



"Incertezza associata al campionamento nelle analisi chimiche"

Conferenza online, 09-10/03/2023

Assicurare la qualità dei risultati dei sistemi di sorveglianza di allerta precoce per il monitoraggio dell'acqua: una questione aperta

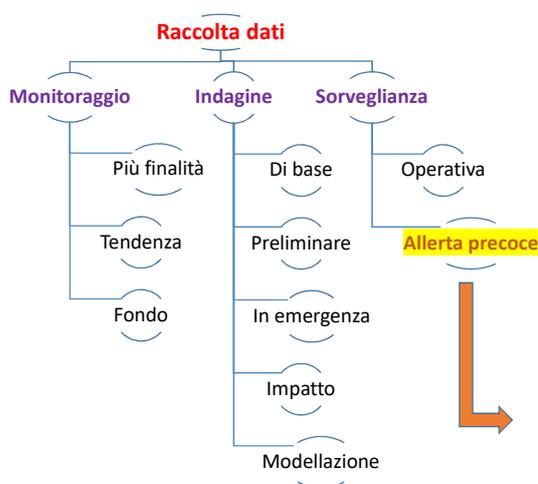
Quality assurance in early warning surveillance systems for water monitoring: an open issue

Enrico Veschetti, Luca Lucentini

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ
DIPARTIMENTO AMBIENTE E SALUTE, REPARTO QUALITÀ DELL'ACQUA E SALUTE



Strategie di valutazione della qualità dell'acqua



Monitoraggio

Attività analitiche standardizzate a lungo termine per definire stato e tendenze

Indagine

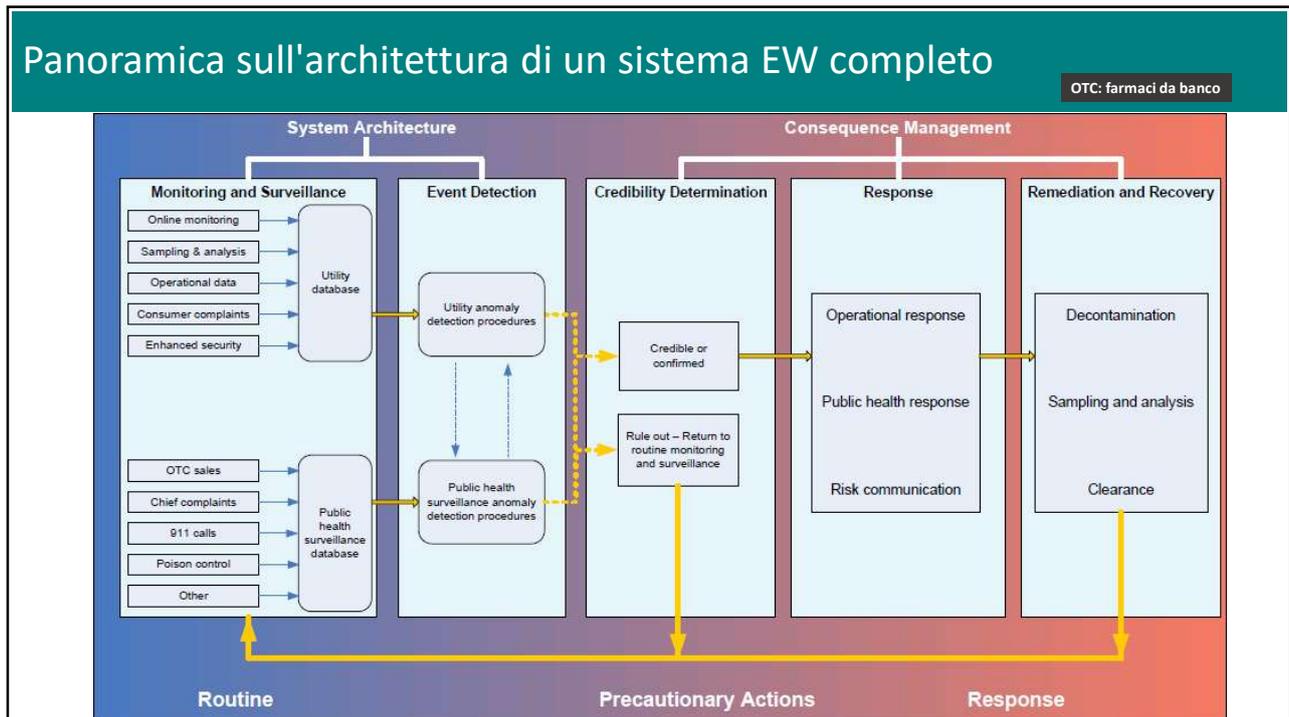
Attività analitiche intensive di durata limitata per il conseguimento di uno scopo specifico

Sorveglianza

Attività analitiche continue e specifiche per la gestione delle acque e l'operatività

Sorveglianza di allerta precoce

Analisi sensibili in punti critici (attività continue)



Reti di sorveglianza dei sistemi di approvvigionamento e distribuzione idrica: i principali elementi da implementare

1. Selezione dei **parametri** di qualità dell'acqua da impiegare come indicatori di una potenziale contaminazione
2. Individuazione del **numero e della posizione dei sensori da installare** nel sistema di distribuzione idrico
3. Implementazione dei **metodi di analisi temporale dei segnali** più appropriati per l'identificazione in tempo reale di possibili eventi pericolosi

Scelta dei parametri indicatori da impiegare in un sistema acquedottistico per la sorveglianza in tempo reale della qualità delle acque potabili

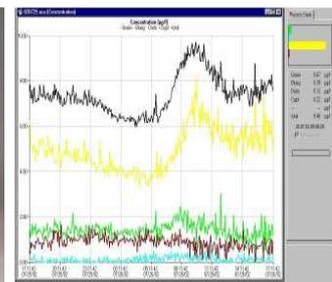
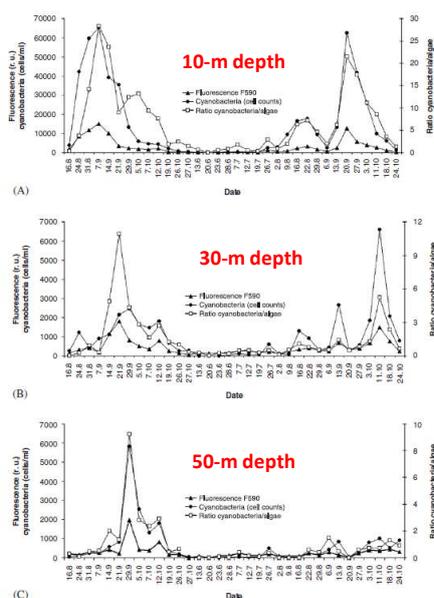
Parametri chimici, chimico-fisici e fisici per la valutazione della qualità delle acque potabili con i sistemi di sorveglianza di allerta precoce

Parametri	Significato e applicazione nei sistemi di sorveglianza di allerta precoce
Eventi pluviometrici	contaminazione da agenti patogeni, suolo e sedimenti, tracimazione delle fognature, infiltrazione di acque sotterranee
Flusso	basse portate nelle acque superficiali causano un incremento nella concentrazione dei contaminanti; variazioni del flusso nella distribuzione possono determinare distacco di biofilm e di sedimenti
Colore	sostanze umiche, metalli, rifiuti industriali; cambiamenti segnalano il degrado delle sorgenti idriche, problemi di trattamento o la corrosione delle tubature
pH	influisce sulla coagulazione e sulla disinfezione; i cambiamenti segnalano un evento importante
Solidi (totali e disciolti)	colloidi, limo, alghe, plancton o detriti; influenza i processi di rimozione e disinfezione; informazioni sul livello di inquinamento dell'acqua; influenza il sapore e l'aspetto dell'acqua potabile
Conducibilità	surrogato dei solidi disciolti
Torbidità	spesso legato ad un aumento di agenti patogeni, comprese cisti o oocisti; influisce sulla disinfezione; influenzato da eventi piovosi o dalla crescita di alghe nelle acque superficiali
Potenziale redox (ORP)	sali metallici, cloro, ione solfito; un'incursione nelle acque sotterranee può abbassare l'ORP aumentando la cloro richiesta

Parametri chimici, chimico-fisici e fisici per la valutazione della qualità delle acque potabili con i sistemi di sorveglianza di allerta precoce

Parametri	Significato e applicazione nei sistemi di sorveglianza di allerta precoce
Dimensione del particolato	efficienza di filtrazione; surrogato della rimozione di Giardia e Cryptosporidium (rimozione di particelle di 2-5 μm)
Diffusione della luce sullo stereoradiante	masse molari assolute, dimensioni e strutture di tutti i tipi di macromolecole e particelle in soluzione
Particolato microscopico	informazioni microscopiche dettagliate sulla natura del particolato
Residui di disinfettante	controllo di qualità dell'acqua trattata
Sostanza organica (TOC)	potenziale di ricrescita dei batteri eterotrofi nei serbatoi e nei sistemi di distribuzione
Assorbimento UV	composti organici con struttura chimica aromatica e coniugazione
Fluorescenza	sostanze umiche, batteri, alghe
Parametri specifici	NH ₃ : indicano una contaminazione da parte di reflui sanitari; B; Cl ⁻ : indicatore di salinità; NO ₃ ⁻

Monitoraggio in continuo dei cianobatteri mediante fluorescenza



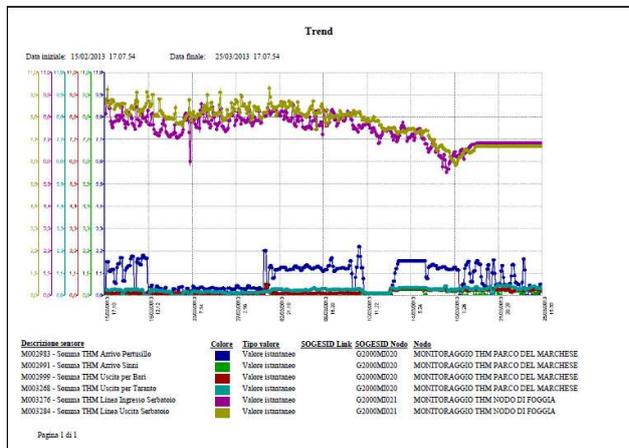
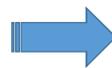
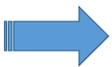
Monitoraggio in continuo dei sottoprodotti della disinfezione



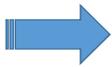
THMs mediante GC-ECD



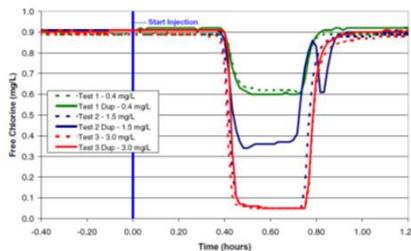
ClO₂, ClO₃⁻, BrO₃⁻ mediante SIC



Monitoraggio in continuo mediante analizzatori colorimetrici

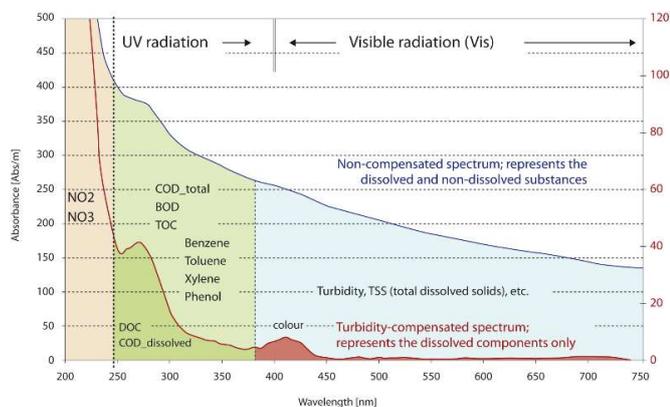


Cr (VI), NO₂⁻



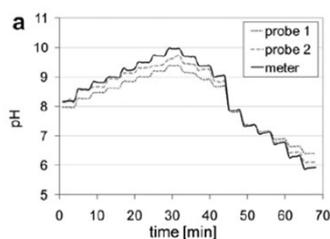
Cl₂ - residuometro

Monitoraggio in continuo mediante sonde UV-VIS

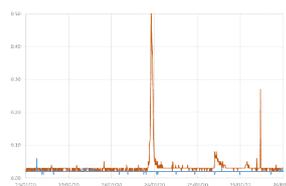


Torbidità, Colore, TOC, NO_3^-

Monitoraggio in continuo mediante sonde multiparametriche, torbidimetro e cloro-residuometro



**pH, redox,
conduttanza el.**



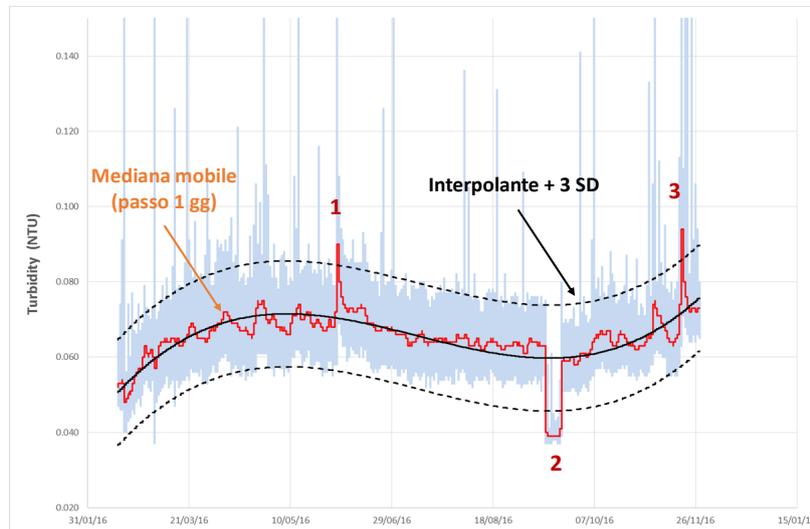
torbidimetro

Esempio di una stazione di monitoraggio online a servizio di un sistema early warning



Analisi delle serie temporali per l'individuazione degli eventi anomali

Elaborazione di segnali aspecifici: soglie per il riconoscimento di eventi anomali



Algoritmi di affinamento utilizzati nel riconoscimento di anomalie nelle serie temporali

Algoritmi per il perfezionamento della rivelazione di eventi

- **Analisi del discriminante** mediante regole, alberi decisionali, reti neurali artificiali, reti bayesiane o macchine vettoriali di supporto
- **Analisi dei cluster** seguita da analisi del discriminante di nuovi pattern
- **Analisi delle probabilità**
- **Carte di controllo** che innescano una risposta quando vengono rilevati determinati segnali (ad es., passo, picco, esponenziale)

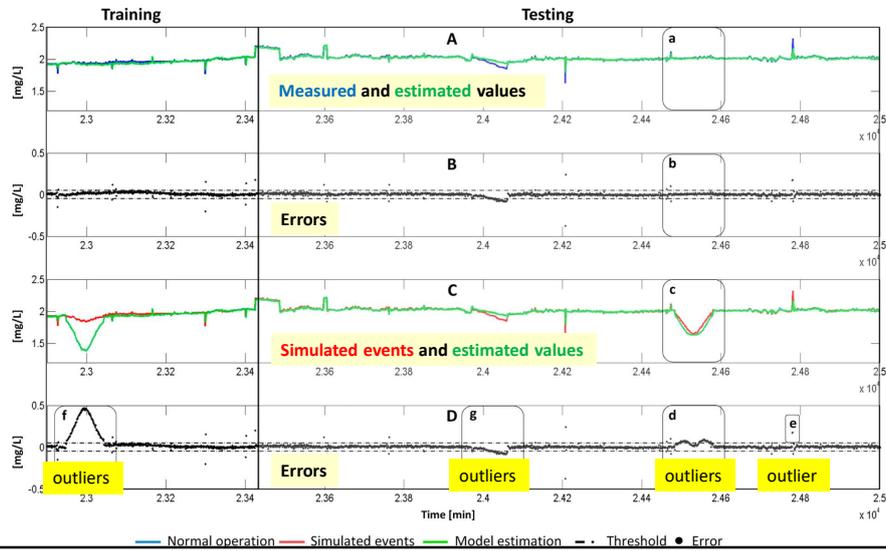
Come funzionano

Innanzitutto, individuano tendenze temporali nelle variabili chiave associate a:

- cicli diurni e stagionali
- operazioni fisiche nel sistema di distribuzione
- deriva elettronica dei sensori di qualità dell'acqua
- deriva causata da processi chimici/biologici dinamici all'interno del sistema di distribuzione

Quindi, effettuano il riconoscimento di cambiamenti nei segnali causati da eventi pericolosi

Esempio di «model training and testing»: analisi delle serie temporali del cloro totale



Prestazioni e affidabilità dei sistemi di individuazione degli eventi anomali

Efficacia dei sistemi di rilevamento degli eventi (EDS): prestazioni e affidabilità

Falsi positivi (FP):

«Errato rilevamento» di eventi di contaminazione a seguito di

- rivelatori troppo sensibili
- interferenze da parte di sostanze chimiche inerti o cambiamenti fisici
- algoritmi software inadeguati

Falsi negativi (FN):

«Mancato rilevamento» di eventi di contaminazione a seguito di

- selezione e posizionamento improprio del sensore
- scarsa sensibilità dello strumento a basse concentrazioni
- interferenza da parte del rumore di fondo
- insufficiente capacità nell'analisi dei dati

Efficacia dei sistemi di rilevamento degli eventi (EDS): prestazioni e affidabilità

Sensibilità

% dei casi positive reali rispetto a tutti i casi positivi rilevati:

$$Sens = \frac{TP}{TP + FN}$$

Specificità

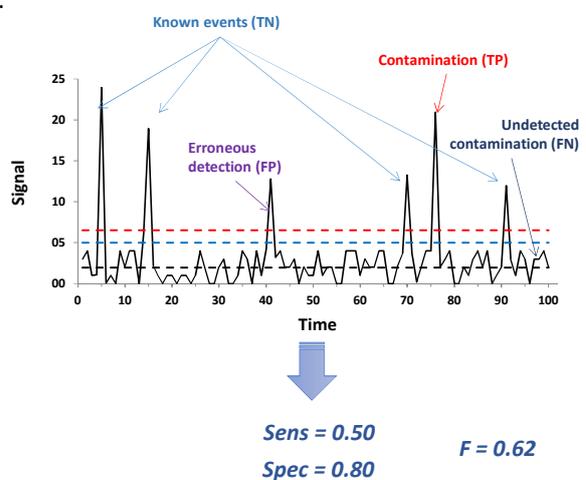
% dei casi negativi reali rispetto a tutti i casi non rilevati:

$$Spec = \frac{TN}{TN + FP}$$

Misura dell' F

media armonica di sensibilità e specificità

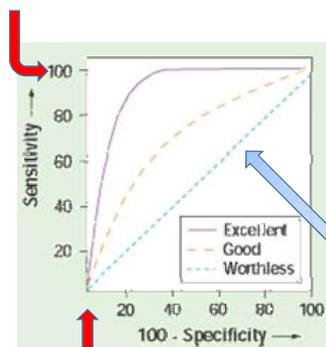
$$F = 2 \cdot \frac{Sens \cdot Spec}{Sens + Spec} \geq 0.7 \rightarrow \text{good system}$$



Efficacia dei sistemi di rilevamento degli eventi (EDS): prestazioni e affidabilità

Curve caratteristiche operative del ricevitore (ROC)

Nessun falso negativo



Nessun falso positivo

Non è meglio che indovinare

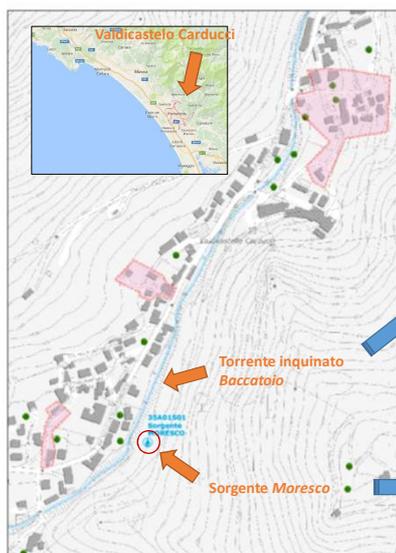
- Sviluppato per la prima volta negli anni '50 come strumento di supporto per filtrare il rumore dei segnali radio
- Determinare la probabilità di FN e FP da un EDS
- Un EDS ideale avrebbe zero FN (100% di sensibilità) e zero FP (100% di specificità): angolo in alto a sinistra della curva

Efficacia dei sistemi di rilevamento degli eventi (EDS): altre prestazioni

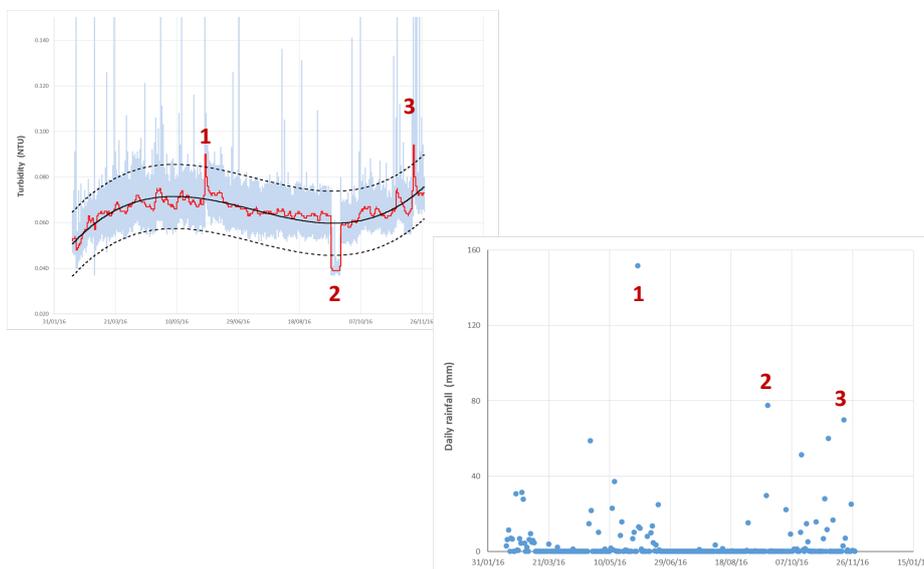
Altre prestazioni	Commenti
Tempo di rilevazione	Ritardo tra il rilevamento dell'EDS e il suo riconoscimento
Capacità di gestire dati altamente variabili	
Adattabilità	Impara da solo o deve essere riaddestrato nel tempo?
Copertura dei contaminanti	
Calibrazione	Deve includere l'uso di contaminanti/surrogati o di una biblioteca di eventi?
Compatibilità con altri sistemi in uso	
Funzionalità	Flessibilità dell'interfaccia utente
Input necessari	Tipi di sensori e altri flussi di dati; resilienza ai guasti di alcuni input
Personalizzazione	
Neutralità e scalabilità	Funziona anche con sensori di altri produttori; possibilità di aggiungere altri sensori; resilienza della calibrazione quando si aggiungono nuovi sensori
Requisiti sulle risorse, costi e sostenibilità	

Caso studio

Analisi di vulnerabilità della sorgente Moresco (Valdicastello Carducci, Pietrasanta, LU)



Effetto delle precipitazioni giornaliere estreme sulla torbidità dell'acqua della Sorgente Moresco (Valdicastello Carducci, Pietrasanta, LU)



Grazie per la vostra attenzione

e-mail: enrico.veschetti@iss.it