuttavia, tale condizione ottimale è un punto di arrivo dal quale molti Gestori sono ancora lontani; esistono però dei metodi speditivi atti ad una delimitazione seppur grossolana delle aree più critiche, che possono essere utilizzati in questa fase.

La norma UNI EN ISO 11297:2013 "Metodologia di valutazione rischi di dispersione gas" per alcune tipologie di condotti propone una metodologia di valutazione a punti che può senz'altro essere estesa a tutti i condotti delle reti, eventualmente effettuando alcune correzioni puntuali, ma mantenendo l'impianto logico.

Per le tubazioni in ghisa grigia, la normativa prevede di assegnare un punteggio ai tratti di condotto basandosi sull'espressione che segue:

$$P=A_1 \cdot k_1 - A_2 \cdot k_2 + A_3 \cdot k_3$$

nella quale i valori dei diversi parametri sono riportati nella tabella 3.1.1.

Tabella 3.1.1
 Punteggi proposti da UNI EN ISO 11297:2013
 per la valutazione dei tubi in ghisa grigia per il trasporto del gas

A₁	Pressione			
	Bassa	Media e alta		
	0.5	1.0		
A₂	Profondità di posa [cm]			
		P < 60	60 ≤ P < 90	P ≥ 90
	DN ≤ 50	1.00	0.51	0.19
	50 < DN ≤ 80	0.68	0.34	0.13
	80 < DN ≤ 125	0.50	0.25	0.10
	125 < DN ≤ 200	0.32	0.16	0.06
	DN > 200	0.24	0.12	0.05
A₃	Distanza dai fabbricati [m]			
	D < 1.5	1.5 ≤ D < 3	D ≥ 3	
	1.0	0.6	0.2	
k₁	10			
k₂	5			
k₃	5			

La stessa norma prevede la valutazione, mediante formulazione analoga, di tubi in acciaio non protetti catodicamente.

In generale, comunque, questa metodologia può essere estesa a tutte le tipologie di tubazioni tenendo conto per la definizione della priorità di intervento nelle aree o comunque su tratti di condotte, basandosi su combinazioni di parametri come:

- età
- *materiale*
- *diametro*
- *traffico nella strada sovrastante*
- *profondità di posa*
- *ciclo di carichi/scarichi (per le condotte in pressione)*
- *numero di interventi di riparazione effettuati*

ed altri che dovessero essere caratterizzanti, in senso positivo o negativo, il materiale posato. La valutazione proposta è estremamente semplice, ed alle volte può apparire semplicistica, ma, come detto, a parte alcune singolarità locali che ovviamente non possono essere prese in considerazione, fornisce risultati preliminari di deciso interesse.

GEORADAR

Quando, come spesso avviene, non si ha piena conoscenza dei sottoservizi presenti in una strada nella quale occorre intervenire, o addirittura quando si richiedono informazioni relativamente alla propria rete di Servizio Idrico non presenti nell'archivio dell'Azienda, è frequente l'uso del georadar, noto anche come GPR (ground penetrating radar).

Questo strumento consente di effettuare un'analisi del primo sottosuolo senza effettuare scavi, basandosi sull'analisi delle riflessioni di onde elettromagnetiche trasmesse nel terreno; le informazioni fornite possono arrivare fino a profondità considerevoli, dipendentemente dal tipo di antenna utilizzata, anche se normalmente è sufficiente la descrizione dei primi metri sotto il suolo.

Il metodo si basa sull'immissione di brevi impulsi elettromagnetici ad alta frequenza emessi da un'antenna posta in prossimità della superficie da indagare. Quando l'impulso elettromagnetico, nel propagarsi in profondità, incontra una superficie che separa due mezzi aventi caratteristiche fisiche diverse, una parte dell'energia incidente viene riflessa ed una parte prosegue nel secondo mezzo.

Le onde riflesse dalla superficie di discontinuità ritornano in superficie e vengono rilevate dall'antenna ricevente, mentre la parte di energia trasmessa che procede oltre la discontinuità stessa è disponibile per altre riflessioni su eventuali discontinuità più profonde.

Per calcolare la profondità delle riflessioni occorre determinare la celerità della propagazione dell'onda nel terreno, che dipende dalle caratteristiche elettriche dello stesso e viene valutata effettuando opportune tarature, per quanto siano disponibili in letteratura valori standard (riportati in tabella 3.2.1 a titolo esemplificativo).

Tabella 3.2.1

Permittività dielettrica relativa ϵ_r (rapporto tra la permittività dielettrica assoluta del mezzo e la permittività dielettrica assoluta del vuoto ϵ_0), e celerità c di propagazione delle onde in alcuni mezzi materiali
 La relazione tra ϵ_r e c è la seguente: $c=c_0/\epsilon_r^{1/2}$, dove $c=3\cdot 10^8$ m/s è la velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto (la velocità della luce)

Materiale	ϵ_r	c [cm/ns]
Aria	1	30
Acqua dolce	80	3.3
Sabbia secca	4 - 6	12 - 15
Sabbia satura d'acqua	30	5.5
Argilla satura d'acqua	8 - 12	9 - 11
Ghiaccio	3 - 5	13 - 17
Granito	5	13
Rocce carbonatiche (calcari, dolomie)	7 - 9	10 - 11
Cemento	6.4	12

La propagazione delle onde elettromagnetiche è condizionata dal cosiddetto *effetto pelle*, ovvero dalla tendenza di una corrente elettrica alternata a distribuirsi dentro un conduttore in modo non uniforme: la sua densità è maggiore sulla superficie ed inferiore all'interno. Questo effetto è quantificato dalla *profondità pelle* δ , data da:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu \cdot \sigma \cdot \omega}}$$

dove μ è la permeabilità magnetica assoluta, σ la conducibilità elettrica del mezzo ed infine ω è la frequenza angolare della sorgente.

δ è la distanza, in metri, alla quale l'ampiezza dell'onda si riduce a $1/e$.

L'attenuazione è infatti esponenziale e rappresenta l'assorbimento, tramite effetto Joule, dell'energia elettromagnetica.

Questo assorbimento è quindi proporzionale sia alla

frequenza che alla conducibilità elettrica. Ciò significa che:

- *data un'onda ad una certa frequenza, un mezzo più conduttivo la assorbe più rapidamente di uno più resistivo;*
- *nello stesso mezzo conduttore un'onda a frequenza minore viene assorbita di meno (e dunque può indagare più in profondità) di un'onda a frequenza maggiore.*

Poiché si dimostra che il potere risolutivo di un qualsiasi metodo d'indagine basato sulla propagazione di un'onda è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda, si arriva a verificare che profondità d'indagine e potere risolutivo sono esigenze opposte: si avrà la massima profondità d'indagine

alla minima frequenza utilizzabile e la massima risoluzione spaziale alla massima frequenza.

La frequenza del segnale elettromagnetico emesso è in genere di qualche centinaio di MHz (fino a 1-2 GHz), quindi nel campo delle onde cortissime (VHF) ed ultracorte (UHF), dipendentemente dall'antenna utilizzata.

Le frequenze più basse hanno maggiori capacità di penetrazione e quindi consentono di esplorare gli strati più profondi del terreno; le frequenze più alte hanno minore capacità di penetrazione nel terreno, ma maggiore precisione nell'individuazione delle discontinuità.

Caratteristiche medie di prestazione, alla data alla quale si scrive, sono riportate nella tabella 3.2.2.

Tabella 3.2.2
Caratteristiche di profondità e precisione dei georadar in funzione della frequenza adottata

Freq.[MHz]	Max penetrazione [m]	Risoluzione [cm]
900	1.20	5
500	2.40	10
300	4.00	20
100	12.00	50

Lo strumento in sé è composto da centralina di comando, alimentazione e antenna; operativamente, viene spostato lungo un tracciato in superficie, mentre i segnali captati dalla componente ricevente vengono visualizzati direttamente sul monitor dello strumento (o di un computer portatile), per il controllo delle funzioni dello strumento e della qualità delle registrazioni; nel frattempo, i segnali vengono registrati in formato digitale, per la successiva fase di elaborazione ed interpretazione, con l'ausilio di software specifici.

Una singola registrazione in un punto è chiamata Scan oppure traccia ed il suo asse verticale è nel tempo, o, che è lo stesso, nella profondità, mentre l'asse orizzontale corrisponde alla lunghezza della misurazione nella direzione nella quale viene spostata l'antenna. Registrando i dati radar non solo lungo singole linee, ma sull'intera superficie, per esempio lungo numerose linee parallele, i dati possono essere acquisiti come insieme tridimensionale.

ISPEZIONI

È del tutto evidente la necessità di effettuare adeguate ispezioni o videoispezioni del condotto nel quale si intende operare.

Tali ispezioni dovrebbero essere effettuate tre volte:

- *innanzi tutto prima di redigere il progetto, in modo tale da verificare le condizioni del condotto e predisporre il progetto in modo adeguato, valutando la necessità di effettuare un intervento strutturale e soprattutto la presenza*

di eventuali danni locali che prevedono un intervento puntuale;

- *quindi prima dell'inserimento del liner, dopo le operazioni di pulizia e preparazione del condotto ospite, in quanto è necessario verificare l'esecuzione a regola d'arte delle operazioni preliminari;*
- *infine, a posa avvenuta, per verificare l'esecuzione a regola d'arte del lavoro realizzato.*

La seconda e la terza ispezione citate devono essere fatte sempre, cosa che in effetti avviene in quanto, in tutti i casi, essendo già impiantato un cantiere, il costo risulta assolutamente accettabile.

Spesso invece le Stazioni Appaltanti tendono a sottovalutare l'importanza della prima ispezione poiché si tratta di affidare un incarico ulteriore, prima di bandire la gara per il ripristino.

Oltre a ciò, mentre per l'ispezione in fognatura non vi sono particolari problemi, potendo procedere dai pozzetti esistenti, nel caso di ispezioni nei collettori acquedottistici la videoispezione tradizionale è decisamente macchinosa, dovendo interrompere il tratto di condotto, realizzare degli scavi, effettuare l'ispezione, procedere alla ricostruzione dei tratti aperti, sanificare le condotte, ed infine effettuare la rimessa in esercizio della condotta. Esistono tuttavia metodologie di ispezione più moderne, che vedremo nel seguito di questo paragrafo.

Il **metodo tradizionale** di ispezione consiste nel montare una telecamera su un carrello, normalmente cingolato, teleguidato dall'esterno. In questo modo, è sufficiente inserire il carrello corredato di telecame-

ra nel condotto da un pozzetto esistente e guidarlo fino al pozzetto successivo; nel suo trasferimento, la videocamera trasmette le immagini all'operatore e le registra. In questo modo, l'operatore all'esterno del condotto può verificare la presenza di problemi, ed eventualmente decidere di soffermarsi od ingrandirle per poi procedere ad una migliore analisi e alla relativa valutazione in merito alle condizioni del condotto al termine della campagna, in ufficio.

Figura 3.3.1
Carrello per ispezioni nei condotti
(By Risanamento Fognature)



Un'alternativa più semplice e meno costosa può essere costituita dall'utilizzo di una sorta di "periscopio" da inserire all'interno del pozzetto, in modo tale da illuminare la condotta ed effettuare una osservazione, per quanto piuttosto superficiale, con la possibilità di "zoomare" i tratti che appaiono

più critici. Il vantaggio di questo metodo è ovviamente dato dalla sua economicità e semplicità operativa, ma chi scrive non ritiene che possa essere applicato sistematicamente, se non per indagini del tutto preliminari.

Di tutt'altro interesse è invece la possibilità di utilizzare dei **laser scanner 3D** per effettuare il rilievo di particolari e puntuali manufatti, come possono essere gli scaricatori di piena. Tale metodologia di analisi, che non richiede illuminazione, ha oggi costi sufficientemente ridotti da concorrere con quelli dei rilievi manuali.

Questi strumenti, che nel caso di interesse per l'argomento di questo libro sono da considerarsi di media portata, ovvero per distanze comprese tra 1 e 50 m, hanno precisione dell'ordine di qualche millimetro. Lo strumento emette raggi laser, non visibili ad occhio, e registra la riflessione dell'oggetto colpito. Di conseguenza, la portata di un laser è funzione del tipo di materiale colpito dal raggio e, in particolar modo, dalla riflettività del materiale alla lunghezza d'onda del laser. Il risultato dell'acquisizione è un insieme di punti sparsi nello spazio in modo più o meno regolare che comunemente viene chiamata nuvola di punti che consente la ricostruzione tridimensionale dell'oggetto rilevato.

Occorre invece segnalare che si sta diffondendo una metodologia di **rilievo tridimensionale** della condotta basato non più sull'uso di una videocamera singola che riprende in continuo, ma sull'uso di due fotocamere installate alle due estremità del carrello e scattando fotografie ad amplissimo angolo di visione, ad alta definizione ed a brevi distanze (qualche centimetro). Questa quantità di immagini ad alta definizione, unitamente all'accortezza di averne in coppia, consente la ricostruzione tridimensionale del condotto, in modo tale da evitare che sia l'ope-

ratore in campo a decidere se soffermarsi a visualizzare ed ingrandire i particolari, potendo effettuare le diverse analisi in ufficio, quando il cantiere di videoispezione è smantellato e l'attrezzatura ritirata.

Ancora nel caso delle reti fognarie, può essere importante prevedere la possibilità di effettuare l'ispezione mantenendo le condotte in esercizio. Nel caso la condotta fognaria sia di importanza secondaria, pochi millimetri di acqua non impediscono al carrello su ruote di procedere, ma in caso di presenza di tiranti maggiori, tale percorso potrebbe essere impedito. A tale scopo la strumentazione può venire installata su **supporti galleggianti**, in modo tale da potere essere utilizzata anche in presenza di acqua.

In questo caso, l'equipaggiamento non consiste unicamente in una telecamera per poter riprendere la superficie emersa, ma anche in un **sonar** di precisione che consente il rilievo della parte di condotta sommersa, comprensivo anche dello spessore dei sedimenti, con precisione pari alla frazione di centimetro.

Le piattaforme, quindi, che siano carrellate o galleggianti, vengono ormai equipaggiate con diversi strumenti di rilievo, e non più solo con la videocamera. In particolare il **LiDAR** viene utilizzato per misurare le distanze e ricostruire in modo dettagliato il profilo della parte interna della tubazione. Anche in questo caso il sistema si basa sull'emissione di laser e sul rilievo della riflessione della superficie, e consente misure con precisioni anche submillimetriche.

Ancora poco diffuse, ma di sicuro interesse, sono strumentazioni cosiddette **Pipe Penetrating Radar**,

che permettono di mappare lo stato delle strutture di rinforzo (definendo il grado di corrosione delle armature), lo spessore della parete di condotta e classificare i vuoti esterni alle tubazioni.

In questo modo è possibile una valutazione precisa del grado di deterioramento della condotta e quindi una sua classificazione ai fini della definizione delle priorità di intervento e per procedere ad una corretta progettazione del risanamento.

Tale strumentazione è anche molto utile nel controllo della corretta esecuzione dei lavori di risanamento, potendo determinare l'adeguatezza del riempimento degli interstizi e lo spessore dei materiali posati.

Come sopra accennato, mentre nel caso di ispezioni in condotte fognarie non vi sono necessità di interruzione delle condotte, in caso di condutture dell'acquedotto frequentemente la Stazione Appaltante obietta l'impossibilità di effettuare ispezioni prima dell'assegnazione dell'appalto, in quanto le spese e l'interruzione del servizio non appaiono giustificati.

Sono pertanto stati sviluppati sensori per l'ispezione di collettori del servizio di acquedotto il cui **inserimento ed estrazione avvengono attraverso idranti** o, comunque, da aperture di minimo 5 centimetri. Questi sensori possono essere sia collegati attraverso un cavo, che consente l'acquisizione immediata dei dati rilevati e il recupero della sonda al termine dell'ispezione, sia rilasciati nel condotto, dove si muovono trascinati dalla corrente, e recuperati a valle in un punto successivo, sempre attraverso un idrante.

La sensoristica installata su questi dispositivi è estremamente variabile: il sensore che risulta sempre presente è quello acustico di rilevazione delle perdite (per il rilievo acustico delle perdite si veda ad esempio Mambretti e Zuccoli, 2009), ma per le condotte in materiali metallici è possibile la stima delle anomalie della parete, che indicano stati di sforzo inusuali.

I sensori collegati via cavo con una centralina esterna possono essere dotati di videocamera, mentre per quelli che si muovono trascinati dalla corrente questo non è possibile; questi ultimi, piuttosto, sono dotati di un segnalatore della loro posizione perché possano essere seguiti nel loro percorso verso valle.

In definitiva, la tecnica attuale consente di effettuare ispezioni nelle condotte anche senza interrompere il servizio e con indagini che vanno ben oltre il semplice rilievo visivo delle pareti interne. Il mercato è attualmente in continua e rapida evoluzione, e non è scopo del presente lavoro quello di esporre nel dettaglio le metodologie oggi presenti.

Si vuole tuttavia richiamare sull'importanza di una corretta valutazione del patrimonio in gestione, e sulle possibilità oggi presenti sul mercato, affinché il Gestore non sottovaluti questo aspetto che solo consente una pianificazione giustificata degli interventi da effettuare.

Si rimanda, per una puntuale e specifica trattazione dei sistemi di indagine, alla Prassi di Riferimento UNI 26.01:2017 – Sistemi per la localizzazione e mappatura delle infrastrutture nel sottosuolo.

CLASSIFICAZIONE DEL DANNO

Esistono diversi metodi, più o meno empirici, per procedere alla classificazione del danno riscontrabile nelle condotte. Nel seguito si farà riferimento in particolare alle norme UNI EN 13508:2012, che sono suddivise in due parti: la prima parte è metodologica e definitoria, mentre la seconda fornisce un vero e proprio sistema di codifica a seguito di ispezione visuale. Come si è visto sopra, sono disponibili altre e ben più approfondite modalità di ispezione, ma evidentemente quelle di tipo visuale sono, al momento, le più diffuse.

Le modalità delle ispezioni sono descritte nella figura 3.4.1, tratta dalla sopracitata norma, parte 1.

L'**obiettivo** dell'indagine è quello di stabilire una panoramica delle condizioni del sistema e le sue prestazioni, in modo da produrre un piano di gestione e di intervento con la definizione delle priorità, anche attraverso la predisposizione di indagini più dettagliate, pervenendo, per quanto possibile, ad una valutazione della vita utile delle diverse componenti e della loro resilienza.

Il **campo di applicazione** delle indagini deve essere determinato nel senso di dare indicazioni in merito alla loro estensione geografica, il livello di precisione e dettaglio con cui deve essere studiato, l'integrità strutturale e la vita dell'opera, la tenuta, gli aspetti di qualità dell'acqua e dell'ambiente. Occorre osservare come in generale la valutazione dell'adeguatezza di una rete idrica urbana, di acquedotto

o fognatura, non sia limitata alla valutazione della vita residua od all'intervento di consolidamento statico o idraulico, ma possa essere esteso anche alla valutazione della capacità idraulica del sistema a garantire il raggiungimento degli scopi per cui è realizzato (addurre acqua potabile in sufficiente quantità ad una pressione accettabile per gli acque-

dotti, allontanare le acque reflue e di pioggia senza produrre ristagni od allagamenti per le fognature).

La norma di cui si tratta, in effetti, descrive campi di applicazione ben più vasti in accordo con quanto detto: ma per gli scopi di questo testo, evidentemente, si ritiene sufficiente quanto riportato.

Figura 3.4.1
Il processo di indagine



La **revisione delle informazioni esistenti** è una operazione fondamentale quando non si voglia affidare tutta l'analisi del sistema alla sola ispezione visuale, per quanto questa sia fondamentale.

Le informazioni che possono essere reperite presso i Gestori e che sono di utilità in questa valutazione sono i dati storici relativi alle occlusioni, collapsi, perdite o denunce di odori molesti che eventualmente dovessero essersi verificati.

Non è da escludersi la presenza di preesistenti ispezioni, che possono essere utilizzate anche come raffronto.

Nel caso sui condotti si sia già intervenuto in passato, è opportuno inventariare il tipo ed il numero di interventi, oltre al loro costo. In alcuni casi sono presenti misure idrauliche (portata, altezza o pressione), i calcoli di progetto e, ormai, va lodevolmente diffondendosi l'implementazione di modelli idraulici.

Per le valutazioni relative alla statica dei condotti risulta indispensabile anche la conoscenza del tipo di terreno sul quale è posato e quelle del traffico soprastante.

Prima di utilizzare i dati disponibili, questi devono essere valutati relativamente alla loro completezza, precisione, adeguatezza, coerenza. In caso contrario, deve essere previsto **l'aggiornamento della base di dati** secondo le richieste del progetto.

Le **indagini idraulica e di qualità** hanno lo scopo di attestare la funzionalità del sistema e di verificare se vi siano perdite verso l'ambiente o immissioni

dall'ambiente circostante, tutti casi che sono da evitare per una buona gestione dell'infrastruttura.

Analogamente le **indagini relative all'operatività** del sistema riguarda la verifica della presenza di eventuali blocchi, sia fisici (ad esempio nelle condotte) sia funzionali (ad esempio nelle stazioni di pompaggio eventualmente presenti).

Le **indagini strutturali** sono relative alle attività che si è cercato di descrivere nel paragrafo "Ispezioni" e riguardano la valutazione dell'integrità del sistema. Se si effettua solo un'analisi visuale occorre prestare attenzione, secondo la norma citata, almeno ai seguenti parametri:

- crepe e fratture;
- deformazioni;
- giunti disassati;
- connessioni difettose;
- presenza di radici, infiltrazioni, depositi e in generale di ostacoli;
- subsidenza;
- difetti di pozzetti e camerette di ispezione o valvole o altri dispositivi eventualmente presenti;
- danni meccanici o dovuti ad attacchi chimici.

La **valutazione delle prestazioni** dovrebbe, infine, riguardare sia la frequenza attesa delle possibili inadeguatezze dei componenti del sistema, sia le loro conseguenze, in modo tale da realizzare una lista delle priorità di intervento.

Occorre comunque, come minimo obiettivo del Gestore, mantenere il valore della rete che gli è stata affidata, che viene ridotto annualmente per via dell'invecchiamento del sistema.

A titolo illustrativo, e rimandando alla norma citata, in figura 3.5.2 si riporta un esempio tratto dall' allegato F con le indicazioni relative alle segnalazioni corrette da indicare sul modulo di rapporto dei danni. In particolare, le note significano:

- BAA – B: deformazione orizzontale che riduce (del 15%) la larghezza della sezione;
- BAB – C: fessura visibilmente aperta (quantificata in mm).



Figura 3.5.2
Esempio di valutazione del danno

Code	Characterisation		Quantification		Circumferential location		Joint	Remarks
BAA	B		15%		09	03		
BAB	C	A	25		03			
BAB	C	A	5		12			

RICERCA POLITECNICO DI MILANO - MM Spa

Al termine di questa brevissima disamina, si riportano i risultati di una ricerca del Politecnico di Milano per MM Spa, "Mappatura del rischio di crollo dei collettori della rete fognaria del Comune di Milano" (Becciu e Dresti, 2017) che si poneva l'obiettivo di considerare due problemi: valutare il rischio di crollo nel caso di collettori ispezionati e quindi classificare le priorità di intervento e indicare per quali tratti dei collettori non ispezionati sia necessario intervenire prioritariamente con la verifica.

Non è possibile descrivere in questo lavoro la procedura sviluppata nell'ambito della citata ricerca, alla quale si deve necessariamente rimandare, e che comunque potrebbe essere presa a base per altri lavori simili. Si può solo accennare come il lavoro abbia stimato il rischio HIRC come combinazione di una valutazione dello stato di fatto e dei fattori di rischio evolutivo:

$$HIRC = \alpha_T + (HIRC_{max} - \alpha_T) \cdot \beta \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{l_{FR} - l_{FR min}}{l_{FR max} - l_{FR}}\right) \right]$$

L'indice dello stato di fatto α_T dipende sostanzialmente dall'età del condotto e dalla presenza di lesioni o dissesti nel momento dell'ispezione. Per quello che riguarda il rischio evolutivo, gli Autori

hanno realizzato tabelle che assegnano un punteggio per valutare l'Indice dei Fattori di Rischio I_{FR} in funzione dei parametri che seguono:

- *materiali*
- *età*
- *forma*
- *dimensioni*
- *traffico*
- *profondità di posa*

- *interferenza falda*
- *presenza sedimenti*

In definitiva, i principali collettori della rete fognaria del Comune di Milano sono stati classificati per diversi valori di HIRC, come riportato nella figura 3.6.1, in questo modo costituendo un valido ausilio per la pianificazione degli interventi di consolidamento.

Figura 3.6.1

Valutazione del rischio per i collettori della rete fognaria del Comune di Milano

Basso rischio
($0.01 < \text{HIRC} \leq 0.30$)

Rischio medio-basso
($0.30 < \text{HIRC} \leq 0.45$)

Rischio medio
($0.45 < \text{HIRC} \leq 0.65$)

Rischio medio-alto
($0.65 < \text{HIRC} \leq 0.80$)

Rischio alto
($0.80 < \text{HIRC} \leq 1.00$)



Un lavoro analogo è stato condotto per quello che riguarda i collettori non ispezionati, per i quali sono stati valutati solo tre fattori di rischio: età, dimensione e traffico. Questi fattori sono stati giudicati sufficienti per valutare l'opportunità di effettuare un'ispezione e comunque di procedere ad una programmazione delle attività di verifica basata su criteri scientifici. La mappa ottenuta è riportata in figura 3.6.2.

Figura 3.6.2

Indicazione delle priorità di verifica per i collettori non ispezionati della rete fognaria del Comune di Milano

Bassa priorità	$P(A/x) < 0.30$
Media priorità	$0.30 \leq P(A/x) < 0.60$
Alta priorità	$0.60 \leq P(A/x)$





Copyright: maradon 333

CRITERI DI SCELTA E DIMENSIONAMENTO

Le tecniche di riabilitazione dei condotti sono codificate da un sistema di norme dipendente dall'uso che viene fatto della condotta da risanare. In particolare si hanno:

- *UNI EN ISO 11296: collettori drenanti e fognari non in pressione;*
- *UNI EN ISO 11297: collettori drenanti e fognari in pressione;*
- *UNI EN ISO 11298: condotte di reti di acquedotto;*
- *UNI EN ISO 11299: condotte di reti gas.*

Ciascuna di queste norme è divisa in sei parti, non tutte promulgate al momento in cui si scrive. Si ha quindi:

- *parte 1: generale;*
- *parte 2: risanamento con condotte continue;*
- *parte 3: risanamento con condotte close fit;*
- *parte 4: risanamento con C.I.P.P.;*
- *parte 5: risanamento con segmenti di condotte;*
- *parte 7: risanamenti con condotti avvolti a spirale.*

Nel presente testo si farà pertanto riferimento alla Parte 4 del sistema di norme citato.

SCELTA DELLA TECNOLOGIA

La calza è composta da un feltro, o da strati di fibre di vetro, che viene impregnato di resina (in loco od in fabbrica) e polimerizzato, ovvero indurito, mediante diverse tecnologie. Per la diversa modalità

di posa e di catalisi si distinguono le seguenti tecniche:

- *inversione ad aria o acqua e polimerizzazione per calore;*
- *inserimento per traino e polimerizzazione a lampade ad ultravioletti;*
- *sistema misto, inserimento a traino di un primo strato portante ed inversione di un secondo strato ad aria o acqua e polimerizzazione per calore.*

Come descritto nel seguito, è anche possibile avere combinazioni di inserimento e polimerizzazione a seconda delle diverse necessità, in casi particolari che possono emergere in fase di progettazione.

Si deve anche accennare alla possibilità di avere una polimerizzazione a temperatura ambiente (Ambient Curing). In questo caso la catalizzazione avviene a causa della temperatura, ma non si effettua una procedura controllata mediante un fluido esterno: piuttosto, si lascia che la stessa temperatura atmosferica provveda alla reazione di indurimento.

Questa procedura è naturalmente più semplice ed economica rispetto a quelle che si andranno a descrivere nel seguito, ma, non essendo controllata, è possibile che il processo abbia fine in tempi anche molto successivi al termine dell'applicazione, avendo una durata non nota o, nel caso di utilizzo di resine epossidiche, con durata complessiva nota, ma con una curva differente da quella ottimale. In sostanza il processo non è omogeneo soprattutto se la condotta viene messa in esercizio prima della fine dell'indurimento, data la presenza di liquidi di temperatura diversa.

Preliminarmente occorre notare come tutte le metodologie descritte portino a risultati tra loro equivalenti, sia in termini statici che idraulici, quando siano correttamente eseguite. È tuttavia opportuno procedere ad una descrizione preliminare delle diverse tecniche che possono essere utilizzate per la costruzione in opera del nuovo condotto (liner) in modo tale da avere un'idea delle tecnologie che è possibile adottare, una seppur sommaria descrizione delle loro caratteristiche e, di conseguenza, dei possibili campi di applicazione.

È evidentemente impossibile generalizzare un criterio di scelta, che deve essere valutato caso per caso dal progettista dell'opera – come sempre avviene nei casi dell'Ingegneria Civile, soprattutto tra quelli meno "standard".

In ogni caso, è necessaria una corretta analisi delle condizioni del condotto esistente (geometria, condizioni idrauliche, condizioni strutturali), come descritto nel capitolo tre, dell'ambiente circostante il condotto (copertura del condotto, carichi dovuti al traffico – od altri, altezza della falda, possibilità di movimento del terreno, altri problemi del terreno, tra i quali: contaminazioni, vuoti dovuti ad erosione, ...) ed occorre avere ben presenti le finalità dell'intervento che si va a progettare (impermeabilizzazione dei condotti, ripristino statico, diminuzione della scabrezza idraulica).

Oltre a ciò, le scelte possono essere influenzate dalla logistica; discriminanti possono essere, ad esempio, le seguenti condizioni:

- *disponibilità di aree in superficie per fare so-
stare le macchine operatrici; viceversa, se si è*

*in piena sede stradale, può essere necessario
minimizzare la presenza di mezzi operativi in
prossimità dell'inserimento;*

- *possibilità di effettuare scavi per collocare il liner; altrimenti si può dover procedere, in particolare per le fognature, utilizzando solamente i pozzetti esistenti;*
- *disponibilità di tempo per eseguire il lavoro;*
- *necessità di ridurre, per quanto possibile, i rumori e comunque le emissioni, soprattutto se il lavoro è da effettuarsi in zona residenziale.*

Inoltre, è da verificare la necessità di effettuare by-pass fognari e per quali portate d'acqua. In certi casi, quando la rete è fortemente magliata, è possibile procedere all'interruzione di alcuni tratti, sebbene per brevi periodi, senza necessità di installare by-pass in quanto le portate si ripartiscono in modo autonomo; viceversa, in presenza di allacci industriali con quantità importanti che vengono inserite solo in determinate ore della giornata, o comunque la possibilità di temporali improvvisi che convogliano grandi portate nei condotti, richiedono la posa di by-pass costosi e possono avere importanza nella scelta della metodologia.

Infine, anche l'andamento della condotta e la costruzione dei pozzetti hanno una loro influenza non trascurabile ed occorre valutare:

- *la presenza di curve, sifoni, pendenze elevate, installazioni verticali;*
- *la presenza di pozzetti molto profondi più piccoli del diametro della tubazione da risanare;*
- *chiusini sfalsati rispetto all'asse della condotta da risanare.*

Per quello che riguarda le curve, occorre segnalare che queste presentano sempre dei problemi. Quando si consideri la polimerizzazione con UV, in particolare, le curve rappresentano un serio ostacolo da valutare con attenzione. La polimerizzazione, infatti, come verrà chiarito in seguito, viene effettuata trainando un "treno" composto da tre lampade poste su carrello; in caso di curva, può risultare difficoltoso mantenere tale carrello al centro del condotto, con il rischio di "bruciare" il liner che dovesse risultare troppo vicino alle lampade e, d'altro canto, non raggiungere il risultato finale sulla parete opposta, quando il liner è troppo lontano. Anche nel caso di polimerizzazione a caldo le curve presentano delle difficoltà, in questo caso soprattutto a causa della formazione di "grinze" nella parte interna della curva mentre, nell'altro lato, c'è addirittura la possibilità (da evitare) che il liner non rimanga a contatto con il tubo esistente, il che condurrebbe ad avere il liner localmente più sottile. In linea di massima si possono considerare come limiti i seguenti:

- per raggi di curvatura "stretti" (< 3 volte il diametro) si possono ammettere cambi di direzione fino a 45°;
- per raggi di curvatura "larghi" (> 3 volte il diametro) si possono ammettere cambi di direzione fino a 90°.

Quando la curva è troppo accentuata non è possibile, in quella posizione, garantire il risultato di qualità e pertanto è necessario predisporre uno scavo.

La presenza di grinze è prevista ed ammessa anche dalla normativa, sia per i tratti dritti che, a maggior ragione, nel caso di curve; tuttavia, in particolare

nel caso di curve verticali (ad esempio, ma non solo, nel caso di sifoni), occorre verificare che la grinza non si formi sul fondo della nuova condotta, cosa che, soprattutto per le fognature, finirebbe col costituire un grave ostacolo al deflusso in quanto faciliterebbe il deposito del materiale trasportato. In alcuni casi viene prevista la fresatura di tali grinze, pratica in linea di massima da sconsigliare in quanto andrebbe a danneggiare la resistenza del prodotto finale.

Per quello che riguarda la forma della sezione, in linea di massima è sempre possibile procedere al relining quando il rapporto tra le dimensioni massima e minima non eccede 1.5; tuttavia, occorre tenere presente che alcune tipologie di sezione prevedono la presenza di spigoli, come succede, ad esempio, nel caso delle condotte fognarie di media o grande dimensione, dotate della canaletta di magra. In tal caso, i lavori necessari a consentire l'applicazione di questa tecnologia potrebbero non essere giustificati, e potrebbe essere utile approfondire la possibilità di utilizzare altri metodi, con o senza scavo.

Inversione ad aria o acqua e polimerizzazione per calore

Questa tecnologia è la prima che si è sviluppata, ed in particolare il metodo nasce con l'inversione ad acqua; esso consiste nel posizionare la calza nel condotto esistente procedendo innanzi tutto all'aggancio esterno del liner nel pozzetto di partenza; il liner viene quindi inserito applicando una pressione alla

estremità fissata e venendo indirizzato nel condotto, nel quale avanza precisamente grazie alla pressione esercitata, come visibile in figura 4.1.1.

La pressione può essere applicata mediante la spinta di aria in pressione, oppure mediante una colonna di acqua. Le due tecnologie sono schematicamente rappresentate nelle figure 4.1.2 e 4.1.3.

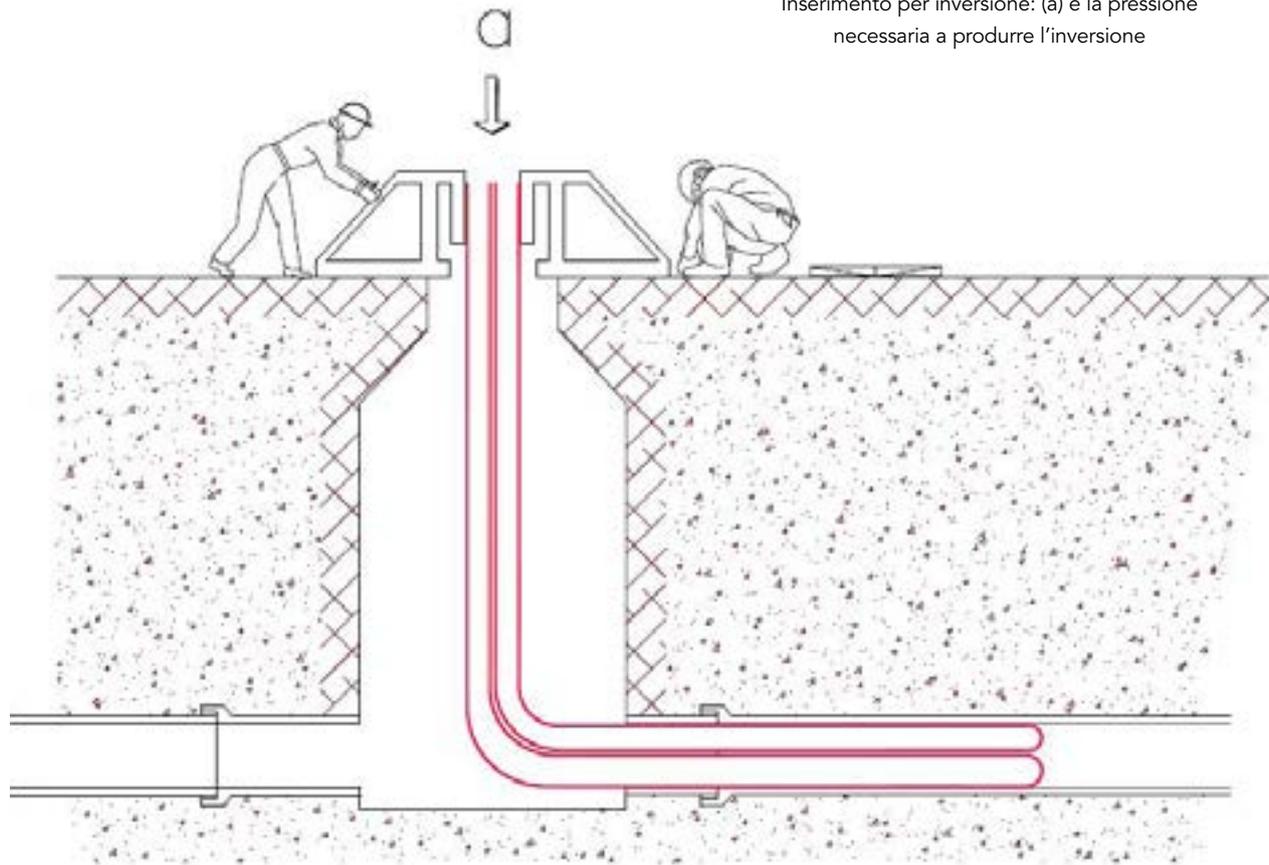


Figura 4.1.1
Inserimento per inversione: (a) è la pressione necessaria a produrre l'inversione

Figura 4.1.2

Inserimento per inversione ad aria: nel camion è presente un compressore che genera la pressione sufficiente ad spingere il liner nel condotto

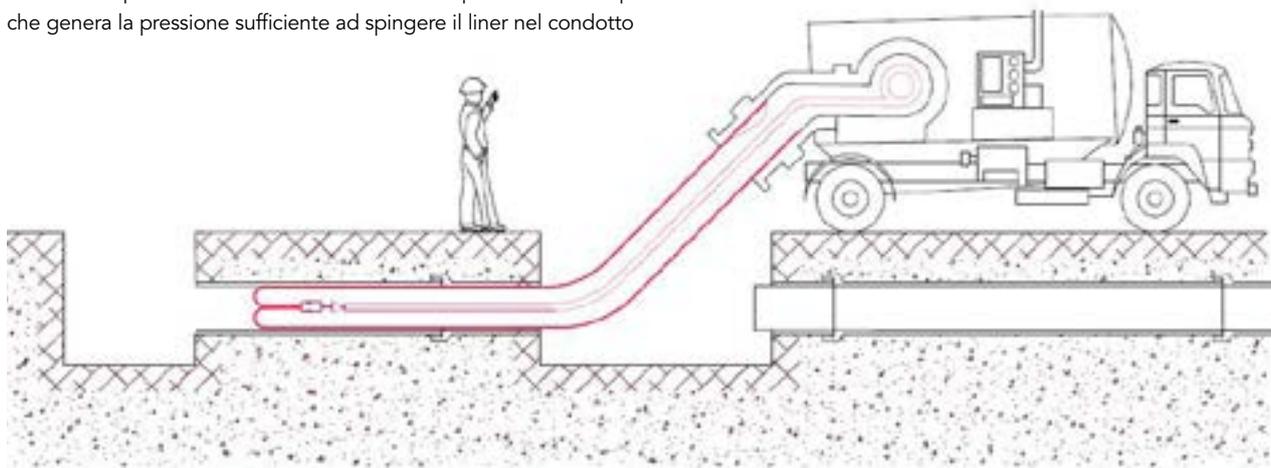


Figura 4.1.3

Inserimento per inversione ad acqua: la pressione necessaria per l'inserimento del liner è data dall'altezza dell'acqua nel castello esterno



Figura 4.1.4

Inserimento di un liner ad aria
(By Idroambiente)



Nel caso dell'inversione ad aria, nel camion dell'Impresa che esegue il lavoro c'è un compressore, che fornisce l'aria in pressione che spinge il liner nella condotta. Nel caso di inversione ad acqua, prima di iniziare il lavoro è necessario costruire un "castello" all'esterno del foro di inversione, che tenga l'imbocco del liner ad una quota maggiore rispetto al piano stradale: in questo caso, infatti, la pressione necessaria ad invertire il liner è generata dal peso stesso della colonna liquida.

Nell'acqua può essere aggiunto un lubrificante per ridurre gli attriti: nel caso, questa prescrizione dovrebbe essere prevista in fase di redazione del progetto e comunque nei documenti del costruttore, con indicazioni di marca e tipologia ed adeguate certificazioni.

La pressione di spinta, in tutti i casi, dipende da diversi fattori: dalla lunghezza del "lancio" (cioè dalla distanza tra il foro di inserimento e quello di uscita), dallo spessore del liner, dall'andamento della condotta (ed in particolare dalla sua pendenza, dato che da questa dipende la differenza di quota tra i punti di inizio e fine del lancio), dall'eventuale presenza di curve (che possono richiedere una maggiore pressione affinché siano superate).

Per diametri grandi ed inversione ad acqua, il progetto del liner può essere adattato in modo da variare la pressione ed essere certi di raggiungere lo spessore di progetto. Inoltre, uno dei parametri da tenere in considerazione è proprio il diametro del condotto, ma spesso in modo non immediatamente intuitivo, dato che per diametri grandi la pressione richiesta per l'inversione può essere inferiore rispet-

to a quella richiesta per i diametri piccoli. Per tutti questi motivi la pressione di spinta deve essere determinata dal progettista, che nei casi più complessi può dover lavorare con il produttore del liner.

La pressione calcolata è quella che deve essere prodotta dal compressore, nel caso di inversione ad aria, o mediante l'altezza del castello, nel caso di inversione ad acqua. In tutti i casi, naturalmente, occorre non eccedere la massima pressione prevista dal costruttore del liner; a tal fine, è previsto che in cantiere tutti i dati relativi all'inversione siano adeguatamente registrati dall'Impresa e messi a disposizione del Direttore dei Lavori.

Una volta che il liner è posizionato, si può procedere alla polimerizzazione. L'indurimento avviene a caldo, facendo circolare acqua calda nel caso di inversione ad acqua e aria calda e vapore nel caso di inversione ad aria. Le temperature necessarie alla termocatalisi sono indicate dal costruttore dei prodotti, ma in generale si può indicare una temperatura da 60° fino a circa 100°.

Rimandando all'appendice per una migliore descrizione delle proprietà delle resine che si possono utilizzare, riteniamo importante insistere ancora una volta sulla necessità che il processo di termocatalisi segua fedelmente quanto previsto dal costruttore, e come tale processo debba essere registrato in modo tale da poterne verificare la correttezza anche ex-post, in caso di contenzioso.

La registrazione, in particolare, deve riguardare l'andamento delle temperature, nel tempo, all'interno del liner durante la polimerizzazione.

È infatti importante ricordare che per alcune resine (in particolare quelle epossidiche) la catalizzazione può proseguire anche se il riscaldamento non avviene in modo perfetto; altre resine (in particolare poliestere e vinilestere) possono vedere bloccato il processo di catalisi con gravi ripercussioni sul risultato finale. In ogni caso, il costruttore fornisce indicazioni precise relativamente ai tempi e temperature sia nella fase di riscaldamento che di raffreddamento.

Il liner è in feltro poliestere, adeguatamente impregnato con resina poliestere, vinilestere o epossidica. Una volta indurito, le caratteristiche statiche dipendono sostanzialmente dalla combinazione feltro e resina, in modo particolare nel caso di feltri rinforzati con fibra di vetro. In tutti i casi, è assolutamente necessaria la prescrizione di utilizzare resine che non rilascino odore in fase di posa e catalisi: alcune resine, infatti, sprigionano un odore molto forte e pungente, del tutto inadeguato soprattutto quando si operi in centri abitati.

L'impregnazione del feltro con la resina può avvenire in fabbrica oppure direttamente in sito, su camion appositamente attrezzati e posti in cantiere od a poca distanza dallo stesso. Occorre prestare attenzione al fatto che la polimerizzazione, poiché avviene con il calore, può cominciare già a temperatura ambiente, rendendo difficoltoso l'inserimento e disomogeneo l'indurimento: in poche parole, conducendo la procedura ad un risultato non ottimale.

Esiste infatti un tempo massimo che può passare tra l'impregnazione e la posa del liner, detto *pot-life*, che è necessario non superare. Il trasporto del li-

ner già impregnato per le distanze maggiori deve essere effettuato mantenendolo al freddo, ovvero procedendo al trasporto in apposite celle frigo.

L'impregnazione del feltro con le resine deve avvenire con la massima cura: deve essere il più possibile uniforme in modo tale da evitare la presenza di microfessurazioni o bolle d'aria che potrebbero portare il prodotto finale a non essere completamente impermeabile e di prestazioni statiche non uniformi, come invece è auspicabile che sia. A tal fine, l'impregnazione avviene creando una depressione nel feltro, ad eliminare possibili sacche di aria, e facendo transitare il feltro impregnato tra due rulli, posti a distanza tale da dare lo spessore richiesto. Una cattiva miscelazione dei componenti che costituiscono la resina, fatta ad una temperatura non conforme con una cattiva impregnazione del feltro e la presenza di bolle d'aria portano inevitabilmente il liner a non avere le prestazioni richieste.

In linea del tutto generale, ed ovviamente prescindendo dai casi particolari che si possono verificare, il metodo di inversione ad acqua annovera tra i suoi vantaggi la possibilità di effettuare lanci di maggiore lunghezza, ed un migliore controllo del processo di catalizzazione in presenza di acqua di falda; in caso di tale presenza, infatti, vi possono essere delle aree del liner che sono a contatto con l'acqua di falda, che è decisamente più fredda rispetto a quella necessaria alla polimerizzazione.

Come visto sopra, e come sarà approfondito meglio nel capitolo 5, questo non dovrebbe accadere, ma nel caso si deve rilevare che tali aree più fredde possono essere contrastate in modo più semplice se il fluido che provvede al riscaldamento della

resina ha una densità maggiore, come è appunto il caso dell'acqua. Nel caso dell'aria occorrerebbe aumentare la massa e la velocità del fluido di circolazione aumentando le potenze della caldaia e del compressore.

Il metodo di inversione ad aria ha il vantaggio di non richiedere la costruzione di opere fuori dal pozzetto (il "castello"), e di potere regolare la pressione e quindi la velocità di avanzamento; nel caso di curve che ostacolano l'avanzamento del liner è possibile aumentare la pressione per superare l'ostacolo.

Oltre a ciò, l'inversione ad aria consente l'installazione anche in tratti ad elevata pendenza, dato che, come è noto, nel caso di aria la pressione si può considerare uniformemente distribuita all'interno del recipiente, mentre nel caso di acqua vi possono essere differenze di pressione anche considerevoli se le quote della condotta sono molto variabili.

Il vantaggio maggiore, tuttavia, è quello di ridurre al minimo la presenza di fluidi di processo, che nel caso di inversione ad acqua deve essere prima trasportato, se non è possibile allacciarsi ad idranti, poi smaltito; il volume del fluido di processo, nel caso di inversione ad acqua, è ben superiore al volume del condotto riabilitato, potendo arrivare fino a tre volte tale volume, perché alla fine della polimerizzazione occorre effettuare il raffreddamento e quindi cambiare l'acqua presente; in caso di inversione ad aria tale volume si riduce a grandezze del tutto trascurabili.

Il trattamento del fluido di processo, in effetti, è un problema da non sottovalutare, dato che non è ne-

cessariamente vero che questo possa essere sversato nella pubblica fognatura. In alcuni casi, infatti, ed in particolare nel caso di uso di resine poliestere/vinilestere non sature, l'acqua di processo risulta inquinata dal rilascio delle resine stesse.

Come noto, la normativa italiana vieta il raggiungimento dei limiti di inquinanti scaricabili per diluizione e pertanto risulta necessario verificare, o dimostrare producendo appropriata certificazione, che il fluido da eliminare rispetta i vincoli di legge. In caso contrario, come è ovvio, i costi di smaltimento possono fare aumentare considerevolmente il prezzo dell'opera.

Peraltro, come accennato, occorre valutare i diversi casi. Si consideri un caso pratico in cui, ad esempio, nel tratto da risanare sia compreso un sifone. Come detto sopra, occorre valutare la possibilità di operare con inversione ad aria, che garantisce un valore uniforme di pressione, indipendentemente dalle differenze di quota.

Tuttavia, con l'aria e la pressione si possono creare delle sacche di condensa che stazionano nelle parti a quota inferiore: queste senz'altro possono coprire parte del liner e pertanto non assicurare la corretta temperatura di catalizzazione; nei casi più gravi e collettori di dimensioni inferiori, inoltre, possono costituire dei veri e propri ostacoli alla corretta circolazione del vapore.

È del tutto evidente come in caso di inversione ad acqua questo problema non si ponga. Nel caso si decida comunque di operare con inversione a vapore, è necessario rendersi conto del problema e

prevenirlo aumentando la massa e velocità di aria e vapore che si utilizza per la catalisi aumentando le potenze della caldaia e del compressore.

Infine, è necessario sottolineare come il metodo di inversione ad aria possa effettivamente aumentare la lunghezza dei lanci mediante un inserimento composto di traino e trazione.

Come sopra accennato, la lunghezza del lancio per inversione dipende sostanzialmente dal peso del feltro impregnato di resina e dalla pressione che è possibile esercitare.

Alcuni costruttori hanno pertanto iniziato a posare i liner di spessore maggiore in due fasi distinte: un primo liner viene tirato e messo in posizione, con le metodologie descritte nel prossimo paragrafo; un secondo liner viene invece invertito con la procedura dell'inversione ad aria. La polimerizzazione avviene in modo congiunto, ma lo spessore del liner invertito è minore e conseguentemente la distanza raggiungibile è maggiore.

Questo sistema è stato sviluppato anche allo scopo di installare un liner portante (che viene inserito per trazione) più rigido, ad esempio con inserti di fibre di vetro; infatti, nel caso dei condotti di diametro inferiore (orientativamente fino a DN 300) il processo di inversione è possibile solo se il liner non è troppo "duro".

Generalmente i produttori di questo sistema costruiscono attraverso il liner inserito per trazione la parte portante/strutturale, mentre con quello inserito per inversione viene creato il rivestimento interno (coating). In tutti i casi, tra i due liner non deve esse-

re presente alcuno strato di rivestimento (coating). Al termine del processo di polimerizzazione le estremità nei pozzetti di inserimento, intermedi e di arrivo vengono tagliate, anche in modo tale da prelevare dei campioni e fissate al condotto ospite come nel seguito sarà più approfonditamente descritto. Per quello che riguarda le durate, si possono stimare una velocità di inserimento di 1 – 3 metri al minuto ed un tempo necessario alla catalisi di circa 3 – 4 ore; ovviamente, questi riportati sono valori del tutto indicativi ed occorre in ogni caso rifarsi ai valori riportati sul progetto, che devono a loro volta essere conformi con quanto indicato dal produttore.

Inserimento per traino e polimerizzazione a lampade ad ultravioletti

Anche il processo di inserimento per traino prevede che vi siano un pozzetto di inserimento ed uno di arrivo. Nel pozzetto di arrivo viene posizionato un organo che tira il liner lungo tutto il percorso, come mostrato in figura 4.1.4. Ad evitare rotture od abrasioni, il liner viene posto su una pellicola di scorrimento (che può essere già incorporata nel liner).

È ovviamente necessario che la forza di trazione non ecceda quella indicata dal costruttore del liner, che deve essere dichiarata sui certificati prodotti dall'Impresa esecutrice dei lavori prima dell'inizio degli stessi; anche in questo caso, tutte le operazioni devono essere registrate e il Direttore dei Lavori deve essere messo in condizione di verificare il rispetto delle procedure indicate.

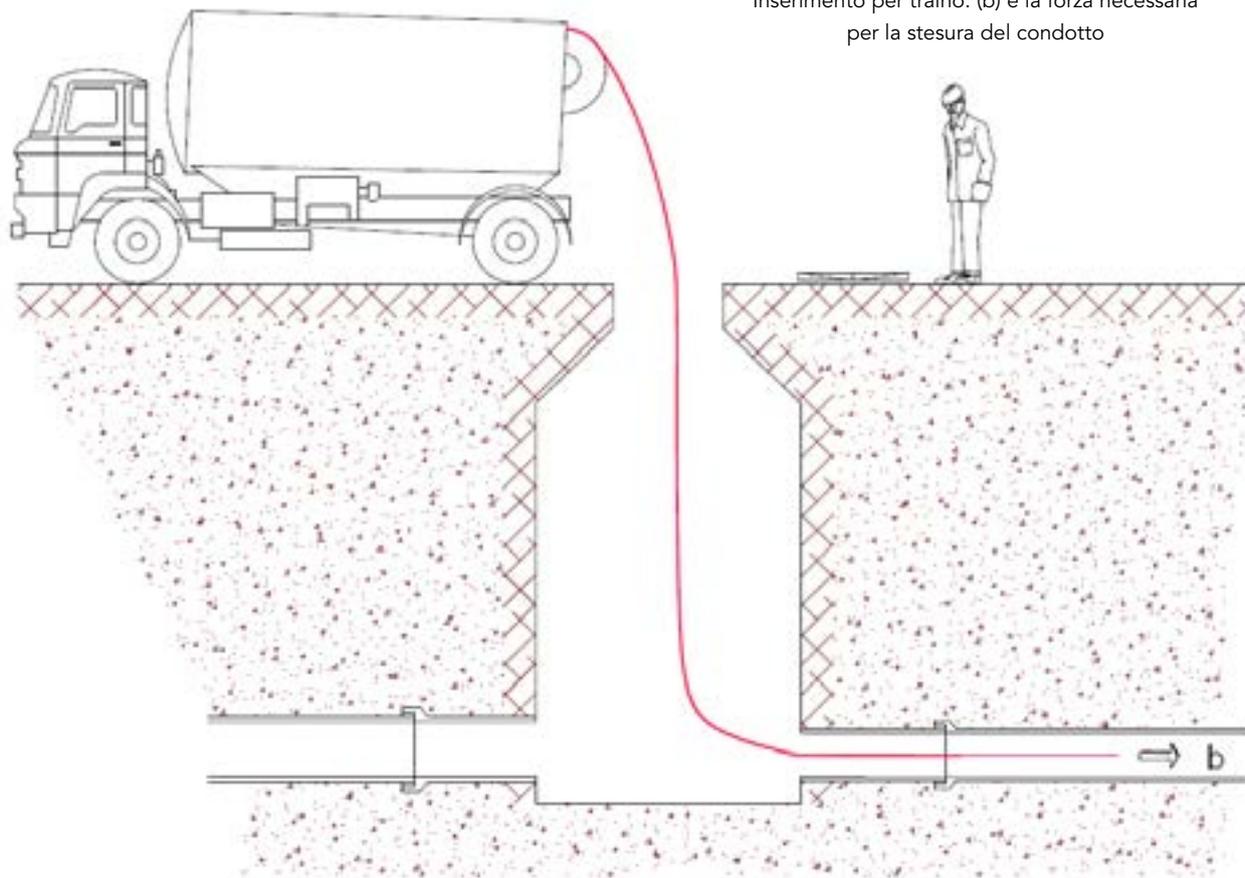


Figura 4.1.4
Inserimento per traino: (b) è la forza necessaria
per la stesura del condotto

Una volta in posizione, il liner viene "gonfiato", in modo che assuma la dimensione finale; come fluido di pressurizzazione viene utilizzata l'aria. La pressione interna dovrà essere stabilita dall'Impresa e dovrà essere contenuta entro i valori indicati nei certificati che saranno prodotti dal costruttore. Anche i valori di pressione fanno parte dei dati che de-

vono essere messi a disposizione del Direttore dei Lavori per controlli. L'indurimento avviene per irraggiamento di raggi ultravioletti (UV) eseguito da un treno di lampade inserito nel liner da polimerizzare (figura 4.1.5); il liner è in tessuto multistrato di fibra di vetro impregnato con resine fotopolimerizzanti. L'impregnazione avviene in fabbrica, non essendovi

in questo caso alcuna limitazione teorica alla vita utile del prodotto, purché rimanga al buio; nella pratica, comunque, la vita utile è normalmente garantita per diversi mesi dalla produzione. Il modulo elastico a lungo termine del prodotto risulta in genere molto superiore rispetto a quello ottenibile con i materiali che si usano quando si preveda la posa per inversione, in questo modo ottenendo spessori del liner inferiori. Peraltro, a parità di spessore, questo prodotto ha un costo molto maggiore e quindi, a parità di risultato, il costo è, attualmente, del medesimo ordine di grandezza.

Figura 4.1.5
treno di lampade UV (Reline Europe)



È necessario assicurare il monitoraggio e documentazione costante delle funzioni delle lampade, della loro velocità di avanzamento, della temperatura e della pressione di gonfiaggio rispettando le indicazioni del produttore del liner. La temperatura del liner deve essere misurata sulla sua superficie interna, in modo da adattare la velocità di avanzamento.

Prima di procedere a ogni indurimento, è importante che le lampade UV siano state controllate e pulite: le lampade e la loro pulizia sono aspetti fondamentali per l'esecuzione corretta dell'indurimento del liner.

Per ogni lampada devono essere documentati e conservati in cantiere i seguenti risultati delle prove:

- *numero di serie;*
- *primo utilizzo della lampada;*
- *ore di esercizio (processi di indurimento);*
- *data del controllo;*
- *valore misurato dell'intensità luminosa e risultato della prova;*
- *identificazione della lampada di riferimento.*

Nel caso di malfunzionamento di una o più lampade UV durante la fase di catalisi è necessario adattare la velocità di avanzamento, rallentandola secondo le indicazioni del manuale di sistema, per consentire la corretta polimerizzazione del prodotto.

Tutti i parametri dovranno essere prestabiliti dall'impresa prima dell'installazione secondo le indicazioni del costruttore e, unitamente alle registrazioni effettuate durante la posa, dovranno essere messi a disposizione del Direttore dei Lavori.

Questa metodologia presenta il vantaggio di non richiedere scavi, se la riabilitazione è di condotti fognari nei quali sono presenti pozzetti di ispezione: il fatto che il posizionamento avvenga prima che il prodotto venga gonfiato ed assuma la sua configurazione finale, consente l'inserimento del liner anche in spazi estremamente angusti. Inoltre, l'imregnazione in fabbrica consente la garanzia di un prodotto perfettamente lavorato e certificato. In generale, però, non è possibile operare in presenza di curve.

Nel caso in cui gli spessori necessari siano particolarmente elevati per il sistema della fotocatalisi, si ammette l'utilizzo dell'indurimento combinato. In questo metodo si aggiungono iniziatori attivati dal calore (perossidi) nel processo produttivo dell'imregnazione dei tubolari. Il calore esotermico che si crea con l'indurimento ai raggi UV attiva gli iniziatori d'indurimento al calore.

Per l'indurimento combinato è necessario misurare la temperatura tra vecchio tubo e liner. Anche in questo caso tutti i parametri del processo (velocità di avanzamento delle lampade, pressione e temperatura) devono essere prestabiliti in fase di progetto in accordo con i dati indicati dal costruttore e costantemente documentati durante l'intera fase di indurimento. Si segnala comunque che si stanno sviluppando nuove resine, particolarmente trasparenti ai raggi UV, che consentono il raggiungimento di spessori fino a pochi anni fa impensabili.

Sempre solo a scopo indicativo si può indicare come la velocità del treno di lampade sia in genere 0.5 – 1.0 metri al minuto. In ogni caso occorre sempre

fare riferimento al progetto, che dovrà essere redatto conformemente alle indicazioni del costruttore.

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I condotti devono comprendere almeno i seguenti materiali, illustrati in figura 4.2.1:

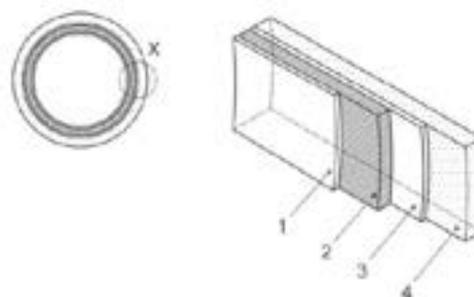
- *sistema di resine*
- *materiale di supporto*

Possono essere presenti anche i seguenti materiali opzionali:

- *rinforzo*
- *membrana interna*
- *membrana esterna*

Figura 4.2.1

Sezione schematica del tubo costruito in loco
(1): membrana interna;
(2): composto (resina + materiale di supporto + eventuale rinforzo);
(3): membrana esterna;
(4): condotta preesistente.



Il materiale minimo utilizzato consiste quindi in un feltro (detto "materiale di supporto", anche se ha anch'esso una parte strutturale non trascurabile) impregnato di resine. I materiali utilizzati sono riportati in tabella 4.2.1 (corrispondente alla tabella 1 della UNI EN ISO 11296-4:2011).

Nel caso di liner impregnato in loco, vi è la possibilità di avere delle giunzioni o sovrapposizioni: tali zone non devono comportare modificazioni sostanziali o decadimento delle proprietà fisico-meccaniche del prodotto finale. Per effettuare la scelta tra i diversi sistemi di resine, vanno tenute in considerazione le esposizioni termiche, meccaniche e

chimiche che il prodotto finale deve affrontare (per le resine poliestere e vinilestere è possibile far riferimento alla norma UNI EN ISO 13121-1 tab.2). Alcune caratteristiche delle resine utilizzate, e descritte nella tabella 4.2.1, sono riportate in Appendice A.

Le caratteristiche minime delle resine che si utilizzano per i rivestimenti sono riportate nella UNI EN ISO 13121-1:2003, riportate anche nella tabella 4.2.2 come esempio delle caratteristiche richieste e con le indicazioni delle ulteriori normative alle quali fare riferimento per il dettaglio delle peculiarità e per i metodi di controllo.

Tabella 4.2.1

Classificazione dei componenti del tubo per inserimento interno (lining) in base al loro materiale (dalla UNI EN ISO 11296-4:2011)

Componente del tubo per inserimento interno (lining)	Materiali
Sistema di resina: - tipo di resina - tipo di riempitivo - sistema di polimerizzazione	UP, VE, o EP Nessuno, inorganico oppure organico Iniziato dal calore, iniziato dalla luce o polimerizzazione ambiente
Materiale di trasporto/rinforzo	Fibre polimeriche: PA, PAN, PEN, PET o PP Fibre di vetro conformi al punto 4.4.2 della ISO 25780 Fibre di carbonio di designazione dichiarata conformi alla ISO 13004 Combinazioni delle fibre precedenti ^a
Membrane (interna, esterna o temporanea)	Senza restrizioni ^b
<p>a Dove si utilizza una combinazione di fibre le proporzioni in massa di ciascun tipo di fibra devono essere dichiarate entro il 5%.</p> <p>b Poiché non ci sono requisiti per le membrane non ci sono neppure restrizioni alla scelta dei materiali utilizzati per le membrane.</p>	

In alcuni settori, per i quali le condizioni sono molto critiche e difficilmente riportabili ad adeguati standard o a situazioni similari (alte temperature, aggressioni chimiche, abrasione eccessiva, od altre ancora) può essere consigliabile inserire dei campioni del prodotto finito che si intende utilizzare nei condotti, per una durata sufficientemente lunga (ad esempio sei mesi) per controllare le condizioni di questi campioni al termine del periodo di prova.

Ad esempio, al termine del periodo di prova possono essere controllati il peso, la superficie, lo spesso-

re e, se necessario, possono anche essere effettuate prove di resistenza statica. È evidente come queste prove, del tutto empiriche, non possano essere considerate strettamente scientifiche e tali da consentire la generalizzazione dei risultati: tuttavia, possono servire per proporre ipotesi di durabilità più fisicamente basate ed eventualmente scegliere in modo ottimale la composizione del liner.

Evidentemente questa attività dovrebbe essere condotta in stretta collaborazione con i produttori del liner stesso.

Tabella 4.2.2

Proprietà richieste per il materiale di rivestimento termoplastico (dalla UNI EN ISO 13121-1:2003)

Materiale	Densità ISO 1183 [g/m ³]	Indice di fluidità EN ISO 1133 [g/10 min]	Temperatura di ammorbidimento EN ISO 306 [° C]	Resistenza alla trazione EN ISO 527-2 [MPa]
PVC-U	1.45	–	75	55
PP-H	0.91	0.4 – 0.8	–	30
PP-B	0.91	0.4 – 0.8	–	20
PP-R	0.91	0.4 – 0.8	–	20
PVDF	1.78	–	145	50
E-CTFE	1.69	–	115	45
FEP	2.15	–	70	25
PFA	2.15	–	75	30

Le caratteristiche dei materiali prodotti per queste lavorazioni possono essere suddivise nei due stati qui di seguito elencati:

Stato «M»: stato “come da produzione” (Manufactured) ovvero prima del trattamento (miscelazione delle resine, impregnazione del liner e catalizzazione).

Stato «I»: stato “come costruito” (Installed), ovvero l’ultimo stato dopo il trattamento dei componenti sul posto (stato terminale). È quindi importante chiedere certificazioni sui prodotti, ovvero relativa-

mente alla qualità dei materiali (stato M). Quindi occorre che il costruttore indichi la corretta modalità di posa – costruzione del liner in loco. Ed infine è necessario chiedere certificazioni sul risultato delle lavorazioni (stato I).

Nei prossimi paragrafi saranno quindi citate alcune delle certificazioni che è opportuno chiedere sui prodotti e sul materiale finito. Nel capitolo cinque saranno invece descritte le prove che è opportuno condurre su campioni presi dal prodotto realizzato in cantiere.

	Deformazione alla trazione di rottura EN ISO 527-2 [%]	Modulo di elasticità in tensione EN ISO 527-2 [MPa]	Durezza Shore EN ISO 868	Temperatura di inflessione sotto carico EN ISO 75-2 [° C]	Dilatazione termica lineare ISO 11359-2 [° C]
	15	3000	80	75	75
	> 50	1200	65	50	180
	> 50	700	60	45	180
	> 50	700	60	45	180
	80	2000	80	90	130
	200	1700	75	75	80
	300	350	55	50	100
	300	300	60	60	140

Materiale in stato M

I materiali che arrivano in cantiere devono essere corredati da bolle di accompagnamento che riportano con precisione un codice identificativo (numero di serie) che permetta al Direttore dei Lavori di riconoscere il prodotto come proveniente dal costruttore e di verificare la conformità di quanto dichiarato in fase di gara con quanto effettivamente pervenuto.

La norma UNI EN ISO 11296-1 definisce come deve essere marchiato il materiale.

Al par. 5.8 la citata norma infatti chiarisce che il materiale deve essere marchiato in modo indelebile e riportare almeno le seguenti informazioni:

- *il riferimento alla norma UNI EN ISO 11296-1;*
- *il nome del costruttore;*
- *la dimensione nominale del condotto;*
- *lo spessore o la rigidità anulare, come applicabile;*
- *il materiale;*
- *le informazioni sul produttore, che consentano la tracciabilità del prodotto, la data di produzione (almeno il mese e l'anno) e il luogo di fabbricazione (se il produttore dispone di diverse sedi di produzione);*
- *il marchio di approvazione, se applicabile.*

È abbastanza evidente come i materiali depositati in cantiere debbano essere protetti dagli eventi meteorici (pioggia, acqua, sole, caldo, freddo, ecc) in quanto particolarmente delicati.

Per i liner ad impregnazione in cantiere è importante ricordare che la temperatura delle resine non

deve generalmente scendere sotto i 13/15° C.

Nel momento dell'impregnazione la resina deve avere la temperatura indicata dal produttore di sistema, per mantenere la corretta densità durante la fase di impregnazione.

Generalmente le resine dovrebbero stare in un intervallo di temperatura tra 18 e 25 °C, ma, come detto, dipendendo dalla tipologia, occorre senz'altro fare riferimento alle indicazioni del produttore.

Per i liner impregnati con resina poliestere/vinilistere in fabbrica e con processo di polimerizzazione termica è importante tenere traccia di tutto il ciclo d'imbballaggio in fabbrica dopo l'impregnazione fino al momento della posa in cantiere.

In questi casi il trasporto avviene in cella frigo, dalla quale il materiale viene estratto solo nel momento dell'installazione; la temperatura d'ambiente di trasporto deve quindi essere registrata per tutto il periodo, in modo da avere certezza che il liner, o parte di esso, non abbia già iniziato il suo processo di polimerizzazione.

Per i liner il cui processo di polimerizzazione avviene a seguito di applicazione di luci (UV o LED) l'attenzione è ovviamente relativa al fatto che l'imbballaggio sia idoneo a non fare passare la luce, ed in particolare i raggi UV. Tutti i liner, di qualsiasi tipologia, devono rimanere sempre asciutti, puliti e depositati in modo da evitare la diretta esposizione al sole: si consideri che anche il rivestimento, coating, dei liner impregnati in cantiere può subire danni se esposto al sole.

Tutti i materiali, liner e resine, hanno una data di scadenza che non deve essere superata.

Un altro aspetto del trasporto è chiaramente quello della sicurezza, dato che tutte le resine appartengono alla categoria delle merci "pericolose" e quindi sottostanno alle normative per il trasporto ADR.

I certificati dovranno contenere le informazioni relative ai dati di progetto, se necessario, e quelle relative alla loro produzione e conservazione.

In particolare si citano, a titolo di esempio, alcuni parametri necessari nel caso si tratti di liner impregnati in loco.

Per le resine:

- *tipo di resine (UP, VE, EP);*
- *reagenti;*
- *dati di consegna;*
- *comportamento all'indurimento;*
- *stabilità all'immagazzinamento.*

Per i feltri (materiali di supporto):

- *tipo di materiale (PA, PAN, PEN, PET o PP o loro combinazioni; per i feltri in fibra di vetro: modello o tipo di fibra);*
- *eventuali supporti e rinforzi;*
- *peso specifico apparente o densità;*
- *resistenza alla lacerazione ed all'allungamento.*

Per i liner confezionati, ovvero impregnati in fabbrica, occorre avere informazioni in merito a:

- *dimensioni lineari;*
- *numero degli strati e loro sequenza;*
- *spessore totale;*
- *peso specifico;*
- *data di costruzione;*
- *stabilità e modalità di immagazzinamento.*

In sede di gara, ovviamente, la Stazione Appaltante è libera di integrare le certificazioni sopraelencate con altre che potranno ugualmente essere richieste.

Occorre richiamare infine che la norma UNI EN ISO 11296-4:2011 presenta, in tabella 2, le caratteristiche minime che devono essere garantite dalla sola resina utilizzata.

In Appendice vengono riportate le caratteristiche principali delle resine e la tabella citata.

Alcune delle normative di riferimento per i materiali di partenza sono indicati nella tabella 4.2.3.

^a La norma DIN 16945 ha come titolo "Testing of resins, hardeners and accelerators, and catalyzed resins" ed è citata anche da altre norme europee e americane (tabella a pagina seguente).

Tabella 4.2.3
 Normativa di riferimento per alcune caratteristiche dei materiali in stato M

1	Resine reattive EP, UP, VE Reagenti Dati di consegna Comportamento all'indurimento Stabilità all'immagazzinamento	UNI EN 13121-1 ISO 3521 DIN 16945 ^a Indicazioni del costruttore Indicazioni del costruttore
2	Feltri in fibre sintetiche Substrato Tipo di materiale Peso specifico apparente Massa areica Densità Resistenza alla lacerazione Allungamento	Indicazioni del costruttore UNI EN ISO 2076 PA, PAN, PET, PP o loro combinazioni Indicazioni del costruttore UNI EN 12127 Indicazioni del costruttore UNI EN 29073-3 UNI EN ISO 13934-1
3	Fibre di vetro tessile Modello/tipo di fibra di vetro Rinforzi Denominazione – massa areica del vetro Titolazione del filo	UNI EN 14118 UNI EN 12654 UNI EN 14364 – UNI EN 14971 UNI EN 14020-1, -2, -3 Indicazioni del costruttore
4	Materiali inerti Tipo e denominazione del tessuto Granulometria, distribuzione Densità apparente Densità	UNI EN ISO 3262-1, -16 ISO 3310-1 UNI EN ISO 60 UNI EN ISO 61 UNI ISO 171

Materiale in stato I

La norma UNI EN ISO 11296-4:2011 indica con precisione quali debbano essere le prove minime da eseguire sul prodotto finito e le caratteristiche che questo deve avere dal punto di vista geometrico, meccanico e, se del caso, relativamente alla resistenza all'attacco chimico.

Per quello che riguarda le caratteristiche geometriche, queste riguardano lo spessore medio e minimo del liner, calcolato come sarà indicato nel seguito.

In ogni caso, lo spessore medio non può essere inferiore a quello di progetto, mentre quello minimo riscontrato non può essere inferiore all'80% del valore medio di progetto. Tale valore non può essere inferiore a 3 mm.

Le caratteristiche meccaniche richieste dalla norma sono otto, e meritano di essere spiegate.

Preliminarmente è necessario chiarire che la norma stessa indica il numero dei campioni da prelevare e come effettuare le diverse prove, rimandando o all'allegato della medesima norma, o ad altre norme ISO.

Le caratteristiche dei prodotti devono essere dichiarate in fase di gara, dimostrate mediante certificazione quando giungono in cantiere e infine, quando possibile, provate in laboratorio sul prodotto finito.

Secondo la UNI EN ISO 11296-4:2011 occorre pertanto dichiarare quanto segue:

- *rigidezza anulare iniziale*
- *fattore di scivolamento a secco*
- *modulo elastico a breve termine*
- *sforzo di rottura a flessione*
- *deformazione di rottura a flessione*
- *modulo elastico a lungo termine in condizioni bagnate*
- *massimo sforzo longitudinale di tensione.*
- *massima elongazione*

I valori minimi richiesti sono riportati nella citata normativa; in fase di progettazione (e di gara in caso di opere pubbliche) possono ovviamente essere dichiarati valori superiori, i quali divengono prescrittivi.

La richiesta di questi parametri dipende dal fatto che la caratteristica delle resine, che le differenzia dagli altri materiali da costruzione, è che non presentano solo una risposta elastica alle sollecitazioni, ma anche una risposta viscosa.

In altri termini, sotto un carico anche lieve, le resine si deformano progressivamente: questo fenomeno, detto di scivolamento (creep nella letteratura anglosassone), dipende dall'entità dello sforzo applicato, dalla temperatura e dal tempo.

Per via di questo fenomeno, quindi, si hanno diversi valori delle caratteristiche meccaniche del condotto, tra le quali si deve citare il valore del modulo elastico, fondamentale per la progettazione, ed in generale per la resistenza del condotto finito e quindi della vita utile del prodotto.

Poiché la vita utile del liner si richiede che sia convenzionalmente pari a 50 anni, si effettuano prove per oltre 10000 ore, ovvero per più di un anno, in modo tale da potere estrapolare i valori delle caratteristiche meccaniche al valore della vita richiesta, come meglio descritto in appendice.

Resta inteso che vi sono prove che possono essere eseguite sul prodotto finito, quali quelle relative allo spessore od alla resistenza a breve termine, e quelle per le quali invece occorre richiedere la appropriata certificazione.

Appare evidente che prove alle diecimila ore non possono essere effettuate sui campioni sia perché non si può attendere oltre un anno (il completamento della prova) per emettere il certificato di collaudo, sia per il costo eccessivo che ha ciascuna di queste prove.

Tuttavia, il costruttore deve possedere il certificato del prodotto finito e produrlo alla Direzione Lavori, ad attestare che se si utilizzano i prodotti indicati e si effettua correttamente la installazione del liner, il risultato finale è garantito conforme a quanto progettato.

La norma richiede anche che il liner abbia resistenza all'eventuale attacco chimico, ponendo come riferimento per le prove la norma ISO 10952; evidentemente, trattando in questo testo di reti del Servizio Idrico Integrato, scarichi chimici particolarmente aggressivi dovrebbero essere evitati. A parte le richieste della norma citata, che devono essere sempre obbligatoriamente soddisfatte, è possibile che il Committente abbia ulteriori necessità, per le quali

può ovviamente richiedere ulteriori certificazioni. In particolare si citano alcune ulteriori prove che chi scrive ritiene in talune circostanze di grande importanza.

Abrasione, o resistenza allo sfregamento: questa prova, di cui è possibile richiedere il certificato del prodotto finale, è evitabile in caso di relining di acquedotti o di collettori fognari in cui è piuttosto da temersi il deposito dei materiali solidi; ma assume particolare importanza quando si ha a che fare con acque cariche di sedimenti e pendenze che impongono velocità elevate alla corrente. In questo caso è possibile richiedere il certificato relativo al test di Darmstat, che è normato dalla EN 295-3.

Misurazione della fessura anulare: si può formare tra liner e il vecchio tubo, in particolare quando la forma della condotta che ospita il liner non è circolare e da questa sezione si discosta molto. È infatti possibile che si creino degli spazi tra le due condotte e, se è prevista la collaborazione tra le due, che questa non sia garantita, con conseguente possibilità di deformazione successiva di una delle due; la misurazione relativa alla presenza di tali vuoti deve essere fatta manualmente, con sonde.

Resistenza allo spurgo: quando si usano strumenti ad alta pressione. Non è sufficiente produrre questa documentazione, ma è necessario definire con precisione quali siano le modalità con le quali effettuare lo spurgo senza danneggiare il liner.

Analisi microscopica: come accennato, soprattutto nel caso di impregnazione in loco, è possibile che la resina non sia distribuita in modo perfettamente

omogeneo e che quindi rimangano dei microspazi che risultano nei fatti essere delle microfessure.

In questo caso l'impermeabilità sarebbe garantita dal solo coating (descritto nel prossimo paragrafo), se presente, ed in sua assenza il liner risulterebbe "sudare": fenomeno che non è gradito, dato che si tratta di un nuovo condotto il cui costo è comunque piuttosto elevato. I Laboratori di Idraulica possono inoltre effettuare una prova di verifica della impermeabilizzazione, che consiste nel rimuovere il coating, posizionare del liquido su un lato del campione ed applicare una differenza di pressione per un tempo prestabilito, in modo da verificare se il liner risulta effettivamente impermeabile.

Analisi spettrografica: in questo modo è possibile individuare la resina il sistema di resine effettivamente utilizzato, in modo da evidenziare eventuali anomalie o difformità quando si dovesse presentare un prodotto finale aventi caratteristiche non conformi con quanto atteso.

Certificato di uso alimentare: ovviamente necessario nel caso di risanamento delle condotte del servizio idrico. In generale, un breve elenco riassuntivo di ciò che può essere chiesto nello stato I è riportata nella tabella 4.2.4.

(Tabella a pagina seguente)

Figura 4.2.2
Schema di prova di impermeabilità del liner

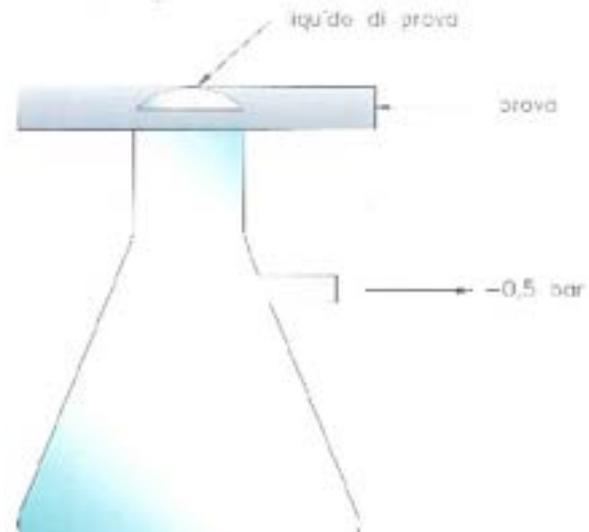


Tabella 4.2.4
 Normativa di riferimento per alcune caratteristiche dei materiali in stato I

1	Pressione massima a breve termine	UNI EN 1228
2	Scorrimento viscoso a 24 ore	EN 761, EN ISO 899-2
3	Pressione massima a lungo termine (10.000 ore)	EN 761, EN ISO 11296-4
4	Prova di flessione a tre punti	ISO 178
	- in direzione circonferenziale	EN ISO 11296-4
	- in direzione longitudinale	EN ISO 11296-4
5	Prova di trazione a rottura	EN ISO 527-4
6	Prova di compressione a rottura in direzione longitudinale	EN ISO 604
7	Tenore di stirene residuo	DIN 53394-2 ^a
8	Misurazione della perdita all'ignizione	EN ISO 1172
9	Densità	EN ISO 1183-1
10	Idoneità chimica	EN ISO 175, EN ISO 11296-4
11	Misurazione della fessura anulare	da eseguirsi manualmente
12	Impermeabilità all'acqua del laminato portante	EN ISO 11296-4
13	Resistenza all'abrasione – test di Darmstat	EN 295-3
14	Resistenza allo spurgo	DIN 19523 ^b

^a La norma DIN 53394-2 ha come titolo "Testing of plastics; determination of the percentage of styrene in reaction moulding materials based on unsaturated polyester resins; gaschromatography method"; tuttavia è da tenere presente che l'uso di resine "styrene free", cioè senza stirene, si sta sempre più diffondendo e quindi questa prova sta diventando non necessaria.

^b La norma DIN 19523 ha come titolo "Requirements And Test Methods For Determination Of The Jetting Resistance Of Components Of Drains And Sewers"; anche in questo caso non si sono trovate alternative alla norma tedesca, che si ritiene tuttavia di grande importanza per attestare la resistenza allo spurgo.

RIVESTIMENTI, POZZETTI, ALLACCI

Rivestimenti

Il rivestimento ha lo scopo di fornire un'adeguata resistenza fisica e chimica per tutto il periodo di vita utile posto a base di progetto. In generale, può essere considerato "rivestimento" anche uno spessore di usura, che di conseguenza non deve essere conteggiato nelle verifiche statiche. Lo spessore di usura può anche essere costituito da uno strato di resina pura, o uno strato di resina legato con vetro o feltro e applicato sul lato interno del liner, ovvero da un rivestimento sulla parte interna del liner (membrana interna, figura 4.2.1 del paragrafo precedente). Tale membrana interna (a volte è presente anche una membrana esterna) è generalmente composta da PE, PUR, PP, PA, PVC o da loro combinazioni.

La presenza del rivestimento interno è senz'altro fondamentale quando si temano fenomeni abrasivi, dato che il PE ha una resistenza a questa aggressione ben superiore a quella di altri materiali. Prove effettuate con un getto d'acqua contenente il 10% di particelle di silice, alla velocità di 14 m/s portano a perdite di materiali fino a cinquanta volte inferiori a quelle che si possono avere per ferro o acciaio.

Il rivestimento in polipropilene assicura una resistenza duratura del rivestimento contro soluzioni saline, acidi e basi forti, comprese le soluzioni di detersivi. Tuttavia, il rivestimento in polipropilene non è stabile contro materiali altamente ossidanti,

come l'acido nitrico concentrato, e viene attaccato già a temperatura ambiente; anche gli idrocarburi hanno un effetto dannoso sul rivestimento.

Tutti i rivestimenti utilizzati hanno un effetto di barriera impermeabile. Occorre tuttavia precisare che il liner deve essere impermeabile anche in assenza di rivestimento: pertanto le prove relative a questo parametro dovrebbero essere condotte avendo cura di rimuovere preliminarmente il coating, non potendo affidare unicamente a quest'ultimo l'adempimento di un ruolo tanto importante nell'ambito dell'intervento di risanamento.

Lo spessore del rivestimento è anch'esso un fattore importante. In linea di massima, un rivestimento più spesso può essere considerato migliore in quanto assicura una maggiore resistenza agli agenti aggressivi; tuttavia, rivestimenti meno spessi consentono una maggiore flessibilità al prodotto e quindi una maggiore facilità di installazione, soprattutto quando i diametri siano piccoli.

Pozzetti

Nel caso dei pozzetti fognari, il ripristino dovrà avvenire puntualmente utilizzando resine specifiche secondo la pratica tradizionale. Per quello che riguarda il liner, in corrispondenza dei pozzetti questo dovrà essere tagliato; il taglio dovrà essere effettuato manualmente da operatori specializzati, ed in particolare la modalità dipende dalla tipologia del pozzetto. Nei pozzetti di partenza e arrivo, il taglio dovrà essere praticato lungo tutta la circonferenza della tubazione. Nel caso di pozzetto intermedio o

passante, il taglio può essere effettuato solo sulla calotta superiore, in modo tale che il liner nella parte inferiore funga da piano di scorrimento. Questa seconda opzione è possibile, ma se c'è un dislivello tra fondo del pozzetto e piano di scorrimento questo dovrebbe essere eliminato prima dell'inserimento del liner stesso.

In tutti i casi, l'intercapedine tra la tubazione esistente ed il liner dovrà essere sigillata, per evitare che l'acqua si infiltri tra i condotti nuovo ed esistente ed in modo da garantire così la tenuta idraulica della condotta.

Nel caso dei condotti fognari, in cui la pressione è limitata al tirante idrico, si ritiene generalmente sufficiente che la sigillatura venga effettuata con prodotti a base cementizia.

Per crearla è necessario che il liner venga lasciato lievemente sporgente all'interno del pozzetto, in modo da creare un "collare" con il materiale sigillante che si aggrappi alla parete del pozzetto e al liner in uscita. La sigillatura è spesso proposta anche mediante l'impiego di resine, in genere di tipo epossidico.

In tutti i casi, è necessario che il composto utilizzato sia esente da ritiri, che lascerebbero possibilità di infiltrazione all'acqua, ciò che propriamente si vuole evitare.

Nel caso di condotti in pressione, non si hanno ovviamente pozzetti intermedi, ma occorre garantire la tenuta nei tratti iniziale e terminale. In questo caso la sigillatura con materiali cementizi non è più suffi-

ciente e devono essere montati dei manicotti, serrati con tenditori a spessore con incastro meccanico. Il manicotto deve essere riportato all'interno del nuovo condotto per una certa lunghezza (in genere di diversi centimetri); per tale lunghezza deve essere quindi rimosso il liner. In questi casi, in cui non esistono pozzetti, deve essere effettuato uno scavo e quindi tagliata e rimossa parte della tubazione; la parte della tubazione rimossa dovrà di conseguenza essere rimpiazzata da un nuovo tronchetto, che non sarà rivestito con il liner.

Occorre prendere in considerazione la possibilità che il nuovo tronchetto sia collegato alla tubazione esistente per mezzo di giunti che consentano anche un minimo di deformazione, dato che sono sempre possibili cedimenti nella buca di scavo, una volta ripristinata.

Allacci

La posizione delle connessioni laterali e dei servizi è rilevata grazie alla videoispezione preliminare. Dopo l'installazione del liner, tutti gli allacci laterali esistenti ed attivi devono essere riattivati salvo diversa indicazione da parte della Stazione Appaltante.

Tale riattivazione deve essere effettuata senza scavo, se possibile e se non diversamente specificato: in altri termini, tale lavorazione dovrà essere compiuta dall'interno dei condotti mediante un dispositivo di taglio diretto da una videocamera; quando è possibile, tuttavia, è ammessa la lavorazione da parte di tecnici specializzati che possono entrare nei condotti, fatte salve tutte le esigenze di sicurezza e

le procedure relative ai lavori nei luoghi confinati. Questa lavorazione deve essere attentamente pianificata in fase progettuale, perché i materiali presenti possono essere estremamente eterogenei e non è detto che il ripristino possa essere realizzabile con metodologie senza scavo.

Le metodologie senza scavo più utilizzate sono le quattro seguenti: l'intervento manuale dall'interno con operatore (qualora le condizioni di sicurezza/valutazione dei rischi lo consentano); l'intervento robotizzato con profilati a cappello (secondo UNI EN ISO 11296-4); l'intervento robotizzato di spatolatura con resine specifiche; l'intervento robotizzato tramite processo di iniezione di resine o malte specifiche. Tutti i tagli laterali e le connessioni di servizio devono essere esenti da bave, bordi sfrangiati o qualsiasi restrizione che potrebbe impedire il libero scorrimento delle acque.

Le connessioni laterali devono essere ripristinate con un minimo del 90% del loro diametro originale; il liner deve essere ermeticamente sigillato alle aperture tagliate, senza lacune. Per quanto attiene agli allacci attivi, prima di cominciare l'inversione dovranno essere chiusi, ad esempio mediante il posizionamento di palloni otturatori negli sghembi degli allacci attivi compresi nel tratto interessato.

Di conseguenza, dovranno essere predisposti automezzi da spurgo in numero sufficiente per garantire la tenuta in asciutta di tutte le utenze, così da assicurare la continuità di esercizio degli scarichi. Durante il posizionamento del liner e la sua successiva polimerizzazione gli allacci vengono coperti dallo stesso nuovo condotto che si costruisce; occorre

pertanto stabilire la modalità con la quale ritrovarli, una volta compiuto il lavoro, per la loro riapertura.

Se il liner non ha uno spessore troppo elevato, come avviene nel caso si decida per un intervento non strutturale o se comunque le sue caratteristiche meccaniche consentono di ridurre le dimensioni, in corrispondenza dei fori tende a rientrare e pertanto è facile ritrovarli durante l'ispezione televisiva di controllo.

Se lo spessore del liner, invece, è elevato, si potrebbe non avere evidenza di tale presenza durante l'ispezione visiva e pertanto è usuale la posa di magneti per la successiva loro individuazione e la seguente riapertura.

Dopo la riapertura degli allacci, occorre provvedere alla loro sigillatura, che in genere avviene mediante resine espansive, ad evitare il ritiro del materiale che potrebbe comportare, nel tempo, la generazione delle infiltrazioni d'acqua tra liner e condotto esistente, sempre da evitare.

Tale sigillatura può anche avvenire mediante applicazione di profilo a cappello, che è un liner particolare, composto da una parte circolare (la falda del cappello) che aderisce al condotto riabilitato, e da un cilindro che viene infilato nel condotto laterale ed ivi gonfiato per garantire l'aderenza (figura 4.3.1).

Questo prodotto, una volta inserito e polimerizzato, aderisce alle pareti della connessione e della tubazione principale, il che fornisce una garanzia superiore, soprattutto quando le dimensioni del-

Figura 4.3.1
Profili a cappello per la sigillatura degli allacci

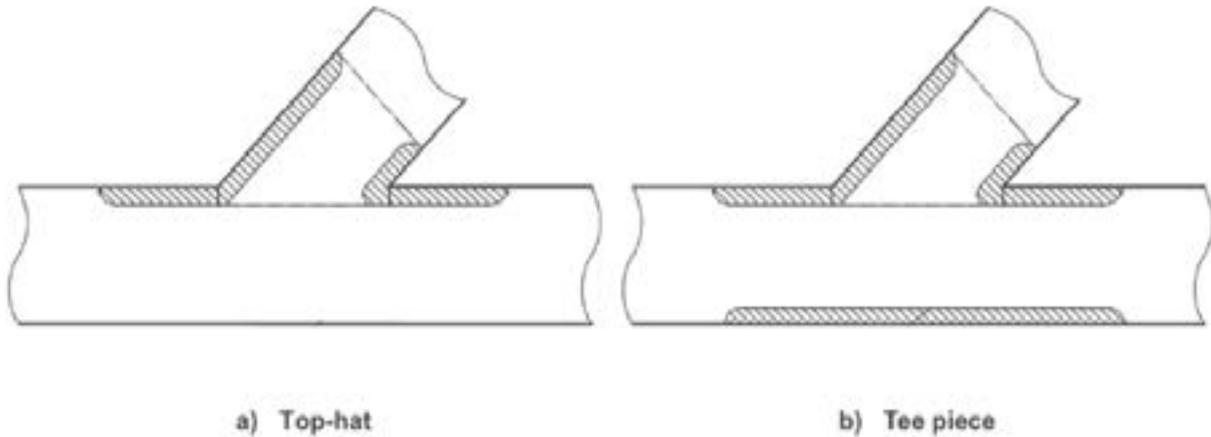


Figura 4.3.2
Fresa per riapertura degli allacci in un collettore di piccole dimensioni (By Idroambiente)

le condotte da risanare sono considerevoli. È del tutto evidente che questa opzione prevede sia un maggiore impiego di materiale, sia una lavorazione ulteriore.

Per quello che riguarda gli allacci dismessi, per i quali non è necessario pertanto procedere alla successiva riapertura, potrebbe sussistere un problema di tipo statico, che verrà affrontato più avanti. "linea guida ASTM 1216:2009".

DIMENSIONAMENTO STATICO

Innanzitutto occorre premettere che per il corretto dimensionamento statico del liner occorre conoscerne le caratteristiche: questo, in qualche modo, comporta che i progettisti abbiano già operato la scelta del prodotto da utilizzare.

Mentre questa scelta è del tutto legittima nel caso di un progettista privato, ci sono dei dubbi relativamente alla possibilità di procedere in questo senso da parte di una stazione appaltante soggetta alle norme degli appalti pubblici.

In questo senso, chi scrive normalmente fornisce, nel capitolato d'appalto, le condizioni di progettazione, lasciando il calcolo dello spessore del liner al concorrente, che però dovrà fornire, in sede di gara, i calcoli progettuali firmati da ingegnere abilitato.

Premesso questo, si riportano le linee guida da utilizzarsi per il dimensionamento speditivo del liner, tenendo conto del fatto che sono disponibili programmi di calcolo, anche a costo relativamente basso, per il calcolo strutturale agli elementi finiti.

Si sottolinea infatti come l'uso delle norme o linee guida sia limitato ai casi di geometria semplice, in genere circolare, mentre le sezioni più complesse, che si trovano frequentemente negli antichi collettori fognari, devono essere necessariamente verificati con programmi di calcolo elettronico.

Secondo la normativa UNI EN ISO 11295, i carichi

da considerare sono interni ed esterni.

Per quanto attiene alle forze interne ai condotti, si considerano:

- *pressioni di progetto*
- *pressioni di collaudo e verifica*
- *pressioni che si possono avere nei transitori*
- *carichi termici*

Si deve tenere conto del fatto che anche per condotti normalmente non in pressione, come possono essere quelli fognari, occorre comunque valutare la possibilità di sovraccarico.

Per quello che invece riguarda le forze esterne ai condotti, si considerano:

- *carichi trasferiti dal terreno, tra i quali quelli del traffico sovrastante;*
- *movimenti del terreno, azione del gelo, azioni sismiche;*
- *carichi puntuali dovuti ad irregolarità, anche del condotto stesso;*
- *carichi termici dovuti all'ambiente;*
- *pressione delle acque di falda.*

La citata normativa fa riferimento anche alla fase transitoria, di preparazione del condotto, enumerandole come segue:

- *forze per la preparazione del condotto;*
- *forze necessarie all'inserimento;*
- *forze necessarie all'inversione (se applicabile);*
- *forze necessarie al riempimento;*
- *effetti residui delle forze precedenti che rimangono permanentemente.*

Queste forze, comunque, riguardano la particolare tecnologia scelta e pertanto dipendono dalle modalità indicate dal costruttore per procedere alla realizzazione del condotto. Difficilmente un progettista di una stazione appaltante può entrare eccessivamente nel merito del problema; viceversa, un direttore dei lavori ha l'obbligo di controllare che la posa avvenga secondo le prescrizioni e le certificazioni dei materiali, operando i relativi controlli.

Al di là di quanto prescrive la norma, come è del tutto lecito attendersi il dimensionamento del liner segue da vicino la classica procedura utilizzata per il calcolo degli spessori delle condotte interrate. Le principali sollecitazioni in atto, in effetti, sono le medesime, ovvero:

- a. il peso del fluido trasportato;
- b. l'azione della eventuale falda presente;
- c. il peso del terreno sovrastante;
- d. gli eventuali sovraccarichi.

Il punto (a) è il più semplice da trattare, e generalmente il meno importante. Si calcola semplicemente moltiplicando l'area bagnata (nella condizione peggiore si considera il tubo completamente pieno) e si moltiplica per il peso specifico del fluido, ottenendo il peso per unità di lunghezza del condotto.

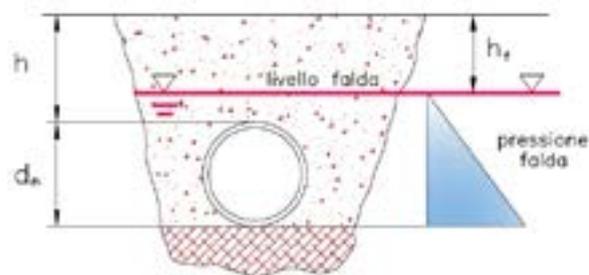
La sollecitazione data dal fluido è solo questa nel caso di condotte a gravità; ben differente è invece il caso delle condotte in pressione, per cui occorre valutare se, alla pressione nominale, necessaria per garantire il corretto funzionamento della rete acquedottistica, occorre sommare quella derivante dai transitori di moto vario, che devono essere

attentamente valutati e per i quali non possiamo che rimandare a testi specialistici (Citriani e Noseda, 1976; Mambretti, 2006; Mambretti, 2013).

La falda, punto (b), deve essere tenuta presente, non solo per il calcolo dei sovraccarichi, ma anche, come si è visto, per la corretta scelta della tecnologia e le attenzioni da porre in essere quando si esegue l'installazione. In ogni caso, con riferimento alla figura 4.4.1, la pressione dell'acqua in un punto è data dall'affondamento del punto rispetto alla superficie libera moltiplicata per il peso specifico dell'acqua, pari a 9806 N/m³.

Figura 4.4.1

Schema di calcolo dell'azione della falda



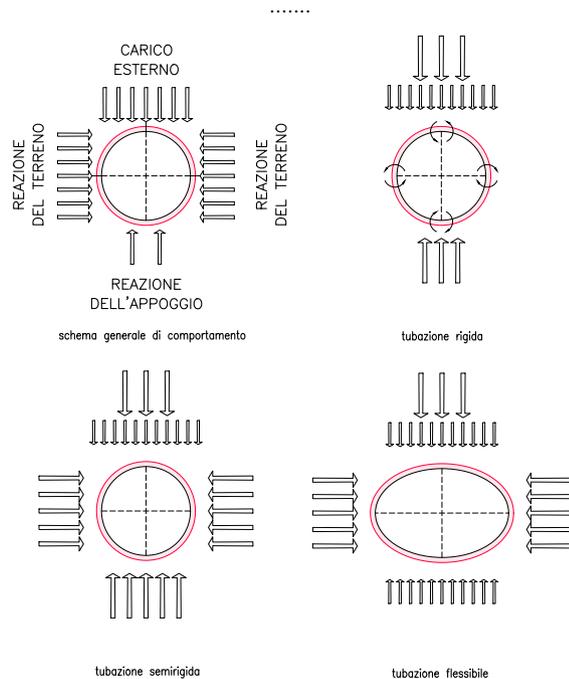
Per quanto riguarda il punto (c), oltre al peso del terreno sovrastante deve essere tenuta in considerazione anche la reazione laterale del terreno stesso, ovvero lo schema di calcolo da considerare è quello presentato nella figura 4.4.2.

Le caratteristiche del terreno richieste sono:

- il peso specifico
- l'angolo di attrito
- il modulo di elasticità
- l'altezza di ricoprimento della condotta

	PESO PROPRIO	CARICO RIPARTITO SUPERIORE	CARICO RIPARTITO LATERALE	CARICO TRIANGOLARE LATERALE	RELAZIONE RADIALE COSTANTE $2\alpha = 60^\circ$
SCHEMA					

Figura 4.4.2



Frequentemente, nei manuali relativi alla posa di nuove condotte mediante scavo, si riportano valutazioni inerenti alla larghezza dello scavo e alla deformabilità del condotto (Da Deppo e Datei, 2004; Pavan e Frassine, 2005), così come anche alla modalità di posa (AA.VV, Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione, 1997). In generale questo avviene perché in caso di nuova posa, se il condotto è da considerare deformabile, esso tende a deformarsi più del terreno circostante, il quale pertanto supporta parte delle sollecitazioni trasmesse; viceversa, se il condotto è da considerarsi indeformabile, supporta tutti i carichi e, pertanto, risulta maggiormente sollecitato.

Nei casi di cui si tratta non è ovviamente previsto alcuno scavo e, qualora il condotto sia deformabile, risulta già deformato; questo è riscontrabile nella fase della videoispezione. Inoltre, il condotto esistente funziona già da "cassero" per la costruzione del nuovo condotto in resina, che in realtà viene a sopportare solo una parte dei carichi che vengono trasmessi; questo consente di evitare anche ulteriori verifiche al carico di punta.

Come conseguenza di ciò, non è necessario effettuare alcuna ulteriore considerazione in merito a questo punto e, chi scrive, si limita a operare a favore di sicurezza considerando un modulo di elasticità del terreno piuttosto basso anche perché, operando in città con ampia presenza di sottoservizi, la qualità del terreno di riempimento è da considerarsi piuttosto bassa.

Infine, per quello che riguarda il punto (d) relativo ai sovraccarichi dinamici, sono ben note ed utilizzate

le formule empiriche riportate sui maggiori testi, già citati sopra, che forniscono il carico unitario atteso per tipologia di traffico e profondità di posa. A questo proposito, tuttavia, dovendo operare su strade si ritiene necessario utilizzare le Norme Tecniche delle Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008, e in particolare l'articolo 5 relativamente ai ponti. Qui sono riportati diversi schemi di carico.

Schema di Carico 1: è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in figura 4.4.3. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.

Schema di Carico 2: è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m, come mostrato in figura 4.4.3. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.

Schema di Carico 3: è costituito da un carico isolato da 150kN con impronta quadrata di lato 0,40m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi non protetti da sicurvia.

Schema di Carico 4: è costituito da un carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10m. Si

utilizza per verifiche locali su marciapiedi protetti da sicurvia e sulle passerelle pedonali.

Schema di Carico 5: costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m². Il valore di combinazione è invece di 2,5 kN/m². Il carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.

Schemi di Carico 6.a, b, c: in assenza di studi specifici ed in alternativa al modello di carico principale, generalmente cautelativo, vengono utilizzati schemi alternativi, per opere di luce maggiore di 300 m, ai fini della statica complessiva del ponte.

Ciò che interessa per il calcolo di cui si tratta è la sollecitazione dovuta ad una sola ruota, che viene riportata in diversi schemi.

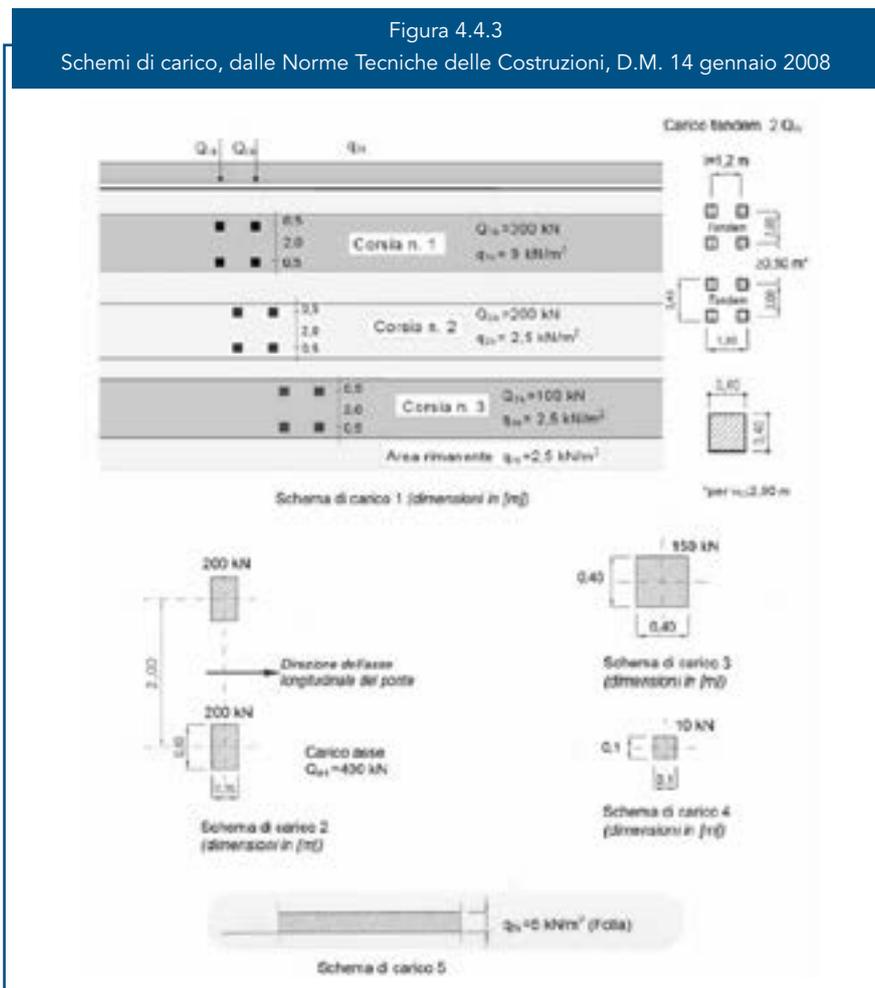
Il più gravoso di questi schemi è quello di carico 1, per cui una singola ruota di peso 300 kN è applicata ad un'impronta quadrata di lato 40 cm. La distribuzione di questo carico è raffigurata nella figura 4.4.4.

Secondo questo schema, la pressione N esercitata dalla ruota si trasmette nel terreno sottostante secondo un cono avente angolo α . Se si può considerare che $\alpha=45^\circ$, la pressione N_q che viene esercitata ad una quota H sotto il piano stradale vale:

$$N_q = \frac{N}{(l_1 + 2H) \cdot (l_2 + 2H)}$$

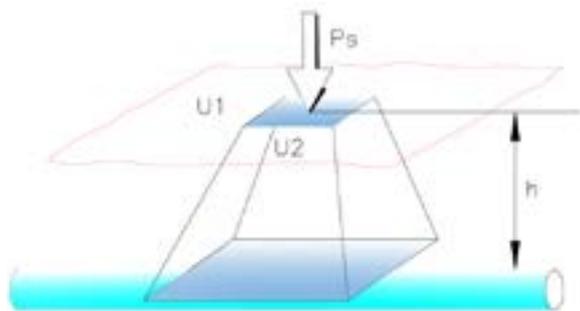
Il calcolo del liner può di conseguenza essere condotto come per qualsiasi altra tubazione interrata, facendo uso dei classici metodi della Scienza delle Costruzioni per passare dai carichi ora calcolati, in genere attribuendo al liner solo il 30% degli stessi, alle sollecitazioni sulla struttura (momenti e forze,

da calcolarsi secondo la forma della sezione) ed infine alle vere e proprie sollecitazioni nel materiale, che non devono superare quelle ammissibili. “(in accordo con lo schema di carico per una posa di condotta su un letto in cls e rinfiacco in cls)”



È del tutto evidente come il calcolo sia piuttosto semplice nel caso di sezioni circolari, mentre risulta più impegnativo per le condotte anticamere utilizzate per le fognature cittadine, che sono le più varie (ovoidali "inglesi", ribassate ecc.), per le quali occorre in generale, come detto sopra, utilizzare degli appositi programmi agli elementi finiti.

Figura 4.4.4
Schema di ripartizione del carico stradale
in funzione della profondità di posa



Esistono delle procedure che consentono il calcolo del liner mediante metodologie di tipo speditivo, che sono di uso comune nel settore ed ampiamente accettate sia dai costruttori, sia dalle stazioni appaltanti, per la loro semplicità di utilizzo ed affidabilità. Le procedure più usate sono state sviluppate dalla ASTM e dalla DWA; recentemente è stata pubblicata la norma UNI 11681:2017 che tratta del medesimo argomento. Nel seguito vengono riportate la linea guida ASTM e la citata norma UNI, di applicazione immediata, anche manualmente o con l'ausilio di un foglio elettronico.

Linea guida ASTM 1216:2009

La linea guida di cui si tratta definisce il campo di applicazione della metodologia e ne descrive alcune caratteristiche. Nell'Appendice di tale linea guida sono riportate sette formule speditive per il calcolo dello spessore del liner, delle quali quattro per le condotte a gravità e tre per le condotte in pressione. In generale, tuttavia, si consiglia un valore minimo di DR (*Dimension Ratio*) pari a 100.

Questo parametro è definito come rapporto tra diametro e spessore della condotta, in questo caso del liner. Pare del tutto evidente come un valore fissato in questo modo, che prescinde dalle caratteristiche del liner che si deve installare, conduca all'imposizione di spessori del tutto antieconomici quando si vogliono utilizzare resine che conducono ad un prodotto con elevato modulo di elasticità.

La prima espressione che si incontra (X1.1) vale per le **condotte circolari a gravità parzialmente deteriorate**, in presenza di falda.

$$P = \frac{2 \cdot K \cdot E_L}{1 - \nu^2} \cdot \frac{1}{(DR - 1)^3} \cdot \frac{C}{N}$$

I parametri che è necessario definire per utilizzare questa espressione sono i seguenti:

- *carico dovuto alle acque sotterranee* P [MPa]
- *fattore di miglioramento della portanza del suolo* K [-]
- *modulo di elasticità del CIPP a lungo termine* E_L [MPa]

- coefficiente di Poisson ν [-]
- coefficiente di ovalizzazione C [%]
- fattore di sicurezza N [-]
- dimensione caratteristica del CIPP DR [mm]

Il coefficiente di ovalizzazione si calcola con la:

$$C = \left(\frac{1 - \frac{\Delta}{100}}{\left(1 + \frac{\Delta}{100}\right)^2} \right)^3$$

essendo:

$$\Delta = \frac{\text{Diametro interno medio} - \text{Diametro interno minimo}}{\text{Diametro interno medio}} \cdot 100$$

In questo caso si prevede di assegnare al liner il solo carico dovuto alle acque sotterranee, mentre il condotto originario contrasta i carichi del suolo: è del tutto evidente, quindi, come in assenza di falda questa espressione non possa essere utilizzata. Tale valore, espresso in MPa, deve essere calcolato sul fondo della condotta.

Per quello che riguarda il fattore di miglioramento della portanza del suolo, dato dalla presenza della condotta esistente, è la stessa linea guida che suggerisce un valore minimo pari a 7. Il fattore di sicurezza è posto dal Progettista o dal Committente: chi scrive, normalmente, effettua i calcoli statici con un fattore di sicurezza pari a 2, o, nel caso di stesura di Capitolato d'Appalto, chiede che i calcoli statici vengano eseguiti con tale valore.

La seconda espressione (X1.2) è relativa alle **condotte ovoidali a gravità parzialmente deteriorate**, in presenza di falda.

$$1.5 \frac{\Delta}{100} \cdot \left(1 + \frac{\Delta}{100}\right) \cdot DR^2 - 0.5 \cdot \left(1 + \frac{\Delta}{100}\right) \cdot DR = \frac{\sigma_t}{P \cdot N}$$

I parametri che è necessario definire per usare questa espressione, oltre a Δ già riportato sopra, sono:

- sforzo a flessione a lungo termine del CIPP σ_L [MPa]
- fattore di sicurezza N [-]
- dimensione caratteristica del CIPP DR [mm]
- carico dovuto alle acque sotterranee P [MPa]

Per quello che riguarda le condotte a gravità completamente deteriorate, la linea guida riporta due espressioni, numerate (X1.3) e (X1.4). Per il calcolo del liner devono essere utilizzate entrambe, assumendo come spessore di progetto il valore maggiore tra i due ottenuti.

Le espressioni sono:

$$q_t = \frac{1}{N} \cdot \left[32 \cdot R_w \cdot B' \cdot E'_s \cdot C \cdot \left(\frac{E_L \cdot I}{D^3} \right) \right]^{1/2}$$

$$\frac{E}{12 \cdot (DR)^3} \geq 0.00064$$

Si osserva come la seconda sia dimensionale e quindi valida solo se si utilizzano le unità di misura del Sistema Internazionale.

Il parametro q_t è la pressione esterna complessivamente agente sulla condotta, in [MPa], nelle unità di misura del sistema metrico si calcola con:

$$q_t = 0.00981 \cdot H_w + \frac{w \cdot H \cdot R_w}{1000} + W_s$$

Nella precedente, a sua volta si calcola:

$$R_w = 1 - 0.33 \cdot \frac{H_w}{H}$$

Inoltre, il parametro B' è calcolato come:

$$B' = \frac{1}{1 + 4 \cdot e^{-0.213 \cdot H}}$$

Anche in questo caso il parametro è dimensionale e pertanto devono essere utilizzate le unità di misura del Sistema Internazionale. Il momento d'inerzia I è quello del liner, e pertanto si calcola con:

$$I = \frac{t^3}{12}$$

essendo t [mm] lo spessore del CIPP.

I diversi parametri da utilizzare sono i seguenti:

- altezza dell'acqua sopra il cielo della condotta H_w [m];
- altezza del terreno sopra il cielo della condotta H [m];
- densità del terreno w [kN/m³];
- carico dinamico W_s [MPa];
- fattore di sicurezza N [-];
- modulo elastico del terreno E_s [MPa];
- modulo di elasticità del CIPP a lungo termine EL [MPa];
- dimensione caratteristica del CIPP DR [mm];
- coefficiente di ovalizzazione, C , come definito sopra [%];
- modulo di elasticità iniziale E [MPa].

A questo proposito occorre osservare come l'espressione (X1.4) dipenda dal solo modulo di elasticità iniziale, mentre la (X1.3) da tutti gli altri riportati sopra. In molti casi, il valore derivante dall'applicazione della (X1.4) risulta il maggiore tra i due, in qualche modo agendo come valore minimo dello spessore da utilizzare, ma con una per quanto sommaria caratterizzazione del materiale utilizzato e quindi, a parere di chi scrive, con un maggiore senso fisico dell'espressione del tutto generica che prevede che tale spessore debba essere almeno un centesimo la dimensione standard della condotta.

Per quello che riguarda le **condotte in pressione**, se sono solo **parzialmente deteriorate** si dimensiona lo spessore del liner in modo tale che resista alle pressioni interne nel caso di presenza di allacci che non vengono riaperti, ovvero di fori nella condotta ospite che devono essere chiusi. Infatti, nel caso un allaccio venga riaperto, come frequentemente avviene dovendo ripristinare le utenze, non si sviluppano sforzi particolari nel materiale; viceversa, se l'allaccio viene dismesso, o se si tratta di un foro che deve essere

chiuso, il liner viene considerevolmente sollecitato, come fosse una piastra, tanto più quanto maggiore è il diametro del foro che deve occludere e tanto maggiore è la pressione del fluido nel condotto. La prima verifica da effettuarsi è quella relativa alla dimensione del foro, con la seguente espressione:

$$\frac{d}{D} \leq 1.83 \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{1/2}$$

dove:

- diametro del foro da chiudere d [mm]
- diametro medio del condotto ospite D [mm]
- spessore del liner t [mm]

Se la precedente espressione è verificata, allora il liner in quel punto si comporta come piastra piana circolare fissata alle estremità e soggetta a sollecitazioni solo trasversali. Si progetta utilizzando la seguente espressione:

$$P = \frac{5.33}{(DR - 1)^2} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_L}{N}$$

I parametri da utilizzare per il calcolo sono i seguenti:

- pressione interna P [MPa]
- fattore di sicurezza N [-]
- diametro dell'apertura nel condotto d [mm]
- sforzo a flessione a lungo termine del CIPP σ_L [MPa]
- dimensione caratteristica del CIPP DR [mm]
- diametro medio interno della condotta ospite D [mm]

Come era da attendersi, il parametro caratteristico del materiale, in questo caso, non è il modulo di elasticità, ma direttamente lo sforzo a flessione.

Per le condotte parzialmente deteriorate, si suppone che lo spessore calcolato in questo modo sia sufficiente a contrastare altre eventuali sollecitazioni sulla condotta.

Quando invece il foro sia di dimensioni maggiori, ovvero quando il **condotto sia completamente deteriorato**, per la verifica della resistenza alla pressione interna si utilizza la seguente espressione:

$$P = \frac{2 \cdot \sigma_{TL}}{(DR - 2) \cdot N}$$

Nella quale:

- pressione interna P [MPa]
- dimensione caratteristica del CIPP DR [mm]
- fattore di sicurezza N [-]
- sforzo a tensione a lungo termine del CIPP σ_{TL} [MPa]

Nel caso di condotta in pressione completamente deteriorata, la condotta deve essere progettata per resistere a tutti i carichi esterni ed alla pressione interna: è pertanto necessario utilizzare tutte le espressioni riportate per scegliere quella che conduce allo spessore maggiore.

Nel caso di **depressioni**, la linea guida suggerisce la verifica di funzionamento a gravità, ponendo il valo-

re di altezza della falda pari precisamente all'altezza piezometrica corrispondente alla pressione negativa calcolata.

Occorre, tuttavia, fare alcune considerazioni di carattere pratico. A chi scrive è capitato di dover procedere alla riabilitazione di una condotta di acquedotto di grande dimensione, sulla quale erano stati effettuati, negli anni, diversi allacci. Trattandosi di una dorsale, tale presenza di allacci è stata ritenuta inappropriata e pertanto ne fu previsto lo spostamento; restavano da chiudere diversi fori da 50 mm e uno da 100 mm.

Non è stato ritenuto ovviamente opportuno procedere al dimensionamento dello spessore del liner basandosi sull'unico foro da occludere di maggiori dimensioni, poiché questo avrebbe comportato un sovradimensionamento della struttura e quindi un costo aggiuntivo non giustificato.

In casi come quello appena descritto è possibile operare occludendo il foro di dimensioni maggiori, e quindi dimensionare il liner tenendo conto dei soli fori di dimensioni minori.

Tale operazione può essere fatta dall'esterno, scavando, facendo cioè coincidere un pozzetto di inserimento con tale allaccio; qualora invece l'allaccio sia in una posizione inopportuna, è anche possibile procedere dall'interno, manualmente se le dimensioni del condotto lo consentono oppure con procedure robotizzate nel caso di diametri piccoli.

Operativamente, da ciascuna di queste espressioni si ricava l'unico valore incognito DR, per poi calco-

lare lo spessore del liner t in funzione del diametro D del condotto ospite con la:

$$t = \frac{D}{DR}$$

Norma UNI 11681:2017

L'impostazione della normativa segue fedelmente la linea guida dell'ASTM, con formulazioni che sono del tutto analoghe a quelle sopra riportate. Vengono specificati i parametri di resistenza del materiale che la linea guida ASTM indica "a lungo termine" precisando che la loro valutazione deve essere su una durata pari a 50 anni. Per quello che riguarda le condotte a gravità si specifica come si debba considerare come altezza della falda "almeno l'altezza del terreno al di sopra della tubazione da rinnovare". Lo spessore minimo del liner deve presentare un valore minimo pari a 3 mm.

La norma, inoltre, precisa che in assenza di acqua di falda, e indipendentemente dalle condizioni e dai parametri progettuali, si deve comunque assumere un valore minimo di spessore del liner indicato come DR=100. Come accennato nel precedente paragrafo, si evidenzia che tale criterio potrebbe oggi penalizzare, anche significativamente, i produttori di liner con modulo elastico più elevato rispetto ai produttori di liner con modulo elastico inferiore. Per quanto sopra si ritiene opportuno consigliare una puntuale e attenta valutazione in fase progettuale: nel dimensionamento dello spessore del liner dovranno essere complessivamente valutate tutte le condizioni e i vincoli al contorno, non da ultimo il

sopra riportato valore dell'altezza di falda da assumere come valore di riferimento progettuale.

Per quanto concerne le condotte in pressione, la norma distingue in merito alla tipologia di posa delle condotte che possono essere o non essere interrato. Nel caso di condotte non interrate si suggerisce che le caratteristiche di dilatazione termica lineare del liner siano valutate in relazione a quelle della tubazione da rinnovare. Queste considerazioni dovranno necessariamente essere effettuate con maggiore cura nel caso in cui il liner dovrà essere incollato alla condotta, piuttosto che non posato in semplice aderenza.

Esempio di applicazione

Si consideri un condotto circolare in pressione, realizzato decine di anni fa in ghisa grigia, DN 700 e soggetto ad una pressione nominale di 5 atmosfere. In questo caso il cliente, in ragione dell'età e dell'importanza del condotto, ha chiesto la completa riabilitazione, ovvero che l'intervento sia da considerarsi completamente strutturale.

Il cliente fornisce le seguenti indicazioni per la progettazione:

- condotta in pressione, PN 5 bar;
- assenza di falda;
- ricoprimento minimo della condotta: 1.8 m;
- percentuale di ovalizzazione: 0.5 %;
- fori da chiudere: n° 10 fino a Ø 50 mm; n° 1 fino a Ø 150 mm;
- sovraccarichi di tipo stradale per ponti di 1° ca-

tegoria schematizzati secondo quanto richiesto dal DM 14 gennaio 2008 (Norme tecniche per le costruzioni – capitolo 5.1.3) considerando lo schema di carico più critico per la statica della condotta;

- coefficiente di sicurezza pari a 2;
- densità del suolo (peso di volume): 18 kN/m³;
- modulo di reazione del suolo: 10 MPa.

In questo caso si osserva, come citato in precedenza, che il modulo di reazione del suolo è effettivamente molto basso, trattandosi in linea di massima di terreno di riporto.

Per effettuare il dimensionamento statico occorre reperire alcuni dati dal costruttore del liner, che nel caso in esame sono i seguenti:

- modulo di elasticità del CIPP a lungo termine: 12000 MPa
- modulo di elasticità iniziale: 16000 MPa
- sforzo a flessione a lungo termine: 75 MPa
- sforzo a tensione a lungo termine: 50 MPa

Si esegue il **dimensionamento secondo la linea guida ASTM 1216 ovvero norma UNI 11681:2017.**

Considerando la condotta come fosse a gravità, le equazioni X1.3 e X1.4 portano rispettivamente a spessori pari a 3.5 mm e 5.5 mm. Poiché deve essere assunta la maggiore tra le due, la seconda fornisce il valore di riferimento. Tenendo conto della pressione in condotta, l'espressione X1.7 fornisce uno spessore di 6.9 mm: occorre pertanto prevedere che la calza abbia questo spessore, che domina i precedenti.

La conoscenza della presenza di fori nella condotta è importante perché, se le connessioni devono essere ripristinate, è necessario prevedere la fresatura del liner a lavoro terminato. Se però le connessioni di cui si parla saranno abbandonate, è necessario che il liner possa contrastare la pressione interna. A tal fine, occorre verificare (con l'equazione X1.5) che la dimensione del foro da chiudere sia accettabile. Nel caso in esame, questa verifica risulta positiva per i fori di 50 mm, mentre è negativa per il foro da 150 mm: questo significa che il liner sottoposto a quella pressione, dove è presente il foro di grandi dimensioni tende a strapparsi.

Occorre quindi utilizzare le equazioni X1.5 e X1.6 per pervenire al nuovo spessore della calza, che risulta essere pari a 7.4 mm. In questo caso, tuttavia, occorre chiedersi se sia effettivamente necessario aumentare lo spessore di tutto il liner, almeno per il lancio che comprende tale foro, oppure se non convenga intervenire localmente, anche mediante uno scavo (ad esempio posizionando in corrispondenza del foro uno scavo per il lancio) piuttosto che aumentare il costo di tutto l'intervento. È del tutto evidente come non esista una soluzione teorica a questo problema, ma occorre valutare caso per caso l'area nella quale si va ad intervenire e comparare i costi delle diverse soluzioni.

Uso di programmi di calcolo

Lo sviluppo dei calcolatori elettronici che si è avuto negli ultimi decenni, unitamente all'aumento delle capacità dei codici commerciali, della loro diffusio-

ne e della loro conseguente diminuzione dei prezzi, oltre alla loro sempre maggiore facilità di utilizzo, rende del tutto consigliabile l'uso: sia nel caso di sezioni non circolari, per i quali altre modalità non sono applicabili, sia anche nel caso di collettori circolari, al fine di avere una migliore valutazione delle necessità dell'opera e, quindi, procedere ad una progettazione del liner nel modo più accurato.

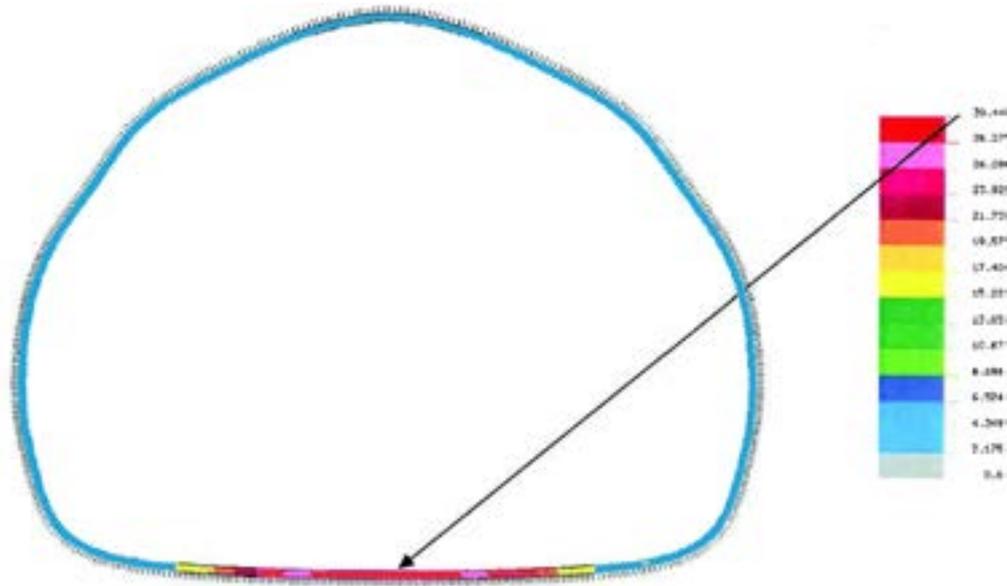
Nei più recenti programmi di calcolo, il cui costo si aggira intorno al migliaio di euro alla data alla quale si scrive, l'inserimento dei dati e le verifiche avvengono in modo completamente automatico, senza chiedere all'utente di eseguire operazioni complesse come numerare nodi, orientare o vincolare aste o elementi shell, o definire schemi di carico; occorre semplicemente disegnare la sezione in ambiente CAD ed impostare le caratteristiche dei materiali e dei carichi. Come risultato delle elaborazioni, è generalmente possibile visualizzare gli spostamenti, le deformate modali, le reazioni vincolari, gli schemi di carico, i diagrammi di sollecitazione e, a bande di colore, i valori di tutti i parametri.

In figura 4.4.5 viene mostrato il risultato del calcolo per un collettore fognario di Milano avente sezione ribassata. Il rilievo accurato eseguito avendo posto in asciutta il canale ha mostrato una forma di sezione lievemente diversa rispetto a quanto atteso e riportato nelle sezioni standard dei manuali: in particolare è risultato un fondo meno curvo, cioè più piatto; peraltro, queste differenze rispetto agli standard attesi sono piuttosto frequenti nei casi di collettori gettati in opera. In questo caso, dopo avere realizzato un rilievo preciso della sezione, ne sono state introdotte le caratteristiche geometriche

Figura 4.4.5

Andamento delle deformazioni verticali sotto l'influenza del carico.

Il fondo del canale, probabilmente per la scarsa curvatura dello stesso, risulta alquanto critico



in un programma di calcolo ad elementi finiti; sono stati quindi applicati i carichi previsti in capitolato e, date le caratteristiche del liner selezionato dall'Azienda, ne è stato calcolato il corretto spessore.

CENNI ALLA VERIFICA IDRAULICA

Il calcolo della portata transitante in un condotto fa parte del programma dei corsi di base di Idraulica, ai quali testi si rimanda per una trattazione completa del tema (per es. Citrini e Nosedà, 1976), perchè

ritengo di dover riportare solo le formulazioni minime necessarie ad eseguire le verifiche preliminari.

È anche da rimarcare come in rete si trovino gratuitamente, messi a disposizione da Enti governativi, programmi per la soluzione delle reti sia in pressione, sia a gravità, con ampia documentazione tecnica e per l'utente. In ogni caso, la Fisica ci informa che, quando si ha un moto, si hanno perdite di energia.

Il calcolo della portata transitante in un condotto si basa pertanto sul bilancio tra l'energia disponibile per la corrente (carico) e le perdite che tale energia

subisce a causa del moto. Le perdite di carico sono quindi messe in relazione con le caratteristiche cinematiche della corrente ed in particolare della velocità, unitamente alle caratteristiche del condotto stesso.

Le perdite di carico sono "distribuite" (quando si consideri l'attrito della parete del condotto) e "concentrate" (in caso di presenza di turbolenze, date da valvole, curve, salti di fondo, ecc.); espresso con le usuali formule si ha:

$$\Delta H = \sum_j l_j \cdot J_j + \sum_i a_i \cdot \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

essendo il primo addendo le perdite distribuite, il secondo le perdite concentrate.

Le perdite di carico distribuite sono calcolate come prodotto tra la cadente piezometrica J [-] e la lunghezza della condotta L [m].

Per la determinazione della cadente J sono disponibili svariate formulazioni, tra le quali la più completa è data dall'espressione di Darcy - Weisbach che vale per qualsiasi tipo di moto, sia laminare che turbolento, e si scrive come:

$$J = \lambda \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

essendo V la velocità della corrente, D il diametro della condotta e λ l'indice di resistenza.

Si deve considerare che nei casi pratici dell'Ingegneria Civile il moto è sempre turbolento e quindi

l'indice di resistenza può essere determinato con la formula di Colebrook - White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.0 \cdot \log \left(\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3.71 \cdot D} \right)$$

essendo Re il numero di Reynolds della corrente e ε la scabrezza omogenea equivalente, espressa in una lunghezza tale che il rapporto ε/D sia adimensionale.

Frequentemente si ritiene che il moto rientri nel regime di quello cosiddetto assolutamente turbolento, per cui la resistenza dipende dalla sola scabrezza del condotto (quando il numero di Reynolds è talmente alto da rendere trascurabile il primo dei due addendi dell'argomento del logaritmo rispetto al secondo). Di conseguenza è normale l'uso di formule monomie, che porgono il valore della cadente in modo diretto, senza iterazioni, tra le quali molto usata è la formula di Strickler:

$$J = \frac{V^2}{k_s^2 \cdot R^{4/3}}$$

dove k_s è il coefficiente di Strickler, dipendente dal materiale; V [m/s] è ancora la velocità della corrente e R [m] il raggio idraulico, che per condotte circolari piene vale $R = D/4$ mentre in generale è dato dal rapporto tra area della corrente e perimetro bagnato. Nella letteratura anglosassone è frequente l'uso della formula di Manning, che fa uso dell'omonimo coefficiente, frequentemente indicato con n , e che è esattamente equivalente alla precedente quando si ponga $k_s = 1/n$. I coefficienti di scabrezza si trovano tabellati in tutti i manuali tecnici, mentre quelli

per i materiali più diffusi sono riportati anche in tabella 4.5.1

Si osserva come in letteratura frequentemente le tabelle con i coefficienti di scabrezza non riportino i valori di Strickler/Manning per i materiali plastici (nella tabella 4.5.1 sono riportati tra parentesi e

con un asterisco), in quanto sono considerati tubi tecnicamente lisci: caso per il quale non è possibile il moto assolutamente turbolento e pertanto in sé non sarebbe possibile l'uso delle formule monomie.

Tuttavia, nei casi pratici, questo uso può senz'altro essere adottato.

Tabella 4.5.1
Coefficienti di scabrezza per alcuni materiali

Materiale	ϵ [mm]	k_s [$m^{1/3}/s$]
Tubazioni in acciaio bitumate	0.05	120
Tubazioni in acciaio con leggera ruggine	0.20-0.40	90
Tubazioni in acciaio con tuberculizzazione diffusa	1.00-3.00	75-70
Tubazioni in ghisa, rivestite	0.15	100
Tubazioni in ghisa, non rivestite	0.20-0.40	90
Tubazioni in ghisa con leggere incrostazioni	0.40-1.00	85-75
Tubazioni in ghisa fortemente incrostate	3.00-5.00	65
Tubazioni in lamiera saldata in buone condizioni	0.20-0.30	90
Tubazioni in lamiera saldata con incrostazioni	0.40-1.00	87-75
Tubazioni in cemento liscio	0.10-0.15	100
Tubazioni in cemento, in servizio da molti anni	0.50-2.00	70
Materiali plastici	0.00-0.02	(120-150)*

Tabella 4.5.2
Coefficients α [-] per perdite localizzate

Componente	α
Imbocco ben raccordato	0.0-0.1
Imbocco a spigolo vivo	0.5
Sbocco	1.0
Allargamento brusco	0.3-0.9
Restringimento brusco	0.4-0.6
Curve a 90° con raggio di curvatura	0.2-0.4
Curve a 45° con raggio di curvatura	0.1-0.2
Curve a 90° a spigolo vivo	2.2
Curve a 45° a spigolo vivo	0.4
Valvole a sfera completamente aperte	0.6
Valvole a farfalla completamente aperte	0.6
Saracinesche completamente aperte	0.15

Le perdite di carico concentrate vengono normalmente espresse per mezzo di un coefficiente di proporzionalità α [-] dell'altezza cinetica; questo coefficiente è funzione delle caratteristiche geometriche della singolarità che provoca la perdita di carico e si trova su tabelle riportate sulla gran parte dei manuali tecnici, dove si riscontra come abbiano valori in gran parte inferiori ad uno, mentre raramente superano il valore di due. Alcuni di questi coefficienti sono riportati in tabella 4.5.2.

Per motivi tecnici, è noto che l'intervallo dei valori di velocità in condotta è opportuno che sia compreso tra 0.5 e 2 m/s. A questo intervallo è corrispondente quello delle altezze cinetiche, che quindi ha come estremi 1 e 20 cm. Ne consegue, come nel caso delle reti idriche, che le perdite di carico concentrate siano usualmente trascurate, perché le sole variazioni del pelo libero del serbatoio possono essere dell'ordine delle decine di centimetri; inoltre, i dislivelli (prevalenza geodetica) possono essere di decine di metri e dello stesso ordine di grandezza sono anche le perdite di carico distribuite. Si comprende pertanto come un'approssimazione di pochi centimetri sia generalmente ininfluenza, o comunque considerato nelle incertezze della valutazione del coefficiente di resistenza distribuita.

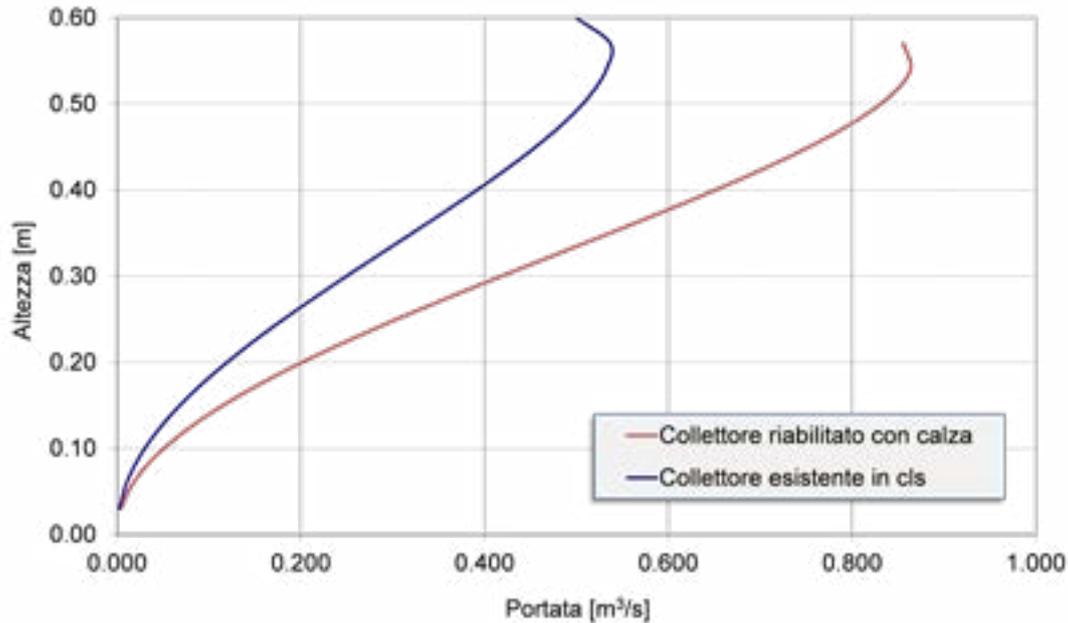
Considerando quindi trascurabile l'effetto delle perdite di carico concentrate, in figura 4.5.1 si riporta la scala delle portate ottenuta per un condotto a gravità di diametro 60 cm in calcestruzzo degradato, quando rivestito con una calza di spessore 7 mm.

La pendenza è pari allo 0.8%. In accordo con la tabella 4.5.1 si considera calcestruzzo non finito e quindi un coefficiente di Strickler pari a 70 m^{1/3}/s, mentre per il prodotto rivestito si assume un coefficiente di 120 m^{1/3}/s. Si osserva immediatamente come la portata transitabile nel condotto aumenti considerevolmente anche se il diametro dello stesso si è lievemente ridotto.

Ovviamente, per collettori di dimensioni maggiori la riduzione del diametro assume un valore relativo sempre minore, mentre la riduzione della scabrezza ha sempre il medesimo effetto positivo.

Figura 4.5.1

Confronto tra le scale delle portate di un condotto prima e dopo la riabilitazione con calza



Occorre tuttavia mettere in luce il fatto che quella sopra riportata potrebbe non risultare la reale scabrezza del condotto finito. La normativa impone infatti che nelle condotte diritte l'inserzione della calza non deve introdurre singolarità maggiori rispetto a quelle presenti nel condotto ospite, ed in particolare non devono eccedere la minore tra le due condizioni:

- *il 2% del diametro nominale*
- *6 mm*

In altri termini, questo significa che il materiale può

avere scabrezza bassa, ma se sono presenti grinze distribuite, l'effetto della forma del liner influisce sulla scabrezza complessiva del prodotto, che se posato male potrebbe non essere liscio come previsto dalla teoria e quindi condurre a maggiori perdite di carico; in altri termini, mentre il materiale è tecnicamente liscio ($\epsilon=0$), se fossero presenti increspature per tutta la lunghezza del condotto, la loro dimensione aumenterebbe la scabrezza per cui, ad esempio, la presenza di increspature diffuse di altezza 1 mm riporterebbe la scabrezza del condotto pari a quella delle tubazioni in cemento armato in servizio da molti anni (cfr. tabella 4.5.1).

CANTIERE E COLLAUDI

ISPEZIONI INIZIALI

Tenendo conto di quanto è stato detto precedentemente in merito alle ispezioni e alla loro necessità per avviare ad una corretta progettazione dell'intervento, prima di procedere con l'installazione del liner occorre effettuare una nuova ispezione che abbia i seguenti obiettivi:

- *verifica del diametro del condotto e che questo corrisponda alle dimensioni del liner;*
- *definizione della posizione delle eventuali valvole e di altri ostacoli;*
- *verifica di eventuali variazioni di diametro nel percorso;*
- *individuazione di curve o angoli nel percorso stesso;*
- *determinazione di eventuali acque di infiltrazione;*
- *presenza di accumuli nelle eventuali concavità;*
- *determinazione della posizione degli allacci delle derivazioni;*
- *presenza di ovalizzazione;*
- *presenza di tratti di condotte danneggiate;*
- *verifica dell'eventuale necessità di ulteriori lavori di scavo.*

In questo modo è possibile pianificare nel migliore dei modi la preparazione del condotto, la posa del liner e la rimessa in attività dei condotti riabilitati.

Questa ispezione dovrebbe essere condotta a seguito dei lavori di pulizia della condotta, descritti nel paragrafo "Preparazione della condotta", in modo che gli eventuali difetti non risultino "nascosti" dalla presenza dei depositi.

Il Direttore dei Lavori dovrà altresì controllare che tutto il materiale pervenuto sia conforme a quanto dichiarato dalla Ditta in sede di gara e debitamente certificato dalla Società produttrice.

OPERAZIONI DI CANTIERE

Preparazione della condotta

Innanzitutto occorre valutare la presenza di acqua di infiltrazione, presente se la falda è sufficientemente alta. In alcuni casi è possibile procedere anche in presenza di falda, prestando attenzione a che la temperatura sia mantenuta uniforme durante il processo di catalizzazione e che la pressione interna sia sufficiente a mantenere nella corretta forma il prodotto prima dell'indurimento.

Tuttavia, occorre tener presente che la presenza di acqua di falda durante la costruzione del nuovo tubo comporta un certo numero di rischi e, pertanto, è da valutare la preventiva impermeabilizzazione del condotto esistente con prodotti appositi, in caso di ingressi importanti e localizzati.

I rischi derivanti dalla presenza di acqua di falda sono molteplici. Se, ad esempio, si forma una sacca di acqua che rimane intrappolata tra vecchia condotta e liner che non si riesce a eliminare, questa comporta una deformazione del prodotto finale. Si consideri anche che l'acqua potrebbe provocare

il trascinarsi di terra o sabbia all'interno della condotta, andando anch'essa a deformare il prodotto finale. Qualora il pre-liner fosse danneggiato, ciò che non si riesce a verificare una volta iniziato il processo di inserimento del liner, l'acqua andrebbe a diretto contatto con la resina, che ne risulterebbe localmente danneggiata e, con essa, ne risulterebbe danneggiato anche il prodotto finale, con perdita di impermeabilizzazione o, nei casi peggiori, addirittura con la mancata polimerizzazione locale.

Anche il semplice raffreddamento locale del liner durante la fase di polimerizzazione, che si ha quando lo stesso è a contatto con l'acqua di falda, comporta dei rischi. È pur vero che tale problema potrebbe essere superato allungando i tempi del riscaldamento, ma in questo caso si passa da una procedura certificata e collaudata ad una procedura basata sul buon senso; il grado di polimerizzazione in quel punto non è più determinato e le caratteristiche meccaniche e di tenuta del liner in quel punto non sono più garantite. Se poi alla presenza di acqua di falda si aggiunge una polimerizzazione a vapore e un avvallamento della condotta, nel quale si raccolgono le acque di condensa, la situazione è peggiorata in quanto il raffreddamento del liner avviene anche dall'interno.

Per tutti questi motivi le regole di buona esecuzione dei lavori prevedono di eliminare le entrate di acqua di falda nella condotta prima di eseguire qualsiasi risanamento con tecnologie C.I.P.P. A tal fine possono utilmente essere impiegati impianti di well-point, per il dimensionamento dei quali, peraltro non particolarmente complesso, si rimanda a testi specializzati.

Il liner di massima, inoltre, le difettosità locali dovrebbero essere corrette. Ad esempio, si possono essere verificati dei crolli localizzati, per cui è impossibile effettuare il relining con calza e occorre sistemare puntualmente, eventualmente con metodologie di scavo, la condotta crollata. Gli allacci mal raccordati, come visibile nella figura 5.1.1, devono essere fresati in modo che la superficie sulla quale sia posato il liner risulti adeguatamente liscia.

Figura 5.1.1

Allaccio che entra nel collettore di fognatura:
difettosità locale da sistemare



Precisamente, dovrebbero essere previsti i seguenti lavori preparatori nella condotta:

- *asporto delle malte ammalorate dalla parete;*
- *in caso di collettori fognari, asporto di eventuali piastrelle non fisse, che potrebbero muoversi durante l'inserimento della pellicola di protezione;*
- *taglio o levigatura di tutte le parti sporgenti;*

- eventuali lavori di modifica nei pozzetti o anche in condotta;
- chiusura di tutti i fori e lisciatura di angoli attraverso applicazione di malte speciali;
- sistemazione delle zone di innesto degli allacci laterali così che il liner non si deformi e possa essere adeguatamente sigillato.

Il condotto deve essere pulito internamente prima dell'installazione. A seconda del materiale del tubo e del grado di intasamento, ci sono molti metodi che possono essere utilizzati: i lavori di pulizia sono in generale eseguiti idrodinamicamente mediante autospurghi di capacità e potenza adeguate, dotati di utensili di vario genere in funzione delle necessità. L'asportazione dei sedimenti deve essere tale da consentire la corretta e duratura applicazione dei materiali impermeabilizzanti. In certi casi può risultare necessaria l'asportazione meccanica dei sedimenti.

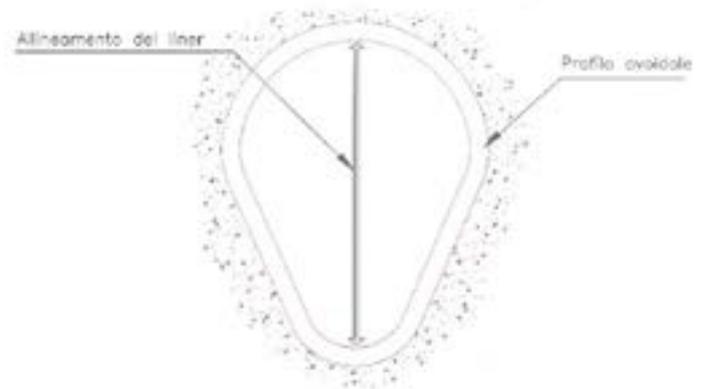
Prima dell'installazione del liner vero e proprio, spesso viene inserito un pre-liner, che ha lo scopo di evitare il danneggiamento del liner quando quest'ultimo viene inserito; il pre-liner, in altri termini, esercita un'azione di protezione limitatamente alla fase di installazione e non ha alcun effetto durante la vita del liner. La presenza del pre-liner deve essere dichiarata dall'Appaltatore in fase di gara e, nel caso sia prevista, da parte del Direttore dei Lavori deve esserne verificata la posa.

Quando si proceda con un inserimento a inversione in condotte non circolari, è necessario prestare attenzione a che l'allineamento del liner sia nella direzione della massima dimensione, come visibile nella figura 5.1.2, redatta per un condotto ovoidale.

Questo allineamento ha lo scopo di ridurre i rischi di avere spazi tra il liner ed il vecchio tubo e, allo stesso modo, di ridurre la presenza di grinze.

Figura 5.1.2

Allineamento del liner per una condotta ovoidale



Quando, invece, si preveda la polimerizzazione UV, la posa di un piano di scorrimento preliminare alla trazione del liner è obbligatoria. Una volta che il liner è in posizione, alle due estremità vengono applicati dei "packer" che permettono di mettere in pressione ad aria la tubazione.

Sul camion è presente un compressore che soffiando aria calda e secca all'interno del liner lo mette in pressione facendolo aderire perfettamente alle pareti della tubazione. Il treno di lampade viene introdotto attraverso i packer, mantenendo il liner in pressione.

Ture e diversioni

È del tutto evidente come, durante i lavori di riabilitazione della condotta, le acque che in essa sono normalmente defluenti debbano essere deviate.

Nel caso di un condotto acquedottistico, se la rete è sufficientemente magliata, la semplice chiusura delle valvole a monte e a valle del tratto da risanare può essere sufficiente: l'acqua può essere costretta a percorrere un tratto più lungo, prima di arrivare all'utente, il che comporta una perdita di carico maggiore e quindi una pressione lievemente inferiore; questo, però, raramente costituisce un problema. Ovviamente invece, se nel tratto da risanare sono previsti degli allacci di utenza, questi devono essere alimentati mediante un collettore, anche temporaneo, di by-pass.

Per i collettori fognari si possono avere differenti situazioni. In una città come Milano, con bassi dislivelli locali, una rete fortemente magliata e grandi volumi a disposizione, le acque nere occupano una sezione alquanto ridotta rispetto a quella disponibile e in molti casi risulta possibile semplicemente interrompere la corrente d'acqua mediante opportuni dispositivi, affinché si distribuisca per le condotte alternative senza dover predisporre alcuna ulteriore opera accessoria.

In altri casi, soprattutto quando le pendenze non sono trascurabili o le reti non sono fortemente magliate, è invece necessario provvedere alla realizzazione di impianti di by pass, come mostrato nella figura 5.2.1. In questa figura è mostrata la presenza di una tura, costituita da un pallone gonfiabile te-

nuto in forma da un compressore posto all'esterno, e da un condotto di by-pass funzionante a gravità. In certi casi, il funzionamento a gravità non è sufficiente ad assicurare il corretto allontanamento delle portate in arrivo, e pertanto può risultare necessario il posizionamento di una piccola pompa. Occorre rilevare comunque come in generale le portate da allontanare non siano eccessivamente elevate in quanto si tratta di acque nere, e pertanto come la pompa da installare sia, in linea di massima, di dimensioni del tutto ragionevoli. In caso di pioggia, o di previsioni di pioggia, non è opportuno procedere alle lavorazioni e, qualora le ture fossero già state installate, occorre procedere al loro smantellamento prima dell'arrivo dell'onda di piena.

Se nel tratto da risanare vi sono degli allacciamenti di utenze che non possono essere disattivati durante il tempo necessario alla riabilitazione, occorre prevedere anche qui la realizzazione di adeguati impianti di by pass. In caso di un numero ridotto di allacci nel tratto di posa, è anche possibile semplicemente posizionare un autospurgo in corrispondenza delle ispezioni prima dell'allaccio in fognatura. In generale, comunque, le operazioni da effettuare sono le seguenti:

- *otturazione degli scarichi dalla parte dell'utente mediante l'inserimento, dalla braga, di idonei palloni otturatori;*
- *chiusura con palloni o ture degli stessi scarichi in condotta, se questo venisse ritenuto opportuno dal direttore di cantiere;*
- *creazione di una tubazione provvisoria di collettamento, collegata tramite ulteriori tubazioni, o punti accessibili ai mezzi;*

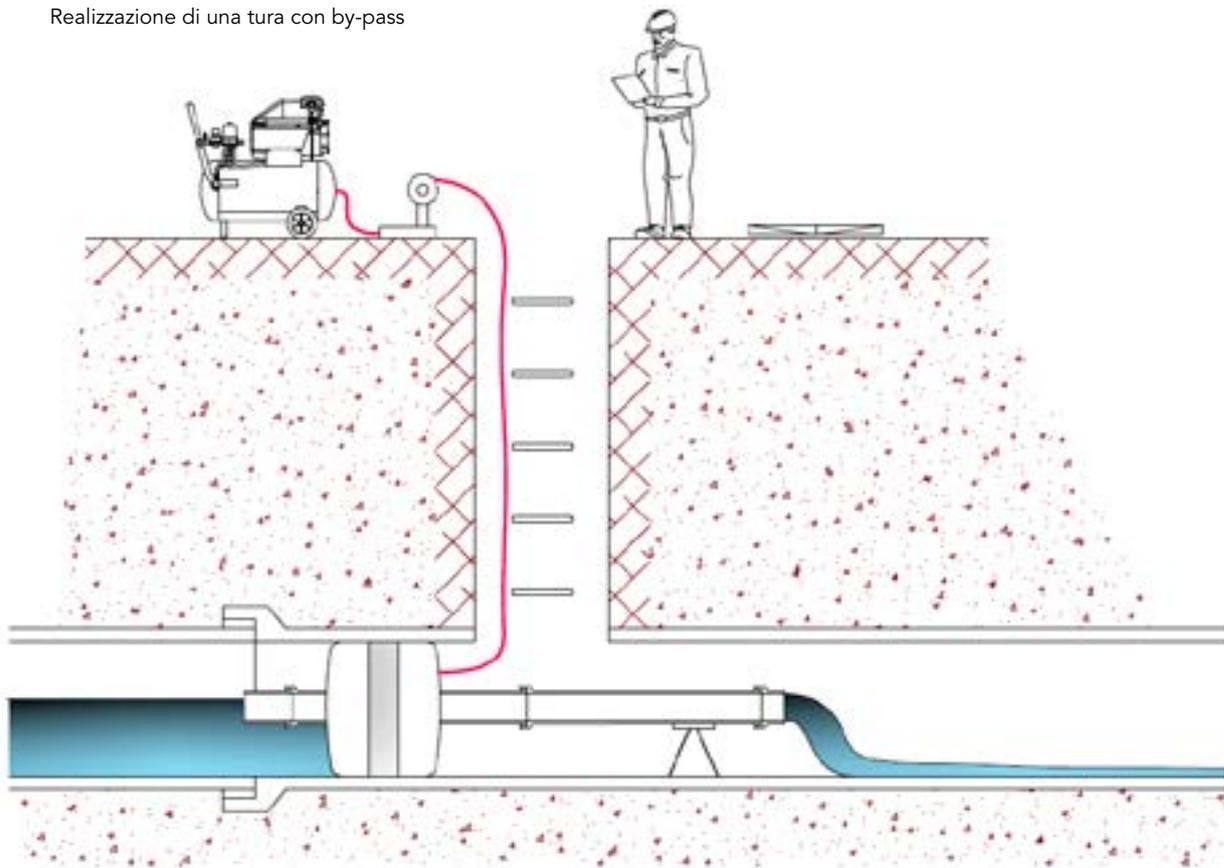
- *mantenimento del funzionamento degli scarichi con il periodico passaggio di autobotti aspiranti che mantengano vuoti i pozzetti;*
- *al termine delle operazioni di relining e una volta riaperti gli allacciamenti in condotta, rimozione dei palloni otturatori e delle tubazioni utilizzate, ripristinando lo stato dei pozzetti utilizzati.*

PROVE E COLLAUDO

Per quello che riguarda questo tema, occorre qui fare riferimento a due ben diverse tipologie di prove di collaudo. Innanzi tutto il collaudo sui condotti deve avvenire seguendo le procedure che si seguono

Figura 5.2.1

Realizzazione di una tura con by-pass



no per i tubi di nuova posa; oltre a ciò, occorre effettuare anche le prove specifiche per la tecnologia adottata.

Per quello che riguarda la prima tipologia di prove, nel caso di condotte di drenaggio occorre fare riferimento alla norma UNI EN 1610 che indica la corretta procedura per effettuare le prove di tenuta e in particolare pone i limiti di massima perdita di volume d'acqua per 30 minuti di prova ad un valore di pressione definito, in termini di colonna d'acqua, dal valore del carico che si ottiene riempiendo la condotta fino al livello del terreno del pozzetto più a monte o più a valle, con un valore massimo di 5 m e uno minimo di 1 m calcolato dal fondo del condotto. Si mantiene tale pressione, con tolleranza di 0.1 m, aggiungendo acqua se necessario e ammettendo le seguenti perdite in funzione del tratto analizzato:

- 0.15 l/m² per i tratti di condotte;
- 0.20 l/m² per i tratti di condotte comprendenti anche pozzetti;
- 0.40 l/m² per i tratti di condotte comprendenti anche pozzetti e camere di ispezione.

La sopra citata norma ammette che la prova di tenuta sia effettuata anche ad aria, descrivendone le caratteristiche.

Per le condotte in pressione, occorre considerare la UNI EN 805 che prevede che la pressione di prova STP sia determinata:

- *nel caso non sia calcolato il colpo d'ariete, come minima tra le due:*

$$\begin{cases} STP = 1.5 \cdot PN \\ STP = PN + 5 \text{ bar} \end{cases}$$

- *nel caso sia calcolato il colpo d'ariete, la sovrappressione deve avere valore minimo di 2 bar e la pressione di prova è determinata a partire dalla massima pressione di progetto + 1 bar.*

Durante l'esecuzione dell'opera, come già descritto nel capitolo 4, devono essere raccolti i dati di pressione e temperatura nel tempo, per tutta la fase di polimerizzazione. Un collaudo visivo (videoispezione) è sempre previsto al termine della posa di ciascun tratto.

RACCOLTA DEI CAMPIONI PER LE PROVE DI LABORATORIO

“Come accennato, per i liner sono necessarie altre prove, descritte brevemente nel paragrafo Materie in stato “I”. I campioni devono essere raccolti, se possibile, da un pozzetto intermedio; se non sono presenti pozzetti intermedi il campione dovrà essere preso dal pozzetto finale. Si sottolinea l'importanza di prendere campioni per ciascun lancio effettuato: infatti, anche se la Ditta è la medesima e le condizioni di impregnazione o trasporto non cambiano, cambiano sempre le condizioni di posa.

Può capitare che in un certo giorno le temperature siano differenti, o che ci sia stato un inconveniente nell'installazione, od altro. Tutte le volte che si effettua una installazione, quindi, si costruisce, di fatto, un nuovo condotto, che deve essere adeguatamente

controllato. Occorre rilevare come, in assenza del tubo esistente che contiene l'espansione del liner, nei pozzetti questo tende ad estendersi e a deformarsi; è evidente come un campione preso da una parte di liner deformato non possa essere considerato adeguatamente rappresentativo del lavoro effettuato. In figura 5.4.1 viene pertanto mostrata la preparazione dei pozzetti, che consiste nel fissare una lamina metallica o un condotto avvolto a spirale in modo da impedire l'espansione del liner. In caso di posa di pre-liner, anche questo elemento deve essere inserito nel contenimento.

Al termine della polimerizzazione, il contenimento viene rimosso e il liner tagliato come prescritto dalla normativa e inviato al laboratorio autorizzato per le analisi. I campioni devono avere un raggio di curvatura sufficientemente uniforme per garantire la consistenza della prova di compressione a tre punti descritta dalla UNI EN ISO 11296-4, alla quale si rimanda per maggiori dettagli. In ogni caso, la massima freccia non dovrebbe superare il 10% della lunghezza, in proiezione orizzontale, del campione. La suddetta lunghezza del campione, in proiezione orizzontale, deve essere pari ad almeno 16 ± 1 volte lo spessore del liner, anche se ci sono eccezioni indicate dalla normativa citata. La larghezza del

campione deve essere pari a 50 ± 1 mm, trattandosi di condotti cilindrici. Lo spessore del liner deve essere determinato in accordo con la ISO 3126 e in particolare, ogni eccesso di resina, se presente, deve essere eliminato, senza tuttavia intaccare la struttura del materiale di supporto; la misura deve essere fatta con strumentazione che garantisce la precisione di ± 0.01 mm e se ci sono difformità rispetto al valore medio dello spessore superiori al 10%, il campione deve essere scartato.

“Dal campione prelevato devono poter essere ricavati almeno cinque provini; il campione deve essere inviato al laboratorio di prova adeguatamente protetto dagli agenti atmosferici, e in particolare dai raggi solari e dall'acqua; i provini devono essere etichettati con le seguenti informazioni:

- *nome della società installatrice*
- *nome della società produttrice dei materiali*
- *nome del sito di costruzione*
- *data di raccolta del campione*
- *diametro del condotto*

Per l'elenco delle prove e le relative aspettative si faccia riferimento al paragrafo Materiale in stato I ed alla già citata norma UNI EN ISO 11296-4.

Figura 5.4.1

Preparazione dei pozzetti per la presa dei campioni di prova; a sinistra un pozzetto finale, a destra un pozzetto intermedio



OPERAZIONI DI MANUTENZIONE

L'attività principale di manutenzione sui condotti fognari consiste nello spurgo, ovvero nell'eliminazione dei depositi che si accumulano nel tempo. Queste operazioni sono normalmente effettuate mediante lavaggi ad alta pressione e mediante mezzi meccanici. Il rischio di tale operazioni consiste nel danneggiare il liner appena posato utilizzando malamente i suddetti mezzi meccanici ovvero pressioni del getto di spurgo non consone.

Le verifiche da effettuare e le relative certificazioni sono descritte nella normativa tedesca DIN 19523 (non esistono prove simili in altre normative) che prevede 60 cicli di pulizia con 75 bar di pressione ed una portata di 280 l/min, con una distanza dal liner e un angolo di incidenza anch'essi ben definiti.

La società che installa il liner, in ogni caso, dovrà certificare quale sia il valore massimo di pressione che potrà essere utilizzato per la pulizia e tutte le certificazioni che dovranno essere richieste alla ditta di spurghi che dovrà eventualmente intervenire, oltre alla massima frequenza con la quale tali spurghi potranno essere effettuati, al fine di assicurare alle condotte la vita utile di progetto.

Tale frequenza dovrà essere valutata come equilibrio tra la necessità di evitare l'eccessivo accumulo e compattazione del materiale, che imporrebbe una pulizia più energica, e una pulizia troppo frequente che potrebbe danneggiare direttamente il liner.

La pulizia deve essere effettuata con utilizzo di attrezzature certificate CE e con regolare registro di manutenzioni e controlli di efficienza; con portate all'ugello compatibili con quanto dichiarato e certificato dall'in-

stallatore del liner e ugelli di fabbricazione a qualità controllata e aspirazione contestuale di portata almeno sufficiente a non creare "onde" di decantazione in linea durante l'operazione. La ditta che esegue la pulizia, infine, dovrà operare con proprio personale specializzato e formato per operare su condotte rinnovate mediante CIPP.

La prima verifica delle condizioni del liner posato, in ogni caso, dovrebbe essere effettuata entro un periodo di due/tre anni, per valutare il funzionamento e mettere in luce gli eventuali difetti o criticità che l'esercizio della condotta ha potuto evidenziare.

Nel caso di acquedotti, il liner non deve essere sensibile agli agenti battericidi utilizzati per la disinfezione dell'acqua potabile, quali ipoclorito di sodio o biossido di cloro.

Ulteriori casi di manutenzione possono consistere nell'esecuzione di nuovi allacci. L'impresa che deve eseguire l'allaccio deve essere preventivamente informata della presenza del liner, che è in adesione all'interno della parete del condotto esistente.

Deve pertanto effettuare lo scavo fino alla parete esterna del condotto, quindi procedere alla demolizione della muratura del canale esistente mediante attrezzatura di piccole dimensioni (o carotatrice se applicabile) fino al raggiungimento del liner; il liner viene quindi perforato con il macchinario apposito, uguale a quello utilizzato per il taglio dei condotti in vetroresina.

La sigillatura tra allaccio e liner viene quindi eseguita dall'esterno con resine o malte espansive, ad evitare il ritiro del materiale e conseguenti possibili perdite.

Nel caso di condotti in pressione, una volta operata la foratura della condotta, occorrerà montare, dall'esterno, un innesto meccanico che funge altresì da guarnizione che blocchi il liner contro la parete del condotto pre-esistente ed eviti infiltrazioni di acqua. Oltre al blocco meccanico, indispensabile per le condotte in pressione, occorrerà anche procedere alla sigillatura con resine espansive.

Qualora la dimensione dell'innesto sia molto elevata e non consenta di operare dall'esterno (tipicamente per derivazioni di diametro superiore a 150 mm, ma anche in questo caso dipende dal costruttore, tenendo anche presente che si tratta di un settore in rapida evoluzione), occorre procedere allo scavo, al taglio della condotta e all'inserimento di un nuovo tronchetto del tipo di quelli descritti nel paragrafo "Pozzetti" al quale si rimanda.





**APPENDICE A:
BREVI RICHIAMI
SULLE CARATTERISTICHE
DELLE RESINE**

A.1 INTRODUZIONE

Con resina artificiale si intende un materiale viscoso, di aspetto simile alla resina vegetale, capace di indurirsi a freddo o a caldo. Si tratta in genere di un'ampia classe di differenti e complessi polimeri, che si possono ottenere con una grande varietà di metodi e materie prime.

Un polimero è una macromolecola, ovvero una molecola dall'elevato peso molecolare, costituita da un gran numero di gruppi molecolari (detti unità ripetitive) uguali o diversi, uniti "a catena" mediante la ripetizione dello stesso tipo di legame.

Le **resine poliestere** costituiscono una famiglia assai differenziata di resine sintetiche. Si presentano in forma liquida più o meno viscosa, di colore giallo paglierino; induriscono per mezzo di catalizzatori e le loro caratteristiche meccaniche possono essere cambiate aggiungendo additivi. Le resine poliestere insature sono soluzioni di un poliestere insaturo solido sciolto a caldo all'interno di un monomero solvente: nella maggior parte dei casi tale solvente è lo stirene.

Per effetto di cause esterne (luce o calore sono quelle utilizzate nel settore di cui trattiamo) i legami vengono ad essere attivati e reagiscono; questa reazione porta alla formazione di una catena ramificata con le catene di poliestere unite da più ponti di monomero. In altri termini, questa reazione porta alla formazione della struttura reticolare, con una velocità legata al grado di insaturazione della resina poliestere e con la temperatura alla quale avviene il processo.

La densità della reticolazione dipende dalla distanza dei doppi legami presenti nelle catene lineari del prodotto insaturo: tale caratteristica si ottiene, dal punto di vista chimico, in diversi modi: ma dal punto di vista dell'operatore variando la qualità e i rapporti qualitativi dei singoli componenti. Tali variazioni portano ad ottenere resine poliestere insature (il prodotto finale) con caratteristiche molto diverse tra loro. È pertanto fondamentale che la miscelazione dei componenti e il processo di catalisi avvengano in modo estremamente controllato. Occorre anche rilevare che il processo di polimerizzazione, per queste resine, avviene in una fase unica: se in questa fase le caratteristiche del processo non sono rispettate rigorosamente, la polimerizzazione avviene solo parzialmente.

Le **resine vinilestere** sono prodotte per esterificazione di un prepolimero epossido con un acido carbossilico insaturo. Il prodotto di reazione è un prepolimero telechelico che contiene un doppio legame nella catena chimica, che viene in seguito disciolto in un solvente vinilico come lo stirene a una concentrazione compresa tra il 35 e il 45 per cento in massa. La reazione avviene per polimerizzazione radicalica nel corso della quale i doppi legami degli stireni reagiscono tra loro e con i doppi legami di ogni prepolimero. Queste resine sono utilizzate come matrice per materiali compositi che hanno generalmente per rinforzo fibre di vetro. Sono talvolta considerati una buona alternativa agli adesivi poliesteri insaturi e ai poliepossidi.

Nel presente testo, le resine poliestere e vinilestere sono trattate in modo analogo in quanto non presentano grandi differenze, per quanto riguarda la cata-

lisi. Entrambe, almeno in passato, hanno come componente fondamentale lo stirene, che è un prodotto tossico, come si vedrà in breve. Per questo motivo attualmente si cerca di produrre resine che non contengano questo prodotto.

Lo stirene (noto anche come stirolo, feniletilene o vinilbenzene) è un idrocarburo aromatico. A temperatura ambiente è un liquido oleoso trasparente dal forte odore dolciastro; è tossico, infiammabile, insolubile in acqua. Nel caso di resine che impieghino come solvente lo stirene, nelle applicazioni si avverte un forte odore, fastidioso, che deve essere contenuto soprattutto se si lavora in zone residenziali. Occorre comunque notare che anche per i lavoratori devono essere prese opportune precauzioni.

L'esposizione già a concentrazioni di 200-400 ppm causa irritazione delle mucose congiuntivali e nasali e frequentemente cefalea, vertigini, sonnolenza, turbe della memoria diminuzione dei riflessi. Il contatto con la fase liquida provoca problemi alla pelle.

Inoltre, lo stirene è stato riconosciuto ufficialmente come cancerogeno dal XII rapporto sui cancerogeni, pubblicato il 10 giugno 2011 dal Dipartimento Statunitense di salute, Programma Tossicologico Nazionale.

Le **resine epossidiche** sono polimeri termoindurenti ottenuti da monomeri che contengono l'anello epossidico a tre atomi. Questa categoria di resine è la più utilizzata per la realizzazione di materiali compositi avanzati, ottenuti mediante la combinazione della resina con delle fibre. Le resine epossidiche sono vetrose a temperatura ambiente e vengono quindi

miscelate con diluenti per abbassare la viscosità a livelli adeguati per l'impregnazione delle fibre. La viscosità di una resina epossidica senza diluente può variare moltissimo, da liquido a solida. Il processo di polimerizzazione è notevolmente diverso da quello di altre resine, infatti vengono usati induritori.

Le resine epossidiche sono dotate di caratteristiche fisiche superiori e tempi di reazione più brevi rispetto alle poliesteri e alle vinilesteri, ma il loro prezzo è più elevato. In particolare, e per gli scopi del presente lavoro, occorre segnalare come il processo chimico della resina epossidica sia in grado di continuare anche a temperatura ambiente e dopo che si sia smontato il cantiere; utilizzando questa tipologia di resine, quindi, si riesce a raggiungere l'obiettivo con maggiore facilità, pure se si tratta di una condizione non ideale in quanto la polimerizzazione avverrebbe in modo non conforme alle indicazioni del costruttore.

A.2 RESINE SENZA STIRENE

Le resine poliesteri insature sono note e utilizzate già dal XIX secolo; originariamente, però, si trattava di resine poliesteri insature con basse velocità di reazione, solide o ad alta viscosità. La svolta è avvenuta a seguito dei lavori di Carleton Ellis (1935) che dimostrarono come l'aggiunta di monomeri insaturi liquidi, come lo stirene, consentivano la produzione di resine in grado di polimerizzare a velocità venti o trenta volte maggiore, partendo da una sostanza avente una viscosità decisamente bassa e quindi molto più facile da lavorare. Gli alti costi iniziali necessari per la produzione di questo materiale si

abbatterono rapidamente grazie all'elevato volume di prodotto realizzato. Le resine per le applicazioni CIPP sono presenti già dall'inizio degli anni Settanta, e ad oggi sono state risanate moltissime condotte con questa tipologia di materiale. Peraltro, i test hanno dimostrato che l'uso di tali resine non costituisce un significativo rischio per la salute dei lavoratori o per il pubblico, dato che il livello di esposizione è ben al di sotto dei valori soglia stabiliti dall'americana Occupational Safety & Health Administration. Rimane comunque il fastidio per i residenti, dato che l'odore è fortemente percepibile, e il problema dello smaltimento delle acque di processo.

Il mercato presenta comunque un'ampia varietà di prodotti che possono essere utilizzati invece dello stirene nelle resine poliesteri e vinilesteri insaturi. La scelta del monomero adatto è influenzata dalle esigenze dell'applicazione, tra le quali le seguenti:

- *adeguate proprietà meccaniche. La scelta di un monomero reattivo ha un impatto sulle caratteristiche meccaniche della resina composta. In particolare, per le applicazioni CIPP, devono essere considerate le proprietà in presenza di acqua;*
- *adeguata resistenza alla corrosione. Qualsiasi resina utilizzata in applicazioni CIPP deve soddisfare i requisiti ASTM, o quelli indicate dalle specifiche stabilite dalla Stazione Appaltante;*
- *adeguate velocità di polimerizzazione e stabilità. Alcuni prodotti si induriscono troppo lentamente, e questo può essere un potenziale problema con le applicazioni CIPP. Analogamente, il prodotto finito deve avere garanzia di stabilità;*
- *problemi di odore. La scelta del monomero ha influenza sulla produzione di odore durante la*

fase di indurimento;

- *potabilità. Ovviamente, nel caso di applicazioni per acquedotti, il prodotto finale deve essere certificato per l'uso con acqua potabile. D.M. 174 del 06/04/2004.*

In particolare, si osservi che la soglia di odore per la percezione dello stirene è di 0.32 ppm (William Moore, 2011).

A.3 RESISTENZA A LUNGO TERMINE

Il materiale di cui si tratta ha un comportamento differente rispetto agli usuali materiali da costruzione, essendo di tipo viscoelastico, cioè con un comportamento reologico intermedio tra i materiali puramente viscosi e i materiali elastici. Nel caso dei materiali viscoelastici, la viscosità, intesa come costante di proporzionalità tra sforzo e velocità di deformazione, dipende dalla velocità di deformazione e quindi dal tempo. La viscosità di un materiale viscoelastico è costituita da due contributi:

- *la viscosità propriamente detta (shear viscosity), che è il rapporto tra gli sforzi tangenziali e la velocità di deformazione;*
- *la viscosità elongazionale (extensional viscosity o elongational viscosity), che è il rapporto tra gli sforzi normali e la velocità di deformazione.*

In questi materiali, per sollecitazioni di breve durata, il comportamento è di tipo elastico: questa deformazione è recuperata non appena si termina la sollecitazione. Se però lo sforzo si mantiene co-

stante, la deformazione cresce con il tempo; tale fenomeno è detto "scorrimento viscoso" (creep). Viceversa, se si mantiene costante la deformazione, lo sforzo decresce con il tempo; tale fenomeno è detto "rilassamento degli sforzi".

L'entità del fenomeno dello scorrimento viscoso, che si manifesta anche per bassi livelli di sollecitazione applicata, dipende dal tempo, dalla temperatura e dallo sforzo.

Tale deformazione, di tipo viscoso, è recuperata in un tempo maggiore. È anche possibile che, applicando una sollecitazione per una lunga durata, la deformazione risulti irreversibile; questa deformazione, di tipo plastico, come detto non è recuperabile.

Inoltre, la rigidità del materiale dipende dalla velocità di applicazione del carico; ed infine, se viene applicato un carico ciclico, avviene un'isteresi (un ritardo periodico), con conseguente dissipazione (sotto forma di calore) di energia meccanica.

A.4 PROVE A 10.000 ORE

Il valore di sforzo massimo che il materiale può sopportare a 20 °C dopo un tempo di installazione di 50 anni viene determinato mediante prove eseguite per 10.000 ore (oltre un anno) misurando il tempo necessario per provocare la fessurazione.

Applicando una pressione costante P all'interno del condotto di diametro D e di spessore e , lo sforzo σ nel materiale si può calcolare con la formula di Ma-

riotte (ad esempio Citrini Nosedà, 1976, anche per la discussione sulle ipotesi di validità):

$$\sigma = \frac{P \cdot D}{2 \cdot e}$$

La normativa UNI EN ISO 9080:2012 che definisce le modalità di prova (prevedendo l'uso di un'espressione per il calcolo della pressione formalmente leggermente diversa da quella riportata sopra, ma sostanzialmente equivalente) indica che per ciascuna prova devono essere effettuate almeno 30 osservazioni per ciascun campione.

La stessa normativa prevede che si operi a diverse temperature, anche più elevate rispetto a quelle dell'effettivo esercizio: il motivo è che l'incremento della temperatura aumenta la mobilità molecolare e pertanto accelera i fenomeni viscoelastici a parità di tempo di osservazione.

Le curve di regressione che si ottengono possono essere del tipo mostrato in figura A.1, in cui il materiale ha un cedimento dopo cinquanta anni, stimato, per rottura cosiddetta duttile (cfr. Pavan Frassinè, 2006), ovvero con una deformazione a bolla nella zona di cedimento.

È altresì possibile un altro tipo di rottura, cosiddetta fragile, quando un difetto si propaga lentamente attraverso lo spessore della parete fino a divenire passante; in questo caso non si hanno deformazioni macroscopiche del materiale dove si ha la frattura. La curva di regressione del materiale aumenta la propria pendenza, assumendo la forma della figura A.2.

Figura A.1
Curve di regressione per prove a 10000 ore

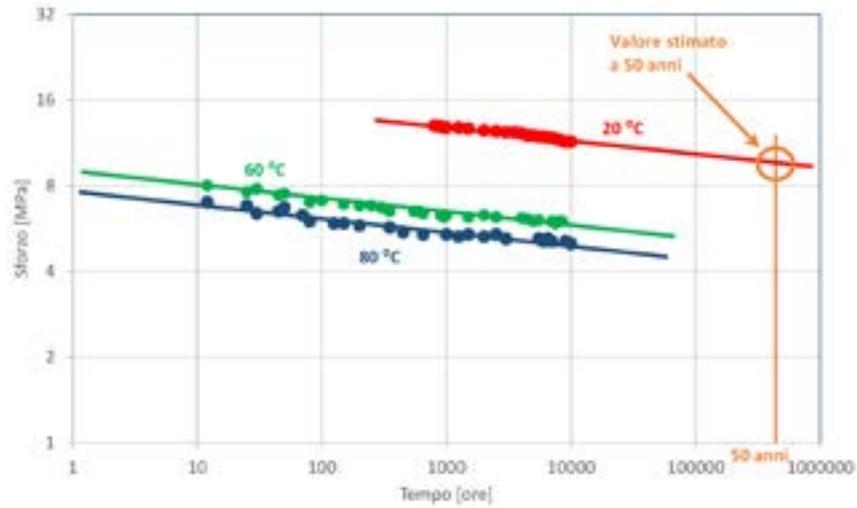
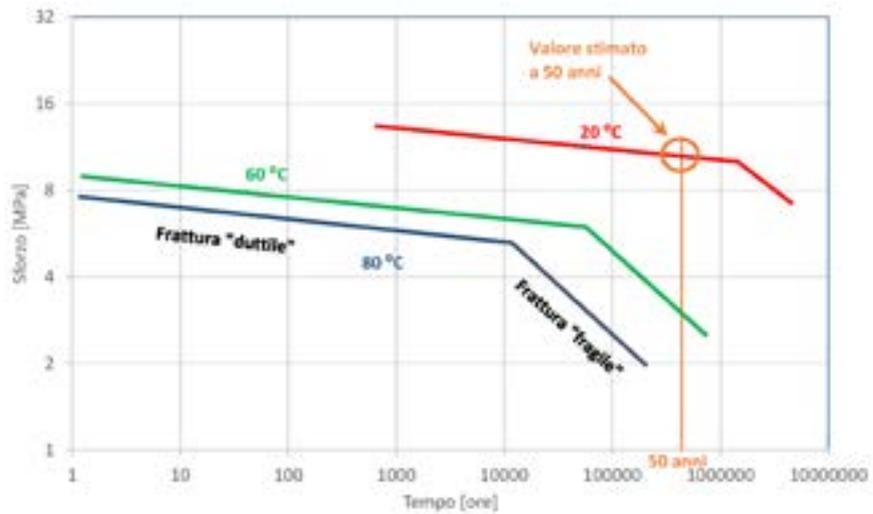


Figura A.2
Curve di regressione per prove a 10000 ore



Normalmente, si osservano rotture di tipo duttile per sforzi elevati, mentre rotture fragili in caso di sforzi meno elevati applicati più a lungo.

Per determinare i valori a lungo termine devono essere generate almeno 30 rotture per ogni temperatura utilizzata, con almeno quattro rotture sopra le 7.000 ore ed almeno una rottura dopo 9000 ore, cioè dopo un anno.

Nel caso il comportamento del materiale sia quello della figura A.2, è necessario disporre di un significativo numero di punti per entrambi i rami della curva. La norma indica come estrapolare i dati per ottenere i valori a lungo termine tenendo conto della varianza campionaria e offrendo i valori dei fattori di estrapolazione per tenere conto della differenza di temperatura.

A.5 CARATTERISTICHE MINIME DELLE RESINE SECONDO LA UNI EN ISO 11296-4

La norma citata indica le caratteristiche minime che le resine devono avere per essere appropriatamente utilizzate nelle applicazioni C.I.P.P. Tali caratteristiche sono riportate in tabella A.1.

Tabella A.1
Caratteristiche del sistema di resine

Caratteristica	Requisiti	Parametro di prova		Metodo di prova
		Parametro	Valore	
Sforzo di flessione alla prima rottura	Per UP e VE: ≥ 100 MPa Per EP: ≥ 80 MPa	Velocità di prova Numero di campioni Dimensioni dei campioni: spessore h larghezza b	2 mm/min 3 $3 \leq h \leq 6$ mm (15 ± 0.5) mm	ISO 178:2001
Allungamento alla rottura	Per UP e VE: ≥ 2 % Per EP: ≥ 2.5 %	Velocità di prova Numero di campioni Forma dei campioni e lunghezza iniziale del tratto utile	5 mm/min 3 Campione tipo 18	ISO 527-2
Temperatura di inflessione sotto carico	Per UP e VE: ≥ 85 °C Per EP: ≥ 70 °C	Orientamento dei campioni Numero dei campioni	Di costa 3	Metodo A della ISO 75-2



Copyright: Peter Gudella

BIBLIOGRAFIA

Oltre a tutta la normativa citata nel testo, possono essere svolti approfondimenti consultando i seguenti testi:

AA.VV., *Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione* Ed. Hoepli/CSDU, Milano 1997

Autorità per l'Energia elettrica, il gas e il sistema idrico, *Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta, Volume I – Stato dei Servizi*, marzo 2017

G. Becciu, C. Dresti, *Mappatura del rischio di crollo dei collettori della rete fognaria del Comune di Milano - Contratto di ricerca tra Politecnico di Milano e MM Spa*, 2017

Commissione tecnica CIPP di IATT, *Disciplinare tecnico CIPP Italian Association for Trenchless Technologies (IATT)*, Roma, 2016 (sito internet: www.iatt.it)

D. Citrini, G. Nosedà, *Idraulica*, Ed. CEA, Milano, 1976

L. Da Deppo, C. Datei, *Fognature*, Ed. Cortina, Padova, 2004

C. Ellis, *The Chemistry of Synthetic Resins*, Reinhold, 1935

Fondazione Utilitatis, *Blue Book*, maggio 2014

ISTAT, *Censimento delle acque per uso civile*, giugno 2014

Laboratorio Ref. Ricerche, *Regole chiare e "governo" del settore: investire nell'acqua, investire in sviluppo*, *Position Paper*, ottobre 2015

S. Mambretti, *Fenomeni di moto vario nelle correnti in pressione*, Ed. Aracne, 2006

S. Mambretti, *Water Hammer Simulations* WIT Press, Southampton, 2013

S. Mambretti, A. Zuccoli, *Moderne tecnologie per gli acquedotti*, Editoriale Delfino, Milano, 2009

W. Moore, *Non-Styrene Options For Cured In Place Pipe*, NASTT - "no-dig", February 2-4, 2011

A. Pavan, R. Frassine, *Tubazioni in poliestere per il trasporto di acqua*, Springer, Milano, 2005

United States Department of Labor, *Occupational Safety and Health Administration* (sito internet: www.osha.gov)

Questo volume nasce dall'esperienza maturata sul campo e dalla continua ricerca tecnologica che MM Spa, gestore del servizio idrico integrato della città di Milano, promuove da anni. Gli interventi di tipo 'no-dig' consentono la riabilitazione e il rinnovo delle reti esistenti abbinando un basso impatto ambientale e un rilevante abbattimento dei costi sociali; garantiscono rapidità di esecuzione, scarsa produzione e movimentazione di materiali di risulta, minima interferenza delle attività di superficie, limitati e circoscritti interventi di demolizioni della pavimentazione stradale con consistente risparmio dei tempi di realizzazione. Da questo nuovo modus operandi derivano inoltre minori rischi in termini di salute e sicurezza degli operatori in cantiere.

Un manuale vero e proprio che ha lo scopo di illustrare il panorama degli interventi non invasivi sulle reti fognarie e acquedottistiche che l'Academy di MM ha voluto enfatizzare con un'operazione di divulgazione scientifica.

L'Academy di MM è una corporate university che ha lo scopo di far conoscere il valore immateriale degli asset aziendali di una tra più importanti società pubbliche di ingegneria del panorama internazionale. Tra le sue attività vi sono: alta formazione d'aula, workshop ingegneristici per uffici tecnici e enti gestori, seminari divulgativi per il grande pubblico, attività editoriale.

Stefano Mambretti è ingegnere, PhD, docente di ruolo del Politecnico di Milano, membro del Board of Director del Wessex Institute of Technology. Autore di oltre cento pubblicazioni, da più di vent'anni è professionista nel settore dell'Ingegneria Idraulica con esperienza di ricerca e consulenza in Europa, Asia, Africa e Sudamerica.

Stefano Tani è ingegnere per l'Ambiente e il Territorio, laureato presso l'Università degli Studi di Pavia, e ha frequentato il Corso di Formazione Avanzata in Gestione e Controllo dell'Ambiente presso la Scuola Superiore S. Anna di Pisa. In MM Spa dal 2004, oggi Responsabile dei Servizi Divisione Servizio Idrico, ha pluriennale esperienza in progettazione idraulica e infrastrutturale, ha svolto incarichi di Direzione Lavori e Servizi nonché di Coordinatore per la Sicurezza e svolge incarichi di Collaudo Tecnico Amministrativo. Dal 2016 è membro del Consiglio Direttivo di IATT.

