

2

LE CONDOTTE **IN PVC**



www.tubipvc.it

La durata prestazionale
e la compatibilità ambientale
delle **condotte in PVC**



STRENGTH
IS NOTHING WITHOUT FLEXI

**LA DURATA PRESTAZIONALE
E LA COMPATIBILITA' AMBIENTALE
DELLE CONDOTTE IN PVC**



Il PVC Forum Italia - Centro di Informazione sul PVC è l'associazione che riunisce aziende di produzione di resina e additivi e di trasformazione del PVC in Italia (www.pvcforum.it). L'associazione intende porsi come punto di riferimento qualificato e fonte di informazione sui manufatti in PVC e sulla catena dei prodotti intermedi e additivi che portano alla loro produzione.

Il PVC Forum Italia - Centro di Informazione sul PVC fa parte inoltre del network internazionale collegato ad ECVM (European Council of Vinyl Manufacturers), l'associazione europea dei produttori di PVC.

Il Gruppo Produttori Tubi e Raccordi in PVC compatto, costituito da aziende di settore associate al PVC Forum Italia - Centro di Informazione sul PVC, nasce con l'obiettivo di creare una nuova "cultura della qualità" per i tubi realizzati in conformità alle norme UNI EN 1401, 1452 e 1329. Per tale scopo ha creato un apposito marchio



www.tubipvc.it

che, applicato alle tubazioni in PVC, ne certifica la provenienza da aziende selezionate, la conformità alle norme vigenti e la qualità del prodotto che è realizzato con additivi sostenibili ed è sicuro, affidabile, durevole.

INDICE

Presentazione	pag. 4
1) Tubazioni in PVC e sostenibilità	pag. 5
2) Gli stabilizzanti e il Regolamento REACH	pag. 14
3) La scelta consapevole: il ciclo di vita delle condotte	pag. 21
4) I manuali per progettare le condotte in PVC	pag. 36
5) Prestazioni a lungo termine di sistemi di distribuzione idrica in PVC	pag. 56
6) Tubazioni in materia plastica per il trasporto dei fluidi: durata in opera	pag. 66
7) Expected lifetime of existing PVC water systems	pag. 76
8) Strong properties of PVC pipes	pag. 91
9) Old PVC gravity sewer pipes long term performance	pag. 105
10)The actual performance of buried plastics pipes in Europe over 25 years	pag. 116
11)15 years old PVC sewer pipes. Durability and performance review	pag. 130
12)The long term behaviour of buried U-PVC sewer pipe	pag. 140
13)Analisi costi – benefici comparata dei materiali nelle reti utilities	pag. 152

PRESENTAZIONE

In questo unico fascicolo vengono raccolti i documenti che permettono a progettisti, imprese, enti e utenti di operare una scelta analitica, consapevole e dettagliata delle condotte da utilizzare in fognature, acquedotti e scarichi.

La documentazione riguarda due settori: l'ambiente e la durata. Il primo argomento permette di avere informazioni sui nuovi additivi usati nel settore dei tubi e dei raccordi e sul ciclo di vita delle condotte realizzate in PVC. Il secondo argomento invece raccoglie numerose testimonianze derivate dallo studio effettuato dai laboratori più importanti sulla durata delle prestazioni in opera. Questo è un argomento trattato in molti regolamenti e norme nazionali ed europee.

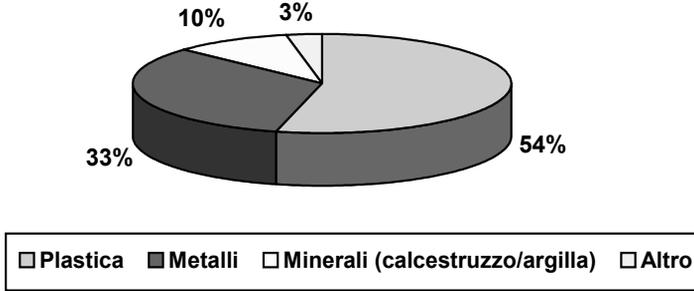
Non solo è stata affrontata la parte meramente tecnica, ma anche quella economica nell'utilizzo del PVC per permettere agli enti gestori della ragionevole convinzione nella scelta più conveniente delle condotte, siano esse per adduzione che per la raccolta delle acque.

La lettura di tutti i documenti riportati nella presente raccolta crea la positiva consapevolezza dell'utilizzo e l'assicurazione che una condotta possa garantire una durata prestazionale di 100 anni.

1) TUBAZIONI IN PVC E SOSTENIBILITA'

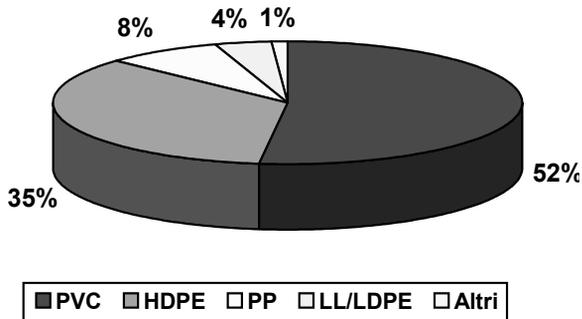
Materiali per tubazioni utilizzate i Europa

Materiali utilizzati per la produzione di tubi in Europa occidentale



Consumo materie plastiche per tubi

Nel 2008, il consumo di materie plastiche per la produzione di tubi è stato di oltre 3.000.000 tonnellate in Europa occidentale. Tra i polimeri, il PVC è il materiale di gran lunga più utilizzato (52%), seguito da HDPE (35%) e PP (8%).



PVC: i vantaggi nelle tubazioni

Oltre ai limitati costi d'investimento e di riparazione, le tubazioni in PVC presentano i seguenti vantaggi:

- Garanzia della qualità dell'acqua potabile
- lunga vita in servizio - "durabilità"
- Prestazioni

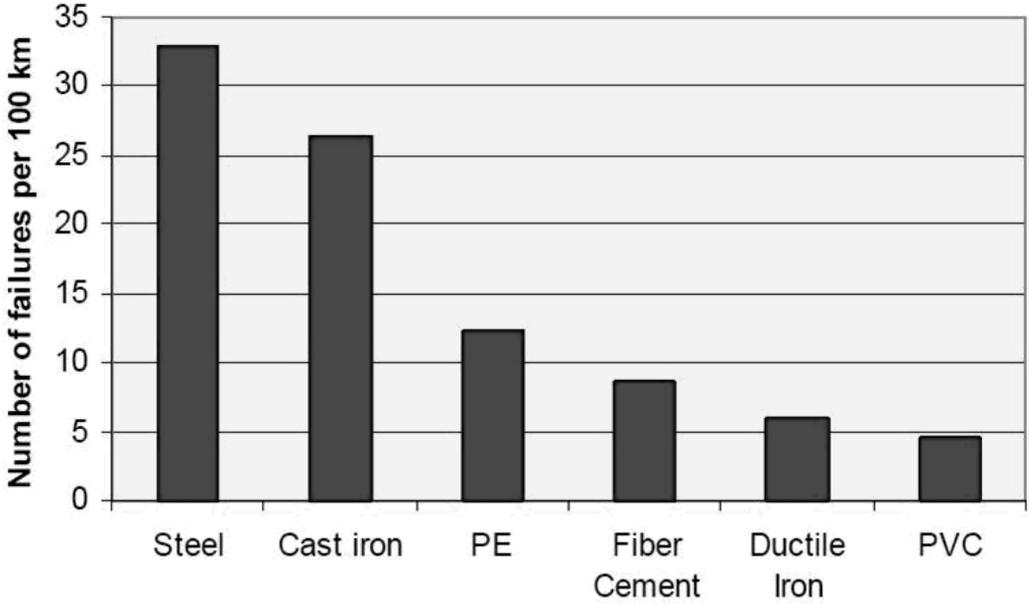
PVC: la garanzia delle qualità dell'acqua

- Nessuna influenza sul colore, sapore e odore dalla sorgente al rubinetto
- Prevenzione della crescita batterica causa la superficie liscia
- Resistenza nei confronti degli agenti "purificanti" tipo cloro
- Eccellente resistenza alla migrazione all'acqua
 - dei contaminanti e componenti del suolo
 - delle sostanze contenute nel PVC stesso

PVC: la durabilità

- Fra tutte le materie plastiche, il PVC ha la più lunga storia alle spalle. I primi tubi in PVC sono stati prodotti negli anni '35. E' quindi utilizzato da 75 anni
- Test di pressione hanno dimostrato che le tubazioni in PVC possono superare i 100 anni in servizio
- Buona resistenza alla corrosione e alla degradazione chimica o ossidativa
- Minori rotture in servizio

PVC: la curabilità – comparazione rotture



PVC: le prestazioni

- Maggiori portate a parità di diametro dovuto alla superficie liscia del materiale
- Garanzia delle portate considerato che non sono possibili incrostazioni
- Resistenza sufficiente per sopportare i “colpi d’ariete”

PVC: l'evoluzione delle tubazioni

Negli anni ha subito una costante evoluzione sia dal punto di vista dell'innovazione che della sostenibilità ambientale

- Innovazione
 - tubi compatti
 - tubi alveolari
 - tubi a parete espansa
 - tubi in lega polimerica
 - tubi bi-orientati
 - tubi "multistrato"

- sostenibilità ambientale
 - formulazioni senza metalli pesanti
 - riciclo
 - LCA (analisi del ciclo di vita)

LCA per tubi in PVC

- La sostenibilità delle tubazioni in PVC è supportata da numerosi studi di LCA (Life Cycle Assessment) realizzati sia in Italia che all'estero.
- I risultati di alcuni di questi studi saranno trattati a parte
- Di seguito alcuni dati di uno studio ICCA sul contributo delle materie plastiche. E principalmente del PVC sulle emissioni di GHG (come CO₂e)

Applicazione	Emissioni (MtCO ₂ e)			X	Net (MtCO ₂ e) Abatement
	"chimico"	"non chimico"	risparmio in uso		
Packaging	295	490	27	1.75	222
Plastiche per Auto	66	61	129	2.89	124
Tubazioni	52	117	0	2.25	65

Applicazione	Emissioni (MtCO ₂ e) "chimico"	X	Net (MtCO ₂ e) Abatement
Plastiche per Agricoltura	61	1.50	30
Serramenti	11	2,73	19

Tubi in PVC e i metalli pesanti

Per meglio definire il problema della presenza di metalli pesanti nella tubazione si prende a riferimento quanto definito nella direttiva 94/62/EC, che limita il loro contenuto negli imballaggi :

- si intende per "metalli pesanti", il piombo, il cadmio, il mercurio e il cromo esavalente;
- si intende per "introduzione deliberata di metalli pesanti", l'atto di utilizzare deliberatamente una sostanza contenente metalli pesanti nella formulazione di un imballaggio o di un componente di imballaggio, al fine di garantire una caratteristica, una presentazione o una qualità specifica;
- si intende per "presenza incidentale di metalli pesanti", la presenza imprevista di metalli pesanti in un imballaggio o in un componente di imballaggio.

Tubi in PVC e Pb

Il programma Vinyl 2010 dell'industria del PVC europea ha

- bandito il cadmio dal dall'anno 2000
- definito come data limite per l'utilizzo del Pb il 2015

Tonnes of Stabiliser Systems	2000	2009	Reduction (%)
Formulated* lead stabilisers	127,156	40,321	68.3

* Formulated means that these systems are complete stabiliser/lubricant packages and many also include pigments or fillers as a service to the customer. Their major use is in pipes and profiles for construction and electrical cables.

Da una analisi da parte di TEPPFA, l'associazione dei produttori di tubi europea, risulta che i tubi per acqua potabile sono già "lead free" dal 2007, mentre viene previsto che le altre applicazioni si prevede saranno "lead free" entro il 2011.

Tubi in PVC, Pb e sostituti

Tonnes of Stabiliser Systems	2007	2009
Formulated lead stabilisers	99,991	48,921
Formulated calcium organic stabilisers e.g. Ca/Zn systems ⁽¹⁾	62,082 ⁽¹⁾	75,140 ⁽¹⁾
Tin stabilisers ⁽²⁾	16,628 ⁽²⁾	12,162 ⁽²⁾
Liquid stabilisers – Ba/Zn or Ca/Zn ⁽³⁾	19,000 ⁽¹⁾⁽³⁾	14,000 ⁽¹⁾⁽³⁾

⁽¹⁾ EU-27 plus Norway, Switzerland and Turkey

⁽²⁾ EU-27 figure for liquid stabilisers is approximated in 2007 and in 2009. The reason is that under the rules of Cefic – the European Chemical Industry Council – statistics cannot be published if fewer than three companies are reporting. This is to avoid disclosure of individual information.

⁽³⁾ Includes food contact and medical applications, plus all lead replacement systems.

⁽⁴⁾ Used primarily in rigid applications including food contact use.

⁽⁵⁾ Used in a wide range of flexible applications, calendered sheets, flooring, etc.

Riduzione Pb nel PVC compounds

Riduzione dell'utilizzo di Pb nel settore compounds italiano

Rapporto (Pb utilizzato)/(compounds prodotti)

Periodo 2005/2008 diminuzione del = 60%

Anno	2005	2006	2007	2008
Pb/compound	0,01038	0,00759	0,00576	0,00419

Nel periodo 2000-2008, l'utilizzo degli stabilizzanti al piombo nell'Europa dei 15 è diminuito di 66.552 tonnellate (-52,3%)

Stabilizzanti Tonnellate	2000	2005	2008	Riduzione %
Formulazioni* di stabilizzanti al piombo	127.156	101.519	60.604	52,3 cfr 2008/2000 41,3 cfr 2008/2005

Il riciclo dei tubi in PVC

- I tubi e i raccordi in PVC sono riciclabili e riciclati, soprattutto “meccanicamente”.
- Dopo la raccolta e la separazione, gli scarti post uso vengono frantumati e puliti. Quindi il granulato ottenuto viene ridotto in polvere tramite micronizzazione.
- Il materiale così riciclato è solitamente estruso in applicazioni simili, sia in miscela con PVC vergine in tubazioni per fognature sia al 100% come strato interno in tubazioni multistrato.
- Schemi di raccolta e recupero sono organizzati da Recovynil, che all’interno del programma Vinyl 2010 (Impegno Volontario dell’industria europea del PVC per lo sviluppo sostenibile) è delegato al recupero e il riutilizzo di PVC post consumo proveniente dai vari settori applicativi.

PROJECT	Type of PVC post-consumer waste	Tonnage recycled in 2008	Tonnage recycled in 2009	% increase
EPCoat (incl. Recovynil)	Coated fabrics	11,323*	5,880*	-48.07%
EPFLOOR	Flooring	2,524*	2,559*	1.39%
EPPA (incl. Recovynil)	Window profile waste & profile related waste	79,877	83,288	4.27%
ESWA - ROOFCOLLECT and Recovynil	Flexible PVC	19,333 tons which consist of:	21,444 tons which consist of:	see detail
ESWA - ROOFCOLLECT	Roofing and water-proofing membranes	954*	1,297*	35.95%
Recovynil	Flexible PVC applications	18,379	20,147	9.62%
TEPPFA (incl. Recovynil)	Pipes & fittings	22,555	16,978	-24.73%
ERPA via Recovynil (incl. CIFRA)	Rigid PVC films	4,352	5,890	35.34%
Recovynil (incl. Vinyloop Ferrara)	Cables	54,986	54,285	-1.27%
TOTAL		194,950	190,324	-2.37%

Conseguenze della sostenibilità – alcuni esempi

Valutazione Ecologica ECO-DEVIS

Nel 2009 i tubi in PVC al calcio-zinco (stabilizzante che sta progressivamente sostituendo il piombo) hanno ottenuto la valutazione massima di “ecologicamente interessanti” da Eco-devis, organizzazione svizzera composta da enti pubblici e privati e supportata dalla Federazione Svizzera degli Architetti e dall’Associazione degli Ingegneri.

Eco-devis fornisce una classificazione ambientale dei materiali da costruzione molto riconosciuta a livello internazionale, calcolando il consumo energetico totale dal progetto alla produzione.

Per ottenere un elevato punteggio occorre che il materiale non contenga sostanze dannose per l’ambiente e che sia smaltibile o riciclabile in modo sostenibile.

Valutazione positiva per il PVC nelle costruzioni da parte del Green Building Council of Australia (GBCA)

Dal 2003 il GBCA non riteneva appropriato l’uso del PVC nelle costruzioni e dava un voto molto basso al PVC all’interno del sistema di “rating” adottato, il Green Star.

Dopo una verifica sui miglioramenti ottenuti dall’industria, da quest’anno il GBCA ha migliorato la quotazione ambientale del PVC se rispetta i criteri definiti nelle Linee Guida di riferimento.

Tra i prodotti considerati nel rating vi sono naturalmente i tubi e raccordi che devono principalmente soddisfare due tipi di criteri: uno sulle sostanze utilizzate e l’altro sul riciclo dei rifiuti post consumo.

Criteri sulle sostanze previste nel GBCA Green Star

- Stabilisers - cadmium and lead stabilisers shall not be used in PVC products.
- Plasticisers - diethylhexyl phthalate (DEHP), benzylbutylphthalate (BBP), and diethylbutyl phthalate (DBP) shall not be used in PVC products.

Criteri sul riciclo

- supplier responsibility contracts shall entail arrangements to take products back at the end of the product’s in-use phase for some form of recycling or reuse or
- agreements with recycling and waste transport service providers for the collection of end of life product and delivery of that product to a recycling service provider or the manufacturer, or another third party that will reuse or recycle the material.

2) GLI STABILIZZANTI E IL REGOLAMENTO REACH

SOSTANZE PROBLEMATICHE NEL REACH

•Il REACH prevede una procedura di **autorizzazione** alla produzione, all'immissione sul mercato e all'uso di sostanze con particolari proprietà pericolose per la salute umana e/o per l'ambiente:

- **CMR** (cancerogeni, mutageni, tossici per la riproduzione) di categoria 1 e 2
- **PBT** (persistenti, bioaccumulabili, tossici) e **vPvB** (molto persistenti e molto bioaccumulabili);
- sostanze che danno adito ad un livello di preoccupazione equivalente, quali ad esempio gli **ED** (interferenti endocrini).

•L'**ECHA** (Agenzia REACH) definisce progressivamente liste di **SVHC** (Substances of Very High Concern) da includere in "**Candidate List**".

•Dalla Candidate List saranno progressivamente selezionate le sostanze da includere in **Allegato XIV**, per le quali sarà necessario presentare una "domanda di autorizzazione", pena l'impossibilità di continuare a produrle, immetterle sul mercato e utilizzarle.

Gli stabilizzanti nel REACH

(1) Stabilizzanti al piombo

•Ad oggi, nessuna delle sostanze utilizzate per la produzione di stabilizzanti al piombo è inclusa nella Candidate List.

•In ogni caso, tali sostanze, in virtù delle loro proprietà tossicologiche, sono potenzialmente soggette all'inclusione in Candidate List e di conseguenza alla procedura di Autorizzazione.

(2) Stagno butilici

•Le limitazioni all'uso dei composti di dibutilstagno sono riportate all'**Allegato XVII** del REACH che ha incorporato tutte le restrizioni precedentemente previste dalla direttiva **76/769/CE**.

•Anche tali sostanze sono potenzialmente soggette all'inclusione in Candidate List e di conseguenza alla procedura di Autorizzazione.

Gli stabilizzanti organostannici nel REACH

(3) Stagno ottilici e stagno metilici

•Sulla base delle attuali conoscenze, tali sostanze **non sono** soggette all'inclusione in Candidate List e di conseguenza alla procedura di Autorizzazione.

(4) COS (Calcium Organic Stabilizers)

•Anche tali sostanze **non sono** soggette all'inclusione in Candidate List e di conseguenza alla procedura di Autorizzazione.

(5) Mixed Metals

• Alcune delle sostanze utilizzate nella produzione di questa tipologia di stabilizzanti (es. acido para-ter-butil-benzoico e suoi sali) sono potenzialmente soggette all'inclusione in Candidate List e di conseguenza alla procedura di Autorizzazione.

Le implicazioni del REACH per gli stabilizzanti

• In questa presentazione si analizza, attraverso un esempio pratico, l'impatto del REACH lungo una filiera del PVC, conseguente all'utilizzo di uno stabilizzante.

• Sono pertanto valutate le implicazioni conseguenti all'applicazione del regolamento, per i diversi soggetti della filiera coinvolti:

1. Produttore (importatore) di **stearato di zinco**.
2. Produttore di uno **stabilizzante a base di calcio/zinco** (contenente stearato di zinco).
3. Produttore di un **PVC compound** (che impiega lo stabilizzante di cui sopra).
4. Produttore di una **tubazione in PVC** (a partire dal compound di cui sopra).

Cosa deve fare il produttore (importatore) di stearato di zinco ?

• Il **produttore (importatore) di stearato di zinco** è, ai sensi del REACH, un produttore (importatore) di una sostanza e come tale è soggetto all'obbligo di registrazione.

(1) Pre-registrazione dello stearato di zinco

La pre-registrazione della sostanza doveva essere effettuata entro il 01/12/2008.

(2) Registrazione dello stearato di zinco

• La registrazione della sostanza deve essere effettuata entro le seguenti scadenze, definite in funzione dei volumi annui di produzione (importazione):

- 30/11/2010 ---> ≥ 1000 t/a
- 31/05/2013 ---> 100-1000 t/a
- 31/05/2018 ---> 1-100 t/a

(3) Partecipazione al SIEF dello stearato di zinco

- I pre-registranti accedono in automatico al SIEF della sostanza.
- Il SIEF ha come obiettivo quello di riunire tutti i pre-registranti interessati alla registrazione della sostanza, affinché sia prodotto congiuntamente un unico dossier di registrazione.

- Ciascun pre-registrante deve definire il proprio livello di coinvolgimento nel SIEF, sulla base dei seguenti fattori:
 - interesse commerciale per la sostanza;
 - scadenza di registrazione della sostanza;
 - competenze tecnico-scientifiche da destinare alla preparazione del dossier di registrazione della sostanza;
 - disponibilità di dati di proprietà sulla sostanza.

***L'unico obbligo delle aziende nel SIEF
è quello di condividere eventuali studi disponibili sulla sostanza,
se realizzati su animali vertebrati !!!***

- Parallelamente al SIEF, le attività di registrazione della sostanza sono portate avanti dal **"Zinc salts of fatty acids Consortium"**.
- Ciascun produttore (importatore) di stearato di zinco interessato a registrare la sostanza può decidere tra le due seguenti opzioni:
 - partecipare al Consorzio (adesione su base volontaria!);
 - acquistare dal Consorzio la "lettera di accesso" al dossier di registrazione.
- Anche in questo caso, le aziende devono valutare il proprio livello di coinvolgimento sulla base delle stesse considerazioni fatte per la partecipazione al SIEF.

***Ovviamente, tutte le decisioni sono soprattutto legate
ai costi prospettati per la registrazione della sostanza !!!***

(4) Identificazione degli usi dello stearato di zinco

- Il dossier di registrazione della sostanza deve comprendere anche la cosiddetta "relazione sulla sicurezza chimica".
- La relazione sulla sicurezza chimica riporta l'esito della valutazione del rischio realizzata sulla base degli usi identificati e delle relative modalità di esposizione alla sostanza.

(5) Scenario di esposizione dello stearato di zinco

- Lo **scenario di esposizione** rappresenta l'insieme delle condizioni che descrivono il modo in cui la sostanza è utilizzata durante tutto il suo ciclo di vita:
 - ...dalla sua produzione (importazione) ...
 - ...alla sua miscelazione con altre sostanze, per ottenere lo stabilizzante a base di calcio/zinco ...
 - ...alla sua incorporazione in un PVC compound ...

...fino al suo uso finale nella produzione di una tubazione in PVC ...

...valutandone l'esposizione dei lavoratori, dei consumatori e dell'ambiente.

Tali informazioni devono pertanto essere a disposizione di chi prepara il dossier di registrazione della sostanza !!!

(6) SDS dello stearato di zinco

- Il produttore (importatore) della sostanza deve predisporre la relativa SDS in conformità alle disposizioni dell'art. 31 e dell'allegato II del REACH.
- Le modifiche principali a livello di formato (vigenti dal **01/06/2007**) riguardano l'inversione delle sezioni 2 e 3 e l'inserimento dell'indirizzo e-mail del tecnico competente responsabile della compilazione della SDS.
- Le modifiche principali in termini di contenuto (da apportare entro il **01/12/2010**) riguardano l'inserimento della classificazione della sostanza, ai sensi del **regolamento CLP**, (la vecchia classificazione, ai sensi della direttiva 67/548/CEE, deve comunque continuare a essere riportata fino al 2015).
- Ad avvenuta registrazione, il produttore (importatore) della sostanza deve allegare alla SDS lo scenario di esposizione.

(7) Notifica di C&L

- Con l'entrata in vigore del regolamento CLP (Classification, Labelling and Packaging), i produttori (importatori) della sostanza sono tenuti (entro il **03/01/2011**) a notificarne la C&L al relativo inventario europeo.
- La notifica non è richiesta, qualora lo stesso abbia già presentato una registrazione per la sostanza.

Cosa deve fare il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco ?

- **Il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco** è, ai sensi del REACH, un utilizzatore a valle (produttore di preparati) e come tale non è soggetto all'obbligo di registrazione.

(1) Notifica di uso dello stearato di zinco

- Il REACH conferisce al produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco il diritto di notificare per iscritto il proprio uso al fornitore della sostanza, affinché tale uso sia identificato in fase di registrazione (**art. 37, par. 2**).

- In tal caso, il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco deve fornire informazioni sufficienti a consentire di predisporre uno scenario di esposizione, per tale uso.
- A questo proposito, l'ECHA ha definito, attraverso lo **"Use Descriptor system"** dei descrittori di uso condivisi a livello europeo:

http://guidance.echa.europa.eu/docs/guidance_document/information_requirements_r12_en.pdf

(2) Dopo la registrazione dello stearato di zinco

- A seguito dell'avvenuta registrazione della sostanza, il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco dovrà:
 - verificare che il proprio uso della sostanza sia contemplato nella SDS inviata dal fornitore;
 - applicare le stesse condizioni descritte nello scenario di esposizione allegato alla SDS;
 - adottare le misure di gestione del rischio individuate.
- Il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco è tenuto a conformarsi alle condizioni descritte nello scenario di esposizione entro 12 mesi dal ricevimento del **numero di registrazione** comunicato dal fornitore nella SDS.

(3) SDS dello stabilizzante a base di calcio/zinco

- Il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco è anch'esso soggetto all'obbligo di predisporre la relativa SDS in conformità alle disposizioni del REACH.
- Il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco deve inoltre includere i pertinenti scenari di esposizione e le altre informazioni pertinenti desunte dalla SDS dello stearato di zinco, al fine di predisporre la propria SDS.
- Per adempiere a questi requisiti, il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco deve valutare se gli scenari di esposizione riferiti allo stearato di zinco siano pertinenti per l'uso del preparato da parte dei suoi clienti e riportino raccomandazioni coerenti su come controllare in maniera adeguata i rischi.

Cosa deve fare il produttore del PVC compound?

- Anche il **produttore del PVC compound** è, ai sensi del REACH, un utilizzatore a valle (produttore di preparati) e come tale non è soggetto all'obbligo di registrazione.
- Pertanto, le considerazioni fatte per il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco sono valide anche per il produttore di PVC compound:

(1) possibilità di notificare il proprio uso dello stabilizzante a base di calcio/zinco;

- (2) obbligo di operare secondo le modalità definite nello scenario di esposizione allegato alla SDS del fornitore;
- (3) obbligo di predisporre la SDS del proprio PVC compound.

Cosa deve fare il produttore della tubazione in PVC?

- Anche il **produttore della tubazione in PVC** è, ai sensi del REACH, un utilizzatore a valle (produttore di articoli) e come tale non è soggetto all'obbligo di registrazione.
- Nel caso della tubazione in PVC, si applicano solo in parte gli obblighi previsti per il produttore dello stabilizzante a base di calcio/zinco e per il produttore di PVC compound:

(1) possibilità di notificare il proprio uso del PVC compound;

(2) obbligo di operare secondo le modalità definite nello scenario di esposizione allegato alla SDS del fornitore;

***Dal momento che le tubazioni in PVC sono articoli,
non vi è alcun obbligo di predisporre la relativa SDS***

- Un obbligo aggiuntivo per il **produttore della tubazione in PVC** (in quanto produttore di articoli) e quello di informare i propri clienti dell'eventuale presenza (in concentrazione > 0,1 % p/p) di sostanze incluse nella "**Candidate List SVHC**" (art. 33)
- Tale problematica non riguarda lo stearato di zinco!
- Allo stato attuale, la Candidate List SVHC comprende invece alcuni ftalati (BBP, DBP, DEHP, DIBP), la cui eventuale presenza in concentrazione > 0,1 % p/p deve essere pertanto segnalata!

CENTRO REACH S.r.l.
Via G. da Procida, 11
20149 Milano

Tel. +39 02 87245.901
Fax +39 02 34565.631
infoeach@centroreach.it

3) LA SCELTA CONSAPEVOLE: IL CICLO DI VITA DELLE CONDOTTE

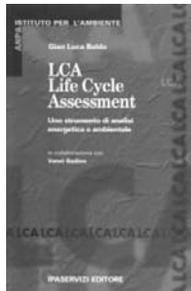
- 1) **INTRODUZIONE METODOLOGICA E COMUNICAZIONE**
- 2) **CASO STUDIO 1 CONDOTTE PER FOGNATURE**
- 3) **CASO STUDIO 2 CONDOTTE IN PRESSIONE**

Life Cycle Engineering: research & consulting

Life Cycle Engineering (LCE) is a Research & Consulting engineering company that has been working since early '90 on Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Balance, Environmental Engineering and Management, Green Marketing, Environmental Communication&Reporting, environmental sustainability, green procurement (GPP) and carbon management/emission trading (Kyoto Protocol).



1998



2000



2005



2008

Nostri partner

BOUSTEAD CONSULTING LTD

GRANTA
MATERIAL INTELLIGENCE

GREENWASHING



Solo 25 prodotti su 2219 sul mercato USA – Canada sono stati riconosciuti “no green washing”
www.greenwashing.com



LA METODOLOGIA LCA

L'analisi del ciclo di vita (LCA) è una metodologia di valutazione dei carichi energetici e ambientali associati ad un prodotto o ad un processo, lungo l'intero ciclo di vita.

La metodologia è regolamentata, a livello internazionale, dalle seguenti norme

ISO 14040:2006

ISO 14044:2006

che ne definiscono la struttura e guidano alla corretta applicazione.



INVENTARIO DEGLI INPUT E OUTPUT



VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI



INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

ASPETTI AMBIENTALI



COMUNICAZIONE AMBIENTALE

Nel passato



Comunità scientifica



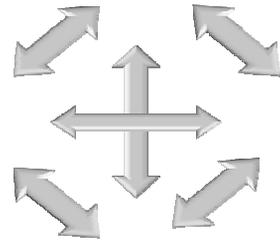
Utenti

Oggi

Associazioni

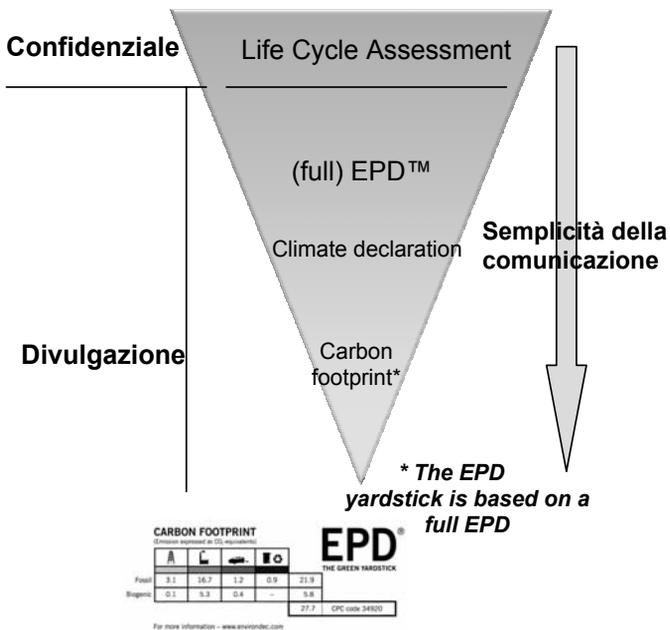


Business



Utenti

AFFIDABILITA' DELLA COMUNICAZIONE AMBIENTALE



UNO DEGLI ASPETTI PIÙ SENTITI DAGLI STAKEHOLDER È LA TRASPARENZA DELLE AZIENDE



2) CASO STUDIO 1: CONDOTTE PER FOGNATURE

Definizione del campo di applicazione dello studio

Analisi LCA applicata principalmente a tre tipologie di tubazioni per fognatura, riassunte nella Tabella.

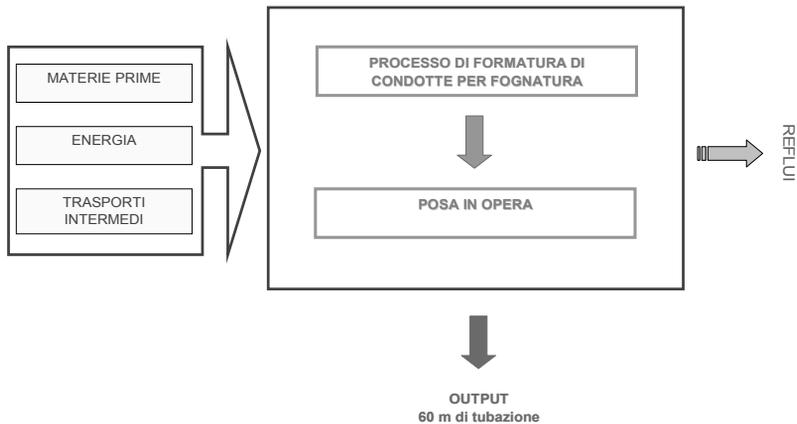
CATEGORIE DI CONDOTTE PER FOGNATURA ANALIZZATE PER IL CONFRONTO
TUBI IN PVC-U
TUBI IN GRES
TUBI IN POLIETILENE (PE) CORRUGATO
ALTRI MATERIALI CONSIDERATI SOLO PER CONFRONTO PRELIMINARE
PE COMPATTO

CATEGORIE DI CONDOTTE IN PRESSIONE ANALIZZATE PER IL CONFRONTO
TUBI IN PVC-U
TUBI IN GHISA SFEROIDALE
TUBI IN POLIETILENE AD ALTA DENSITÀ (PE100)

Produzione e nella posa in opera di condotte per fognatura, in particolare realizzate in PVC-U, Gres e Polietilene corrugato. Nello specifico, la portata idraulica rappresenta l'effettiva funzione dei sistemi descritti.

l'unità di lunghezza del sistema-condotta → riferimento alla **produzione ed alla posa in opera di 60 metri (m)** di tubazione in pressione in PVC-U, Ghisa sferoidale e Polietilene ad alta densità.

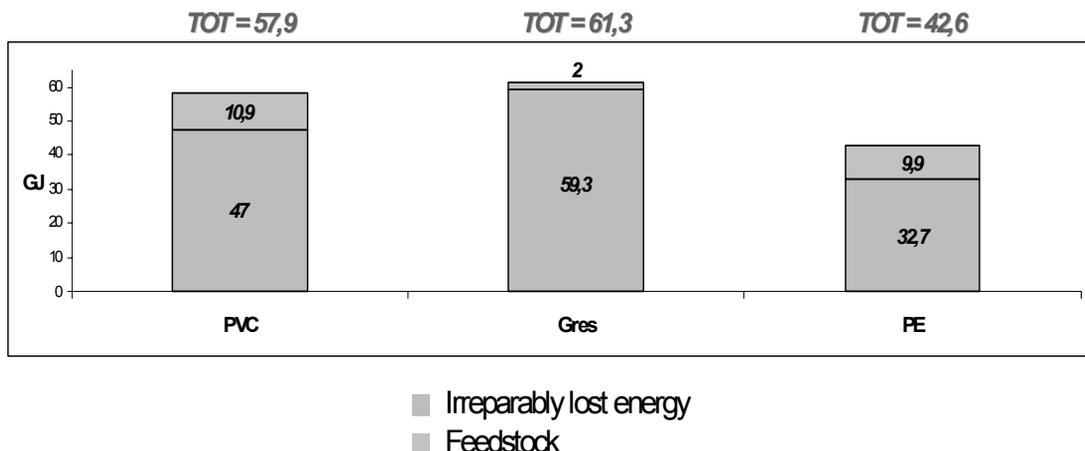
CONFINI DEL SISTEMA



Risultati energetici GJ/60m (Fognature)

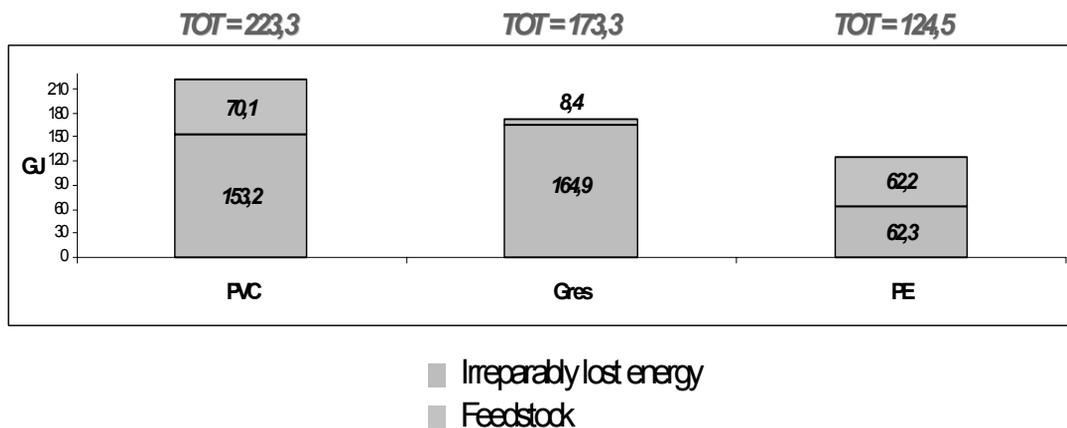
Risultati energetici associati alla produzione ed alla messa in opera di 60 m di tubazione avente

DN250



contributo “GER – feedstock” rappresenta l'energia effettivamente e irrimediabilmente spesa

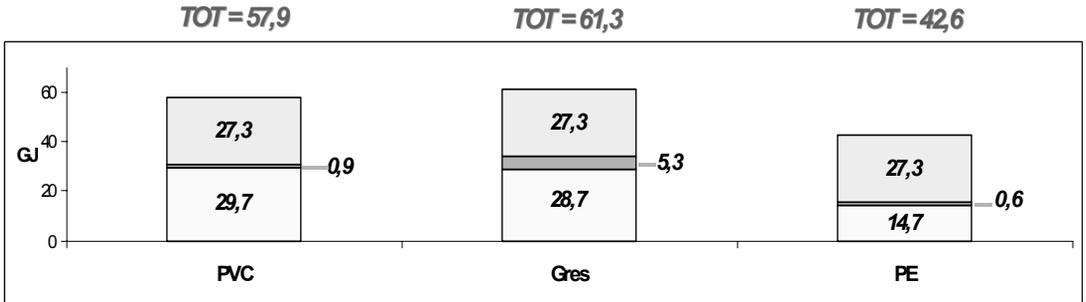
DN630 (DN600 - Gres)



Specifici contributi al GER delle fasi

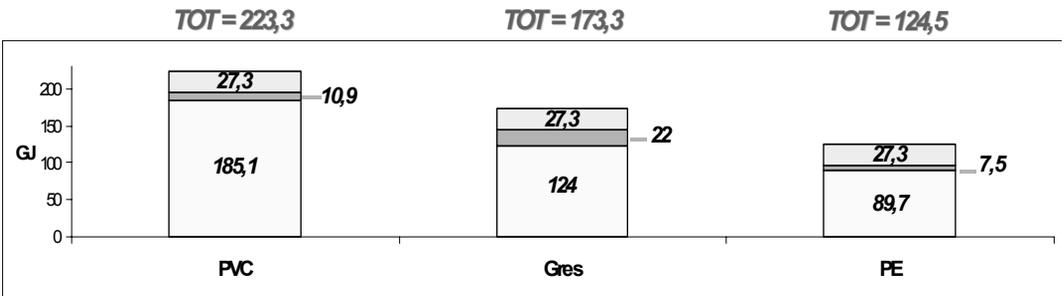
- produzione delle tubazioni
- dei sistemi di giunzione
- messa in opera

DN250



- Pipe production
- Pipe connection system
- Installation phase

DN630 (DN600 - Gres)

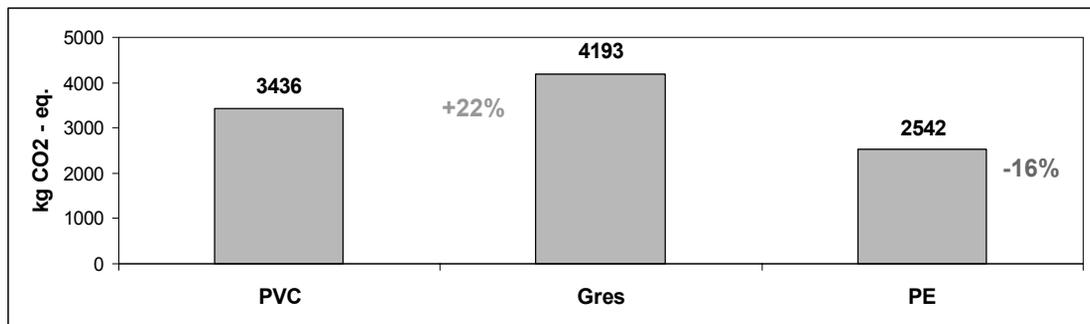


- Pipe production
- Pipe connection system
- Installation phase

Risultati ambientali kg CO₂ eq/60m (Fognature)

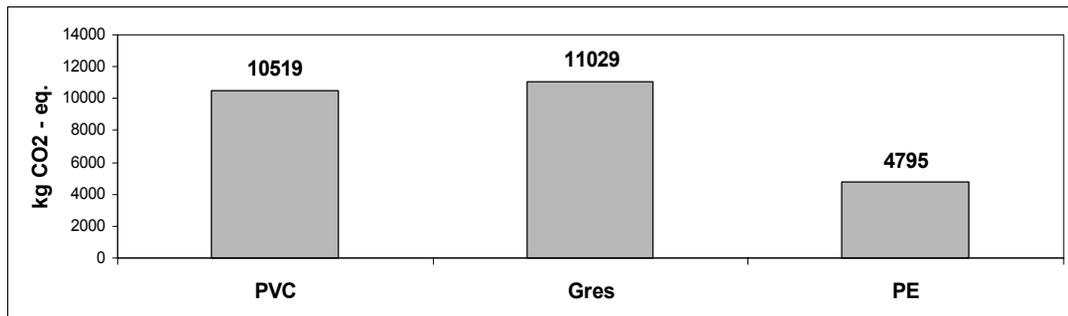
Contributo all'effetto serra associato alla produzione ed alla messa in opera di 60 m di tubazione avente DN 250 mm (valori centrali dei range numerici).

DN 250



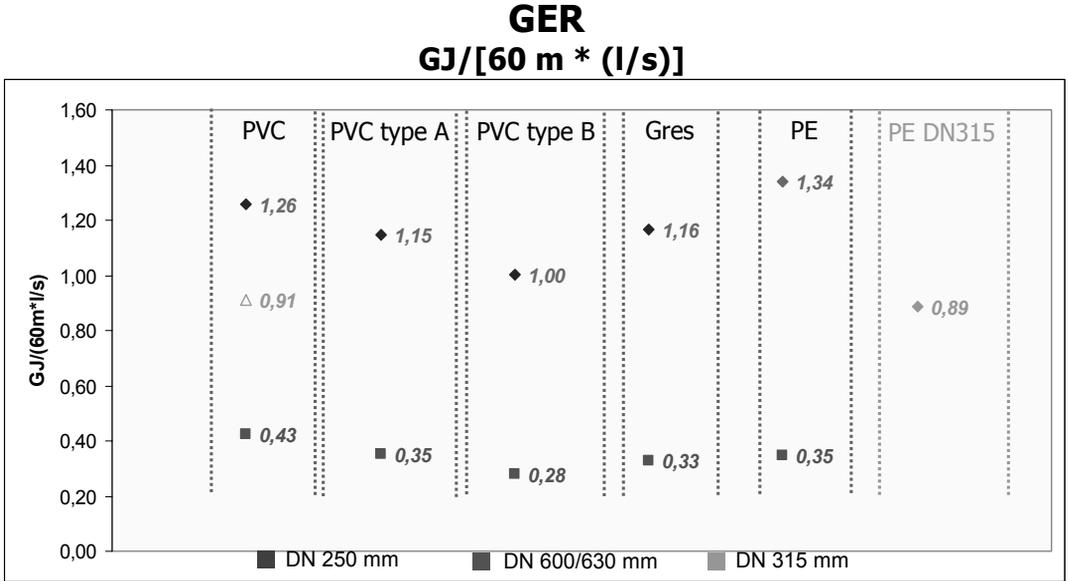
Contributo all'effetto serra associato alla produzione ed alla messa in opera di 60 m di tubazione avente DN 650 mm, DN 600 mm per il Gres (valori centrali dei range numerici).

DN 650 (DN 600 GRES)



Unità funzionale aggiuntiva (Fognature)

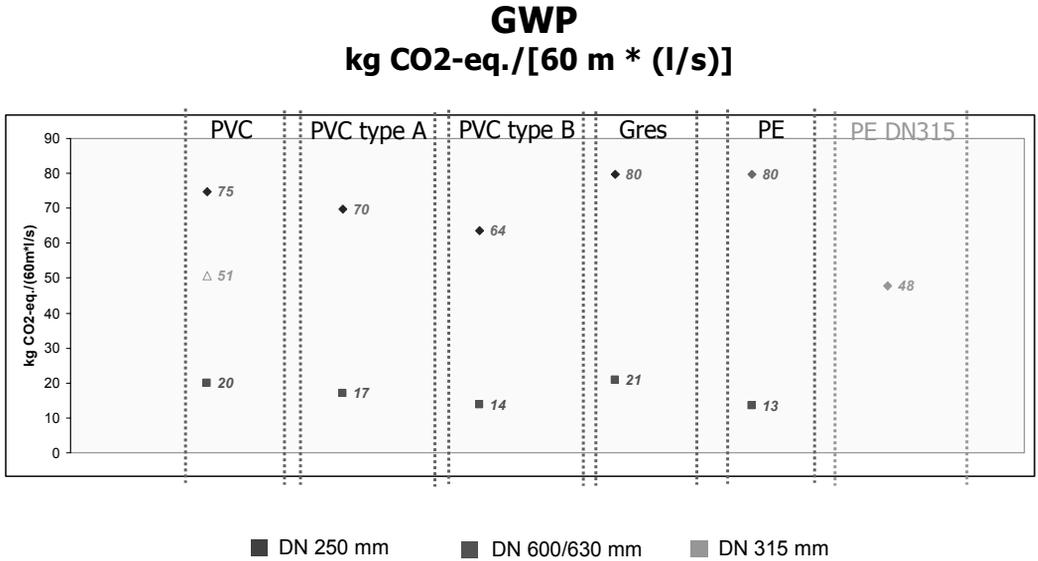
Valore del GER calcolato modificando l'unità funzionale, e cioè dividendola ulteriormente per le portate delle tubazioni in condizioni di deflusso a sezione piena



Slope = 5 m/km

consumo energetico complessivi associati alla produzione ed alla messa in opera di 60 m di condotte per ogni unità di "litro/secondo" vettoriabile. Nel caso del PVC, si fa riferimento ai prodotti "compatto", "non compatto" di tipo A e B e, soltanto in questo caso specifico, alle tubazioni "compatte" aventi DN 315 mm.

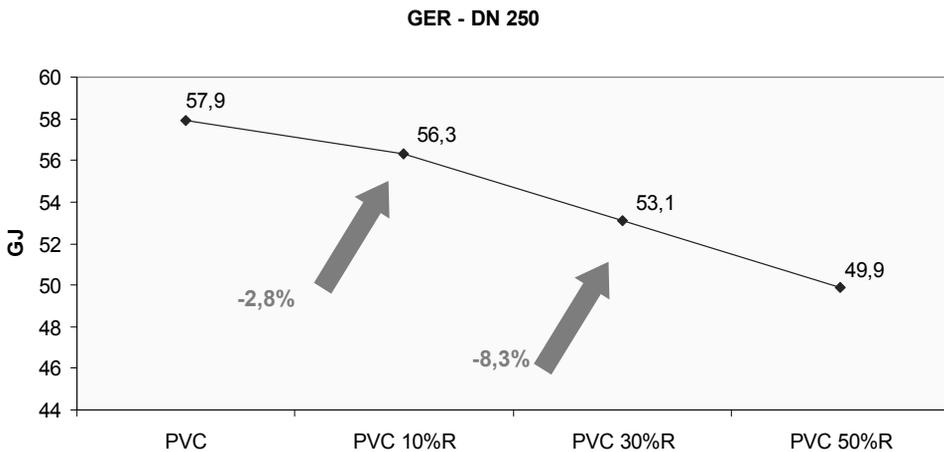
Valore del GWP calcolato modificando l'unità funzionale, dividendola ulteriormente per le portate delle tubazioni in condizioni di deflusso a sezione piena



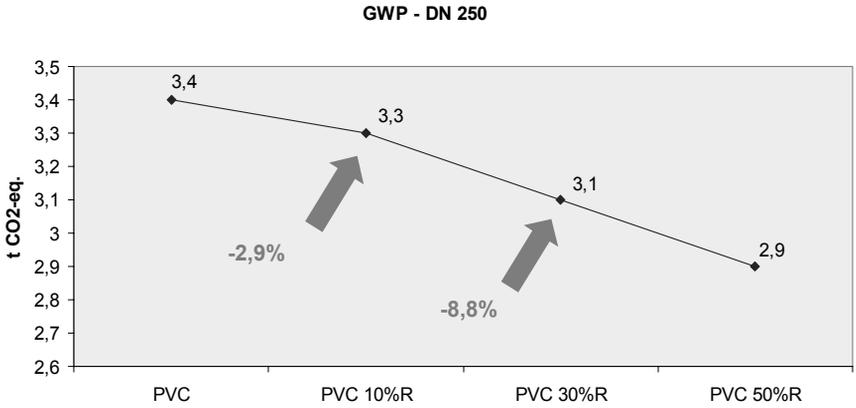
Slope = 5 m/km

Riciclo PVC: andamento di GER e GWP f(%R) (fognature)

Analisi preliminare dell'influenza dell'utilizzo di scarti di PVC nel ciclo produttivo delle condotte in PVC-U aventi diametro DN250.



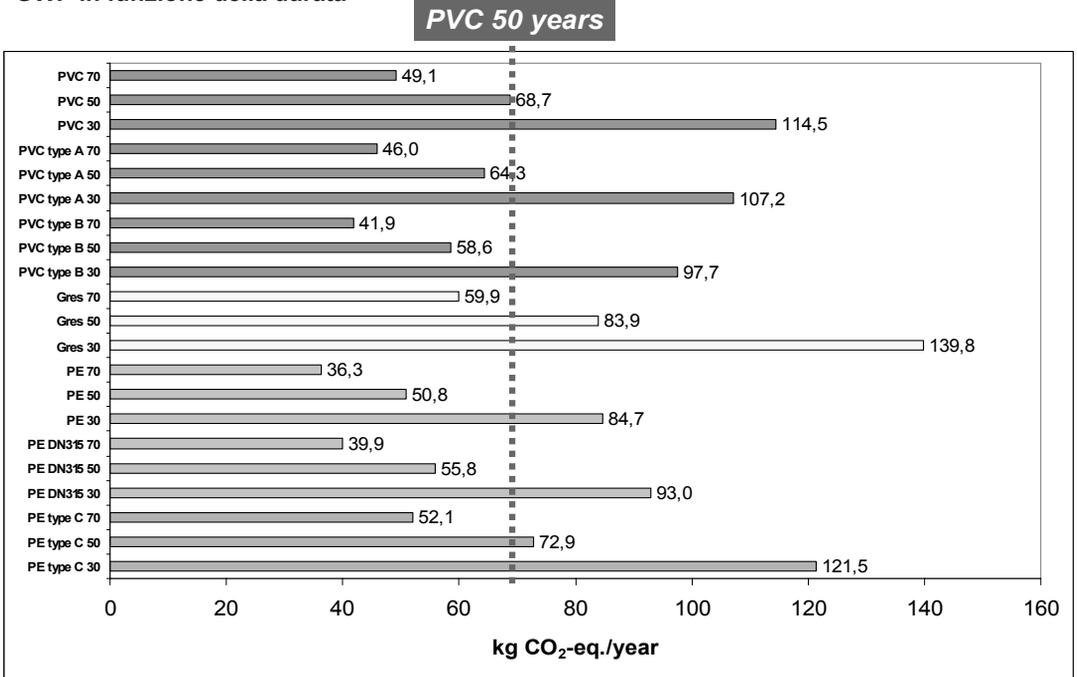
Diminuzione degli indicatori GER e GWP in funzione della percentuale di materiale riciclato contenuto nel prodotto



Durata di vita in opera (Fognature)

Valutazione delle categorie d'impatto GWP in funzione della durata in opera di 30, 50 e 70 anni.

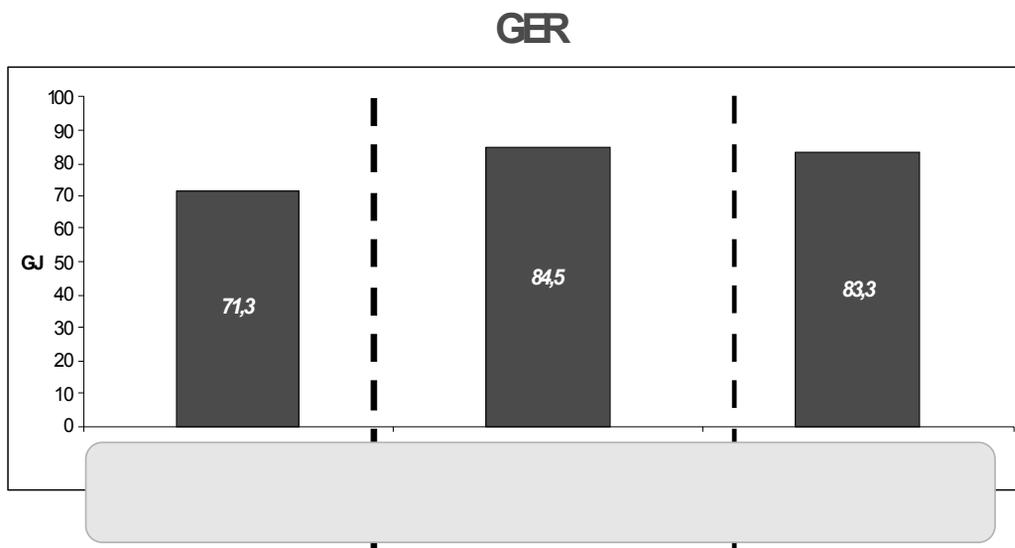
GWP in funzione della durata



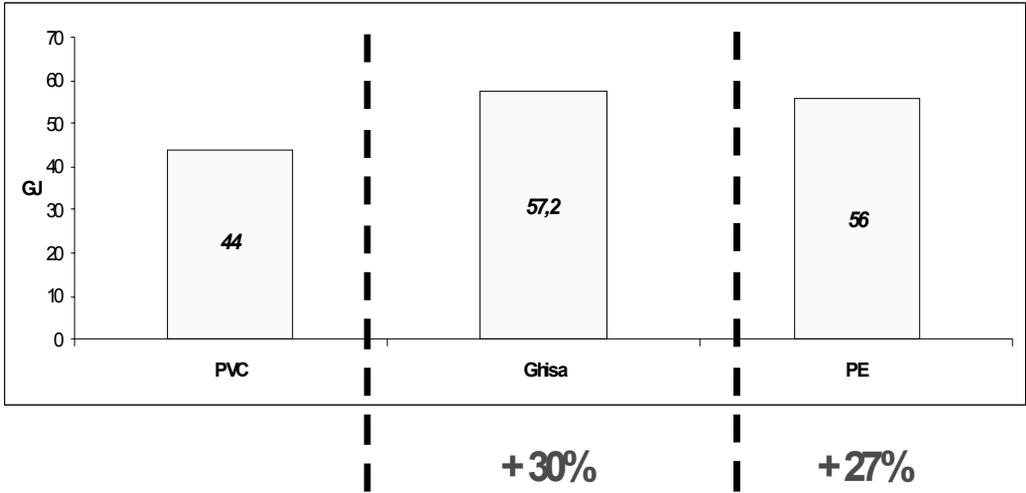
3) CASO STUDIO 2: CONDOTTE IN PRESSIONE

Risultati energetici GJ/60m (Condotte in pressione)

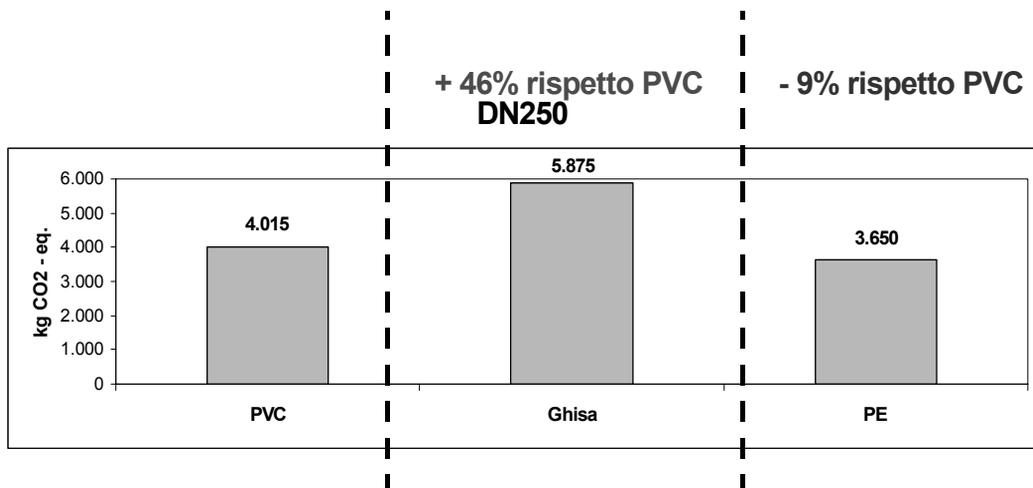
Risultati energetici associati alla produzione ed alla messa in opera di 60 m di tubazione DN 250



GER (messa in opera esclusa)

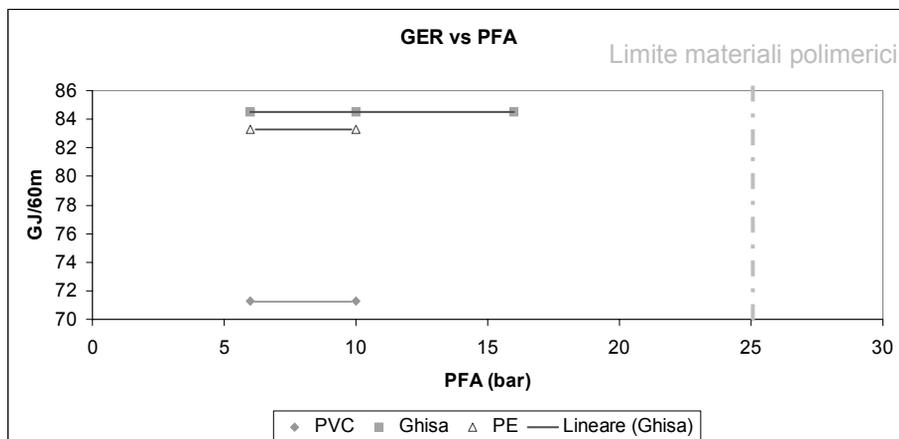


Valutazione degli impatti ambientali (Condotte in pressione)



Contributo all'effetto serra associato alla produzione ed alla messa in opera di 60 m di tubazione avente DN 250 mm (valori centrali dei range numerici). I valori sono espressi in kg CO2-eq.

Rapporto GER – Pressione esercizio ammissibile

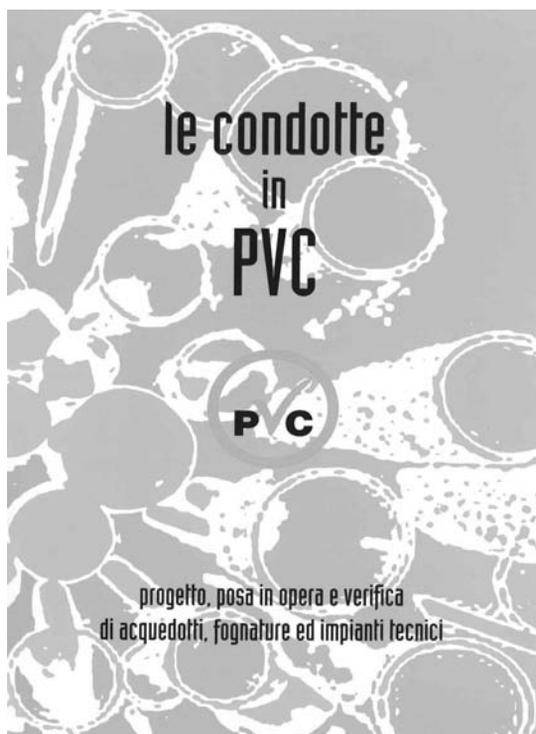


4) I MANUALI PER PROGETTARE CONDOTTE IN PVC



**Le condotte in PVC: progetto, posa in opera
e verifica di acquedotti, fognature e impianti tecnici**

Volume 1: Tubi e raccordi in PVC a norma UNI EN 1329



Indice

Presentazione	XIII
Ringraziamenti	XIV
Il centro di Informazione sul PVC	XV

Capitolo 1: IL PVC

1.1 Policloruro di vinile	1
1.1.1 Cos'è il policloruro di vinile?	1
1.1.2 Quando è nato e come è cresciuto ai livelli attuali?.....	1
1.1.3 A che cosa serve?.....	2
1.1.4 Quali sono i consumi attuali e le motivazioni della crescita?	3

Capitolo 2: ACQUEDOTTI

2.1 Dotazione idropotabile	7
2.2 Condotta di adduzione e serbatoio di compenso	8
2.2.1 Condotta di adduzione	9
2.2.2 Serbatoio di compenso giornaliero	12
2.3 Rete di distribuzione	14
2.3.1 Progettazione della rete	14
2.4 Ancoraggi	19
2.5 Gamma prodotti	21
2.5.1 Tubazioni	21
2.6 Sistemi di tubazioni per l'adduzione d'acqua: Norma UNI EN 1452	21

Capitolo 3: FOGNATURE

3.1 Classificazione delle reti	27
3.2 Le portate pluviali	28
3.3 Portate reflue	29
3.4 Calcolo idraulico	30

3.5	Calcolo meccanico delle reti interratoe.....	33	5.1.4	Drenaggio di reti ferroviarie	66
3.5.1	Carico del terreno	34	5.1.5	Drenaggi di canali	67
3.5.2	Carichi mobili	35	5.1.6	Drenaggio realizzato mediante geotessuti	67
3.5.3	Carico per acqua di falda	36	5.1.7	Drenaggi superficiali, di campi portivi, piste ciclabili	67
3.5.4	Interazione tubo terreno	36	5.2	Drenaggi agricoli	68
3.5.5	Pressione di collasso	38	5.3	Tipologie di tubazioni per il drenaggio	69
3.6	Gamma prodotti	39	5.4	Resistenza meccanica del tubo di drenaggio	70
3.6.1	Tubazioni	39	5.5	Gamma prodotti	70
3.7	Sistemi di tubazioni per fognatura e scarichi interrati non in pressione:	40	5.5.1	Tubazioni	70
3.8	Sistemi di tubazioni a parete strutturata per fognatura e scarichi interrati non in pressione: Tubazioni in PVC-U - PP - PE - Progetto di Norma prEN 13476 (UNI 10968)	43	Capitolo 6: IMPIANTI IDUSTRIALI		
Capitolo 4: IMPIANTI DI SCARICO			6.1	Impianti antincendio	71
4.1	Impianti pluviali	45	6.1.1	Carico di incendio e la resistenza al fuoco	71
4.1.1	Dimensionamento dei canali e dei pluviali	46	6.1.2	Impianti di rivelazione/segnalazione (UNI EN 54)	72
4.1.2	Criteri di progetto e installazione	47	6.1.3	Impianti di spegnimento	72
4.1.3	Esempio	48	6.2	Impianti di aria compressa	78
4.2	Impianti di scarico delle acque usate	49	6.2.1	Cenni alla composizione dell'impianto di aria compressa	78
4.2.1	Tipologia degli schemi	49	6.2.2	Reti di distribuzione	80
4.2.2	Dimensionamento	51	6.3	Impianti chimico-industriali	82
4.2.3	Il progetto d'installazione	54	6.4	Iniezione per il consolidamento e l'impermeabilizzazione	82
4.3	Tubi ad alto potere fonoassorbente	55	6.5	Pozzi artesiani	82
4.3.1	Prove di laboratorio	56	6.6	Gamma prodotti	83
4.3.2	La classificazione al fuoco	56	6.6.1	Tubazioni	83
4.3.3	Posa in opera	56	6.7	Sistemi di tubazioni per condotte di fluidi industriali: Norme UNI 10952 e UNI 10953 - Novembre 2002	84
4.4	Gamma prodotti	57	Capitolo 7: RACCORDI, VALVOLE E PEZZI SPECIALI PER LA REALIZZAZIONE LE CONDOTTE		
4.4.1	Tubazioni	57	7.1	Raccordi	85
4.5	Sistemi di tubazioni per condotte di scarico all'interno dei fabbricati: Norma UNI EN 1329	57	7.1.1	Acquedotto e irrigazione	87
4.6	Sistemi di tubazioni con tubi a parete strutturata per condotte di scarico all'interno dei fabbricati : Norma UNI EN 1453	60	7.1.2	Edilizia	97
Capitolo 5: TUBI DI DRENAGGIO			7.1.3	Fognatura	98
5.1	Sistemi di drenaggio	65	7.2	Valvole	101
5.1.1	Drenaggi in opere civili e in aree sportive	65	7.2.1	Valvole di ritenzione (antriflusso)	101
5.1.2	Drenaggio di muri di sostegno e di contenimento	66	7.2.2	Valvole a sfera	103
5.1.3	Drenaggio delle strade carreggiabili	66	7.2.3	Valvole a farfalla	105
7.4	Pozzetti	110	7.2.4	Valvole di fondo	106
7.4.1	Pozzetto di linea per ispezione e lavaggio	111	7.2.5	Valvole di sfianto	107
7.4.2	Pozzetto di linea con immissione di utenza, con o senza acqua di falda	111	7.2.6	Valvole a membrana	108
7.4.3	Pozzetto di linea con immissione di utenza e cambio di diametro	112	7.3	Sifoni	108
7.4.4	Pozzetto di salto senza continuità di materiale	112	9.2	Tubazioni in pressione per dislivello topografico	130
7.4.5	Pozzetto di salto con continuità di materiale	113	9.2.1	Calcolo idraulico	130
7.4.6	Pozzetto di linea di ispezione e di lavaggio totalmente realizzato in materiali plastico	113	9.2.2	Dati utili per il dimensionamento della condotta	135
7.4.7	Pozzetto in PVC DN 425 per allacciamento con sifone tipo Firenze	114	9.2.3	Esempio	135
7.4.8	Caditoia sifonata in PVC DN 425 per acque piovane	115	9.3	Moto in pressione per la presenza di una pompa idraulica	135
7.4.9	Pozzetto DN 400 per acque nere in PVC - pozzetto in cemento	116	9.3.1	Calcolo idraulico	136
7.5	Pezzi speciali per attacchi con reti esistenti	117	9.3.2	Dati utili per il dimensionamento della condotta	137
7.5.1	Innesto di nuove reti	117	Capitolo 10: PRESSIONI NELLE CONDOTTE		
7.5.2	Collegamenti con altri materiali	119	10.1	Sovrappressioni accidentali	139
Capitolo 6: CALCOLO IDRAULICO			10.1.1	Pressioni variabili e velocità dell'onda d'urto	139
8.1	Definizione di idraulica	121	10.1.2	Calcolo della celerità della perturbazione	140
8.1.1	Idrostatica	121	10.1.3	Colpo d'ariete	142
8.1.2	Idrodinamica	121	10.1.4	Introduzione al metodo di Bergeron	144
8.2	Proprietà dell'acqua	121	10.1.5	Altri metodi di calcolo	145
8.2.1	Densità	121	10.2	L'aria nelle tubazioni	145
8.2.2	Peso specifico	122	Capitolo 11: POSA IN OPERA		
8.2.3	Coesione	122	11.1	Posa in opera delle tubazioni	147
8.2.4	Compressibilità	122	11.2	Raccomandazioni	147
8.2.5	Fluidità	122	11.2.1	Trasporto e accatastamento	147
8.2.6	Viscosità	122	11.3	Installazione errata	149
8.2.7	Tensione superficiale	122	11.3.1	Classifica degli scavi	149
8.2.8	Celerità di propagazione delle perturbazioni	123	11.3.2	Profondità della trincea	150
8.2.9	Coefficiente di attrito	123	11.3.3	Larghezza della trincea	151
8.3	Idrostatica e idrodinamica	124	11.3.4	Fondo della trincea	151
8.3.1	Principi dell'idrostatica	124	11.3.5	Letto di posa	151
8.3.2	Regime di funzionamento	124	11.3.6	Posa del tubo	152
8.3.3	Definizione dei parametri	125	11.3.7	Riempimento	152
8.3.4	Il teorema di Bernoulli	126	11.4	Installazione aerea	154
8.4	Tipi di moto	127	11.4.1	Distanza tra i supporti	154
8.4.1	Moto a pelo libero	127	11.4.2	Installazione aerea di tubazioni di evacuazione acque nere domestiche	157
8.4.2	Moto in pressione	127	11.5	Giunzione delle tubazioni	157
Capitolo 9: CALCOLO DELLE PERDITE IN CARICO			11.5.1	Giunzioni di tipo rigido	159
9.1	Canali	129	11.5.2	Giunzioni di tipo elastico	159
9.1.1	Calcolo idraulico	129	11.5.3	Giunzione con maniccotto a vite	160
9.1.2	Dati necessari al calcolo del canale	129	11.5.4	Giunzione rapida con bigiunto e guarnizioni elastiche	160
			11.5.5	Giunti a serraggio meccanico	161
			11.5.6	Giunto a flangia libera con collare di appoggio o fissa	162

11.5.7 Giunzione mediante guarnizioni elastometriche integrate nella tubazione di PVC	162	14.4 Caratteristiche della resina PVC	208
11.5.8 Esecuzione delle giunzioni	164	14.5 Proprietà del PVC	211
11.6 Riparazione delle tubazioni in PVC	164	14.6 Qualità del PVC rigido	214
Capitolo 12: PROVE DI COLLAUDO		14.7 Trasformazione del PVC	215
12.1 Deformazione diametrica	165	14.7.1 Trasformazione del PVC	215
12.2 Tenuta idraulica: collaudi in opera	166	14.7.2 Gelificazione	215
12.2.1 Acquedotti e impianti irrigui	166	14.7.3 Stabilità termica	215
12.2.2 Fognature non in pressione	167	14.7.4 Lubrificanti	216
12.2.2.1 Prove di tenuta per le tubazioni alveolari: il fenomeno del by-pass	171	14.7.5 Pigmenti	216
12.2.2.2 Prove di tenuta per pozzetti	172	14.7.6 Altri additivi	216
Capitolo 13: QUALITÀ E CERTIFICAZIONI		Capitolo 15: LE CONDOTTE IN PVC RIGIDO	
13.1 La certificazione di qualità	173	15.1 Processi di trasformazione per tubi in PVC	219
13.2 La certificazione di prodotto	174	15.1.1 Tipologia delle tubazioni	219
13.2.1 La certificazione obbligatoria: la marcatura CE	174	15.1.2 Descrizione dei processi di trasformazione	221
13.2.2 La certificazione volontaria di prodotto	177	15.1.3 Caratteristiche generali dei tubi in PVC	222
13.3 La certificazione di sistema	178	15.1.4 Applicazioni principali dei tubi in PVC rigido	224
13.4 La certificazione ambientale	180	15.2 Requisiti delle tubazioni in PVC	226
Capitolo 14: LA PRODUZIONE E LA TRASFORMAZIONE DEL PVC		15.2.1 Resistenza alla pressione interna	226
14.1 Produzione industriale del PVC	181	15.2.2 Resistenza allo schiacciamento	227
14.1.1 Polimerizzazione del CVM	181	15.2.3 Resistenza alla flessione	228
14.1.2 Processo industriale di polimerizzazione del CVM in sospensione acquosa	182	15.2.4 Resistenza all'impatto	228
14.1.2.1 Processo e prodotto	182	15.2.5 Resistenza all'abrasione	229
14.1.2.2 Cinetica di polimerizzazione, peso molecolare e tatticità	186	15.2.6 Resistenza ai prodotti chimici	230
14.1.2.3 Distribuzione dimensionale delle particelle-granuli di PVC sospensione e loro morfologia interna	189	15.3 Comportamento funzionale delle tubazioni in PVC	231
14.1.2.4 Aspetti ambientali e di sicurezza del processo di polimerizzazione in sospensione del CVM e dei corrispondenti prodotti PVC	194	15.3.1 Durata nel tempo di utilizzo	231
14.2 Prodotti PVC sospensione, trasformazione in manufatti e settori applicativi	195	15.3.2 I cicli di funzionamento	231
14.2.1 Prodotti PVC sospensione	195	15.3.3 Resistenza alla temperatura	233
14.2.2 Processi di trasformazione	196	15.4 Grandezze dimensionali e meccaniche	233
14.2.3 Settori applicativi dei manufatti a base di PVC sospensione	199	15.4.1 Le basi delle classificazioni	233
14.3 Compatibilità e sostenibilità ambientale dei manufatti a base di PVC	202	15.4.2 Caratteristiche geometriche e funzionali	233
14.3.1 Valutazione del ciclo di vita LCA di manufatti in PVC	204	15.4.3 Diametri delle tubazioni	235
14.3.2 Recupero e riciclo dei manufatti a fine vita in esercizio	207	15.4.4 Momento di inerzia	235
14.3.3 Considerazioni conclusive	207	15.4.5 Rigidità specifica	235
		15.5 Innovazione nelle tubazioni in PVC	236
		15.5.1 Tubi alveolari	236
		15.5.2 Tubi a parete espansa	237
		15.5.3 Tubi in lega polimerica PVC-A	238
		15.5.4 Tubi a doppia orientazione di molecole PVC-O	239



www.tubipvc.it

TUBI E RACCORDI IN PVC A NORMA UNI EN 1329

Tubazioni di materia plastica per scarichi all'interno dei fabbricati

Volume 1

Campo di applicazione	4	Norme di riferimento UNI EN 1329-1/2-1046 1610-681-1905-1055 ed altre di specifico interesse
Il PVC	12	Che cosa è il policloruro di vinile?
	12	Quando è nato?
	13	A cosa serve?
	14	Il PVC-U per tubi e raccordi a norma UNI EN 1329: applicazioni, caratteristiche e requisiti
	15	Caratteristiche generali del PVC per tubi e raccordi
	17	Requisiti delle tubazioni in PVC
	23	Comportamento funzionale delle tubazioni in PVC
	24	Grandezze dimensionali e meccaniche
Caratteristiche e prestazioni	28	Scheda tecnica e prestazionale secondo norma UNI EN 1329
	36	Caratteristiche generali per scarichi
	36	Il materiale PVC e le condotte di scarico
	38	Potere foncoassorbente di tubi e raccordi in PVC
	41	La classificazione al fuoco
	42	La certificazione di qualità
Qualità	43	La certificazione di prodotto
	44	La certificazione obbligatoria: marcatura CE
	47	La certificazione volontaria di prodotto
	47	La certificazione volontaria di sistema
	48	La certificazione ambientale
	49	Il sistema previsto dalla norma UNI EN 1329
	50	La materia prima
	54	DM 22 Gennaio 2008 n. 37
Dimensionamento	66	Dimensionamento delle reti di scarico
	71	Ventilazione degli impianti di scarico
	78	Sistemi di raccolta delle acque meteoriche
Posa in opera	86	Istruzioni generali per la posa in opera
	89	Istruzioni per il corretto assemblaggio
	89	Insonorizzazione del sistema di scarico
	93	Impianti pluviali di raccolta delle acque meteoriche
	95	Problematiche tipiche della rete di scarico
Il sistema	98	Definizioni
	102	Tipi di giunzione
	102	Tipi di raccordi
Capitolato	104	Capitolato
	105	Disciplinare tecnico
Ambiente	110	Compatibilità e sostenibilità ambientale
	112	Recupero e riciclo

CARATTERISTICHE GENERALI DEI TUBI IN PVC

DENSITA': **1,40 g/dm³** (gli additivi, solidi o liquidi, possono far variare la densità)

MODULO ELASTICO: si definisce **sforzo di trazione nominale** il rapporto tra la forza applicata agli estremi del provino e la superficie A sulla quale si distribuisce:

$$\sigma = F / A$$

La deformazione, a partire dalla lunghezza del provino l_0 , fino al raggiungimento della

$$\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$

lunghezza l_1 , si valuta con il rapporto:

Se nel PVC si mostra una parte iniziale della curva di tipo lineare, allora si potrà esprimere il rapporto tra sforzi e deformazioni mediante il modulo elastico E

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = 36000 \text{ kg / cm}^2 \approx 3600 \text{ MPa}$$

(Il valore di E dipende dalla mescola)

DURABILITA': Le tubazioni in PVC sono **progettate per una vita minima di 50 anni**.

La relazione tra sforzi e deformazioni non è indipendente dal tempo, come sarebbe per i materiali elastici. Per questo nel progetto delle tubazioni in PVC **si applica un coefficiente di sicurezza** che fa in modo di assicurare una vita utile delle tubazioni di 50 anni.

CARATTERISTICHE TERMICHE ED ELETTRICHE:

La **capacità termica** è calcolata come il rapporto tra la conducibilità e la capacità calorica

per unità spaziale: $a = \lambda / (c \cdot \rho) [cm / s]$

in cui λ è la conducibilità termica in cal/(cm s °C), c è il calore specifico in cal/(g °C), ρ è la densità in g/cm³.

La **conducibilità termica** del PVC è circa **0,14 W/(m K)**.

La **rigidezza dielettrica** del PVC è di **20-40 kV/mm**.

CARATTERISTICHE GENERALI DEI TUBI IN PVC

ABRASIONE/SCABREZZA

Le tubazioni in PVC hanno una **elevata resistenza all'abrasione** e uno dei loro vantaggi è proprio l' **estrema levigatezza delle pareti interne che assicurano perdite di carico modeste**.

La **rugosità assoluta K** è la massima delle rugosità relative K/D che si possono trovare all'interno di una tubazione di diametro D .

<i>Tipo di tubazione</i>	<i>Rugosità assoluta</i>
■ Ghisa senza rivestimento	0,25
■ Ghisa rivestita centrifugata	0,50
■ Ferro galvanizzato	0,025
■ Fibrocemento senza rivestimento	0,025
■ Calcestruzzo formato in stampi	0,40
■ Calcestruzzo centrifugato	0,25
■ Calcestruzzo in tubazioni	1,25
■ PVC	0,007

REQUISITI DELLE TUBAZIONI IN PVC

RESISTENZA ALLA PRESSIONE INTERNA

La **pressione nominale PN** è data dalla formula:
$$PN = 20 \cdot \frac{MRS \cdot e}{C \cdot (DN - e)}$$

in cui **MRS** è la **tensione minima richiesta** dalla tubazione

e è lo spessore

DN è il diametro nominale esterno

C coefficiente di sicurezza ($C=2,5$ per diametro > 90 mm; $C=2$ per diametri > 90 mm)

Detto **SDR** il rapporto tra il diametro nominale esterno DN e lo spessore e del tubo e S la serie del tubo si ha:

$$S = \frac{DN - e}{2e}$$

$$SDR = \frac{DN}{e} = 2S + 1$$

La pressione deve essere mantenuta per tutta la prova con una variazione massima di $\pm 2,5$.

Caratteristiche per condurre la prova:

<i>Temperatura °C</i>	<i>Durata delle prova H</i>	<i>Sforzo tangenziale MPa</i>
■ 20	1	42
■ 20	100	35
■ 60	1000	12,5

REQUISITI DELLE TUBAZIONI IN PVC

RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO

I valori suggeriti dalla norma UNI-EN 1401 sono:

- rigidità anulare specifica (stiffness): **SN 2 – 4 - 8 - 16(kN/m²)**
- deformazione verticale del tubo: $\Delta y \leq 4,77 P/L$ in cui **P** è il carico applicato sulla generatrice superiore in Newton, **L** è la lunghezza del provino in mm, Δy è il valore della deformazione aspettata in mm.

Il risultato della prova si ottiene applicando la formula: $stiffness = 0,01863 \frac{1}{L} \frac{P}{\Delta y}$

in cui **Stiffness** è la rigidità anulare specifica in N/m²,
L è la lunghezza del provino in metri,

La rigidità anulare specifica ha anche un'altra formulazione: $stiffness = \frac{EcI}{D_m^3}$

in cui **Ec** è il modulo di Young in N/m²,
I è il momento di inerzia per metro lineare espresso in m³,
e è lo spessore,
Dm è il diametro dell'asse neutro, in metri.

RESISTENZA AI PRODOTTI CHIMICI

Il PVC resiste bene agli acidi come alle basi, agli alcoli e a gli idrocarburi alifatici. È invece poco resistente agli idrocarburi aromatici e clorurati, agli esteri e ai chetoni.

RESISTENZA ALL'ABRASIONE

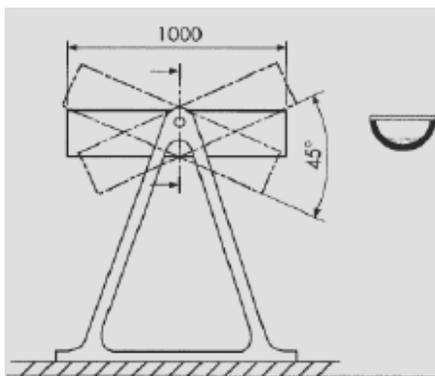
Il PVC presenta una buona resistenza all'abrasione, anche in presenza di spessori ridotti.

Metodo dell'università di Darmstadt : metodo di prova per via umida (considerato il più attendibile).

Provino: semicuscinetto DN300 di tubo lungo 1 m che viene ribaltato alternativamente in lenti movimenti oscillanti, con una f di 0,18 Hz (21,6 cicli/minuto).

Materiale per simulare l'abrasione: miscuglio di sabbia quarzosa/ghiaia/acqua contenente circa il 46% di sabbia quarzosa e ghiaia di granulometria da 0 a 30 mm (il cambio del materiale avviene dopo 100.000 cicli).

Caratteristica valutata: diminuzione locale dello spessore di parete (in mm) dopo un determinato tempo di sollecitazione (e anche in funzione dei numeri di cicli).



Spesso per favorire il funzionamento idraulico si interviene con **getti ad alta pressione** per disincrostare eventuali depositi della fase solida dei liquami scaricati.

Prove di simulazione per la verifica di tenuta delle giunzioni e la resistenza all'effetto abrasivo di getti ad alta pressione: **perfetta tenuta delle giunzioni** e l'ispezione visiva (a mezzo di telecamera) ha evidenziato l'assoluta **assenza di danneggiamenti od erosioni delle superfici interne**.

DURATA NEL TEMPO DI UTILIZZO

- Per loro natura, le tubazioni in PVC rigido possono sopportare elevati sforzi di pressione di corta durata, per lo meno di cinque volte maggiori di quelle che può sopportare a lungo termine.
- Per le tubazioni, il fattore di sicurezza si determina con una prova applicando una pressione rapidamente fino al punto in cui si ha la rottura della tubazione.
- La pressione nominale viene determinata dividendo questa pressione per 2,4.
- La resistenza delle tubazioni in ghisa si calcola dividendo la combinazione dei carichi massimi e la pressione che fa scoppiare il tubo per il fattore di sicurezza 2,5.

- Il **PVC**, essendo un **materiale termoplastico**, risponde alla pressione interna come i plastici, cioè si può avere lo scorrimento o il flouage delle molecole (comportamento **visco-elastico**).
- Lo **scorrimento plastico del PVC rigido** come risposta all'applicazione dello sforzo (ovvero la pressione interna alla tubazione) ha una velocità variabile con la durata dell'applicazione dello sforzo.
- Questo flouage diminuisce al passare del tempo.
- Per una tubazione in PVC rigido, si osserva che il flouage dopo 100.000 ore (circa 11,4 anni) ha raggiunto un valore minimo.
- Per queste tubazioni si sono ricavate per estrapolazione il valore delle resistenza a lungo termine (50 anni) che si utilizzano nel progetto delle tubazioni.
- Proprietà visco-elastiche del PVC a scorrimento delle molecole di PVC rigido:
- la relazione tensione-allungamento non è rettilinea e non è indipendente dal tempo come per i materiali elastici.
- A causa di questo scorrimento, indipendentemente dalla tensione a cui sono sottoposte le pareti delle tubazioni, la rottura avviene dopo un certo tempo.
- Le curve di regressione che si possono calcolare in base alle prove effettuate indicano la necessità di un elevato fattore di sicurezza.
- Generalmente il fattore di sicurezza si calcola per 100.000 ore di applicazione dello sforzo.

FATTORI DI SICUREZZA stabiliti secondo la norma **UNI EN 1452** sono:

- **2,5** per le tubazioni di diametro ≤ 90 mm,
- **2** per diametri > 90 mm

che dovrebbero tenere in conto di tutte le possibili fluttuazioni dei parametri nei 50 anni di vita della tubazione.

Valore minimo richiesto di tensione MRS a 20°C sia di 250 kg/cm² (25 MPa), secondo UNI EN 1452.

EN 1401-1:2009**Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage - Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U)****Part 1: Specifications for pipes, fittings and the system****4.2 Pipe material**

When tested in accordance with the test method as specified in Table 1, using the indicated parameters, the pipe material shall have characteristics conforming to the requirements given in Table 1.

The pipe material shall be tested in the form of a pipe.

Table 1 — Material characteristics of pipes

Characteristic	Requirements	Test parameters		Test method
Resistance to internal pressure	No failure during the test period	End caps Test temperature Orientation Number of test pieces Circumferential (hoop) stress Conditioning period Type of test Test period	Type A or B conforming to EN ISO 1167-1:2006 60 °C Free 3 10 MPa 1 h Water-in-water 1 000 h	EN ISO 1167-1:2006

EN ISO 1452-1:2009**Plastics piping systems for water supply and for buried and above-ground drainage and sewerage under pressure - Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) - Part 1: General****SCOPO**

It is applicable to piping systems intended for the supply of water under pressure up to and including 25 °C (cold water), intended for human consumption and for general purposes as well as for waste water under pressure.

This part is also applicable to components for the conveyance of water and waste water up to and including 45 °C. For temperatures between 25 °C and 45 °C, Figure A.1 of EN ISO 1452-2:2009 applies.

Plastics piping systems for water supply and for buried and above-ground drainage and sewerage under pressure - Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) - Part 1: General

DEFINIZIONI

3.1.4 Definitions related to material characteristics

3.1.4.1 lower prediction limit - σ_{LPL} (expressed in MPa)

quantity which can be considered as a material property, representing the 97,5 % lower confidence limit of the predicted long-term hydrostatic strength at 20 °C for 50 years with internal water pressure

3.1.5 Definitions related to service conditions

3.1.5.1 nominal pressure - PN

numerical designation used for reference purposes related to the mechanical characteristics of a component of a piping system

NOTE 1: For plastics piping systems, it corresponds to the allowable operating pressure, in bar 1), conveying water at 20 °C during 50 years, as given in Equation (4):

$$PN = \frac{20MSR}{C \times (SDR - 1)}$$

NOTE 2: Research on long-term performance prediction of existing PVC water distribution systems shows possible service life of at least 100 years (see Figure 1 and KRV Nachrichten 1/95[8] and TNO Science and Industry[9]).

4.4.2 Verification of compounds or formulations in pipe form of PVC-U 250

If long-term experience with a defined compound or formulation is available, the MRS shall not be re-evaluated. In that case, testing on five samples in parallel for each chosen condition shall be performed. All values found shall be located on or above the σ_{LPL} minimum reference curve ³⁾ given in Figure 1.

Alternatively, the testing time of 10 samples per temperature may be dispersed along the minimum reference curve. In that case, the time frame shall be:

- for 20 °C: Time from 100 h up to and including 5 000 h; the times of which 3 samples shall be between 3 000 h and 5 000 h,
- for 60 °C: Time from 100 h up to and including 5 000 h; the times of which 3 samples shall be between 3 000 h and 5 000 h,

where the check points given in Table 2 shall be integral part of the testing scheme. For the pipe series and end caps to be used, see 4.4.1.

The values of the minimum required hydrostatic strength shall be calculated using Equation (6):

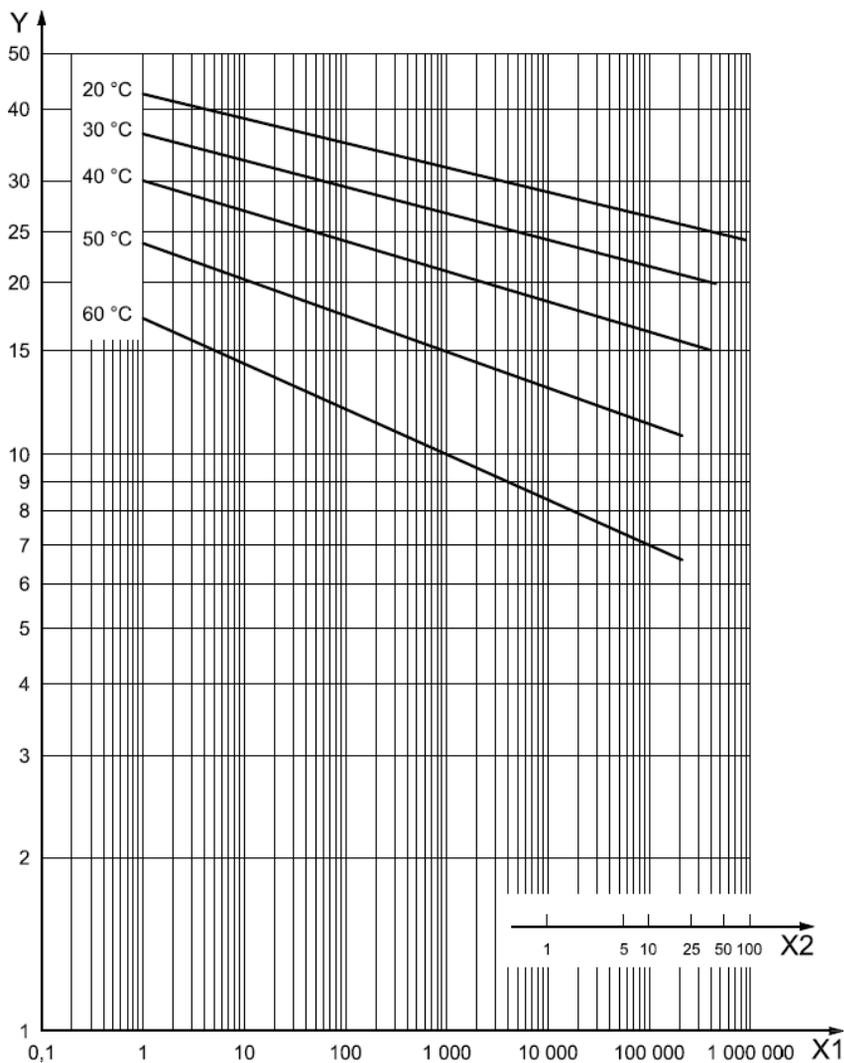
$$\lg t = -164,461 - 29\,349,493 \times \frac{\lg \sigma}{T} + 60\,126,534 \times \frac{1}{T} + 75,079 \times \lg \sigma \tag{6}$$

Table 2 — Example of verification test requirements

Time h	Temperature °C	Stress MPa
100	20	35,00
100	60	11,95
1 000	20	31,87
1 000	60	10,00
5 000	20	29,90
5 000	60	8,85

NOTE Verification testing is used to confirm the material properties after a change of formulation on a long-term experienced material. Verification testing does not give precise information about the slope of the regression curve and therefore is not representative of the MRS value determination.

Figure 1: Minimum reference curve for PVC –U 250



Key

X1 time, t, to fracture, in hours

X2 time, in years

Y hoops stress, σ , in megapascals

EN ISO 1452-2:2009

Plastics piping systems for water supply and for buried and above-ground drainage and sewerage under pressure - Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) - Part 2: Pipes

8.2 Resistance to internal pressure

Pipes shall withstand, without bursting or leakage, the hydrostatic stress induced by internal hydrostatic pressure when tested in accordance with ISO 1167-1, using the test conditions specified in Table 7.

For this test, end caps type A or B in accordance with ISO 1167-1 may be used. In case of dispute, end caps type A shall be used.

Table 7 — Pressure test requirements for pipes

Characteristic	Requirement	Test parameters					Test method
		Temp. °C	Circumferential stress MPa	Time h	Type of test	Number of test pieces ^a	
Short- and long-term strength	No failure during the test	20	42,0	1	Water in water	3	ISO 1167-1 and ISO 1167-2
		60	12,5 ^b	1 000			

^a The number of test pieces given indicates the number required to establish a value for the characteristic described in the table. The number of test pieces required for factory production control and process control should be listed in the manufacturer's quality plan.

^b If tested with the circumferential stress of 12,5 MPa, due to statistical spread of the test results, test times less than 1 000 h can be achieved. In this case, a retest procedure with a circumferential stress of 12,5 MPa or 10,0 MPa shall be performed with pipes of the same production batch and double sampling. If the retest results are positive, the requirement of the minimum reference curve for PVC-U 250, given in ISO 1452-1:2009, 4.4.2, is deemed to be verified.

Plastics piping systems for water supply and for buried and above-ground drainage and sewerage under pressure - Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) - Part 2: Pipes

A.3 Derating factor for service temperatures between 25 °C and 45 °C

The derating factor, f_T , for service temperatures between 25 °C up to 45 °C shall be taken from Figure A.1. The derating factor is based on long-term experience and test results.

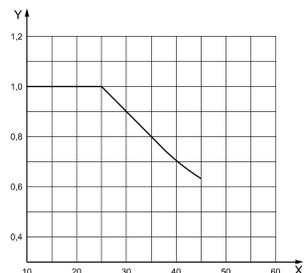
EXAMPLE Consider a pipe with PN 12,5 to be applied for water at 40 °C. From Figure A.1 the derating factor at 40 °C is 0,71. Therefore the maximum allowable operating pressure at 40 °C in continuous use is: $0,71 \times 12,5 \text{ bar} = 8,88 \text{ bar}$.

Figure A.1 – Derating factor, f_T for service temperatures up to 45°

Key

X service temperature, in degrees Celsius

Y derating factor, f_T



UNI EN 1329:2000

Sistemi di tubazione di materia plastica per SCARICHI (a bassa ed alta temperatura) all'interno dei fabbricati. Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U). Specifiche per tubi, raccordi e per il sistema.

Caratteristiche del sistema per l'idoneità all'impiego

Caratteristica	Requisiti	Parametri di prova		Metodo di prova
Prova di tenuta all'acqua	Nessuna perdita	Devono essere conformi alla EN 1053:1995		EN 1053:1995
Prova di tenuta all'aria	Nessuna perdita	Devono essere conformi alla EN 1054:1995		EN 1054:1995
Cicli ad alta temperatura per applicazioni nell'area "B"	Nessuna perdita Freccia per: DN ≤ 50: ≤ 3 mm DN ≥ 50: ≤ 0,05 d _n	Devono essere conformi alla EN 1055:1996		Assemblaggio di prova a) (figura 1 e/o 3 della EN 1055:1996) in accordo con la EN 1055:1996
Cicli ad alta temperatura per applicazioni nell'area "BD"	Nessuna perdita Freccia per: DN ≤ 50: ≤ 3 mm DN ≥ 50: ≤ 0,05 d _n	Devono essere conformi alla EN 1055:1996		Assemblaggio di prova b) (figura 2 della EN 1055:1996) in accordo con la EN 1055:1996
Tenuta degli assemblaggi per la zona di applicazione "BD"	Nessuna perdita Nessuna perdita ≤ - 0,27 bar	Temperatura di prova	(23 ± 5) °C	Condizione B Metodo 4 in accordo con la EN 1277:1996
		Deformazione del codolo	≥ 10%	
		Deformazione del bicchiere	≥ 5%	
		Differenza	≥ 5%	
		Pressione acqua	0,05 bar	
		Pressione acqua	0,5 bar	
		Pressione aria	- 0,3 bar	
	Nessuna perdita Nessuna perdita ≤ - 0,27 bar	Temperatura di prova	(23 ± 5) °C	Condizione C Metodo 4 in accordo con la EN 1277:1996
		Flessione angolare	2°	
		Pressione acqua	0,05 bar	
		Pressione acqua	0,5 bar	
		Pressione aria	- 0,3 bar	
Comportamento a lungo termine delle guarnizioni di TPE nell'area "BD"	Pressione di tenuta: a) a 90 d: ≥ 1,3 bar b) per estrapolazione a 100 anni: ≥ 0,3 bar	Devono essere conformi al prEN 1389		prEN 1389

Sistemi di tubazione di materia plastica per SCARICHI (a bassa ed alta temperatura) all'interno dei fabbricati.

Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U)

Specifiche per tubi, raccordi e per il sistema.

Caratteristiche del materiale dei tubi

Caratteristica	Requisiti	Parametri di prova		Metodo di prova
Resistenza alla pressione interna	Nessuna rottura durante la prova	Tappi di estremità Temperatura di prova Orientamento Numero di provette Sforzo circonferenziale Periodo di condizionamento Tipo di prova Durata della prova	Tipo a o b 60 °C Libero 3 10,0 Mpa 1 h Acqua in acqua 1 000 h	EN 921:1995

Caratteristiche del materiale dei raccordi

Caratteristica	Requisiti	Parametri di prova		Metodo di prova
Resistenza alla pressione interna	Nessuna rottura durante la prova	Tappi di estremità Dimensioni Temperatura di prova Orientamento Lunghezza libera, per raccordi ad iniezione Numero di provette Sforzo circonferenziale Periodo di condizionamento Tipo di prova Durata della prova	Tipo a o b 50 mm d_n 110 mm 60 °C Libero ≥ 140 mm 3 6,3 Mpa 1 h Acqua in acqua 1 000 h	EN 921:1995

Vita utile residua delle tubazioni esistenti in PVC per il trasporto di acqua

Premessa:

Attualmente non vi è nessun metodo sperimentale per valutare la vita utile (di esercizio) residua di tubi esistenti in PVC.

Attività svolta da

“TNO Scienze and Industry” in collaborazione con produttori di PVC Dyca

Indagine iniziale per predire la vita di esercizio residua di tubi.

Metodo di valutazione esistente: 50 anni di vita utile di esercizio residua

Il processo di degradazione influenza la vita di esercizio del sistema ed è stato studiato sviluppando un processo accelerato (invecchiamento) in modo che sia il più possibile rappresentativo.

Il PVC non è sensibile alla degradazione chimica, anche se la struttura chimica può comunque deteriorarsi.

Il PVC è molto più soggetto a essere degradato termicamente durante il processo di trasformazione rispetto al prodotto finito che ne deriva (tubo in PVC).
La degradazione chimica è neutralizzata dalla presenza di stabilizzanti.

Vita utile delle tubazioni in PVC per acqua esistenti

Nella maggior parte dei tubi in PVC esistenti che sono stati analizzati, il tempo di vita residuo è stimato in almeno 100 anni, se i tubi sono impiegati per la specifica applicazione per cui sono progettati.

I danni e/o rotture lungo le pareti dei tubi sono meno di 1 mm in profondità.

Arco temporale di durata convenzionale: 50 anni.

Analisi e studi tecnici mostrano che la durabilità è largamente superiore a 100 anni.

La DURABILITA' di sistemi esistenti per la distribuzione di acqua potabile in PVC

Studio condotto dall'istituto di ricerca **TNO Industrial Technology** in collaborazione con i produttori di PVC, i produttori di tubi e le società degli acquedotti nei Paesi Bassi (Dyca)

Obiettivo: mettere a punto **metodi affidabili di previsione della vita residua** dei sistemi di distribuzione dell'acqua in PVC **sulla base di un'approfondita conoscenza dei processi di degradazione**

PROCESSI DI DEGRADAZIONE DEL PVC

- ☞ **Degradazione chimica:** deidroclorinazione, ossidazione e foto-ossidazione
- ☞ **Degradazione fisica:** invecchiamento fisico
- ☞ **Degradazione meccanica:** microfessurazioni, cricche, difetti e altri danni microscopici

Campioni di tubi in PVC dissotterrati e studiati

Codice tubo	Anno di produzione o installazione	Diametro (mm)	Spessore parete (mm)
Tilburg	1950	108	3.3-3.6
Haarle	1964	108	2.9-3.4
Denekamp	1965	108	3.6-4.0
Gouda	Non noto	108	3.2-3.5
Pipelife	2002	110	4.4-4.5
Tilburg-315	1975	315	9.0-11.1

CONCLUSIONI

☞ **Variazione nello spessore della parete del tubo**

La variazione nello spessore della parete è piuttosto alta per i tubi più vecchi.

☞ **Stabilizzanti a base di piombo**

Non sussiste alcuna dipendenza chiara tra il tenore di stabilizzante al piombo consumato e l'età dei tubi in PVC. Una modellazione basata sui processi termici attivati dimostra che la maggior parte della degradazione di PVC ha luogo durante la lavorazione e non durante la sua vita in esercizio nel suolo a 5 – 20 °C. Le variazioni nel consumo di stabilizzante sono associate ad una variazione nel processo di produzione e/o a tempi di sosta più lunghi nell'estrusore. Sussiste un'alta quantità di stabilizzante effettivo lasciato (~ 70%) in tutti i tubi in PVC studiati, che sembra sufficiente a proteggere quei tubi in PVC per almeno altri 50 anni.

- Tubi con diametro 315 mm: consumo di stabilizzante fino al 15%
- Tubi con diametro 500 mm (prodotto nel 1973): consumo di stabilizzante fino al 23%

☞ **Gelificazione**

Il grado di gelificazione (valutato tramite DCS) è un parametro importante relativo alla stabilità delle microfessurazioni, della crescita di microfessurazioni e cricche e alla resistenza all'impatto:

- grado di gelificazione più alto: nel caso di tubi più recenti
- grado di gelificazione basso : breve tempo di rottura con livelli di tensione che eccedono il livello di tensione critico per l'innescò di una microfessurazione.
- i tubi in PVC con un livello più basso di gelificazione sono soggetti a rottura in situazioni dinamiche causate per esempio dalla trapanatura di nuovi raccordi, colpi d'ariete e dai carichi di traffico.

☞ **Innesco di microfessurazioni**

La curva di innesco di microfessurazioni (tensione in funzione del tempo fino all'innescò) è pressoché la medesima per tutti i tubi esaminati.

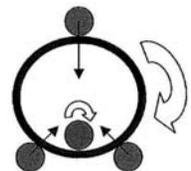
Sulla tensione di innesco di microfessurazioni nei tubi in PVC incidono pertanto in piccola misura l'evoluzione della degradazione e i processi di invecchiamento.

A seguito del lieve incremento di rigidità del PVC al crescente grado di invecchiamento fisico, il livello di tensione critico per le microfessurazioni diminuirà in una certa misura.

☞ **Fatica**

Le misurazioni di fatica sono state eseguite usando un carico di compressione mediante anelli unito ad una rotazione dell'anello a 1 Hz. Gli anelli sono stati ricavati dal tubo.

La larghezza di tali anelli è di 30 Mm. La sollecitazione di trazione massima nello strato interno è stata calcolata sulla base del carico di compressione applicato.



- Tutti i tubi in PVC studiati hanno evidenziato un comportamento uniforme.
- La rottura riscontrata nelle prove di fatica è fragile.
- Si è osservato un meccanismo di crescita delle microfessurazioni-cricche nella superficie della frattura.
- il livello di tensione è più basso di circa 5 MPa per i test di fatica rispetto ai test di innesco di microfessurazioni.

Fattori correlati alla tensione/sollecitazione esterna nei vari stadi della vita di un tubo in PVC

Stadio	Processo	Fattori esterni
Raffreddamento	Tensione interna	Velocità di raffreddamento
Installazione	Deformazione tubi	Carico del terreno; deformazione locale fino allo 0,7%
Periodo di esercizio	Pressione dell'acqua	Pressione dell'acqua (circa 5 bar)
Periodo di esercizio	Colpo d'ariete	Variazioni di pressione dell'acqua (0-7 bar)
Periodo di esercizio	Trapanatura di nuovi raccordi	Picchi di tensione locale

La durata di vita dei sistemi per il trasporto dell'acqua potabile in PVC è SUPERIORE A 50 anni e forse a 100 anni, a patto che il materiale sia opportunamente lavorato, installato ed applicato in condizioni di esercizio per cui è progettato.

La DURABILITA' di sistemi esistenti per la distribuzione di acqua potabile in PVC



Uni-Bell has an extensive collection of technical papers and experience articles that cover the subject of water and sewer pipe longevity in detail. These items are available, free of charge, by contacting Uni-Bell.

After reading these papers, **we believe you will come to the same conclusion that we have and consider one hundred years an extremely conservative estimate for the service life of a properly designed and installed PVC pipe.**

5) PRESTAZIONI A LUNGO TERMINE DI SISTEMI DI DISTRIBUZIONE IDRICA IN PVC

J. Breen, A. Boersma, TNO Industrial Technology, Eindhoven, Paesi Bassi
P.G.G. Slaats, J.H.G. Vreeburg, Ricerca Idrica Kiwa, Nieuwegein, Paesi Bassi

RIASSUNTO

In collaborazione con i produttori di PVC, i produttori di tubi e le società degli acquedotti nei Paesi Bassi, viene condotto uno studio da parte dell'istituto di ricerca TNO Industrial Technology sullo stato attuale del sistema di distribuzione idrica in PVC esistente e sulla previsione della sua vita residua. La previsione della vita residua dei sistemi di distribuzione idrica in PVC è complicata a causa delle variazioni nella qualità di produzione, del processo di installazione, delle condizioni di esercizio, del carico di traffico ecc. Si verificano inoltre dei processi di degradazione del materiale nel corso dell'intera storia dei sistemi in PVC.

Le conseguenze per il comportamento a lungo termine sono state studiate ad iniziare dai processi di degradazione nei prodotti in PVC accompagnati dalle condizioni di lavorazione, installazione ed esercizio.

Si propongono delle procedure atte ad accelerare i relativi processi di degradazione nei materiali in PVC con una vita utile di vari decenni.

INTRODUZIONE

La lunghezza totale dei tubi dell'acqua potabile in PVC nei Paesi Bassi era di circa 55.000 km nel 2000 ed è tuttora in crescita (1). I primi tubi in PVC furono installati negli anni '50 del secolo scorso. Circa 2000 km di tubi dell'acqua in PVC furono installati negli anni '60. Procedure sperimentali e di estrapolazione sono state messe a punto per garantire la durata di vita dei tubi in PVC sin dalla prima installazione. La linea guida BRL K502 è attualmente applicata nei Paesi Bassi per i tubi in PVC di nuova produzione (2).

La linea guida si basa sulle norme europee e garantisce una durata di impiego di circa 50 anni quando i tubi in PVC sono installati e impiegati correttamente. Il periodo di 50 anni sarà raggiunto nell'arco di qualche anno per i tubi in PVC installati negli anni '50. Attualmente, è iniziato il dibattito sulle procedure atte a quantificare la vita residua dei sistemi di distribuzione idrica in PVC esistenti.

L'obiettivo del presente studio consiste nel mettere a punto metodi affidabili di previsione della vita residua dei sistemi di distribuzione dell'acqua in PVC sulla base di una approfondita conoscenza dei processi di degradazione sottostanti che siano accettati dall'industria dei tubi in PVC e dagli utenti dei tubi dell'acqua in PVC. Sarà inclusa una previsione della durata di vita di sistemi in PVC di nuova produzione sulla base di tali metodi. Sarà inoltre esaminata la sollecitazione torsionale di progetto dei tubi dell'acqua in PVC sulla base dei risultati ottenuti nel presente studio.

Le attività sono iniziate con la redazione e la valutazione di eventuali processi di degradazione nel PVC.

Rotture sul campo, unitamente ad informazioni degli sponsor (Kiwa, Dyka, LVM, Pipelife, Shin-Etsu, Solvin e Wavin), sono state discusse al fine di chiarire le cause più probabili e le modalità di rottura. È stato sviluppato un modello atto a prendere in considerazione i vari processi di degradazione. Sono stati effettuati alcuni esperimenti introduttivi su piccoli tratti di tubi dell'acqua in PVC dissotterrati. Sono stati messi a punto dei metodi di

accelerazione dei vari processi di degradazione nell'intento di ottenere una previsione affidabile della durata di vita residua dei sistemi idrici in PVC esistenti. Alcuni dei risultati ottenuti finora sono presentati in questo articolo.

PROCESSI DI DEGRADAZIONE E CONSEGUENZE

Sono considerati tre gradi di degradazione nel materiale PVC, ovvero la degradazione chimica, la degradazione fisica e la degradazione meccanica. I processi di degradazione chimica dominanti nel PVC sono la deidroclorinazione, l'ossidazione e la foto-ossidazione (3). L'invecchiamento fisico è un importante processo di degradazione fisica (4). Per degradazione meccanica, si intende la distribuzione di microfessurazioni, cricche, difetti ed altri danni microscopici. I gradi di degradazione chimica, fisica e meccanica, unitamente alla distribuzione dei pesi molecolari, alla morfologia della matrice di PVC e alle sollecitazioni interne, determinano le proprietà funzionali che sono correlate alla sollecitazione o tensione critica per ulteriori microfessurazioni, l'innescò e la crescita di cricche in presenza delle condizioni di esercizio incontrate dal sistema di distribuzione in PVC. La sollecitazione o tensione critica è definita qui come tensione alla quale si verifica la rottura. Tale livello di sollecitazione o tensione dipende dalla velocità di sollecitazione registrata, ad esempio durante la trapanatura o in presenza di costante sollecitazione torsionale, dalla temperatura e dall'interazione con le sostanze chimiche.

Un'illustrazione della rottura causata da innescò e crescita di microfessurazioni, da innescò e crescita di cricche in presenza di una costante sollecitazione è riportata nella Figura 1. La dipendenza dal tempo del limite di snervamento, la curva di innescò di microfessurazioni e la curva di rottura fragile sono rappresentate schematicamente su una scala dei tempi logaritmica. Le frecce rappresentano la variazione fra un materiale prodotto di recente e un vecchio materiale in PVC. Il limite di snervamento aumenterà con il tempo di invecchiamento a causa dell'invecchiamento fisico. La tensione di innescò delle microfessurazioni può aumentare con il limite di snervamento o ridursi quando il danno meccanico si è verificato durante l'invecchiamento. La crescita delle microfessurazioni, la transizione in cricca e la crescita delle cricche fino a rottura accadrà più rapidamente nei tubi in PVC invecchiati.

La curva di innescò delle microfessurazioni è una proprietà del materiale su cui influisce l'invecchiamento fisico. La crescita delle microfessurazioni e la crescita delle cricche sono determinate dal livello di gelificazione e meno dal peso molecolare, a patto che il peso molecolare ecceda un valore critico minimo.

Il grado di degradazione meccanica può essere quantificato in prima approssimazione dalla temperatura di transizione fragile-duttile. La degradazione chimica è caratterizzata da una variazione nello spettro dell'infrarosso e da una variazione nella distribuzione di peso molecolare.

I fattori esterni legati a sollecitazioni e tensioni sono riassunti nella tabella 1. Sfortunatamente, il fattore interno ed esterno può variare considerevolmente fra diversi tubi in PVC, in funzione dello spessore della parete, del tasso di estrusione, dell'installazione, ecc. È pertanto necessario studiare le variazioni nel carico di rottura dei tubi in PVC come funzione di tali parametri.

La variazione nella degradazione chimica, nell'invecchiamento fisico e nelle condizioni esterne ed interne può essere affrontata con un approccio probabilistico. Una situazione semplice è mostrata nella figura 2 per un prodotto la cui durata di vita è determinata dalla resistenza meccanica. Il prodotto deve resistere ad un carico S , che è soggetto ad alcune variazioni dovute per esempio alle variazioni della pressione dell'acqua e al carico di

traffico. Si presume che la resistenza R del prodotto diminuisca per effetto dei processi di degradazione attivi nel materiale del prodotto. La distribuzione del carico S è correlata alle condizioni di esercizio. La distribuzione della resistenza R è correlata alla variazione nei materiali PVC impiegati.

PARTE SPERIMENTALE

Materiali dei tubi

Lo studio introduttivo è stato eseguito utilizzando piccole parti di tubi in PVC dissotterrati e alcuni tubi recentemente prodotti a partire dal 2002. I tubi studiati sono presentati nella tabella 2. La variazione nello spessore della parete è piuttosto alta per i tubi più vecchi.

Stabilizzante a base di piombo Lo stabilizzante a base di piombo reagisce con l'acido cloridrico che è rilasciato come risultato della degradazione chimica del PVC a temperature più alte, soprattutto durante la sosta nell'estrusore. Il tenore totale di piombo è stato misurato mediante spettroscopia di assorbimento atomico. Lo ione di cloruro legato agli ioni di piombo è stato dapprima rilasciato dalla matrice di PVC con metodi di soluzione ed estrazione e finalmente quantificato mediante cromatografia in fase liquida ad alta pressione.

Gelificazione

Il grado di gelificazione è stato determinato utilizzando la calorimetria differenziale a scansione (DSC). È stato impiegato un piccolo tratto dell'interno di un tubo in PVC. È stata selezionata la parete interna perché gli esperimenti di innesco delle microfessurazioni e incrinature per sollecitazioni ambientali sono stati condotti sull'interno del tubo. Il grado di gelificazione può essere ottenuto dal rapporto di due aree nel termogramma DSC separate dalla temperatura di lavorazione (5).

Innesco di microfessurazioni

Provini rastremati sono stati applicati in modo da seguire il fronte di innesco delle microfessurazioni in funzione del tempo di caricamento (6). Quando al campione è applicata una forza di trazione costante, la tensione nella parte più piccola del campione è pari al doppio della tensione nella parte più grande.

Microfessurazioni superficiali sono state osservate con un microscopio ordinario (ingrandimento $\times 50-100$) con luce obliqua. Gli esperimenti di innesco di microfessurazioni sono stati condotti in un ambiente condizionato a 23°C e 40 % u.r.

Fatica

Le misurazioni di fatica sono state eseguite usando un carico di compressione mediante anelli unito ad una rotazione dell'anello a 1 Hz (vede figura 3). Gli anelli sono stati ricavati dal tubo. La larghezza di tali anelli era di 30 millimetri. La sollecitazione di trazione massima nello strato interno è stata calcolata sulla base del carico di compressione applicato.

RISULTATI

I risultati di un numero limitato di esperimenti sono presentati in questo capitolo. Tenore di stabilizzante I risultati concernenti il consumo dello stabilizzante a base di piombo sono inclusi nella tabella 3 per due tubi in PVC studiati aventi un diametro di 110 millimetri. È emerso un consumo dello stabilizzante a base di piombo fino a circa il 15% per i tubi studiati aventi un diametro di 315 mm. È emerso un più alto consumo di stabilizzante a base di piombo pari a circa il 23 % per il tubo in PVC avente un diametro di 500 millimetri prodotto nel 1973. La più grande quantità di consumo di stabilizzante a base di piombo si registra durante il processo di estrusione. A seguito del più lungo tempo di sosta nell'estrusore, si consuma più stabilizzante a base di piombo per i tubi di diametro più ampio.

Gelificazione

I gradi di gelificazione ottenuti tramite DSC e le temperature di lavorazione sono presentati nella tabella 3.

Il grado di gelificazione è il più alto per il tubo più recente (Pipelife) prodotto. I tubi risalenti agli anni sessanta (1964/1965) presentano un grado analogo di gelificazione e una temperatura di lavorazione paragonabile. Il tubo più vecchio (Tilburg) del 1950 ha una temperatura di lavorazione paragonabile a quella del nuovo tubo e ha un grado leggermente più basso di gelificazione. Il tubo (Gouda) di età sconosciuta è lavorato alla minima temperatura e ha un grado molto basso di gelificazione. Questo tubo è stato prodotto probabilmente nei primi anni '70.

Innesco di microfessurazioni

L'esperimento di innesco di microfessurazioni è stato eseguito caricando i provini nella direzione della lunghezza del tubo. La microfessurazione innescata durante l'installazione, che sarà parallela alla direzione della lunghezza, non ostacolerà quindi tale misurazione. La Figura 4 dimostra che il tempo di innesco delle microfessurazioni in funzione del caricamento ingenera la stessa curva di innesco di microfessurazioni dei tre campioni analizzati.

Fatica

Alcune misurazioni preliminari sono state eseguite sugli anelli di tubo rotti nel quadro del test di fatica. I risultati ottenuti su tubi in PVC di 110 mm di diametro sono rappresentati nella figura 5. Di nuovo, tutti i tubi in PVC studiati hanno evidenziato una curva analoga entro la banda di dispersione. Il tubo in PVC dissotterrato a Haarle ha evidenziato alcune microfessurazioni superficiali, che si sono tradotte in un'accelerazione della rottura. La rottura riscontrata nelle prove di fatica è fragile. Un meccanismo di crescita delle microfessurazioni-cricche è osservato nella superficie della frattura.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Consumo di stabilizzante

In base ai dati presentati, si conclude che non sussiste alcuna dipendenza chiara dello stabilizzante a base di piombo consumato e dell'età dei tubi in PVC. Una modellazione basata sui processi termici attivati dimostra che la maggior parte della degradazione di PVC ha luogo durante la lavorazione e non durante la sua vita di servizio nel suolo a 5-20°C. Le variazioni nel consumo di stabilizzante sono associate ad una variazione nel processo di produzione e/o a tempi di sosta più lunghi nell'estrusore. Sussiste un'alta quantità di stabilizzante effettivo lasciato (~ 70%) in tutti i tubi in PVC studiati, che sembra sufficiente a proteggere quei tubi in PVC per almeno altri 50 anni. Attualmente, il tasso di consumo dello stabilizzante a base di piombo è quantificato in condizioni di esercizio.

Gelificazione

Il grado di gelificazione è un parametro importante laddove concerne la stabilità delle microfessurazioni, la crescita di microfessurazioni e cricche e la resistenza all'impatto. Un grado più basso di gelificazione si traduce in un più breve tempo di rottura con livelli di tensione che eccedono il livello di tensione critico per l'innescò di una microfessurazione. I tubi in PVC con un livello più basso di gelificazione sono soggetti a rottura in situazioni dinamiche causate per esempio dalla trapanatura di nuovi raccordi, colpi d'ariete e dai carichi di traffico.

Innesco di microfessurazioni

È stato trovato che la curva di innescò di microfessurazioni (tensione in funzione del tempo fino all'innescò) è pressoché la medesima per tutti i tubi esaminati. Sulla tensione di innescò di microfessurazioni nei tubi in PVC incidono pertanto in piccola misura l'evoluzione della degradazione e i processi di invecchiamento. A seguito del lieve incremento di rigidità del PVC al crescente grado di invecchiamento fisico, il livello di tensione critico per le microfessurazioni diminuirà in una certa misura.

Fatica

La tensione massima in funzione delle curve dei cicli mancanti alla rottura emersa per i tubi in PVC studiati è simile alla tensione costante in funzione del tempo all'innescò delle microfessurazioni.

Tuttavia, il livello di tensione è più basso di circa 5 MPa per i test di fatica rispetto ai test di innescò di microfessurazioni. Tale differenza di tensione si ritiene in parte causata dalla sollecitazione di trazione interna nella parete interna del tubo in PVC dovuta al raffreddamento proveniente dall'esterno del tubo nella linea di estrusione e in parte da uno stimolo del processo di innescò di microfessurazioni dovuto al carico di fatica. La curva di rottura ottenuta in presenza di carico di fatica è applicata in modo da quantificare il numero di colpi d'ariete accettabile per il tubo in PVC in esame.

La redazione, gli esperimenti e la modellazione eseguiti finora conducono alla conclusione preliminare che la durata di vita dei sistemi dell'acqua potabile in PVC nei Paesi Bassi sarà superiore a 50 anni e forse a 100 anni, a patto che il materiale sia ben lavorato, installato bene ed applicato in condizioni di esercizio relativamente lievi. Una previsione fondata del comportamento di un sistema in PVC esistente entro i prossimi anni richiede alcuni esperimenti concentrati sui processi di degradazione dominanti.

RINGRAZIAMENTO

Questo lavoro è stato sovvenzionato da Kiwa, Dyka, LVM, Pipelife, Shin-Etsu, Solvin e Wavin.

RIFERIMENTI

1. P.G.G. Slaats, J.HG. Vreeburg, A. Boersma, J. Breen, *H²O*, 2003, 36 (16), 25.
2. BRL K502, "Water systems of PVC-U", Kiwa, 1998.
- 3 B. Dolezel, "Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi", Hanser Verlag, München, 1978.
- 4 L.C.E. Struik, "Physical aging in amorphous polymers and other materials", Elsevier, Amsterdam, 1978.
- 5 M. Gilbert, IC. Vyoda, *Polymer*, 1981,22, 1134.
- 6 J. Breen, *J. Mater. Sci.*, 1993,28, 376

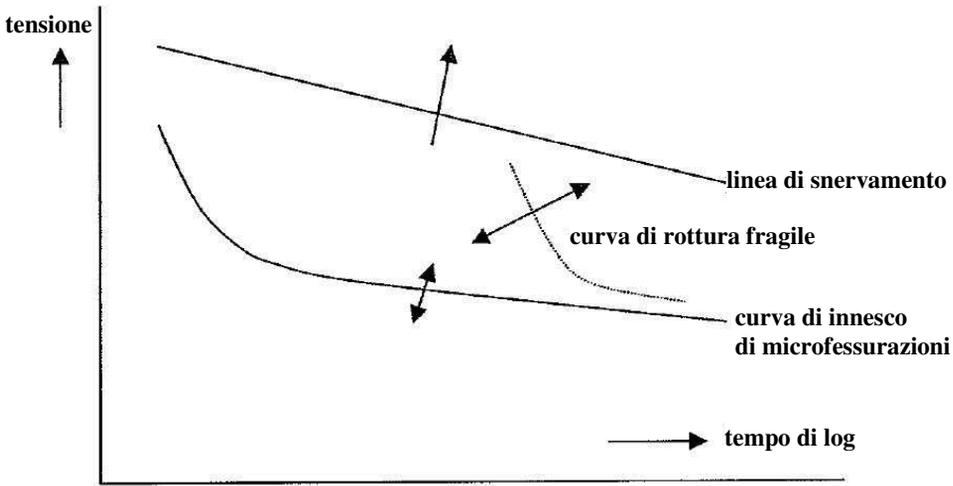


Figura 1 La dipendenza dal tempo del limite di snervamento, la curva di innesco di microfessurazioni e la curva di rottura fragile sono rappresentate schematicamente su una scala dei tempi logaritmica. Le frecce nella linea di snervamento, la curva di innesco di microfessurazioni e la curva di rottura fragile rappresentano la variazione con l'invecchiamento. Si noti che il cambiamento può essere verso tempi più lunghi o più brevi in presenza di una determinata tensione.

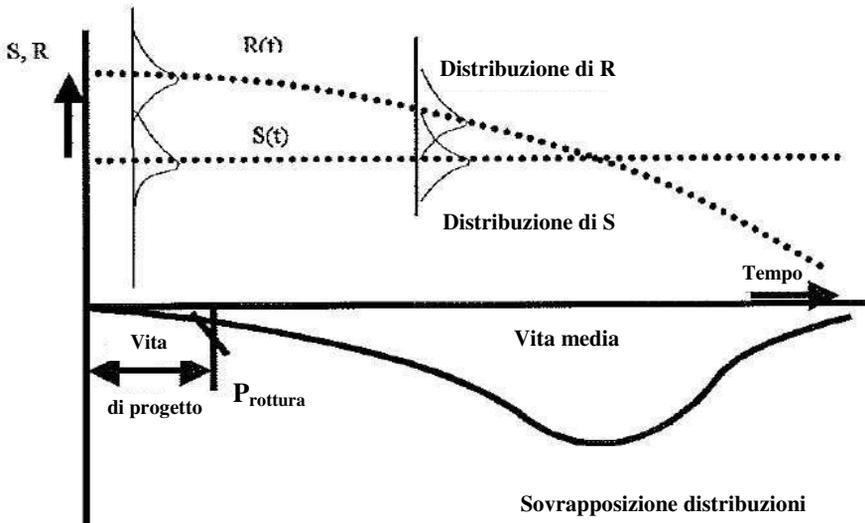


Figura 2 Illustrazione schematica nella quale la vita di un prodotto è definita come il momento in cui viene superata una certa probabilità di rottura.

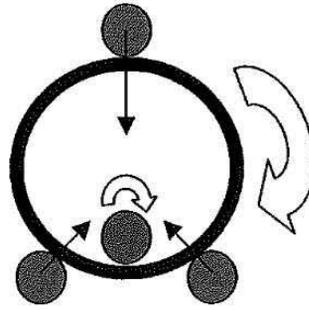


Figura 3 Illustrazione schematica della fatica ruotando un anello del tubo in PVC sottoposto a carico di compressione.

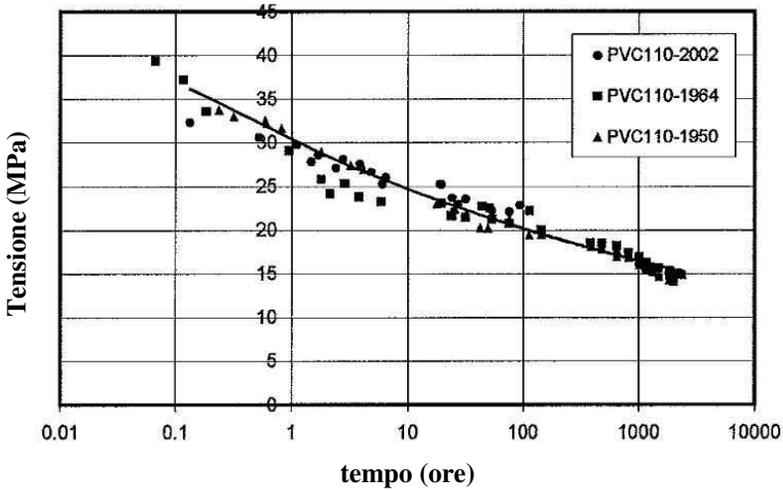


Figura 4 Curve di innesco di microfessurazioni per provini prelevati da tubi in PVC da 110 millimetri (Tilburg 1950; Haarle 1964; Pipelife 2002).

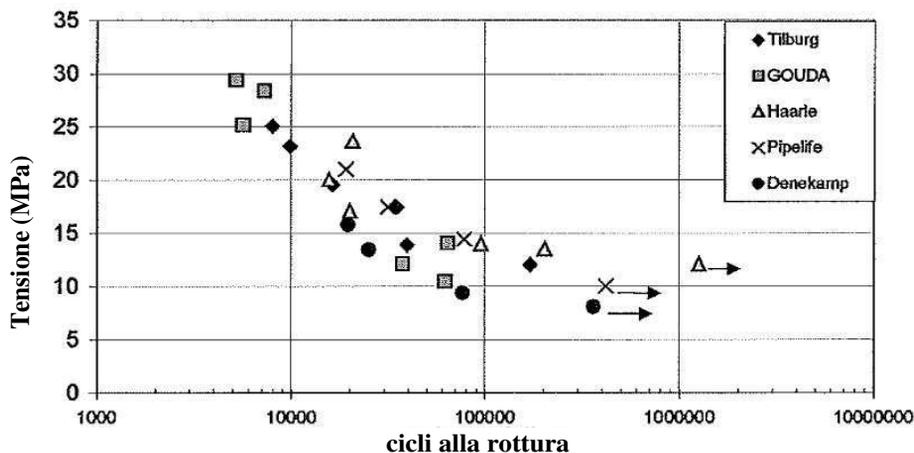


Figura 5 Curve di fatica (massima tensione in funzione dei cicli mancanti alla rottura) per provini prelevati da tubi in PVC da 110 millimetri (Tilburg 1950; Haarle 1964; Denekamp 1965; Pipelife 2002). Una freccia viene aggiunta quando il provino non si è rotto.

Tabella 1

Fattori correlati alla tensione o sollecitazione esterna nei vari stadi della vita di un tubo in PVC.

Stadio	Processo	Fattori esterni
Raffreddamento	Tensione interna	Velocità di raffreddamento
Installazione	Deformazione tubi	Carico del terreno; deformazione locale fino allo 0,7%
Periodo di esercizio	Pressione dell'acqua	Pressione dell'acqua (circa 5 bar)
Periodo di esercizio	Colpo d'ariete	Variazioni di pressione dell'acqua (0-7 bar)
Periodo di esercizio	Trapanatura di nuovi raccordi	Picchi di tensione locale

Tabella 2 Sommario di tubi in PVC dissotterrati e nuovi studiati.

Codice tubo	Anno di produzione o installazione	Diametro (mm)	Spessore parete (mm)
Tilburg	1950	108	3.3-3-6
Haarle	1964	108	2.9-3.4
Denekamp	1965	108	3.6-4.0
Gouda	Non noto	108	3.2-3.5
Pipelife	2002	110	4.4-4.5
Tilburg-315	1975	315	9.0-11.1

Tabella 3

Stabilizzante a base di piombo consumato, grado di gelificazione e temperature di lavorazione di cinque campioni di tubi in PVC.

Codice tubo	Stabilizzante a base di piombo consumato (%)	Grado di gelificazione (%)	Temperatura di lavorazione (°C)
Tilburg		75	196
Haarle		64	186
Denekamp	10	62	185
Gouda		51	182
Pipelife	13	81	195

6) TUBAZIONI IN MATERIA PLASTICA PER IL TRASPORTO DEI FLUIDI: DURATA IN OPERA

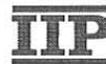
ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI S.R.L.

I.I.P. srl - Via Pasubio, 5
24044 DALMINE (BG)

Tel. +39 035 6224221
Fax +39 035 6224220

CF e P.IVA
13196620150

E-mail: info@iip.it
www.iip.it



ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE DI SISTEMI DI GESTIONE AZIENDALE E PRODOTTI, ISPEZIONI, PROVE E FORMAZIONE

TUBAZIONI IN MATERIA PLASTICA
PER IL TRASPORTO DI FLUIDI:
DURATA IN OPERA

Dalmine, 20 luglio 2009
(a cura di G. Vidotto)

TUBAZIONI IN MATERIA PLASTICA PER IL TRASPORTO DI FLUIDI

1) *Premessa e situazione*

- 1.1) Tubazioni per trasporto di fluidi in pressione (acqua potabile e gas)
- 1.2) Tubazioni per il trasporto di fluidi non in pressione (acque fognarie e di scarico dai fabbricati)
- 1.3) Situazione attuale

2) *Sviluppi e considerazioni conclusive*

1) Premessa e situazione

Le condotte (tubi e raccordi) in materia plastica (polietilene PE, policloruro di vinile PVC, polipropilene PP) sono utilizzate nel trasporto di fluidi in pressione, come acqua potabile e gas e di fluidi non in pressione come acque fognarie ed acque di scarico nei fabbricati; in tutte queste applicazioni si utilizzano condotte rigide in materia plastica che possiedono una serie di caratteristiche fisico-meccaniche e prestazionali definite in dettaglio da dedicate norme nazionali UNI ed internazionali EN ed ISO. Queste norme che costituiscono riferimento costante per i progettisti di sistemi idraulici di trasporto di fluidi, quando rispettate, assicurano alle condotte, le prestazioni richieste dalle applicazioni per tutto il tempo di loro vita in opera.

I fattori suscettibili di limitare la vita in opera delle condotte in materia plastica (così come quella in altri materiali) sono, in termini generali, molteplici e comprendono le caratteristiche fisico-meccaniche dei singoli manufatti (tubi e raccordi), la loro posa in opera, la regolarità della operatività-gestione delle condotte e le condizioni (come temperatura, pressione) del fluido trasportato.

Per le condotte costituite dalle materie plastiche (PE, PVC, PP) in specifiche condizioni operative (come pressione, temperatura) del fluido trasportato, le norme nazionali UNI ed internazionali EN ed ISO di riferimento definiscono le caratteristiche richieste ed il loro valore che i manufatti devono inizialmente possedere per garantire ai tubi e raccordi posti in opera correttamente, prestazioni come richiesto dall'applicazione per tutto il tempo di vita in opera. Tenendo conto delle condizioni operative e delle corrispondenti adeguate garanzie prestazionali, le condotte in materia plastica per il trasporto di fluidi si dividono normalmente in due classi, quella destinata al trasporto di fluidi in pressione (come acqua potabile, acque industriali e gas) e quelle destinate al trasporto di fluidi non in pressione (come acque fognarie e di scarico nei fabbricati).

1.1) Tubazioni per il trasporto di fluidi in pressione (acqua potabile e gas)

Per le tubazioni in materia plastica destinate al trasporto di fluidi in pressione, un fattore condizionante il tempo di vita in opera è la stabilità dimensionale derivante dalla capacità delle tubazioni di resistere alla pressione continua, senza cambiamenti di dimensioni, per tutto il tempo di vita in opera.

Le specifiche norme nazionali ed internazionali per le tubazioni in materia plastica per il trasporto di fluidi in pressione pongono a 50 anni il tempo minimo di vita in opera

con loro completa stabilità dimensionale ed adeguatezza prestazionale. Le garanzie di stabilità dimensionale ed adeguatezza prestazionale per tempi minimi in opera di 50 anni, si realizzano e derivano dall'osservanza stretta dei requisiti di processo e di prodotto che le specifiche norme europee nazionali ed internazionali, definiscono per tutti gli stadi del processo produttivo, che inizia con materie prime PE, PVC e PP e si conclude con la trasformazione di queste in tubi e raccordi che vengono commercializzati. Le condotte rigide a base di PE e di PVC destinate al trasporto di acqua potabile, ad esempio, sono specificatamente ed esaurientemente descritte da:

- le norme europee EN 12201 ed EN 1452 rispettivamente, che definiscono i tipi e le caratteristiche delle materie prime polietilene alta densità (HDPE e PVC) da utilizzare e le caratteristiche fisico-meccaniche prestazionali che i tubi e raccordi da esse prodotti devono possedere per rispondere adeguatamente alle esigenze applicative per tempi di vita in opera, nelle condizioni specifiche normali di operatività, di almeno 50 anni;
- il Decreto Ministeriale italiano DM 174-2004 che definisce la disciplina igienica che deve essere rispettata dai tubi in materia plastica che trasportano acqua potabile.

Per assicurare una vita in opera di almeno 50 anni con completa integrità e funzionalità delle tubazioni in materia plastica, le norme sopra riportate impongono l'effettuazione iniziale sui tubi e raccordi che andranno a formare le condotte, di una serie estesa di prove di resistenza a pressioni (da circa 1,5 fino a 70 bar) a temperature (fino a 80°C) notevolmente più elevate di quella normale (intorno a 20°C) di esercizio delle tubazioni e per tempi fino a decine di migliaia di ore. L'elaborazione dei dati sperimentali di resistenza dei tubi e raccordi costituiti da una data materia plastica alle diverse pressioni a diverse temperature per diversi tempi, secondo la metodologia internazionale definita e descritta nella norma EN-ISO 9080:2003, permette di ricavare e stabilire la pressione massima di esercizio alla quale la tubazione può essere sottoposta a 20°C per almeno 50 anni mantenendo sempre in questo periodo praticamente la stabilità dimensionale, le caratteristiche prestazionali e la funzionalità iniziali. Attualmente, le tubazioni in materia plastica utilizzate in Europa nel trasporto di acqua potabile (pressioni fino a 25 bar), gas (pressioni fino a 10 bar) e di acque industriali, sono di fatto tutte conformi alle specifiche norme EN di riferimento ed alle specifiche leggi nazionali. Le conformità delle tubazioni alle specifiche norme UNI ed

EN di riferimento è, nella più dei casi, certificata da organismi indipendenti, come in Italia I.I.P. S.r.l., che contraddistingue i manufatti da esso certificati con il marchio IIP-UNI, al quale si accompagna, tra l'altro, la completa rintracciabilità del produttore e del prodotto (materia prima e caratteristiche iniziali del manufatto). In queste condizioni, quando siano rispettate in maniera totale le norme UNI ed EN di specifico riferimento, la garanzia prestazionale delle tubazioni in opera per almeno 50 anni, dipende ed è data dalla corretta posa in opera e dalla normale operatività del sistema di trasporto dei fluidi.

L'evoluzione e sviluppo delle materie plastiche nell'ultimo decennio hanno permesso, in particolare per alcune delle materie plastiche utilizzate come il HDPE, la produzione di corrispondenti tubazioni per le quali la metodologia EN-ISO 9080:2003 indica e garantisce tempi di vita in opera nel trasporto di acqua potabile e di gas di 100 anni e di fatto attualmente tubazioni in HDPE di questo tipo sono in commercio in Italia ed in Europa.

Le basi scientifiche della norma EN-ISO 9080:2003, utilizzata per la valutazione del tempo di vita in opera delle tubazioni in materia plastica, derivano dalla accertata univoca corrispondenza tra il tempo e la temperatura rispetto alla resistenza alla pressione delle tubazioni (tempi ridotti di resistenza ad elevate temperature corrispondono a tempi lunghi a basse temperature) e queste basi sono state verificate valide per tutti i materiali, quando nell'intervallo di temperature di misura della resistenza alla pressione, la materia prima permane inalterata senza modificazioni chimiche e cambiamenti di stato fisico.

Per quanto riguarda la garanzia dell'adeguatezza prestazionale delle condotte in materia plastica, durante tutta la loro vita in opera nel trasporto di fluidi in pressione (minimo 50 anni), rispetto ad altre cause di possibili limitazioni come la perdita di integrità delle giunzioni e delle saldature e lo schiacciamento distruttivo sotto carico, pure questa viene fornita dal rispetto delle norme UNI ed EN, ISO di riferimento, in quanto queste prevedono e chiedono il superamento di specifiche prove di collaudo di tenuta dei giunti e di resistenza allo schiacciamento delle tubazioni prima di essere messe in opera, in condizioni di prova tali da simulare per intensità e frequenza le sollecitazioni cui esse sono soggette durante la normale vita in esercizio.

1.2) Tubazioni non in pressione (trasporto di acque fognarie e di scarico dai fabbricati)

Le garanzie delle prestazioni in opera per le tubazioni in materia plastica utilizzate nel trasporto di fluidi non in pressione come acque fognarie ed acque di scarico dai fabbricati per tutto il tempo di loro vita in opera, sono date dal rispetto di specifiche norme UNI, EN ed ISO di riferimento; anche in questo caso la conformità delle tubazioni alle norme per i vari tipi di tubazioni (compatto e strutturale) costituite dalle materie prime PE, PVC e PP può venire e viene certificato da organismi terzi indipendenti come I.I.P. S.r.l., che contraddistingue i prodotti che certifica con il marchio IIP-UNI e P_{iip}. Il rispetto delle norme UNI, EN ed ISO di riferimento comprende il superamento di test di tenuta dei giunti in condizioni specifiche di pressione positiva e negativa, di disassamento delle tubazioni e di cicli ripetuti di sollecitazione, come 1500 cicli di acqua calda e fredda di durata pari a 4 minuti ciascuno, oltre al superamento per la miscela delle materie prime di base di un test di resistenza alla pressione delle corrispondenti tubazioni a garanzia della loro continua validità e costanza.

In termini generali il superamento dei test, previsti dalle norme, indica e garantisce prestazioni adeguate dei manufatti in tutta la loro vita in opera in condizioni normali di esercizio con la tolleranza di moderati malfunzionamenti. Nelle applicazioni di trasporto di fluidi non in pressione, la vita in opera delle tubazioni in materia plastica e la permanenza della loro funzionalità prestazionale dipende essenzialmente dalla tenuta dei giunti, dalla regolarità della posa in opera e dalla correttezza della operatività del sistema idrico.

1.3) Situazione attuale

Attualmente le tubazioni in materia plastica PE, PVC e PP, introdotte gradualmente nel mercato italiano ed europeo negli anni dal 1960 al 1980, sono estesamente utilizzate nel trasporto di gas, di acqua potabile e di acque industriali, in condotte in pressione (fino a 25 bar) e in condotte non in pressione di acque fognarie e di scarico nei fabbricati, con diametri delle tubazioni che variano a seconda del settore applicativo e possono raggiungere, comunque, valori fino a 1200 mm per l'acqua potabile e 1500 mm per acque fognarie, in particolare con tubazioni a parete strutturata. Queste tubazioni in materia plastica utilizzate da più di 40 anni in Italia ed in Europa nel trasporto di fluidi come acqua in pressione, acque fognarie e di scarico

nei fabbricati sono state e sono come prima detto, estesamente e dettagliatamente descritte nelle loro prestazioni e requisiti da normative nazionali UNI ed internazionali come UNI, EN ed ISO, che nel tempo sono state ottimizzate ed il cui rispetto ha garantito e garantisce prestazioni in opera per i tempi richiesti dal settore applicativo. Nel trasporto di fluidi in pressione i tempi di vita in opera sono garantiti superiori a 50 anni ed attualmente valutati fino a 100 anni; per il trasporto di fluidi non in pressione, i tempi di vita in opera dalle tubazioni non sono limitati dalle caratteristiche costituzionali della materia plastica, ma da fattori come posa in opera, malfunzionamento nel sistema di trasporto idrico e tenuta dei giunti sotto sollecitazioni. Molte delle aziende di trasporto e di distribuzione di acqua potabile monitorano regolarmente l'integrità delle loro reti di distribuzione comprese quelle costituite in PE ed in PVC installate negli ultimi 40 anni; i risultati di queste verifiche sono normalmente coerenti con le garanzie di integrità garantite dal rispetto delle norme EN di riferimento, con le poche rotture premature concentrate su punti di tensione o sovraccarico, dovuti prevalentemente a non corretta posa in opera o a discontinuità strutturali sulle condotte causate da loro non corretta giunzione e saldatura iniziale.

Nel 2000, l'Istituto Italiano dei Plastici I.I.P. S.r.l. ha effettuato, in collaborazione con alcune Aziende di distribuzione di acqua potabile, la verifica dello stato fisico di tubazioni in HDPE messe in opera 8, 10 e 14 anni prima; le tubazioni iniziali erano state accertate conformi alla corrispondente norma UNI dalla certificazione di I.I.P. S.r.l., che era, come attualmente, contraddistinta dal marchio IIP-UNI stampato sulle tubazioni. I risultati dell'indagine, che aveva lo scopo di determinare il tempo di vita residuo in opera delle tubazioni esaminate (attraverso la misura della resistenza di campioni di tubi ad alte pressioni e temperature per tempi fino a rottura e trattamento dei risultati in accordo alle come norma EN-ISO 9080/93), hanno mostrato che campioni di tubazioni in HDPE poste in opera 8, 10 e 14 anni prima:

- non evidenziavano microfessure e danni superficiali;
- avevano il picco di fusione del HDPE tra 130 e 135°C ed il grado di cristallinità tra il 46 ed il 51% (praticamente uguali a quelli delle tubazioni iniziali);
- presentavano qualche ridotta microzona di ossidazione sulla superficie interna, con profondità di decimi di micron, mentre lo strato interno centrale e quello esterno

delle tubazioni erano inalterati (avevano lo stesso contenuto in antiossidanti dei tubi iniziali);

- avevano indici di fluidità (melt flow index) sostanzialmente uguali a quelli delle tubazioni iniziali;
- avevano, dalle misure di resistenza dei tubi alla pressione alle temperature di 60 ed 80°C per tempi fino a rotture (in accordo alla EN-ISO 9080/92), tempi di vita residui, nelle condizioni normali di esercizio dell'acquedotto in cui erano inseriti, superiori ai 50 anni e tempi di vita complessivi valutabili tra 70 ai 100 anni.

Sulla base di tutto quanto sopra riportato, le condotte in materia plastica destinate al trasporto di fluidi in pressione (acqua potabile e gas) e non in pressione (acque fognarie e di scarico nei fabbricati) hanno caratteristiche costituzionali tali da garantire soddisfacenti prestazioni in opera (sostanzialmente uguali a quelle iniziali) per durate superiori ai 50 anni, sempreché:

- i tubi e raccordi che le costituiscono siano conformi alle specifiche norme UNI, ed EN ed ISO di riferimento;
- i tubi e raccordi siano congiunti e messi in opera correttamente secondo le linee guida dello stato dell'arte;
- i sistemi di trasporto dei fluidi, di cui esse sono parte, siano gestiti correttamente senza significativi malfunzionamenti.

2) Sviluppi e considerazioni conclusive

L'evoluzione e lo sviluppo delle materie plastiche nell'ultimo decennio hanno permesso, per tutte ed in particolare per quelle a base di HDPE, la produzione di tubazioni per le quali la metodologia EN-ISO 9080:2003, indica e garantisce tempi di vita in opera nel trasporto di acqua potabile e di gas fino a 100 anni e tubazioni di questo tipo sono attualmente in commercio in Italia ed in Europa.

Per tutte le tubazioni costituite dalle materie plastiche PE, PVC e PP utilizzate nel trasporto di fluidi in pressione e non in pressione sono comunque garantiti tempi di vita in opera con le prestazioni richieste dal settore applicativo per più di 50 anni e questo sulla base del:

- rispetto delle specifiche norme europee EN di riferimento;

- evidenze scientifiche sperimentali ottenute sulle materie prime utilizzate e sui corrispondenti manufatti;
- tubazioni in opera che hanno superato i 35 anni in esercizio continuativo pur se ottenute da materie prime non ottimizzate come le attuali.

7) EXPECTED LIFETIME OF EXISTING PVC WATER SYSTEMS

Expected lifetime of existing PVC water systems; summary

Issue

PVC water systems of Dyka, Pipelife and Wavin have been applied for several decades for the distribution of tap-water in the Netherlands. A test procedure was developed in the past to guarantee the lifetime of 50 years. Although it is common knowledge that the lifetime of PVC water systems will exceed 50 years under most service conditions, no fundamental evidence is available and procedures to quantify the residual lifetime of existing systems are not available.

The 50 years service period will be reached within some years for the PVC systems installed in the nineteen sixties in the Netherlands. The water companies are thus faced with the dilemma replacement or rehabilitation of PVC water systems in service for more than 50 years.

Description of activities

An investigation was started on the residual lifetime expectancy of existing PVC water systems in the Netherlands at TNO Science and Industry in co-operation with the producers of PVC water distribution systems Dyka, Pipelife and Wavin, the PV material manufacturers LVM, Shin-Etsu and Solvin and Kiwa as representative of the water companies.

No procedure was available for the quantification of the residual lifetime of existing PVC water pipes. The existing assessment methods for the 50 years lifetime start with newly produced PVC pipes. On the one hand, initial properties are determined and on the other hand long term properties. The latter are obtained by performing experiments at elevated temperatures. This procedure is less appropriate for the existing PVC water systems, because exposure to elevated temperatures can counteract degradation processes occurred over the years. Moreover, initial properties, material properties, additives and processing will interfere with the evolution of the degradation processes.

The degradation processes, which influence the lifetime of the existing PVC water systems, have been evaluated and procedures have been developed to accelerated the degradation processes as representative as possible. The relevant degradation processes and the expected degradation after a service period of several decades have been compiled. The critical levels of the functional properties have been defined in combination with the installation, the soil conditions and service conditions. Methods to determine the functional properties have been worked out together with accelerated methods to quantify the evolving degradation processes. A residual lifetime has been determined for the PVC pipes studied from the experimental results obtained and applied extrapolation methods.

Results and conclusions

The lifetime of a plastic product is determined by the intrinsic properties of the polymer applied, the processing of the polymer into a product and the final operation conditions. Although PVC is not very sensitive for chemical degradation, the chemical structure of a PVC polymer can deteriorate. The chemical reactions involved will ultimately result in chain scission and decrease of the functional properties. PVC is most vulnerable for chemical degradation during the processing from powder into a product. Chemical degradation is neutralized by the presence of a stabilization package. The remaining fraction of active stabilizer found the PVC pipes studied was sufficient to protect the corresponding PVC water pipe against chemical degradation for at least 100 years in the given application.

It was well-known that the processing of PVC powder into a PVC product is an essential step to realize optimum properties. However, a reliable method to determine the quality of the processing was developed in the nineteen seventies – nineteen eighties. The knowledge was obtained on the optimum level of gelation for the given application. A gelation level between 60 and 85 % will result in an optimum in properties as fracture toughness, strength, crack resistance and impact strength. Some materials from the nineteen seventies and nineteen eighties studied showed lower levels of gelation and a dramatic decrease in crack resistance after an accelerated physical ageing.

The expected residual lifetime of most of the PVC water pipes studied is at least 100 years, provided that the pipes are properly applied and that damages in the PVC pipe walls are less than 1 mm in depth.

The reliability of the lifetime of PVC water systems is strongly related to the uncertainty about the future loadings to be experienced by the PVC pipes. External loadings and non-uniform soil settlements can cause enormous local stresses in a PVC pipe and preliminary failure. A lifetime of less than 10 years is possible when a calamity occurs.

Applicability

The results of this investigation are applicable for the long term assessment of the functional properties of PVC water systems, but also for other plastic distribution systems. The owners and managers of water distribution systems now have methods to determine the crack resistance of parts of the existing PVC water distribution systems.

1 Introduction

PVC (polyvinyl chloride) tap water pipe systems have been installed since the nineteen fifties in the Netherlands and have shown to be very reliable. The insight in the behaviour of the PVC pipe systems has been increased over the years. The quality checks and procedures from the synthesis until the final installation have been improved and herewith the reliability of PVC pipe systems. However, the long term behaviour and actual operation time of PVC pipes is still not quantified.

An investigation was performed on the residual lifetime of existing PVC pipes within the framework of a co-financed project performed at TNO Industry and Science. The aim of this research was the development of procedures to quantify the current situation and of a model to predict the residual lifetime of existing PVC pipes. The partners in the project were Kiwa, Dyka, Pipelife, Wavin, LVM, Shin-Etsu and Solvin. The investigation consisted of two phases.

A compilation of the external (soil) loads on PVC water pipes was performed in cooperation with TNO Built Environment and Geoscience in the first phase. Moreover the different degradation processes (chemical, physical and mechanical) were evaluated theoretically and experimentally. A procedure was developed for the controlled accelerated ageing of each degradation process and the corresponding lifetime prediction. The first phase resulted in reports on:

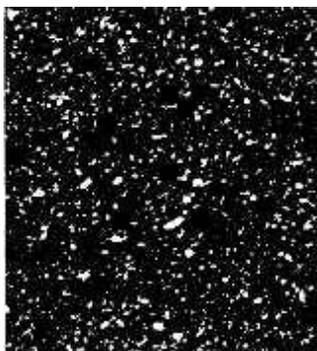
- 1 Degradation mechanisms and other lifetime related factors.
- 2 Chemical degradation (thermal, HCl splitting, oxidation,..);
- 3 Physical degradation, especially crack growth;
- 4 External factors, especially soil loads during installation;
- 5 Development of methods and experimental results.

Five excavated PVC and two recent produced PVC pipes were studied in detail during the second phase. The diameter of the PVC pipes studied varied from 160 to 400 mm. Physical chemical measurements were performed to quantify the residual effective stabilisor concentration, the distribution of stabilisors, the composition, the molecular weight distribution and the degree of gelation. Furthermore, craze initiation and slow crack growth experiments, fatigue, impact measurements at low temperatures and burst tests were performed on pipe segments as received and aged. Additional validation measurements were performed on excavated PVC pipes, of which only limited lengths were available. The second phase resulted in reports on:

- 6 Evaluation and recommendation for validation;
- 7 Modelling of residual lifetime;
- 8 experimental validation of methods;
- 9 Expected operation conditions and prediction of residual lifetime.

The different processes considered are explained in the following chapters. The effects of the different phases within the life of a PVC pipe are discussed per process. The applied procedure is explained for one degradation process, namely slow crack growth. Moreover, some recommendations are presented to quantify the expected lifetime of the different batches of PVC pipes in a water distribution system.

2 Chemical degradation



Distribution of additives (white dots) in PVC matrix; surface shown: ca. 0.2x0.2 mm

Chemical degradation in PVC means breakage of covalent bonds caused by temperature, oxygen or other factors. The chemical degradation of a PVC chain is often initiated by dehydrochlorination (HCl splitting). The dehydrochlorination can be followed by oxidation and chain breakage.

A small fraction of irregularities will be built in the PVC chain during polymerisation. These irregularities causes the chain to be more sensible for chemical degradation. The suspension polymerisation results in PVC powder. A range of averaged molecular weight (K value) is prescribed for the material applied in PVC pipes.

Critical parameters for chemical degradation are the high temperatures and high shear forces experienced during extrusion of the PVC powder into a viscous melt, which is transformed into a pipe.

Part of the stabilisers is consumed during this processing. Lead stabilizers can be found in the PVC pipes of existing pipe systems. The lead stabiliser was replaced by one based on calcium zinc in 2006.

After cooling to ambient temperature, the PVC pipe will not show a significant chemical degradation rate provided that the pipe is excluded from solar UV radiation. The rate of chemical degradation is very low in a PVC pipe wall of buried pipes.

The chemical degradation due to the processing and the operation for many years was quantified for 5 PVC pipe systems produced between 1959 and 1997. The operation period of those tap water pipes ranges from 6 to 42 years. The molecular weight was quantified by the K-value.

Besides the excavated pipes, some recently produced pipes were studied.

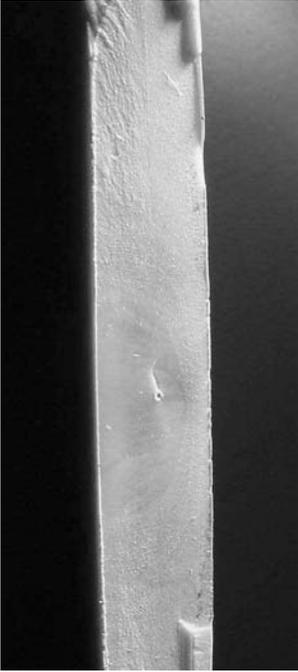
The K-values found do not indicate that chain scissions have occurred during the history of these PVC pipes. Moreover the content of chlorine was determined. Excluding one of the excavated pipes examined, it was concluded that no significant HCl splitting had occurred.

The PVC chain scission rate will increase significant when the effective concentration of stabilisers becomes low. Therefore the consumed and remaining stabiliser was quantified in the PVC pipes under study. Moreover, the induction period for the dehydrochlorination process was determined.

The extrapolated induction time was calculated to be thousands of years for the excavated pipes at 15 °C.

In summary, the chemical degradation is not limiting the lifetime of buried PVC pipes for the next 100 years.

3 Physical ageing



Crack growth starting from inhomogeneity in pipe wall

Physical interactions, for example Vanderwaals interactions among PVC chains, determine largely the mechanical properties. The change as a function of the history of the product is called physical ageing. The PVC chains show motions during the processing at high temperatures, which can be compared with spaghetti. Besides PVC chains, additives among which stabilisers are mixed during processing. The high temperature configuration is frozen in when the PVC product is cooled below its glass transition temperature. During the cooling from the glass transition temperature down to the storage and the operation temperature, a slow process occurs, in which the PVC chains reorientate to reach a more dense state with a higher.

The processing of PVC powder changed over the years. PVC granules were first obtained until the beginning of the nineteen seventies. The PVC pipes were then produced from these granules in a second extrusion step. The additional processing, in which granules were produced, was left in the nineteen seventies as a result of improved extruders and knowledge about processing of PVC powder.

The processing is a critical step in obtaining optimal long term mechanical properties. The fusion of the individual PVC chains is a complex process due to the structure of the PVC powder. The level of fusion is characterized by the degree of gelation. When the degree of gelation is low, the PVC powder structure can still be found and the toughness is very low. It is also known that a high degree of gelation results in a reduction of the toughness. The optimum properties for PVC pipes are realised with a degree of gelation in the PVC wall in the range of 60-85 %.

Low degrees of gelation, less than 40 %, were found in some of the excavated PVC pipes produced in the nineteen seventies. Moreover, the degree of gelation was relative low, 50-60 % for some of the excavated PVC pipes produced in the eighties. When a relative low level of gelation is found, it is too premature to draw the conclusion that the residual lifetime of this PVC pipe is low, but some caution is needed and an additional residual lifetime investigation is recommended.

Synthesised PVC powder can obtain a small fraction of particles, which will not fuse well with PVC matrix and cause weak spots in the PVC matrix during extrusion. Furthermore, additives and other particles, which mix with the PVC powder during the transfer into and through the extruder, will often show a lower anchoring in the PVC matrix. An evolving decrease in interaction among additives and the PVC matrix leads in weaker areas and an increased probability for crazing and cracking. (see Mechanical degradation).

The degree of physical ageing depends among others on the rate at which the PVC pipe is cooled directly after production. The physical ageing is a slowly evolving process, which can be accelerated by exposure at elevated temperature. The influence of physical ageing was studied by the quantification of the resistance to craze initiation, slow crack initiation and growth. The PVC pipe systems produced in the nineteen seventies showed the larger decrease in resistance to slow crack growth after the accelerated ageing...

4 Mechanical degradation

Crack initiation and crack growth is representative for mechanical degradation and occurs as a result of mechanical loads.



Fractured surface after impact
(4x6 mm)

High shear stresses, which can result in chain scission, occur during the processing of the PVC powder and the melting in the extruder under non-optimum processing. This degradation phenomenon was not found in the PVC pipes studied.

The mechanical loads experienced by the PVC pipe are expected to be low between the production and the installation.

The installation is a critical phase, in which mechanical damages can be initiated in the PVC pipe. A poor compacting of the soil in the pipe trench will result in an oval shaped pipe with large tensile stresses in the inner diameter at the poles. Crazes and cracks will initiate as soon as the critical stress for crazing is exceeded.

A hoop stress will be present in the pipe during operation as a result of the water pressure. The current design prescribes that the hoop stress is not allowed to exceed 12.5 MPa under the applied water pressure. A higher allowable stress level seems possible under strict conditions, namely no fluctuations in the water pressure and exclusion of other internal or external stresses on the PVC pipe.

An internal stress gradient over the PVC pipe wall exists as a result of the cooling from the outer diameter of the PVC pipe after extrusion. The higher tensile stresses act on the inner diameter. Tensile stresses in the range 1.5 and 4.8 MPa were found in the excavated pipes studied. Water pressure variation can not be excluded during the operation of a tap water distribution system.

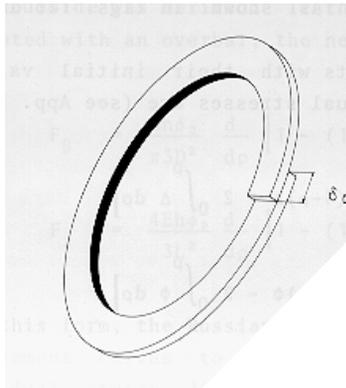


Fig. 4.1 Size of overlap of a cut PVC pipe segment is related to internal stress gradient.

Moreover, unforeseen mechanical stresses in the PVC pipe can occur as a result of non-uniform soil settlement and traffic loads.

Digging activities in the vicinity of the pipe system and the installation of new connections followed by dumping and compacting of soil may lead to additional mechanical loads on the PVC pipe system as well (see TEPPFA research).

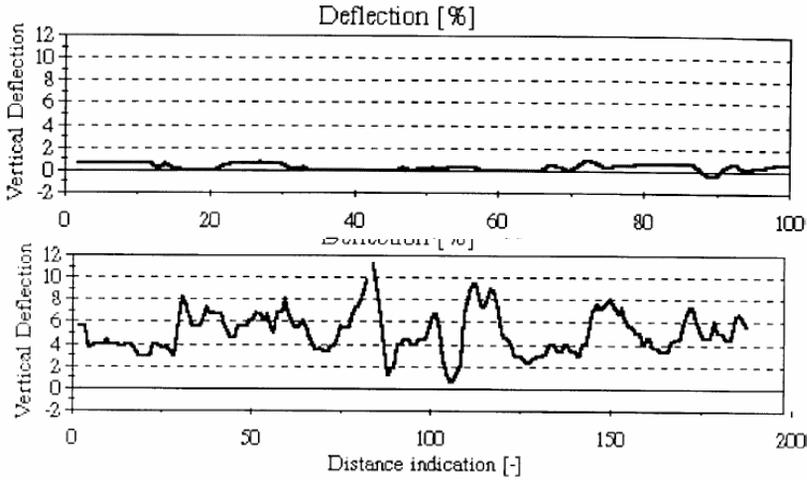


Fig. 4.2 Measured vertical deflections after well (top) and poor (bottom) compaction.

The mechanical degradation was investigated within this project on specimens cut from excavated and recently produced PVC pipes as received and after accelerated ageing by tensile, craze initiation, burst test, slow crack growth, impact test and fatigue measurements. These measurements resulted in critical stress levels for damage initiation and growth. A reliable prediction on the (residual) lifetime is then possible provided that the operation conditions, external loads and internal stresses are estimated correctly and included in the prediction model.

The expected lifetime exceeds 100 years under the conditions that the stress in the PVC pipe wall will never exceed 12.5 MPa and no crack initiation or other mechanical damages have occurred in the PVC pipe yet.

All PVC systems studied will operate for at least 100 years under normal conditions with exception of some of the excavated PVC pipes studied from the nineteen seventies and nineteen eighties. Those exceptions can still have a lifetime of more than 100 years provided that they are operated under mild conditions, i.e. low water pressure, insignificant water pressure fluctuations, no digging activities, no installation of new connections or other stress raising phenomena.

5 Procedure and prediction

The procedure and the long term prediction of the residual lifetime are explained in this chapter using the slow crack growth as dominant degradation process.

Specimens were cut and notched from arches of the PVC pipe under study. Parts of these specimens were subjected to an accelerated ageing at 60 °C in water for a period of 500 to 2000 hours. The failure curves for slow crack growth were determined using single edge notched specimens under three point bending before and after accelerated ageing at 60 °C. The results are schematically shown in the figures 5.1 and 5.2. Figure 5.1 represents a poor quality PVC pipe. Such a PVC pipe will show failure under slightly unfavourable external load variations within the forthcoming period of 50 years.

The slow crack growth rate is determined as a function of the applied stress at the notch tip using PVC pipe as received/excavated and after accelerated physical ageing. These accelerated ageing periods are representative for a forthcoming operation period of about 50 to 200 years.

Interpolation and extrapolation resulted in curves which correspond to a constant crack growth rate. The fast crack growth rate is defined here as a growth rate which results in a through the wall crack after about 1 day. For fast growth to occur, a hoop stress is required which exceeds the hoop stress due to the water pressure and the internal stress by almost a factor of two.

The slow crack growth rate is defined as the crack growth rate which results in a through the wall crack after about 50 years.

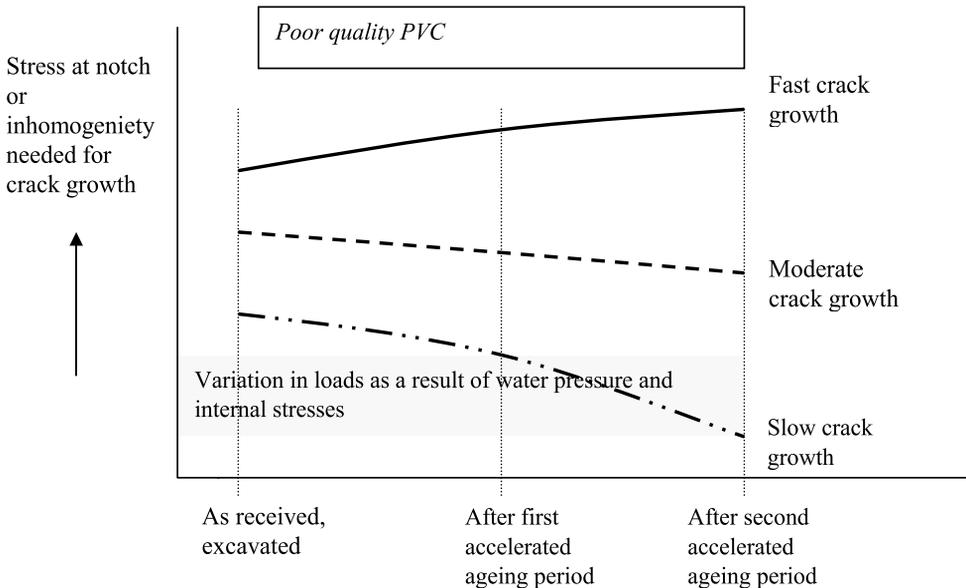


Fig. 5.1 Schematic illustration of results of slow crack growth measurements for poor quality PVC pipes; leakage is expected when the dashed line representing the slow crack growth intersects the coloured zone.

As soon as the calculated curve representing the slow crack growth intersects the range of stresses as a result of operation conditions (e.g. water pressure), leakage of the PVC pipe system is predicted as a result of through the wall crack growth.

Figure 5.1 is representative for some of the PVC water pipes studied from the nineteen seventies and nineteen eighties.

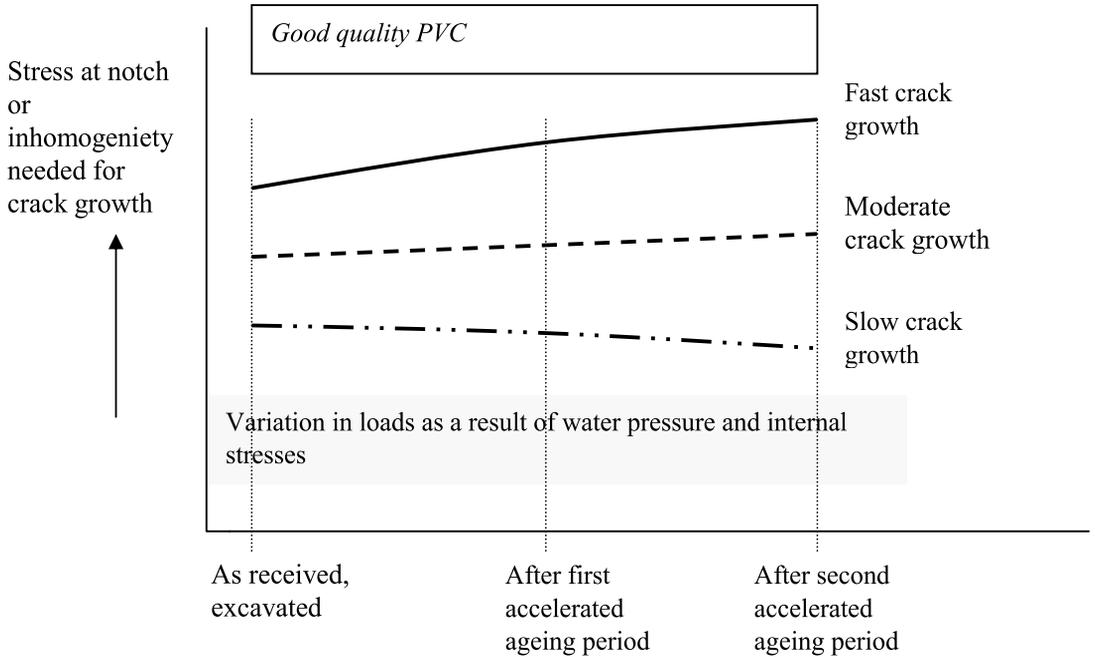


Fig. 5.2 Schematic illustration of results of slow crack growth measurements for good quality PVC pipes.

Figure 5.2 represents a PVC pipe of good quality and is representative for most of the PVC water pipes excavated and studied. Here a certain gap remains between critical stress level for crack initiation and crack growth and the stresses due to external and internal loads. No failure is expected within a forthcoming period of 100 years, provided that calamities can be excluded.

6 Summary and conclusions

The TNO project “Long term performance prediction of existing PVC water distribution systems” was co financed by the partners Kiwa, Dyka, Pipelife, Wavin, LVM, Shin-Etsu and Solvin. Procedures to quantify the current situation and a model to predict the residual lifetime of existing PVC pipes were developed after some fundamental studies.

The ageing processes in the PVC pipe wall are of a chemical or physical nature. Although its nature is physical, the mechanical ageing process is considered independently. The mechanical degradation process is dominated by the initiation and the growth of crazes and cracks.

The chemical degradation rate in buried PVC pipes can be neglected provided that the existing PVC pipe systems all contain a considerable amount of non-consumed stabilizers. Therefore, it is concluded that the residual lifetime of PVC water distribution pipes is not limited by chemical degradation.

The physical ageing rate in the PVC pipe wall is a self retarding process, which will slowly evolved at soil temperatures in the range of 5-15 °C.

The influence of physical ageing is moderate for well-gelled PVC pipes. The resistance for slow crack growth will decrease very slowly in time.

The influence of physical ageing can become significant for poorly-gelled PVC pipes.

The resistance to slow crack growth, which is already low for poorly-gelled PVC pipes, was shown to decrease significantly upon physical ageing.

The loading history can have resulted in some micro-cracks in the PVC pipe wall. The presence of micro-cracks in some of the excavated PVC pipes studied resulted in a reduction of the resistance to impact and fatigue loads.

In summary, it is concluded that the existing PVC tap water pipe systems in the Netherlands will operate for at least 100 years provided that the internal and external loads do not result in hoop stresses which will exceed 12.5 MPa and that no micro-cracks and mechanical damages are present in the PVC pipes.

The residual lifetime of existing PVC water pipe systems in particular when the PVC pipe is of marginal quality can be reduced by among others fatigue loads, the presence of micro-cracks and non-uniform ground settlements. Some of the excavated PVC water pipes from the nineteen seventies and nineteen eighties showed some marginal quality.

7 Recommendations

Different aspects need to be considered for a prediction of the residual lifetime of existing PVC water pipe systems.

Methods were developed to quantify the degradation rates for the degradation processes active in the PVC pipe wall within the project “Long term performance prediction of existing PVC water distribution systems”. Moreover, the degrees of ageing of the PVC material were quantified. However, it was concluded that the evolving mechanical degradation as a result of internal and external loads dominate the time to failure. The current state of the PVC material determined by a chemical, physical and mechanical degree of degradation and the evolving physical and chemical ageing processes are less important parameters for well-gelled PVC pipes.

The uncertainty about the internal and external loads and existing mechanical damages complicates a simply approach to predict the residual lifetime of existing PVC water pipe systems. An active approach, in which premature failure is avoided, is recommended. The alternative passive approach will lead to some additional damage and more inconveniences.

Active approach

An active approach means that the whole PVC tap water system is assessed. The state of the PVC pipe systems and the expected residual lifetime under the corresponding conditions, among which the non-uniform soil settlements have to be mapped and quantified per installation period and per PVC pipe delivery. This approach is rather laborious and time consuming. Therefore, it is recommended to start with the part of the water distribution system which contains PVC pipes produced in the nineteen seventies and nineteen eighties.

Passive approach

The residual lifetime of the PVC water pipe systems is investigated after this system experienced a major leakage using a passive approach. The investigation is then performed to reveal whether the leakage was due to an incident or due to the fact that the lifetime of the corresponding pipe has been consumed under the conditions experienced and that the probability for failure in neighbour pipes of the same production in the near future is considerable high.

The active and passive approach is shown schematically in the figures 7.1 and 7.2.

Active approach

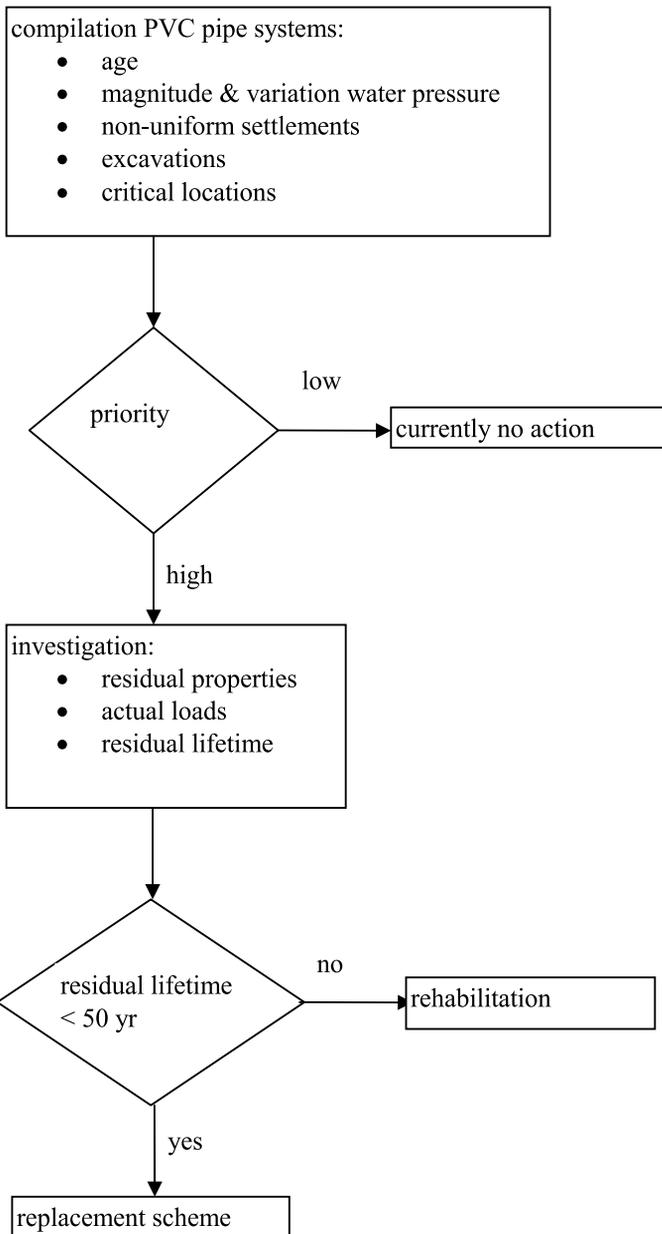


Fig. 7.1 Flowchart for active approach.

Passive approach

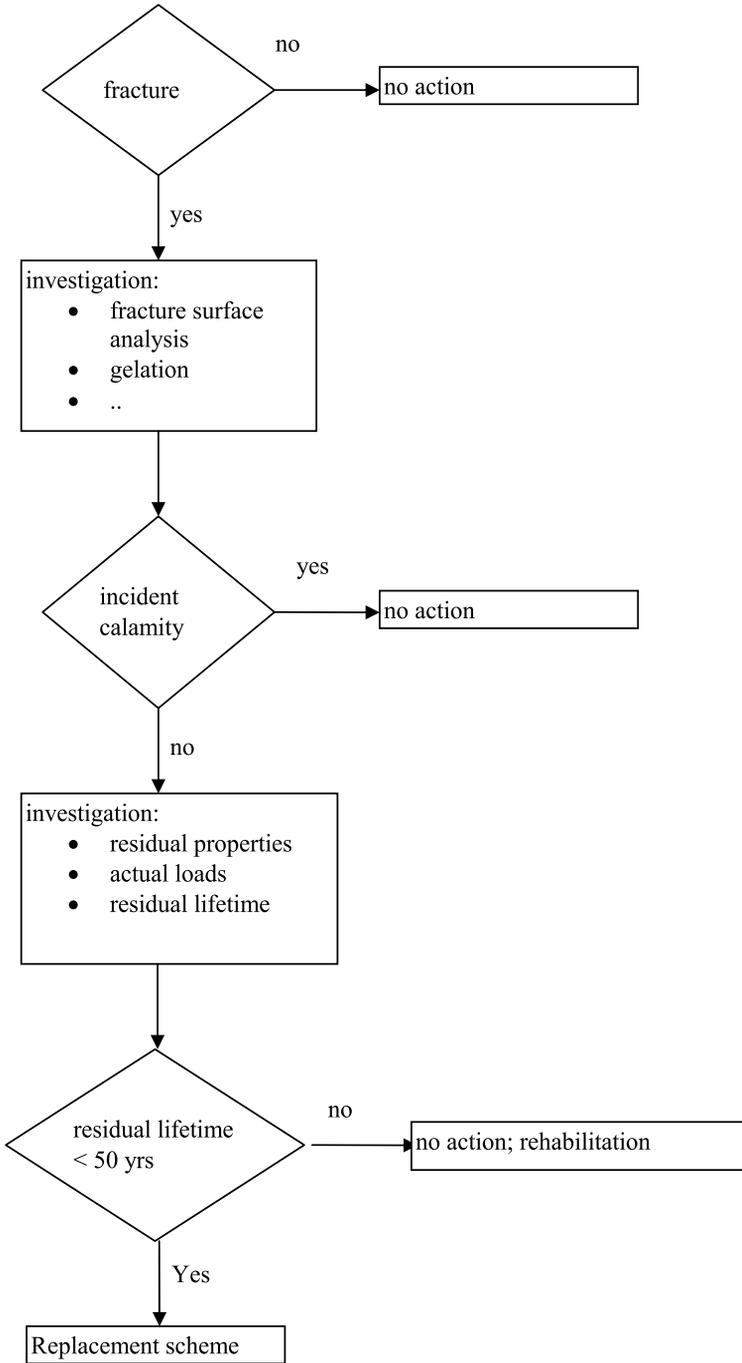


Fig. 7.2 Flowchart for active approach.

8 Publications

Lecture & paper: A.Boersma, J. Breen, “Long term performance of existing PVC water distribution systems”, 9th Int. Conf. PVC, Brighton, April 2005

Lecture: J. Breen, “Restlevensduur PVC leidingen”, meeting FKS, 24-1-05

Lecture & paper: J. Breen, A.Boersma, “Long term performance of existing PVC water distribution systems”, Plastics Pipes XII, Milano, April 2004

Lectures: A. Boersma, J. Breen, “Restlevensduur PVC leidingen”, meeting water companies at KIWA, 23-11-05

Lectures: J. Breen, “Levensduurverwachting PVC waterleidingsystemen”, Waterforum, 4-11-2003

9 Signature

Eindhoven, May 2006

TNO Science and Industry
Business Unit Materials Technology

Dr J. Breen
Author

Dr A.J. Huis in 't Veld
Head of Department

8) STRONG PROPERTIES OF PVC PIPES



Strong properties of PVC pipes

Belchatow - 5 December 2008



PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Properties of PVC

- The assessment is based on following properties :

		PVC (pipes)
Density	kg/dm ³	1.45
Tensile Modulus	MPa	> 3000
Tensile strength	MPa	> 40
Elongation at break	%	> 120
Vicat VST/B	°C	> 78
Expansion coefficient	mm/mK	0.07
Thermal transmission coeff.	W/mK	0.16
Fire properties (LOI)	% O ₂	> 45%
Gluing Ability		++
Printability		++
Weatherability		+
Recyclability		++

N.B. Properties are also related with the formulation of PVC

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Main strong points of PVC pipes

PVC has 5 main technical advantages

- Stiffness
- Durability
- Easy to install
- Fire Resistance
- Environment

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Main strong points of PVC pipes

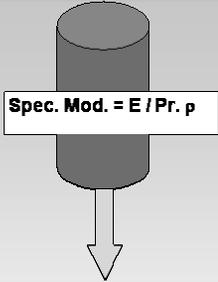
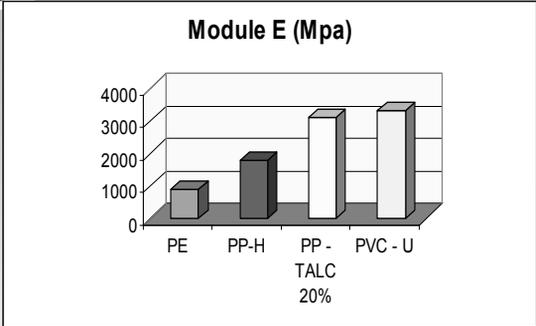
PVC has 5 main technical advantages

- **Stiffness**
- Durability
- Easy to install
- Fire Resistance
- Environment

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Rigidity : Comparison of Modulus



- PVC has a good flexibility compared to traditional rigid materials (clay, iron, etc...)
- PVC has a very high rigidity E-modulus compared to other plastics
- Even when using a specific modulus taking into account PVC density and raw-material price, this modulus is still one of the best.

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Stiffness

PVC makes it possible to get a high stiffness without thick walls

Example : for a sewage pipe \varnothing 250 mm and for a ring stiffness : SN2

the thickness of PVC : $e = 4.9$ mm



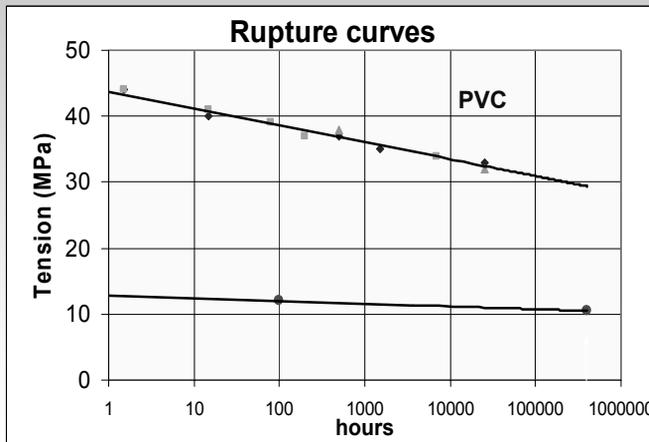
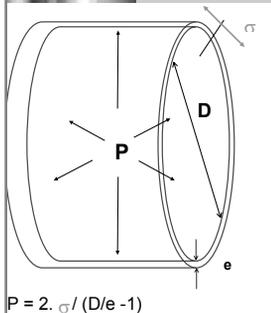
PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Requirements for pressure pipes

Key-property : Long term pressure resistance

PVC is MRS 25 : Guaranteed > 50 years at 25 MPa



PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Main strong points of PVC pipes

PVC has
5 main technical
advantages

- Stiffness
- **Durability**
- Easy to install
- Fire Resistance
- Environment

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Durability :pipes

70 years of proven efficiency

- Novak study : a small drinking water network in Germany uses PVC pipes since 1938 : 70 years of satisfactory work.
- TNO study (2003-2005) :
Several PVC water distribution pipes in service since 5 to 45 years have been excavated and tested. They all proved to have total lifetime of more than 100 years.
- Other studies ...

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Durability : TNO study on rest-life of PVC pipes

- Should 50 years old pipes be replaced ?
- Study realised between 2002 et 2005 by the Dutch institute **TNO Science and Industry** (A. Boersma & J. Breen)
- Pipes for drinking water with ages from 1950 to today have been excavated and thoroughly tested :
- They are still valid for at least another 50 years



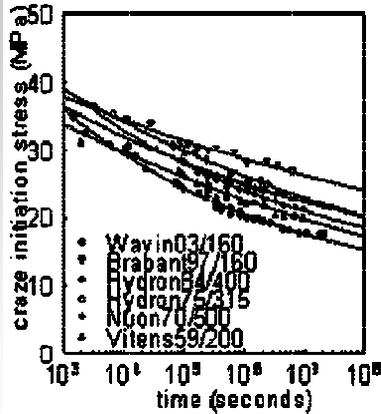
Pipe code	Year of production/ Installation	Diametre (mm)
Vitens 59/200	1959	200
Nuon 70/500	1970	500
Hydron 75/315	1975	315
Hydron 84/400	1984	400
Brabant 97/160	1997	160
Wavin 03/160	2003	160

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



TNO study on residual lifetime of PVC pipes

- Mechanical testing :
 - ◆ Craze initiation is affected by the physical ageing and by fatigue phenomenon
 - ◆ Burst pressures are still at a good level (and still compliant to ISO standard)
 - ◆ Still valid for at least another 50 years (= 100 years)



PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Durability

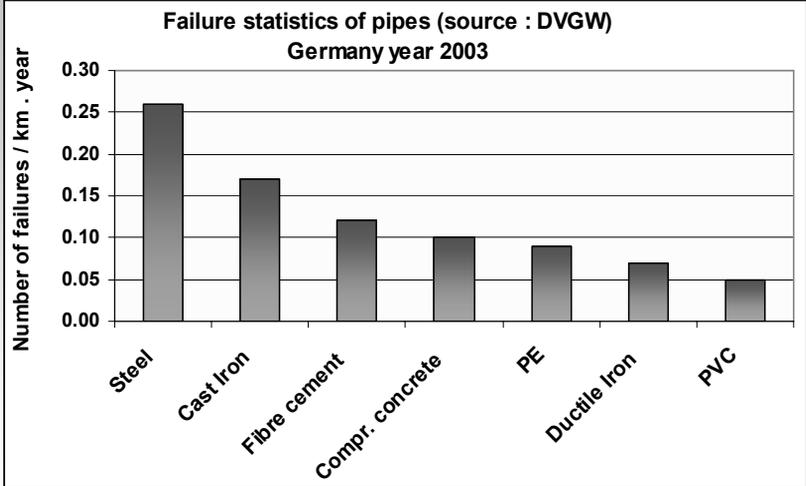
Why is this durability practically unlimited ?

- PVC has no sensitivity to oxygen or oxidising agent (chemically inert at room temperature)
- Physical ageing is limited and finished after a few months (limited compaction and increased modulus)
- Weather sensitivity (UV-light) not relevant when buried, and properly treated by additives when exposed to sunlight (window profiles)

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Long term quality : low rupture rate



Statistics from DVGW 2006, ruptures registered in 2003 and representative of the water distribution network in Germany

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Main strong points of PVC pipes

PVC has
5 main technical
advantages

Stiffness

Durability

Easy to install

Fire Resistance

Environment

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



PVC is easy to install

- It can be sawn or drilled with standard tools (hand or mechanical tools) and without special training.
- Its high stiffness gives a good water-tightness at the fitting.
- It can be easily glued.
- It can be connected with simple push-fit fittings.



PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Main strong points of PVC pipes

PVC has
5 main technical advantages



Stiffness



Durability



Easy to install



Fire Resistance



Environment

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Fire properties

Limiting Oxygen Index (LOI)

Material	Limiting Oxygen Index
PMMA	17
PP	17
PE	17
PS	18
ABS	19
PC	26
PVC	45
PTFE	>95

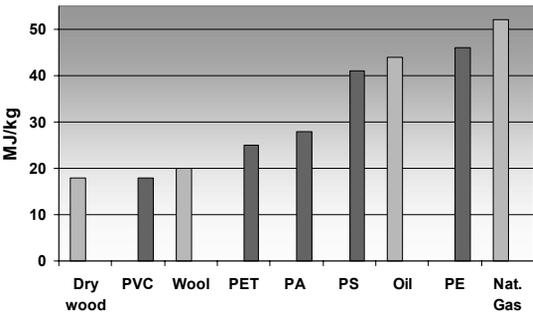
Flammability properties of polymers
Zeus Inc.

Spread of a fire only if material releases sufficient heat to ignite adjacent materials

PVC is among the least easily ignitable polymers.

LOI = 45% (>> 20%)

Gross Heat release



Material	Gross Heat release (MJ/kg)
Dry wood	~18
PVC	~18
Wool	~20
PET	~25
PA	~28
PS	~41
Oil	~44
PE	~46
Nat. Gas	~52

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Main strong points of PVC pipes

PVC has **5 main technical advantages**

- Stiffness
- Durability
- Easy to install
- Fire Resistance
- Environment

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Environment : is PVC worse or better ?

DN 250 pipe (according to EN standards)

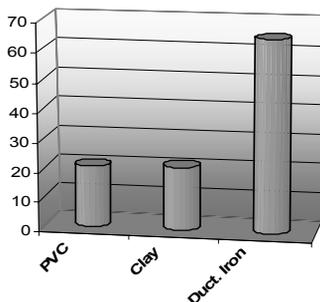
	PVC	Clay	Duct. Iron
Material Energy (MJ/kg)	56	10	25
weight of pipe (kg/m)	5.7	33	40
Energy (MJ/m)	319	330	1000
CO2 emitted (kg)	20.8	21.5	65.2

Assumptions : all energy from petrol. Petrol energy : 46 MJ/kg

Sources :
ECVM & SOLVIN

PVC PIPES – LIFELIN

CO₂ emitted / m of pipe (kg)



Environment : is PVC worse or better ?

- Life Cycle Analysis of PVC pipes is at least similar to other plastics
- Consumption of petrol for PVC is only 43% (57% is from salt)
- PVC is one of the most recycled plastics



PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



PVC is highly recyclable and is recycled

- Used PVC items are collected, crushed and incorporated in the extrusion of new items such as pipes



- As PVC will not depolymerise, and is not oxidized even after many years, it can be extruded again without drawbacks

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



PVC is recycled (2)

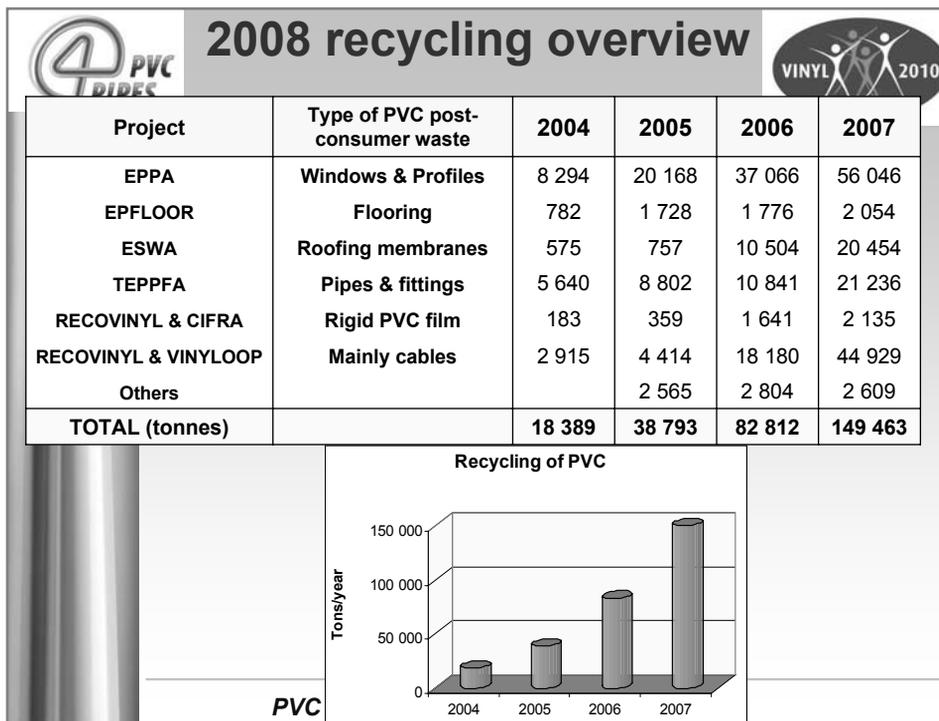
European standards for sewage pipes accept up to 100% recycled material in the pipe, while for PE and PP the amount is generally limited to max. 10%

Organ.	n°	Material	External recycled (1)	External recycled (2)
EN	1401	PVC	100%	10%
EN	1453	PVC	100%	10%
prEN	12666	PE	0	0
EN	1451	PP	0	0
EN	1852	PP	0	0
prEN	13476	PVC	100%	100%
prEN	13476	PP	100%	0
prEN	13476	PE	100%	0

⁽¹⁾ external recycled material from pipes & fittings

⁽²⁾ external recycled material **not** from pipes & fittings

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE





Other key properties for PVC pipes

- Chemical inertia towards many chemicals :
 - ◆ Cleaning liquids, acids, alcalis
 - ◆ Non sensitive to corrosion
 - ◆ Very low sensitivity to oxidising or disinfecting agents (no significant stress cracking)
- Easy to glue without delicate welding equipment (=cheap connecting).
- ...



PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE



Thank you !

For more visit us at: www.pvc4pipes.com

PVC PIPES – LIFELINES FOR A NEW AGE

9) OLD PVC GRAVITY SEWER PIPES LONG TERM PERFORMANCE

Old PVC gravity sewer pipes : Long term performance

by

Frans Alferink (Wavin Marketing & Technology B.V)

Erik Guldbaek (Nordisk Wavin AS)

Jeannette Grootoink (Wavin Marketing & Technology B.V)

Synopsis

Wavin gained a lot of experience with operational PVC sewer pipes by monitoring installations and measuring pipe deflections over a period of about 35 years, as reflected in the database "PiPer". Some of the oldest pipes have been measured and dug up now to study the durability of these pipes. Furthermore the results are used to obtain a more accurate lifetime prediction of newly installed pipes.

Therefore, Wavin SA Varennes in France and Nordisk Wavin AS in Denmark cooperated closely with Wavin Marketing & Technology. At several locations pipes were measured before and after digging up by which the deformation and the recovery were determined. The pipes aged between 12 and 30 years. System owners were asked to select those sites from which they know that the pipes have been installed in a poor way or severely loaded by ground settlements. As a result, the deformations found in these severely loaded pipes are the upper level of what normally can be expected in the field.

The results of the functional tests showed that the pipes still fulfil the stiffness requirements, and their functional and structural integrity is still ensured.

The pipes will easily maintain their function for a much longer period than originally anticipated. Considering the fact that the raw material as well as the pipe production process have been improved since the early years, it can be expected that the currently produced PVC pipes fulfilling CEN requirements will last for several hundred years.

Introduction

Wavin gained a lot of experience with PVC sewer pipes by monitoring installations and measuring pipe deflection over a period of about 35 years, as reflected in the database "PiPer". Some of the oldest pipes have been measured and dug up now to study the durability of these pipes. Next the results are used to obtain a more accurate lifetime prediction of newly installed pipes. Firstly the state of deformation was determined by carrying out deformation measurements before and after digging up. Pipe samples were cut out and taken to Wavin Marketing & Technology's Sterlab certified laboratories where the pipes have been characterised from a raw material and production point of view. Then several mechanical tests have been carried out like stiffness tests and tightness tests of joints. The study has been conducted over a period of four years, starting as indicative only, to more detailed. As a result from this not all tests have been performed on all the pipe samples.

SITE INFORMATION

In order to find the extreme conditions, system owners were asked to select those sites from which they know that the pipes have been poorly installed or severely loaded. As a result the deformation and stresses found in these severely loaded pipes are the upper level of what normally can be expected in the field. If these pipes are able to fulfil their function, then there is no doubt on the functionality of the pipes installed according to national codes of practice. A general description of the sites is given below. The technical details are summarized in Annex 1, Table 1.

Project 1 : Gerzat, France

Gerzat is located in the centre of France close to Clermont Ferrand. In this town with a separate sewer system, since 1966, most of the foul water sewer pipes that are installed, are PVC ϕ 200 mm and today approximately 30 kms of such pipe have been installed with excellent performance and to the great satisfaction of the town authorities.

The section of pipe that has been studied in this particular case was of the SDR-class 51 and installed in the earliest days of using PVC in 1966 and is located in the centre of the town with a rather steep gradient. In 1991, after having being used for 25 years, the pipe was measured before digging up, half an hour after being cut out and 15 days afterwards, everytime at the same spots.

Project 2 : Montpellier, France

Completely in the South of France, in Juvignac Commune de Montpellier, PVC pipes have been applied in the sewerage network since the late sixties.

Although in general the local authorities are very content on the use of PVC, some sections proved to have somewhat high deformations. This was caused by insufficient care taken during installation. This particular section was dug up and studied.

The section in question, ϕ 315 mm SDR 51, was installed in 1968 without proper attention also; no preparation of the trenchbottom (just a hard bed), several big stones in the embedment material, pipes badly cut off to sharp edges, etc.

Firstly the ovalisation of the complete sections were determined and then a length with 10% ovalisation was selected, which appeared to be caused by the presence of substantial amounts of stones in contact with the pipe. When digging up the pipe it showed that the ovalisation was at an angle of about 15° from the vertical axis, corresponding with the nearby location of the ϕ 800 mm concrete rainwater sewer which was installed at a later age. It became obvious that in particular recommended installation practices here had not been followed.

Project 3 : Saint Agathe La Bouteresse, France

In this little village in the Loire Department close to Saint Etienne, it was decided in 1966 to extend the rainwater sewerage system. Because of the smoothness of bore, PVC pipes were adopted as the right products for this purpose. But not after careful consideration of the structural performance of PVC pipes. Before actually starting, first a test was carried out with ϕ 400 mm at a 40 cm depth of cover, just along a main road. With a recorded deformation of maximum 4%, the community got convinced that they made the right choice. Since, they have never regretted this choice and are now very content with PVC material for their sewer system.

Project 4 : Courchevel, France

In the French Alps, at an altitude of 1600 m, PVC pipes were installed from the late seventies onwards to discharge the water coming from the mountains.

In this special high mountain area substantial amounts of proper embedment material have to be dragged upon the roads in order to install pipes. This procedure is required for PVC pipes as well as for pipes of traditional materials.

It is obvious that contractors like to only carry the very minimum amount of sand upon the mountains, as every truck load takes half a day or more. Now and then (or regularly), just the excavated soil material is applied for embedment of the pipes. It needs no saying that the presence of large pieces of rock can cause severe detrimental effects to rigid pipes and high deformations to flexible pipes like PVC pipes.

This was also evident at the site chosen to evaluate the performance of PVC pipes in these extremely severe conditions. During digging up of the pipe at points with the highest deformation, it became very clear that these deformations were caused by large rocks denting the pipes.

Project 5 : Odense Kommune, Bådvej, Denmark

The area is a typical housing estate development from the seventies. The site is located close to a small river the Odense Å . The soil is of an acid nature.

The PVC pipes were installed in 1970. The pipe is located in the bank of the river.

The soil consists of peat/moor. The pipe was partially embedded with sand. The installation conditions were difficult. The supervising engineer of Odense Kommune remembered having hesitated to install sewage lines under such conditions. Therefore, the decision was made to carry out CCTV inspection afterwards which indicated deformations of 10-15% at that time. In 1992 the deformation was found to be max. 17% on this particular line.

During the last 22 years, Odense Kommune has had no operational problems whatsoever with this line. After 22 years of operation, the PVC pipes and the joints (rubber rings) are still fully functional even though they have been subjected to both chemically and physically extreme impacts. They meet the requirements of a modern sewage system.

Project 6 : Sydfalster Kommune, Natuglevej, Denmark

Marielyst is a seaside (the Baltic) recreational area. Part of the area is old sea-bed consisting of sand with large methane deposits. The PVC pipes were installed in the autumn of 1963 at high groundwater levels. This level was not lowered during installation. To avoid collapse of the line, the installation was carried out at high speed, i.e. not very carefully. Couplers with cemented joints were used to join the pipes.

The pipeline has been in satisfactory operation since its installation. No exceptional cleaning measures have been required until now.

A CCTV inspection in 1993 showed a water level in the pipeline of 10-30% owing to low points in the pipeline which was to be expected following the extremely poor laying conditions. After 30 years of operation this pipeline has fulfilled its job in spite of the severe installation conditions, having been subjected to sewage water and aggressive soils and settlements.

7 : Sydfalster Kommune, Bøtøvej, Denmark

PVC pipes were installed in 1965. The Groundwater level was lowered during installation. The installation was carried out with some care. Couplers with cementing were used to join the pipes. The pipeline has been in satisfactory operation since its installation. A CCTV inspection in 1993 showed leaking cemented joints.

After the first 28 years of operation, this pipeline has fulfilled its job in spite of its age. However, the joints of the cementing sockets did not fulfil the tightness requirements for sewage pipes with regard to infiltration and exfiltration. This is not due to material failure, but poor workmanship as far as the joints are concerned. Generally the performance of correctly cemented joints is the same as that of the PVC pipes.

8 : Nøtterøy Kommune, Norway

The area comprises a number of minor communities: Borheim, Støyten, Gipø, Skjerve and others, whose sewage water is collected in an interceptor. The interceptor (collector pipe) was established in a soft clay area along a stream. The ground water level depends on the level of the year. The PVC pipes were installed in February 1972 at a temperature of -10 degrees Centigrade at a laying depth of 2.0 m and with a gradient of 3 o/oo. Rubber rings were used to join the pipes. The pipes were embedded on a levelled bottom of soft clay without specially prepared bedding.

Where possible, clay mixed with black earth was used as backfill material, otherwise a layer of sand in layers on top of the pipe was used, tampered with a shovel and run over by a heavy vehicle from time to time. Extreme severe laying conditions!

The pipeline has been cleaned once in 1990 by means of high-pressure jet cleaning equipment. The pipe was full of stones etc. which is, no doubt, due to the pipes being installed under extreme conditions. The pipeline was not cleaned before it was taken into service. After 18 years of operation and with laying conditions being extremely poor, this pipeline has fulfilled its job in spite of large deformations and a low gradient. No operational problems occurred. The line is also tight; neither exfiltrations nor infiltrations have occurred.

9 : Eskilstuna Kommune, Torshalla, Sweden

The area is a typical housing estate development from the sixties on the outskirts of a city (Eskilstuna). The area has its own sewer system. The area is old lake-ground, mainly clay. The PVC pipes were installed in 1970 in a combined trench, Swedish model, for sewage, rainwater and clean water in the same trench, at different depths. Bedding and backfill material is a well-graded sand. Differential settlements of up to 30 cm occurred in this area caused by significant ground water lowering after installation. This has caused for instance a negative slope in certain parts of the line, thus causing drainage problems to some of the end-users. But there have been no actually cracked pipes as they have been capable of absorbing these large settlements. The joints are still tight. After 24 years of operation this pipeline has fulfilled its job despite severe settlements.

TEST METHODS

Material characterisation

These tests were carried out for documentation purposes, and in order to characterize the raw material and production of the pipe. The results are compared with those of currently produced PVC pipes.

Material composition : Since the early years of PVC pipe production the chemical composition of PVC recipes have undergone substantial changes. Therefore, some indicative tests were carried out to get some insight in these changes. For this the ash content is determined indicating the amount of filler and/or stabilizer used. The chalk content is determined by FTIR measurements. The stabilizers are determined by means of XRF (X-Ray Fluorescent) analyses.

Degree of gelation : This test is carried out in order to characterize the extrusion process. The homogeneity of the network structure of PVC molecules which is formed during the processing of the material, is of great importance regarding the long term strength. This network structure, the so-called degree of gelation, should have a minimum value to give a good long term strength to the pipes.

The degree of gelation can be determined by means of a methylene chloride test which gives a global indication of the degree of gelation over the total wall thickness and the circumference of the pipe, expressed as a percentage attack. This type of test is part of a normal production control routine. According to PrEN 1401-1:1995 no attack is allowed on currently produced pipes.

Functional tests

The functional requirements for gravity sewer pipes can be summarized as follows: "being able to discharge rain and foul water in a sound way over a long period of time without infiltration or exfiltration". The latter means that the system should be tight. From the above general requirements, many other sub requirements can be derived, such as flexibility, strainability, continuous discharge capacity and tightness of joints. Not all tests have been performed on all the pipe samples, for reasons as already mentioned in the introduction. Annex 1, Table 1 shows an overview of the pipes tested.

Pipe deformation

All the pipes have been measured before digging up, in order to determine the actual pipe deflection after so many years of service. Furthermore, measuring the deflection after digging up and by comparing with the in service pipe deflection indicates the stress in the pipe. The method of measurement has been discussed several times (Lit. 1,2).

This time however, the strain is not determined from the change in curvature but from the strain-deflection relation :

$$\epsilon = Df * (\delta/D) * (s/D) \quad \dots\dots\dots (1)$$

which :

ϵ	= Tangential bending strain	[MPa]
δ/D	= Pipe deflection	[-]
s	= Pipe wallthickness	[mm]
D	= Pipe diameter	[mm]
D_f	= Shape factor	[mm]

When a shape factor of 6 is chosen. Earlier work on buried pipes proved that this is a conservative value (Lit.3)

Pipe stiffness

Although Wavin has proven over its many years of field experience that pipe stiffness affects the pipe deflection in a minor way when considering proper installations and pressures of 2 KPa and up, ring stiffness of the pipe is still used in many design methods as a factor of prime importance. Pipe stiffness is also used to classify pipes. Furthermore, questions are sometimes raised at the market place to where stiffness declines with age. Erik (Lit.4) and Janson (Lit.5) already discussed the effect of ageing on pipe stiffness. Measuring the stiffness of pipes that have been in service for more than 25 years is probably the most supportive proof to the previous mentioned work.

Pipe stiffness has been determined on almost all the samples using the stiffness test as defined by ISO 9969.

Flexibility

A very important property of buried pipes is their flexibility. The most likely, but underestimated cause for pipe failure are the effects of longitudinal bending of pipes. This bending occurs as a result of uneven bedding, in case of poor installations, or as a result of soil settlements which can always occur after installation, for instance due to mining activities, lowering ground water level, by landslide during wet seasons or by partial dilatation in expansive partly in non-expansive soils. The ability of a pipe system to withstand soil movements is a very beneficial property of a buried thermoplastics pipe system. Therefore, tensile tests were carried out on the pipes that have been dug up in two recent projects, those from Nøtterøy and Thorshalle.

RESULTS OF TESTS

Surface

Inspection of the pipes shows discoloration on the surface.

This discoloration is caused by the presence of Sulfuric acid, see also Table 1 of Annex

Deformation

Results are shown below in Table 1.

Table 1: Results of deformation measurements.

Pipe	In use [Yr]	Installation	(δ/D)_1 mean [%]	(δ/D)_2 mean [%]	(δ/D) max. [%]	(δ/D) PiPer [%]	ϵ buried [%]
Gerzat	25	Sand/B	2.5	1.6		2.5	.29
M.pellier	23	Rock/C	7.5	-	20.5	-	.89
St.Agathe	22	Sand/B	5.5	-	11.5	4.5	.81
Courchevel	12	Sand/C	7.5	-	20	8	1.1
Odense	22	Sand/C	13	7	17.5	8	1.32
Nykobing 1	30	Sand/B	2.5	-	6	3	.44
Nykobing 2	28	Sand/B	4	2	7	4	.59
Noteroy	22	Clay/C	10	5	16	-	1.17
Thorshalle	24	Sand/C	8	3.5	12.5	7.5	1.17

- (δ/D)_1 = Deflection when installed.
- (δ/D)_2 = Deflection measured 30 minutes after dug up.
- (δ/D) PiPer = Deflection from field experience, as listed in Wavin's database.
- = No data available.
- B = moderate installation } sec (ref. 1, 2)
- C = poor installation }

The allowable strain for PVC according to Lit. 5 is 2.5 % as a conservative value. From the results the following observations can be made:

- * The deflection and strain strongly depends on the type of installation. This is in accordance with the results as listed in PiPer. (Lit.1,2)
- * Some of the deformation are rather high. The factor of safety against failure however is still considerably.
- * Comparing the pipe deformation when installed, with those 30 minutes after dugup shows, that the pipes all recover quickly. This recovery process will continue, but at a slower rate, thsn during the first minutes. The pipe responds in the same way, as when the pipe is loaded for the first time. (Lit. 3)
- * The deflection values were compared to those in Wavin's PiPer database. The results clearly shows that the values are comparable. Furthermore, it should be realized that the results in PiPer are gained in the range of 0-10 years after installation. The results confirm that the deflection does not increase with time after a first consolidation process after installation. (Lit. 1,2,5)

Pipe stiffness

In Figure 1 of Annex 1 the results are summarized. Also the minimum required stiffness according to the pipe class is shown.

The wall thickness of pipes is normally a little bigger than according to the SDR value. This also means that the stiffness is a little higher than according to the requirement.

Therefore, the measured stiffness has been corrected for the wall thickness.

The ring stiffness is affected by the wall thickness in the 3rd power as follows:

$$\text{Corr_fac} = [(D/SDR)/s_true]^3 \dots\dots\dots(2)$$

ich : Corr_fac = Multiplication factor on measured stiffness. [-]
 D = Nominal Outside diameter [mm]
 SDR = Standard Dimension Ratio [-]

Figure 1 of Annex 1 clearly shows that the pipe stiffness does not show any significant change and still fulfils the minimum requirement.

3.2.2 Tensile strength

Results of the tensile tests are summarized in Table 2.

Table 2 : Results of tensile tests.

Pipe	Yield stress [MPa]	Strain at failure [%]
Nøtterøy	50	142
Thorshalle	46.1	33
Reference	50	170

Results show that the strain at failure and the yield stress of the pipe from Thorshalle are significantly lower than that of the reference pipe. This correlates with the poor quality. Furthermore, in the pipe of Thorshalle a lot of impurities and a skin effect was observed. Still, strains of 33 % are generally far sufficient. The pipe from Nøtterøy is comparable to the reference pipe.

3.2.3 Abrasion

In both cases (Nøtterøy and Thorshalle) the abrasion has been determined by measuring the wall thickness along the pipe circumference. Figure 2 of Annex 1 shows the results of the measurements.

If abrasion would have taken place, the bottom part should show a thinner wall. The measurements show that this is not the case. So, abrasion is not a big issue for plastics pipes. According to the site description, that in the Nøtterøy pipe a lot of stones have been used during cleaning.

3.2.4 Tightness

For dug up pipes, joints were included. One joint was tested on tightness for 48 hours at a pressure of 0.5 Bar. No leakage was found. Both rubber rings were tested on their tightness. No brittleness could be observed.

CONCLUSIONS

- * The results of the deformation measurements shows that the majority of the pipes studied have been loaded in a severe way. This correlates with the information given on the sites. When the standard installation practices are used much lower deflections will be found. Still the pipes are not damaged nor failure has occurred.
- * Some pipes showed to be black on the outside caused by an acid soil environment. This discolouration does not seem to affect the mechanical properties of the pipe.
- * The results of MC tests showed that some of the pipes have a poor gelation level, as compared to the currently produced pipes.
- * Two pipes were tested on strainability. One showed to be in the same order of magnitude as the reference pipe. The other poor gelated and impurities containing pipe showed less strainability and strength.
- * Most of the pipes have been subjected to settlement differences, causing the slope of the pipe to change gradient or even to locally negative slopes. However, due to the excellent hydraulic properties of PVC no blockage or other discharge problems leading to increased maintenance costs have occurred.
- * The results of the functional tests showed that the pipes still fulfil the stiffness requirements, and their functional and structural integrity is still guaranteed. The pipes will easily maintain their function for a much longer period than originally, anticipated.
Considering the fact that the raw material as well as the pipe production process has been improved a lot since the early years, it can be expected that the currently produced PVC pipes fulfilling CEN requirements will last for several hundred years.

Acknowledgements

The authors wish to express their gratefulness to all pipeline system owners which were most helpful in making this study possible. Also to Michel Vignau and Xavier Valette from Wavin SA in France, who provided us with the necessary information on the pipes dug up and measured in France.

Literature

1. "The actual Performance of Buried Plastics Pipes in Europe over 25 years."
W. J. Elzink and J. Molin
Plastics Pipes 8, Eindhoven, The Netherlands 21-24 Sept. 1992
2. "Effects of Installation conditions on Buried Plastics Pipes: Results of specific Field Trials."
F.J.M. Alferink and M. Wolters
Plastics Pipes 8, Eindhoven, The Netherlands 21-24 Sept. 1992

Some Experience with 30 years old Buried (uPVC) Pipes from the viewpoint of
Stress and Strain." F.J.M. Alferink
Buried Plastics Pipes Technology, ASTM STP 1093, Dallas, 1990

Physical Ageing in Amorphous Polymers and other Materials."
J.E. Struik, Elsevier SCI Publ. Amsterdam Netherlands

Design and Installation of Buried Plastics Pipes."
J. Janson and J. Molin
Balkema 1991, ISBN 87-983636-0-3

**10) THE ACTUAL PERFORMANCE
OF BURIED PLASTICS PIPES IN EUROPE
OVER 25 YEARS**

THE ACTUAL PERFORMANCE OF BURIED PLASTICS PIPES IN EUROPE OVER 25 YEARS

W J Elzink* and J Molin**

ABSTRACT

Today, in some parts of Europe plastics pipes and fittings are considered as mature products which have obtained an established position in underground applications. However, in others due to their flexible nature, their use is still sometimes questioned.

This paper describes the actual performance of plastics pipes of different materials in different applications, and in a wide variety of buried conditions.

To this end, use is made of an extensive computerized data base called "PiPer", in which practical data obtained over a period of 25 years by different European companies and authorities has been collated, compared and evaluated for the first time. The majority of this data has remained unpublished until now. The data have been correlated and the outcome of this is presented. The facts as found are discussed and from this conclusions are drawn.

INTRODUCTION

Buried pipes for transport of water, sewerage, gas, etc. represent one of the largest infrastructure investments for a municipality. Once installed, these pipeline systems also represent a significant annual cost for operation and maintenance.

The major functional requirements of the pipeline system when constructed with flexible pipes are: structural integrity, flow capacity and tightness (also on the long term). These may be jeopardized by the deflection of the pipes. Therefore, the occurring deflection can be considered as an important parameter as regards to the design of the (flexible) pipeline system in use.

* B.V. Wavin Research and Development, Dedemsvaart, NL

** VBB VIAK, Malmö, S

FLEXIBILITY AND RIGIDITY

Pipe character

A flexible pipe has to be designed to have sufficient pipe ring stiffness (otherwise it will over-deform), while a rigid pipe should have sufficient pipe material strength (otherwise it will crack). Plastics pipes are generally known to be of flexible nature. This means that they behave flexibly in comparison with the surrounding soil. It also implies that they will always deform when the soil compresses. Plastics pipes and in particular thermoplastics pipes however, are also capable of deformation substantially because of their strainability.

In Figure 1 the design concepts for the various types of buried pipes are illustrated.

	Rigid pipes	Flexible pipes	
Determining the structural life	Pipe material strength	Pipe ring stiffness/strainability	
Characteristics of the structure	Pipe alone forms the structure	Pipe+soil form the structure	
Strainability	0	0.5	> 5
Examples of pipe materials	concrete, clay	steel, GRP, GRE	PE, PP PVC
Pipe design criteria	stress	stress/strain	deflection

Figure 1 Design concepts

Structural design considerations

The problem of designing buried pipelines has been studied by many scientists. A uniform method agreed upon by everybody does however not exist. There are many differences in approach from country to country. In some cases theories are applied that approach the matter in great detail and elsewhere simplified tables or nomogrammes are considered to give adequate predictions of the future behaviour of the buried pipe. This goes for flexible as well as for rigid pipes.

Currently serious attempts are being carried out to come to a harmonized method of design by the European standardization body CEN. In a joint effort, their task committees TC 164 (dealing with water supply pipelines) and TC 165 (dealing with waste water pipelines) now are working to come to such a standard method of design for all kinds of pipes in their various applications (CEN/TC164-165/JWG1). It could take several years though before general agreement is reached.

For flexible pipes, the pioneering work of Prof. M G Spangler during the 30's is generally recognized as being of great value. He established a theoretical formula for the calculation of pipe deflection based on the structural interaction between the pipe and the surrounding soil (1). Over the years his approach has been further developed, (2, 3, 4).

Time dependency

The performance of pipes in the course of their lifetime has always been a question of great interest with flexible pipes and plastics pipes in particular. Doubts over the ongoing creeping effects have continued to be echoed. It has been shown by many investigators that flexible pipes, plastics as well as non-plastics, indeed ovalize further after installation, but it was also demonstrated that this additional ovalisation is predominantly caused by the compression of the soil (5). Material creep of plastics is for a flexible pipe merely an effect of second order in this respect. This is in line with studies in the USA where it was proven that plastics pipes and steel pipes of the same (initial) stiffness show the same deflection pattern in the course of time when submitted to equal buried conditions (6).

Design limits

Deflection is generally the major design criterion for plastics pipes. The deflection limit is based on functional requirements (tightness, flow capacity) but may be overruled by product requirements. The latter may be the case with thermoset pipes (to prevent cracking or delamination of the pipe wall). In Scandinavia there is a requirement that the long term maximum deflection shall not exceed 15 % of the pipe diameter, with maximum short term deflections for PVC pipes and PE pipes of 8 and 9 % respectively (7).

Strain can become the critical design limit in particular for plastics pipes operating with internal pressure. The strain will then be a combination of bending strain and tensile strain. With thermoset plastics pipes, like glass fibre reinforced plastics pipes strains over the allowable limit shall be prevented, also for non-pressure pipes.

Buckling (collapse) may be a risk for low stiffness pipes in firm soils and/or in substantial all-side pressure conditions. Furthermore there may be a risk when negative pressures occur with e.g. water hammer in a pipeline.

PLASTICS PIPES PERFORMANCE

Practical observations

The performance of plastics pipes in their operating practice has been monitored on an extensive scale in order to get more insight in the rather complex pipe-soil interaction. These observations predominantly were carried out by means of pipe deflection measurements.

By far the majority of the data obtained by these measurements have been obtained in Europe by three authorities, being: WAVIN, the leading European manufacturer of plastics pipes, VBB VIAK, the principal Scandinavian consulting company in the building sector, and KOMO, the (former) Dutch approval institute for building materials (now KIWA).

Data from these three bodies has been collated and analysed here. Backgrounds are presented in various articles and reports (8, 9, 10, 11), but the vast majority of the actual data have remained unpublished until now.

Measuring equipment

The deflections of the pipelines have been measured with essentially three different sets of equipment:

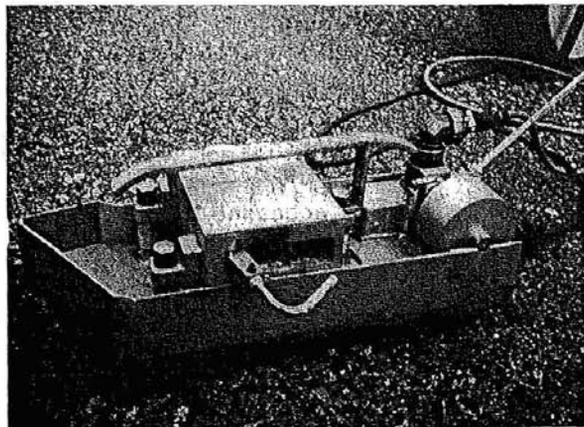
The Wavin sledge a specially designed research tool, consisting of a sledge containing vertical and horizontal feelers which contact the pipe wall, while it is being pulled through a pipe section. Via potentiometers the feeler positions are transferred to a recorder, thus producing a continuous reading. It is capable of enduring rather rough conditions and as such is applicable in operational sewers (of course after being cleaned). The readings of KOMO and most of the WAVIN readings have been taken with this type of equipment.

The Maddarakku Deflectometer also a research tool, consisting of a kind of spider with 7 arms that act on a movable ring connected to a sliding potentiometer. The most depressed arm (generally the one in vertical position) governs the measuring signal to the recorder on the surface, thus capable of producing a continuous reading along the pipe axis. Because of its relatively light construction a very clean pipe bore is required. Most of the VBB VIAK readings have been taken using this equipment.

The Lancier Calibrator a commercially available set of equipment, consisting of a cylinder with 8 feelers that directly (mechanically) affect a recorder assembled inside the cylinder. The recorder paper is moved in relation to the pulling speed, thus producing a direct length indication. It requires also a very clean bore. A number of the WAVIN readings have been taken with this equipment.

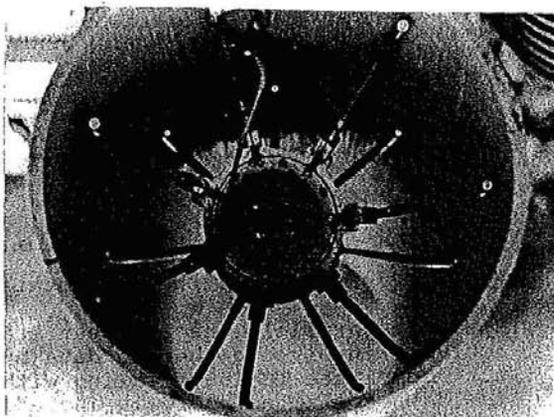
In many cases, measurement was accompanied by a visual inspection using a tv camera.

All types of measuring equipments mentioned above offer the possibility to determine the average and the maximum deflection of a pipe section (from manhole to manhole).

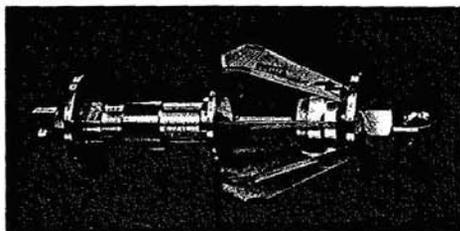


— Wavin sledge

Maddarakku deflectometer



Lancier calibrator



Conditions of measured pipelines

It will be evident that of course as many as possible parameters which were believed to influence the pipe's performance have been recorded. Besides the pipe parameters like dimensions, stiffness and material, and the loading parameters like depth of cover and traffic loading, also the soil and installation parameters like type of fill, installation method and trench dimensions, were noted down.

EVALUATION OF DATA

Data base set-up

All data on conditions and measurement have been put in a data base, called "PiPer", at Wavin R&D. This gave the possibility to work up the extensive amount of information obtained over the years.

In the data base the data are gathered and made accessible as shown in Figure 2.

GENERAL									
Record No.	code	Location place	country	Source	Section length	appl.	Meas. device		
115	241abc	Zoetermeer	NL	KOMO	38	sewer	Wavin		
589	nu82ab	Gothenborg	S	VBB	55	sewer	Madda.		
715									
SOIL / PIPE									
Soil orig.	Soil fill	Inst. qual.	Loads				Pipe		
			cover	traff.	gwl	sheets	mat.	diam.	stiffn.
Sand	Sand	B	1.0	n	a	n	PVC	315	8
clay	clay	B	2.1	b	a	n	PVC	315	8
gray									
RESULTS									
Dates		Time	Deflections (%)			Remarks			
Inställ.	meas.	lapsed	max.	min.	average				
02.04.70	28.09.81	4044 d	7	3	4	-			
01.12.78	04.12.79	1098 d	8	2.8	4.6	-			
28.05.67	16.01.83	5712 d	4	1	2.5	-			

Figure 2 Example of the presentation of data in "PiPer"

Note: In parallel, the European standardization body CEN, is actively involved gathering data on plastics pipes through their task committee TC 155 (dealing with plastics pipes and fittings). The data collected there is included in an other, but very similar data base. The outcome of this may be expected in the first half of 1993 (CEN/TC155/AHG29).

Contents of the data base

From the three sources mentioned above, a total of 723 records are now stored in "PiPer". All records represent the findings of individual measurements on section lengths of pipeline (predominantly from manhole to manhole). They were taken from operational pipelines in 8 European countries. The total length of pipeline measured and analysed exceeds 51.000 m!

Among the records is a wide variety of soil, trench, installation and loading conditions with pipes of various dimensions and stiffnesses.

Since many repetitions of measurements are included (pipe lines were frequently measured more than once) the data also provide information on the performance in the course of time. Even although the majority of the pipes were made of PVC and used for sewer applications, it will be evident that the vast amount of data give a representative picture of the actual performance of plastics pipes.

Some statistics are presented in the Figures 3-5.

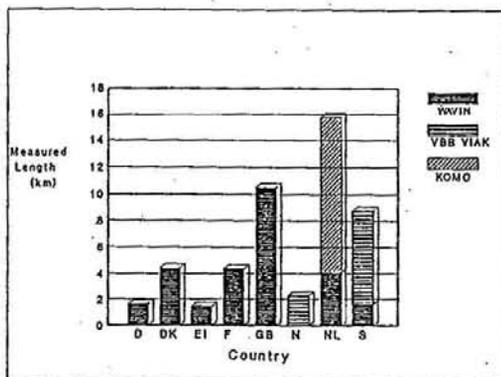


Figure 3 Data as split per source and country

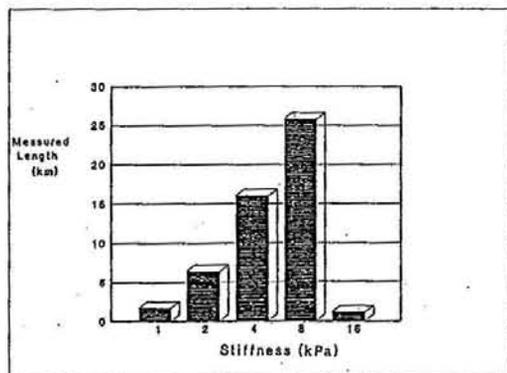


Figure 4 Data as split per pipe type (stiffness)

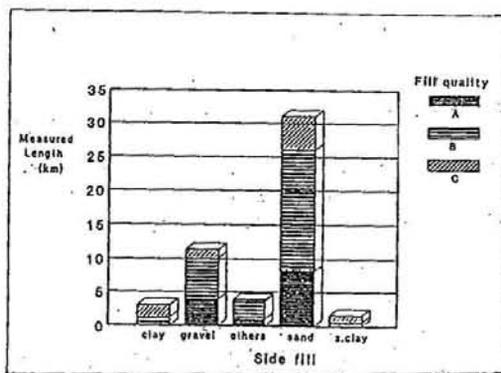


Figure 5 Data as split per fill type (fill material and quality)

Selection of data groups

Various attempts in analysing the data have led to a certain approach. It proved to be best to try and group the data without looking in first instance where the particular data came from. In doing so, data groups were created.

In one data group the data of measurements of pipes with equal stiffness, with equal soil types used as surrounding fill and with equal methods of installation were gathered. Thorough analysis proved that these three parameters (pipe stiffness, fill type and fill quality) are the most significant influencing factors on the resulting pipe deflection.

The fill quality has been qualified by the letters A, B and C, standing for respectively good compaction, moderate compaction and no compaction.

With fill quality A only minor compression of the fill may be expected; with quality B a reasonable amount of compression; with quality C a substantial compression is to be foreseen.

(Backgrounds are given in Ref. 8 and 11).

The data groups obtained following this procedure are the ones indicated in Figure 6.

Fill material	Fill quality	Pipe Stiffness		
		2 kPa	4 kPa	8 kPa
gravel	A	v	v	v
	B		v	v
	C		v	v
sand	A	v		v
	B	v	v	v
	C	v	v	v
clay	B		v	v
	C		v	v

Figure 6 Data groups considered in the evaluation

Other possible combinations of fill material/type and pipe stiffness were found to have been recorded in too low number of cases and therefore were not worked up further.

For the 19 data groups as indicated above, the measured average deflections per section were all plotted against their respective time after installation.

The plotted points in every group were fitted with a curve using the least square method. The curves are of the logarithmic function type, which is appropriate considering the logarithmic time dependency of soil and pipe.

An example of plotted data with their curve fit is given in Figure 7.

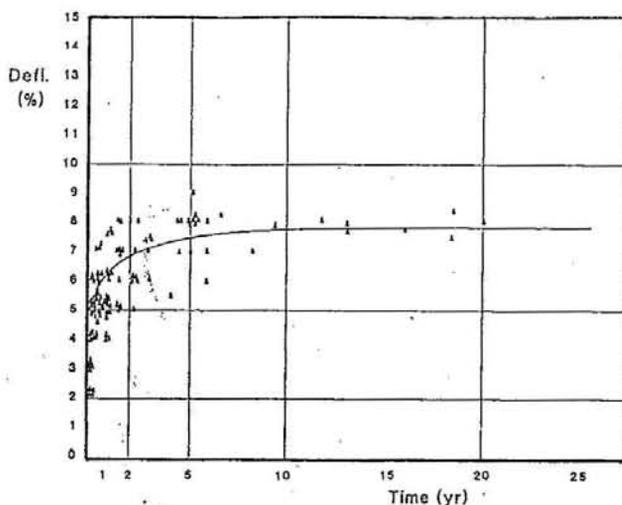


Figure 7 Plot of average deflections vs time after installation (on the example of the group sand/C, 4 kPa)

Influence of the main parameters

By comparing now the typical curves per data group it is now possible to compare the influences of the main influencing parameters.

Figure 8 gives graphical representations (next page).

From the graphical representations the following can be deducted:

- . With proper fill conditions the initial deflection of the pipes is kept low and the increase in deflection is also only marginal.
- . Pipe stiffness is of significant importance only with lower quality fills.
- . Good results are obtainable with cohesive fill materials (when treated).
- . Final deflections are reached generally within two years after installation.
- . Average deflections are generally in the order of 3 to 4 %.

Studies of individual records with trench supports (sheeting), revealed that pulling of supports from the side fill after the complete backfill is placed, leads to 5-10 % higher pipe deflections (due to the creation of voids in the side fill and the subsequent high side fill compression).

With a fill of very soft soils (e.g. peat/soft clay) in many cases very low deflection values were obtained even though the soil stiffness was very close to zero. The reason for this is that the load distribution around the pipe is very beneficial. However, in practice it may prove to be difficult to carry out installation work with these soft materials.

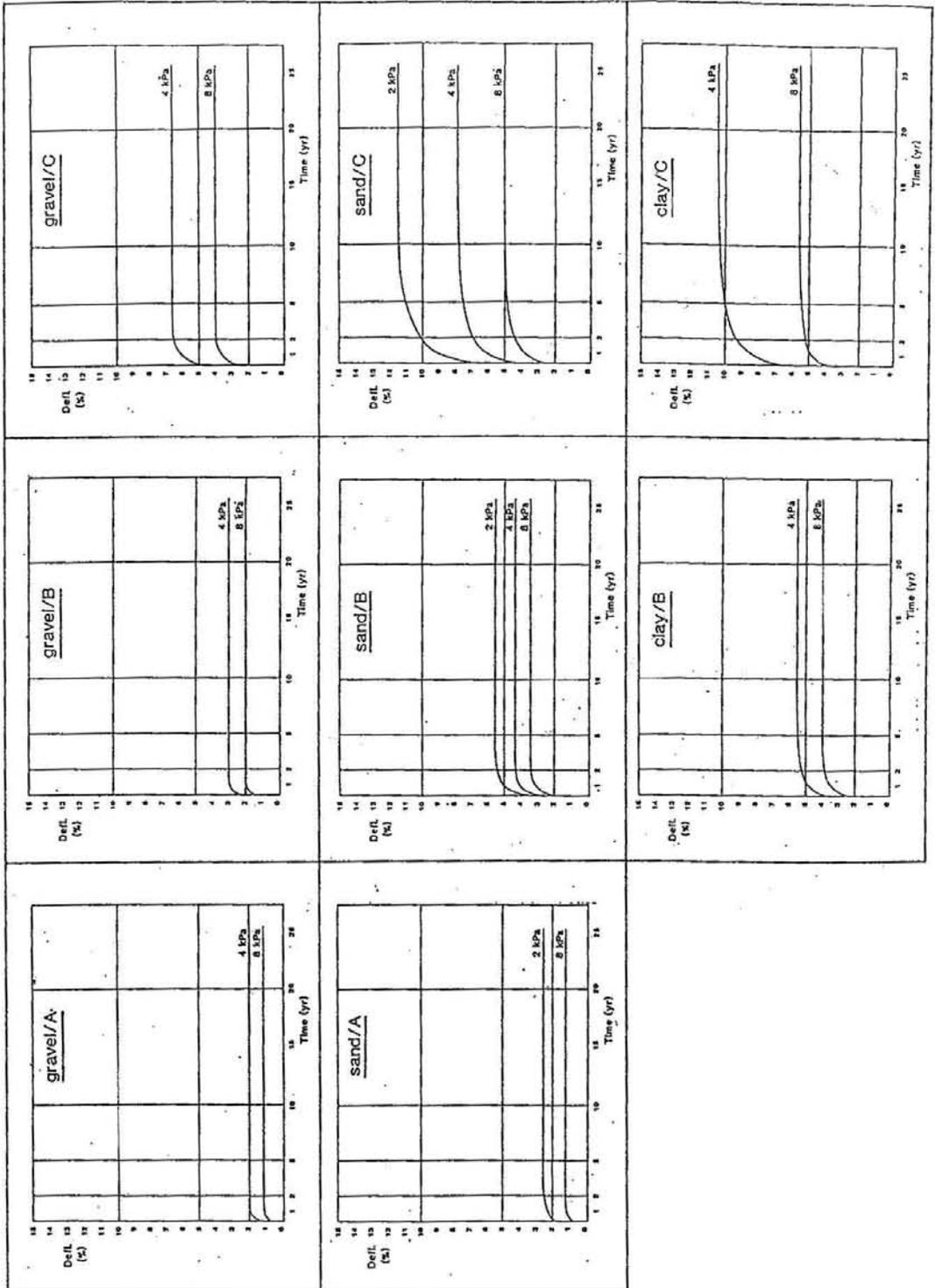


Figure 8 Deflection vs time relationships for different pipes in different conditions

Long term performance

The final shape of the pipe will be reached when the fill next to the pipe has reached its optimum compaction for the conditions encountered. As can be determined from repetitive measurements on individual pipe sections this stage of final deflection, is in nearly all cases reached within two years after installation. The graphical representations given above confirm this.

The amount of increase in deflection in the course of time again depends to a large extent on the applied fill material/quality (as also the initial deflection). It appears now from the data that the final deflection is about 1.5 times the initial deflection.

This corresponds with the original findings of M.G. Spangler, who found that there is a constant relation between final and initial deflection. He called this constant factor the deflection lag factor and gave it a value of 1.5 also. His conduits were made of metal and it demonstrated the dominating role of soil relative to a flexible pipe.

Here, traffic loading has a beneficial effect: it shortens the period in which the final deflection of the pipe is reached, because of the compacting effects on the sub-soil.

(1, 4, 5, 6, 12 give more background information)

Peak deflections

The deflections values used in the analysis until now are the average deflections as recorded in the individual sections. These average values have proven to be of great value in studying the general behaviour of plastic pipes in their various buried conditions.

It will be obvious that deflections are not of a uniform magnitude all over the section length. Variations (irregularities) in deflection always occur to some extent, primarily depending on the method of laying. The more accurate the installation takes place, the less the spread in deflection along the pipe length and vice versa.

By studying individual data records it proved that the maximum/peak deflection values are of a magnitude which is 1.5 to 2 times the average deflection values.

Note: sometimes, e.g. for pipes with small average deflections, it can be more appropriate to predict the peak deflection value by adding values corresponding to the installation method (4).

CONCLUSIONS

For flexible, plastics pipes the pipe deflection is the main design criterion.

From the above data analysis the primary conclusion has to be that the quality of the fill surrounding the pipe is most important with regard to deflection of the plastic pipe. Cohesive soil material may be applied as fill, provided that proper treatment is carried out.

Secondly, the stiffness of the pipe appears to be important in particular with lower quality fills.

The data have shown also that per section peak deflection values have a magnitude of 1.5-2x the average deflection.

Furthermore, deflection generally increases in the course of time with a factor 1.5 to arrive at a stable situation within two years.

Perhaps the outcome of the study presented here, may provide support to pipeline specifiers in the different countries to apply plastics pipes more widely; where technically/economically appropriate.

REFERENCES

1. Spangler, M G "The structural design of flexible pipe culverts" IOWA Eng. Exp. Stat. Bull. 153., Ames, Iowa, USA, 1941.
2. Molin, J "Recent developments in the design of underground plastic pipes"; PRI Conf. Plastics Pipes VIII, Bath, UK, Sept.1988.
3. Schneider, H "ATV A 127 - as it relates to plastic pipe design" ASTM Conf. Buried Plastic Pipe Technology, Dallas, TX, USA, Sept.1990.
4. Janson, L E and Molin, J "Design and installation of buried plastics pipes", 73 pp., published by Wavin, Feb.1991.
5. De Putter, W J and Elzink, W J "Deflection studies and design aspects on PVC sewer pipes", ASCE Conf. Underground Plastic Pipe, New Orleans, USA, March 1981.
6. Bishop, R R "Time dependent performance of buried PVC pipe", ASCE Conf. Underground Plastic Pipe, New Orleans, USA, March 1981.
7. Janson, L E and Molin, J "Design and installation of underground plastic sewer pipes", ASCE Conf. Underground Plastic Pipe, New Orleans, USA, March 1981.

8. Elzink, W J, Gehrels, J F and van der Woude, P J M "Das Verhalten der Kunststoff Kanalrohre in Theorie und Praxis", techn.magazine TIS, ed. 1 & 2, 1984.
9. Walton, D and Elzink, W J "The long term behaviour of buried uPVC sewer pipe, PRI Conf. Plastics Pipes, Bath, UK, Sept.1988.
10. Molin, J "Long term deflection of buried plastic sewer pipes", ASCE Conf. Underground Pipeline Engineering, Madison, USA, Aug.1985.
11. KOMO, "Deflection measurements on operational uPVC sewer pipes", final memorandum of KOMO working group Plastics Sewers, (English translation available), Rijswijk, the Netherlands, 1982.
12. Alferink, F J M "Some experience with 30 years old buried (uPVC) pipes from the viewpoin of stress and strain", ASTM Conf. Buried Plastic Pipe Technology, Dallas, TX, USA, Sept.1990.

11) 15 YEARS OLD PVC SEWER PIPES. DURABILITY AND PERFORMANCE REVIEW

Dennis E. Bauer

15 YEAR OLD POLYVINYL CHLORIDE (PVC) SEWER PIPE; A DURABILITY AND PERFORMANCE REVIEW

REFERENCE: Bauer, D. E., "15 Year Old Polyvinyl Chloride (PVC) Sewer Pipe; A Durability and Performance Review," Buried Plastic Pipe Technology, ASTM STP 1093, George S. Buczala and Michael J. Cassady, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990

ABSTRACT: A sample of 15 year old 257 mm (nominal 10 inch) diameter Polyvinyl Chloride (PVC) sewer pipe was excavated and tested in accordance with the ASTM standards to which it was manufactured. Test results for standard requirements such as workmanship, dimensions, flattening, impact resistance, pipe stiffness, joint tightness and extrusion quality are presented and compared to current requirements of ASTM D 3034, "Standard Specification for Type PSM Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Sewer Pipe and Fittings." This information serves as a basis for review of the physical durability of PVC sewer pipe.

A substantial amount of initial installation data was available for this particular sewer project. Information such as bedding and haunching requirements and initial deflections were retrievable as well as original plans. Several pre-excavation procedures were completed in an effort to assess current performance. These included a review of City maintenance records, measuring depth of flow, televising the line and pulling a deflection mandrel. Actual in-situ soil classifications and density measurements were completed as the excavation proceeded. This information serves as a basis for a review of the performance of the PVC sewer line.

KEYWORDS: modulus of elasticity, deflection, pipe stiffness, joint tightness, tensile strength

Numerous testimonials to PVC's superior long-term performance are available from users throughout North America. However, they have neither the time, budget nor inclination to dig up perfectly good PVC sewer pipe to test its durability. Members of the Uni-Bell PVC Pipe Association thought it prudent to provide such information in support of the selection of PVC.

A decision was made in 1988 to locate and remove sufficient PVC sewer pipe for testing in accordance with American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard D 3034, "Standard Specification for Type PSM Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Sewer Pipe and Fittings."

Dennis Bauer is the Association Engineer of the Uni Bell PVC Pipe Association, 2655 Villa Creek Drive, Suite 155, Dallas, TX 75234.

(PVC) Sewer Pipe and Fittings." The pipe was to be one of the earliest gasketed SDR 35 sewer pipes manufactured in accordance with this standard.

ASTM D 3034 was originally published in 1972. Therefore, the oldest pipe, if installed in 1972 and excavated in 1988, would be 16 years old. Certainly an adequate period of time to formulate opinions on long-term durability.

There were prerequisites, in addition to it being gasketed SDR 35, established upon which a specific site selection would be based. One of the requirements was that the line chosen be at least 10 years old. It should also be a sanitary sewer application, with typical slopes, depth of cover and operating conditions. A final prerequisite was that the project selected be one for which initial installation documentation was available. This requirement would insure an ability to objectively review the changes with time in the pipe performance as well as durability.

SITE SELECTION

The records for older PVC sewer locations were examined from a number of cities. Because Dallas, Texas, has used PVC sewer pipe for many years, a number of sites could be considered. Information about the initial deflections and the installation requirements for their early PVC pipe installations had been documented.

Further review led to a 254 mm (10 inch) diameter gasketed SDR 35 PVC sewer line on the north side of Dallas, which had been installed in May of 1973. The City had plans and profiles of the project with embedment description as well as a report on initial deflections.¹ Depths of burial ranged from 2.4 to 3.0 meters (8 to 10 feet) with a planned slope of 0.80 percent. By tapping the collective memory of local manufacturer's representatives, we learned that a complete installation report² had also been prepared immediately following the pipe's installation. This site had everything we required.

The City of Dallas willingly cooperated on this research project which required the removal of an active PVC sewer line from beneath a city street. The Dallas Water Utilities Department believed the research would greatly benefit their information base as well as the user community in general. The City of Dallas Water Utilities Department acted as the contractors for the project.

PRE EXCAVATION

Before excavating the line and sending it to the laboratory for testing, information was gathered relative to how well it was currently operating. City crews reported that there were no recorded instances of required maintenance on this line in its 15 years of service. The following five steps summarize the pre-excavation protocol.

- Depth of flow measurement
- TV the line
- Clean the line
- Pull a deflection mandrel through the line
- Re-TV the line

Dallas Water Utilities had set up a mobile recording device to measure depths

over a seven day period. Depth of flow over the seven days ranged from a low of approximately 25.4 mm (1 inch) to a high of 76.2 mm (3 inches) of depth.

The Dallas utility crew, which televised the line, explained that they no longer televise their PVC sewer lines, as a part of scheduled maintenance, because experience had shown that for PVC sewers, such periodic visual examinations were not necessary. They pulled the camera through the 74.7 meters (245 foot) long section of 254 mm (10 inch) PVC while it was in service. The video revealed that the interior of the pipe was fairly clean. It had what appeared to be very light and inconsistent residue throughout its length. No heavy build-ups were found.

The line was then cleaned with a water jetting device before the deflection mandrel was pulled. Both the City's and manufacturer's post-installation test reports indicated that deflections ranged from two to five percent over the length of the line. They both had used deflectometers to measure the entire length. The City crew attempted to pull a 5 percent deflection mandrel (a go/no go testing device) through the line. Due to the heavy build-up of concrete at the outlet and inlet structures, of the upstream and downstream manhole inverts, respectively, they were unable to introduce the mandrel into the line. With much effort and manipulation, a 7.5 percent deflection mandrel, which is ASTM's published recommended allowable deflection limit, was wedged into the upstream manhole outlet structure. The 254 mm (10 inch) PVC sewer line passed the mandrel without any hang-ups.

Because the interior of the pipe was relatively clean to begin with, the re-televising, after the jet cleaner had been pulled through, revealed no significant changes.

EXCAVATION

In December of 1988, Dallas Water Utilities' personnel began excavation of the pipe. Before removal of any overburden, a device was placed in the pipe to lock-in in-situ deflection over a two foot length. By maintaining in-situ deflection, long-term structural properties of the material could later be determined, in particular, long-term modulus.

The asphalt was removed and a nuclear densometer, operated by a Dallas utility consultant, was calibrated and used to measure soil density just below the surface and then again three feet down. The densities ranged from 82 percent to 92 percent along the length of the trench.

A Dallas based engineering consultant specializing in geo-technical evaluations was retained to classify and define the native trench soil as well as the embedment material. Their soils' report³ revealed the following. The final backfill material, which was placed from approximately four to six inches above the pipe to about one foot below the pavement, was classified as CH material, described as "Dark gray to tan clay with calcareous nodules and limestone fragments."

The initial backfill, which was placed from the springline of the pipe to four to six inches above, was classified as SM and described as "Tan silty fine sand with trace fine gravel." The City crew knew we were getting close to the top of the pipe when the backhoe operator struck this sand.

The City requirements called for a "Class B" embedment material. Class B material basically consists of sand and gravel. The material which was removed from

The bottom of the pipe and from the sides to the springline was classified as SC and described as tan and grayish brown clayey fine to coarse sand with some fine gravel. Because the invert was approximately 2.4 meters (8 feet) deep and the water table was slightly above the crown of the pipe, some of the native clay materials washed into these samples during the excavation process. Their embedment requirements were sufficient to maintain deflections within the allowable limit.

The water table being above the pipe made for nasty working conditions which were aggravated by rainy weather. This didn't deter the Dallas utility crew. They brought in pumps to lower the water level and uncovered the pipe. Once uncovered, they cut holes in the crown and let the pipe assist in draining the trench.

A total of approximately 12.4 meters (40 feet) of pipe was required to test in accordance with ASTM D 3034. The 254 mm (10 inch) PVC was removed in two sections, one 10.1 meters (33 feet) in length and the other 2.1 meters (7 feet). A house lateral prevented us from removing one contiguous piece. As Figure 1 reveals, the pipe



Figure 1. The 257 mm (10 inch) PVC was removed from Dallas.

was covered with mud upon removal. Even so many of the crew members commented that the pipe looked practically new. The mud was washed off, the interior was rinsed and the pipe was cut in lengths convenient for shipment.

TESTING

The pipe was sent to Utah State University's (USU) mechanical engineering department in Logan, Utah. USU is a recognized pipe research facility.

USU tested the received pipe samples in accordance with ASTM D 3034, which has requirements for workmanship, diameter dimension, wall thickness dimension, flattening, impact resistance, pipe stiffness, joint tightness and extrusion quality.

Workmanship

ASTM D 3034 requires that the pipe and fittings shall be homogeneous throughout and free from visible cracks, holes, foreign inclusions or other injurious defects. The pipe shall be as uniform as commercially practical in color, opacity, density and other physical properties.

After 15 years, the PVC pipe passed these requirements. In fact, the report from USU⁴ states that, "after cleaning with soapy water the appearance was almost like new pipe."

Diameter Dimension

The average outside diameter when measured in accordance with ASTM D 2122, "Standard Method of Determining Dimensions of Thermoplastic Pipe and Fittings," was found to be two thousandths of an inch under the tolerance.

This minor variation in diameter would not affect pipe performance.

Wall Dimension

The wall thicknesses exceeded the ASTM D 3034 requirements when measured in accordance with ASTM D 2122. The samples had average wall thickness ranging from 7.80 to 7.98 mm (0.307 to 0.314 inches). After 15 years of service, the wall thickness, even in the invert, was greater than that required by the standard for new pipe. Domestic sewage is not normally very abrasive, but confirmation of the pipe invert wall thickness was felt to be important. Previous studies have confirmed PVC's high resistance to abrasion.

Impact Resistance

ASTM D 3034 requires that 254 mm (10 inch) diameter pipe withstand 298 joules (220 ft-lbf) when tested in accordance with ASTM D 2444, "Standard Test Method for Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of Tup (Falling Weight)." This standard requires that pipe specimens be able to withstand a blow from a missile-shaped falling weight called a tup. The tup is 9.1 kg (20-lbs),

therefore, a 3.4 meter (11 foot) drop height is used. This test is a quality control requirement and was never intended as a requirement for field installation. All samples passed, providing further evidence that no embrittlement occurs over time with buried PVC pipe.

Pipe Flattening

ASTM D 3034 states that there shall be no evidence of splitting, cracking or breaking when pipes are flattened to 40 percent of their outside diameter. By flattening to 40 percent, the pipe is deflected 60 percent.

The 15 year old PVC pipe passed the test. There was no embrittlement with time. See Figure 2.



Figure 2. Fifteen year old PVC pipe subjected to 60% deflection, without splitting or cracking.

Pipe Stiffness

A minimum of 317 kPa (46 psi) is ASTM's requirement for SDR 35 PVC sewer pipe. All samples were tested in accordance with ASTM D 2412, "Test Method for Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel Plate Loading." The average pipe stiffness of the 15 year old pipe was 433 kPa (62.8 psi).

Joint Tightness

Within D 3034 is a requirement that the elastomeric gasket joints perform in accordance with ASTM D 3212, "Standard Specification for Drain and Sewer Plastic Pipe Using Flexible Elastomeric Seals." This performance standard requires that pipe,

with gasketed joints, undergo both an internal pressure and vacuum requirement when axially deflected. The 15 year old joint passed the test. (See Figure 3.)

After 15 years of service, the joints met the same requirements as those of new pipe. Meeting these requirements insured that the pipe could still comply with a cost-effective allowable infiltration/exfiltration requirement of 50 gallons per inch of internal diameter per mile per day.

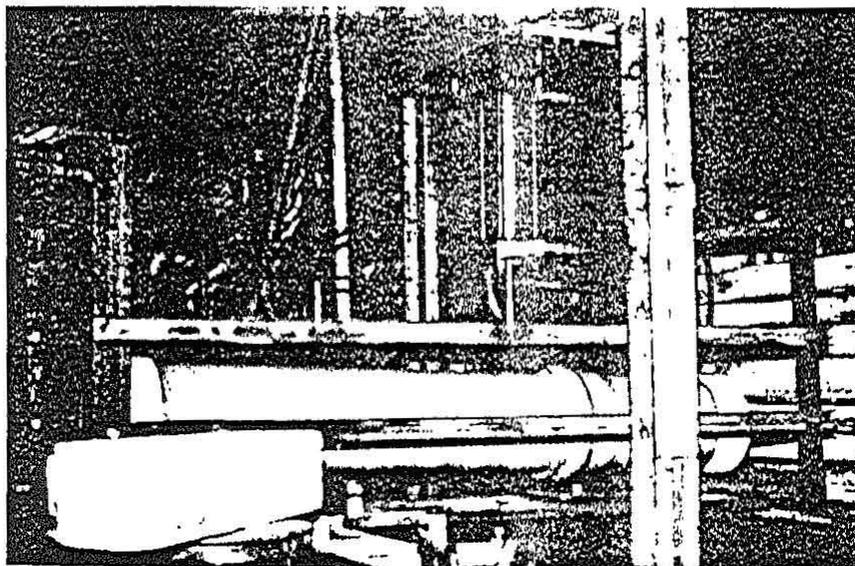


Figure 3. Fifteen year old PVC passes original joint requirements.

Extrusion Quality

ASTM D 3034 requires that the pipe not flake or disintegrate when tested in accordance with ASTM D 2152, "Standard Test Method for Degree of Fusion of Extruded Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pipe and Molded Fittings by Acetone Immersion." Samples were submerged in anhydrous acetone for the required time and inspected. All of the 15 year old pipe samples successfully passed.

Structural Properties

Within a limited group of users and non-users of PVC there lingers a question concerning long-term structural properties. They would suggest that properties such as tensile strength and pipe stiffness (modulus of elasticity) decrease with time.

When the 15-year-old PVC pipe was tested in both the circumferential and longitudinal direction for tensile strength and modulus of elasticity, the following results were obtained.

These values are typical of newly manufactured PVC sewer pipe.

Table 1 - Circumferential Direction

Specimen Number	Tensile Strength MPa ^a (psi)	Modulus MPa ^a (psi)
1	51.05 (7410)	2591 (0.376 x 10 ⁶)
2	52.36 (7600)	3038 (0.441 x 10 ⁶)
3	53.05 (7700)	2777 (0.403 x 10 ⁶)
4	52.85 (7670)	2963 (0.430 x 10 ⁶)
AVG.	52.36 (7600)	2839 (0.412 x 10 ⁶)

Table 2 - Longitudinal Direction

Specimen Number	Tensile Strength MPa ^a (psi)	Modulus MPa ^a (psi)
1	55.05 (7990)	3094 (0.449 x 10 ⁶)
2	54.98 (7980)	3011 (0.437 x 10 ⁶)
3	56.08 (8140)	2976 (0.432 x 10 ⁶)
4	55.53 (8060)	3156 (0.458 x 10 ⁶)
AVG.	55.40 (8040)	3059 (0.444 x 10 ⁶)

^aMPa = psi x 0.00689

ADDITIONAL TESTING

To remove any doubt about the validity of the long-term structural properties, a locking brace was placed inside one of the pipe samples prior to its excavation. That device served to maintain the in-situ, 15 year deflection, allowing for incremental load and deflection measurements. At 5 percent deflection, pipe stiffness was determined to be 449 kPa (65.1 psi). The corresponding modulus of elasticity was determined to be 3405 MPa (494,220 psi). The 15 year old, buried PVC sewer pipe had not lost any of its stiffness when compared with the ASTM D 3034 requirement.

CONCLUSIONS

Clearly PVC pipe is providing excellent performance. After 15 years of service there have been no required maintenance calls, deflections were held below recommended limits and the joints met the tightness requirements of new pipe.

The results of testing in accordance with ASTM D 3034 reveal that no measurable degradation of any sort took place in the course of 15 years. There was no embrittlement, no loss of wall thickness, no decrease in pipe stiffness and no decrease in modulus.

The PVC pipe's ability to perform has not changed over 15 years and all indications suggest it will not change in the foreseeable future.

REFERENCE

- [1] Chandler, R. W., P.E., "Evaluation of In-Place Polyvinyl Chloride (PVC) Sewer Pipe," Dallas Water Utilities, Dallas, 1974.
- [2] Morrison, R. S., "A Report on Deflection Measurements of Johns-Manville SDR 35 PVC Gravity Sewer Pipe in the Dallas/Fort Worth Area," Johns-Manville, Dallas, 1973.
- [3] Grubbs, B. R. and Oswald, T. W., "Results of Classification Tests PVC Sewer Pipe Project," Report DR-8088, TERRA-MAR Consulting Engineers, Dallas, January 1989.
- [4] Moser, A. P. and Shupe, O. K., "Testing Fifteen Year Old PVC Sewer Pipe," Buried Structures Laboratory, Utah State University, Logan, Utah, March 1989.

12) THE LONG TERM BEHAVIOUR OF BURIED U-PVC SEWER PIPE

PLASTICS PIPES VII

THE LONG TERM BEHAVIOUR OF BURIED uPVC SEWER PIPE

D Walton* and W J Elzink**

One of the main reasons that plastics have not found more extensive use in non pressure sewer schemes has been concern about the long term deformation characteristics of the pipeline. In order to investigate this phenomenon the flexural behaviour of uPVC sewer pipes installed in Western European countries, including the U.K., have been monitored by Wavin over the past 23 years.

The results of this programme of work is presented in the paper and illustrated by a number of specific case histories.

1. INTRODUCTION

The current use of plastics in sewer schemes in Western Europe differs from country to country. The penetration of plastics in sewers of 200 mm and above varies from over 25 % in the Netherlands and Scandinavia, via some 15 % in France to lower than 8 % in West Germany and the U.K. One of the main reasons why plastics have not been accepted for non-pressure applications in Germany and the U.K. is concern about the deformation characteristics of plastics pipes particularly the long term. In order to counter these concerns amongst consultants and engineers from water authorities and municipalities, Wavin have conducted an extensive programme of deformation measurements on uPVC sewer pipes spanning over 20 years. This paper discusses the results of this study illustrated by some specific case histories.

* Wavin Industrial Products, Durham, U.K.

** Wavin R & D, Dedemsvaart, the Netherlands

PLASTICS PIPES VII

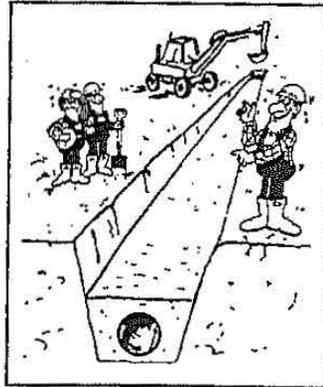
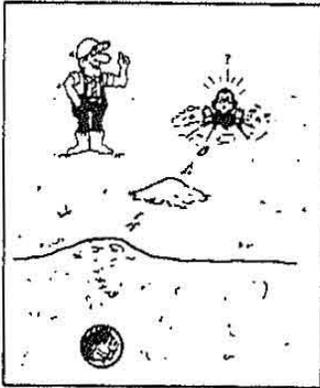
2. DEFORMATION CHARACTERISTICS OF FLEXIBLE PIPES

2.1. The pipe in the soil

Relative to the surrounding soil plastic pipes may be classified as flexible. Therefore buried plastic pipes will deform under the settlement load of the soil. This deformation process is beneficial as it equalises the loads on the pipe thereby minimizing wall stresses. The extent to which deformation takes place is fixed predominantly by the conditions where the pipe is being exposed to, in particular the quality of fill surrounding the pipe. This can be illustrated by the 'mole-hole-theory'. The ideal situation would be, a hole made by a mole. Such a hole, dug at a certain time, will stay intact if soil vibrations and water table variations do not occur.

In practice, however, a trench is dug, and after installation of the pipeline, is backfilled. This soil disturbance results in vertical settlement and consequently vertical pipe deformation. This vertical pipe deformation produces an increase in horizontal diameter, which in turn increases the horizontal soil resistance. So, the more soil settles, the more the pipe deforms, the more the soil reacts, and so on.

The interaction between the pipe and the soil and in particular the final deformation is dependent upon the quality of the surrounding soil. For example if the pipe is surrounded by a high density (well compacted) fill little deformation will take place.



Figures 1 , 2
Ideal and
common
practice

The interaction between a flexible pipe and the soil around it can be schematically represented by the progressive deformation shown in fig. 3.

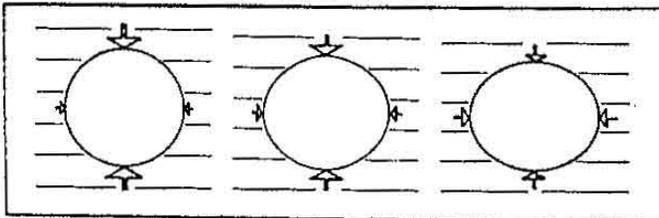


Figure 3
Pipe-soil
interaction

PLASTICS PIPES VII

2.2. The soil around the pipe

There is a clear relationship between the pipe deformation and the quality of the fill (bedding, side fill and top fill) This quality of fill depends on the type of fill material that is applied as well as on the manner in which this material is placed around the pipe. This is why the fill conditions are classified by means of so-called "fill groups". A fill group then is a combination of fill material and way of filling indicated as sand/B, gravel/A, clay/C, etc. In this system A, B and C are defined as follows:

- A: regular pipe support with no line- and point loads; only minimal settlements take place
- B: rather irregular pipe support with locally line loads; reasonable density given to the fill but not always uniform, implying that some irregular settlements occur
- C: very irregular pipe support with frequent line- and point loadings; moderate to poor density of the fill effecting considerable settlements

The importance of the way of filling is illustrated when comparing parallel plate loading with uniform loading around the circumference of the pipe (fig. 4).

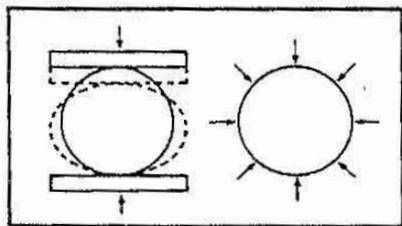


Figure 4
Extremes in loading
conditions

2.3. Calculation of pipe deformation

A large number of papers have been published predicting the relationship between pipe deformation and pipe and soil properties. (Ref. 3, 4, 6, 10). Although they differ in detail, all deflection relationships can be re-written as a general formula:

$$\text{deflection} = \frac{\text{installation factor} \times \text{vertical load}}{\text{pipe stiffness} + \text{bedding stiffness}}$$

Under the headings "bedding stiffness", "installation factor" and "vertical load", a number of influencing parameters are hidden: original soil type, trench dimensions, groundwater table, fill group, depth of cover and transient loads. Pipe stiffness is derived from the dimensions of the pipe and the characteristics of the material from which it is made (Ref. 10).

PLASTICS PIPES VII

2.4. Deformation measuring techniques

Pipe deformation may be measured using amongst others two different commercially available systems:

- * The Lancier Calibrator, a simple mechanical piece of equipment consisting of a cylinder with 8 feelers assembled to it, with which continuous measurements of internal bore and pipe length are recorded.
- * The Pearpoint Profiling Camera, a more complex electronical set of equipment consisting of a light head, a camera mounted on a trolley, a closed circuit television monitor and a software programme with which local deformations can be recorded.

In the programme outlined in the paper all measurements were made using a specially designed research tool, known as the Wavin Sledge. This sledge contains vertical and horizontal feelers which contact the pipe wall, while it is being pulled through a pipe section. The feeler positions are being transferred to a recorder, thus producing a continuous reading.

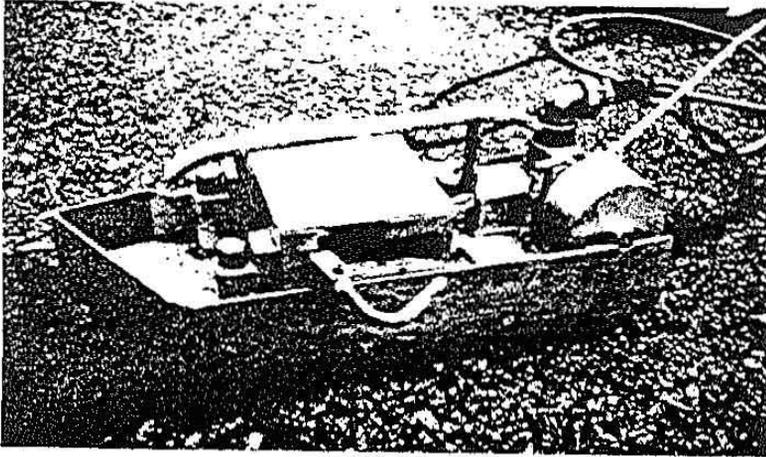


Figure 5
The sledge
ready to
be led in

3. PRACTICAL OBSERVATIONS

Over the past 23 years pipe deformations have been measured on uPVC sewer pipes, installed in a number of European countries (fig. 6)

The pipes which were all in operation, ranged in diameters from 160 to 630 mm and were subjected to a wide variety of fill conditions and loading types. By mid 1988 the total number of measurements amounted to 900 with a total length of 37.000 m. The conditions have been recorded in order to complete this data bank of practical information.

PLASTICS PIPES VII

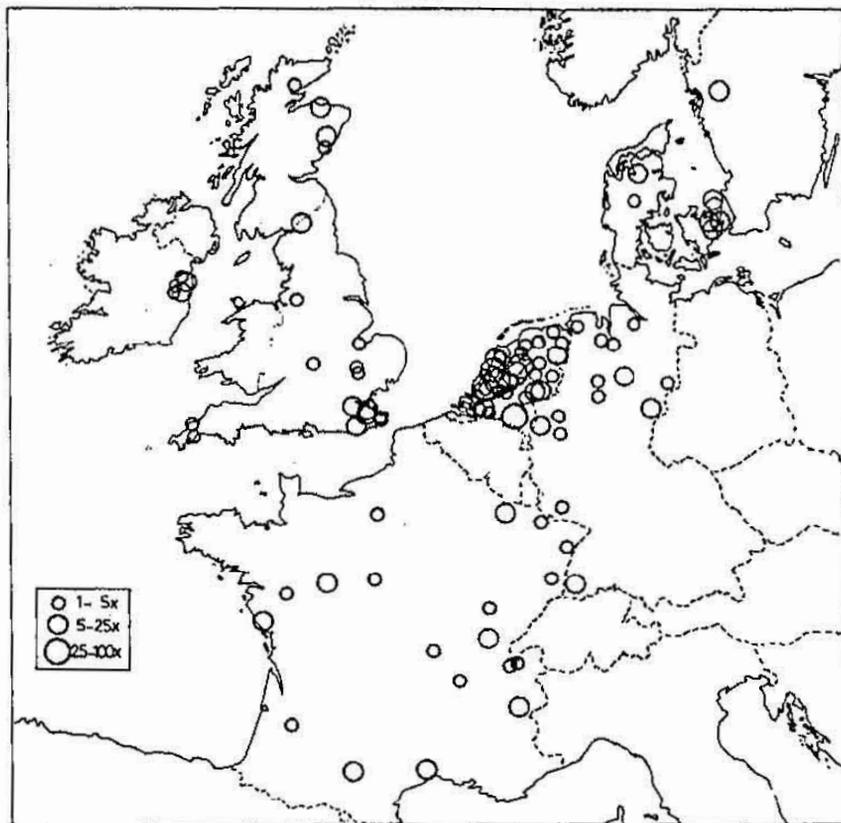


Figure 6 Geographical distribution

To illustrate the results four typical case studies are presented.

3.1. Dartford - England

The principal trunk-highway A2 from London eastwards to Dover was under construction in 1970 - 1971 to by-pass Dartford. For the stormwater discharge pipelines uPVC pipe was used. Three sections of pipelines have been monitored from time to time in order to find out how uPVC pipes perform under extreme heavy traffic conditions.

Section 1.1 and 1.2, respectively consisted of 18"/457 mm and 16"/406 mm uPVC pipes with wall thickness ratio SDR 41, were installed in a cutting of approx. 5 m. In the soil, consisting of chalk, very narrow perpendicular trenches (width: dia + 0,3 m) were excavated with depths down to 3 m. The pipes were installed with pea gravel surround, a 150 mm bed under the pipe up to 150 mm initial topfill. Compaction was not carried out on this surround. The rest of the trench was backfilled with selected as-dug material and thoroughly compacted.

PLASTICS PIPES VII



Figure 7
A2 near Dartford
during
construction

Section 1.1, 87 m in length is situated under the side-verge and section 1.2, 16 m in length is situated under the three lane highway to the central reservation.

Section 1.3, consisting of 10"/273 mm uPVC pipes with SDR 41, was installed in an embankment consisting of silty sand. A trench with wall angles of approx. 30° was excavated and the pipes were installed in a similar way to section 1.1 and 1.2. This section 1.3. is situated under the side-verge of the motorway, 77 m in length.

The results of the deformation measurings are given in the table 1.

Table 1 - Deformation measurements at Dartford England

Time after installation	Average/maximum deformations		
	SDR 41 ø 457 mm Section 1.1	SDR 41 ø 406 mm Section 1.2	SDR 41 ø 273 mm Section 1.3
2 years	1½ / 3 ‰	1½ / 2 ‰	2 / 4½ ‰
3 years	1½ / 3 ‰	1½ / 2 ‰	2½ / 5 ‰
8 years	1½ / 3 ‰	1½ / 2 ‰	2½ / 5 ‰
13 years	1½ / 3 ‰	1½ / 2 ‰	2½ / 5 ‰
17 years	1½ / 3 ‰	1½ / 2 ‰	2½ / 5 ‰

PLASTICS PIPES VII

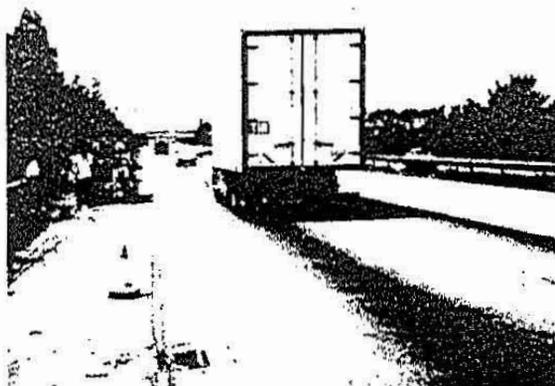


Figure 8
A2 near Dartford
during measuring

Whilst all the pipes performed well section 1.3, installed in an embankment has apparently been subjected to a higher settlement of its top fill than section 1.1 and 1.2 buried in a firm stabilized soil. All three sections however have obtained their final shape within two years after installation.

3.2. Dragør - Denmark

In Dragør, situated just South of Copenhagen, uPVC pipes of diameter 400 mm have been used in a sewerage scheme. The installation of the SDR 34 and SDR 41 pipes took place in 1971. The depths of cover are 5.0 m to 5.3 m.

The original soil consists of sand with fine clay parts and the pipe was surrounded by sand. The installation can be qualified as moderate to reasonable; the compaction of the sidefill was done by walking next to the pipes (treading) and the weather was not cooperative. The sandy surround was taken up to 150 mm over the pipe crown. The rest of the trench was backfilled with excavated material.

The sections measured have each a length of 80 m. The deformation measurements are given in table 2.

Table 2. Deformation measurements at Dragør - Denmark

Time after installation	Average/Maximum deformation	
	∅ 400 SDR 34 Section 2.1.	∅ 400 SDR 41 Section 2.2.
½ year	2 / 5 %	2½ / 7 %
1 year	2½ / 5 %	3½ / 7 %
4 years	3 / 5 %	4 / 7 %
13 years	3 / 5 %	4 / 7 %

It appears that the SDR 34 pipes have stabilized to an average of 3 % and the SDR 41 pipes to 4 % deformation (within 1-2 years).

PLASTICS PIPES VII

3.3. Lelystad - the Netherlands

In 1967, uPVC pipes were used in the sewerage scheme of Lelystad, a new town some 3.5 m beneath the sea level, in the reclaimed Flevopolder. Some sections have been monitored under official auspices of KOMO (the Dutch approval authority of Building Materials). The pipes involved are 250 mm in diameter and have a SDR of 41. They are situated under the road in a housing estate with 1.7 m depth of cover.

The excavated material, consisting of fat clay was re-used for backfill with the exception of the pipe surround. The pipe bedding and sidefill were constructed with sand. The sidefill has been compacted moderately by treading. The results of deformation measurements are given in table 3.



Figure 9
Lelystad
during construction

Table 3. Deformation measurements at Lelystad - The Netherlands

Time after installation	Average/maximum deformations	
	SDR 41 ∅ 250 mm Section 3.1	SDR 41 ∅ 250 mm Section 3.2
	3 / 4 ½ %	3 ½ / 4 ½ %
2 years	3 ½ / 5 ½ %	3 ½ / 6 %
4 years	3 ½ / 5 ½ %	3 ½ / 6 %
6 years	3 ½ / 5 ½ %	3 ½ / 6 %
11 years	3 ½ / 5 ½ %	3 ½ / 6 %
14 years	3 ½ / 5 ½ %	3 ½ / 6 %

Deformation stabilized at an average of 3 ½ % after a period of 2 years.

PLASTICS PIPES VII

3.4. Buckie - Scotland

In Northern Scotland, in Buckie (east of Inverness) uPVC pipes were first applied for sewerage in 1967. In the Highfield Road Housing Site, 4" and 6" diameter pipes were used for foulwater sewer and 9" and 12" diameter pipes for surface water drains. In the latter sections were monitored by carrying out periodic deformation measurements.

The pipes had been installed in narrow perpendicular trenches, excavated in the soil ranging from sandy loam to medium stiff loam with gravel (similar to boulder clay), the trenches were approx. 2 m in depth.

Coarse sand has been used to surround the pipes: a 100 mm pipe bed, a sidefill compacted by treading up to the initial topfill 150 mm over the crown. Mechanical compaction was applied on the initial topfill. Exceptions were section 4 and 5 where no compaction at all was applied. For the rest of the backfill excavated material was used.



Figure 10
Buckie,
during
measuring

Table 4. Deformation measurements at Buckie - Scotland

Time after installation	Average/maximum deformation				
	ø 244 mm SDR 44			ø 323 mm SDR 44	ø 244 mm SDR 44
	Sect. 4.1	Sect. 4.2	Sect. 4.3	Sect. 4.4	Sect. 4.5
6 years	3 1/5 %	3 1/7 %	4 1/9 %	3 1/7 %	7 / 3 1/2 %
11 years	4 / 5 %	4 / 7 %	4 1/10 %	4 / 7 1/2 %	7 1/2 / 4 %
16 years	3 1/5 %	3 1/7 %	4 1/10 %	3 1/7 1/2 %	7 1/2 / 14 %
20 years	3 1/5 1/2 %	3 1/7 %	4 1/10 %	3 1/7 1/2 %	7 1/2 / 14 %

Section 4.5, with no treatment of sidefill or topfill appears to have a higher deformation than the others: Approx. 7 1/2 % and approx. 4 %. This is due to the additional soil settlement, which was visible in the road surface.

PLASTICS PIPES VII

These results show that coarse sand is a suitable surround material and pipe deformations can be kept low by just foottamping the sidefill. If the sidefill had been mechanically compacted, (not possible in the narrow trenches of only 600 mm width) an average percentage of 1½-2 % would have been obtained.

4. RESULTS FROM PRACTICAL TESTS

Experience from measurements on operational uPVC sewer systems may be summarized by the following general statements:

- * In no case has a PVC pipe failed to operate as part of an operational sewer system due to excessive deformation.
- * In all cases the rate of increase of deformation diminishes and in general the final deformation is reached within two years of installation.
- * The final deformation is pre-dominantly influenced by the 'fill group', i.e. type of fill material and method of application.
- * Traffic loading has little influence on the final deformation, but reduces the time to achieving equilibrium conditions.
- * The deformation limits accepted within Europe can be achieved by uPVC SDR 41 pipe using a wide range of fill materials.

For more background information on the above the reader is referred to (2), (8), (9), (10). In the U.K. BS 5955: part 6 permits 5 % deformation as a maximum for buried uPVC gravity systems. However, buckling due to excessive deformation does not occur below 30 %, and therefore the 5 % limit contains a very high factor of safety. In other European countries the trend has been to accept long term deformation in the order of 10 to 15 % (1), (5), (6).

5 DEVELOPMENTS IN PLASTIC SEWER PIPES

In recent times a number of novel pipe constructions have been developed to provide the optimum performance of uPVC pipe. A leading example is a rib-reinforced solid wall uPVC pipe (ULTRA-RIB) which has been extensively tested in the U.K. and Scandinavia prior to launch into the sewer market. The tests comprised trials in the WRC test pit and field trials on a site near York, where comparisons with traditional solid wall pipes were made and where a wide variety of fill groups was tested on suitability for application. In addition to these tests, live trials under operational conditions have been carried out in the U.K. and Scandinavia.

These tests illustrate that this new type of pipe perform better than the solid wall uPVC pipes to BS 5481.

PLASTICS PIPES VII

6. CONCLUSIONS

Practical observations over a number of years have clearly demonstrated that uPVC pipe perform satisfactory as sewer system with the wide variations of conditions encountered. Short term results on the novel rib-reinforced solid wall uPVC pipe indicate that better performance will be achieved from these new sewer pipes.

7. REFERENCES

1. International Organization for Standardization, 'Recommended techniques for the installation of PVC buried drains and sewers', ISO technical report TR 7073, 1983
2. KOMO (Dutch approval auth. for building materials), 'Deflection measurements on operational uPVC sewers', KOMO committee E36 memorandum, Rijswijk, the Netherlands, 1982
3. Abwassertechnischen Vereinigung e.V. (ATV), 'Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen', ATV Arbeitsblatt A127, W-Germany, 1984
4. WRC Engineering, 'Guide to the Water Industry for the structural design of underground non-pressure uPVC pipe lines', WRC document ER 201 E, Swindon. U.K., 1986
5. WRC Engineering, 'Specification for solid wall concentric external rib-reinforced uPVC sewer pipe', WRC specification IGN 4-31-05, Swindon, U.K., 1987
6. Janson LE and Molin J, 'Design and installation of underground plastic sewer pipes'. Int. Conf. on Underground Plastic Pipes. ASCE, New Orleans, USA, 1981
7. Rogers CDF, Brown SF and Boyle G., 'The influence of bedding and sidefill on the response of uPVC pipes to surface loading', Int. Conf. Plastics Pipe VI, York, U.K. 1985
8. de Putter WJ and Elzink WJ, 'Deflection studies and design aspects on PVC sewer pipes'. Int. Conf. on Underground Plastics Pipes, ASCE, New Orleans, USA, 1981
9. Elzink WJ, Gehrels JF and van der Woude PJM, 'Das Verhalten der Kunststoff-Kanalrohre in Theorie und Praxis', (2 parts), Tiefbau . Ingenieurbau . Strassenbau 01/02.1984
10. Joekes D and Elzink WJ, 'Deflection of PVC sewer pipes and a new method for measuring and specifying stiffness of plastics pipes', Int. Conf. Plastics Pipes VI, York, U.K., 1985

13) ANALISI COSTI – BENEFICI COMPARATA DEI MATERIALI NELLE RETI UTILITIES

ANALISI COSTI-BENEFICI COMPARATA DEI MATERIALI PER LE RETI UTILITIES

I vantaggi dell'impiego delle plastiche nel settore idrico in Italia

gennaio 2010



100
anni

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

Avvertenze

L'obiettivo del presente documento è di condurre un'analisi costi-benefici comparata dei diversi materiali per la realizzazione delle infrastrutture di rete nel settore idrico integrato.

Il lavoro è stato realizzato grazie al sostegno di: Assocomaplast, Federazione Gomma Plastica, IIP, PE100+ Association Plasticseurope Italia, Centro di Informazione sul PVC (i Partner) ed è un aggiornamento di un precedente studio del 2007, realizzato con il supporto di uno steering committee dei Partner coordinato dal dr. Cino Serrao.

Il rapporto è stato predisposto ad uso esclusivo dei Partner ed è da ritenersi strettamente confidenziale. E' vietata la riproduzione, totale o parziale, in qualsiasi forma e di qualsiasi parte del presente documento, così come la diffusione a terzi, senza la preventiva autorizzazione scritta dell'Autore.

L'Autore non si assume alcuna responsabilità per un eventuale uso improprio delle informazioni e dei dati forniti o per la divulgazione non autorizzata del contenuto del presente documento.

Il presente lavoro è stato condotto, oltre che su dati provenienti da fonti aperte ufficiali, su elementi di giudizio soggettivi che possono risultare più o meno corretti. L'Autore, pur avendo prestato la massima attenzione e cura nella elaborazione del presente documento, non si assume alcuna responsabilità e non offre alcuna garanzia circa la precisione e/o la completezza delle informazioni raccolte e delle stime qui contenute.

Si ringraziano per i contributi tecnici e le informazioni fornite nella precedente e in questa edizione dello studio: Giuseppe Asti, Luigi Guarrera, Giancarlo Leoni, Pietro Lisanti, Alberto Mariani, Cino Serrao, Leonardo Pasquini, Carlo Torre, Paolo Trombetti, oltre a: Acegas-Aps, A2A, Amap, Aqp, Arkema, Ato Genova, Basell Polyolefins, Borealis Italia, Deriplast, Eurotubi, Hera, Industrie Polieco, Ineos Polyolefins, Ineos Vinyls Italia, Iride, MM, Plastmec PVC, Sabic, Sirea, Solvin, Studio Ing. D'Angelo, System Group, Tagliabue SpA, Teppfa, Total, Unidelta.

Prof. Alessandro Marangoni

Milano, gennaio 2010

Indice

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Introduzione 2. Il progetto 3. La metodologia <ol style="list-style-type: none"> 1. Le fasi dello studio 2. Il perimetro di analisi 4. La dotazione infrastrutturale <ol style="list-style-type: none"> 1. Il contesto europeo 2. La situazione italiana 3. Il break-down per materiali 4. Il break-down per diametri 5. Il gap infrastrutturale <ol style="list-style-type: none"> 1. Le nuove realizzazioni 2. Le sostituzioni | <ol style="list-style-type: none"> 6. L'analisi dei costi <ol style="list-style-type: none"> 1. I costi dei materiali 2. I costi di installazione 3. I costi di manutenzione 4. I costi ambientali 7. Il bilancio dell'impiego delle plastiche <ol style="list-style-type: none"> 1. Il break down dei benefici complessivi 2. Il break-down dei benefici unitari 3. Il BIP del materiale 4. I BIP dell'installazione 5. I BIP della manutenzione 6. I BIP ambientali 7. Il bilancio complessivo 8. Conclusioni |
|--|---|

1. Introduzione

Le reti utilities (acqua, gas, telecomunicazioni ed elettricità) sono elementi chiave per garantire servizi di qualità, assicurando performance tecnico-operative soddisfacenti a costi sostenibili per tutti i consumatori. Molti Paesi, inclusa l'Italia, accusano però carenze infrastrutturali che provocano inefficienze, riducono la qualità dei servizi e portano a un forte aumento dei costi.

Il settore idrico italiano, in particolare, negli anni ha visto livelli di investimento insufficienti, innovazione nelle tecnologie e nei materiali limitata e vincoli di sistema (vischiosità burocratiche, problemi progettuali, scarsità di risorse finanziarie, ecc.) all'ammodernamento delle reti idriche e fognarie.

La scarsa innovazione e la mancanza di infrastrutture soddisfacenti provocano danni a tutti, non solo di natura economica, ma anche di natura ambientale e sociale.

In tale quadro è importante verificare quali soluzioni tecnologiche e di materiali consentono i migliori risultati nella realizzazione di nuove reti e/o nella sostituzione di quelle obsolete.

Il nostro studio analizza con la metodologia della Cost-benefit analysis le diverse opzioni disponibili in termini di materiali (ferrosi, cementizi e materie plastiche) per la realizzazione di reti acquedottistiche e fognarie in Italia.

Dall'analisi comparata dei diversi materiali emerge come le materie plastiche presentino un bilancio costi-benefici complessivo largamente positivo, assicurando notevoli vantaggi economici ed ambientali rispetto alle altre soluzioni possibili.

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

Questo lavoro presenta alcune variazioni e diversi aggiornamenti rispetto allo studio del 2007. In particolare, sono state introdotte le seguenti modifiche.

L'orizzonte temporale dell'analisi è di 100 anni rispetto al precedente di 50. Questo periodo era stato considerato in precedenza in quanto quello convenzionale di durabilità dei materiali, nonché per un principio di estrema prudenza nelle stime economiche. Le più recenti analisi e studi tecnici mostrano tuttavia che la durabilità dei materiali plastici è largamente superiore.

Il gap infrastrutturale è stato ricalcolato in base ai nuovi dati di densità delle reti idriche acquadottistiche aggiornati al 2008 (fonte Utilitatis 2009).

I costi dei diversi materiali per la costruzione delle reti idriche e fognarie sono stati aggiornati interpellando un ampio campione di fabbricanti e riferendosi ai listini prezzi ufficiali della CCIAA di Milano.

I costi di installazione sono stati aggiornati tenendo conto delle variazioni riscontrate dagli installatori in questi due anni, rispetto alle valutazioni precedentemente condotte.

I dati riferiti al numero di rotture delle tubazioni per i diversi materiali sono stati aggiornati, aggiungendo anche il contributo di nuove fonti.

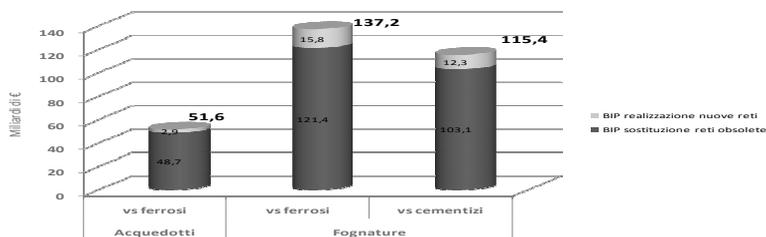
Le valutazioni inerenti gli impatti ambientali in termini di emissioni di CO₂ sono state riviste alla luce del recente andamento dei mercati dei certificati ETS e dei principali studi di previsione sui trend di medio - lungo periodo.

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

I parametri tecnici ed operativi assunti per i lavori di installazione sono stati mantenuti invariati in quanto non si ritiene che siano intervenuti cambiamenti rilevanti rispetto a quanto analiticamente esaminato in precedenza. Gli installatori e i contractors interpellati confermano tale assunzione.

Anticipando i risultati dello studio, l'analisi costi-benefici evidenzia un saldo positivo per i materiali plastici nella realizzazione/sostituzione delle reti con una politica di sviluppo e sostituzione delle infrastrutture su un orizzonte temporale di 100 anni. I benefici dell'impiego delle plastiche (BIP) posso essere sintetizzati come segue.

- ▶ I risparmi ottenibili, in Italia, utilizzando materiali plastici al posto di quelli ferrosi, per la realizzazione e sostituzione di reti acquadottistiche, ammontano a circa 51,6 miliardi di €
- ▶ I benefici per la realizzazione di reti fognarie in Italia ammontano a 137,2 miliardi di € utilizzando la plastica al posto del ferro, e a 115,4 miliardi di € utilizzando la plastica al posto del cemento.



2. Il progetto

Obiettivo: *Valutare dal punto di vista economico, tecnico e ambientale gli effetti dell'impiego di diversi materiali nelle reti idriche, stimando i possibili benefici derivanti dall'uso delle materie plastiche.*

La nostra analisi tiene conto di diverse tipologie di fattori:

- ▶ I differenti impatti: economici, tecnici e ambientali
- ▶ Il fattore tempo: i differenti impatti sono influenzati dall'orizzonte temporale considerato
- ▶ Il prodotto trasportato: acqua potabile, acque di scarico

Le nostre assunzioni di base:

- ▶ L'innovazione è un elemento chiave nello sviluppo delle infrastrutture
- ▶ L'utilizzo delle plastiche per la realizzazione delle reti utilities è un salto tecnologico capace di aumentare le performance e ridurre la corrosione, aumentando la durabilità
- ▶ L'adozione di nuove tecniche di installazione può incrementare l'affidabilità delle reti
- ▶ Tutti questi elementi producono importanti benefici per i cittadini italiani



Lo studio stima i benefici differenziali derivanti dall'utilizzo dei materiali plastici, in luogo dei materiali tradizionali, nelle reti utilities

3. La metodologia

Lo studio si fonda sul metodo dell'Analisi Costi-Benefici. Tale approccio è da noi utilizzato per la valutazione di impianti industriali, infrastrutture e sistemi economici.

Per valutare il Bilancio della Innovazione nelle Reti Utilities è stata utilizzata una minuziosa analisi costi-benefici, al fine di poter apprezzare gli effetti diretti e indiretti dell'utilizzo delle plastiche nella realizzazione delle reti idriche e fognarie italiane. Ciò ha permesso di giungere ad una stima dei Benefici dell'Impiego delle Plastiche (BIP).

L'assunzione cardine di tutto il lavoro è che l'uso delle plastiche per la realizzazione delle infrastrutture di rete rappresenti un salto tecnologico capace di accrescere le performance.

Al fine di raggiungere il nostro obiettivo abbiamo analizzato diverse classi di costi/benefici:

- ▶ **Economici:** benefici (o costi evitati) e costi (o mancati benefici) dell'uso della plastica;
- ▶ **Ambientali:** monetizzazione dei benefici (o dei costi evitati) socio-ambientali e dei costi (o mancati benefici);
- ▶ **Tecnici:** monetizzazione dei benefici (o dei costi evitati) tecnici e dei costi (o mancati benefici) tecnici.

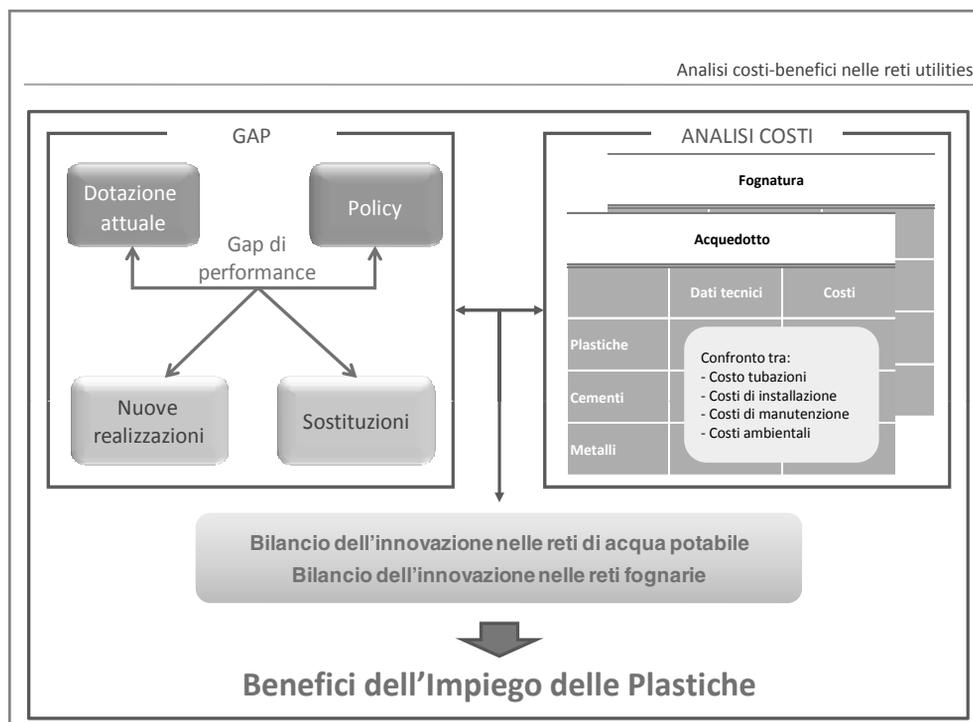
3.1 Le fasi dello studio

Lo studio è articolato in 5 fasi (come schematizzato nella pagina successiva):

1. **Analisi dell'attuale dotazione infrastrutturale:** abbiamo considerato l'attuale situazione delle reti idriche e fognarie in alcuni paesi europei, in termini dimensionali e di performance, focalizzandoci poi sul caso italiano
2. **Disegno della policy:** sulla base di best practice e benchmark nazionali abbiamo disegnato una politica di sviluppo per le infrastrutture di rete italiane
3. **Definizione del gap infrastrutturale:** dal confronto tra l'attuale dotazione infrastrutturale e la policy individuata abbiamo calcolato il gap di infrastrutture, da colmare in 100 anni, in termini di:
 - a. Km di reti (idriche e fognarie) da realizzare
 - b. Km di reti (idriche e fognarie) da sostituire
4. **Analisi dei costi:** per ogni famiglia di materiali abbiamo calcolato i costi lungo l'intero ciclo di vita dei tubi. Ovvero tutti i costi (economici e ambientali) delle diverse alternative in termini di materiali e diametri su un periodo di 100 anni:

$$C_{\text{Totale}} = C_{\text{Materiale}} + C_{\text{Installazione}} + C_{\text{Manutenzione}} + C_{\text{Ambientale}}$$

5. **Bilancio dell'impiego delle plastiche:** abbiamo confrontato i costi e i benefici dell'utilizzo delle plastiche al posto dei materiali tradizionali per realizzare le reti utilities.



3.2 Perimetro di analisi

- ▶ Lo studio è stato condotto su gruppi omogenei di reti sia idriche che fognarie.
- ▶ Abbiamo considerato solo le reti utilities idriche, di adduzione e distribuzione, e fognarie di proprietà pubblica, presenti sul territorio italiano. Non sono comprese pertanto le reti indoor, le reti irrigue, le reti industriali e quelle private.
- ▶ Abbiamo considerato tre famiglie di materiali (plastici, ferrosi e cementizi) e quattro/cinque classi di diametri (Figura alla pagina seguente).

Tali diametri si basano sull'analisi della composizione rilevata delle reti idriche nel nostro Paese, come illustrato nella sezione 4.4. Va però segnalato che per le reti fognarie la tendenza attuale è di impiegare tubazioni di maggiori diametri per garantire migliore funzionalità in ogni condizione. Pertanto si è proceduto a rivedere il break-down per diametri delle tubazioni impiegate, aumentando lievemente la percentuale di utilizzo previsto per i diametri maggiori. Gli aggiustamenti condotti rispetto alle suddette rilevazioni sono state effettuati sulla base degli attuali orientamenti di mercato come indicato da alcuni produttori di tubazioni da noi interpellati.

Materiali		Diametri (mm)		
Famiglia	Tipologia	Taglia	Acquedotti	Fognature
Plastici	PE	S	80-90	100-125
	PP			
	PVC			
Ferrosi	Ghisa	M	150-180	300-315
	Acciaio			
Cementizi	Cemento	XL	500-630	600-630
	Calcestruzzo			
	Gres			
		XXL	-	800

- ▶ L'orizzonte temporale di riferimento assunto è di 100 anni. Usi e consuetudini considerano ancora 50 anni come periodo convenzionale di "durabilità" dei materiali delle tubazioni. Tale valore, tuttavia, risulta ormai superato dall'evoluzione dei materiali. La costante innovazione delle materie plastiche aumenta sensibilmente la durabilità e recenti analisi lo evidenziano. Si veda anche il recente parere del prof. Andrea Pavan del Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica del Politecnico di Milano.
- ▶ Va comunque ricordato che la simulazione su 100 anni si fonda su un'ipotesi tecnica teorica di durata relativa alle materie plastiche più innovative e non su un effettivo track-record storico comparabile a quello degli altri materiali.

4. La dotazione infrastrutturale

In questa fase abbiamo analizzato la dotazione di reti attuale di alcuni dei maggiori paesi europei. In seguito abbiamo focalizzato l'attenzione sul caso italiano. L'obiettivo è valutare la situazione delle infrastrutture di rete in Italia rispetto al contesto europeo.

4.1 Il contesto europeo

L'analisi è stata condotta sulla base di documenti delle istituzioni, delle autorità idriche e di importanti istituti di ricerca dei paesi considerati.

Abbiamo confrontato l'attuale dotazione di reti idriche e fognarie in Italia, Francia, Spagna, Germania e Regno Unito. In particolare abbiamo considerato:

- ▶ l'estensione delle reti idriche e fognarie;
- ▶ i consumi di acqua potabile del settore civile;
- ▶ il tasso di perdite delle reti idriche;
- ▶ la densità di acquedotti e fognature in relazione sia alla superficie territoriale (Km di rete per km²), sia agli abitanti (km di rete per 1.000 abitanti).

- ▶ Dall'analisi condotta sulle reti idriche europee (sintetizzata nella tabella della pagina successiva) emerge con estrema chiarezza il deficit di performance della rete italiana. Infatti, gli acquedotti in Italia hanno un tasso di perdita molto elevato (38%) soprattutto se confrontato con i migliori paesi europei: la Germania (7%) e il Regno Unito (18%).
- ▶ In termini assoluti, in Italia, le perdite ammontano a circa 3-4 mila miliardi di m³ all'anno (fonte Utilitatis 2006). Valutando tali perdite sulla base della tariffa nazionale media per l'acqua potabile, emerge come nel nostro Paese, ogni anno, la collettività subisce un costo dell'inefficienza pari a 3,9-5,2 miliardi di €. Secondo fonti più recenti (COVIRI 2009) le perdite aumenterebbero a 2 mila miliardi di m³ pari a 2,5 miliardi di €. Tuttavia. Le stime sulle perdite non sono sempre omogenee.
- ▶ Osservando le dotazioni infrastrutturali, la rete idrica italiana risulta sottodimensionata rispetto agli altri paesi considerati (eccezione fatta per la Spagna) se consideriamo la densità rispetto al territorio; diversamente, se consideriamo la densità pro capite la situazione sembra migliore.
- ▶ La consistenza delle reti fognarie risulta, invece, decisamente deficitaria. Infatti, sia la densità in relazione al territorio che quella pro capite risultano molto inferiori rispetto a quelle degli altri paesi europei.
- ▶ Dall'analisi appena svolta emerge la forte necessità di investire nel nostro paese in infrastrutture di rete al fine di migliorarne le performance e quindi aumentare la qualità dei servizi offerti.

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

		Italia ¹	Regno Unito	Francia	Spagna	Germania	
Acquedotti (lunghezza)	km	337.452	413.525	878.000	100.000	500.000	
Consumo domestico acqua potabile	milioni di m ³	4.510	11.631	4.450	5.299	5.400	
Perdite	%	38%	18%	26%	n.d.	7%	
Densità della rete	reti/territorio	km/km ²	1,34	1,32	1,61	0,20	1,40
	reti/abitanti	km/1000 ab	6,28	6,79	14,59	2,24	6,06

¹ I dati per l'Italia (di fonte Utilitatis) sono relativi a un campione rappresentativo del 94,7% dell'intera popolazione.
et technologiques, German technical and scientific association for gas and water, Olwat e dati della Commissione Europea

		Italia ¹	Regno Unito	Francia	Spagna	Germania	
Fognature (lunghezza)	km	164.473	379.870	373.000	n.d.	515.000	
Densità della rete	reti/territorio	km/km ²	0,65	1,21	0,68	n.d.	1,44
	reti/abitanti	km/1000 ab	3,09	6,24	6,20	n.d.	6,24

¹ I dati per l'Italia (di fonte Utilitatis) sono relativi a un campione rappresentativo del 94,7% dell'intera popolazione.
Fontes: ns stime su dati Utilitatis, Drinking Water Inspectorate, Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, German technical and scientific association for gas and water, Olwat e dati della Commissione Europea

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

4.2 La situazione italiana

- ▶ In Italia la situazione delle infrastrutture di rete, sia idriche che fognarie, nelle diverse aree del paese è fortemente eterogenea.
- ▶ La situazione può essere descritta in modo sintetico attraverso il Present State Index (PSI) che considera la densità di rete in relazione al territorio.
- ▶ Il PSI nazionale è pari a circa 1,7 km di acquedotti per km²
- ▶ Dall'osservazione del PSI relativo agli acquedotti, emerge che il Nord Italia, con 2,2 km di reti per km², è l'area con la maggior densità di infrastrutture dell'intera nazione.
- ▶ Il Centro e il Sud, rispettivamente con 1,6 km/km² e 1,7 km/km², risultano in linea con la media nazionale, mentre l'Italia insulare, con appena 0,8 km di acquedotti per km², accusa le maggiori carenze .

		NORD	CENTRO	SUD	ISOLE	ITALIA
Reti idriche	km	120.760	71.762	87.979	34.156	314.657
Superficie	km ²	71.013	53.858	71.473	49.801	246.145
Present State Index (PSI)	km/km ²	2,2	1,6	1,7	0,8	1,7

Fonte: Utilitatis 2009

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

- ▶ Per quanto riguarda le reti fognarie emerge una loro minor estensione rispetto alle reti idriche. Infatti, il PSI nazionale è pari a 1 km di fognature per km².
- ▶ Dal punto di vista della densità per area, invece, la situazione appare sostanzialmente analoga a quella delle reti idriche.
- ▶ Il PSI relativo alle fognature resta più elevato nel Nord Italia, e pari a 1,3 km/km².
- ▶ Il Centro e il Sud risultano sostanzialmente allineati, rispettivamente con 0,8 km/km² e 0,9 km/km², mentre le isole hanno una dotazione di soli 0,4 km/km².

		NORD	CENTRO	SUD	ISOLE	ITALIA
Reti Fognarie	km	63.213	32.368	40.859	19.606	156.046
Superficie	kmq	71.013	53.858	71.473	49.801	246.145
Present State Index (PSI)	km/km2	1,3	0,8	0,9	0,4	1,0

Fonte: Utilitatis 2009

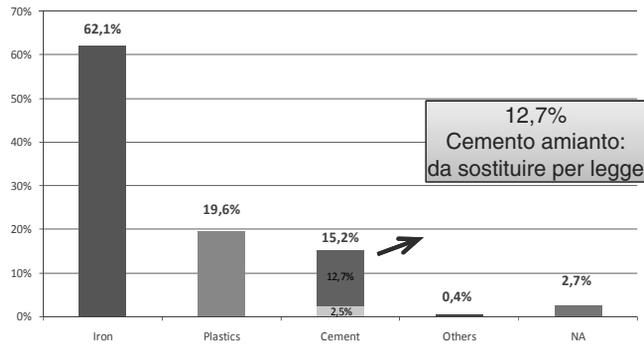
Analisi costi-benefici nelle reti utilities

- ▶ Al fine di comprendere la composizione dell'attuale sistema idrico e fognario italiano, sia dal punto di vista dei materiali utilizzati, sia dal punto di vista dei diametri impiegati, abbiamo analizzato i Piani d'Ambito di una decina di ATO rappresentativi del 25%-27% della popolazione italiana.
- ▶ Si ricorda che gli ATO (Ambito Territoriale Ottimale) sono 92 aree in cui la legge 36/1994 ("Legge Galli") ha suddiviso il Paese, e possono essere definite come aree di gestione ottimale dei servizi idrici.
- ▶ Il Piano d'Ambito è un documento ufficiale prodotto da ciascun ATO che contiene sia la ricognizione delle opere presenti nell'ATO, sia le linee strategiche che l'ATO vuole intraprendere e i relativi investimenti da realizzare.
- ▶ In particolare sono stati analizzati gli ATO: Torinese, Provincia di Milano, Bacchiglione, Laguna di Venezia, Genova, Medio Valdarno, Napoli Volturno, Basilicata e Unico Puglia.

4.3 Il break-down per materiali

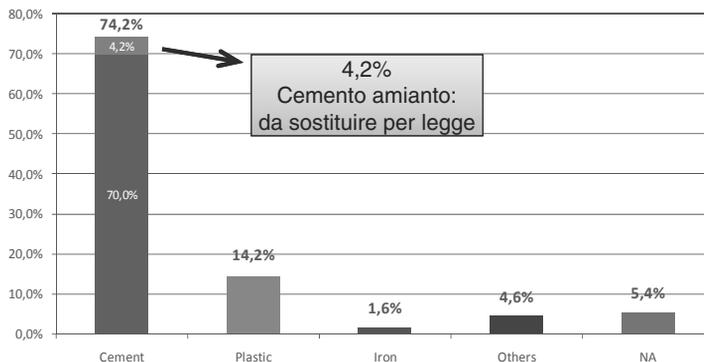
Acquedotti

- ▶ Gli acquedotti italiani sono principalmente realizzati con materiali ferrosi. Infatti, il 62,1% delle reti idriche è fatto di ghisa o acciaio. Gli acquedotti in materiale plastico sono invece il 19,6% del totale.
- ▶ Come emerge dalla figura, vi è anche una presenza significativa di cemento amianto che, per le disposizioni della legge 257/92 e successive modifiche, andrebbe sostituito.



Fognature

- ▶ Per quanto riguarda le reti fognarie i materiali maggiormente usati sono i cementi (74.2%), che comprendono anche il gres, il cemento amianto e la muratura.
- ▶ Le plastiche rappresentano il secondo materiale con il 14,2% dell'attuale parco reti italiano.
- ▶ Anche per quanto riguarda le reti fognarie rileviamo una presenza non marginale del cemento amianto che, come detto deve essere sostituito ex lege.

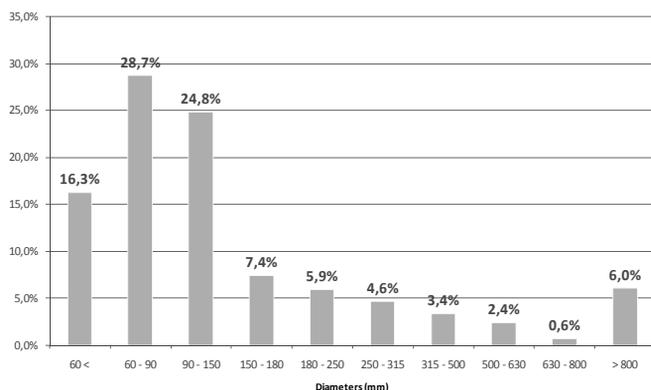


4.4 Il break-down per diametri

Come accennato, attraverso l'analisi degli ATO abbiamo ricostruito anche il break-down per diametri delle reti idriche e fognarie italiane.

Acquedotti

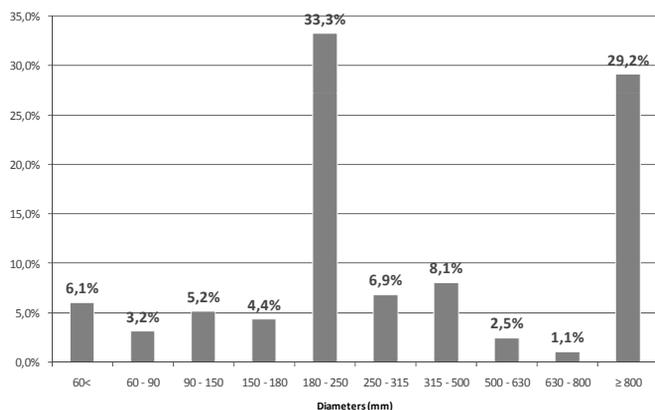
Come si può osservare dalla figura sottostante, gli acquedotti sono composti soprattutto da tubi di piccoli diametri; infatti, circa il 70% delle reti idriche hanno diametri compresi tra i 60 mm e i 150 mm.



Fognature

I diametri delle reti fognarie sono invece piuttosto disomogenei, mostrando, tuttavia, dei picchi sulle medie (180-250 mm) e grandi dimensioni (≥ 800 mm). Queste due classi rappresentano complessivamente il 62,5% di tutte le reti.

Come evidenziato nella sezione 3.2, nel definire le classi di diametri assunte per i calcoli si è proceduto ad aumentare la percentuale relativa ai diametri superiori agli 800 mm.



5. Il gap infrastrutturale

In questa sezione calcoliamo il fabbisogno di reti italiano, sia in termini di nuove realizzazioni che di sostituzioni delle reti obsolete, confrontando l'attuale dotazione infrastrutturale e la policy da noi ipotizzata.

5.1 Le nuove realizzazioni

- ▶ Il gap infrastrutturale per le nuove reti viene calcolato assumendo, come obiettivi di policy, i parametri infrastrutturali delle regioni italiane con le migliori performance, così come osservati nel paragrafo 4.2. Tali parametri sono stati aggiornati al 2008 (fonte Utilitatis 2009) rispetto ai precedenti relativi al 2005 (fonte Utilitatis 2006).
- ▶ Questa assunzione è prudentiale, dato che la dotazione infrastrutturale delle migliori aree del Paese non rappresenta una condizione di eccellenza a livello internazionale. Questo infatti è da considerarsi un obiettivo minimo, non sufficiente a raggiungere la media degli altri paesi europei, ma sufficiente a ridurre in modo considerevole il deficit infrastrutturale italiano.
- ▶ Alla base della nostra assunzione vi è l'ipotesi che una maggiore dotazione di infrastrutture di rete sia in grado di migliorare le performance, in termini di sicurezza, riduzione delle perdite, qualità del servizio, copertura della popolazione e risparmio di costi.

- ▶ Il nostro obiettivo di Policy è il $PSI_{Benchmark}$ ovvero il livello di dotazione infrastrutturale attuale del Nord Italia, sia per le reti idriche (2,2 km/km²) che per le reti fognarie (1,3 km/km²).
- ▶ Per convertire questo parametro in km di nuova rete da realizzare, abbiamo esteso il $PSI_{Benchmark}$ all'intero territorio italiano, e abbiamo ponderato il risultato in base alla densità abitativa.
- ▶ Questo è sintetizzato nella seguente formula:

$$\sum_i (PSI_{Benchmark} - PSI_i) \cdot km_i^2 \cdot \frac{POP_i}{POP_{Benchmark}}$$

Dove:

i = Nord, Centro, Sud, Isole

$PSI_{Benchmark}$ = Present State Index del Nord Italia

PSI_i = Present State Index dell'area i

Km_i^2 = Estensione dell'area i

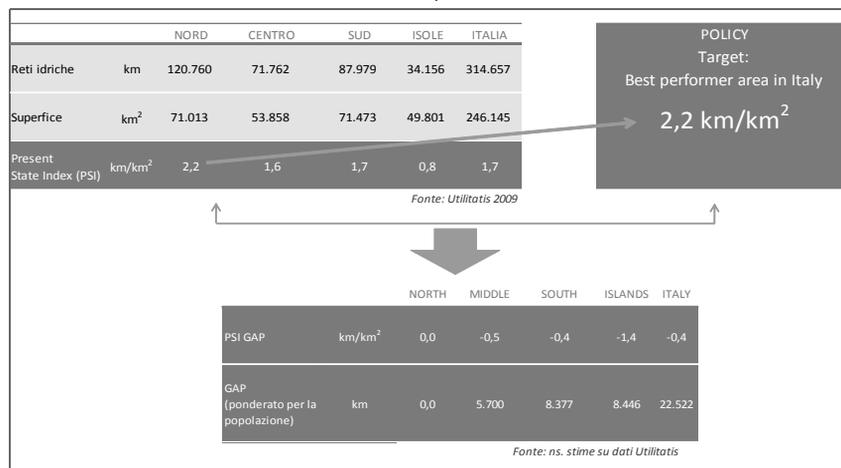
POP_i = Popolazione dell'area i

$POP_{Benchmark}$ = Popolazione del Nord Italia

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

Il gap infrastrutturale di nuovi acquedotti

- ▶ Come detto, il target di dotazione infrastrutturale per gli acquedotti è dato dai km di rete per km² del Nord Italia, pari a 2,2 km/km²
- ▶ Pertanto, al fine di estendere la stessa densità di rete del Nord a tutto il Paese, è necessario realizzare 22.522 km di nuovi acquedotti.



Analisi costi-benefici nelle reti utilities

Il gap infrastrutturale di nuove fognature

- ▶ Anche per le nuove fognature il target di dotazione infrastrutturale è dato dai km di rete per km² del Nord Italia, pari a 1,3 km/km²
- ▶ Pertanto, al fine di estendere la stessa densità di rete del Nord a tutto il Paese, è necessario realizzare 19.823 km di nuove fognature.



5.2 Le sostituzioni

- ▶ Per quanto riguarda le reti obsolete da sostituire, il procedimento è stato diverso da quello impiegato finora.
- ▶ Siamo partiti dall'analisi dei Piani d'Ambito relativi ad un campione selezionato di ATO rappresentativo del 25%-27% (rispettivamente per acquedotti e fognature) della popolazione italiana.
- ▶ Per ogni Ato abbiamo quantificato i km di reti idriche e fognarie che, per vetustà, degrado, inadeguatezza dei materiali o altri motivi, necessitano di sostituzione.
- ▶ Sulla base di queste analisi, abbiamo stimato un tasso di sostituzione appropriato per le reti italiane, sia idriche che fognarie.
- ▶ Infine, abbiamo applicato il suddetto tasso di sostituzione all'intera rete italiana, ottenendo così i km di rete da sostituire complessivamente.

Gap di sostituzioni per gli acquedotti

- ▶ Dall'analisi effettuata emerge che nel nostro campione (rappresentativo del 25% della popolazione italiana) andrebbero sostituite il 25,5% delle attuali reti idriche in un periodo medio di 30 anni, ovvero circa 865 km annui.
- ▶ Tale tasso di sostituzione, riportato su un periodo di 100 anni, cresce al 84,9%.
- ▶ Questo comporta, a livello nazionale, una domanda di sostituzione di acquedotti di circa 286.443 km in un periodo di 100 anni.

Ato	Regione	Popolazione	Orizzonte temporale	Acquedotti (km)		Tasso di sostituzione	
				totale	da sostituire	totale (%)	annuale (km)
Provincia Milano	Lombardia	2.450.999	20	8.800	3.678	41,8%	184
Bacchiglione	Veneto	1.081.451	30	11.521	2.564	22,3%	85
Laguna di Venezia	Veneto	637.039	30	3.752	1.300	34,6%	43
Bologna	Emilia Romagna	915.225	20	7.983	2.266	28,4%	113
Ferrara	Emilia Romagna	344.323	20	4.632	695	15,0%	35
Medio Valdarno	Toscana	1.191.246	20	5.751	1.731	30,1%	87
Napoli Volturno	Campania	2.790.845	20	7.893	2.854	15,0%	143
Basilicata	Basilicata	597.768	30	7.012	1.490	21,2%	50
Unico Puglia	Puglia	4.020.707	15	14.577	1.800	12,3%	120
Palermo	Sicilia	1.235.923	30	900	166	18,4%	6
TOTALE		15.265.526		72.821	18.544	25,5%	865

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

Gap di sostituzioni per le fognature

- ▶ Per quanto riguarda invece il nostro campione relativo alle reti fognarie (rappresentativo del 27% della popolazione italiana), il tasso di sostituzione è pari al 19% su un periodo medio di 30 anni, questo significa 419 km annui.
- ▶ La riparametrazione su un periodo di 100 anni, restituisce un tasso del 63,3%.
- ▶ Questo comporta, a livello nazionale, una domanda di sostituzione di fognature di circa 104.155 km in un periodo di 100 anni.

Ato	Regione	Popolazione	Orizzonte temporale	Fognature (km)		Tasso di sostituzione	
				totale	da sostituire	totale (%)	annuale (km)
Torinese	Piemonte	2.154.237	20	6.618	561	8,5%	28
Provincia Milano	Lombardia	2.450.999	20	6.567	2.496	38,0%	125
Genova	Liguria	878.082	30	2.296	804	35,0%	27
Bologna	Emilia Romagna	915.225	20	3.343	1.003	30,0%	50
Ferrara	Emilia Romagna	344.323	20	1.313	197	15,0%	10
Bacchiglione	Veneto	1.081.451	30	4.561	764	16,8%	25
Medio Valdarno	Toscana	1.191.246	20	3.820	506	13,2%	25
Napoli Volturno	Campania	2.790.845	20	4.638	527	11,4%	26
Basilicata	Basilicata	597.768	30	2.673	460	17,2%	15
Unico Puglia	Puglia	4.020.707	15	9.534	1.300	13,6%	87
TOTAL		16.424.883		45.363	8.618	19,0%	419

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

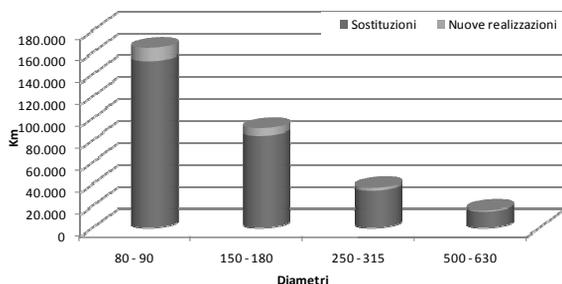
*Gap complessivo per gli acquedotti***Nuove realizzazioni**

- ▶ Obiettivo di policy: 2,2 km/km²
- ▶ Gap di nuove realizzazioni: 22.522 km

Sostituzioni

- ▶ Tasso di sostituzione obiettivo: 84,9%
- ▶ Gap di sostituzioni: 286.443 km

- ▶ Nel complesso, bisognerà costruire circa 308.965 km di acquedotti in un periodo di 100 anni.
- ▶ Il gap di nuove realizzazioni e sostituzioni può infine essere espresso in termini di classi di diametro, così come individuate nel perimetro di analisi.



Gap complessivo per le fognature

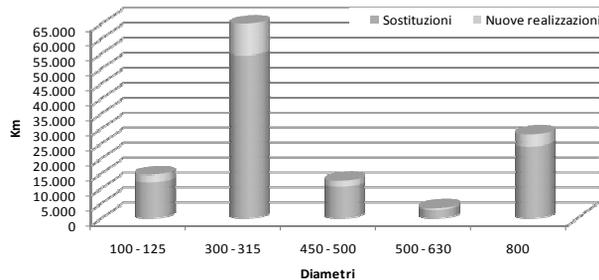
Nuove realizzazioni

- ▶ Obiettivo di policy: 1,3 km/km²
- ▶ Gap di nuove realizzazioni: 19.823 km

Sostituzioni

- ▶ Tasso di sostituzione obiettivo: 63,3 %
- ▶ Gap di sostituzioni: 104.155 km

- ▶ Nel complesso, bisognerà costruire circa 123.978 km di fognature in un periodo di 100 anni.
- ▶ Anche per quanto riguarda le reti fognarie, il gap può essere espresso in termini di classi di diametri.



6. L'analisi dei costi

- ▶ Una volta determinato il fabbisogno infrastrutturale, passiamo all'analisi dei costi. Il nostro approccio si basa sulla seguente formula:

$$C_{\text{Totale}} = C_{\text{Materiali}} + C_{\text{Installazione}} + C_{\text{Manutenzione}} + C_{\text{Ambientali}}$$

- ▶ Per ogni famiglia di materiali abbiamo confrontato i costi relativi all'intero ciclo di vita dei tubi. Ovvero, abbiamo considerato le voci di costo legate alle tubature in diversi materiali e vari diametri, su un periodo di 100 anni, periodo assunto in base alle considerazioni precedenti (cfr. paragrafo 3.2).
- ▶ Abbiamo identificato quattro classi di costo:
 - $C_{\text{Materiali}}$ che considera i costi dei tubi (ex-work);
 - $C_{\text{Installazione}}$ che valuta tutti i costi industriali legati alla costruzione delle reti;
 - $C_{\text{Manutenzione}}$ che considera i costi necessari a garantire il corretto funzionamento delle reti;
 - $C_{\text{Ambientali}}$ che stima gli impatti sull'ambiente della costruzione e del funzionamento delle reti idriche e fognarie.

► Queste quattro classi possono essere così scomposte:

Costi dei materiali	Costi di installazione	Costi di manutenzione	Costi ambientali
<ul style="list-style-type: none"> • Costi dei tubi 	<ul style="list-style-type: none"> • Costi di cantiere • Costi di installazione • Costi accessori 	<ul style="list-style-type: none"> • Numero di rotture • Costi di manutenzione 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energetico • Esternalità del cantiere • Esternalità della manutenzione

6.1 Costi dei materiali

- La classe Costi dei materiali considera i costi delle tubazioni in differenti materiali e per differenti diametri.
- Abbiamo analizzato nel complesso 17 listini di produttori di tubi italiani, oltre a consultare i listini prezzi della CCIAA di Milano, allo scopo di avere un prezzo medio per ogni famiglia di materiale e per ogni classe di diametro, sia per le reti idriche che per le reti fognarie.
- Infine abbiamo confrontato:
 - Per gli acquedotti: i tubi in plastica con quelli ferrosi (i cementizi sono poco usati);
 - Per le fognature: i tubi in plastica con quelli ferrosi e cementizi.

Materiali		Diametri (mm)		
Famiglia	Tipologia	Taglia	Acquedotti	Fognature
Plastici	PE	S	80-90	100-125
	PP			
	PVC			
Ferrosi	Ghisa	L	250-315	450-500
	Acciaio			
Cementizi	Cemento	XL	500-630	600-630
	Calcestruzzo			
	Gres			
		XXL	-	800

6.2 Costi di installazione

▶ I costi di installazione sono il risultato della seguente formula:

$$C_{\text{Installazione}} = C_{\text{Cantiere}} + C_{\text{Installazione}} + C_{\text{Accessori}}$$

▶ Ogni voce dipende poi da una molteplicità di fattori, tra i quali i principali sono:

- ▶ La tecnologia adottata: tradizionale o No-Dig
- ▶ Le fasi coinvolte e l'ubicazione del cantiere.

Tecnologie tradizionali			Tecnologie No-Dig		
Classe	Voci di costo	€/km	Classi	Tecniche	Risparmi
Costi del cantiere	Taglio asfalto	Dipendono dalla ubicazione del cantiere e dalle diverse caratteristiche del sottosuolo	Rinnovamento	Slip Lining	30-50%
	Scavo			Compact Pipe	20-30%
	Sfilamento				
	Asfaltatura provv. e finale			Roll-Down	10-20%
	Trasporto				
Smaltimento rifiuti	Sostituzione		Pipe Bursting	20-30%	
Posa			Pipe Splitting	20-30%	
Installazione					
Costi di installazione	Saldatura		Rimpiazzo	Cured in Place Pipe (CIPP)	15%
	Costi tecnici				
	Indagini				
	Aggiornamenti planimetrici				
Costi accessori	Costi di sicurezza				
	Costi amministrativi				
	Collaudo				
	Protezione catodica				

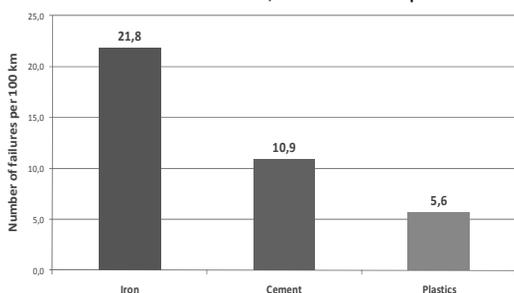
- ▶ I costi di installazione sono il risultato di una approfondita analisi condotta sul campo su case histories, sui capitolati di alcune utilities italiane e attraverso interviste con gli installatori, condotta nel 2007 e aggiornata nel 2010 secondo le indicazioni raccolte presso le imprese di installazione.
- ▶ Per quanto riguarda le tecnologie tradizionali, abbiamo calcolato il costo di ogni singola fase che costituisce un cantiere open - cut (elencate nella tabella verde della pagina precedente). Questo è stato fatto per ogni singolo materiale e per ogni diametro.
- ▶ Sono stati poi stimati dei costi medi per ogni famiglia di materiali e per ogni classe di diametri indicata nel perimetro di analisi.
- ▶ Sommando ogni voce di costo si è giunti alla determinazione del costo complessivo dell'installazione.
- ▶ Per quanto riguarda le tecnologie No-Dig, abbiamo assunto che queste vengano impiegate nel 30% dei casi.
- ▶ Questa assunzione non riflette però la realtà italiana, dove le tecnologie No-Dig vengono utilizzate solo nel 5% circa dei casi, ma si basa sulla situazione europea e rappresenta un obiettivo per il nostro Paese.
- ▶ Nel 30% dei cantieri abbiamo, quindi, ipotizzato una riduzione dei costi di realizzazione, confrontati con i costi tradizionali, del 25% per gli acquedotti e del 20% per le fognature. Queste ipotesi nascono dal confronto con i general contractor e dall'analisi di case histories. I risultati delle nostre analisi sono riassunti nella tabella blu della pagina precedente, che mostra le diverse tecniche di installazione e i relativi risparmi.

6.3 Costi di manutenzione

- ▶ I costi di manutenzione sono il risultato della formula:

$$C_{\text{Manutenzione}} = (N^{\circ} \text{ rotture} \times C_{\text{Manutenzione}}) \text{ per ogni materiale}$$

- ▶ In questa sede consideriamo esclusivamente le piccole rotture che necessitano di interventi di riparazione circoscritti. Pertanto, essi dipendono dal numero di rotture dei differenti materiali e dai relativi costi medi per ogni singolo intervento puntuale.
- ▶ Il numero di rotture per ogni famiglia di materiale è stimato sulla base di dati internazionali riparametrati sull'attuale break-down per materiale delle reti idriche e fognarie italiane (si veda la figura sottostante).
- ▶ I costi di riparazione derivano da nostre stime, basate sui capitolati delle utilities italiane.



Fonte: ns. stime su dati DVGW, Arhus Water Supply Company, UKWIR e D.Pearson

6.4 Costi ambientali

- ▶ I costi ambientali (esternalità) sono il risultato della seguente formula:

$$C_{\text{Ambientali}} = C_{\text{Produzione}} + C_{\text{Cantiere}} + C_{\text{Manutenzione}}$$

- ▶ La prima categoria di costi ambientali, $C_{\text{Produzione}}$ considera gli impatti in termini di consumo energetico per la produzione di un tubo.
- ▶ Come si evidenzia nella figura sottostante, siamo partiti dai dati che indicano il consumo energetico necessario a realizzare un tubo nelle diverse famiglie di materiali. Il consumo energetico, espresso in GJ, è stato poi convertito in energia elettrica (MWh), e infine in emissioni di CO_2 , in base alle emissioni medie del parco di produzione elettrica italiano.

	Consumo energetico	Energia elettrica	Emissioni di CO_2
1km DN 250	GJ	MWh	Ton CO_2
Plastiche	172,50	47,92	19,38
Ferrosi	911,30	253,16	102,40
Cementizi	137,50	38,20	15,45

Fonte: nostre elaborazioni su dati Teppfa

- ▶ Infine, abbiamo valutato le emissioni di CO₂. Per i primi cinque anni abbiamo assunto la media dei prezzi dei certificati di emissione (15,63 €/t) previsti da varie fonti (KfW, ZEW, Société Générale, Daiwa); per cinquantacinque anni il prezzo di 20 €/t CO₂ e per i restanti quaranta il prezzo di 30 €/t CO₂.
- ▶ Tali assunzioni sono il frutto di un attento esame degli andamenti recenti dei mercati dei certificati ETS, dei futures di medio termine (anni 2010-2014) e di una pluralità di studi e ricerche che stimano i prezzi dei suddetti certificati a breve, medio e lungo termine (vedasi tabelle sottostanti).
- ▶ Dall'analisi dei suddetti dati risulta chiaramente come le nostre assunzioni sui prezzi dei certificati siano prudenti e tendano a sottostimare i prezzi nei prossimi anni.

fonte	Prezzo EUA (€/t CO ₂)	
	2008-2012	2013-2020
KfW/ZEW (2009)	19,80	28,10
Société Générale (2009)	16,85	30,50
Daiwa (2009)	10,25	20,00
media	15,63	26,20

Fonte: ns. stime su dati ICCG

ICE ECX EUA DAILY FUTURES CONTRACTS		
	Settlement Price	Total Volume
Spot	13.34	662
ICE ECX EUA FUTURES CONTRACTS		
	Settlement Price	Total Volume
Dec10	13.58	12721
Dec11	14.21	1711
Dec12	14.98	2573
Dec13	15.98	190
Dec14	16.98	0
		17195

Fonte: European Climate Exchange

fonte	prezzo EUA (€/t CO ₂)		
	2020	2030	2050
The Climate Group (2009)			
1) limited action			
a) eu only action	59,38	n.d.	n.d.
b) us only action	40,20	n.d.	n.d.
c) eu and US joint action	25,58	n.d.	n.d.
d) all annex I countries	19,18	n.d.	n.d.
2) china included in mitigation effort			
e)	11,88	n.d.	n.d.
f)	3,65	n.d.	n.d.
3) global climate agreement			
g)	7,31	n.d.	n.d.
h)	3,65	n.d.	n.d.
Peltsev (2009)			
a)	45,54	67,16	146,66
b)	55,58	82,59	181,40
c)	63,30	93,40	205,33
d)	56,35	83,37	182,17
Blanford (2009)	69,47	121,96	n.d.
Bosetti (2009)	28,04	69,07	271,46
Fund (2009)	39,75	64,07	170,20
Netherlands Environmental Assessment Agency			
a)	41,23	n.d.	n.d.
b)	74,04	n.d.	n.d.
c)	197,72	n.d.	n.d.
a)	46,67	80,00	240,00
b)	50,00	86,67	260,00
c)	53,33	93,33	296,67
media	47,23	84,16	217,10

Fonte: ns. stime su dati ICCG

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

- ▶ La seconda classe di costi ambientali considera le esternalità legate alla movimentazione degli automezzi che lavorano sul cantiere, sia in fase di realizzazione delle nuove reti, C_{Cantiere} , sia in fase di manutenzione delle stesse, $C_{\text{Manutenzione}}$. Questo in termini di emissioni inquinanti, traffico, incidentalità, ecc.
- ▶ Per ogni famiglia di materiali, classe di diametri e tipologia di servizio (acquedotti o fognature) abbiamo calcolato la dimensione dello scavo necessaria alla posa del tubo. In base a questa ricostruzione abbiamo stimato i volumi di materiale prodotti dallo scavo e quelli necessari al suo riempimento.
- ▶ Abbiamo quindi calcolato il numero di automezzi (viaggi) necessario, sia a smaltire il materiale di scarto, sia a trasportare il materiale per il riempimento. Abbiamo altresì stimato, sulla base di interviste con gli operatori, la distanza media che gli automezzi devono percorrere tra il cantiere e le discarica.
- ▶ Le nostre stime ci hanno portato a determinare il traffico automezzi in termini di tonnellate/km. Tale valore è stato poi monetizzato al costo esterno dei trasporti (INFRAS, "Les couts externs des Transports. Etude d'actualisation ", Zurich, 2004), che considera i costi di: incidentalità, rumore, inquinamento, cambiamenti climatici, impatti sull'ambiente, sul paesaggio e sull'ambiente urbano..

Analisi costi-benefici nelle reti utilities

- ▶ La scelta di adottare il dato INFRAS (peraltro ripreso anche da vari studi successivi)¹ discende, innanzitutto, da un principio di cautela nelle stime. L'analisi di altri studi sui costi esterni dei trasporti evidenzia infatti valutazioni largamente superiori. Ad esempio, il valore fornito dal Center for the study of Law and Economics² è pari a 0,75 €/tkm, rispetto ai 0,0712 €/tkm dell'INFRAS.
- ▶ In accordo con le assunzioni della sezione precedente, l'utilizzo delle tecnologie No-Dig potrebbe produrre ulteriori risparmi anche in termini di esternalità ambientali.
- ▶ L'utilizzo di queste tecniche comporta una minor necessità di scavo e pertanto una minor mobilitazione di automezzi. In particolare, sulla base di interviste con gli installatori abbiamo stimato una riduzione delle esternalità del cantiere e quindi dei costi di circa l'88%.

¹ CER, External Costs of Transport, Fact Sheet 2008; European Environmental Agency, Indicator fact sheet 2005

² Center for the study of Law and Economics, "The Internalisation of External Costs in Transport: From the polluter pays to the cheapest cost avoider principle", Saarbrücken, 2007

7. Il Bilancio dell'impiego delle plastiche

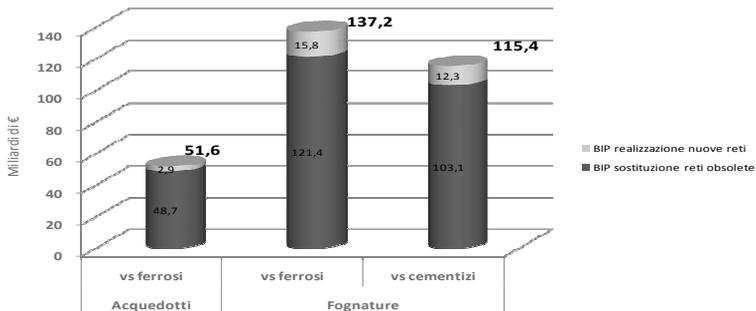
- ▶ In conclusione abbiamo calcolato il **Bilancio dell'impiego delle plastiche**. Questo significa confrontare i costi complessivi (Materiale, Installazione, Manutenzione e Ambientali) necessari a realizzare nei diversi materiali le infrastrutture di rete, idriche e fognarie, che costituiscono il nostro gap infrastrutturale (nuove realizzazioni e sostituzioni).
- ▶ Prima di tutto abbiamo calcolato i costi unitari in termini di €/Km, così come descritto nelle pagine precedenti, per ogni famiglia di materiali e per ogni classe di diametro e per tipologia di servizio offerto (acquedotto-fognatura).
- ▶ Infine, abbiamo applicato i costi unitari, per ogni famiglia di materiali, ai gap infrastrutturali stimati (308.965 km di acquedotti e 123.978 km di fognature), suddivisi per classi di diametro.
- ▶ Il Bilancio dell'impiego delle plastiche deriva, infine, dal confronto dei costi delle infrastrutture nei diversi materiali. In particolare:
 - ▶ Per gli acquedotti abbiamo confrontato le materie plastiche con quelle ferrose;
 - ▶ Per le fognature abbiamo confrontato le materie plastiche sia con quelle ferrose che con quelle cementizie
- ▶ I significativi risparmi conseguiti attraverso l'utilizzo delle plastiche al posto dei materiali tradizionali hanno generato i **Benefici dell'Impiego delle Plastiche, BIP**.

▶ Acqua potabile

- ▶ **51,6 miliardi di €** rispetto ai ferrosi

▶ Fognature

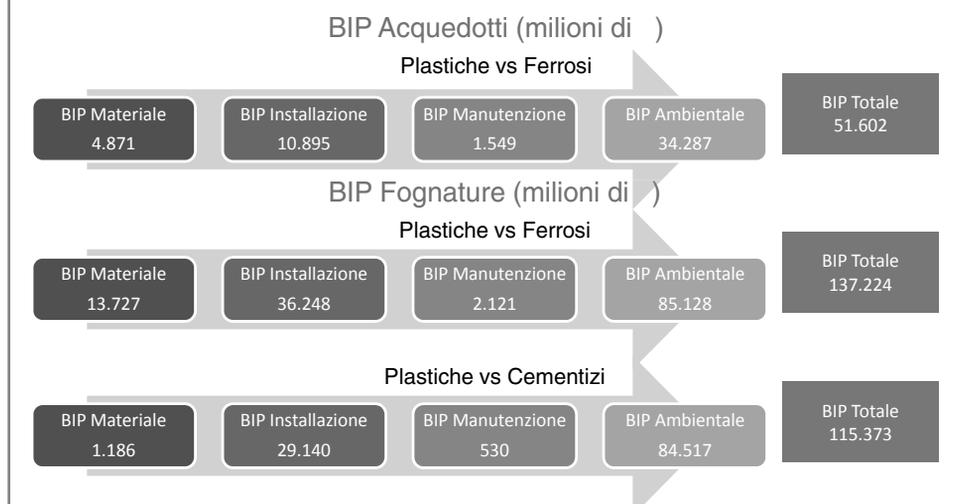
- ▶ **137,2 miliardi di €** rispetto ai ferrosi
- ▶ **115,4 miliardi di €** rispetto ai cementizi



L'impiego delle plastiche in luogo dei materiali tradizionali per la realizzazione delle reti utilities può portare benefici stimabili tra **167 e 188,8 miliardi di €**.

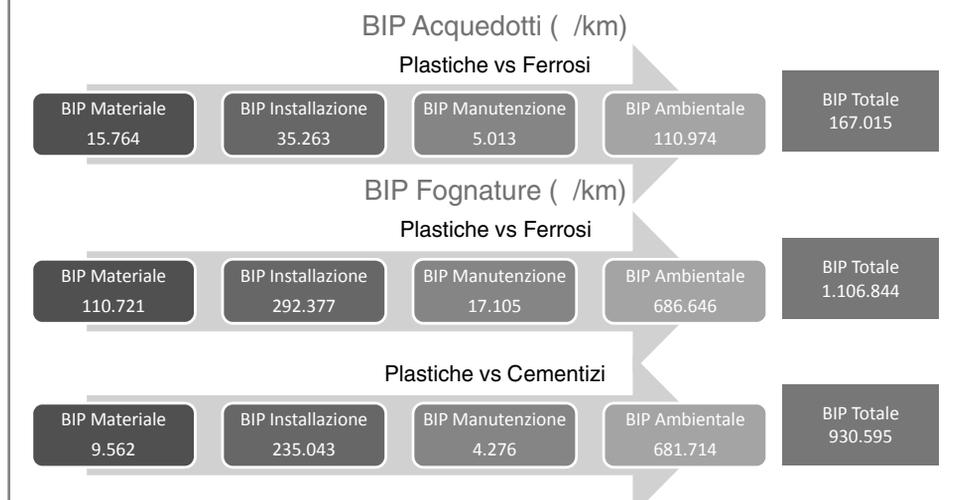
7.1 Il break-down dei BIP complessivi

Qui sotto, invece, riportiamo i Benefici dell'impiego delle plastiche complessivi, ovvero riparametrati sui gap infrastrutturali, sia per gli Acquedotti che per le Fognature, suddivisi nelle diverse componenti.



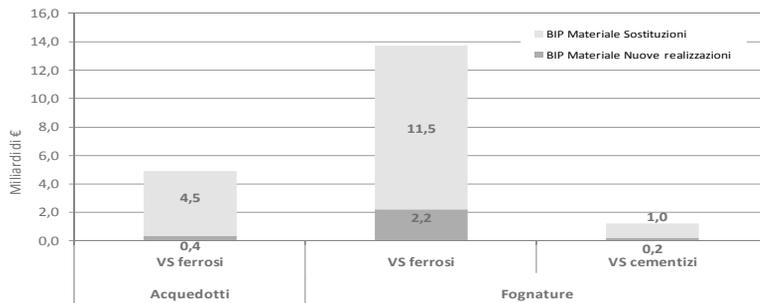
7.2 Il break-down dei BIP unitari

In questo paragrafo evidenziamo i Benefici dell'impiego delle plastiche unitari, sia per gli Acquedotti che per le Fognature, suddivisi nelle diverse componenti: Materiale, Installazione, Manutenzione e Ambientali



7.3 Il BIP del materiale

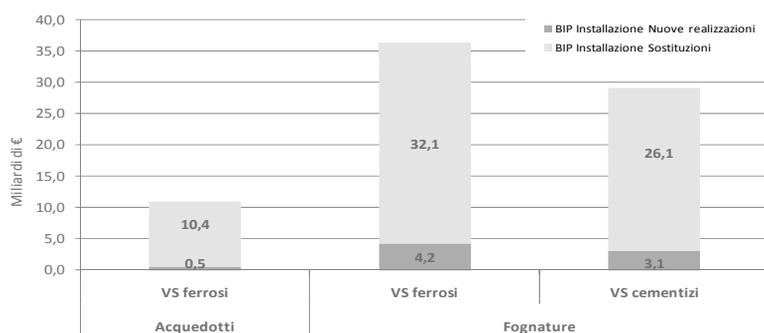
- ▶ Il BIP relativo ai materiali risulta dal confronto tra il costo dei tubi nelle diverse famiglie di materiali considerate.
- ▶ Come detto, per gli acquedotti abbiamo confrontato materiali plastici e ferrosi, mentre per le fognature abbiamo confrontato materie plastiche con materie ferrose e cementizie.
- ▶ I risultati ottenuti evidenziano la convenienza delle materie plastiche rispetto ai materiali ferrosi.



- ▶ Il BIP (o risparmio di costo) relativo al materiale di realizzare gli acquedotti in plastica piuttosto che in ferro ammonta a 4,9 miliardi di €.
- ▶ Il BIP (o risparmio di costo) di realizzare reti fognarie in plastica invece che in ferro ammonta a 13,7 miliardi di €. Il maggior beneficio rispetto agli acquedotti nasce dal fatto che al crescere dei diametri la convenienza dei tubi in plastica rispetto a quelli ferrosi aumenta e, come abbiamo visto, le reti fognarie hanno mediamente diametri maggiori.
- ▶ Il BIP (o risparmio di costo) inerente alla realizzazione di fognature in plastica piuttosto che in cemento è positivo ed è pari a 1,2 miliardi. Nella valutazione condotta nel 2007, questo valore era negativo (- 900 milioni) in quanto i tubi in plastica costavano mediamente di più rispetto a quelli cementizi.
- ▶ Bisogna inoltre ricordare che nella categoria cementizi vi è anche il gres che, diversamente dal cemento, risulta molto più costoso rispetto ai materiali plastici.

7.4 I BIP dell'installazione

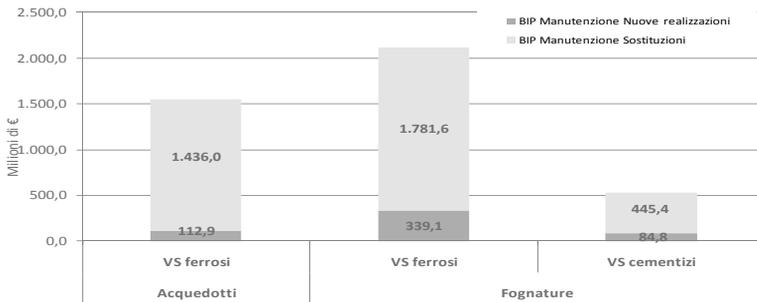
- ▶ I BIP relativi all'installazione nascono dalla comparazione tra i costi di costruzione di una pipeline con materiali plastici piuttosto che con quelli tradizionali.
- ▶ Dal confronto tra acquedotti in plastica e ferro e fognature in plastica, ferro e cemento emerge con molta chiarezza il beneficio dell'utilizzo dei materiali plastici.
- ▶ Tuttavia, il beneficio risulta differente a seconda che si considerino le reti idriche o quelle fognarie.



- ▶ Il BIP (o risparmio di costo) di installare acquedotti in plastica rispetto ad acquedotti in materiale ferroso ammonta a 10,9 miliardi di €.
- ▶ I BIP (o risparmi di costi) di realizzare fognature ammontano a 36,2 miliardi di € se confrontiamo le plastiche con ferrosi e a 29,1 miliardi di € se confrontiamo le plastiche con i cementizi.
- ▶ La maggior convenienza di realizzare reti in plastica piuttosto che in materiale tradizionale dipende dal fatto che per la posa di tubi in plastica sono necessari scavi di minore dimensione. Questo genera forti risparmi.
- ▶ In aggiunta, la posa dei tubi in plastica può essere eseguita sfruttando le tecnologie No-Dig. Queste, come detto, possono generare ulteriori risparmi compresi tra il 15% e il 50% rispetto alle tecnologie tradizionali. Ricordiamo che abbiamo assunto l'utilizzo di queste tecnologie nel 30% dei casi.
- ▶ Infine, sottolineiamo i maggiori differenziali di costo generati dalla realizzazione delle reti fognarie. Questo dipende dal fatto che le fognature, in quanto reti non in pressione, devono essere realizzate con un certo dislivello. Lo scavo in profondità amplifica i costi di costruzione molto di più per le tubature in ferro e in cemento. Ciò è dovuto al maggior peso e ingombro delle tubazioni in ferro e cemento rispetto a quelle in plastica.

7.5 I BIP della manutenzione

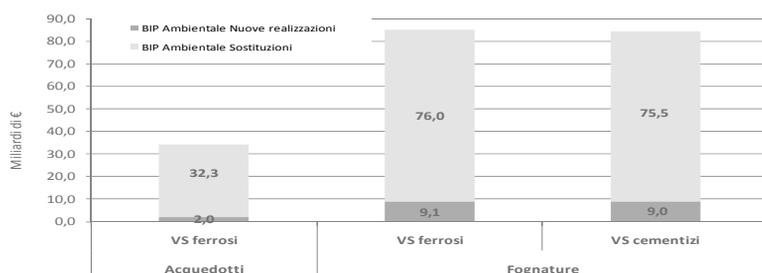
- ▶ I BIP relativi alla fase di manutenzione derivano dal confronto tra i costi di manutenzione delle reti in materiale plastico con quelli delle reti in materiali ferrosi e cementizi.
- ▶ Anche in questo caso, la superiorità, in termini di costi, della plastica è evidente. La convenienza relativa sembra, però, essere maggiore nei confronti dei materiali ferrosi.
- ▶ Emerge anche come la fase manutentiva non abbia un peso rilevante sul bilancio complessivo dei BIP



- ▶ Lo scarso peso dei BIP della manutenzione, ma soprattutto dei valori assoluti della manutenzione per le tubature nei diversi materiali, dipende dall'accezione qui data al termine manutenzione. In questa sede intendiamo infatti i piccoli interventi puntuali di manutenzione finalizzati a mantenere intatta la performance delle reti. Gli interventi di grossa manutenzione rientrano invece nella più ampia area delle sostituzioni.
- ▶ Il BIP relativo alle manutenzioni degli acquedotti in plastica rispetto a quelli in materiale ferroso ammonta a 1.548,9milioni di €.
- ▶ Il BIP relativo alle manutenzioni delle fognature in plastica ammonta a 2.120,7 milioni di € se confrontato con le reti in materiale ferroso, a 530,2 milioni di € se confrontato con quelle in materiale cementizio.
- ▶ La maggior convenienza relativa rispetto ai materiali ferrosi dipende dal minor numero di rotture della plastica. Infatti, come emerge anche dalla figura del paragrafo 6.3, i materiali ferrosi sono quelli che accusano il maggior numero di rotture (21,8 ogni 100 km), seguiti dai cementizi (10,9) e infine dalle plastiche (appena 5,6).

7.6 I BIP ambientali

- ▶ I BIP ambientali legati all'utilizzo delle plastiche per la realizzazione delle infrastrutture di rete derivano dal confronto di due ordini di fattori. Da un lato gli impatti legati alla produzione dei tubi nei diversi materiali, in termini di consumo energetico. Dall'altro gli impatti relativi alle fasi di realizzazione e manutenzione delle reti in diversi materiali, in termini di movimentazione degli automezzi.
- ▶ Come emerge dalla Figura, questa fase ha un impatto determinante sul bilancio complessivo dei BIP.



- ▶ Il BIP ambientale relativo all'utilizzo delle materie plastiche negli acquedotti rispetto alle materie ferrose è pari a 34,3 miliardi di €.
- ▶ Per quanto riguarda le fognature invece, il beneficio rispetto ai materiali ferrosi è pari a 85,1 miliardi di €, mentre rispetto ai materiali cementizi è pari a 84,5 miliardi di €.
- ▶ Il grafico sottostante mostra il dettaglio delle componenti i BIP ambientali, evidenziando come la fase di installazione, ovvero gli impatti connessi al cantiere, sia quella preponderante.

Cantiere

- ▶ I BIP ambientali relativi al cantiere hanno una fortissima incidenza sul bilancio complessivo. Ciò dipende dalla notevole rilevanza che assumono gli impatti ambientali (inquinamento, incidentalità, disagio per la popolazione, ecc.) nella costruzione delle reti. La riduzione di questi impatti ottenibile attraverso l'impiego delle plastiche spiega poi i forti differenziali di costo che ne risultano.

Miliardi di €	Break-down dei BIP Ambientali (mln €)		
	Acquedotti	Fognature	
	Ferrosi	Ferrosi	Cementizi
Produzione tubi	391	360	-17
Cantiere	33.740	84.437	84.437
Manutenzione	156	331	98
Totale	34.287	85.128	84.517

- ▶ Nelle fasi di realizzazione delle reti, l'utilizzo dei tubi in materiale plastico, come visto in precedenza, permette di ridurre in modo consistente la dimensione degli scavi (tra il 10% e il 35% a seconda dei diametri considerati) e conseguentemente la movimentazione dei materiali di scavo.
- ▶ Per quanto riguarda poi le reti fognarie, come detto, la maggior profondità degli scavi necessaria, genera un aggravio dei costi soprattutto per le tubature in materiale ferroso e cementizio. Questo amplia in modo sensibile i benefici dell'utilizzo delle plastiche.
- ▶ A questo bisogna poi aggiungere il beneficio legato all'utilizzo delle tecnologie di installazione No-Dig. L'utilizzo delle tecnologie trenchless permette significativi risparmi in termini di ingombro del cantiere e utilizzo degli automezzi riducendo l'incidentalità, il rumore, l'emissione di inquinanti, gli impatti sul clima, sull'ambiente e sul paesaggio, i disagi per la popolazione. L'impiego di tali tecnologie spiega, da solo, circa il 40% dei BIP ambientali legati al cantiere, per gli acquedotti, e il 43% per le fognature.
- ▶ Ricordiamo che l'utilizzo di tali tecniche, consentito dalle materie plastiche (e da noi assunto nel 30% dei cantieri), permette un risparmio di ingombro del cantiere pari a circa l'88%.

Produzione tubi

- ▶ La produzione di tubi in plastica, piuttosto che in materiale ferroso, riduce i consumi energetici in modo significativo. Dagli studi LCA emerge che produrre 1 km di tubature in materiale plastico, piuttosto che ferroso, permette di evitare emissioni pari a circa 33-249 (a seconda dei diametri) tonnellate di CO₂.

Manutenzione

- ▶ La voce relativa agli impatti ambientali delle piccole manutenzioni, anche se modesta, mostra come esistano dei benefici legati all'utilizzo delle plastiche. Tali benefici sono, come visto in precedenza, legati alla minore dimensione degli scavi.
- ▶ Il peso relativamente contenuto di questa componente dipende dal fatto che riguarda solo le piccole manutenzioni, mentre le grosse manutenzioni rientrano nella più ampia categoria delle sostituzioni.

7.7 Il bilancio complessivo

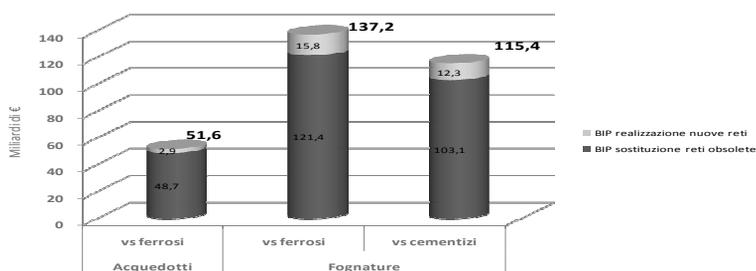
Per concludere, sommando tutte le componenti viste in precedenza, otteniamo il bilancio complessivo dell'utilizzo delle materie plastiche in luogo dei materiali tradizionali per la realizzazione di infrastrutture di rete. Tale bilancio evidenzia un consistente beneficio dall'impiego delle plastiche (BIP).

▶ I BIP per gli acquedotti

- ▶ 51,6 miliardi di € dal confronto con i materiali ferrosi

▶ I BIP per le fognature

- ▶ 137,2 miliardi di € dal confronto con i materiali ferrosi
- ▶ 115,4 miliardi di € dal confronto con i materiali cementizi



8. Conclusioni

L'analisi costi-benefici comparata dei diversi materiali che si possono impiegare per la costruzione delle infrastrutture di rete nel settore idrico porta ad alcune conclusioni.

- ▶ L'utilizzo dei materiali plastici nelle reti idriche e fognarie garantisce notevoli risparmi.
- ▶ In Italia questi risparmi sono pari a 51,6 miliardi di € per gli acquedotti realizzati con materiali plastici invece che ferrosi. I benefici di costruire fognature con materie plastiche invece che ferrose sono pari a 137,2 miliardi di €, mentre rispetto a quelle cementizie sono pari a 115,4 miliardi di €.
- ▶ La possibilità di utilizzare tecnologie No-Dig è anch'essa un'opportunità di innovazione per le utilities, che può garantire ulteriori risparmi nei costi aumentando i già rilevanti vantaggi dell'uso della plastica.
- ▶ Dal punto di vista dei decisori (aziende utilities e/o pianificatori territoriali quali gli Ato) un'analisi dei costi che non si limiti solo ai materiali condurrebbe a scelte di investimento radicalmente differenti rispetto a quelle prevalenti in passato.
- ▶ Infatti, i BIP unitari, che mostrano le diverse classi di costo/beneficio (materiali, installazione, manutenzione, impatti ambientali) per ogni km di rete installata, rendono evidenti i maggiori costi dei materiali tradizionali.

- ▶ Il riferimento al solo costo dei tubi non spiega in modo esauriente il beneficio dell'uso delle plastiche; infatti i tubi in plastica sono largamente più economici di quelli in metallo ma solo lievemente più convenienti di quelli in cemento. Peraltro l'aggiornamento dei prezzi rispetto a quelli correnti nel 2007 evidenzia un netto miglioramento della convenienza delle plastiche rispetto agli altri materiali. Ciò dipende dalle sensibili variazioni registrate nell'ultimo biennio nei costi delle materie prime.
- ▶ Nell'attuale congiuntura dei mercati, l'impiego delle tubazioni in materie plastiche risulta comunque più vantaggioso anche considerando il solo fattore del costo dei materiali.
- ▶ La convenienza delle plastiche emerge sempre con forza quando, oltre ai costi dei materiali, si considerano anche quelli di installazione, di manutenzione e quelli ambientali.
- ▶ In alcuni paesi europei, come Danimarca, Germania, Regno Unito e Svizzera, si tiene conto degli impatti ambientali gravando gli installatori con oneri relativi alle esternalità delle operazioni di costruzione.
- ▶ Ad oggi, le soluzioni ecocompatibili però non sono sempre considerate nella fase di pianificazione e decisione degli investimenti poiché i costi aggiuntivi non sono riconosciuti dai policy makers. Si dovrebbero, dunque, inserire nei bandi di gara e nelle pianificazioni d'ambito criteri che valutino anche i benefici economici di soluzioni ambientalmente vantaggiose.



Via Larga, 31 - 20122 Milano
Tel: +39 02 5831.9401 - Fax: +39 02 5830.1281

www.althesys.com



