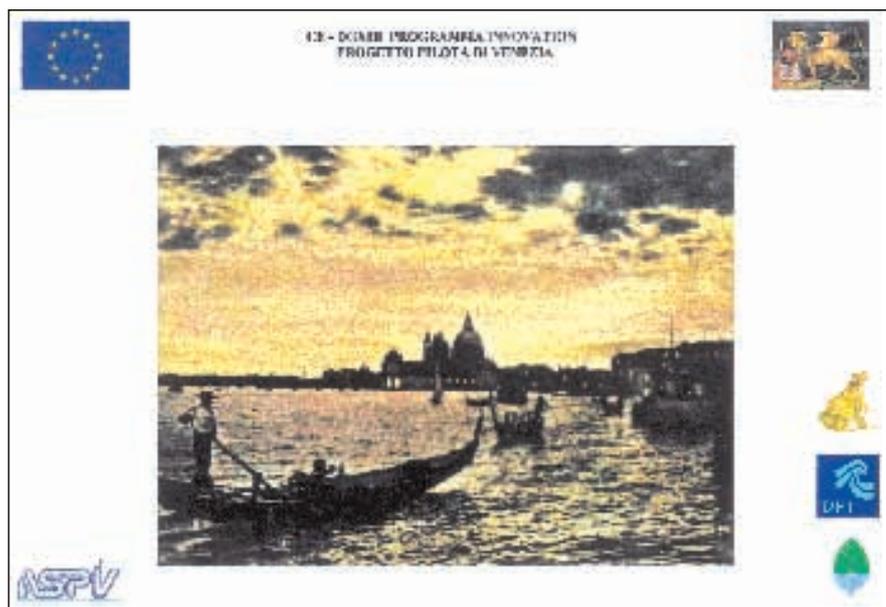


## “Aspetti innovativi nella gestione integrata del ciclo di smaltimento delle acque reflue”



### // 1. Premessa

19 Partners (utenti finali, istituti di ricerca e consulenti) provenienti da 6 paesi della Comunità Europea, (Danimarca, Francia, Italia, Spagna, Svezia, Gran Bretagna) hanno costituito un consorzio per l'implementazione del progetto "Integrated Planning And Management Of Urban Drainage Wastewater System And Receiving Water Systems" sponsorizzato dalla Comunità Europea nell'ambito del programma INNOVATION.

L'obiettivo principale del progetto è quello di dimostrare come un approccio integrato alla pianificazione delle opere di disinquinamento ed alla loro gestione, basato sulla modellazione numerica dei sistemi di smaltimento, consenta di realizzare consistenti economie sia in fase di programmazione che di gestione.

Il progetto si articola nei seguenti 4 gruppi fondamentali di attività:

#### 1. Sviluppo/adattamento di tecnologie innovative:

- individuazione degli standard di qualità ottimali per eventi intermittenti;
- implementazione delle procedure ottimali per il monitoraggio dei sistemi di smaltimento e trattamento;
- sperimentazione di sensori ottimizzati per il monitoraggio della qualità dell'acqua;
- adattamento e miglioramento delle procedure di pianificazione e gestione integrata;
- adattamento ed ottimizzazione dei pacchetti software per la generazione statistica delle piogge storiche;
- integrazione delle procedure di sviluppo e utilizzazione dei modelli;
- integrazione delle procedure di supervisione e controllo in tempo reale dei sistemi che compongono il ciclo di smaltimento.

2. **Progetti Pilota** finalizzati a dimostrare la validità tecnico-economica dell'approccio integrato e delle corrispondenti tecnologie applicate. Il progetto "Integrated Wastewater" comprende 6 progetti pilota, in

ing. Augusto Pretner  
Società Generale di Ingegneria (SGI SpA)  
E-mail: augusto.pretner@sgi-spa.it

ing. Alessandro Bettin  
Società Generale di Ingegneria (SGI SpA)  
E-mail: alessandro.bettin@sgi-spa.it

altrettante città europee: Venezia, Genova, Barcelona (ES) Bordeaux (F), Helsingborg (SE) Oldham (GB), attualmente in corso di realizzazione, ciascuno dei quali affronta diversi aspetti del ciclo integrato.

**3. Disseminazione**, finalizzata alla divulgazione dei risultati del progetto e all'individuazione di utilizzatori potenziali delle tecnologie implementate nei progetti Pilota. L'attività si concretizza con la preparazione di materiale divulgativo e di supporto (newsletters, sito internet, CD-ROM) e l'organizzazione di conferenze e workshop.

**4. Project Management:** coordinamento delle singole attività, rapporti con la Commissione Europea, gestione amministrativa e tecnica del progetto.

Negli ultimi 20 anni si è assistito, a livello mondiale, a un notevole aumento dei costi di trasporto e trattamento dei liquami grazie alla maturazione progressiva di una maggiore coscienza dei problemi ambientali ed al conseguente sviluppo di standard di qualità sempre più restrittivi. Mentre i benefici derivanti dai massicci programmi di investimento in campo ambientale sono chiari, le modalità per ottenere tali benefici minimizzando i costi degli interventi sono molto meno ovvie. Nonostante diversi paesi europei abbiano messo a punto gli standard e le linee guida per la gestione dei sistemi fognari e degli impianti di depurazione, emerge un problema comune: in nessun caso si è tenuto conto di una gestione integrata del ciclo di smaltimento.

Una corretta comprensione del sistema non può essere raggiunta focalizzando l'attenzione su ciascuno dei suoi componenti separatamente, in quanto il funzionamento delle diverse fasi (trasporto in fognatura, depurazione, scarico nei corpi ricettori) è strettamente correlato.

In poche parole, le soluzioni ottimali in

termini di investimenti, gestione e programmi, possono raggiungersi solamente seguendo un approccio integrato dell'intero ciclo di smaltimento delle acque reflue, in modo da ottenere finalmente un ambiente più pulito e fruibile, e, se l'Europa intende raggiungere questo ambizioso risultato tali soluzioni ottimali risultano strettamente necessarie ed urgenti.

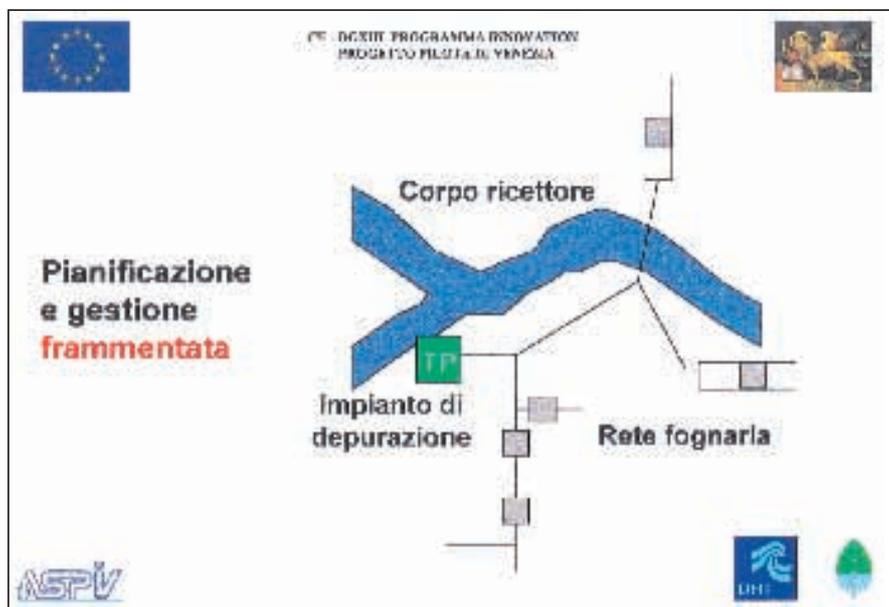
## 2. Situazione attuale

Negli ultimi anni, parallelamente alla determinazione di nuovi standard sempre più restrittivi, grazie allo sviluppo di nuove tecnologie e all'utilizzo di processori sempre più potenti sono stati messi a punto sistemi avanzati di analisi e di gestione ambientale. Modelli numerici, applicazioni GIS, sistemi di controllo e acquisizione dati in tempo reale, sono già ampiamente utilizzati

da diversi Enti gestori come strumenti di pianificazione e gestione dei sistemi urbani di smaltimento.

Tuttavia, nonostante i buoni risultati raggiunti, i nuovi strumenti sono stati sviluppati seguendo la logica tradizionale basata sulla suddivisione rigida del sistema di smaltimento in tre sottosistemi indipendenti: la rete di fognatura, l'impianto di depurazione e la rete dei canali ricettori.

Tale frammentazione è presente a tutti i livelli e si manifesta soprattutto nella mancanza di un programma unitario di gestione, nella difficoltà di comunicazione dei vari Enti responsabili dei singoli sottosistemi e nell'assenza di una pianificazione economica ottimale degli interventi. I modelli numerici di tipo deterministico costituiscono ormai efficaci strumenti di progettazione, gestione e pianificazione. Tuttavia, tali modelli sono stati sviluppati separatamente per ciascun sottosistema. La comunicazione tra di essi è resa difficile a causa dell'incompatibilità tra i diversi pacchetti software e delle differenti leggi che regolano i singoli processi. Tutto ciò, allo stato attuale rende diffi-



• Figura 1 - Il sistema di smaltimento è caratterizzato da diverse componenti

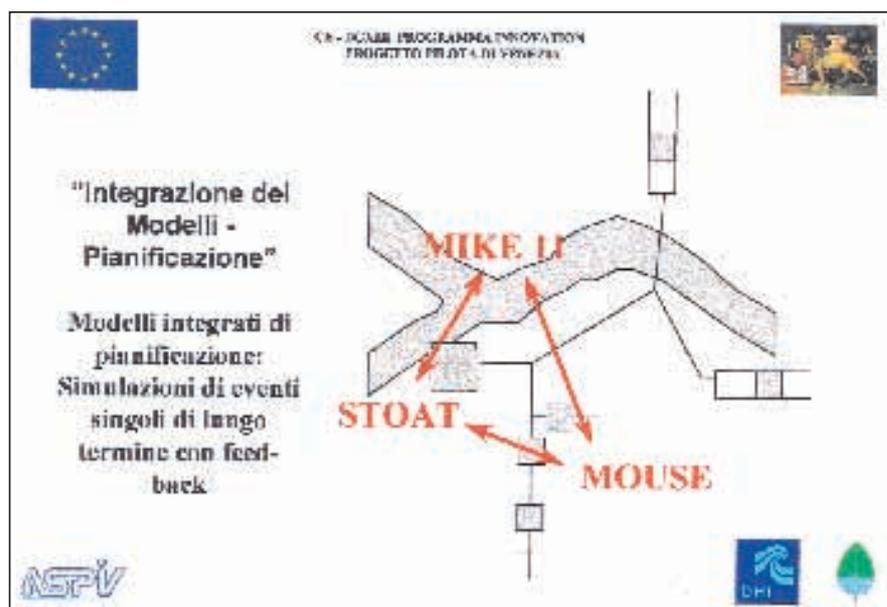
cile se non impossibile analizzare il sistema di drenaggio in modo integrato. Appare quindi chiaro come una stretta integrazione risulti essenziale ai fini di una migliore conoscenza e di un più efficace ed economico approccio alla pianificazione e alla gestione dei sistemi.

### 3. Importanza dell'approccio unitario

Il Progetto Pilota di Venezia, basandosi su un approccio metodologico efficace ed innovativo si pone quindi i seguenti obiettivi prioritari:

- Sviluppare strumenti e metodologie per la pianificazione e la gestione integrata del bacino di smaltimento urbano e industriale di Mestre-Marghera.
- Ridurre gli allagamenti durante gli eventi meteorici critici, mediante l'ottimizzazione dei volumi d'invaso disponibili e di quelli futuri.
- Controllare, quantificare e diminuire il carico inquinante sversato nella Laguna individuandone i punti e le modalità di generazione.
- Migliorare la pianificazione delle ingenti opere programmate e finanziate nei prossimi 5 anni.
- Ottimizzare il funzionamento e la gestione della rete fognaria e dell'impianto di depurazione in modo da rispettare gli standard di qualità prescritti per la laguna di Venezia.
- Valutare l'estendibilità dell'approccio integrato all'intero bacino scostante.

L'esecuzione del progetto, iniziato nel novembre 1996, è attualmente in linea con la programmazione iniziale. Sono



• Figura 2 - L'integrazione dei modelli rappresenta il principale obiettivo del progetto

in avanzata fase di esecuzioni le attività di costruzione e calibrazione dei modelli, nonché lo sviluppo delle procedure di integrazione dei singoli software (MOUSE per le reti di fognatura, STOAT per l'impianto di depurazione, MIKE 21 per la Laguna). Il progetto verrà completato nel novembre 1999.

### 4. L'area di intervento

Il bacino scostante nella laguna di Venezia si estende su una superficie di 185.000 ha e comprende 90 Comuni delle province di Venezia, Treviso e Padova. Negli ultimi 50 anni, l'incremento esponenziale delle attività antropiche ha determinato un forte aumento del carico prodotto con il conseguente e progressivo degrado dell'ambiente lagunare.

Si stima che, su un totale di circa 9000 t/anno di azoto generate nel bacino

scostante, circa 7000 vengano scaricate in Laguna. Tenendo conto che i limiti di tollerabilità per l'azoto nella Laguna di Venezia sono valutati in 3000 t/anno, il bilancio complessivo presenta un eccesso di ben 4000 t/anno.

Secondo stime effettuate, la generazione totale di azoto nel bacino scostante (9000 t/anno), è così scomponibile: 3100 t/a per apporti urbani ed industriali (35%), 4900 t/anno per apporti di origine agricola e zootecnica (54%), 1000 t/anno da altre fonti (11%).

L'apporto urbano ed industriale complessivo è stimato in circa 1.500.000 abitanti equivalenti (residenti + turisti) ed in circa 1.000.000 abitanti equivalenti (AE) di tipo industriale, per un totale complessivo di 2.500.000 AE. Circa il 50 % del carico inquinante complessivo viene trattato dagli impianti di depurazione realizzati.

Il territorio del Comune di Venezia, con una superficie di circa 4.000 ha, costituisce il 2% dell'intero bacino scostante. Presenta una popolazione di 320.000 abitanti dei quali 1/3 residenti nell'area insulare e costiera (Venezia, Murano, Burano, Torcello, Lido, Ca-

vallino e le isole minori) e 2/3 nella terraferma (Mestre, Marghera).

Nel Comune di Venezia, sono concentrate circa il 30% della popolazione e delle attività produttive dell'intero bacino scolante. La presenza turistica raggiunge punte di circa 300.000 persone prevalentemente a Venezia e sulla costa adriatica (Lido, Cavallino).

A Marghera è presente un'area portuale ed industriale di circa 1500 ha, con prevalenti attività di base (petrolchimico) ed un carico in abitanti equivalenti di circa 400.000 unità di cui il 50% è trattato all'interno degli stabilimenti.

Il sistema urbano di smaltimento è suddiviso in due bacini fognari principali, il primo a Nord, con circa 110.000 abitanti in un'area di 900 ha, sotteso dall'impianto di depurazione di Campalto che ha una potenzialità di circa 135.000 AE ed il secondo a Sud con circa 100.000 abitanti in un'area di 800 ha sotteso dall'impianto di depurazione di Fusina. Si valuta che circa 400-500 t/a di azoto (pari al 5% del totale per tutto il bacino scolante) vengano attualmente scaricate in laguna sia come drenaggio urbano ed industriale che come residuo della depurazione.

L'area di applicazione del Progetto Pilota coincide con il *bacino di Fusina*. Esso recapita all'impianto di depurazione i reflui provenienti da tre grossi sottobacini di diversa tipologia: l'area comunale prettamente urbana (Mestre, Marghera Gazzera, Chirignago), il bacino industriale e il bacino esterno del Consorzio del Mirese (comuni limitrofi).

L'area comunale ha una estensione complessiva di circa 2000 ha con una popolazione di 100.000 abitanti su una superficie urbana di circa 800 ha. Le fognature del bacino urbano sono prevalentemente di tipo misto; i superi di piena principali, presso le stazioni di pompaggio di Cà Emiliani e Zelarino, sono sollevati da impianti idrovori e quindi scaricati in un sistema di canali (Lusore e Naviglio Brenta) collegati a

valle con la Laguna. L'area urbana è soggetta a frequenti allagamenti ed i superi di piena provocano forti inquinamenti nei corpi idrici ricettori.

Per ovviare a questi problemi sono stati pianificati e finanziati grandi interventi consistenti essenzialmente nella costruzione di 5 serbatoi di accumulo per complessivi 42.000 m<sup>3</sup> e nel potenziamento e ristrutturazione dell'idrovora principale di Cà Emiliani (20 m<sup>3</sup>/s).

L'area industriale di Porto Marghera (1500 ha), è servita da un collettore con 7 impianti di sollevamento che raccoglie gli scarichi prevalentemente di tempo asciutto e li recapita nel collettore terminale di Fusina; in tempo di pioggia il carico diffuso viene sversato direttamente in laguna senza alcun controllo. Il Consorzio del Mirese raggruppa 17 Comuni dell'entroterra veneziano per una popolazione complessiva di oltre 200.000 abitanti in una superficie di 45.000 ha. Attualmente il Consorzio serve una popolazione di circa 100.000 abitanti i cui reflui vengono recapitati mediante un impianto di sollevamento, direttamente al collettore terminale di Fusina e quindi all'impianto di depurazione. Le attività del progetto pilota di Venezia sono concentrate principalmente sull'area urbana di Mestre-Marghera, sul bacino industriale di Porto Marghera e sull'impianto di depurazione di Fusina.



## 5. Attività fondamentali

### Database di sistema

La prima fase operativa consiste nell'acquisizione e l'organizzazione di tutti i dati relativi al sistema di smaltimento (rete fognaria, impianto di depurazione, corpi idrici ricettori). A tale

scopo è stato predisposto un programma mirato di rilievi dei collettori principali della rete urbana e industriale, delle apparecchiature idrauliche (stazioni di pompaggio, sfioratori) e delle sezioni dei corpi idrici ricettori in prossimità degli sfioratori. È stato inoltre effettuato un censimento di tutti gli scarichi industriali visibili dalle banchine portuali (ubicazione, stato di funzionamento, dimensioni dello scarico). Attualmente L'ASPIV (Ente gestore delle fognature dell'impianto di depurazione e dell'acquedotto comunale) dispone di un sistema di telemetria esteso alle stazioni di pompaggio della rete industriale e ad alcuni punti dell'impianto di depurazione (ingresso, uscita, e processi principali). Il sistema acquisisce in continuo i dati di campo provenienti da misuratori di portata e analizzatori, ed è programmato per gestire e visualizzare una serie di allarmi al manifestarsi di certi eventi (mancato funzionamento pompa, sfioratore in funzione).

Il database di sistema è stato completato mediante l'analisi ed elaborazione dei dati storici (circa 2 anni), in parte provenienti dal sistema SCADA esistente, relativi a: misure di portata nei punti principali della rete, stato funzionamento pompe, precipitazioni meteoriche, escursioni di marea. Tali serie storiche costituiscono i dati di input per l'effettuazione delle simulazioni idrauliche di lungo termine con i modelli matematici, nonché per l'affinamento della calibrazione dei modelli stessi.

### Costruzione modello matematico della rete e dell'impianto di depurazione

Acquisiti i dati relativi allo stato di fatto, si è proceduto alla costruzione del modello di rete utilizzando il software MOUSE 4.0 DHI. Il modello compren-



• Figura 3 - L'impianto di depurazione è dotato di un moderno sistema di acquisizione dati

de le condotte e le apparecchiature principali (stazioni di pompaggio, sfiatori, vasche di accumulo) della rete urbana e industriale del bacino di Fusina fino all'impianto di depurazione. Contestualmente è stato implementato il modello matematico dell'impianto di depurazione di Fusina mediante

software STOAT WRc.

### Campagna di monitoraggio portata e qualità nella rete e nell'impianto

Per aumentare l'affidabilità previsionale di un modello idraulico, è necessario

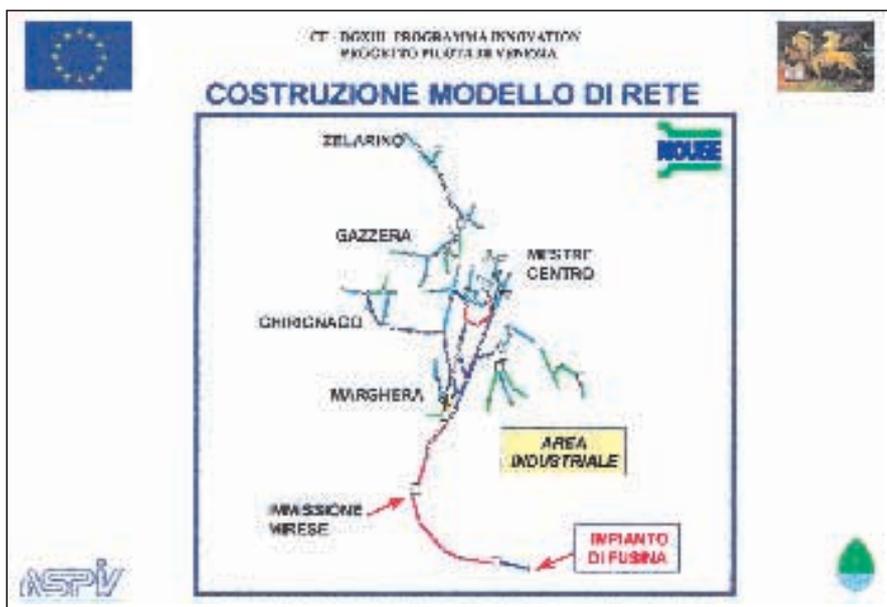
calibrarlo in modo da rendere idraulicamente congruenti i fenomeni misurati (portate, livelli e parametri di qualità) con quelli simulati in determinate condizioni di funzionamento. È stata quindi effettuata una campagna di monitoraggio di piogge, portate e qualità durante il periodo compreso tra il 21 Luglio 1997 ed il 17 Dicembre 1997. Sono stati installati n° 7 strumenti per la rilevazione di livelli e velocità all'interno delle condotte di fognatura mista e n° 3 pluviometri per la registrazione delle precipitazioni meteoriche.

I dati di qualità sono stati acquisiti tramite n° 5 campionatori automatici dislocati in punti opportuni del sistema di fognatura e la successiva analisi in laboratorio dei seguenti parametri: fosforo, ammoniaca e COD.

Nello studio dei deflussi urbani la qualità delle acque assume notevole interesse sia per la valutazione dell'impatto degli scarichi sui corpi idrici ricettori, sia di conseguenza per la programmazione degli interventi di disinquinamento e la gestione del sistema (rete di drenaggio e impianti di depurazione).

Nell'ottica di un approccio globale, l'obiettivo fondamentale della campagna di monitoraggio qualità è quello di reperire una serie di dati finalizzata alla calibrazione del modulo MOUSE TRAP, che integrandosi con il modulo MOUSE idrodinamico, è in grado di simulare i fenomeni di avvezione-dispersione e i processi di qualità che si sviluppano all'interno dei collettori fognari in particolare durante gli eventi meteorici.

Allo scopo di valutare gli impatti qualitativi sull'ambiente esterno causati dall'attivazione degli sfiatori, e più in generale le relazioni piogge-portate-qualità, è necessario che le misure dei parametri chimici prescelti vengano effettuate contemporaneamente alle misure dei parametri idraulici (portate). Nell'ambito del progetto INNOVATION, il modello di qualità, unitamente al modulo idrodinamico, viene uti-



• Figura 4 - Schema del modello di rete implementato in MOUSE

lizzato per valutare l'andamento dei carichi organici in ingresso all'impianto di depurazione di Fusina nonché i quantitativi totali scaricati, tramite gli sfioratori, durante gli eventi meteorici nei corpi ricettori esterni e quindi nell'ambiente lagunare.

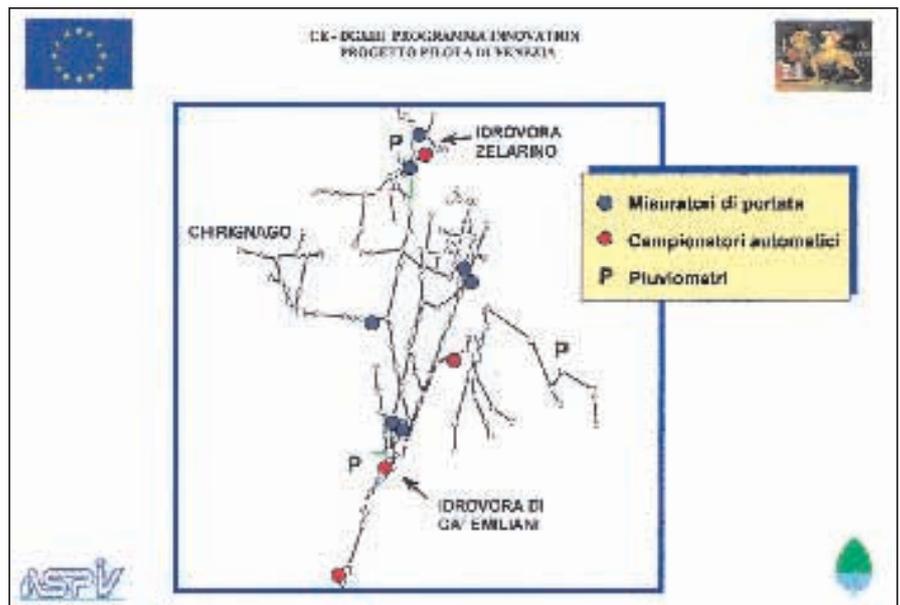
Complessivamente sono stati rilevati 11 eventi meteorici. I tre eventi più significativi in termini di deflussi generati nei collettori di controllo, sono stati scelti per la calibrazione del modello MOUSE.

### Calibrazione dei modelli

Con i dati provenienti dalla campagna di monitoraggio, si procede con la calibrazione dei modelli della rete e dell'impianto, in modo da ottenere degli strumenti previsionali affidabili per la simulazione di diversi scenari sia in termini di portata che di qualità.

Per quanto riguarda il modello MOUSE si procede inizialmente alla calibrazione delle condizioni di tempo asciutto. Sulla base del numero di abitanti contribuenti, è possibile individuare l'andamento delle portate di tempo asciutto effettivamente generate tenendo conto dei dati provenienti dai consumi idrici. La differenza tra le portate effettivamente misurate in condizioni di tempo secco e le portate nere calcolate, consente di valutare l'entità dell'infiltrazione media durante il periodo di analisi che nel caso in esame coincide con i giorni 25-26 settembre 1997.

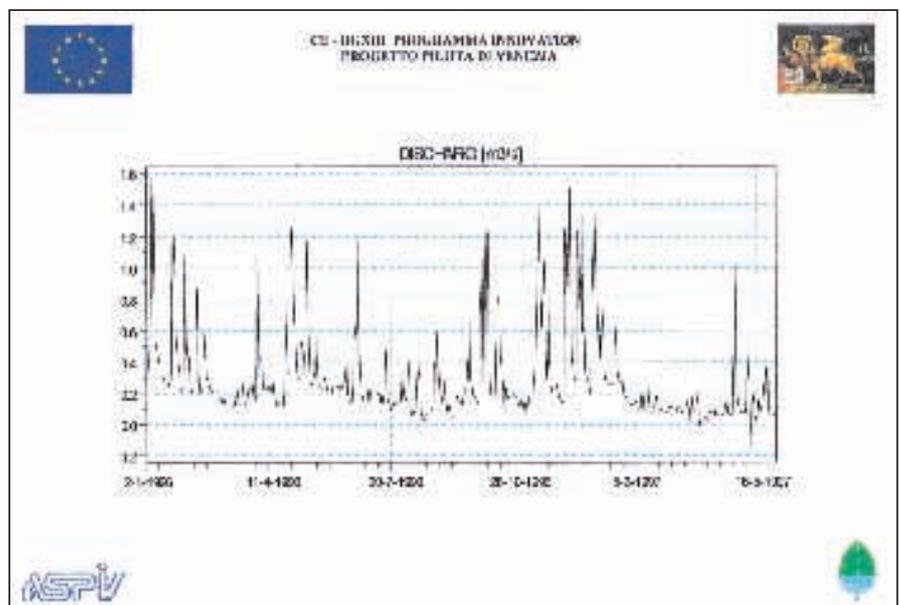
L'andamento dell'infiltrazione non rimane costante nel tempo, bensì, come si evince dalla figura 6, che rappresenta la portata media giornaliera in ingresso all'impianto di depurazione di Fusina, varia stagionalmente e dipende essenzialmente dal regime di precipitazione e dall'andamento del livello della falda freatica. Si può vedere come i livelli minimi di portata aumentino durante periodi ricchi di precipitazioni (Gen-



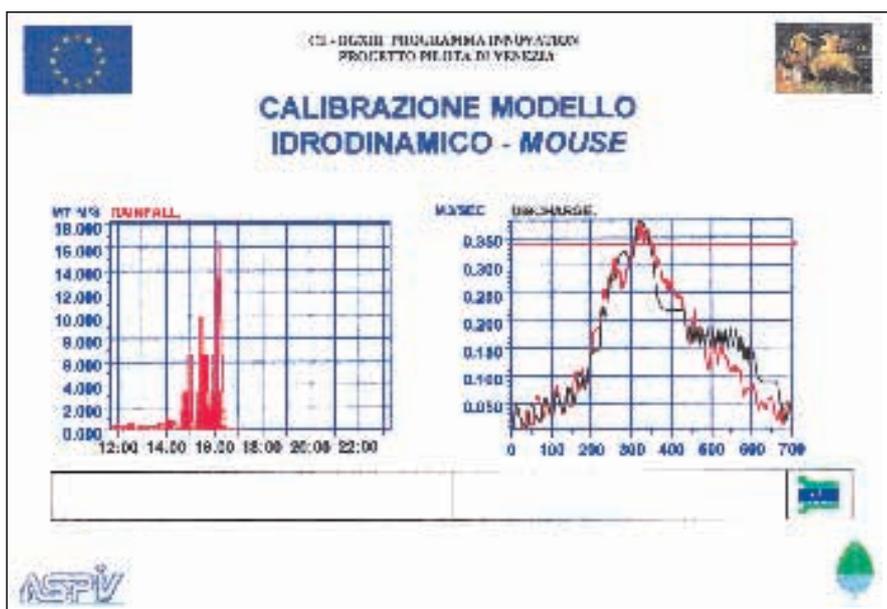
• Figura 5 - Ubicazione degli strumenti utilizzati per la campagna di monitoraggio piogge-portate-qualità

naio 1997). In pratica le portate generate da un evento meteorico dipendono da due componenti una "veloce" (FRC-Fast Response Component) e una "lenta" (SRC-Slow Response Component). La prima determina il deflusso immediato delle portate nei col-

lettori dipendentemente dai parametri di permeabilità del suolo e dai tempi di corrvazione e non dipende dalle condizioni idrologiche locali, la seconda, invece è strettamente correlata alle condizioni idrologiche precedenti l'evento (livello della falda, umidità nel terreno,



• Figura 6 - Grafico delle portate medie giornaliere in ingresso all'impianto di Fusina



• Figura 7 - Il modello (grafico colore nero) viene tarato con le misure di campo (colore rosso)

evapotranspirazione) e determina un'infiltrazione differita nel tempo. Il modulo MOUSE NAM permette di calibrare la componente "lenta" del deflusso (SRC), mediante simulazioni di lungo termine (da 1 a 3 anni) utilizzando le serie storiche delle precipitazioni e confrontando i risultati con gli idro-

grammi di portata misurati durante lo stesso periodo nella sezione terminale (ingresso impianto). Una volta calibrato il modello idrologico si effettua la taratura della curva di tempo asciutto giornaliera e quindi la calibrazione del modulo MOUSE idrodinamico (FRC) utilizzando tre eventi caratteristici mi-

surati durante la campagna di monitoraggio. L'ultima fase è caratterizzata dalla calibrazione dei parametri di qualità in condizioni di tempo asciutto e durante due eventi meteorici significativi utilizzando il modulo MOUSE TRAP, che, integrandosi con il modulo MOUSE idrodinamico, è in grado di simulare i fenomeni di avvezione-dispersione e i processi di qualità che si sviluppano all'interno dei collettori fognari in particolare durante gli eventi meteorici.

### Integrazione dei modelli

Tale attività, in fase di attuazione, prevede lo sviluppo di un ambiente unitario di simulazione basato sull'integrazione dei singoli modelli calibrati (MOUSE e STOAT) che consenta l'effettuazione di simulazioni di lungo termine e l'analisi statistica degli eventi (ad esempio frequenza degli sfioratori e quantitativi sversati in laguna).

Il modello integrato verrà successivamente esteso comprendendo anche il modello quali-quantitativo esistente della laguna (già costruito e calibrato dal DHI in un precedente progetto utilizzando MIKE 21) opportunamente adattato e ottimizzato. Attualmente il modello è utilizzato dal Centro Maree come strumento di previsione e allarme nella gestione delle acque alte.

È previsto un livello di integrazione che consenta simulazioni dei singoli moduli in parallelo con *feed-back* e cioè con trasmissione dati dinamica da valle verso monte (ad esempio il modello della Laguna, durante le simulazioni integrate, potrà fornire come input i livelli di marea al modulo MOUSE idrodinamico della rete).

### Applicazione dei modelli per lo studio del sistema

L'attività in esame consiste nell'utiliz-



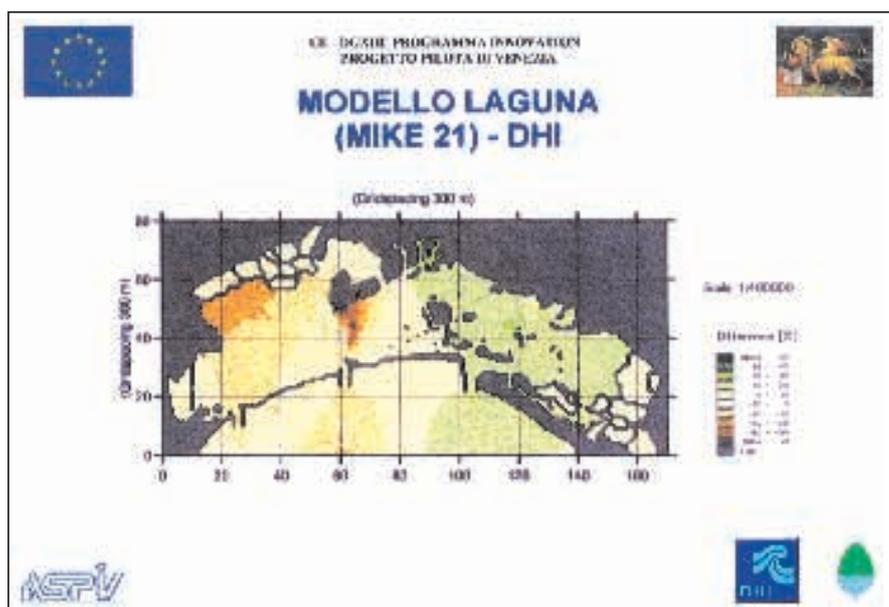
• Figura 8 - Il modello STOAT simula le fasi di trattamento dal punto di vista idraulico e processistico

zazione del modello integrato con simulazioni di lungo termine sia nella situazione corrente che in diversi scenari gestionali e progettuali. In particolare le simulazioni consentono di:

- Valutare le “prestazioni idrauliche” del sistema di smaltimento in condizioni meteoriche critiche (allagamenti, sversamenti nel corpo idrico ricettore, livello di utilizzazione degli invasi disponibili).
- Misurare i miglioramenti idraulici determinati dagli interventi strutturali già pianificati (diminuzione degli allagamenti, riduzione della frequenza degli sfiori, migliore sfruttamento degli invasi).
- Quantificare gli inquinanti totali sversati nella Laguna dagli sfioratori e dall’impianto di depurazione sia nella situazione corrente che nelle diverse ipotesi progettuali.
- Sviluppare strategie di controllo per l’ottimizzazione della gestione misurando i miglioramenti idraulici e qualitativi mediante simulazioni statistiche di lungo periodo.
- Ottimizzare gli interventi mediante la predisposizione di un programma prioritario.

## Linee guida per gli standard di qualità

Partendo dai risultati ottenuti, verranno concordati con gli Enti Istituzionali (Provincia, Regione, USL, Magistrato alle Acque, Ministero dell’Ambiente), le modalità di gestione ottimale per il raggiungimento degli standard di qualità.



• Figura 9 - Modello quali-quantitativo della Laguna di Venezia