

Rilievo delle infrastrutture di drenaggio urbano e modellizzazione dei flussi nel bacino fognario di Mestre - Via Torino (Venezia, Italia)

Paolo Dalla Vecchia (*), Enrico Conchetto (*), Roberto Francese (**)

(*) AATO Laguna di Venezia, Via G. Pepe 102, 30172 Mestre (VE)

(**) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS)

Riassunto

Il presente lavoro descrive i risultati ottenuti nell'ambito di un progetto pilota condotto dall'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" con l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste per l'individuazione delle modalità di smaltimento delle acque nel bacino fognario di Mestre - Via Torino, interessato dall'evento di allagamento causato dalle condizioni meteoriche estreme che hanno colpito pesantemente l'intero entroterra veneziano nel settembre 2007. L'obiettivo del progetto è l'approfondimento delle conoscenze sulle infrastrutture adibite allo smaltimento delle acque del drenaggio urbano, miste e nere, nel bacino fognario di Mestre - Via Torino, al fine della comprensione, attraverso l'analisi integrata dei dati sul territorio circostante e sulla rete idraulica di bonifica, delle modalità con cui tali infrastrutture di smaltimento delle acque trasferiscono il carico idraulico ai corpi idrici ricettori e all'impianto di sollevamento alla chiusura del bacino. Gli obiettivi sono stati raggiunti articolando il progetto in diverse fasi tra le quali hanno avuto un ruolo determinate: la raccolta e la rielaborazione dei dati esistenti; la predisposizione della rete di inquadramento topografico; il rilievo topografico delle evidenze delle reti infrastrutturali sotterranee; i rilievi geofisici mediante tecnica GPR (*Ground Probing Radar*) multicanale delle condotte sotterranee; l'ispezione visiva di pozzetti e camere e la conseguente cattura degli attributi delle reti; la costruzione del modello numerico di simulazione dei deflussi e infine la calibrazione del modello mediante una campagna di misura locale delle precipitazioni e delle portate.

Sul modello finale sono state condotte diverse simulazioni idrauliche iniziando con i dati relativi all'evento di picco del settembre 2007 e riducendo progressivamente il carico pluviometrico sino ad identificare la soglia critica del bacino. L'analisi ha infine permesso l'individuazione di tutte le criticità che, durante particolari condizioni meteoriche, vengono a verificarsi nel bacino lungo l'intera rete di smaltimento delle acque.

Abstract

This paper describes some of the results of a research study conducted by the Authority of Optimal Territorial Area "Lagoon of Venice" along with the National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics of Trieste to assess the sewer network in the basin of Mestre - Via Torino, severely flooded by an extreme meteorological event in September 2007.

The major aim of the study is to gain an adequate insight in the understanding of infrastructure used for the disposal of the waters both from the storm drainage and the sanitary systems. The geometry and the topology of this "mixed" network are the key to proper modeling of the hydraulic infrastructure management and to discover the critical nodes of the network itself.

The study was successful in the achievement of the above objectives due to the careful project scheduling and management and the availability of technical and economical resources. The project was organized in several different key phases: collecting and reprocessing of existing data, setting up of a reference network to assist the topographic survey, state of the art subsurface scanning with

a novel 40-channel radar system; detailed pipeline attribute capturing inspecting handholes and manholes; numerical modeling of water flow assisted by long term monitoring of flow rate and rainfall at various sites within the basin.

Once the final model was functional it was possible to carry out a series of hydraulic simulations starting from the peak event of September 2007 and progressively reducing the rainfall regime until the critical threshold of the basin was estimated. The analysis also allowed the mapping of several nodes that enter very quickly a status of hydraulic criticality.

Inquadramento generale

Il bacino fognario di Via Torino, indicato in Figura 1, rappresenta uno dei bacini nei quali è suddivisa l'area urbana di Mestre, ha un'estensione di circa 1.700.000 m² con una quota compresa tra 1 e 3 m s.l.m. (Figura 2). Il bacino conta una presenza media, tra residenti e fluttuanti, di circa 14.500-15.000 persone. La rete stradale, interessata dai rilievi, è piuttosto sviluppata con una lunghezza complessiva di circa 20 km, pavimentati prevalentemente con asfalto e talvolta con cemento.

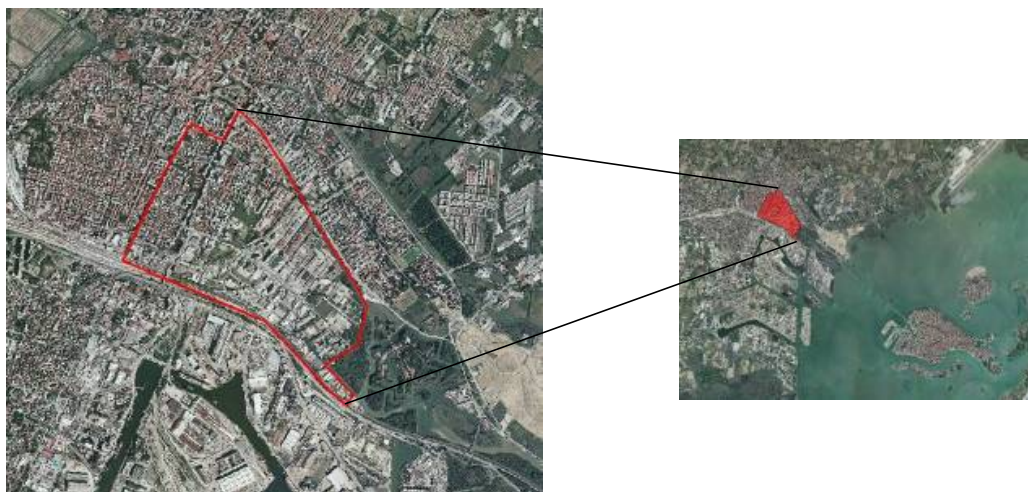


Figura 1. Immagine aerea del bacino fognario di Mestre – Via Torino.

Il rilievo geofisico, per questioni logistiche, ha riguardato la sede stradale mentre il rilievo geodetico-topografico e l'ispezione visiva sono stati estesi anche ai vicini marciapiedi ed alle aree verdi al di fuori delle zone di percorribilità degli automezzi.

Da un punto di vista geologico il primo sottosuolo risulta composto da materiali a prevalente granulometria fine anche se è presumibile immaginare che la maggior parte dei sottoservizi, fatta eccezione per qualche tubazione profonda, sia alloggiata entro lo strato di riporto antropico. Tale strato, come evidenziato da alcuni test di propagazione delle onde elettromagnetiche, presenta caratteristiche dielettriche nel complesso favorevoli alla propagazione delle onde. La soggiacenza della falda freatica è mediamente intorno al metro di profondità ed è soggetta a rilevanti escursioni in funzione soprattutto delle oscillazioni periodiche di marea e delle precipitazioni.

Al fine di ridurre al minimo i fenomeni di attenuazione delle onde EM dovuti alla presenza di salamoie saline nei terreni superficiali le misure sono state effettuate durante la stagione estiva (caratterizzata dalla massima soggiacenza) e durante i periodi di bassa marea.

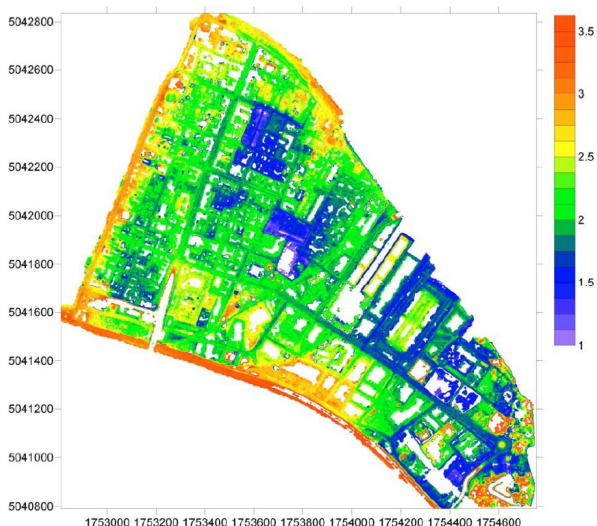


Figura 2. DTM del bacino fognario di Mestre – Via Torino.

La strumentazione radar (GPR) utilizzata per il rilievo dei sottoservizi

Il rilievo radar è una tecnica detta a numero d'onda e si basa sulla propagazione delle onde EM in profondità e sulla misura del segnale riflesso in corrispondenza di variazioni delle proprietà elettriche e magnetiche dei terreni e dei corpi presenti nel sottosuolo. Il sistema radar, dopo l'invio dell'impulso, in analogia con il metodo sismico, misura una serie temporale di risposta rilevando più bersagli posti in verticale uno sopra l'altro. L'immagine del sottosuolo è quindi tridimensionale in quanto la riflessione del bersaglio/strato ubicato a maggiore profondità arriva a tempi maggiori della scala temporale del segnale riflesso. Il sistema radar ha quindi una piena capacità di discriminazione della posizione verticale del bersaglio. Le misure radar sono state effettuate mediante un sistema sperimentale *Stream* di nuova generazione costruito da IDS (Ingegneria dei Sistemi S.p.A.) (Figura 3).



Figura 3. Sistema IDS Stream a quattro banchi, per un totale di 38 canali attivi, montato su carrello trainato da furgone durante la scansione di Via Torino.

Al tempo del rilievo il sistema era in fase avanzata di realizzazione e non ancora disponibile in commercio. Lo strumento è modulare e sono stati impiegati 4 moduli da 8 dipoli radianti ciascuno realizzando un totale di 15×2 canali bistatici (per un totale di 30 canali) longitudinali e di altri 8 canali trasversali tra bistatici e monostatici. In ciascun modulo da 8 dipoli la spaziatura tra i centri di fase è fissa ed è pari a 0.12 m e la frequenza centrale è di 200 MHz. I dipoli sono orientati con l'asse maggiore nella direzione di avanzamento. A differenza dei normali sistemi disponibili sul mercato la sensibilità è quindi massima per i bersagli longitudinali. I quattro banchi del dispositivo radar sono stati sistemati su un carrello in metallo progettato e realizzato "ad hoc" per il rilievo e costituito esclusivamente da materiali scarsamente magnetici (leghe metalliche e plastica). I due banchi della fila posteriore (3 e 4) sono stati traslati di 0.06 m in modo da ottenere una linea di scansione ogni 0.06 m. Il *firing* del sistema radar viene gestito mediante ruota metrica che lancia una intera sequenza di impulsi (30) ogni unità di avanzamento del carrello, che, nel caso specifico, è stata impostata a 0.08 m.

Il rilievo radar (GPR)

Il rilievo radar è stato organizzato per unità stradali: ciascuna via è stata percorsa in andata e ritorno dal carrello radar, con diverse linee di scansione sino alla copertura quasi completa della sede viaria. Sono state definite 49 unità stradali per una lunghezza complessiva di circa 20.050 m di scansione multipla. Per ciascun senso di marcia, a seconda della larghezza della via, sono state infatti necessarie da una a tre scansioni, ciascuna di larghezza utile di 1.8 m. In molti casi per ottenere garanzia della copertura le linee di scansione sono state acquisite in parziale sovrapposizione. In totale sono stati acquisiti circa 1.400 km di scansioni radar per un totale di 17.600.000 tracce (*sweep*). Il "tracciamento" del carrello radar multicanale durante la scansione del sottosuolo, è stato possibile utilizzando un'antenna GPS *rover* (Figura 3) oppure un prisma riflettente a seconda delle condizioni di visibilità satellitare. Il carrello è stato quindi trainato da un automezzo sul quale era installata la consolle di controllo. Per assecondare eventuali asperità del terreno e ridurre i sobbalzi il blocco anteriore è stato svincolato da quello. Tutti i dati di navigazione sono stati registrati mediante un secondo sistema GPS differenziale in configurazione RTK in costante collegamento radio con la stazione master ubicata all'interno dell'area da rilevare.

Elaborazione del segnale GPR

Il processo di elaborazione è stato condotto con l'obiettivo di aggregare le strisciate in unità stradali e di estrarre dei piani di riflettività con $dt = 1ns$.

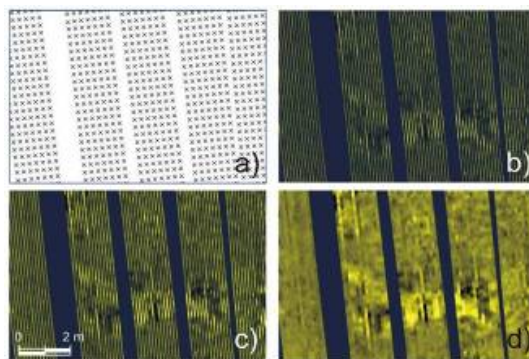


Figura 4. Modalità di visualizzazione del dato radar senza passare per il processo di ricalcolo dei valori di ampiezza su griglia regolare per poi interpolare l'immagine. a) cluster di punti con la sola rappresentazione della posizione. b), c) e d) cluster di punti colorati con dimensione del punto via via crescente sino a generare un'immagine continua.

I piani di riflettanza (*time slice*) sono stati estratti come *cluster* di punti nel formato ASCII PSI (id, x, y, z, riflettanza). Un codice Matlab è stato infine utilizzato per riunire i punti estratti da ogni singola scansione, integrati in una determinata finestra temporale, in un piano aggregato di riflettanza (*macro cluster*). Il processo è stato ripetuto per ogni livello di un ns nell'intervallo compreso tra 3 e 60 ns in ciascuna delle 49 unità stradali. In fase di visualizzazione del dato si è cercato di trarre vantaggio dalla densità della griglia di misura all'interno di ciascuna striscia multiscansione. Ciascun punto di un singolo piano di riflettanza è stato infatti rappresentato come un quadrato colorato in funzione dell'ampiezza della riflessione (Figura 4). La dimensione del punto è stata quindi ingrandita sino a generare un'immagine continua. Si tratta di un approccio analitico del tutto nuovo che ha dato ottimi risultati anche in altri casi analoghi.

Sintesi dei rilievi e ricostruzione delle reti

Tutti i dati raccolti durante il rilievo, unitamente alla cartografia storica disponibile (opportunamente omogeneizzata e georiferita), sono stati infine convertiti nel medesimo sistema di riferimento (Gauss-Boaga Fuso Ovest) ed importati nel sistema informativo dove è stata realizzata la sintesi dei dati e si è proceduto alla ricostruzione ed alla codifica delle reti. La ricostruzione del dato *radar* è avvenuta attraverso piani di riflettanza (Figura 5): per ciascuna strada sono stati visualizzati in sequenza 60 piani di intensità EM (uno ogni ns), con sovrapposti gli elementi puntuali delle reti (pozzetti e camere).

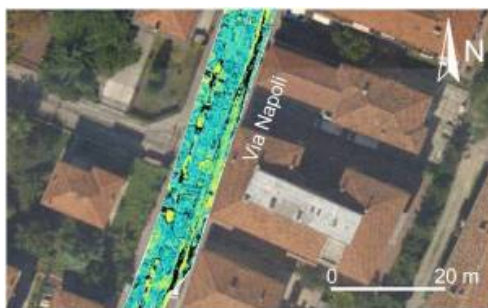


Figura 5. Esempio di sovrapposizione di *time slice* radar, calcolata al tempo di 20 ns, sul tratto mediano di Via Napoli.

Ad ogni segmento di rete è stato attribuito il diametro interno della condotta ed il verso di scorrimento, da un pozzetto (nodo di inizio) a quello successivo (nodo di fine) procedendo idraulicamente verso "valle". Per la vestizione dei segmenti di rete sono stati utilizzati gli attributi catturati nei pozzetti (per una percentuale superiore al 90 %) ed i dati storici (utili soprattutto per il confronto di geometria e diametro dei collettori principali).

	Pre-rilievo	Post-rilievo	Variazione (m)	Variazione (%)
Fognatura bianca		3300	+ 3300	nuovo dato
Fognatura nera		700	+ 700	nuovo dato
Fognatura mista	17300	28400	+ 11100	+ 64 %
Fognatura non definita	1600	0	- 1600	---
Fognatura (B,N,M) a diametro noto	15750	32400	+ 16650	+ 51 %

	Pre-rilievo	Post-rilievo	Variazione (n)	Variazione (%)
Collettori ($\Phi \geq 0.8m$) - numero	94	167	+ 73	+ 44 %
Collettori lunghezza (m)	7700	10796	+ 3096	+ 29 %

Tabella 1. Confronto tra i dati relativi alle reti del bacino di Via Torino pre- e post- ricognizione.

Procedendo in questo modo sono stati ricostruiti nell'intero bacino di Via Torino più di 40 km di rete fognaria. L'incremento dello stato delle conoscenze ottenuto attraverso la ricognizione è stato decisamente significativo. Ciò è visibile da un rapido confronto in Figura 6 e apprezzabile dalla sintesi dei dati di Tabella 1.

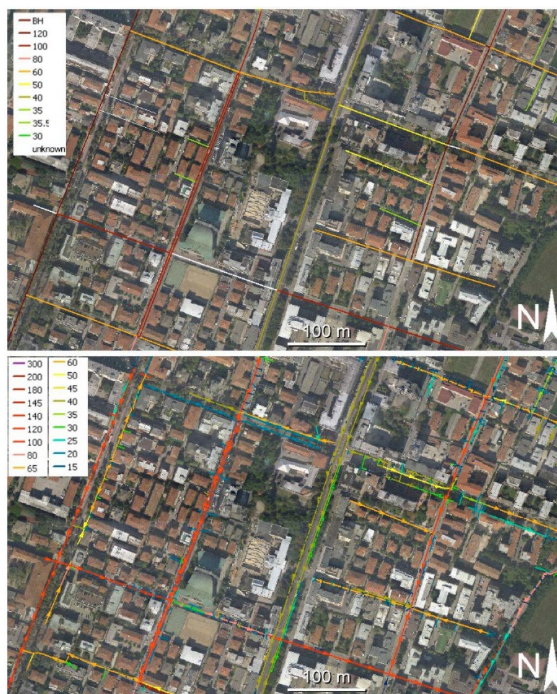


Figura 6. Confronto tra il livello conoscitivo pre (sopra) e post (sotto) ricognizione. I diversi colori rappresentano i diametri delle condotte.

Predisposizione del modello idraulico

Principale finalità del progetto era la realizzazione del modello idraulico del bacino di Via Torino al fine di simulare le portate di piena derivanti da eventi meteorici estremi ed individuare gli eventuali punti di criticità. A tale scopo la rete è stata semplificata ad un sistema di condotte e pozzetti chiave (figura 7).

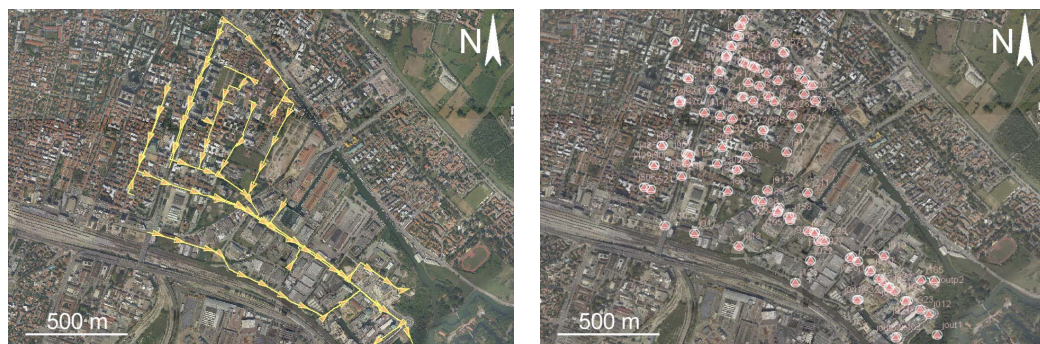


Figura 7. Modello delle condotte chiave a sinistra e dei pozzetti chiave a destra.

Per la simulazione è stato utilizzato il software EPA-SWMM 5.0 (Storm Water Management Model) sviluppato dall'agenzia ambientale governativa statunitense EPA (Environmental Protection Agency).

L'ambiente di superficie, ai fini modellistici, è stato organizzato in sottobacini, la cui costruzione in questo contesto urbano è stata piuttosto complessa; la stessa disponibilità del DTM, predisposto avvalendosi del dato LIDAR, ha agevolato il processo ma non è stata risolutiva. Sono stati istituiti e delineati 135 sottobacini (Figura 8), a ciascuno dei quali sono stati assegnati i seguenti parametri:

- superficie del bacino;
- lunghezza del percorso dell'acqua al nodo di chiusura;
- pendenza;
- percentuale di suolo impermeabile;
- coefficienti di Manning per il suolo impermeabile e permeabile: 0.01 e 0.1;
- altezza media delle depressioni di intrappolamento dell'acqua: da 0.02 a 0.06 m;
- percentuale dell'area priva di depressioni: da 20% a 25%;
- percentuale dell'acqua di deflusso.

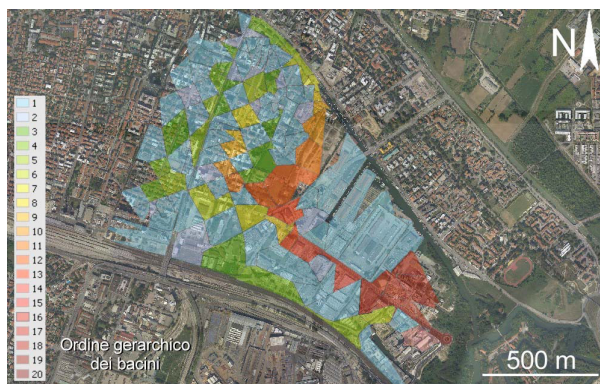


Figura 8. Schema dei sottobacini di raccolta delle acque meteoriche e reflue istituiti per il modello idraulico. Il colore rappresenta l'ordine gerarchico di ciascun bacino.

Il punto chiave della modellazione corrisponde sicuramente alla terminazione di Via Torino dove vi sono tre terminazioni, che in fase di piena devono essere simulate congiuntamente con una uscita a pelo libero e 2 stazioni di pompaggio. L'uscita a pelo libero (sfioratore) è stato modellato considerando una uscita vincolata dalle oscillazioni di marea. Una ulteriore terminazione di Via Pepe è stata invece modellata con un orifizio rettangolare in un pozzetto-vasca che convoglia i volumi idrici in eccesso sul vicino Canal Salso.

Conclusioni

La simulazione matematica indica che, alla fine dell'evento di riferimento (alle ore 12:00 del 26/9/2007), dalla rete fognaria è fuoriuscito un totale di 194.497 m³ d'acqua (Figura 9) che, rispetto alla precipitazione cumulata alla stessa ora, pari a 382.010 m³, rappresenta un'aliquota del 50,9% del volume di precipitazione. Una percentuale pari al 77,2% del complessivo volume di alluvionamento è fuoriuscita dalla rete nell'arco di sole due ore. In relazione alle modalità di deflusso superficiale delle acque è ragionevole ipotizzare che questo sia il volume d'acqua che determina l'alluvionamento effettivo.

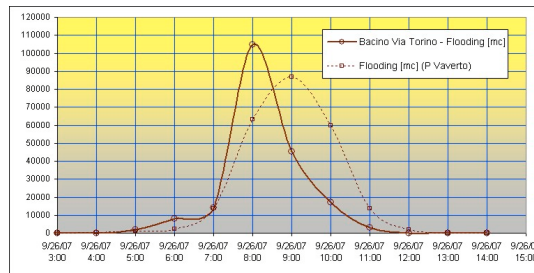


Figura 9. Sommatoria dei volumi parziali di alluvionamento (AI) diagrammati rispetto al tempo di tutti i nodi idraulici in sofferenza dell'intero bacino fognario di Via Torino. La curva a tratteggio indica l'alluvionamento con la precipitazione registrata alla stazione di Valle Averno.

I rilievi svolti, la calibrazione del modello e le simulazioni idrauliche effettuate considerando quattro ietogrammi hanno permesso l'individuazione di 12 zone con diverse soglie di criticità idraulica (vedi esempio di Figura 10).

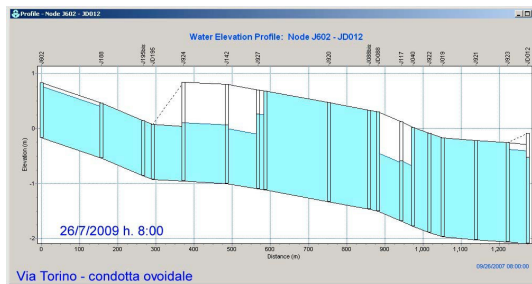


Figura 10. Tratto di condotta di Via Torino tra i nodi J602 e JD012 (simulazione: ore 8:00 del 26/9/2007). Si notino i nodi in condizioni critiche e i diversi segmenti di condotta in pressione.

In particolare le principali criticità identificate possono essere risolte con una serie di interventi di adeguamento della sezione delle condotte, di rimozione di alcuni restringimenti e di realizzazione di alcune vasche di prima pioggia (anche in sotterraneo) in corrispondenza di alcune aree verdi.