

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

Corso di

RETI IDRAULICHE

Carlo Ciaponi

Valutazione delle prestazioni dei sistemi acquedottistici

La valutazione delle prestazioni nel settore acquedottistico: le due principali linee di sviluppo

PRIMO FILONE:

- **Contesto di sviluppo:** legato al processo di industrializzazione dei servizi idrici
- **Oggetto della valutazione:** efficacia, efficienza e costi dei **servizi idrici**
- **Strumenti di valutazione:** indicatori di prestazione (PI_s)
- **Base della valutazione:** dati generali e di esercizio
- **Struttura di calcolo:** molto semplice
- **Leggibilità dei risultati:** tutti i soggetti interessati (Gestore, Autorità, Consumatori)
- **Ambito di sviluppo:** prevalentemente Associazioni, Organizzazioni, Enti (IWA, AWWA, OFWAT, **WORLD BANK**, **AUTORITA' VIGILANZA**)

Efficacia,
efficienza
economicità !!



SECONDO FILONE:

- **Contesto di sviluppo:** evoluzione delle metodologie di calcolo
- **Oggetto della valutazione:** prestazioni idrauliche dei **sistemi** (soprattutto reti)
- **Strumenti di valutazione:** indicatori di prestazione (PI_s)
- **Base della valutazione:** simulazione con modellistica matematica
- **Struttura di calcolo:** complessa
- **Leggibilità dei risultati:** da parte dei tecnici
- **Ambito di sviluppo:** ricerca scientifica

Cos'è
l'affidabilità ??



1° filone: PI_s per la valutazione dei servizi idrici (1)

(PI_s - Systems: IWA; AWA; ENGREF; WORLD BANK; OFWAT; Autorità Vigilanza Risorse Idriche..)

SCHEMA VALUTAZIONE

DATA-BASE:

generali, utenza, configurazione e dimensione impianti, personale, gestionali, disservizi, bilanci idrici, economici, finanziari, ecc. (facilmente acquisibili)



MISURA PRESTAZIONE
(CALCOLO INDICATORI)



GIUDIZIO

confronto con valori di riferimento

ESEMPIO

DATI:

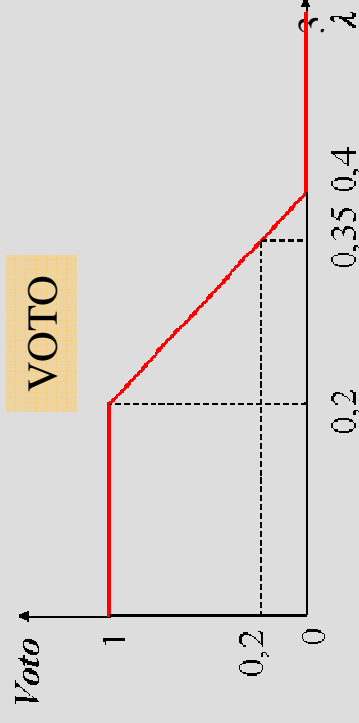
- L = Sviluppo della rete = 100 km
- NR = numero annuo di rotture (riparazioni) = 35



$$\lambda = NR / L = 0,35$$



VOTO



1° filone: PIs per la valutazione dei servizi idrici (2)

PRINCIPALI ASPETTI OGGETTO DI VALUTAZIONE:

- aspetti industriali ed economici
- aspetti gestionali (anche con riferimento alla qualità servizio)
- perdite idriche (esempio: indici ILI - CARL - UARL)

SOGGETTI DESTINATARI (OSSERVATORI):

- Gestore
- Autorità d'Ambito
- Consumatori (Associazioni)
- Cittadini (rappresentanza politica)

UTILITA':

- consente di esprimere in modo più concreto le prestazioni richieste
- consente di seguire l'evoluzione temporale della qualità del servizio
- rende possibile la comparazione di gestioni diverse (stimoli concorrenziali)
- rende visibili i miglioramenti non percepiti dall'utenza

ASPETTI PROBLEMATICI:

- Affidabilità e accuratezza dei dati
- Interpretazione dei risultati:
- valori di "target" non sempre facilmente definibili;
- soggettività del giudizio attribuito al valore dell'indice;
- difficoltà di aggregare gli indici in un giudizio complessivo;
- difficoltà di confronti con altre situazioni per disomogeneità dei fattori esterni (non controllabili dal gestore)

SVILUPPI NECESSARI:

- valutazione della qualità dell'informazione disponibile
- definizione di strumenti per l'aggregazione degli indici in giudizi complessivi
- ampliamento della valutazione agli aspetti di interesse generale (esempio: sostenibilità ambientale)

2° filone:

analisi prestazionale (tecnica) dei sistemi idrici

PRESTAZIONE PRINCIPALE RICHIESTA:

in tutte le condizioni che verosimilmente si potranno presentare nel corso della vita utile fornire all'utenza acqua

- [di buona qualità],
- in quantità sufficiente a soddisfare la domanda;
- con una pressione sufficiente a garantire l'erogazione

SCOPO DELL'ANALISI:

valutare se ed eventualmente in che misura l'impianto è in grado di fornire le prestazioni richieste



APPROCCIO DETERMINISTICO

IL SISTEMA
E' ADEGUATO
SI/NO



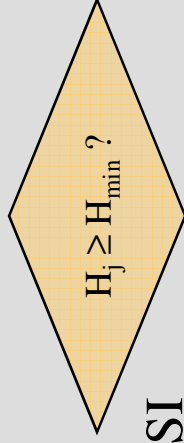
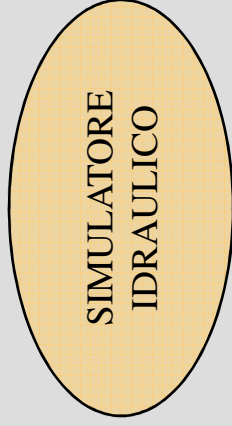
APPROCCIO PROBABILISTICO

MISURA
DELL'EFFICACIA
DEL SISTEMA

analisi prestazionale dei sistemi idrici: approccio deterministico

SCENARI DI INPUT:

- condizioni di lavoro
- livelli nei serbatoi
- portate richieste



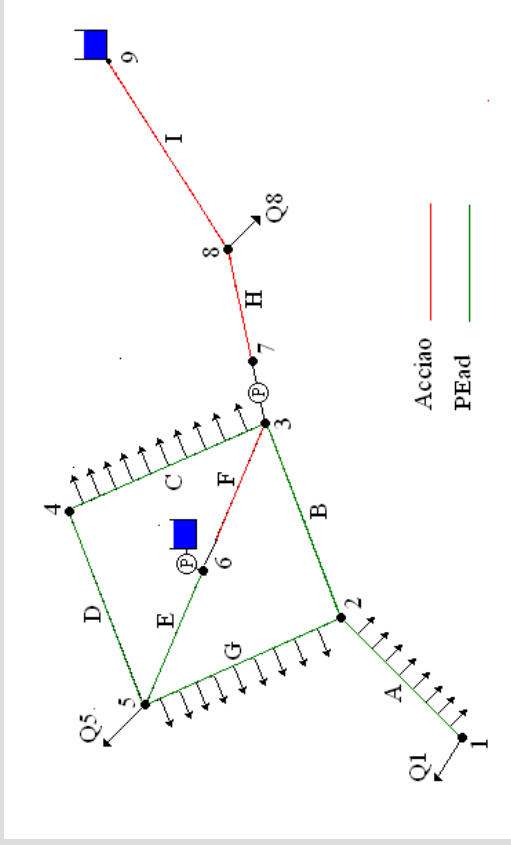
SI

IL SISTEMA E' ADEGUATO



NO

IL SISTEMA NON E' ADEGUATO



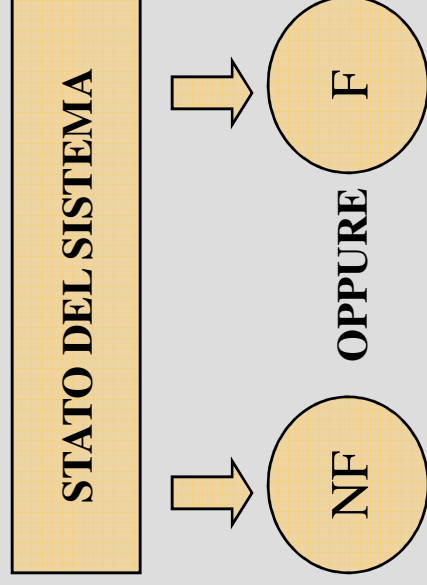
LIMITI DELL'ANALISI:

- 1) n° scenari limitato; ad essi, inoltre, non è associato un valore di probabilità
- 2) convenzionalità degli scenari di calcolo
- 3) non sono considerate le incertezze
- 4) non è misurato il grado di adeguatezza o di inadeguatezza

**APPROCCIO DI LUNGA SPERIMENTAZIONE,
CONSOLIDATO E DI USO GENERALIZZATO**

RISULTATI ROBUSTI

Analisi prestaz. dei sistemi idrici: approccio probabilistico (Hashimoto, Stedinger & Louks, 1982)



F = Fallanza= violazione delle prestazioni rispetto a dei valori di soglia

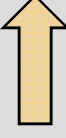
Ad esempio:

$$H_j < H_{min_j}$$

$$Q_j < Q_{r_j}$$

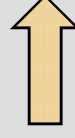
L'efficacia prestazionale del sistema può essere quantitativamente misurata sulla base delle fallanze che esso presenta nel corso della sua vita utile, attraverso le seguenti tre grandezze:

Probabilità di trovarsi in uno stato di non fallanza



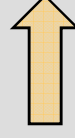
AFFIDABILITA'

Rapidità con cui il sistema esce da uno stato di fallanza



RESILIENZA

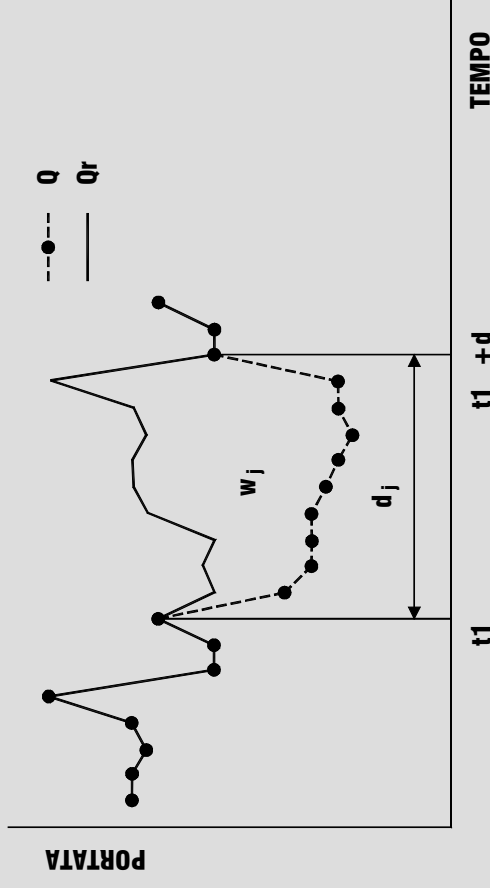
Probabile danno conseguente alle fallanze



VULNERABILITA'

Approccio probabilistico di Hashimoto et al., 1982

- $Q_r(t)$ portata richiesta (soglia stato fallanza)
- $Q(t)$ portata erogata (prestazione)
- **stato F** [fallanza: $Q(t) < Q_r(t)$]
- **stato NF** [no fallanza: $Q(t) = Q_r(t)$]
- T durata vita utile impianto
- d_j durata della j-esima fallanza
- M numero periodi di fallanza



$$Rel = P[S \in NF] \Rightarrow Rel = 1 - \frac{\sum_{j=1}^M d_j}{T}$$

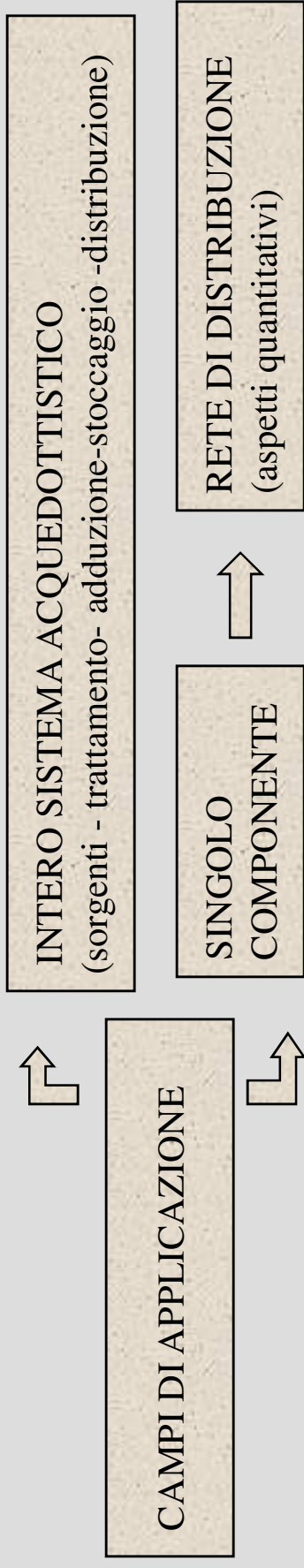
$$Res = P[S(t+1) \in NF; S(t) \in F] \Rightarrow Res = \left[\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d_j \right]^{-1}$$

$$Vul = \sum_{j \in F} e_j h_j \Rightarrow Vul = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M W_j$$

$$W_j = \int_{t_i}^{t_i+d_j} [Q_r(t) - Q(t)] dt$$

PROBLEMA: queste definizioni
 - fanno riferimento solo al rispetto assoluto degli standard (non sono in grado di misurare le fallanze parziali);
 - difficile decifrabilità del livello di prestazione definito attraverso tre indicatori

Affidabilità dei sistemi idrici



QUESTIONI IRRISOLTE

DEFINIZIONE ?

MISURA ?

VALORI ACCETTABILI ?

↑

Capacità del sistema di soddisfare l'utenza in tutte le condizioni operative che possono presentarsi durante la vita utile del sistema

↑

$$R = f \left(\frac{W_{erogato}}{W_{richiesto}} \right)$$

↑

???

Misura dell'affidabilità basata sui deficit volumetrici

DOMANDA: stazionaria

STATI DI LAVORO: diversi caratterizzati da indisponibilità di qualche componente

VALUTAZIONE: globale

$$R_k = \frac{W_k}{W r_k} = \frac{Q_k \Delta t}{Q r_k \Delta t} = \frac{Q_k}{Q r_k}$$

$$R = \sum_k^{NS} R_k w_k \quad (w_k = \text{probabilità di occorrenza dello "stato di lavoro" } k\text{-esimo})$$

Con la stessa impostazione si può effettuare la valutazione per ogni singolo nodo

Misura dell'affidabilità basata sui deficit volumetrici

DOMANDA: variabile nel tempo per intervalli temporali discreti Δt (es. 1 ora)
STATO DI LAVORO: prefissato
VALUTAZIONE: globale

$$R_i = \frac{W_i}{W r_i} = \frac{Q_i \Delta t}{Q r_i \Delta t} = \frac{Q_i}{Q r_i} \quad i = 1, n \quad (n = n^\circ \text{ intervalli temporali: } \Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_i = \dots = \Delta t_n)$$

$$R = \frac{\sum_i^n W_i}{\sum_i^n W r_i} = \frac{\sum_i^n Q_i \Delta t}{\sum_i^n Q r_i \Delta t} = \frac{\sum_i^n Q_i}{\sum_i^n Q r_i}$$

Con la stessa impostazione si può effettuare la valutazione per ogni singolo nodo

Distribuzione temporale e spaziale delle fallanze

Situazione	Deficit (Qr-Q)/Qr	per % tempo	per % nodi	RR	R_j	F_t	F_n	RR_c
1 (accettabile)	10%	100%	100%	0.9	0.9	1.0	0.9	0.81
2 (grave)	100%	10%	100%	0.9	0.9	0.9	0.9	0.73
3 (gravissima)	100%	100%	10%	0.9	0 1 10% nodi 90% nodi	0.9	0.0	0.00

INDICATORI SUPPLEMENTARI (Gupta & Bhawe, 1994)

$\beta_{j,i}=1$ se $Q_{j,i}/Q_{r,i} \geq$ valore accettabile (ad esempio: 0,5)

$\beta_{j,i}=0$ se $Q_{j,i}/Q_{r,i} <$ valore accettabile (ad esempio: 0,5)

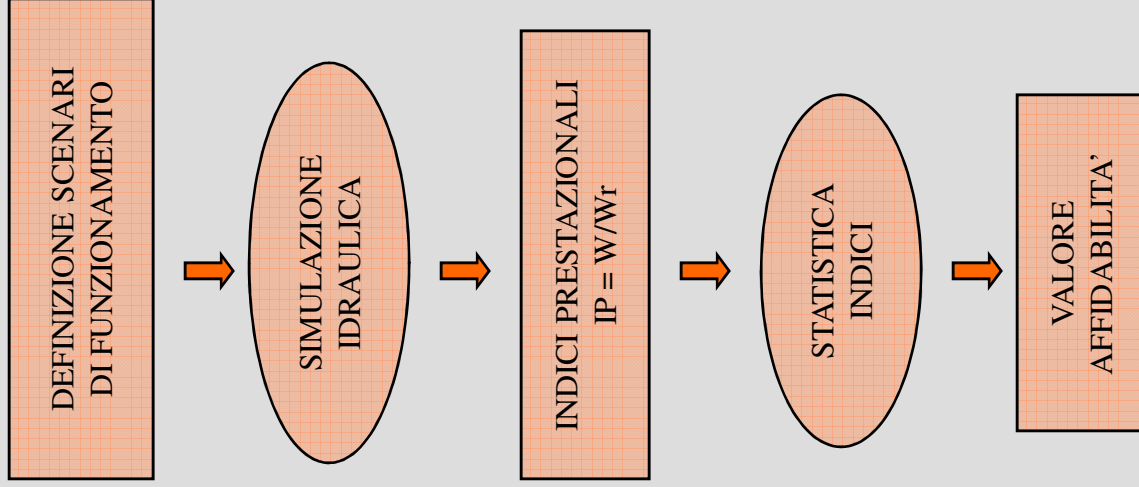
T = durata totale periodo considerato

$$F_t = \frac{\sum_j \sum_i \beta_{j,i} \Delta t}{NN T}$$

$$F_n = \left[\prod_j R_j \right]^{1/NN}$$

$$RR_{\text{corretta}} = F_t F_n RR$$

Calcolo dell'affidabilità



FATTORI DI FALLANZA:

- 1) **Fattori meccanici** (guasti e fuori servizio di tubazioni, pompe, ecc.)
- 2) **Fattori idraulici** (variazioni della domanda e riduzioni conduttanza tubazioni)

FATTORI ALEATORI DI CUI SI PUO' TENERE CONTO:

- aleatorietà esprimibili in termini probabilistici - _----> SI
- aleatorietà non esprimibili in termini probabilistici ----> NO

IMPOSTAZIONI:

- Solo fattori meccanici
- Solo fattori idraulici
- Fattori meccanici + fattori idraulici

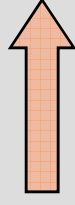
METODI:

- Simulazioni di lungo periodo (generazione degli elementi aleatori con tecniche Monte Carlo)
- Introduzione di semplificazioni
- Forme chiuse + simulazioni

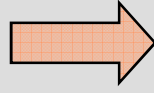
Simulazione idraulica del comportamento del sistema

ESIGENZA:

Valutare l'effettiva portata erogata nei nodi dove $H_j < H_{rj}$



SI



NO

APPROCCIO TRADIZIONALE

DDA (Demand Driven Analysis)

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_j + \sum \pm q_i = 0 \\ \Delta H_i = r_i q_i |q_i|^{\alpha_i - 1} \end{array} \right.$$

Dati: Q_j
Incognite: $q_i - H_j$

RISULTATI DELLA VERIFICA:

- se $H_j \geq H_{rj}$ per $j = 1, NN$ **OK**
- se $H_j < H_{rj}$ per almeno un nodo **NO**

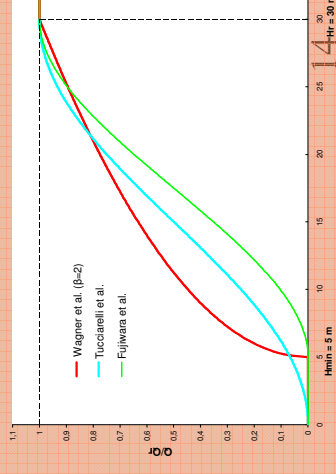
APPROCCIO ALTERNATIVO

PDA (Pressure Driven Analysis)

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_j + \sum \pm q_i = 0 \\ \Delta H_i = r_i q_i |q_i|^{\alpha_i - 1} \\ Q_j = f(H_j) \end{array} \right.$$

Dati: Q_{rj}
Incognite: $q_i - H_j - Q_j$

$Q/Q_r = f(H)$



Analisi probabilistica delle fallanze meccaniche -1

MTTF = Mean Time To Failure; **MTTR** = Mean Time To Repair

$$A_i = \frac{MTTF_i}{MTTF_i + MTTR_i}$$

$$U_i = 1 - A_i = \frac{MTTR_i}{MTTR_i + MTTF_i}$$

$p(0) = \prod_{i=1}^{NT} A_i$ probabilità che nessun tronco della rete sia indisponibile

$p(f) = p(0) \frac{U_f}{A_f}$ probabilità che il tronco f e solo quello, sia indisponibile

APPROCCIO ALTERNATIVO (Bertola, Salandin, Nicolini)

dalle PDF di MTTF e di MTTR si generano, con tecniche Monte Carlo possibili successioni di di diversi stati di lavoro (funzionamento regolare e stati di fallanza) in cui il sistema transita e se ne simula in continuo il comportamento idraulico

Analisi probabilistica delle fallanze meccaniche -2

$$MTTF_i = \frac{365}{\lambda_i L_i}$$

λ = tasso di rottura [n° rotture/(anno km)]

$$MTTR_i = \frac{1}{\mu}$$

μ = tasso di riparazione [(ore) $^{-1}$]

λ = costante

(secondo diagramma “a vasca da bagno”)

$$MTTR = 1 \text{ giorno}$$

$$MTTR = 6,5 D^{0,285}$$

$$\lambda = 0,05 \div 1 \text{ rotture / (km anno)}$$

$$\lambda = 0,0261 + \frac{16192}{D^{3,26}} + \frac{118}{D^{1,3131}} + \frac{183558}{D^{3,5792}}$$

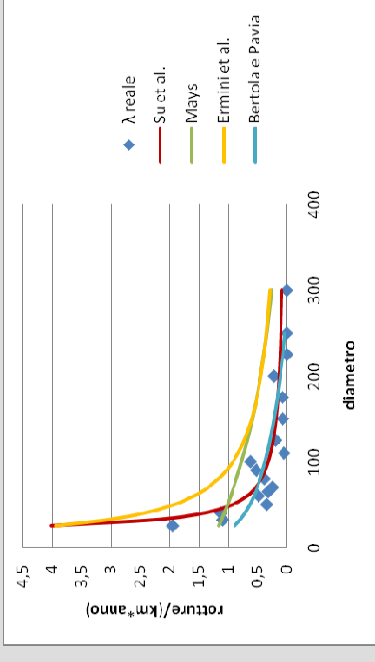
(Su et al., 1987)

$$\lambda = 2,08546 - 0,854936 \log D$$

(Bertola e Pavia, 2002)

$$\lambda = 116 D^{-1,05}$$

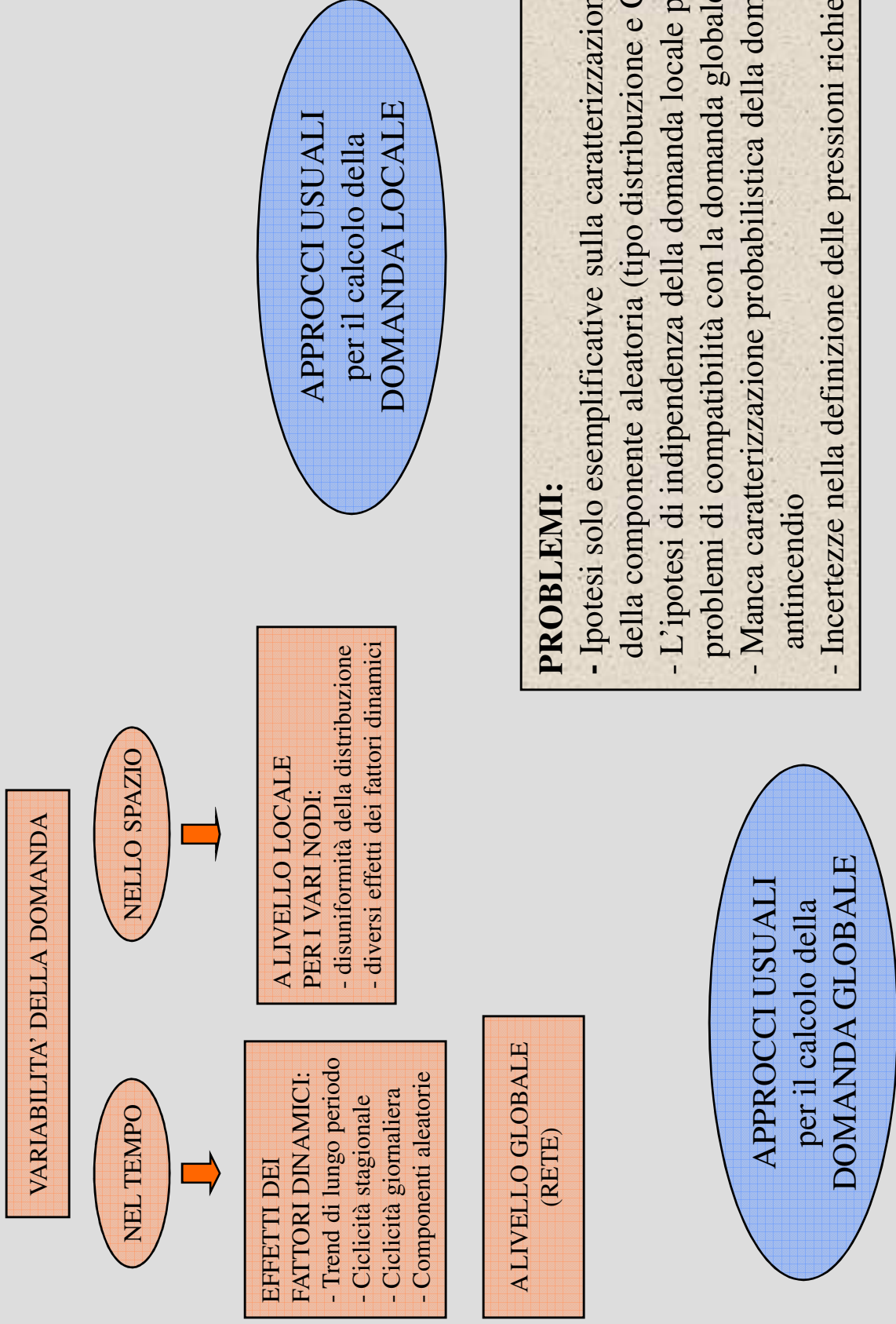
(Ermini et al., 1998)



PROBLEMI:

- confusione fra i termini “rottura”, “riparazione” e “indisponibilità”
- forte sensibilità del parametro “disponibilità” nei confronti di MTTR

La simulazione della domanda idrica



Altri aspetti prestazionali che dovrebbero entrare nella valutazione

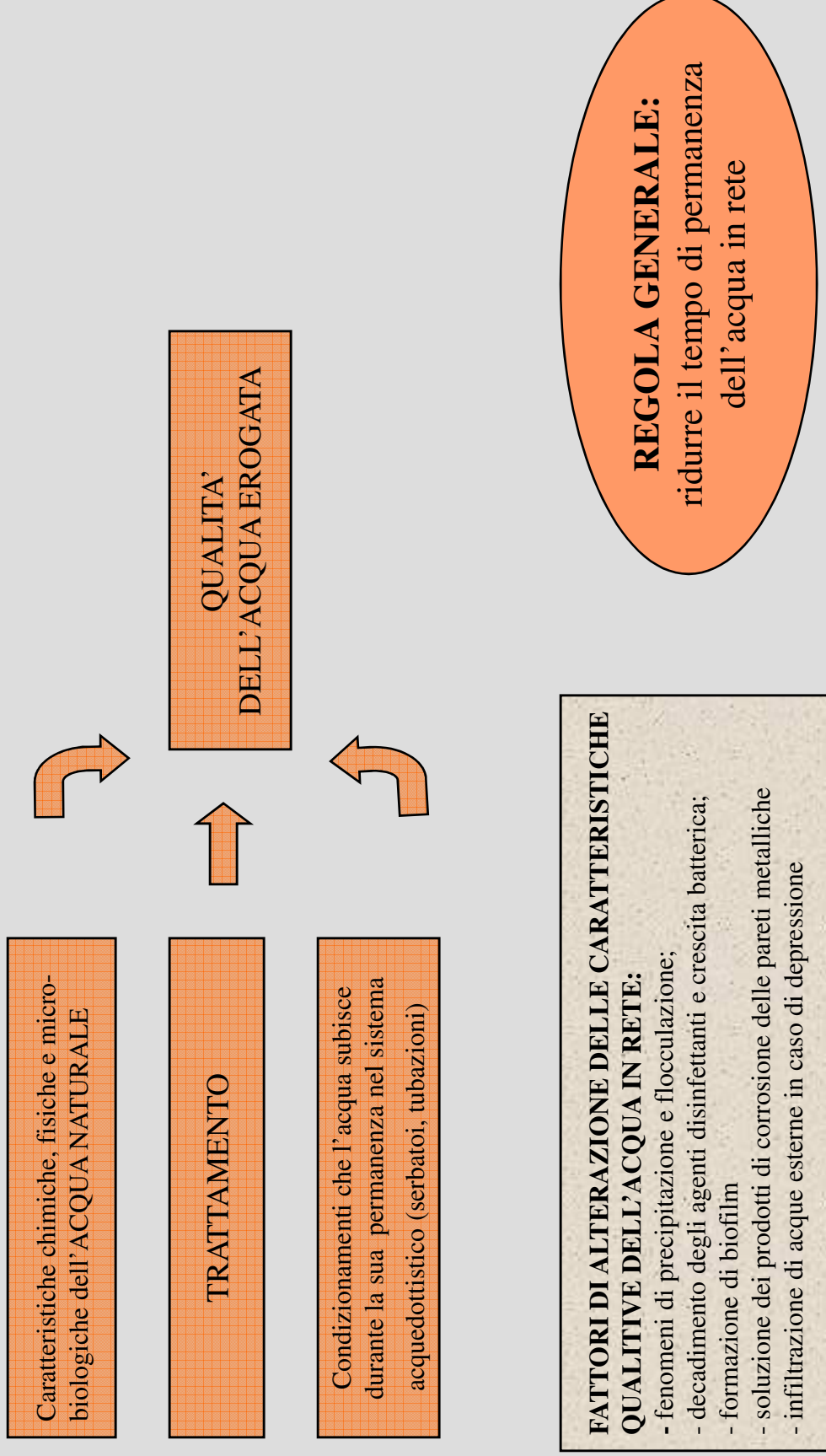
INDICATORI PER ASPETTI FUNZIONALI NON DIRETTAMENTE PERCEPITI DALL'UTENZA:

- **Fallanza pressoria con situazioni di depressione (o vicine alla depressione) (da penalizzare fortemente)**
- Eccesso di velocità in condotta (Pianese e Villani, 1994)
- Eccesso di oscillazione di carico al nodo (Pianese e Villani, 1994)
- Efficienza energetica

INDICATORI PER SISTEMI FUNZIONANTI IN CONDIZIONI DI SCARSITA' IDRICA

- Equità nella distribuzione della risorsa (La Loggia et al., 2005)

Affidabilità con riferimento alla qualità dell'acqua



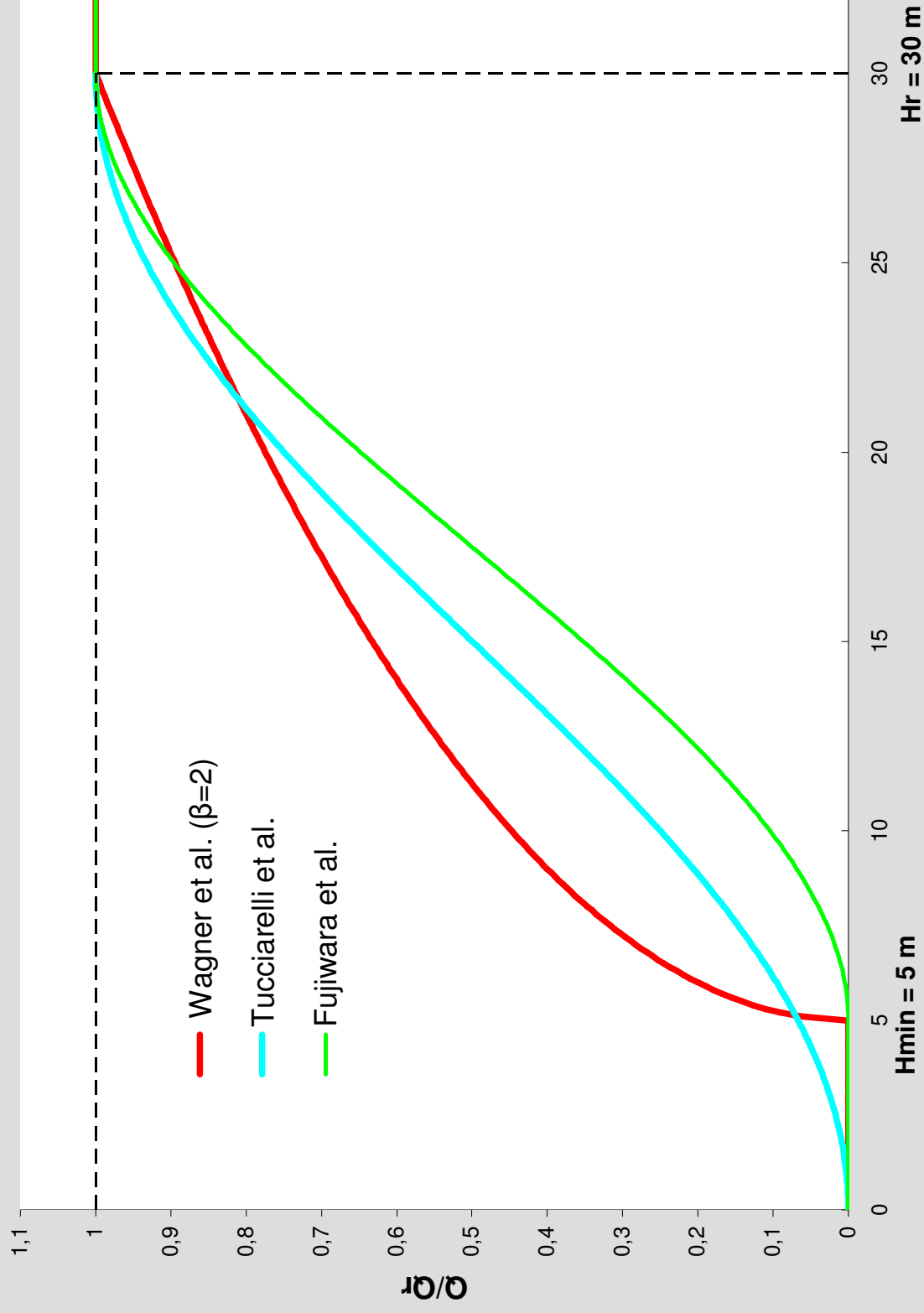
CONCLUSIONI

TIPOLOGIA VALUTAZIONE	QUALITA' CONCETTUALE	APPLICABILITA'	TRADUZIONE IN GIUDIZIO
INCENTRATA SU DATA-BASE (TIPO IWA-PI)	SCARSA/DISCRETA	BUONA	SCARSA/DISCRETA
ANALISI IDRAULICA SU BASE DETERMINISTICA	DISCRETA	BUONA	DISCRETA
ANALISI IDRAULICA SU BASE PROBABILISTICA	BUONA	SCARSA	SCARSA

- NECESSITA' DI SUPERARE UNA VISIONE "RETE-CENTRICA"

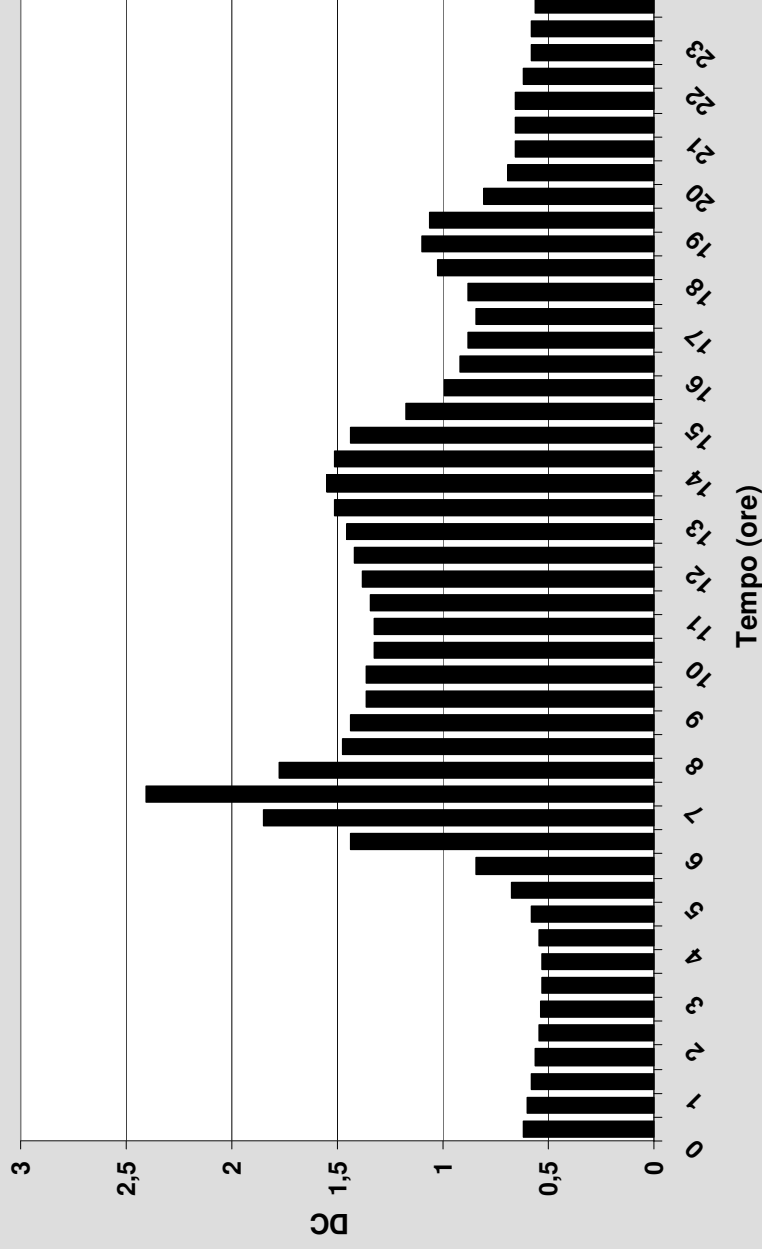
- NECESSITA' DI INTRODURRE GLI ASPETTI RELATIVI ALLA QUALITA' E AI RISCHI DI RIDUZIONE DELLE DISPONIBILITA' IDRICHE

FUNZIONI DI LEGAME $Q = f(H)$



APPROCCI USUALI PER IL CALCOLO DELLA DOMANDA GLOBALE

- 1) CICLICITA' GIORNALIERA (deterministica)
- 2) CICLICITA' GIORNALIERA (deterministica) + COMPONENTE ALEATORIA



APPROCCI USUALI PER IL CALCOLO DELLA DOMANDA LOCALE

- 1) Ripartizione domanda globale (deterministica + eventuale aleatoria): $Q_j = Q_T P_j / P_T$
- 2) Ciclicità giornaliera globale + componente stocastica locale indipendente per ogni nodo
- 3) Ciclicità giornaliera locale + componente stocastica locale

