



A cura di B. Brunone, S. Meniconi, C. Capponi, G. Fratta
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia,
Centro Studi Sistemi Idrici (CSSI)
S. Alvisi, V. Marsili
Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara, Centro Studi Sistemi Idrici (CSSI)

Ridurre le perdite nelle reti di distribuzione: non basta sostituire/riparare le tubazioni ammalorate

Nell'ambito del progetto europeo More4Water "Combined monitoring and forecast for a sustainable management of water resources and timely adaptation to drought", finanziato dal MUR (Italia), FCT (Portogallo), Fapesc (Brasile) e dallo European Union's Horizon Europe Programme nell'ambito del 2022 Joint Transnational Call of the European Partnership Water4All (Grant Agreement n°101060874), e coordinato dall'Università degli Studi di Perugia, particolare attenzione viene rivolta ai criteri di gestione delle reti di distribuzione idrica. In tali infrastrutture, la riduzione delle perdite fisiche rappresenta uno dei principali obiettivi di una gestione sostenibile.

Tale obiettivo può essere raggiunto attraverso due azioni: il rinnovamento della rete di distribuzione, mediante sostituzione dei tratti maggiormente ammalorati, e il controllo delle pressioni, con modalità

stabilite mediante l'impiego di modelli idraulici di simulazione del funzionamento della rete. È noto però che risultati positivi e duraturi si possono ottenere solo combinando opportunamente tali due azioni, come evidenziato nell'esempio che segue.

Si consideri la rete di distribuzione costituita da quattro maglie riportata in Fig. 1. La geometria e la dinamica dei consumi sono molto semplici per evidenziare gli aspetti di interesse: tutti i tratti hanno una lunghezza L pari a 500 m, una scabrezza assoluta $\varepsilon = 0.5$ mm, mentre il diametro, D , dei lati diminuisce progressivamente: da 150 mm nelle condotte più vicine all'alimentazione, a 100 mm e 75 mm in quelle via via più periferiche. La rete è alimentata da un serbatoio, assunto sempre per semplicità a livello invariabile, attraverso una condotta di adduzione ($L = 1000$ m, $D = 200$ mm).

Le utenze, tutte uguali ($q = 5$ L/s), sono poste in corrispondenza dei nodi J2, J3, J4 e J7 e si assumono indipendenti dalla pressione in quanto si ritiene che al variare di questa l'utente possa regolare la portata derivata (Fig. 1). Si immagini, inoltre, che siano state localizzate quattro perdite (*leak*) significative, di entità (*leak discharge*) ciascuna pari rispettivamente a 4.6 L/s, molto vicine fra di loro sul lato J6-J9, e a 5.0 L/s, molto vicine fra di loro sul lato J7-J8 (Figg. 2a e 2b). La portata complessivamente erogata dal serbatoio risulta pari a 39.2 L/s con le perdite costituenti circa il 49%.

Preso atto di tale situazione molto negativa, ma comunque non infrequente, per la maggiore età delle tubazioni e le minori difficoltà operative, il Gestore ha deciso di intervenire sostituendo l'intero tratto J6-J9. A seguito di tale intervento (Figg. 2c e 2d),

circa il 48% delle perdite presenti in rete (circa 9.2 L/s su un totale di 19.2 L/s) viene eliminato. Il risanamento del tratto J6-J9 comporta però un incremento delle pressioni anche nel tratto J7-J8 dove sono presenti le altre due perdite note al Gestore.

Fig. 1

Rete di distribuzione considerata nelle valutazioni.

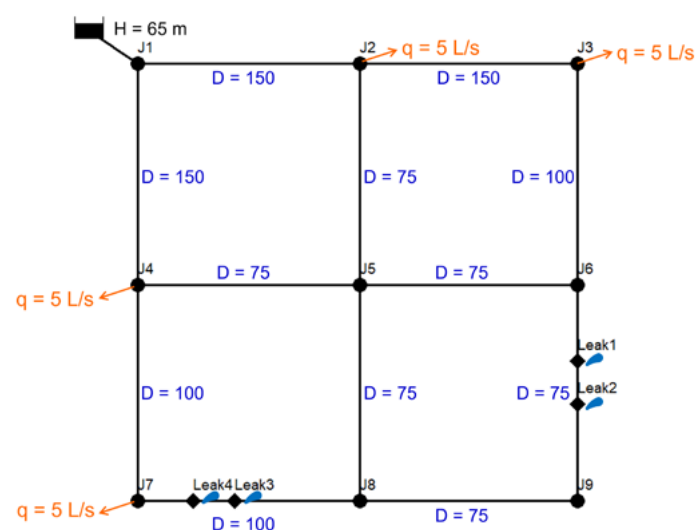
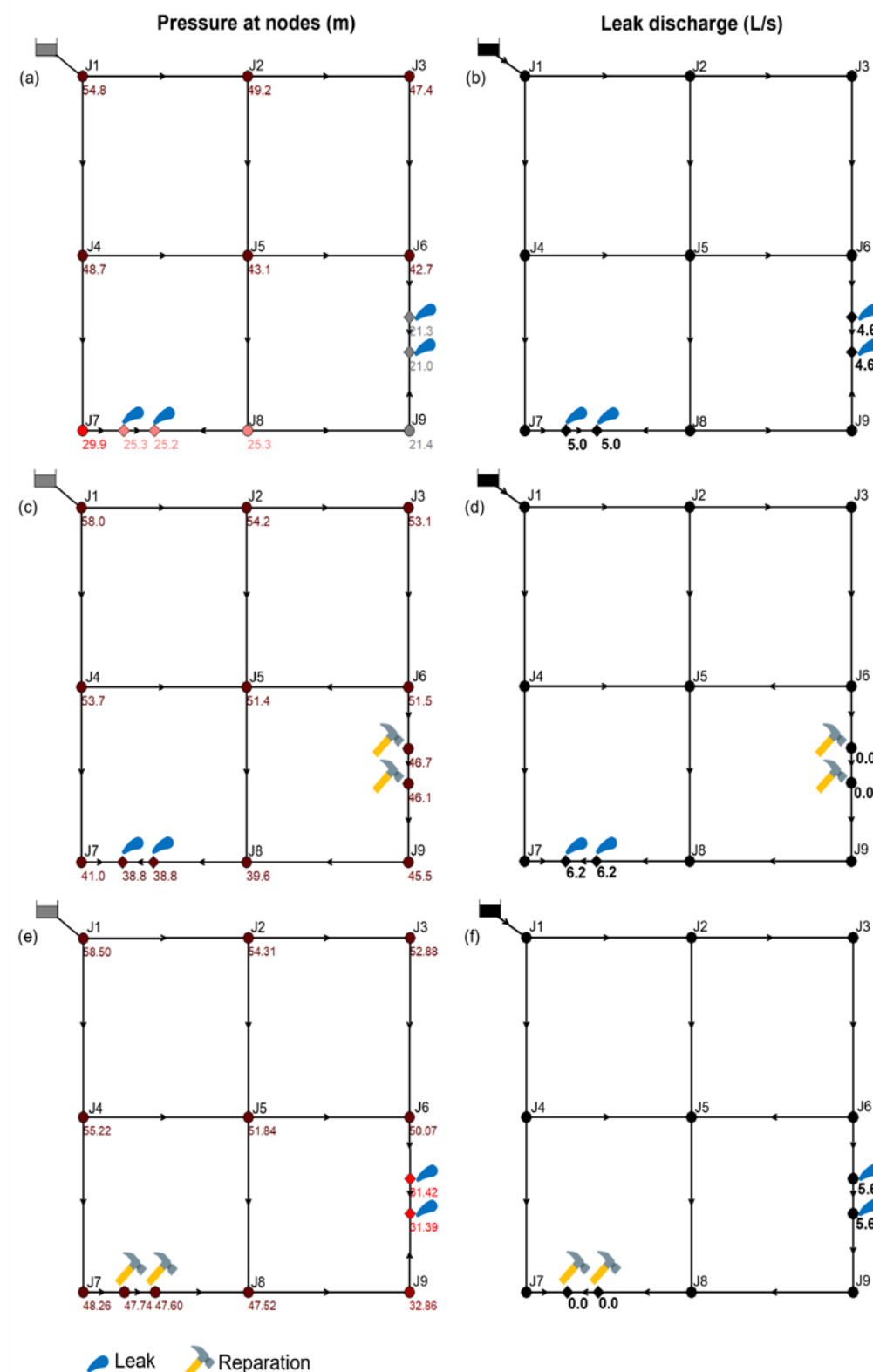


Fig. 2

Risultati delle simulazioni effettuate sulla rete di Fig. 1; regime delle pressioni e portate attraverso le perdite (*leak discharge*) nelle seguenti condizioni: a) e (b) - sistema nelle condizioni pre-intervento di risanamento; c) e d) - sistema dopo la sostituzione del solo lato J6-J9; e) e f) - sistema dopo la sostituzione del solo lato J7-J8.



[1] Jara-Arriagada, C. and Stoianov, I. (2021). Pipe breaks and estimating the impact of pressure control in water supply network. *Reliability Engineering & System Safety*, 210, 107525 (10.1016/j.res.2021.107525).

[2] Marsili, V., Meniconi, S., Alvisi, S., Brunone, B., and Franchini, M. (2022). Stochastic approach for the analysis of demand induced transients in real water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 148(1), 04021093 (10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001498).

[3] Meniconi, S., Maietta, F., Alvisi, S., Capponi, C., Marsili, V., Franchini, M., and Brunone, B. (2022). Consumption change-induced transients in a water distribution network: laboratory tests in a looped system. *Water Resources Research, AGU*, 58(10), e2021WR031343(10.1029/2021WR031343).

[4] Xing, W., Zhang, C., Xia, Y., Wang, C., Fang, H. and Sang, X. (2025). Trenchless rehabilitation materials and technologies for water supply pipes: A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*, 203, 107896 (10.1016/j.psep.2025.107896).

Nei nodi in cui sono presenti le perdite, in particolare, la pressione passa da circa 25 m a circa 39 m. A seguito di tale incremento della pressione, le perdite nel tratto J7-J8 aumentano del 24% passando da 10 L/s a 12.4 L/s. Questo incremento delle perdite nel tratto J7-J8, che segue immediatamente l'intervento di risanamento, non è però l'unica conseguenza "negativa". Altre si manifesteranno successivamente. Le pressioni, infatti, aumentano, in misura non uniforme, in tutti i nodi della rete.

A tale riguardo, la più recente letteratura sull'argomento [1] rivela un ulteriore effetto negativo dell'aumento del regime delle pressioni oltre all'incremento della portata persa attraverso le perdite già esistenti. In dipendenza della resistenza meccanica dei materiali utilizzati nelle tubazioni, infatti, l'effetto delle variazioni di pressione provocate dal comportamento degli utenti è infatti tanto maggiore quanto maggiore è la pressione di regime.

Ciò comporta che, stabilendosi un più alto regime delle pressioni a seguito del risanamento, potranno verificarsi nel tempo (ad esempio, per fenomeni di fatica) nuove rotture con il conseguente incremento delle perdite. In altre parole, si può ritenere che il beneficio in termini di riduzione delle perdite determinato dall'intervento di risanamento sia in parte effimero per il verificarsi nel tempo di ulteriori rotture. La situazione risulterebbe peggiore in termini di aumento del regime delle pressioni se, invece di sostituire il lato J6-J9, si sostituisse quello J7-J8 (Figg. 2e e 2f).

Quale quindi potrebbe essere una strategia di intervento durevole nel tempo? È evidente che bisogna scartare senz'altro l'ipotesi (banale!) di non procedere ad alcun intervento di risanamento perché in questo modo si provocherebbe il tracollo dell'infrastruttura. È altresì necessario prendere atto dell'inevitabile incremento delle pressioni per effetto di ogni intervento di risanamento.

Tale *matassa* può essere sbrogliata solo mediante l'impiego di un affidabile modello di simulazione del funzionamento della rete e l'individuazione degli utenti il cui comportamento determini frequenti/notevoli variazioni della pressione [2] [3]. Ipotizzata la zona su cui intervenire con le sostituzioni/riparazioni, si valutano in primo luogo le nuove condizioni di funzionamento della rete prevedendo l'installazione di valvole riduttrici della pressione (PRV) in opportuni nodi. La procedura viene quindi ripetuta considerando le altre zone ammalorate. In questo modo è possibile stabilire una gerarchia fra gli interventi considerando, da una parte, il recupero dei volumi di acqua persi e, dall'altra, il numero di PRV da installare.

In tale scenario gioca un ruolo fondamentale la tecnica di intervento. Soprattutto nelle aree urbane, densamente abitate e *affollate* da molte altre reti di servizi, la scelta della zona su cui intervenire non può non essere condizionata da difficoltà operative e logistiche. A tale riguardo una valida opzione è rappresentata dall'adozione di tecnologie *trenchless* per le quali notevoli progressi si sono registrati negli ultimi anni nello specifico campo della riabilitazione delle reti di distribuzione idrica [4]. Le migliorate prestazioni delle tecnologie *trenchless* sono confermate dal notevolissimo incremento dei relativi investimenti da parte dei gestori del servizio idrico.

Dati recenti mostrano che per i sistemi idrici si è passati sul territorio nazionale da una spesa pari a 43 milioni di euro nel 2021 ad una pari a 460 milioni di euro nel 2025. Occorre sottolineare che la disponibilità di un affidabile modello di simulazione del comportamento idraulico della rete risulta di notevole importanza anche per valutare gli effetti indotti sul funzionamento della rete dalla sostituzione delle tubazioni esistenti con altre di diametro e scabrezza differenti.