



Acquedotto 4.0

Strumenti a supporto delle decisioni per l'adattamento del servizio idropotabile alle nuove problematiche emergenti

23/05/2017

Presentazione Carlo Ciaponi

Università degli Studi di Pavia

In collaborazione con



Con il supporto di





ACQUEDOTTO 4.0

***Strumenti a supporto delle decisioni per l'adattamento del servizio idropotabile
alle nuove problematiche emergenti***

Pavia 23/05/2017

Sistemi di monitoraggio della qualità dell'acqua nelle reti di distribuzione: problemi e prospettive

Carlo Ciaponi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura

Università degli Studi di Pavia

Via Ferrata, 5 - 27100 Pavia

ciaponi@unipv.it

Questa presentazione è stata preparata al solo scopo di supportare, attraverso la sua proiezione, la relazione tenuta dall'autore nell'ambito del Convegno e non può essere diffusa, riprodotta (nemmeno in parte) o pubblicata, senza l'autorizzazione dell'autore.

A seguito della **Direttiva Europea 2015/1787** si sta introducendo anche in Italia (seppur in forma ancora facoltativa e sperimentale) **un nuovo approccio alla sicurezza del consumatore** attraverso l'implementazione dei:

PIANI DI SICUREZZA DELL'ACQUA (PSA)

(Istituto Superiore Sanità, 2014)

WATER SAFETY PLANS (WSP)

(World Health Organization, 2004)

OBIETTIVO: garantire che la qualità dell'acqua sia adeguata ai livelli qualitativi attesi per la tutela della salute umana in tutti i punti in cui è disponibile per il consumo

Implementazione PSA:

- Analisi del sistema
- Analisi dei rischi di contaminazione
- Definizione misure di monitoraggio
- Definizione piani di azione di gestione dei rischi prioritari
- Definizione piani di azione di gestione delle emergenze

Oggetto del PSA:

- Tutta la filiera di produzione ed erogazione dell'acqua potabile

OGGI:

approccio basato sulla sorveglianza
(approccio retrospettivo)



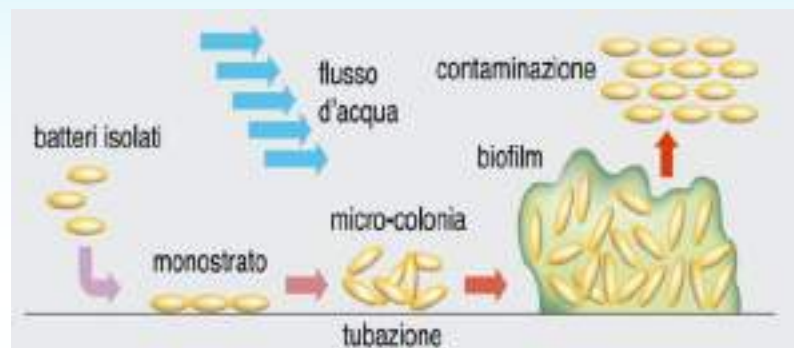
DOMANI:

approccio basato sulla valutazione e gestione del rischio
(approccio preventivo)

La rete di distribuzione rappresenta l'elemento più complesso da analizzare e gestire per quanto riguarda la sicurezza circa la qualità dell'acqua distribuita

NELLE RETI DI DISTRIBUZIONE LA CONTAMINAZIONE PUO' ESSERE:

A) ENDOGENA



B) ESOGENA

accidentale



intenzionale





Rischio di contaminazione diffuso
il rischio di contaminazione riguarda
in uguale misura tutti i punti della rete



Difficoltà di prevenzione e controllo

**Programmi
di
Ricerca**

**Sistemi di monitoraggio continuo
(Online Water Quality Monitoring)
(OWQM)**

**Sistemi di allarme precoce
(Early Warning Systems)
(EWS_s)**

CHE COSA E'

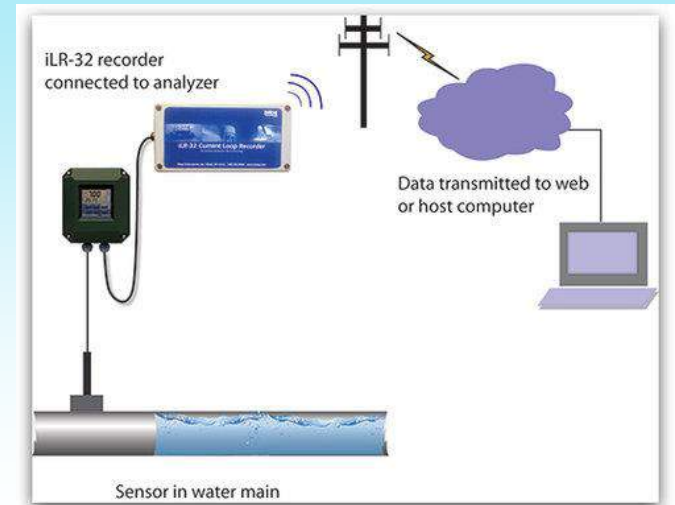
un sistema di monitoraggio continuo e di allarme precoce ?

Un insieme di dispositivi, collegati alla rete, capaci di effettuare *in situ*, in tempi molto brevi e in modo automatico, l'analisi desiderata e di trasmettere i risultati ad un apparato centrale di controllo in grado di interpretare i risultati e di attuare le programmate azioni di allarme

COME DEVE ESSERE

[Istituto Superiore di Sanità, 2004; European Commission, 2013]:

- dare una risposta rapida con elevato grado di automazione
- includere una gamma ampia di potenziali contaminanti
- Presentare un numero basso di falsi positivi e assenza di falsi negativi
- Non richiedere una frequente calibrazione
- Non richiedere una manutenzione onerosa
- Consentire l'acquisizione in diversi punti della rete
- Consentire la trasmissione dei dati ad una centrale di elaborazione
- Essere dotato di un sistema esperto per l'interpretazione dei dati



PROBLEMA

Ampio spettro delle possibili sostanze contaminanti

VS

Limitata capacità di analisi dei dispositivi utilizzabili in sistemi di monitoraggio in continuo

Rilevamento di parametri chimico-fisici standard facili da monitorare *in situ* (indicatori di contaminazione)

(pH – cloro residuo – TOC - conducibilità elettrica – torbidità – potenziale redox)

La presenza di contaminanti deve portare ad un'alterazione misurabile di uno o più indicatori

Progetto WaterSentinel (US-EPA 2005):

- Assumendo i tre parametri indicatori indicati in figura, tutti i contaminanti appartenenti a 11 delle 12 classi considerate (esclusa classe 6: agenti guerra chimica), hanno determinato variazioni per almeno uno degli indicatori.
- Le risposte più efficaci sono date dal cloro residuo e dal TOC
- Il cloro residuo è un indicatore molto sensibile (in grado di variare in modo significativo e misurabile a fronte di concentrazioni di contaminante di 1 o 2 ordini di grandezza inferiori a quelle letali

Contaminant Detection Class	Description
1	Petroleum products
2	Pesticides (chlorine reactive)
3	Inorganic compounds
4	Metals
5	Pesticides (chlorine resistant)
6	Chemical warfare agents
7	Radionuclides
8	Bacterial toxins
9	Plant toxins
10	Pathogens causing diseases with unique symptoms
11	Pathogens causing diseases with common symptoms
12	Persistent chlorinated organic compounds

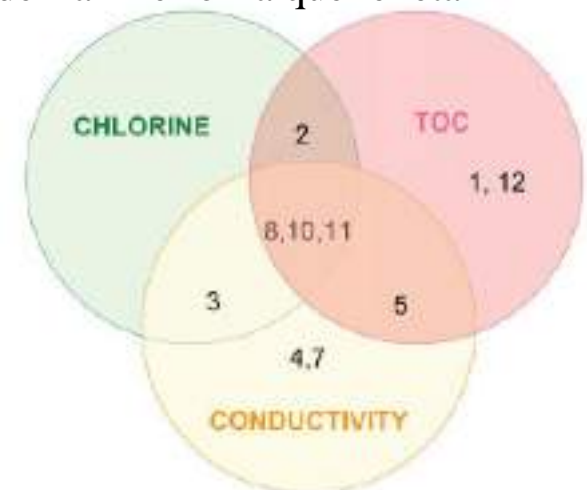
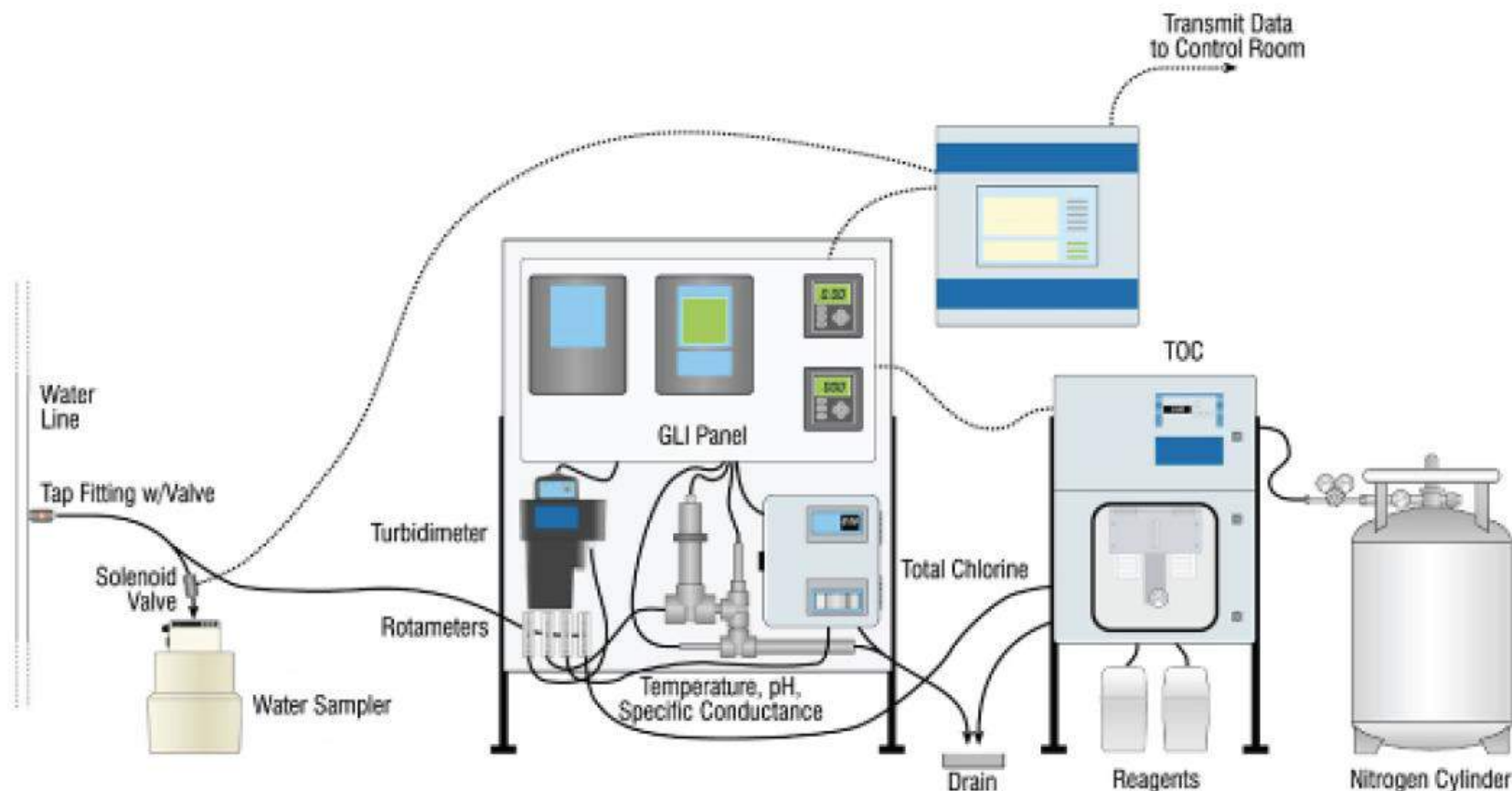


Figure 3-1. Contaminant Class Detection by Type of Water Quality Sensor

Stazione di rilevamento multi-parametrica (temperatura, pH, conducibilità, cloro libero, TOC e torbidità)



Necessità di distinguere le variazioni dei parametri



dovute a contaminazione

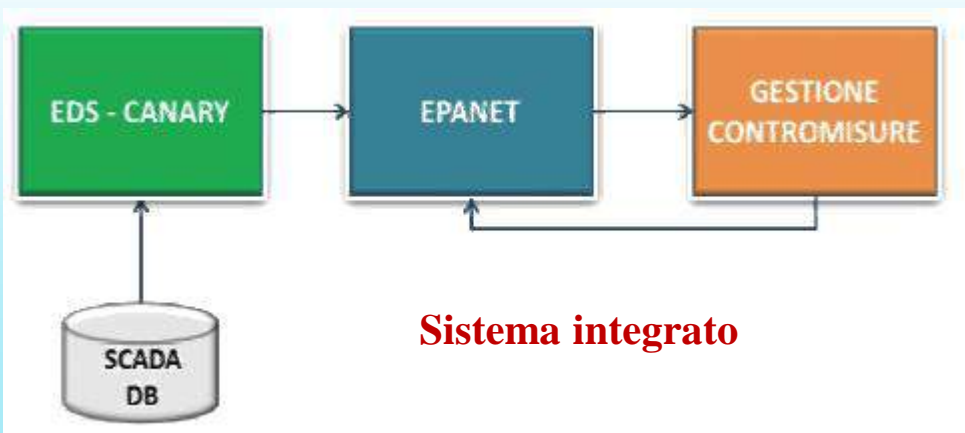
dovute a normali fluttuazioni giornaliere-stagionali (**rumore di fondo**)

**Event Detection Software
EDS**

SISTEMA ESPERTO (algoritmi statistici): legge in tempo reale i dati acquisiti da una molteplicità di sensori e li interpreta distinguendo le **variazioni anomale** (che richiedono attenzione o un intervento) dalle normali fluttuazioni

Software **open source CANARY Event Detection Software** sviluppato da **Sandia National Laboratories** in collaborazione con **Environmental Protection Agency (EPA)**.

CANARY fa uso di appositi algoritmi numerici per analizzare i dati provenienti da sensori multipli e distingue tra la variabilità naturale dell'acqua e quella insolita che indica un problema. Le informazioni vengono confrontate e aggregate ogni 5 minuti e il sistema è in grado di dare l'allarme dopo circa 20-40 minuti che la sostanza contaminante raggiunge il primo sensore.



EDS-CANARY : rileva gli eventi di contaminazione

EPANET : simula il funzionamento della rete e la propagazione del contaminante

CONTROMISURE : individua la strategia operativa ottimale da attuare per ridurre al minimo l'impatto sull'utenza

Negli anni più recenti le esigenze legate ai sistemi di allarme precoce hanno stimolato lo sviluppo di una **nuova generazione di sensori** basati su diverse tecnologie:

Sonde spettrometriche ad immersione nel campo UV-visibile [S:CAN]: misura: torbidità – TSS - $\text{NO}_3\text{-N}$ – COD – BOD – TOC – DOC – BTX – O_3 – H_2S - AOC

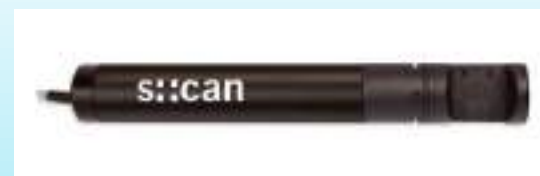
Rilevatori ottici dell'indice di rifrazione [Optiqua Technologies] : in grado di rilevare qualsiasi variazione qualitativa dell'acqua

Rilevatori di tossicità mediante batteri coltivati (vibrio fischeri) in grado di emettere luce [Optiqua Technologies] : misurano la luminosità che cambia dopo l'esposizione al contaminante

Rilevatori di tossicità mediante la misura dell'attività di fotosintesi di alghe contenute nel rilevatore [BBE Moldaenke]

Rilevatori di Escherichia Coli mediante analisi ottica (luminescenza) dell'attività dell'enzima β -glucuronidasi [Mb Online GmbH]

Costo: 5.000 – 50.000 €



Diffusione dei sistemi di monitoraggio continuo



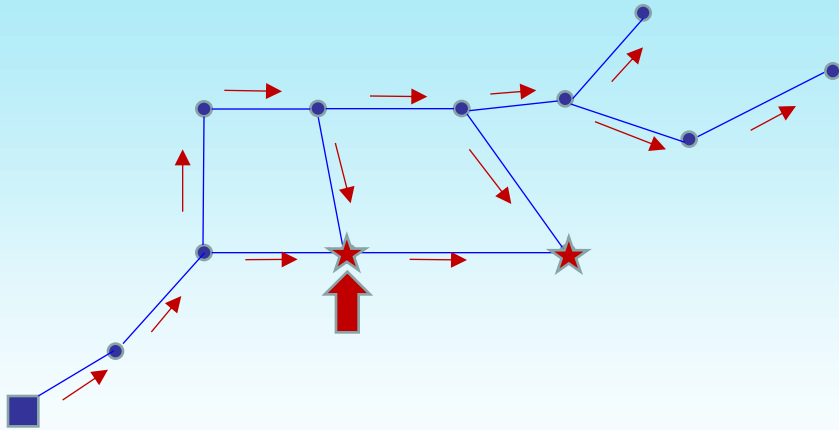
Allargamento mercato



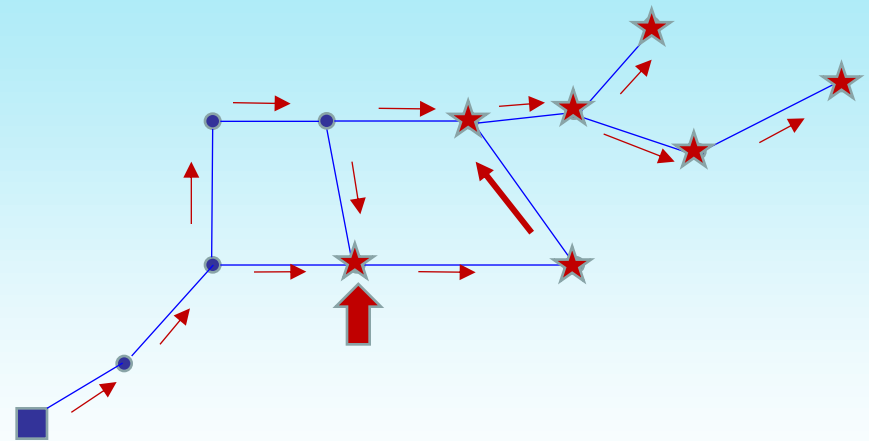
Riduzione costi



Sviluppo tecnologico



Ore 11



Ore 18

La contaminazione può avere origine in un qualsiasi punto della rete e che si propaga prevalentemente seguendo i flussi idrici che si determinano in relazione alla domanda

OSSERVAZIONI:

- 1) I nodi raggiunti dal contaminante dipendono dal punto di origine della contaminazione e dai flussi idraulici che a loro volta dipendono dalla domanda (variabile nel tempo)
- 2) Affinché l'evento sia rilevato occorre che la stazione di monitoraggio sia localizzata in un nodo raggiunto dal contaminante [alle 11: 2 localizzazioni utili; alle 18: 7 localizzazioni utili]
- 3) La localizzazione della stazione condiziona, oltre al fatto che l'evento sia rilevato oppure no, il tempo di rilevamento dall'inizio della contaminazione e la popolazione toccata dalla contaminazione prima del rilevamento
- 4) Quante più stazioni sono presenti, tanto più efficace risulta il sistema di monitoraggio/allarme (maggiore probabilità di rilevamento; minori tempi di rilevamento; minore popolazione toccata dalla contaminazione prima del rilevamento)
- 5) Quante più stazioni sono presenti, tanto maggiore è il costo del sistema.

Problema di ottimizzazione bi-obiettivo

Obiettivo 1 : minimizzazione del costo del sistema

F.O. (f_1): numero delle stazioni di monitoraggio

Obiettivo 2: minimizzazione dell'impatto degli incidenti di contaminazione sulla salute pubblica

Va espressa in termini quantitativi. Ad esempio:

- probabilità di rilevamento (**da massimizzare**)
- popolazione raggiunta dalla contaminazione a partire dall'inizio della contaminazione fino al primo rilevamento (**da minimizzare**)
- tempo intercorrente fra l'inizio della contaminazione e il primo rilevamento (**da minimizzare**)
- -----

F.O. (f_2)

f_1 e f_2 sono in conflitto

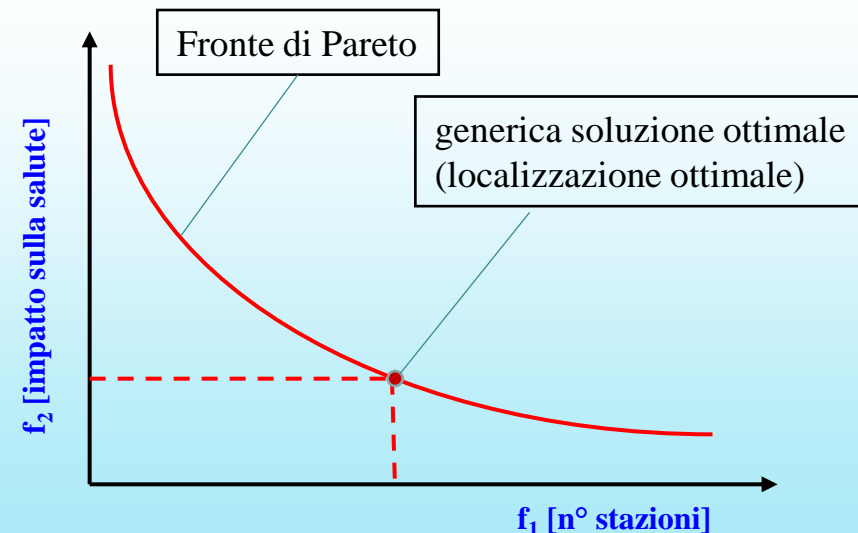
Ottimizzazione:

ricerca delle localizzazioni ottimali a cui corrispondono i migliori valori accoppiati delle due F.O

Risultato: Fronte di Pareto

i cui punti corrispondono a tutte le soluzioni *non dominate* cioè a quelle soluzioni per le quali non esiste nessuna soluzione che presenti due valori entrambi migliori delle funzioni obiettivo.

Il Fronte di Pareto dipende dalla formulazione di f_2



Crescente attenzione ai problemi di sicurezza



Interesse per i sistemi di allarme precoce (EWS) negli acquedotti

Nuovi temi di ricerca:

- Aspetti tecnologici (rilevamento)
- Sistemi esperti (interpretazione dati rilevati)
- Modellistica (progettazione e gestione)

Problemi aperti:

- Tecnologia del rilevamento in continuo e ampio spettro delle sostanze potenzialmente contaminanti
- Complessità della modellistica a supporto della progettazione
- Contromisure a seguito dell'allarme ? (condizionano l'obiettivo della localizzazione)
- Connotazione fortemente interdisciplinare

Prospettive (legate all'introduzione degli EWS nella normale gestione delle reti idriche)

- Sviluppo tecnologico e riduzione dei costi
- Sviluppo delle conoscenze con una maggiore Integrazione delle diverse competenze
- Definizione delle strategie relative alle contromisure post-allarme