

Evoluzione delle basi concettuali e ricadute sui sistemi idrici

Ezio Todini

Presidente Onorario
Società Idrologica Italiana



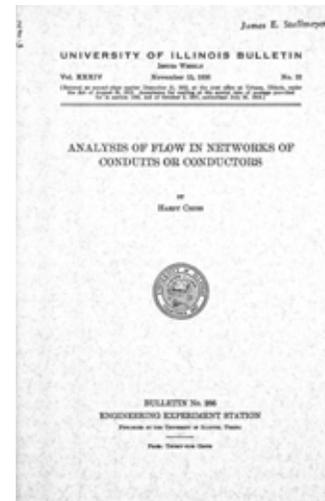
Evoluzione delle basi concettuali e ricadute sui sistemi idrici

- Dagli albori alla modellistica delle reti di distribuzione
- Dalla visione deterministica a quella probabilistica
- L'approccio probabilistico ed i concetti di incertezza e di conoscenza
- L'uso del concetto di incertezza
 - Nella previsione della domanda
 - Nella ricerca della rete di osservazione ottimale
 - Nell'assimilazione dei dati
 - Nella individuazione delle aree a maggior probabilità di perdite

Dagli albori alla modellistica delle reti di distribuzione

1) Prima dell'avvento dei computer

- Procedimenti Grafici
(Freeman, 1882, Howland, 1934, Aldrich, 1938)
- L'approccio a maglie
(Hardy Cross, 1936)
- Trial & Error
(Davis, 1952)
- I carichi proporzionali
(Mc Pherson, 1960)
- Il metodo delle Sezioni
(Fair & Geyer, 1961)
- La condotta equivalente (Streeter, 1962)

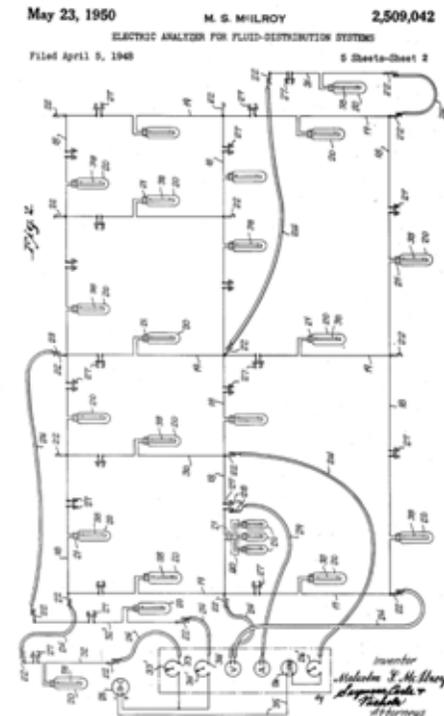
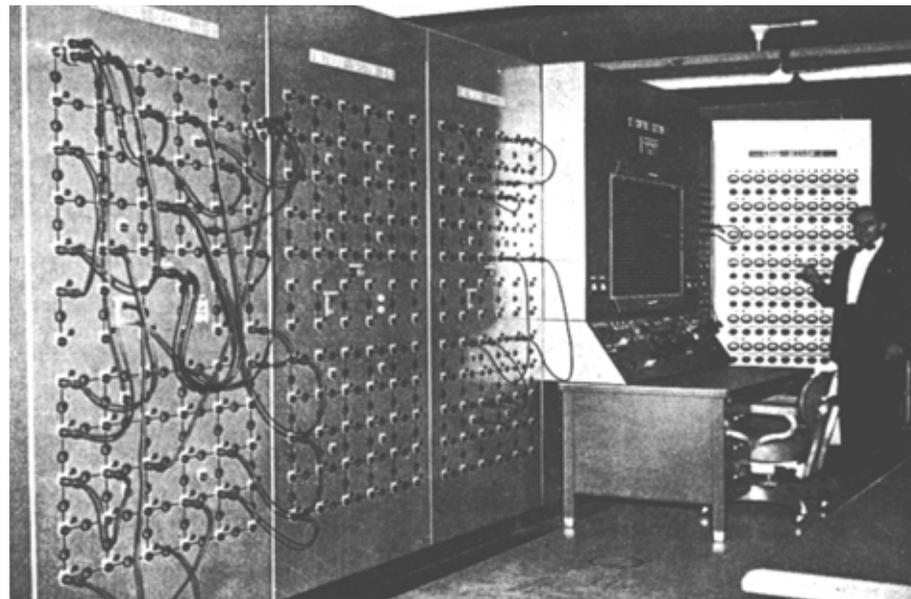


Dagli alberi alla modellistica delle reti di distribuzione

2) L'era dei modelli analogici

- Il Linear Analyser (Camp & Hazen, 1934)
- Il Non-Linear Analyser (Mc Ilroy, 1946)

Pannello di controllo dell'analizzatore analogico di Mc Ilroy

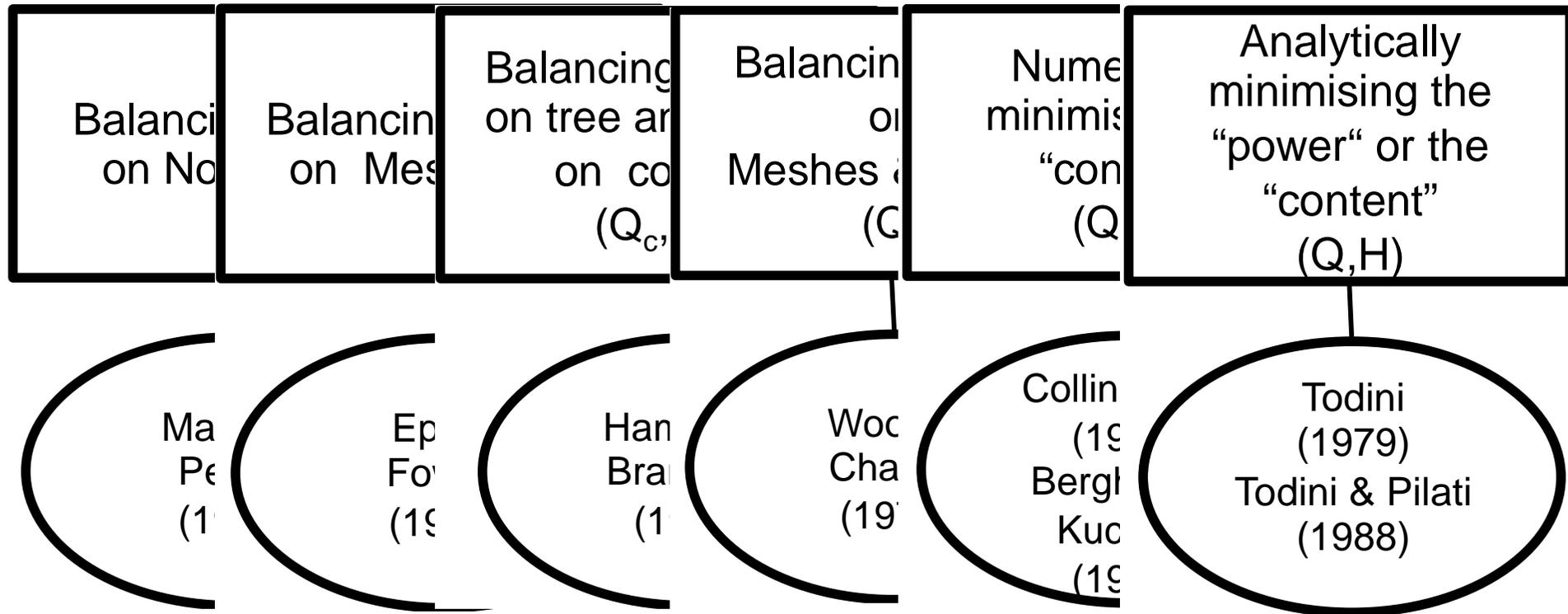


3) Gli alberi dell'era dei modelli digitali

La versione digitalizzata del modello di Hardy Cross (Hoang & Weinberg, 1957)

Dagli albori alla modellistica delle reti di distribuzione

L'Era dei modelli digitali



Dagli albori alla modellistica delle reti di distribuzione Dal Gradiente Globale ad EPANET

Secondo Rossman, che ha realizzato EPANET nel 1993:

“Poiché l’approccio di Todini è più semplice
è stato scelto per essere usato
in EPANET”

In pratica EPANET
ha implementato il
Global Gradient Algorithm
semplicemente riscrivendolo
in forma scalare.



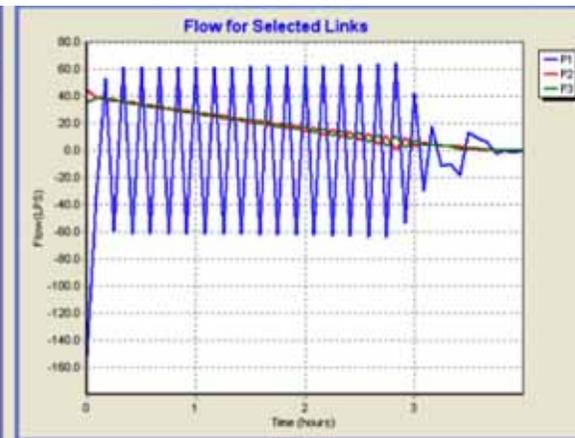
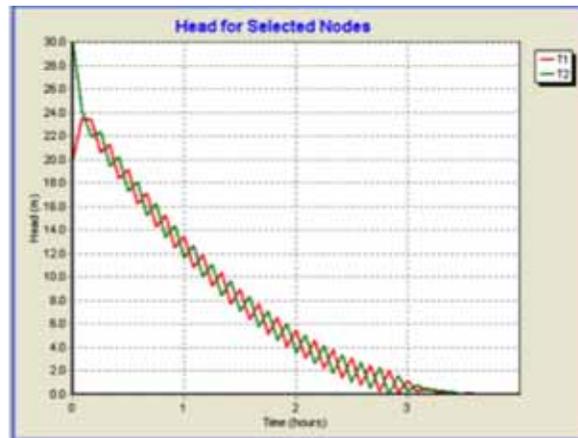
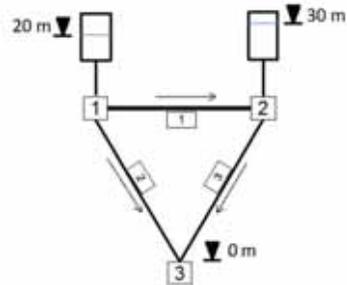
Todini & Rossman si sono incontrati per la prima volta nel 2006 alla Conferenza WDSA di Cincinnati

Dagli albori alla modellistica delle reti di distribuzione

Requisiti emergenti

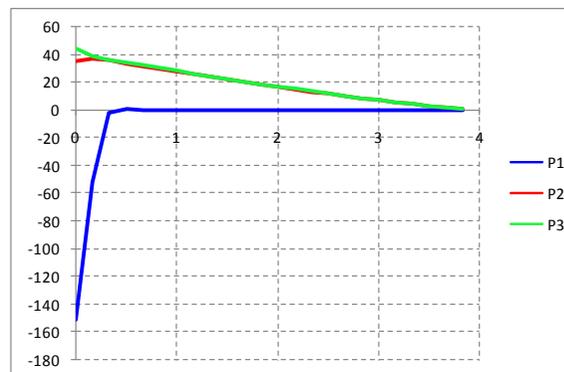
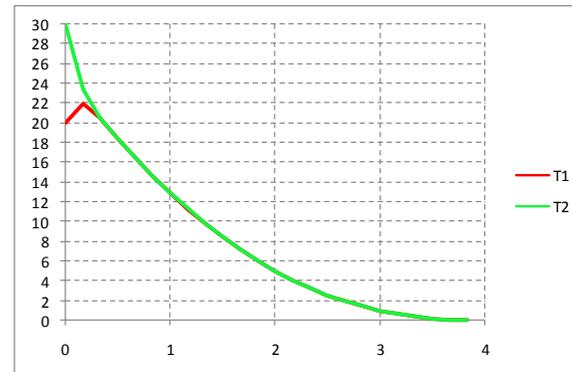
- Necessità di rappresentare correttamente i serbatoi
- Ricalibrazione dei parametri idraulici
- Simulazione continua delle reti magliate di distribuzione

Instabilità dei serbatoi nei transitori



SNAPSHOT
(EPANET)

Simulazione
con $\Delta t = 5'$



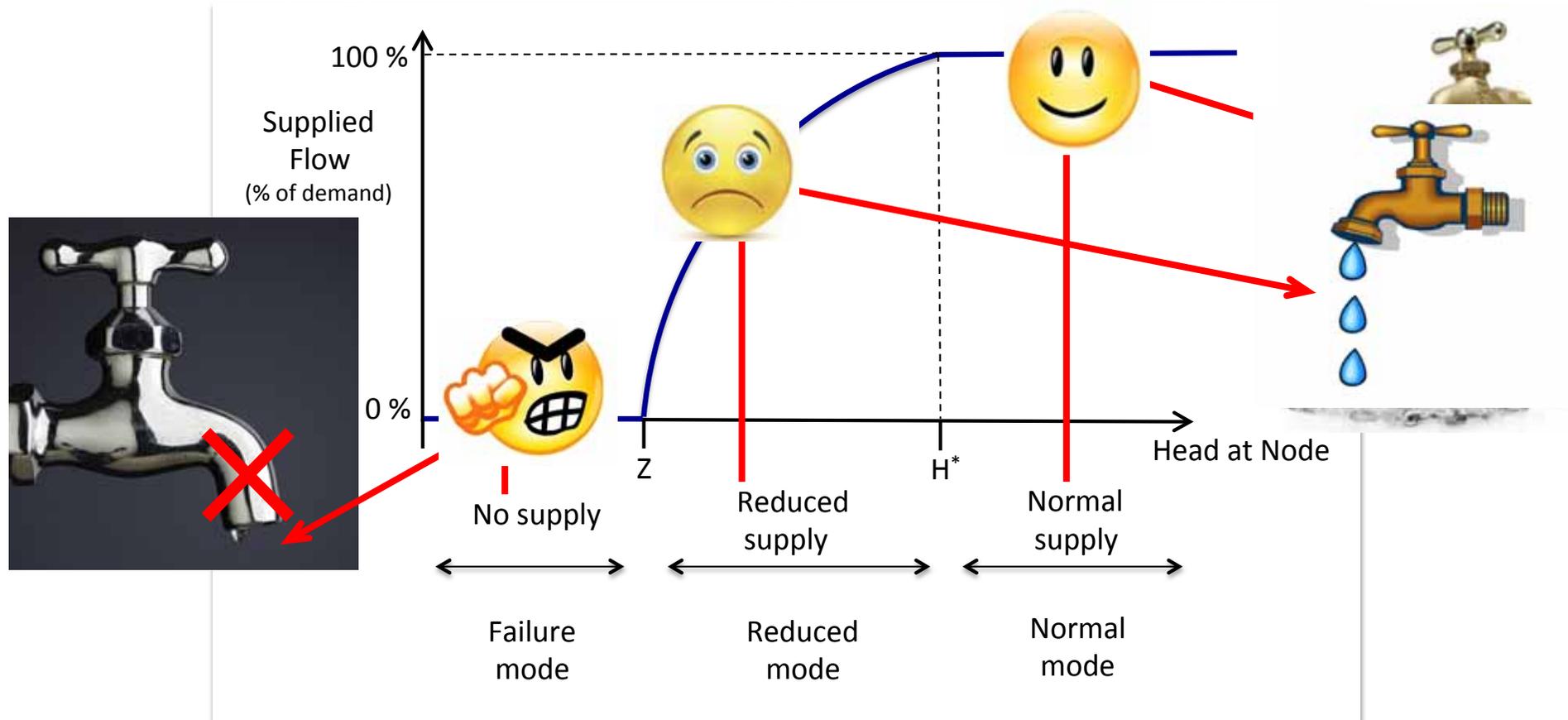
PDE

La necessità di ricalibrare i modelli di rete

L'invecchiamento delle condotte modifica l'area effettiva della sezione ed anche la scabrezza in maniera difficilmente prevedibile. È quindi necessario riadattare i modelli matematici rappresentativi della rete ricalibrandone i parametri.



La dipendenza della domanda dalla pressione



Dalla visione deterministica a quella probabilistica

Esiste un certo numero di domande cui dare risposta:

- A quale scopo stiamo spendendo così tanto tempo ed energie per modellare i sistemi fisici di distribuzione idrica?
- Più in generale, qual è il vero scopo dei modelli?
- Stiamo utilizzando correttamente le previsioni dei modelli?
- Ci sono alternative migliori per farlo?

Il vero scopo finale è quello di prendere le decisioni più corrette

La Teoria delle Decisioni ci insegna che le “**decisioni razionali**” possono essere prese efficacemente tramite approcci Bayesiani, che richiedono la valutazione di una **distribuzione di probabilità** che incapsuli tutte le informazioni disponibili su un evento futuro

Purtroppo, i modelli di rete di distribuzione idrica sono oggi usati come **strumenti deterministici** e le decisioni vengono prese sulla base dei loro output, indipendentemente dall'effettivo livello di informazione che forniscono e di incertezza che contengono.

Incertezza e le sue conseguenze sulle decisioni

La presenza di incertezza nei risultati dei modelli è inevitabile a causa di:

- (1) incertezza dovuta a errori di misurazione o mancanza di osservazioni;
- (2) incertezza nella domanda presente e futura;
- (3) incertezza nella topologia della rete;
- (4) incertezza nelle conduttanze reali, ecc.

Gli effetti sulle decisioni finali del trascurare tutte queste incertezze non sono stati ancora sufficientemente investigati nel campo dei modelli di rete.

Rappresentazione matematica dell'incertezza

No
Uncertainty

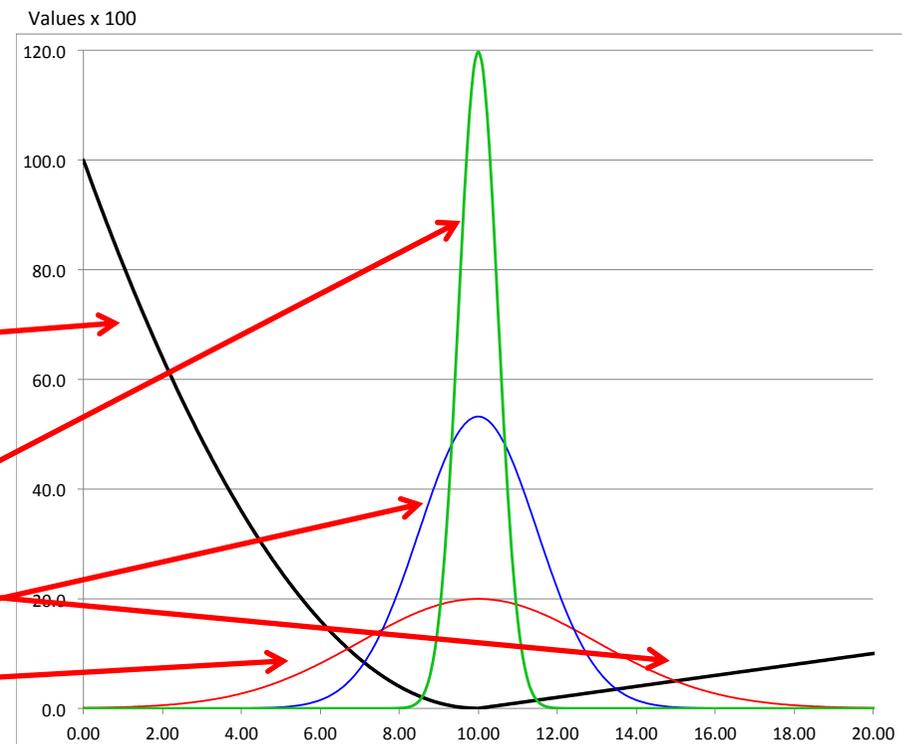
Un esempio: come soddisfare la domanda di rete

In questo esempio deve essere presa una decisione su quanto immettere in rete a fronte di una domanda prevista di $10 \text{ m}^3 \text{ s}$ dove però la domanda effettiva è incerta.

Se la domanda effettiva non viene soddisfatta, le perdite economiche crescono in modo quadratico.

Se un eccesso di acqua viene immesso, le perdite crescono in modo lineare.

Viene analizzato l'effetto di tre diversi livelli di incertezza sulla decisione finale.

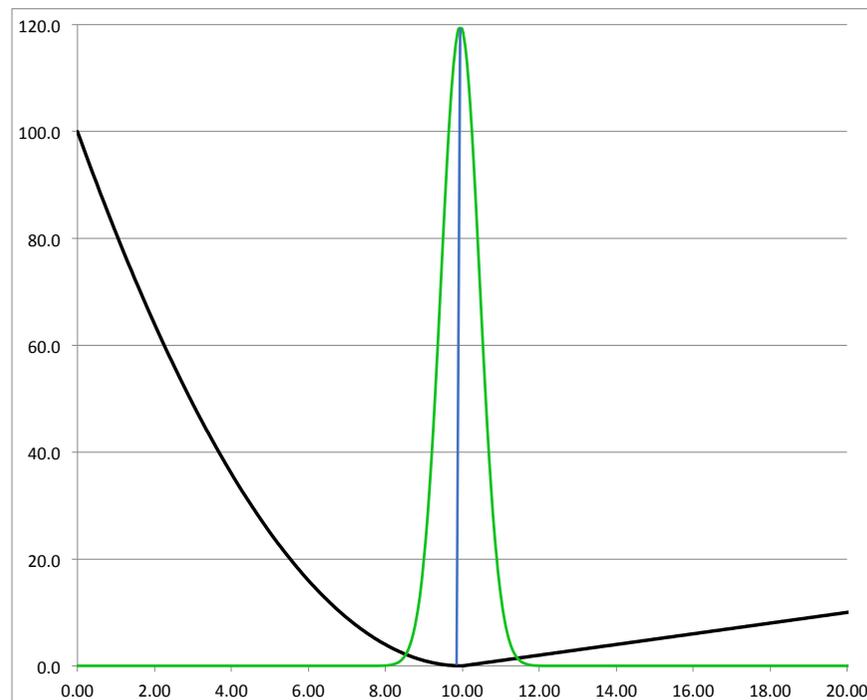


Incertezza modesta

conoscenza è alta e
incertezza bassa, il rilascio
ale potrebbe anche essere
ore a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ perché siamo in
o di rischiare maggiormente.

ene potremmo decidere di
ttere $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in rete, in
o caso il rilascio ottimale
a di $9.95 \text{ m}^3/\text{s}$, che si traduce
perdita attesa di 16'100
di costo leggermente
ore a 16'200, il valore
ute se si rilascia $10 \text{ m}^3/\text{s}$

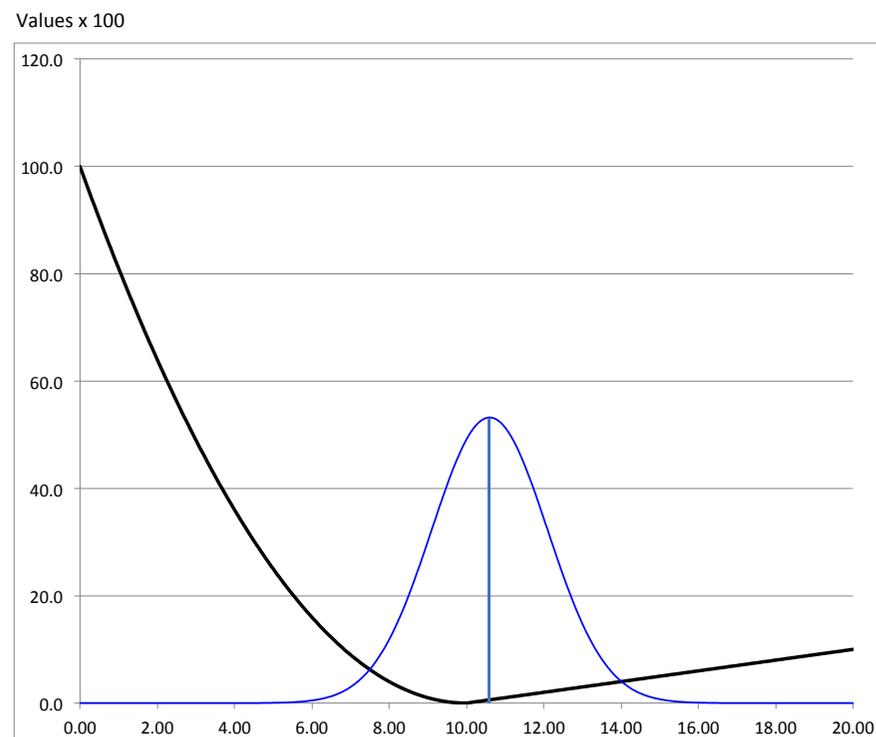
Values x 100



Incertezza media

conoscenza, quindi
incertezza, è media, il rilascio
ottimale è maggiore di $10 \text{ m}^3/\text{s}$
e dobbiamo essere cauti visto
l'alto livello di incertezza.

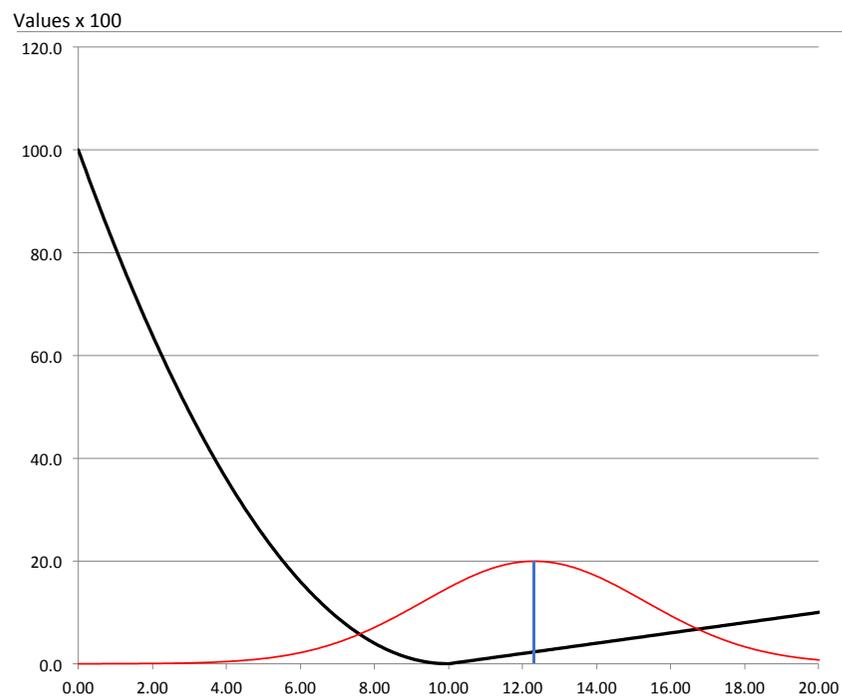
rilascio ottimale arriva fino a
 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ con una conseguente
attesa di 227'000 unità di



Incerteza elevata

Conoscenza è molto bassa e
 incerteza molto elevata, il rilascio
 deve essere
 inizialmente maggiore di $10 \text{ m}^3/\text{s}$.
 In questo caso dobbiamo essere
 particolarmente prudenti dato
 l'alto livello di incerteza.

Il rilascio ottimale raggiunge ora i
 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ con una conseguente
 attesa di 1'133'000 unità di





Incertezza e le sue conseguenze sulle decisioni

La presenza di incertezza nei risultati dei modelli è
inevitabile a causa di:

- Incertezza nella topologia della rete;
- Incertezza nella domanda presente e futura;
- Incertezza dovuta a errori di misura o mancanza di osservazioni;
- Incertezza nelle conduttanze reali, ecc.

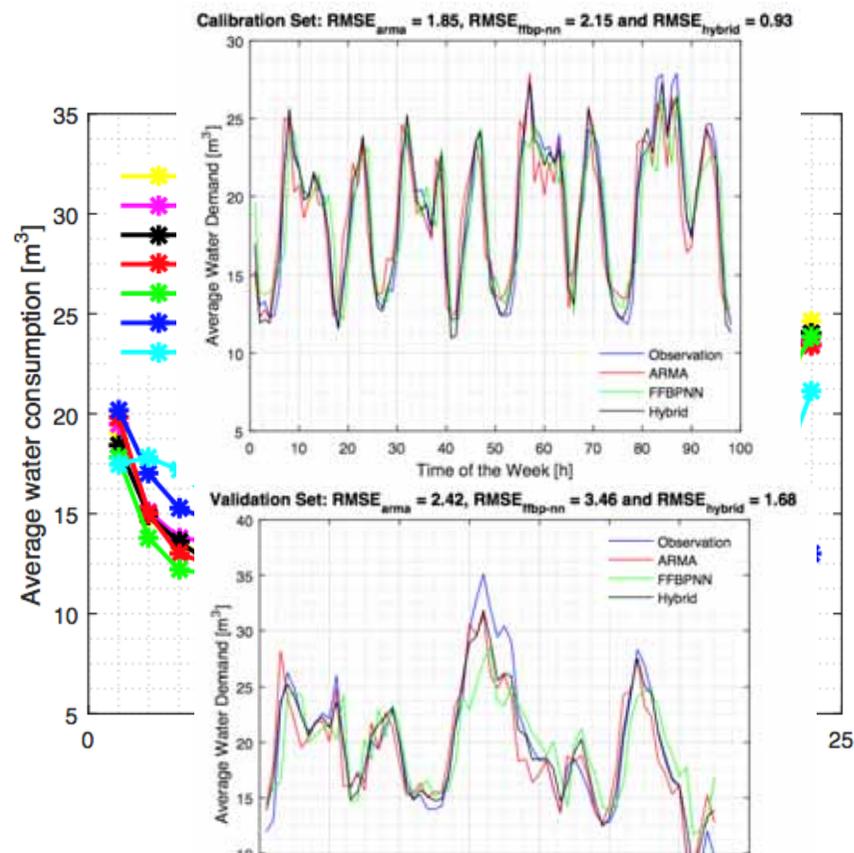
Effetti sulle decisioni finali dovuti al trascurare tutte

certezza nelle previsioni probabilistiche la domanda

si può vedere in esempio,
domanda oraria varia nei
ni della settimana.

modelli, un modello di tipo
A, una rete neurale di
(BP-NN) e un modello Ibrido
o stati calibrati in modo da
representare il
portamento della domanda
rvato.

modelli rappresentano
efficientemente bene i dati



certezza nelle previsioni probabilistiche della domanda

Il vero obiettivo della previsione non è
l'accuratezza della modellazione, ma piuttosto
l'elaborazione della distribuzione di
probabilità predittiva,

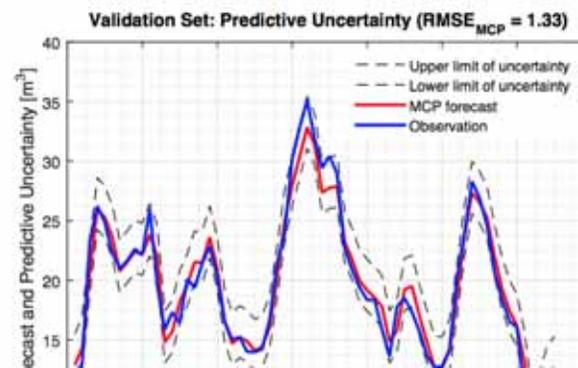
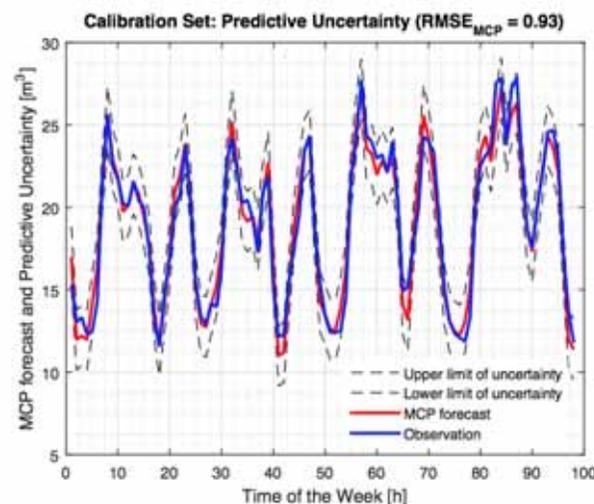
$$f\{y|I\}$$

nell'esempio può essere scritta come:

$$f\{y|\mathcal{Y}_{ARMA}, \mathcal{Y}_{FFBP-NN}, \mathcal{Y}_{HYBRID}\}$$

tutte le informazioni disponibili sono
consolidate nelle previsioni dei modelli.

Questa densità condizionata può essere
ottenuta utilizzando uno dei post
processori disponibili, come ad esempio il





L'assimilazione delle osservazioni per ridurre l'incertezza

partendo da una previsione probabilistica della domanda
è possibile procedere alla riduzione dell'incertezza
visionale mediante osservazioni provenienti da una rete
di misura.

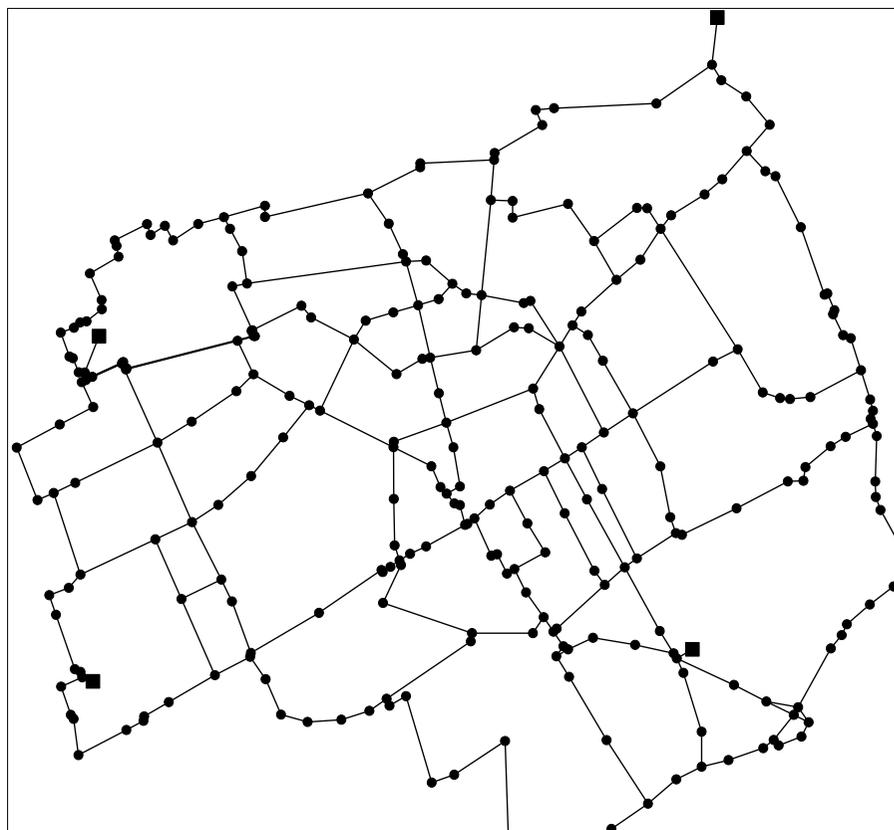
la prima cosa è necessario ricercare una rete di
osservazioni ottimale nel senso che massimizzi la riduzione
di una misura dell'incertezza (ad esempio la varianza)
compatibilmente con un costo accessibile.

Ricerca rete monitoraggio ottimale

Caso di studio: la rete di Modena

rete magliata di Modena
268 nodi di domanda, 317
dotte di 13 diametri
vari da 100 ai 400 mm.

rete di Modena è
alimentata da 4 serbatoi e
vede una pressione non
inferiore a 20 m su tutti i
nodi di domanda.



Ricerca di una rete di misura ottimale

Prima rete di osservazione

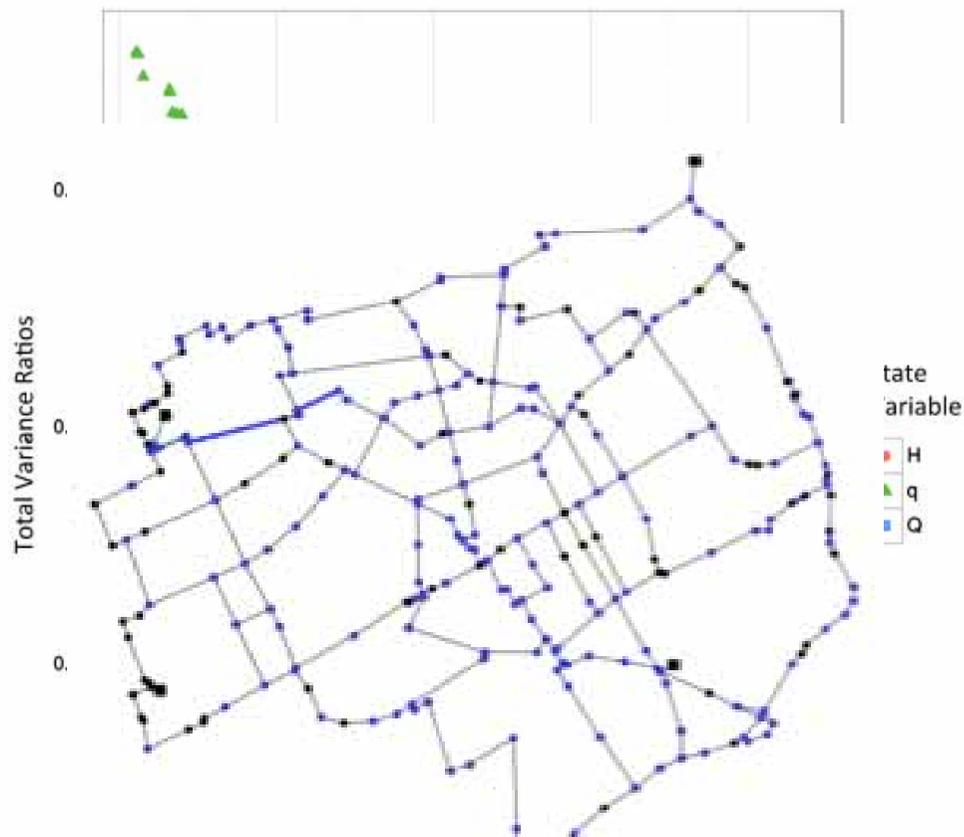
1) include:

1 sensore di pressione,
5 misuratori di portata
5 sensori di domanda
Costo totale 106,615 €

Seconda rete di osservazione

2) include:

25 sensori di pressione,
5 misuratori di portata
5 sensori di domanda
Costo totale 165,166 €



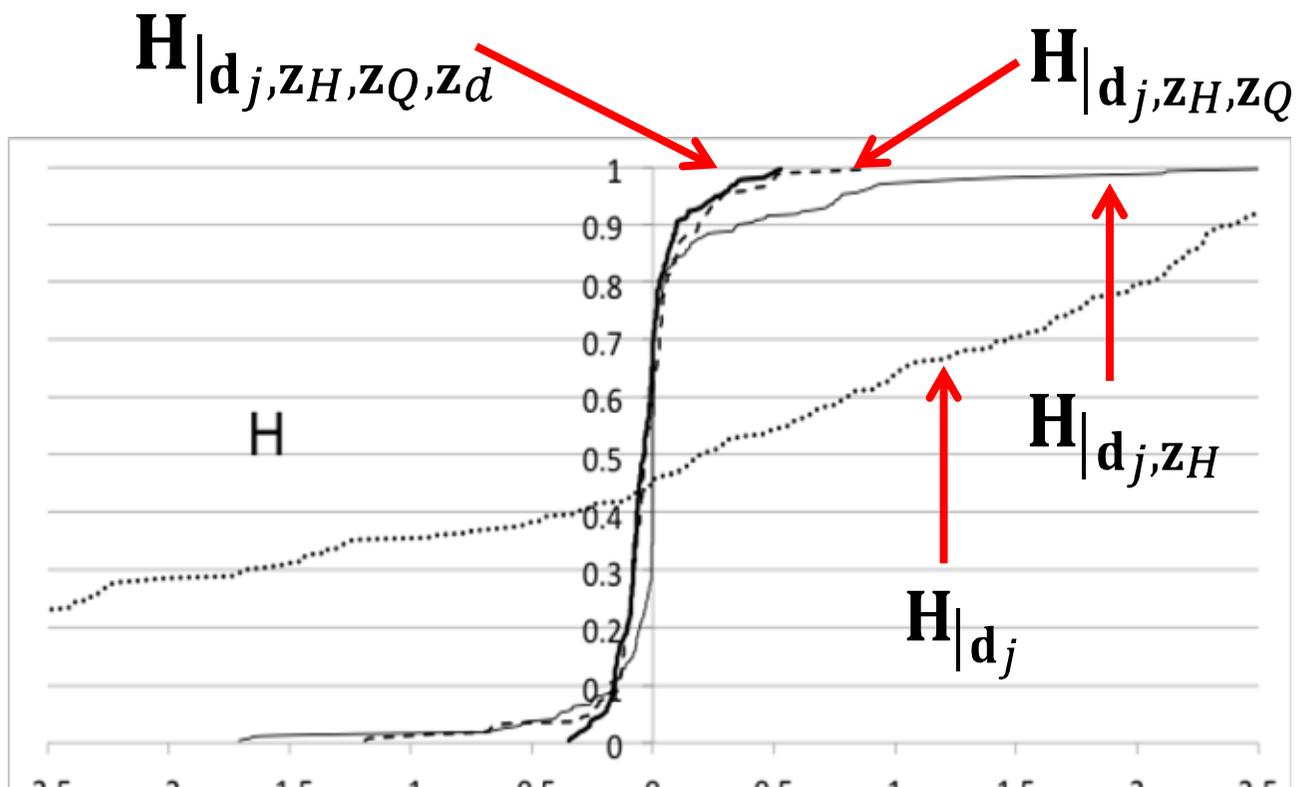
VAL
QUA

BRESSANONE
13-15 MAGGIO 2019
FORUM BRIXEN BRESSANONE

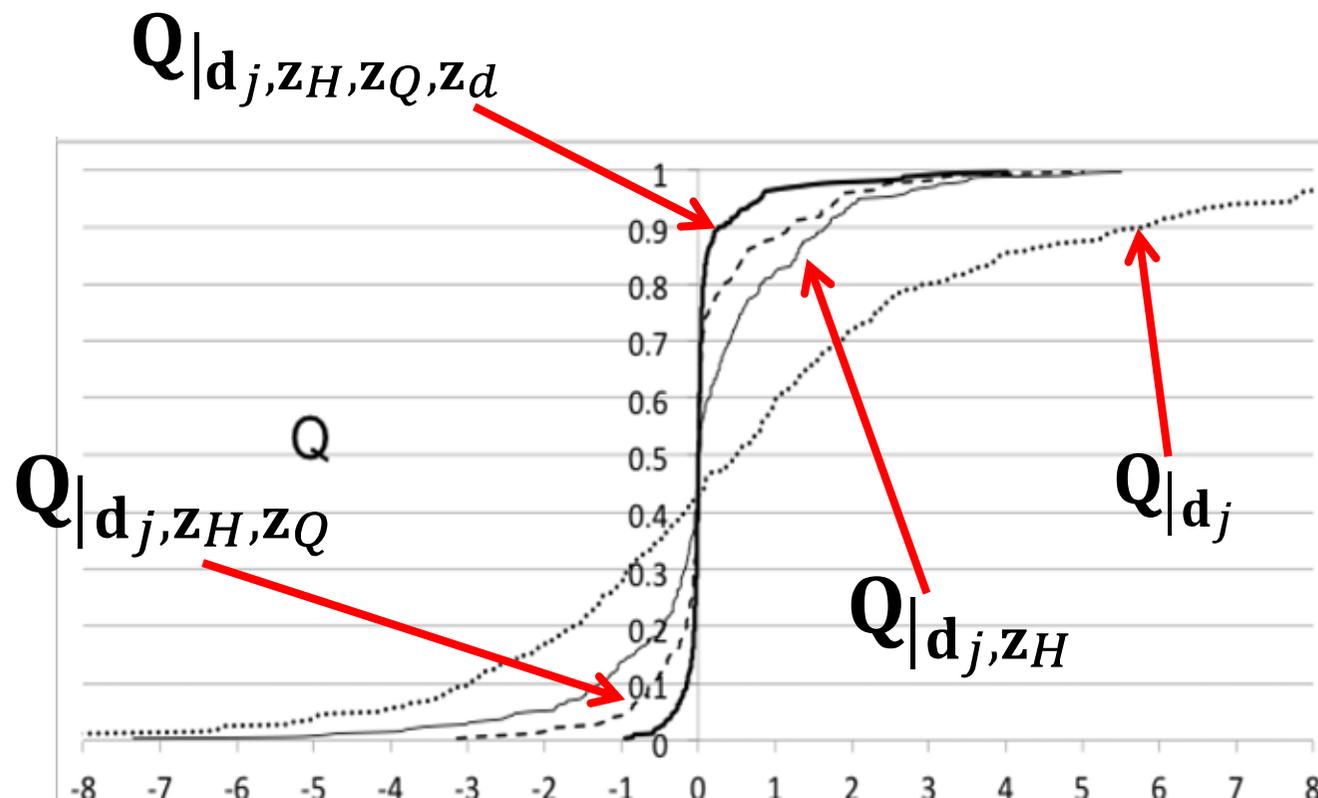


Trasduttori di pressione collegati ai contatori

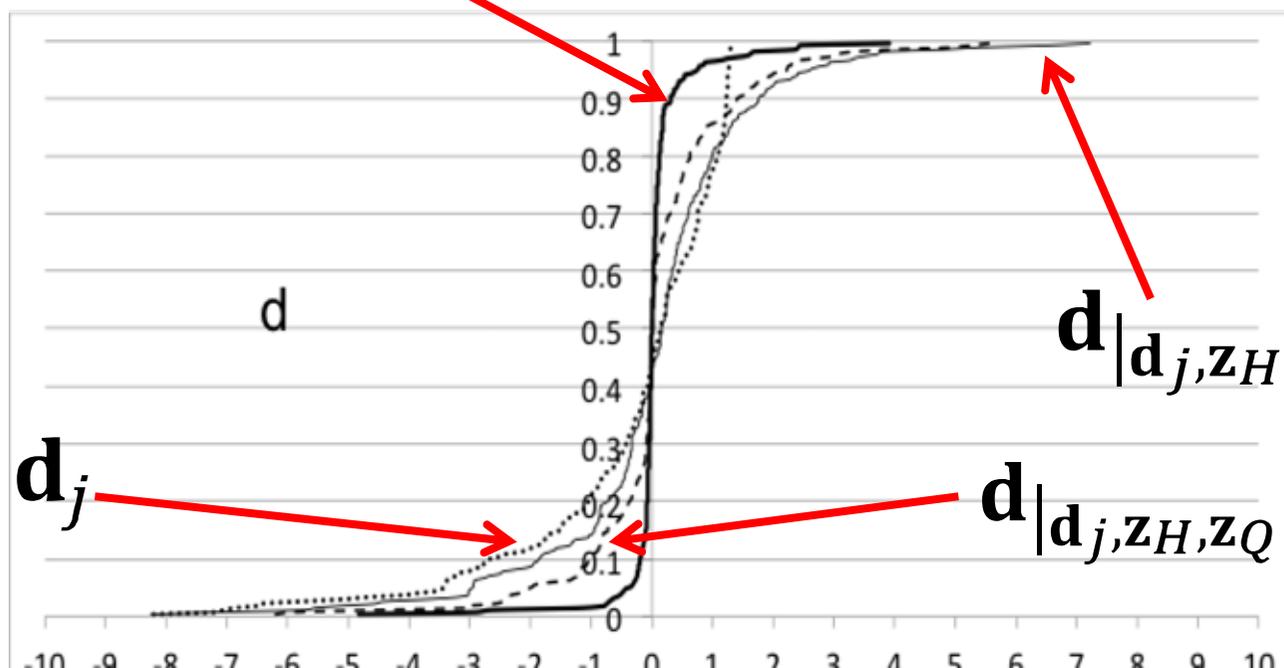
RISULTATO: Pressione ai nodi



RISULTATO: Portate



RISULTATO: Domanda

 $d_{|d_j, z_H, z_Q, z_d}$ 

L'assimilazione delle osservazioni per ridurre l'incertezza

Una volta individuata la rete di misura è possibile accedere in tempo reale all'assimilazione dei dati osservati

	$TV\{H\}$ [m]	$TV\{Q\}$ [l/s]	$TV\{q\}$ [l/s]
Prior $ q_j$	49.807	13.747	2.461
MN1 $ q_j, z_H, z_Q, z_q$	0.311	1.755	1.932
MN2 $ q_j, z_H, z_Q, z_q$	0.033	0.757	1.105



I concetti probabilistici applicati alla calibrazione e alla ricerca delle perdite

La calibrazione delle conduttanze delle condotte può essere affrontata inserendo tali grandezze in un vettore stato, analogamente a quanto fatto per pressioni, portate e domanda.

Inoltre, nel corso in vari centri di ricerca la sperimentazione di algoritmi basati sui Filtri di Kalman di insieme che permettono di aggiornare di continuo le stime dei parametri dei modelli, in particolare le conduttanze idrauliche.

Perdite





I concetti probabilistici applicati alla calibrazione e alla ricerca delle perdite

ne, anche per quanto riguarda le perdite di rete, mediante
analisi basata su concetti probabilistici, è possibile
individuare zone in cui risulti più alta la probabilità di una
perdita.

approcci non promettono di individuare il punto, ma
una area sufficientemente limitata in cui successivamente
lavorare con le metodologie classiche (sensori sonici,
inclinometri, ecc.)



Conclusioni

...i passi sono stati fatti dagli anni '30 del secolo scorso, con il Hardy Cross con il suo approccio a maglie permise di verificare i primi schemi magliati, ad oggi, quando disponiamo di strumenti di verifica e di simulazione sempre più performanti.

...via, oggi è necessario effettuare un ulteriore "quantum leap" e passare da una visione deterministica-ingegneristica ad una più realistica interpretazione probabilistica.

...o consentirà di sfruttare al meglio sia le reti di sensori e i dati in tempo reale, sia, e soprattutto,



BRESSANONE
13-15 MAGGIO 2019
FORUM BRIXEN BRESSANONE



**GRAZIE DELLA
CORTESE ATTENZIONE**

