

Il controllo in tempo reale in un impianto fognario

1. Introduzione

Le condotte di una rete fognaria mista si dimensionano tradizionalmente in base ai valori massimi di portata convogliabile, ricavati proporzionalmente all'estensione delle aree sottese e al numero degli abitanti serviti. In presenza di fenomeni piovosi rilevanti si prevede generalmente di allontanare le eccedenze tramite opere di sfioro.

Con il diffondersi di normative sempre più attente ed esigenti allo sfruttamento razionale del ciclo dell'acqua, la quantità e la frequenza delle portate sfiorate deve essere progressivamente limitata.

Per ottenere tale scopo, si può procedere all'incremento del diametro dei tubi con conseguenze negative di gran lunga superiori ai benefici apportati:

■ i costi delle condotte e le spese di scavo crescono proporzionalmente alle dimensioni dei collettori;

■ la messa in opera, soprattutto nei centri urbanizzati, diventa di difficile attuazione dato l'ingombro fisico dei tubi;

■ in tempi asciutti le condotte collettano portate nere nettamente ridotte rispetto alla loro potenzialità, generando così velocità di deflusso inferiori alle condizioni di autopulizia dei collettori;

■ in tempi piovosi le elevate portate meteoriche spingono gli impianti di depurazione a lavorare sotto carichi idraulici insostenibili e, se non si vogliono sfiorare le eccedenze, l'unica soluzione accettabile risulta quella dell'invaso.

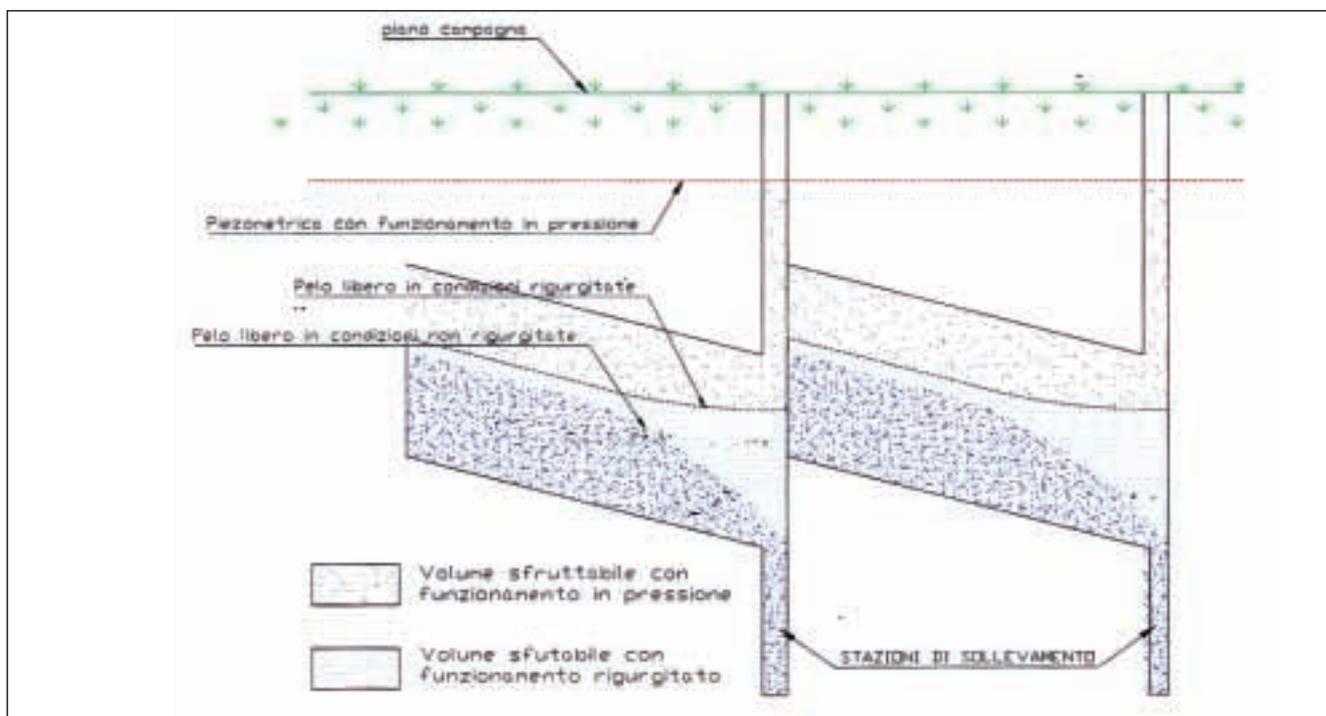
Un'alternativa a questa soluzione può essere rappresentata dal controllo in tempo reale (in inglese *real time control*, da cui la sigla più comunemente usata RTC), una tecnica che ha lo scopo di:

1. diminuire il rischio di allagamento di aree urbane depresse;
2. ridurre la frequenza e la portata degli sfiori di liquame non trattato;

3. ottimizzare i consumi energetici migliorando la gestione degli organi di regolazione del fluido in rete;
4. aumentare l'efficienza degli impianti di trattamento equalizzando il carico inquinante in ingresso.

Secondo la teoria del RTC si può evitare la completa sostituzione dei vecchi tubi con altri adeguati dimensionalmente alle nuove esigenze mediante la creazione di volumi di accumulo dislocati in vari punti della rete: in questo modo diventa possibile una laminazione delle portate di punta e delle portate meteoriche. Per ottenere tali volumi si possono realizzare vasche di invaso in corrispondenza dei nodi della rete, utilizzare manufatti precedentemente adibiti ad altri usi oppure sfruttare i volumi disponibili nelle stesse condotte che costituiscono il collettore.

Quest'ultima operazione può essere realizzata aggiungendo opportune paratoie di intercettazione o modificando il funzionamento delle stazioni di sollevamento esistenti (figura 1).



• Figura 1 - Profilo longitudinale di rete con volumi residui nelle condotte sfruttabili mediante la regolazione delle stazioni di sollevamento.



2. Caratteristiche principali del controllo in tempo reale

Il controllo in tempo reale può essere semplificato come un ciclo continuo di operazioni che trasferiscono i dati provenienti dai sensori di monitoraggio disposti lungo la rete ad un elaboratore centrale in modo da attivare gli organi di controllo dei flussi di portata; ciò rende possibile una verifica puntuale della risposta della rete fognaria al processo in atto.

Gli elementi principali su cui si basa questa metodologia innovativa sono i seguenti (figura 2):

1. un'accurata conoscenza delle caratteristiche della rete fognaria esistente. Tutti i dati relativi al sistema fognario in fase di studio (rilievi, mappatura, condotte, consumi, interventi di manutenzione, ecc.) possono essere immessi in un sistema informativo territoriale di caratteristiche idonee;
2. un'approfondita conoscenza del comportamento idraulico del siste-

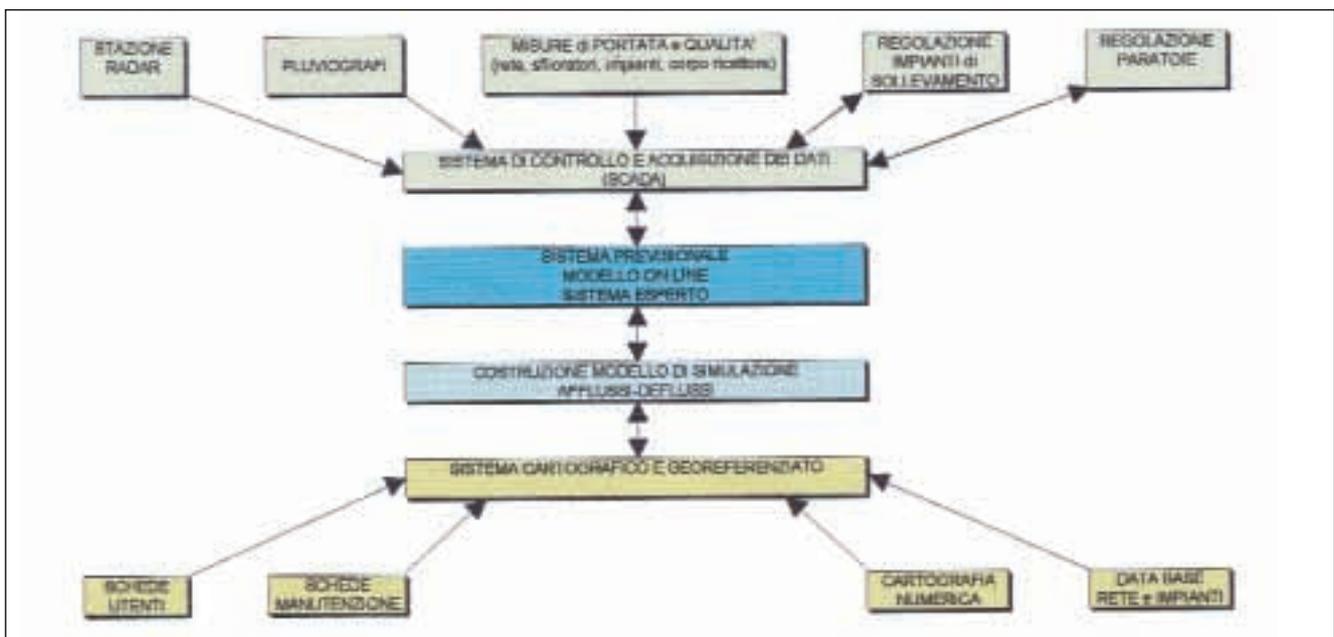
ma fognario sia in tempo asciutto sia in tempo piovoso attraverso la costruzione e la calibratura di un adeguato modello matematico di simulazione;

3. un monitoraggio ed un conseguente controllo dell'impianto fognario grazie alla realizzazione di un sistema di telecontrollo (definito in termini tecnici SCADA, cioè *System Control And Data Acquisition*) che consente di raccogliere e organizzare i dati provenienti dalle stazioni di controllo periferiche installate nei punti strategici del sistema. I dati raccolti possono riguardare misure di pioggia, livelli, portata, qualità dell'acqua, stato delle pompe, grado di apertura delle valvole, ecc. Tale operazione risulta tra l'altro auspicabile per gli impianti con potenzialità superiore a 100.000 abitanti equivalenti secondo quanto disposto dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 4 marzo 1996;
4. un sistema previsionale basato su un modello che simula il comportamento del sistema fognario (rete ed

impianto di depurazione) in funzione dei dati trasmessi dallo SCADA.

Questi quattro strumenti formano la base comune ad ogni RTCS (*Real Time Control System*). L'ordine secondo il quale sono stati elencati indica anche la precedenza di realizzazione. Infatti come primo passo è consigliabile sempre lo studio della rete fognaria seguito da una verifica sul campo; quindi si può procedere a delle prime simulazioni nelle diverse condizioni di funzionamento. A questo livello occorre verificare la correttezza e l'affidabilità del modello confrontando i valori simulati con quelli misurati forniti dal sistema di telecontrollo. Solo a questo punto si può attuare l'RTC vero e proprio modificando i regolatori dei flussi di portata in base ai dati meteorologici. L'acquisizione e l'elaborazione di tali dati permette infatti la realizzazione di due obiettivi principali:

- Individuare la distribuzione e la quantità degli afflussi meteorici in funzione delle diverse caratteristiche della rete e dell'obiettivo di controllo;



• Figura 2 - Scheda generale del sistema di telecontrollo in tempo reale.

- consentire la previsione dell'evoluzione della perturbazione, sia per attivare uno stato di preallarme per la effettiva attuazione del controllo in tempo reale, sia per migliorare la pianificazione del funzionamento dell'impianto.

Per rendere ottimamente operante un sistema RTC non ci si può limitare ad un controllo "reattivo" basato sull'azionamento degli organi di controllo in relazione alle variabili osservate (come le letture di livello nelle stazioni di pompaggio), ma bisogna adottare un controllo "previsionale" che utilizzi le informazioni disponibili nel generare un calcolo anticipato dello stato del sistema ad un intervallo di tempo specificato (orizzonte di controllo). La messa in opera della logica previsionale richiede un largo ricorso a modelli anche molto sofisticati per prevedere l'evoluzione degli eventi meteorici e il moto idraulico nelle condotte. Il tipico funzionamento di un algoritmo di controllo previsionale può essere sinteticamente riassunto nei punti seguenti:

1. in base alle informazioni meteorologiche raccolte dagli strumenti (telepluviometri, radar meteorologico, ecc.) viene periodicamente aggiornata la previsione dell'evoluzione dell'evento piovoso in atto;
2. mediante la modellazione matematica della trasformazione afflussi-deflussi viene effettuata la stima delle portate in ingresso nei diversi punti della rete fognaria, espressa in termini di ideogrammi;
3. tramite la simulazione dei diversi effetti di propagazione e sovrapposizione dei vari ideogrammi nelle condotte e nei manufatti vengono quindi calcolate le condizioni dinamiche di funzionamento della rete vera e propria;
4. in funzione di queste informazioni viene definito un possibile criterio di regolazione, che, dopo le opportune verifiche, viene eventualmente trasmesso al sistema SCADA per l'attuazione.

In realtà, dato che la modifica della regolazione effettuata al punto 4 dà luogo ad una variazione del comportamento della rete rispetto a quanto simulato nel punto 3, le due fasi risultano strettamente interdipendenti e devono essere strutturate in modo perfettamente coordinato.

L'intero procedimento viene periodicamente ripetuto nel tempo, dando luogo a successive correzioni dei parametri di regolazione man mano che il fenomeno meteorologico si evolve.

Risulta a questo punto evidente come la logica migliore di controllo dell'intero sistema dovrebbe essere sia di tipo "locale" (aggiornamento continuo della lettura dei livelli in ogni stazione di sollevamento) sia di tipo "centralizzato" (raccolta di tutte le informazioni e scelta della strategia di regolazione globale da adottare e trasmettere ai dispositivi locali).

Va sottolineato che ogni componente locale risulta essenziale per la gestione globale: infatti tale controllo è attuabile se e solo se sussiste uno scambio continuo tra i dati rilevati dal sistema fisico, i comandi del sistema centrale di supervisione e l'attivazione degli organi regolabili.

Viceversa nel caso in cui non funzioni perfettamente il sistema globale (se ad esempio si interrompono i collegamenti), i cicli di controllo locale possono ancora funzionare.

Tutto sta nel definire in fase di progetto a quale livello di controllo ci si vuole fermare; la scelta risulta condizionata dalla complessità del bacino studiato, dalla possibilità di posizionare strumenti di lettura in punti strategici e dall'affidabilità dei dati forniti.



3. Esempi applicativi

I primi studi per l'applicazione di tecniche di RTC alle reti fognarie risalgono ai primi anni '70 ma le realizzazioni pratiche di carattere sperimentale

sono ancora oggi scarse. Infatti la messa in opera di queste tecnologie richiedeva fino a pochi anni fa programmi di calcolo specifici e campagne di taratura e messa a punto lunghe, complesse ed onerose che solamente comprensori di grandi dimensioni potevano permettersi. Oggi, grazie alla comparsa sul mercato di programmi adattabili ai diversi casi specifici, è possibile applicare questa tecnologia anche ad esempi di modesta entità ed estensione.

La diffusione di queste tecnologie nel paese della CEE è oggetto di un progetto nell'ambito del programma comunitario denominato SPRINT (*Strategic Programme for Innovation and Technology Transfer*). Tale iniziativa, lanciata nel 1989, si pone l'obiettivo di incoraggiare la diffusione di nuove tecnologie all'interno della Comunità attraverso la cooperazione internazionale fra imprese, organizzazioni di ricerca ed investitori e di stabilire una metodologia generale per un'efficace applicazione di tali tecniche.

Tra i progetti destinatari di questa iniziativa rientra l'applicazione delle tecniche di controllo in tempo reale RTC ai sistemi di fognatura e drenaggio urbano. È prevista in tempi brevi la realizzazione di dieci impianti pilota in altrettante città europee: Bolton (Gran Bretagna), Copenhagen (Danimarca), VittoriaGasteiz (Spagna), Mantova, Lago di Garda, Genova (Italia), Salonicco (Grecia), Berlino (Germania), Parigi (Francia) e Göteborg (Svezia). Oltre alle amministrazioni dei comuni interessati, partecipano a questo progetto di Danish Hydraulic Institute (DK) fornitore del programma di simulazione del comportamento idrodinamico delle reti di drenaggio urbano MOUSE (*Modellin Of Urban SEwers*), il Water Reserch Center (GB) esperto in problematiche idrauliche e ambientali, la ANIberica (SP) e la società Generale di Ingegneria (I) in qualità di esperti locali.

Di seguito viene analizzato il progetto pilota della città di Mantova particolarmente significativo per estensione e per

il grado di avanzamento degli studi.

Il tessuto urbanistico intenso delle città antiche situate nel cuore della pianura Padana copre un'area di 360 ettari con la popolazione residente di 100.000 abitanti; è circondato su tre lati dai laghi Superiore, di Mezzo ed Inferiore ricavati dai meandri del fiume Mincio e dal canale Rio.

La rete di drenaggio urbano è di tipo misto e recapita verso un unico impianto di depurazione mediante una rete che presenta numerosi punti di sfioro aventi come recapito i laghi o i corsi d'acqua citati. L'obiettivo del progetto RTC è la tutela di questi bacini grazie ad una riduzione delle portate complessive scaricate dai manufatti di sfioro verso i laghi e i canali durante eventi piovosi intensi senza peraltro aumentare il rischio di allagamento delle aree urbane.

La rete fognaria ha origini molto lontane ed è caratterizzata dalla presenza di un canale di rilevanti dimensioni, denominato Fossa Magistrale, la cui funzione originale era quella di collegare i laghi Superiore ed Inferiore attraverso la città. Oggi invece esso è completamente tombinato e disconnesso dal resto della rete, ma viene ancora utilizzato come serbatoio di accumulo delle acque di supero provenienti dai diversi sfioratori della rete.

A causa della conformazione orografica del territorio, la fognatura presenta pendenze minime, collettori di grandi dimensioni e diverse stazioni di sollevamento. Per la completa eliminazione degli sfioro nel caso di eventi piovosi con tempo di ritorno inferiore all'anno è necessario l'utilizzo di volumi di accumulo in linea e fuori linea per un totale di 13.000 m³. Il solo miglioramento gestionale delle stazioni di sollevamento esistenti permetterebbe di utilizzare il volume della Fossa Magistrale (pari a circa 3.000 m³) che sommati ai volumi residui disponibili nei diversi punti della rete permetterebbe di raggiungere l'obiettivo finale senza richiedere la realizzazione di significativi interventi sulle strutture fognarie esistenti (soprattutto senza la costru-

zione di una vasca di ritenzione idrica che risulta assai costosa dal momento che sarebbe inserita in una zona urbana ad alta densità abitativa). La Fossa Magistrale è stata individuata come area che meglio si presta alla realizzazione di un sistema RTC perché presenta due caratteristiche fondamentali:

- condotte con una sezione molto ampia fino a 2,7 m x 2,2 m nel tratto finale;
- una capacità di invaso disponibile in rete di ben 3.000 m³, dei quali 2.000 possono essere utilizzati per regolazioni ai fini del RTC.

Lo scopo primario del progetto risulta essere la gestione automatizzata dei dispositivi di regolazione: in questo modo si dovrebbe garantire un afflusso costante all'impianto di trattamento e limitare al massimo l'azionamento delle idrovore per minimizzare il conseguente sversamento nei laghi.

Per far questo si è realizzato un sistema di telerilevamento e Telecomando SCADA costituito da una centrale operativa computerizzata posta presso l'impianto di depurazione e cinque stazioni periferiche dislocate sul territorio aventi le seguenti caratteristiche:

- una stazione di rilevamento meteorologico che misura l'intensità di pioggia, la temperatura, l'umidità relativa e la luminosità;
- una stazione di misura della portata del punto principale di sfioro verso la Fossa Magistrale;
- una stazione con funzione di comando delle pompe, di misura della portata sollevata e del livello della Fossa nonché di rilevamento di alcuni semplici parametri di qualità del liquame (temperatura, potenziale redox, pH e conducibilità);
- una stazione idrovora per il comando del sollevamento verso il lago Inferiore;
- una stazione di misura della portata in ingresso al depuratore.

L'impostazione progettuale si è rivolta verso un'ipotesi di dimensionamento dei volumi di accumulo in gradi di contenere il sesto evento piovoso dell'anno tipico, cui corri-

sponde un volume totale scaricato di 12.269 m³, di cui 4.610 nel sottobacino del progetto pilota; si accetta cioè che gli sfioratori entrino in funzione mediamente 5 volte all'anno contro le attuali 20÷30.

Prevedendo la realizzazione di volumi di accumulo per un totale di 13.000 m³, si può stimare in prima approssimazione che il volume medio annuo complessivamente scaricato nei laghi passi dagli attuali 280.000 m³ a circa 77.000 m³ con una riduzione di portate dei liquami nei sfiorati superiore al 30%.



4. Conseguenze dell'applicazione del sistema RTC

Allo stato attuale esistono fattori oggettivi che limitano l'applicazione generalizzata di tecnologie RTC nella prassi progettuale e costruttiva delle reti di fognatura urbana e dei relativi impianti di trattamento, pur riconoscendone i sostanziali vantaggi potenziali. Il primo tra questi fattori può essere definito come una "resistenza psicologica", da parte sia dei progettisti che dei tecnici, dovuta alla mancanza di esperienza diretta o indiretta su tali sistemi e, per contro, alla dimestichezza acquisita su sistemi di tipo tradizionale. Talvolta si aggiunge la diffidenza degli enti gestori delle reti che possono essere scoraggiati dalla scarsità di possibilità di confronto sui costi dei nuovi sistemi e della loro gestione.

Un secondo fattore è spesso identificabile nella difficoltà di ricostruire le caratteristiche dettagliate della rete, che cresce con la vetustà della stessa e il numero di rifacimenti subiti; una conoscenza incompleta può infatti generare errori anche notevoli in fase di simulazione. Un terzo fattore, spesso estremamente limitante, è la scarsa affidabilità di alcuni tratti di rete elettrica o di trasmissione dati che, sommata alla possibile fallanza della strumentazione di controllo, può vanificare la

presenza del sistema proprio in concomitanza degli eventi meteorici più critici. In pratica è ancora difficile stimare, per la scarsità della casistica disponibile, l'affidabilità e la robustezza dei sistemi RTC. D'altro canto nelle applicazioni esistenti sono evidenti i vantaggi che possono derivare dall'utilizzazione di questo sistema:

- riduzione degli allagamenti delle aree urbane depresse;
- minimizzazione delle frequenze di attacco-stacco delle pompe e dei volumi sollevati;
- riduzione delle spese per il pagamento degli addetti alla gestione della fognatura.

L'analisi dei casi studiati porta a concludere che la riduzione delle acque di supero può essere messa in relazione con il volume di stoccaggio esistente (dato dalla somma dei volumi di invaso dei bacini e dei collettori stessi). L'esperienza insegna che, grazie alla realizzazione di un sistema di controllo in tempo reale ottimamente funzionante, il volume di sfioro può subire una riduzione del 25% del volume di stoccaggio esistente. Oltre al tempo di

percorrenza del flusso e al volume statico di stoccaggio è anche opportuno tenere in considerazione l'influenza della capacità degli intercettatori sul tempo di permanenza del fluido all'interno della rete: il volume dinamico. A condizione che la strategia ottimale sia applicata, lo stoccaggio dinamico e quello statico hanno lo stesso potenziale di controllo. Un'altra considerazione importante riguarda l'aspetto economico. La tabella 1 riporta la previsione originaria dei costi per la realizzazione di progetti che sfruttano tecniche tradizionali mediante la sostituzione delle condotte malate con conseguente sventramento delle strade, oppure la separazione delle reti ed altri interventi che vengono eseguiti senza avere una conoscenza specifica del sistema fognario stesso. Le stime sono ricavate da un rapporto stilato dalla Società Generale di Ingegneria, una delle imprese partecipanti al programma Sprint. Nella seconda colonna della tabella sono evidenziati i costi totali delle opere realizzate utilizzando tecnologie moderne innovative.

Nella terza colonna vengono indicati

invece i costi di applicazione delle nuove tecnologie basate su indagini, rilievi, campagne di monitoraggio, modellazione, ecc. che consentono di intervenire in modo mirato sui punti critici del sistema dopo un'analisi accurata fondata su una profonda conoscenza del sistema fognario e delle sue condizioni attuali. La quarta colonna indica gli importi risultanti dalle economie prodotte dall'utilizzo delle nuove tecnologie. Nell'ultima colonna risulta infine evidente il rapporto apprezzabilmente favorevole tra i benefici e i costi.



Dr. Ing. Marco Battisti



Dr. Ing. Andrea Pedezzi

| PROGETTI | Costo Progetto con tecnologie tradizionali (ECU x 1000) | Costo Progetto con tecnologie innovative (ECU x 1000) | Costo Monitoraggio modello e analisi dei dati (ECU x 1000) | Risparmio di Spesa con tecnologie innovative (ECU x 1000) | Beneficio (Risparmio / costo progetto originale) % |
|--|---|---|--|---|--|
| Liverpool Est e Nord (UK): Piano di riabilitazione di bacino | 59.690 | 40.380 | 514 | 18.796 | 31,5 |
| Columbus (Ohio-USA): Ottimizzazione della rete e riduzione delle portate sfiorate | 5.100 | 3.150 | 1.200 | 750 | 14,7 |
| Old Ham Est (UK): Piano di bacino - modellazione, calibratura, ispezioni televisive | 63.500 | 55.372 | 254 | 7.874 | 12,4 |
| Bolton (UK): Piano di riabilitazione di bacino - modellazione, calibratura, ispezioni televisive | 38.100 | 26.631 | 381 | 11.088 | 29,1 |
| Thames Side (UK): Piano di bacino - modellazione, calibratura, ispezioni televisive | 50.800 | 27.711 | 300 | 22.789 | 44,9 |
| Washington(USA): Progett. di un sistema di ritenzione pioggia e riduzioni infiltrazioni (ADS) | 3.480 | 1.440 | 96 | 1.944 | 55,9 |
| Francoforte (D): Analisi capacità e modellazione | 85.200 | 54.000 | 2.760 | 28.440 | 33,4 |
| Mantova (I): Piano di bacini - monitoraggio, modellazione e RTC | 65.000 | 30.000 | 500 | 34.500 | 53,1 |
| Jesolo (I): Piano di riabilitazione del sistema fognario nella zona del faro | 7.500 | 2.390 | 450 | 4.660 | 62,1 |
| Montebelluna (I): Piano di riabilitazione di bacino | 7.000 | 3.800 | 350 | 2.850 | 40,7 |

• Tabella 1 - Rapporto benefici - costi derivanti dall'applicazione del sistema RTC (SGI).