

EFFETTO DEI DISINFETTANTI SULLA RESISTENZA MECCANICA DELLE TUBAZIONI DI POLIETILENE PER RETI IDRICHE

N. Fontani, V. Sartori, G. Scirè Mammano

Abstract: È stata verificata l'influenza dei disinfettanti a base di cloro sulla durata di tubazioni in PEHD utilizzate per il trasporto di acque destinate al consumo umano. La sperimentazione è stata effettuata mediante test accelerati in impianto pilota mettendo a contatto tubazioni in polietilene con acque addizionate di disinfettanti normalmente utilizzati nei processi di potabilizzazione, ipoclorito di sodio e biossido di cloro. La verifica del loro effetto sulle tubazioni è stata effettuata mediante valutazione della resistenza meccanica a trazione e della resistenza all'ossidazione chimica del materiale a differenti tempi di esposizione.

Abstract: The influence of chlorine-based disinfectants on the lifetime of HDPE pipes, used in the distribution network in the case of water intended for human consumption, was tested. The experimental part of the present study was carried out through accelerated tests in a pilot plant, where the HDPE pipes would come into contact with two of the most common disinfectants, that is sodium hypochlorite and chlorine dioxide. Their effect on the pipes was evaluated by measuring the mechanical resistance to traction and the resistance to chemical oxidation in the case of different exposure times.

1 Introduzione

Dall'esperienza pluriennale di gestione delle reti acquedottistiche in provincia di Reggio Emilia si è riscontrato come la durata delle tubazioni in PEHD, soprattutto se di piccolo diametro, sia di gran lunga inferiore ai valori dichiarati dai produttori (50 anni). I controlli effettuati sulle tubazioni a seguito di fratture suggeriscono che una delle possibili cause di rottura sia essere la presenza dei *chemicals* a base di cloro usati nei processi di disinfezione delle acque potabili, anche se presenti in concentrazioni molto basse.

In provincia di Reggio Emilia le sostanze comunemente utilizzate in fase di post-disinfezione sono il biossido di cloro e l'ipoclorito di sodio, ossidanti relativamente forti la cui diversa natura chimica potrebbe avere effetti diversi sulla durabilità dei materiali polimerici utilizzati per le condotte. L'obiettivo dello studio è stato quello di verificare la resistenza delle condotte in polietilene, destinate al trasporto di acqua potabile, all'esposizione a diversi disinfettanti a base di cloro, mediante test accelerati condotti in impianto pilota.

2 Metodi

Enìa S.p.A., in collaborazione con il Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria dell'Università di Modena e Reggio Emilia, ha progettato un impianto pilota in cui esporre campioni di tubazioni di polietilene all'azione di diversi disinfettanti con lo scopo di misurarne eventuali variazioni delle proprietà fisico/meccaniche e di conseguenza la durata nel tempo prevedibile per esse.

Rispetto alle normali condizioni di utilizzo delle tubazioni nella rete, nell'impianto pilota è possibile regolare la temperatura dell'acqua e la concentrazione del disinfettante in modo da accelerare eventuali fenomeni di degrado del materiale ed indurre risposte in una scala di tempo accettabile.

L'impianto, il cui schema è rappresentato in Fig. 1, è suddiviso in 3 parti: una prima linea di esposizione della tubazione PEHD ad acqua clorata, una seconda linea di esposizione ad acqua priva di cloro con funzione di riferimento neutro, e una terza linea ausiliaria, separata da entrambe le precedenti, che ha la funzione di riscaldare l'acqua delle due linee espositive.

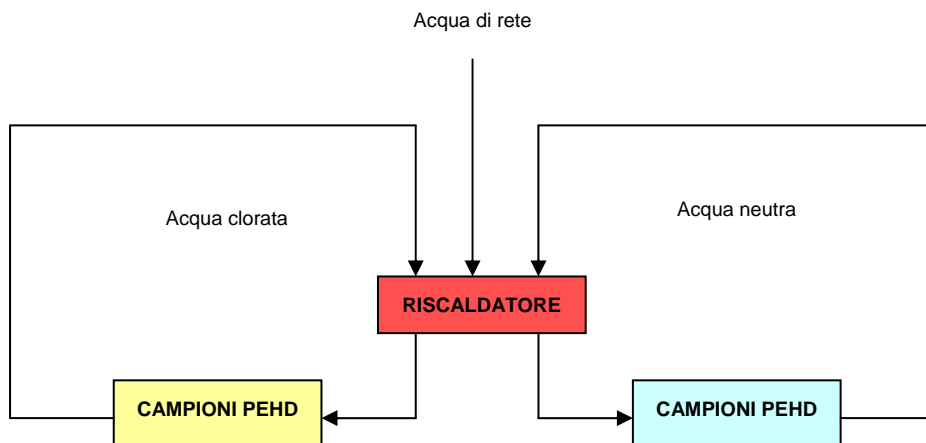


Fig. 1 - Schema dell'impianto pilota



Fig. 2 - (a) autoclave per provini; (b) gruppo riscaldante; (c) armadio coibentato

Ogni linea, a sua volta, consente l'esposizione della tubazione in polietilene in due differenti modi contemporaneamente (fig. 2):

1. la tubazione sottoposta a test, avvolta in matassa e riposta in armadi coibentati, è inserita nel circuito idraulico delle due linee (acqua neutra - acqua clorata) (vedi fig. 3);
2. campioni di polietilene in forma di provini ISO 6259-3, ricavati dalla stessa tubazione sottoposta al test, vengono posti all'interno delle autoclavi presenti sulle due linee (vedi fig. 4).

La prima modalità è stata adottata per simulare la reale esposizione del tubo all'acqua così come avviene nella rete di distribuzione, la seconda modalità invece è stata introdotta per accelerare gli eventuali effetti dell'acqua clorata sul polietilene, esponendolo per immersione in modo che tutta la superficie utile del provino sia a contatto con la soluzione clorata.



Fig. 3 - Tubo avvolto in matassa



Fig. 4 - Provino ISO 6259-3

3 Campagne sperimentali

La tubazione testata aveva le seguenti caratteristiche: diametro nominale DN 32, pressione nominale di esercizio PN 25 ed estrusa con materia prima PEHD 100. Le condizioni di prova utilizzate sull'impianto sono state le seguenti:

Tab. 1 - Condizioni di conduzione delle prove

Concentrazione soluzione disinfettante	2,5 ppm Cl ₂
Temperatura acqua impianto	40 °C
Portata acqua circolante nell'impianto	2,7 m ³ /h
Portata acqua di spurgo per ogni linea	70 litri/gg
pH acqua impianto	7,2 unità pH
Pressione impianto	2,5 bar
Tensione cerchiante nel tubo	1,2 MPa

Le esperienze condotte in impianto sono state due: nel corso della prima è stato utilizzato come disinfettante addizionato all'acqua il biossido di cloro, mentre nella seconda si è utilizzato ipoclorito di sodio.

I campionamenti del materiale rimasto a contatto con le soluzioni di disinfettante sono stati effettuati con frequenza variabile, con prelievi più frequenti nella parte iniziale della sperimentazione e più dilazionati nel seguito, per una durata complessiva di esposizione di circa un anno per ogni prova.

Su tutti i campioni sono state effettuate le seguenti prove:

- **Caratterizzazione Chimica: Oxidation Induction Time (OIT)** alla temperatura di 210°C tramite un calorimetro differenziale NETSCH. Le misure di OIT sono state effettuate su un provino per ogni tipologia di esposizione, in particolare sulla prima sezione superficiale e su quella più interna per verificare il grado di penetrazione nel consumo di antiossidante. L'OIT, espresso in minuti e misurato alla temperatura di 200°C o 210°C, consente di stabilire la resistenza della tubazione all'invecchiamento quantificando, in modo indiretto, la presenza di quelle sostanze che vengono aggiunte al polimero per garantirne nel tempo la protezione dall'azione degradante dovuta ad agenti ossidanti sulle macromolecole della materia prima (ossigeno dell'aria durante lo stoccaggio, ossigeno dell'acqua trasportata dalla tubazione o nel terreno, agenti disinfettanti addizionati all'acqua trasportata in condotta, ecc.). La norma UNI EN 12201:04 prevede la conformità del tubo qualora i valori di OIT siano maggiori a 20 min. a 200°C. Convenzionalmente però la misura viene effettuata

a 210°C, non solo per rendere la prova più veloce, ma soprattutto per simulare le reali temperature di estrusione della tubazione.

- **Caratterizzazione Meccanica:** prova di trazione monoassiale tramite tensometro Galbadini SUN 500 alla velocità di trazione di 50 mm/min. Le prove sono state condotte su tutti i provini (6 per tipologia di esposizione) per calmierare la variabilità dei risultati sperimentali dovuti all'operazione di fustellatura (rumore). La prova di trazione monoassiale è una prova distruttiva. Nel corso della prova si sottopone un provino di dimensioni definite ad una forza unidirezionale, a velocità uniforme, e si applica il carico che farà allungare il provino nella direzione della forza generalmente fino alla rottura. Dal rilevamento dei valori di carico e di allungamento si ottiene un diagramma dal quale si determinano il carico unitario di snervamento, il carico unitario di rottura e l'allungamento percentuale. Il valore minimo di allungamento in percentuale previsto dalla norma UNI EN 12201:04 è del 600% con velocità di trazione di 100 mm/min.

4 Risultati

La comparazione dei risultati delle misure di OIT effettuate nello strato più interno delle tubazioni in PEHD testate dopo contatto con biossido o ipoclorito evidenzia una netta differenziazione fra le 2 curve: il biossido è più aggressivo e già dopo 30 giorni ha consumato quasi completamente l'antiossidante (vedi fig. 5).

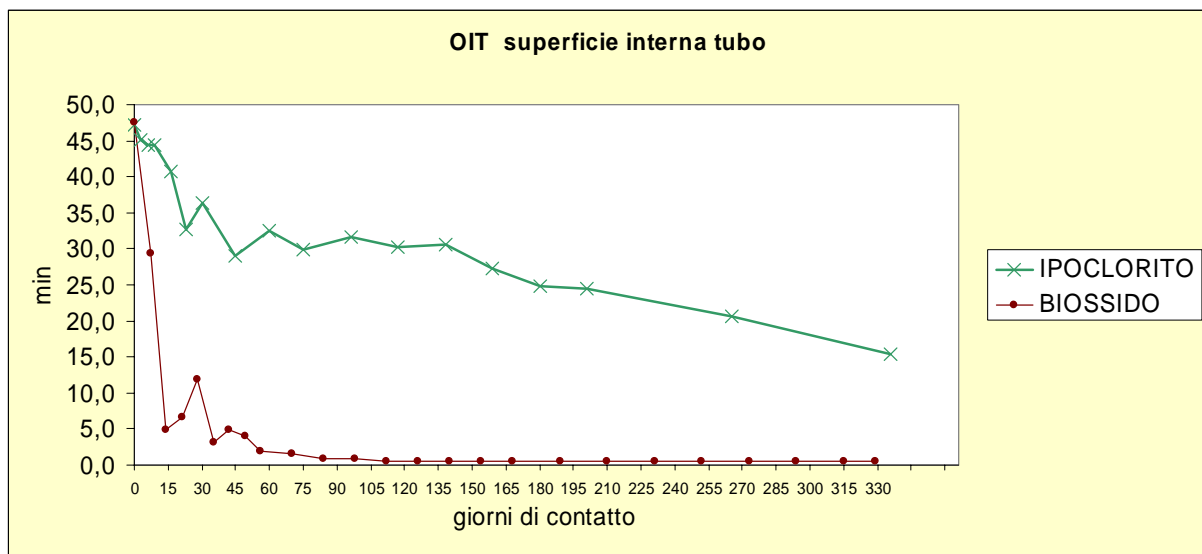


Fig. 5 - Dati di OIT dopo esposizione ai disinfettanti

Confrontando i dati di allungamento percentuale nelle prove di trazione monoassiale dei provini ricavati dalle tubazioni in PEHD esposte al biossido e all'ipoclorito si può osservare che:

- i provini esposti all'ipoclorito di sodio conservano praticamente inalterata nel tempo la capacità di allungamento;
- i provini esposti al biossido di cloro hanno una capacità di allungamento decisamente minore, circa la metà rispetto a quelli esposti all'ipoclorito, già dopo pochi giorni di esposizione (vedi fig. 6).

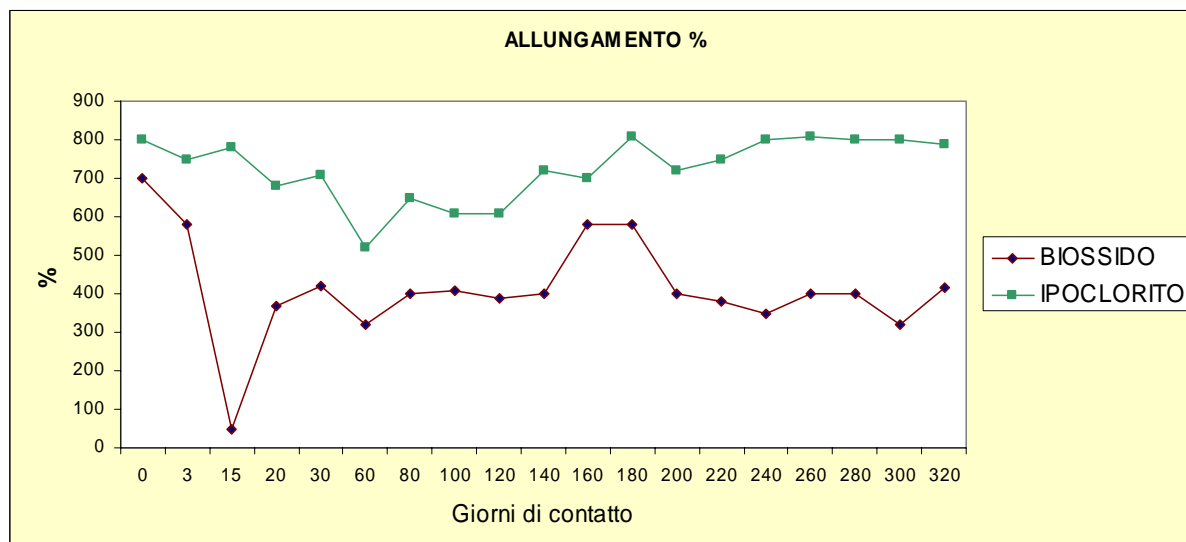


Fig. 6 - Dati di allungamento dopo esposizione ai disinfettanti

Nella figura 7 si può osservare come si presentano le superfici dei provini:

- la foto (B) si riferisce ad un provino esposto ad acqua neutra e come si può osservare la superficie si presenta perfettamente liscia;
- nell'immagine (A), relativa ad un provino esposto a biossido di cloro, si può notare invece una superficie notevolmente corrugata, indice di infragilimento del materiale;
- l'immagine (C) si riferisce invece ad un provino esposto all'ipoclorito di sodio. Anche in questo caso la superficie si presenta corrugata, seppur in modo lieve, trattandosi di screpolature superficiali di bassa profondità, mentre per il biossido la corrugazione, evidente nell'immagine (A), è profonda e presenta una notevole polverosità.

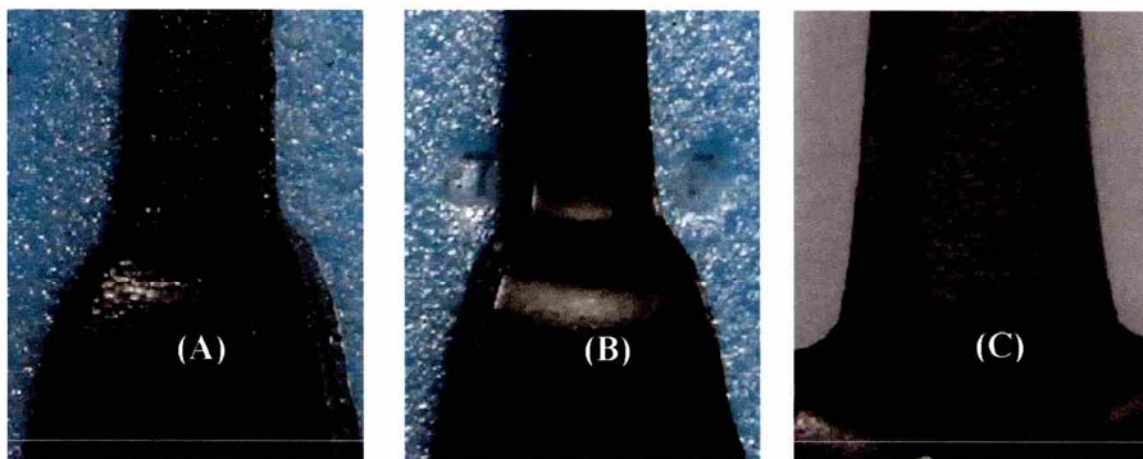


Fig. 7: Ingrandimenti della superficie di stiro dei provini ISO

5 Conclusioni

L'ipoclorito di sodio e il biossido di cloro utilizzati nei processi di disinfezione delle acque potabili nelle reti hanno evidenziato, alle condizioni di prova testate, proprietà aggressive sul PEHD delle tubazioni. In particolare il biossido di cloro si è rivelato molto più aggressivo dell'ipoclorito di sodio e la sua azione è stata tale da influenzare le caratteristiche meccaniche delle tubazioni in PEHD e pertanto anche la loro prevedibile durata nel tempo.

Bibliografia

- Metodo UNI EN 728:1998. Sistemi di tubazioni e canalizzazioni di materia plastica - Tubi e raccordi di poliolefine - Determinazione del tempo di induzione all'ossidazione.*
- Metodo UNI EN 12201-2:2004. Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua. Polietilene (PE). Tubi.*
- Method ISO 6259-3:1997. Thermoplastics pipes – Determination of tensile properties Part 3: Polyolefin pipes.*
- Method ASTM F 2263-03. Standard Test Method for Evaluating the Oxidative Resistance of Polyethylene (PE) Pipe to Chlorinated Water.*
- Technical report – Impact of potable water disinfectants on PE pipe.* Jana Laboratories Inc. (2010).
- Damage Evolution and failure mechanisms in polyethylene.* S.K.M. Ting, J.G. Williams, A. Ivankovic - Proceedings of "Plastic Pipes XII", Milan, April 19–22 (2004).
- Fracture initiation associated with chemical aging: observation, modeling and accelerated testing.* A. Chudnovsky, B.H. Choi, K. Sehanobish. Proceedings of "Plastic Pipes XII", Milan, April 19–22 (2004).
- Quality assessment of HDPE pipes by mechanical testing.* D. Castagnetti, E. Dragoni, C. Simonazzi. – Proceedings of "Plastic Pipes XII", Milan, April 19–22 (2004).
- The mechanisms of chlorine dioxide oxidation of plastic piping systems.* S. Chung, T. Li, K. Oliphant, P. Vibien. Proceedings of "Plastic Pipes XIII", Budapest, Hungary, September 22-24 (2008).
- Characterizing long-term performance of plastic piping materials in potable water application.* S. Chung, T. Li, K. Oliphant, P. Vibien, M. Rozental-Evesque, B. Rabaud. Proceedings of "Plastic Pipes XIII", Budapest, Hungary, September 22-24 (2008).
- Thermal ageing of PE 100 pipes for accelerated lifetime prediction under service conditions.* H. Vogt, H-F. Enderle, U. Schulte, J. Hessel. of "Plastic Pipes XIII" Budapest, Hungary, September 22-24 (2008)..

Curriculum vitae degli autori

Nadia Fontani: Laureata in Scienze Biologiche e in Scienze Naturali presso l'Università degli Studi di Modena. Inizia l'attività lavorativa in AGAC S.p.A. a Reggio Emilia dove si occupa dei controlli analitici interni del ciclo idrico integrato in qualità di responsabile del settore analisi biologiche del laboratorio. Dal 2005 ricopre il ruolo di Responsabile del settore Trattamento Qualità Acque e Materiali di Eni S.p.A. con attività di coordinamento anche per le province di Parma e Piacenza.

Attualmente è responsabile del servizio Processi Trattamento Acque di Iren Acqua Gas S.p.A. e collabora con i servizi di progettazione e gestione del gruppo. Svolge attività di docenza e consulenza presso centri di formazione ed Università in merito alle tematiche legate alle tecnologie di potabilizzazione, alla qualità delle acque e dei materiali, all'HACCP. Ha pubblicato diversi studi relativi soprattutto al trattamento delle acque primarie ed alla depurazione degli effluenti, con particolare riguardo alle problematiche legate alla qualità ed all'uso delle acque destinate al consumo umano.

Vittorio Sartori: diplomato in Chimica delle Tecnologie alimentari, ha lavorato in qualità di collaboratore presso il CRPA di Reggio Emilia nello sviluppo di impianti per la produzione di energia da biomasse. Successivamente ha lavorato in AGAC S.p.A. (RE) in qualità di Responsabile dei Laboratori decentrati presso i depuratori di Roncocesi e Mancasale. In qualità di Assistente di Laboratorio acque potabili ha maturato buone conoscenze sulla strumentazione e sulle metodiche analitiche relative

ad acque reflue e potabili, e sviluppato tecniche per il controllo delle emissioni in fluidi gassosi convogliati.

Dal 2001 è Assistente Tecnico nel servizio Trattamento Qualità Acque e Materiali in Enìa S.p.A. dove ha collaborato allo sviluppo di metodologie di controllo sui polimeri plastici con il Dipartimento di Chimica dell'Università di Ferrara e quello di Scienze e Metodi dell'Ingegneria dell'Università di e Modena e Reggio Emilia. Attualmente è Assistente Tecnico nel servizio Processi Trattamento Acque di Iren Acqua Gas S.p.A. dove si occupa prevalentemente del controllo qualità materiali impiegati nel ciclo idrico ed energetico.

Giovanni Scirè Mammano: ha conseguito la Laurea in Ingegneria Industriale nel 2004 e il Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Innovazione Industriale nel 2009 presso l'Università di Modena e Reggio Emilia. Dal 2005 è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria nella stessa Università, dove tiene a contratto il corso di Progetto di sistemi meccatronici nella Laurea in Ingegneria Meccatronica. I suoi attuali interessi di ricerca riguardano i materiali a memoria di forma, i materiali viscoelastici e la progettazione e lo sviluppo di prodotto.