

Acquedotto 4.0

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

23/05/2017

Presentazione Silvia Tinelli

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

**Localizzazione ottimale dei sensori per il monitoraggio in tempo reale della
qualità dell'acqua nelle reti di distribuzione idrica: un caso studio**

PhD Candidate: SILVIA TINELLI

**Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura
Università degli Studi di Pavia
Via Ferrata, 5 - 27100 Pavia**

Posizionamento ottimale dei sensori

Problema di ottimizzazione:

Definizione **numero e posizione ottimale** dei sensori in rete

IPOTESI:

Contaminanti conservativi

- Si trascura il decadimento
- Si trascurano i cambiamenti dell'inquinante (precipitazione in condotta, reazioni chimiche)
- Si sovrastima l'entità della contaminazione

Metodologia

➤ **Individuazione eventi di contaminazione** in rete caratterizzati da:

- 1) posizione immissione inquinante;
- 2) durata immissione;
- 3) massa;
- 4) Istante iniziale immissione

Esempio numerico → N. tot. eventi: 42'240

Posizione	44
Durata	60, 220, 380, 500, 600 min
Massa	50, 200, 350, 500 gr/min
Istante	48 (ogni 30 minuti)

Enorme numero di scenari di contaminazione

Campionamento eventi - 1

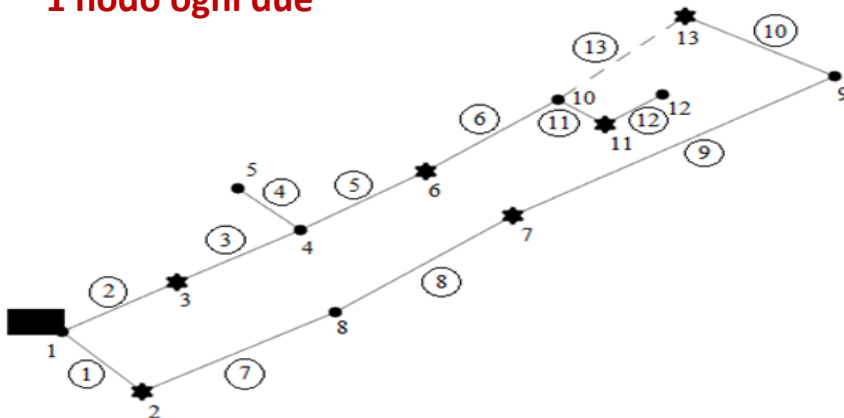
- **Necessità di un campione ridotto e significativo** di eventi
- **Campionamento** eventi di contaminazione **per ciascuna caratteristica:**

Posizione – durata – massa – istante immissione

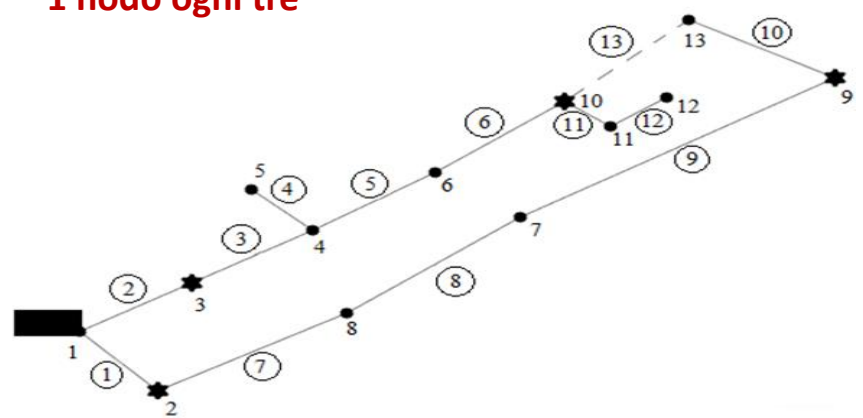
Posizione di immissione

Selezione dei nodi di iniezione in funzione della distanza dai nodi di origine secondo una frequenza prefissata

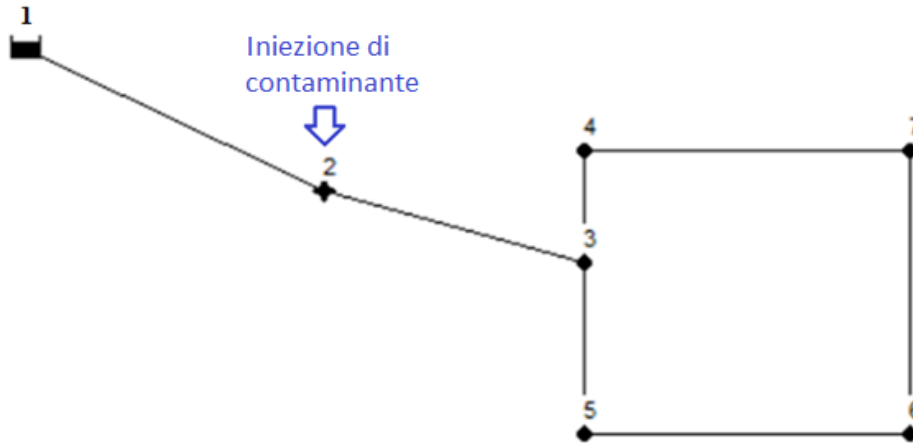
**Frequenza
campionamento =
1 nodo ogni due**



**Frequenza
campionamento =
1 nodo ogni tre**

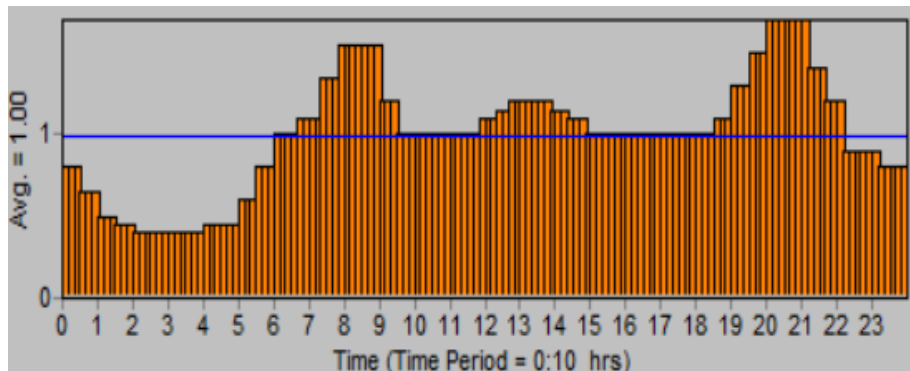


Campionamento eventi - 2



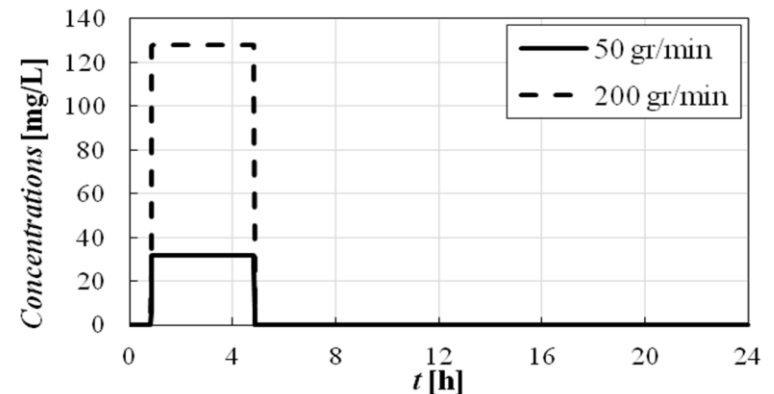
Istante di inizio di immissione

Selezione degli istanti di immissione corrispondenti alle variazioni significative di domanda in una giornata tipica



Massa iniettata

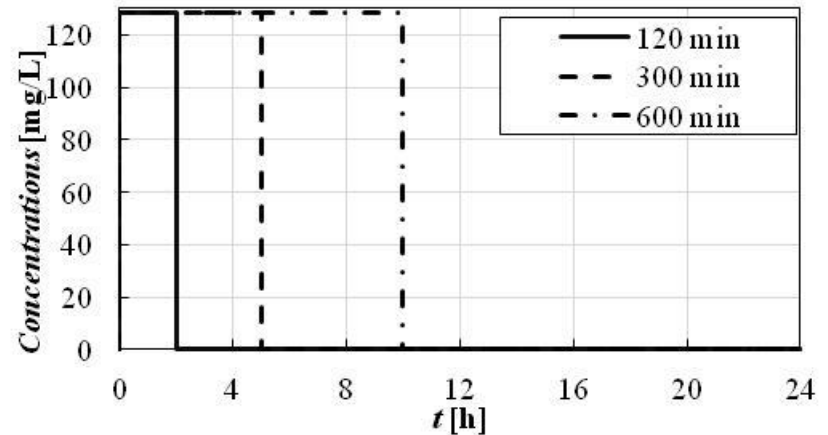
La massa immessa non influenza i nodi contaminati e il tempo di contaminazione



Campionamento eventi - 3

Durata di immissione

- Con configurazione delle portate costante, la durata di immissione è irrilevante per il numero di nodi contaminati
- Lunghe durate possono essere considerate come una successione di brevi durate



Esempio numerico → N. tot. eventi iniziali: 42'240

Fr campionamento = 1 nodo ogni due

Fr campionamento = 1 nodo ogni tre

Esempio numerico → N. Campionati: 69

Posizione	23
Durata	60 min (durata minima)
Massa	200 gr/min (massa intermedia)
Orario	2-15-20

Esempio numerico → N. Campionati: 57

Posizione	19
Durata	60 min (durata minima)
Massa	200 gr/min (massa intermedia)
Orario	2-15-20

Costruzione delle matrici

➤ Costruzione **matrici** per il calcolo:

- **Contaminazione**
- **Tempo di contaminazione**

Matrici : $[(N_{\text{nodi}} + N_{\text{serb}} + N_{\text{reserv}}) \times S]$

$N_{\text{nodi}} + N_{\text{serb}} + N_{\text{reserv}} =$ Numero tot. nodi rete
 $S =$ Numero totali di eventi

➤ **SIMULAZIONE** di **CIASCUNO DEGLI EVENTI DI CONTAMINAZIONE** per **Individuazione** dei **nodi contaminati** → utilizzo del software EPANET-2 completo di modulo qualità: **analisi idraulica** e descrizione **fenomeni** di **avvezione** dei contaminanti

Matrice di contaminazione: $[N_{\text{tot}} \times S]$

Per ogni evento di contaminazione

0 = nodo non contaminato

1 = nodo contaminato

Nodo	Eventi di contaminazione				
	1	2	...	...	n° eventi
1	0	1	...	...	0
2	1	0	...	...	1
...
n° nodi	0	1	...	...	0

Matrice di tempo di contam.: $[N_{\text{tot}} \times S]$

Per ogni evento di contaminazione

Tempo di rilevamento dell'evento

Nodo	Eventi di contaminazione				
	1	2	...	...	n° eventi
1	0	t_{12}	...	...	0
2	t_{21}	0	...	...	$t_{2n.\text{eventi}}$
...	...	t_{ij}	...	...	..
n° nodi	0	$t_{n.\text{nodi}2}$	...	...	0

Formulazione modello bi-obiettivo

➤ Formulazione **Modello a due Obiettivi** per posizionamento ottimale dei sensori:

1. Funzione Obiettivo (f_1):

Minimizzazione del costo → numero N_{sens} di sensori installati

2. Funzione Obiettivo (f_2):

Massimizzazione del beneficio → probabilità f_2 di rilevamento dell'evento di contaminazione

$$f_2 = \frac{1}{S} \sum_{r=1}^S d_r$$

d_r : 1 se l'evento di contaminazione r -esimo viene rilevato
0 altrimenti

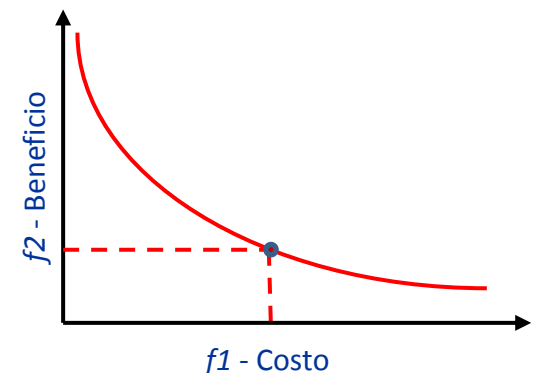
➤ Uso di **Algoritmo Genetico (NSGA-II)** per risoluzione del problema di ottimizzazione

L'algoritmo ricava il **Fronte di Pareto** (f_1, f_2)



Insieme delle soluzioni ottimali :

ogni punto corrisponde ad una soluzione di posizionamento ottimale caratterizzata da particolari valori di f_1, f_2



Caso Studio

Applicazione

Metodo testato su un caso studio reale: la rete di distribuzione idrica di Ferrara

Città di Ferrara

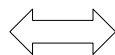
Caratteristiche rete

- 536 nodi
- 825 tronchi
- 2 serbatoi
- Popolazione servita $\approx 130'000$ ab.

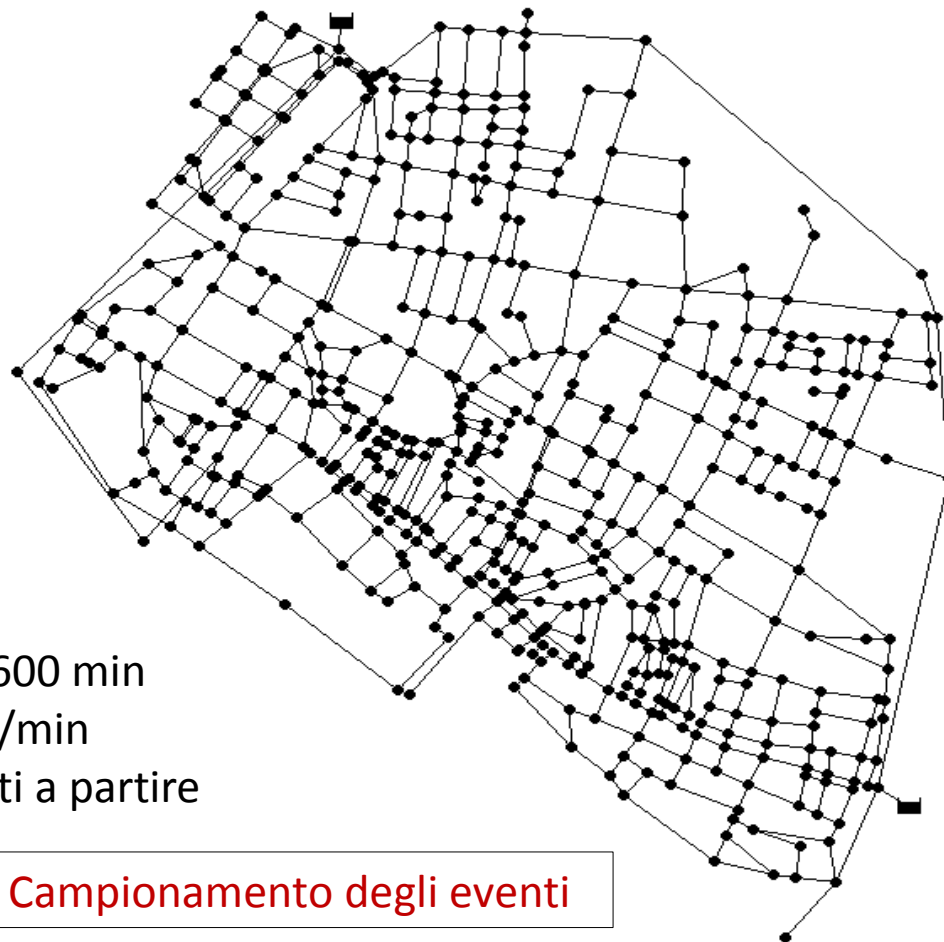
Eventi di contaminazione

- Possibili posizioni sensori: 536
- Possibili punti di iniezione: 536
- Durate immissioni: 60, 220, 380, 500, 600 min
- Masse inquinanti: 50, 200, 350, 500 gr/min
- Istante inizio immissioni: ogni 30 minuti a partire dalle 0.00

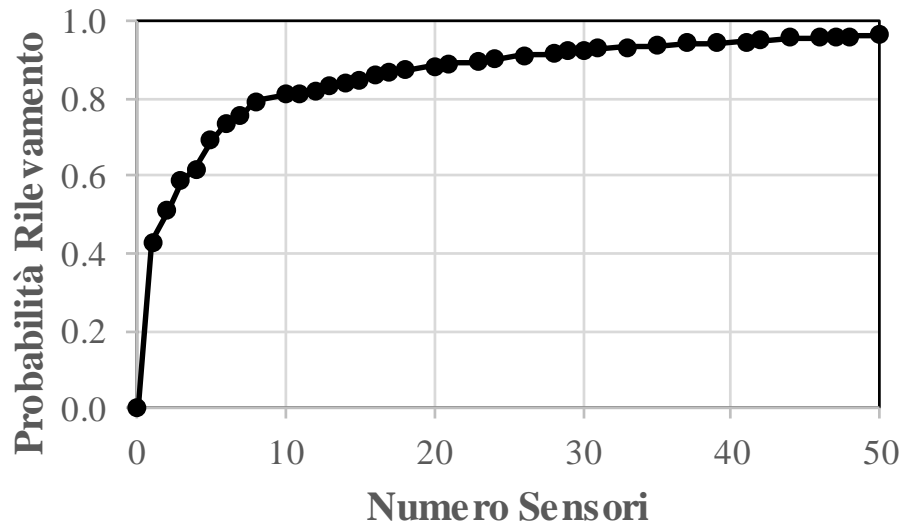
- S: $536 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 24 = 514'560$



Campionamento degli eventi

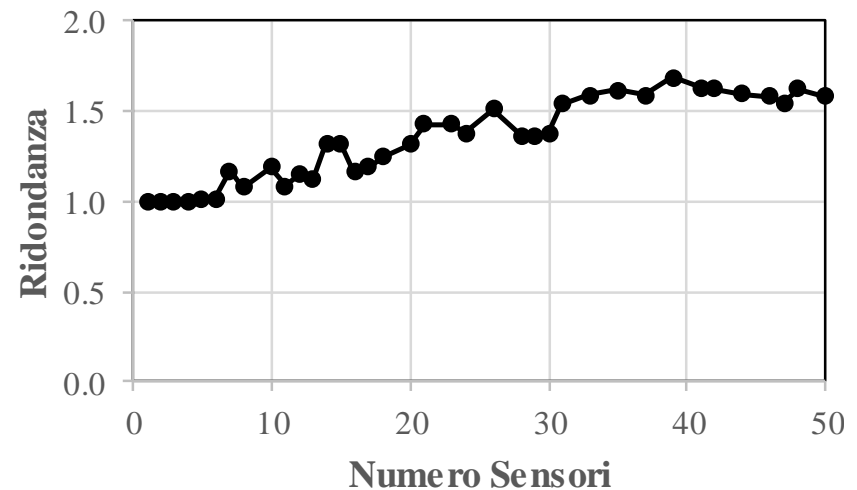
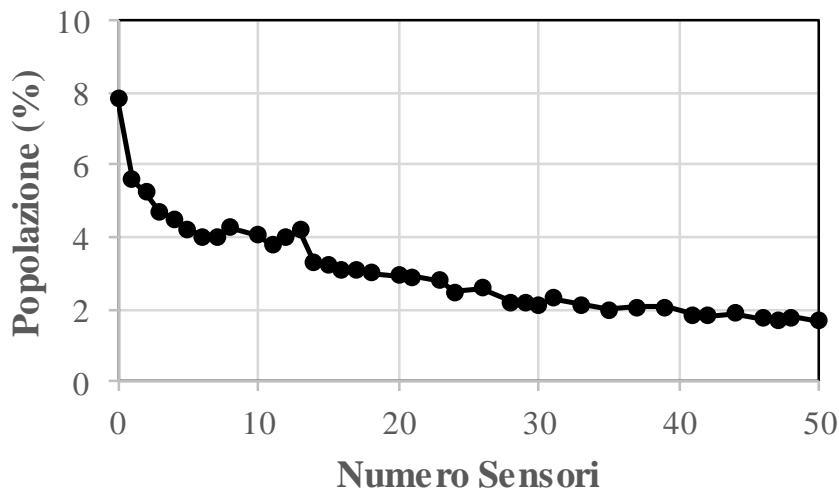


Fronte di Pareto

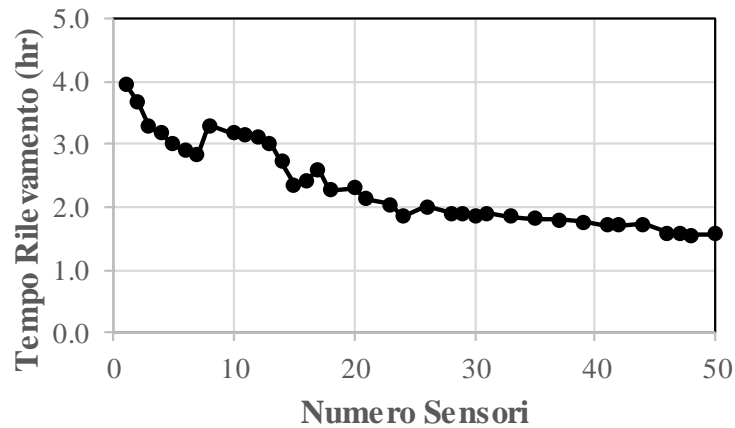


- Significativo incremento della probabilità di rilevamento f all'aumentare del numero di sensori
- Derivate decrescenti: rilevanti solo nella prima parte della curva → **utilità marginale esigua** nella seconda parte della curva

➤ **Rivalutazione del fronte di Pareto** in termini di altre grandezze di interesse



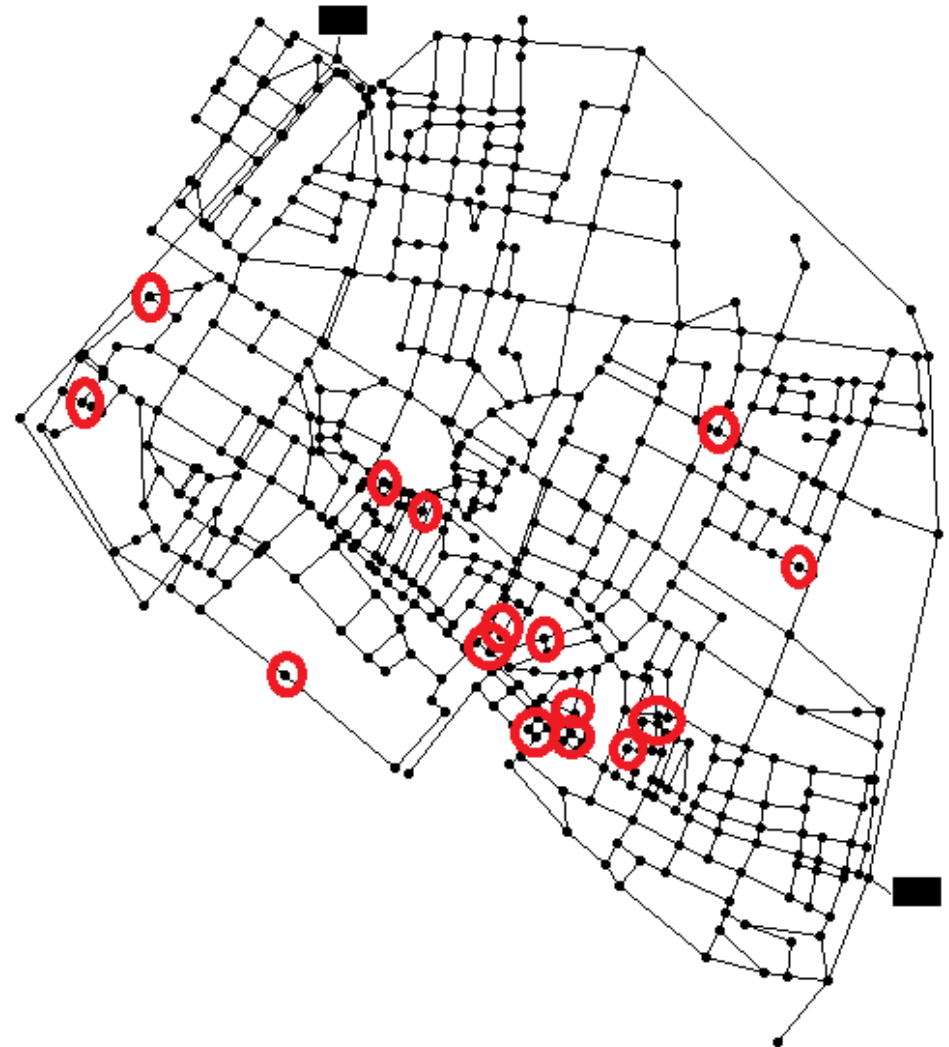
Discussione dei Risultati



➤ Scelta ragionevole →
installazione di 15 sensori che
garantirebbero :

- $f \approx 80\%$,
- *Pop. contaminata* $\approx 4\%$ della popolazione totale servita
- Ridondanza $\approx 1,4$
- Tempo medio di rilev. ≈ 2 ore

Esempio posizionamento dei sensori



Conclusioni

Ipotesi conservativa del contaminante

- ❖ **Complessa difficoltà degli algoritmi** riguardanti la modellistica a supporto della progettazione di sistemi di allarme precoce (es. posizionamento ottimale dei sensori)
- ❖ Elevato **onere computazionale**

Il **caso studio** ha mostrato:

- ❖ **Fattibilità della messa a punto di nuovi modelli** per la **progettazione** e la **gestione** dei sistemi di **monitoraggio** e di **allarme**
- ❖ Importanza della scelta delle **funzioni obiettivo** → elevata influenza sui risultati finali

Sviluppi futuri:

➤ **Contaminante non conservativo**

- Si modellano tutte le reazioni tra i contaminanti chimici-biologici iniettati
- Si modellano le reazioni:
 - contaminante - massa liquida
 - contaminante - pareti della condotta

➤ **Iniezioni simultanee in diversi nodi della rete**



Grazie per l'attenzione

PhD Candidate : SILVIA TINELLI

Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura
Università degli Studi di Pavia
Via Ferrata, 5 - 27100 Pavia