

INDICI PRESTAZIONALI PER LA GESTIONE DI SISTEMI DI ADDUZIONE

R. Ermini¹ & R. Ataoui¹

(1) Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell’Ambiente (DIFA), Università degli Studi della Basilicata - Potenza (IT)
e-mail: ermini@unibas.it, ataoui_raefet@yahoo.fr

SOMMARIO

Con riferimento ad uno specifico caso di studio (acquedotto del Sinni in Basilicata), particolarmente rappresentativo delle complessità che usualmente caratterizzano un sistema idrico, sono proposti specifici indicatori di performance capaci di interpretare gli stati del sistema, al variare delle condizioni di funzionamento.

La metodologia proposta si è dimostrata particolarmente utile per migliorare la conoscenza del sistema, per localizzare le differenti criticità dell’infrastruttura, per supportare le attività di monitoraggio e di gestione e per guidare le scelte in modo più consapevole verso predefiniti obiettivi strategici.

1 INTRODUZIONE

La complessità dei sistemi idrici, l’evoluzione strutturale che li caratterizza, la necessità di adattarsi ad esigenze mutevoli dettate dalla variabilità delle disponibilità idriche e dalle crescenti esigenze delle utenze, richiedono lo sviluppo di approcci capaci di sintetizzare le prestazioni dei sistemi attraverso il ricorso a procedure di sicura e agile applicazione, che si basino su grandezze misurabili o riproducibili attraverso simulazioni numeriche.

Partendo da tale considerazione, il ricorso ad indicatori di prestazione capaci di esprimere quantitativamente il grado di servizio proprio dei differenti elementi del sistema assicura un ausilio utile a supportare le fasi di programmazione e di gestione nelle differenti condizioni operative (scenari normali o eccezionali) e nel tempo.

Con riferimento ai sistemi idrici, diversi autori (*Hashimoto et al.*, 1982; *Tang*, 1985; *Bao & Mays*, 1990; *Goulter*, 1992; *Mays*, 1993; *Tanyimboh*, 1993; *Bos*, 1997; *Burt & Styles*, 1997; *Ermini*, 2000) introducono i concetti di performance e di affidabilità, definendo specifici indicatori adimensionali che traducono quantitativamente lo stato dei diversi elementi del sistema, oppure ricorrono ai concetti (*Levine*, 1982; *Bos & Nugteren*, 1990; *Weller*, 1991) di efficienza, o contenimento degli sprechi, e di efficacia, o soddisfacimento delle richieste.

Lo stesso concetto di efficienza viene anche ripreso da altri autori (*Marriam et al.*, 1983) che lo associano invece all’uniformità delle erogazioni; oppure viene considerato unitamente ad ulteriori indicatori (*Clemmens & Bos*, 1990; *Molden & Gates*, 1990) che descrivono l’adeguatezza del servizio reso all’utenza. Con riferimento a quest’ultimo aspetto (*Coelho*, 1997) viene introdotto il rapporto tra portata erogata e portata richiesta per esprimere la percentuale di soddisfacimento del nodo.

Oppure si analizzano la resilienza e la vulnerabilità (*Fiering*, 1982a-1982b; *Todini*, 2000; *Gunderson & Walters*, 2002; *Ermini et al.*, 1998) che esprimono, rispettivamente, la capacità del sistema di tornare ad uno stato di funzionamento normale, dopo avere manifestato delle criticità e la severità delle conseguenze valutate.

In tutti i casi, viene ampiamente riconosciuta la capacità descrittiva degli indicatori introdotti che permettono, al variare dei parametri indice rispetto ai quali vengono effettuate le valutazioni e modificando i valori di soglia prefissati, di analizzare diversi scenari operativi e di valutare le caratteristiche di risposta del sistema a differenti sollecitazioni.

Nel presente studio viene presentata una metodologia di valutazione di indicatori capaci di sintetizzare le principali criticità infrastrutturali e di funzionamento di un sistema idrico e ne viene analizzata la pratica applicazione con riferimento ad un preciso caso di studio ben rappresentativo delle complessità proprie di un sistema idrico.

2 METODOLOGIA

Il funzionamento di un sistema idrico è influenzato da molteplici fattori e principalmente: dalle caratteristiche fisiche dell'infrastruttura, che determinano i limiti di funzionamento oltre i quali il sistema non è in grado di assicurare un buon funzionamento e dalle condizioni di funzionamento idraulico che descrivono lo stato in cui il sistema opera per effetto di regole di gestione adottate o per l'occorrenza di forzanti esterne. Le prime sono generalmente invarianti e quindi utili solo per localizzare eventuali criticità endemiche delle differenti componenti del sistema indagato che possono limitarne il funzionamento. Le seconde, invece, variano al variare degli scenari analizzati e permettono di descrivere esaurientemente il comportamento del sistema e di ogni singolo componente nelle differenti condizioni di funzionamento, pertanto forniscono utili indicazioni per guidare efficacemente la gestione dell'infrastruttura.

Il buon funzionamento del sistema è possibile solo se entrambe le citate caratteristiche soddisfano predefiniti obiettivi operativi, diversamente è sufficiente che una delle due non sia soddisfatta perché il sistema denunci criticità più o meno gravi e diffuse.

Con riferimento a ciascuno degli aspetti citati, sono stati definiti specifici indicatori (PI -Performance Indicators) utili a sintetizzare e tradurre le principali proprietà di funzionamento del sistema in termini adimensionali e operare confronti tra elementi dello schema o tra regole di gestione differenti.

La definizione dei differenti PI è stata condotta: individuando i parametri chiave deputati a descrivere il funzionamento del sistema, stabilendo gli scenari di funzionamento da utilizzare come riferimento ed introducendo la procedura di valutazione di ogni specifico indicatore.

2.1 Parametri chiave

Con riferimento al generico sistema idrico, le grandezze che descrivono lo stato del sistema sono: le portate (Q_{ij}) che fluiscono nei diversi tronchi, le energie (H_{ij}) utilizzate per convogliare le rispettive portate, le energie (ΔH_{ij}) dissipate per effettuare le regolazioni e le portate (Q_i) erogate da ciascun nodo del sistema.

In particolare, le prime tre variabili esprimono parametri rappresentativi delle condizioni di funzionamento del sistema, con particolare riguardo alla funzione di vettore di trasporto. L'ultima variabile considera lo stato del servizio garantito all'utenza.

Tutte le grandezze individuate risultano essere ben identificabili per ogni elemento del sistema, possono essere valutate con riferimento a differenti condizioni di funzionamento (scenari), per differenti scale spaziali e temporali e in diversi periodi di funzionamento (irriguo, non irriguo, crisi idrica) e quindi esprimono perfettamente lo stato idraulico di ogni componente e dell'intero sistema idrico.

2.2 Performance Indicators

Le caratteristiche di funzionamento dell'infrastruttura e le caratteristiche del servizio reso agli utilizzatori, vengono espresse attraverso specifici PI. Con riferimento alla funzione di vettore di trasporto dell'adduttore (Tab.1) vengono definite:

- la capacità di trasporto (PI_T), che viene valutata come rapporto tra le capacità di trasporto (Q_{eff}), misurate o simulate, degli elementi del sistema e la capacità di trasporto (Q_{prog}) ipotizzata dal progetto;
- l'efficienza di trasporto (PI_{TE}), che viene espressa, per ogni tronco omogeneo, attraverso il rapporto tra l'energia (H_u) utilizzata per addurre le portate richieste e l'energia (H_d) disponibile nel sistema;
- l'efficienza di regolazione (PI_{TR}), che viene espressa attraverso il rapporto tra l'energia (H_r) residua a valle del singolo elemento e l'energia (H_d) disponibile.

Performance indicators	Espressione	Note
Capacità di trasporto	$PI_T = n_{prog} / n_{eff} = Q_{eff} / Q_{prog}$	n: scabrezza ; Q: portata
Efficienza di trasporto	$PI_{TE} = H_u / H_d$	H_u : energia utilizzata H_d : energia disponibile
Efficienza di Regolazione	$PI_{TR} = H_r / H_d$	H_r : energia residua

Tabella 1. Indicatori di Performance del funzionamento idraulico dell'adduttore

Con riferimento al servizio reso alle utenze (Tab.2), ovvero alle portate erogate nei nodi del sistema, vengono definite:

- l'efficacia di erogazione ($PI_{Q,EA}$), valutata in ogni nodo di erogazione attraverso il rapporto tra la portata erogata (Q_E) e il fabbisogno richiesto (Q_R);
- l'efficienza di erogazione ($PI_{Q,EE}$), espressa in ogni nodo di erogazione come rapporto tra le portate richieste dell'utilizzatore (Q_R) e quelle effettivamente erogate (Q_E);
- il grado di utilizzo ($PI_{Q,ES}$), valutato come rapporto tra le portate erogate e (Q_E) quelle massime erogabili ($Q_{E,max}$).

Performance indicators	Espressioni	Note
Efficacia di erogazione	$PI_{Q,EA} = Q_E / Q_R$	$Q_E < Q_R$
Efficienza di erogazione	$PI_{Q,EE} = Q_R / Q_E$	$Q_E > Q_R$
Grado di utilizzo	$PI_{Q,ES} = Q_E / Q_{E,max}$	$Q_E < Q_{E,max}$
Q_E : portata erogata	Q_R : portata richiesta	$Q_{E,max}$: max portata erogata

Tabella 2. Indicatori di Performance del servizio reso alle utenze

Le grandezze introdotte permettono di analizzare il comportamento di ogni singola opera dell'intero sistema idrico e definiscono indicatori locali attraverso i quali è possibile evidenziare ogni criticità associabile alle grandezze esaminate.

Gli indicatori introdotti sono tutti espressi attraverso rapporti tra parametri omogenei e risultano quindi adimensionali; ciò garantisce la possibilità di operare confronti tra scenari differenti senza introdurre distorsioni di scala e quindi assicurando una diffusa validità dell'approccio proposto che risulta anche di agevole applicazione pratica.

Al variare degli scenari operativi (progetto, esercizio irriguo, esercizio invernale, funzionamento massimo o minimo) è possibile valutare le caratteristiche di risposta del sistema alle differenti sollecitazioni, ottenendo così un'ampia conoscenza delle dinamiche di funzionamento delle singole opere e dell'intero sistema idrico, indispensabili per supportare la scelta delle più appropriate regole gestionali.

2.3 Variabilità dei PI

Infrastrutture complesse, come i sistemi idrici, che sono soggetti a molteplici scenari di funzionamento devono essere in grado di funzionare correttamente, non solo in specifiche condizioni, ma al variare delle sollecitazioni a cui vengono sottoposti ed in modo omogeneo tra i diversi componenti.

È quindi importante valutare (Clemmens & Bos, 1990; Molden & Gates, 1990) la variabilità dei PI al variare del tempo e per i diversi elementi. Ovvero l'uniformità spaziale, ovvero l'occorrenza di PI simili tra i differenti elementi, e l'uniformità temporale, ovvero l'occorrenza di PI simili nel tempo, in un singolo componente.

Con riferimento ai differenti parametri introdotti, per confrontare tra loro i PI ricavati per i diversi elementi ed i PI di ogni elemento al variare del tempo viene utilizzato il coefficiente di variazione relativo alla serie omogenea di PI a cui si riferisce. Tanto più il CV è prossimo allo zero, tanto più omogenea è la serie a cui esso si riferisce. Quindi per ogni singolo aspetto indagato, ovvero per ogni specifico PI precedentemente descritto, si sintetizzano il grado di uniformità spaziale o temporale delle grandezze ricavate.

L'Uniformità Spaziale viene espressa, per un singolo scenario, attraverso il grado di variazione (CV_S) dei PI valutati in gruppi di nodi o sull'intero sistema:

$$CV_S(PI_{XX}) = \sigma_S(PI_{XX}) / \mu_S(PI_{XX}) \quad (1)$$

L'Uniformità Temporale, viene espressa dal valore del coefficiente di variazione (CV_t) dei PI ricavati in uno specifico elemento, al variare del tempo ovvero degli scenari considerati:

$$CV_t(PI_{XX}) = \sigma_t(PI_{XX}) / \mu_t(PI_{XX}) \quad (2)$$

I parametri ricavati attraverso le espressioni 1 e 2 traducono, a loro volta, specifiche proprietà del sistema e quindi sono anch'essi dei PI che dipendono dalle condizioni in cui sono ricavati.

2.4 Scenari di riferimento

Al variare delle condizioni nelle quali i Performance Indicators, precedentemente introdotti, possono essere valutati cambiano i parametri di riferimento introdotti nelle espressioni ma, soprattutto, assumono significato e validità differente i risultati stessi delle analisi condotte:

- nel considerare le condizioni di progetto, si intende valutare lo stato del sistema conseguente a predefinite ipotesi progettuali, per riconoscere criticità e confrontare differenti alternative;
- nel considerare condizioni di funzionamento specifiche (di Piano, di funzionamento irriguo, di funzionamento invernale, etc.) si valutano le capacità di risposta del sistema a differenti situazioni, per supportare le attività di gestione o individuare eventuali criticità;
- nel considerare condizioni di crisi (scarsità di risorse, domande eccezionali, malfunzionamenti, emergenze, etc.), si valuta la capacità del sistema di far fronte a situazioni eccezionali.

In tutti i casi, i PI permettono di valutare il grado di risposta garantito dal sistema e da ogni singolo elemento, ricavando così informazioni circa le criticità reali o potenziali che limitano le capacità del sistema di funzionare correttamente.

3 APPLICAZIONE

La metodologia proposta è stata applicata ad un caso di studio (adduttore del Sinni) particolarmente rappresentativo delle complessità di tali infrastrutture, per valutarne l'effettiva capacità descrittiva e di localizzazione delle criticità. Lo schema analizzato (Fig.1) si estende per circa 65 Km lungo l'arco jonico della regione Basilicata, si compone di cinque sifoni (DN3000 mm) disposti in serie, sconnessi da torri piezometriche e regolati singolarmente. L'infrastruttura garantisce l'erogazione di risorsa idrica per scopi potabili, irrigui ed industriali dislocati in circa 21 punti di erogazione, oltre che assicurare l'adduzione delle risorse destinate al trasferimento alla Regione Puglia. Il sistema Sinni è gestito dall'EIPLI attraverso un complesso sistema di telecontrollo che rileva con continuità le condizioni di funzionamento in più punti e nel tempo.

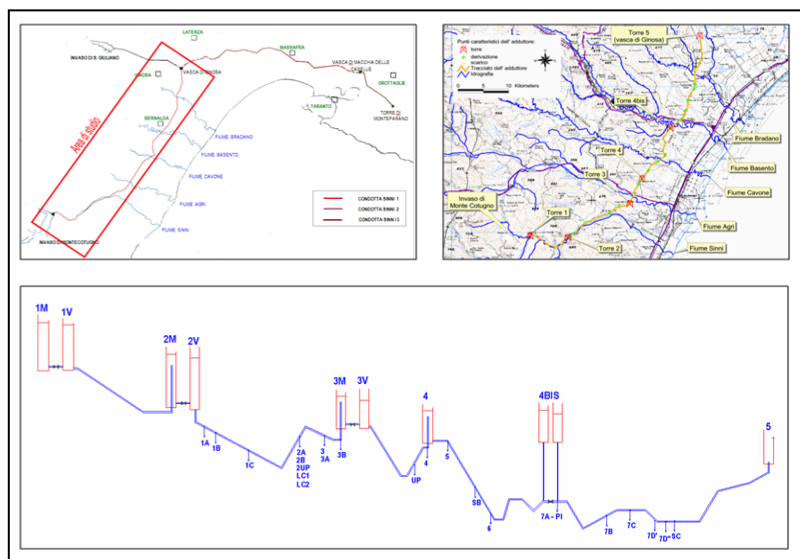


Figura 1. Caso di studio, Schema Sinni.

3.1 Stima delle performance

Con riferimento allo schema prescelto sono stati forniti dall'Ente gestore i tabulati di sintesi delle condizioni di esercizio relative a situazioni di funzionamento stabile, rappresentative delle differenti situazioni in cui lo schema si viene a trovare nel corso dell'anno tipo. In particolare sono state fornite le portate erogate in tutti i nodi (Q_i), le portate addotte (Q_{ij}) ed i relativi carichi piezometrici (H_{ij}) rilevati attraverso le attività di monitoraggio.

Per ogni singolo scenario ed analizzando ciascun elemento omogeneo (tronco, nodo, torre,..) sono stati valutati i PI precedentemente introdotti, capaci di esprimere lo stato di funzionamento del sistema: la capacità di trasporto, l'efficienza di trasporto, l'efficienza di regolazione, oltre che l'efficacia, l'efficienza e il grado di utilizzo di ogni singola derivazione.

Sulla base degli indicatori introdotti si sono valutate le dinamiche di risposta del sistema e sono ben individuabili gli elementi più critici, ovvero con funzionamento più prossimo a condizioni al limite.

3.1.1 Capacità di Trasporto

La capacità di trasporto dell'adduttore è stata ricavata (cfr. Tab.1) confrontando il valore teorico della scabrezza equivalente, adottato in sede di progettazione delle opere, con quello dedotto sperimentalmente in base alle portate ed ai carichi piezometrici rilevati attraverso l'attività di telecontrollo.

In particolare, il valore dell'indicatore ($PI_T=0.85$) ricavato per il caso esaminato indica una capacità di trasporto dell'adduttore inferiore di circa il 15% rispetto a quella ipotizzata in fase di progetto, che limita le portate massime convogliabili dall'adduttore e ne influenza il regime idraulico.

3.1.2 Efficienza di Trasporto e di Regolazione

Considerando il funzionamento normale del sistema, rappresentato attraverso i valori dei parametri chiave rilevati in condizioni stazionarie e in differenti periodi dell'anno, sono stati ricavati gli Indicatori che esprimono l'efficienza di trasporto (PI_{TE}) e l'efficienza di regolazione (PI_{TR}). Tali indicatori sono stati differenziati considerando elementi omogenei (tronchi, torri) e raggruppando separatamente i due funzionamenti: irriguo e non irriguo, in modo da poter confrontare situazioni omogenee tra loro.

Tronchi	Torri	H_u/H_d : Efficienza di trasporto (PI_{TE})							H_r/H_d : Efficienza di regolazione (PI_{TR})							
		non irriguo			irriguo				non irriguo			irriguo				
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
	1m-1v															
1-2	2m-2v	0,03	0,03	0,05	0,09	0,14	0,18	0,18	0,97	0,97	0,95	0,91	0,87	0,82	0,82	
2-3	3m-3v	0,04	0,08	0,08	0,09	0,09	0,21	0,20	0,96	0,92	0,92	0,91	0,91	0,79	0,80	
3-4	4b-4b v	0,07	0,07	0,10	0,13	0,19	0,26	0,24	0,93	0,93	0,90	0,87	0,81	0,74	0,76	
4-4b	4b-4b v	0,23	0,20	0,28	0,35	0,52	0,60	0,65	0,77	0,80	0,72	0,65	0,48	0,40	0,35	
4b-5		0,35	0,35	0,37	0,34	0,30	0,33	0,32	0,65	0,65	0,63	0,66	0,70	0,67	0,68	

Tabella 3. Efficienza di Trasporto e Efficienza di Regolazione

In Tabella 3 vengono riassunti i valori degli indicatori ricavati per ogni scenario ed ogni elemento del sistema. In generale i valori dei PI confermano come, in generale, i cinque sifoni (tronchi) che compongono il complesso del Sinni utilizzano solo limitatamente l'elevata efficienza di trasporto propria dell'infrastruttura a causa delle forti regolazioni imposte in corrispondenza delle torri di regolazione, indispensabili per garantire carichi piezometrici adeguati nei diversi tratti, ove sono presenti accentuati dislivelli imposti dall'orografia incisa da profondi solchi fluviali.

Nel passare dal periodo di funzionamento non irriguo a quello irriguo aumentano le efficienze di trasporto e diminuiscono le efficienze di regolazione.

Osservando i valori assunti dagli indicatori relativi alle torri è possibile rilevare come le efficienze di trasporto siano particolarmente elevate per le torri 2 e 3, segno che tali opere sono quelle più critiche per il funzionamento complessivo del sistema, in quanto effettuano le maggiori regolazioni.

In generale è possibile concludere che le maggiori criticità di funzionamento dell'infrastruttura risiedono principalmente nella necessità di effettuare cospicue regolazioni, rese difficoltose per la presenza di molteplici punti di regolazione.

3.1.3 Efficacia di erogazione e Grado di utilizzo

Considerati, in ogni nodo, i valori di portata erogata (Q_{RP}) previsti dal progetto e i valori di portata erogata (Q_E) relativi ai diversi scenari sono stati ricavati i valori dei PI riportati in Tabella 4. Anche per le erogazioni sono stati considerati separatamente i funzionamenti irriguo più potabile e solo potabile, differenziando i risultati.

Considerando il grado di utilizzo ($PI_{Q,ES}$) è possibile riconoscere come il sistema presenti indicatori quasi stabili all'estremità di valle (torre 5) e nel nodo che garantisce integrazioni con schemi limitrofi

(UP), dove comunque le massime capacità dell'adduttore vengono raggiunte solo in alcuni scenari relativi al funzionamento irriguo. Per il resto le erogazioni risultano ben inferiori alle potenzialità del sistema.

Gli andamenti degli indicatori di efficacia di erogazione ($PI_{Q,EA}$), confermano quanto descritto attraverso l'analisi dei gradi di utilizzo, ma permettono anche di evidenziare condizioni di efficacia altamente ridondante, ovvero valori di PI superiori all'unità (derivazioni 2/A, 3, UP), concentrati nel caso di scenari di funzionamento non irriguo. Circostanza che indica erogazioni superiori ai valori richiesti da progetto, ovvero inefficienze di funzionamento rese possibili solo grazie alla notevole capacità di trasporto residua propria del funzionamento solo potabile.

Tronchi	Torri	Nodi	Q_{Rp}	Q_{Rp}	Q_{Emax}	Q_E/Q_{Rp} : Efficacia di erogazione ($PI_{Q,EA}$)							Q_E/Q_{Emax} : Grado di utilizzo ($PI_{Q,ES}$)										
						irrig.		non irrig.		non irrig.			irriguo				non irrig.			irriguo			
						1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7				
2-3	2	1/A	470	100	388				0,69	0,79	0,83	0,80				0,84	0,96	1,00	0,97				
		1/B	100	20	92				0,46	0,76	0,92	0,91				0,50	0,83	1,00	0,99				
		1/C	360	72	403			3,58	0,60	0,62	1,04	1,12			0,64	0,54	0,55	0,93	1,00				
		2/A	1500	305	1174	1,53	1,23	1,75	0,62	0,75	0,76	0,76	0,40	0,32	0,45	0,79	0,96	1,00	1,00				
		2/B	610	124	449				0,55	0,74	0,71	0,64				0,74	1,00	0,96	0,87				
		2UP	120	24	0																		
		3	805	160	1059	1,75	1,52	2,68	0,87	1,17	1,31	1,32	0,27	0,23	0,41	0,66	0,89	0,99	1,00				
3-4	3	3A	500	99	362				0,33	0,60	0,67	0,72				0,46	0,83	0,92	1,00				
		3/B	605	120	446			0,61	0,24	0,41	0,74	0,73			0,17	0,33	0,55	1,00	0,99				
		UP	500	100	343	2,23	2,00	2,08	0,43	0,46	0,64	0,69	0,65	0,58	0,61	0,63	0,67	0,93	1,00				
4-4b	4	4	1600	320	1475	0,97	0,80	1,44	0,46	0,74	0,91	0,92	0,21	0,17	0,31	0,50	0,80	0,88	1,00				
		5	1340	270	517			0,57	0,24		0,39	0,28			0,30	0,62		1,00	0,73				
		6	1715	350	840	0,93	0,52	0,91	0,35	0,42	0,49	0,48	0,39	0,22	0,38	0,71	0,86	1,00	0,99				
4b-5	4b	7/A	1845	370	599		0,17	0,49	0,16	0,22	0,32	0,30		0,10	0,30	0,48	0,69	1,00	0,93				
		7/B	1180	250	761	0,55	0,60	1,20	0,38	0,43	0,66	0,63	0,18	0,19	0,39	0,58	0,65	1,00	0,95				
		7/C	300	50	305		0,90	3,24	0,54	0,65	0,88	1,02		0,15	0,53	0,53	0,64	0,86	1,00				
		7/D'	250	50	212		2,00		0,85	0,84				0,47		1,00	0,99						
	5	7/D''	200	40	207				1,03	1,02						0,99	0,99						
		T5	4580	6500	6576	0,74	0,75	0,81	1,04	1,31	1,44	1,39	0,73	0,74	0,80	0,73	0,91	1,00	0,97				

Tabella 4. Efficacia di erogazione e grado di utilizzo

3.1.4 Uniformità spaziale e temporale dei PI

Con riferimento ai diversi scenari e per ogni elemento del sistema sono state valutate la variabilità spaziale e temporale degli indicatori ricavati in precedenza (cfr. par. 2.3).

Nei grafici di Figura 2 sono riportate, rispettivamente a sinistra e a destra, le uniformità spaziali (CV_s) e le uniformità temporali (CV_t) ricavate con riferimento agli indicatori relativi alle portate addotte dallo schema, ovvero correlate alla funzione di vettore di trasporto svolta dall'infrastruttura.

Più il Cv tende a zero, più risultano omogenei gli indicatori ricavati e, quindi, più equilibrato e robusto è il funzionamento del sistema e maggiore significato assumono gli indicatori valutati localmente.

In particolare il sistema indagato denota (Fig. 2, sinistra) un funzionamento poco uniforme dei diversi elementi dello schema con efficienze di trasporto e di regolazione tanto più uniformi quanto maggiore è la capacità di trasporto garantita dallo schema (scenario 6).

Considerando, invece, il comportamento di ogni singolo tronco omogeneo nel tempo (Fig. 2, destra) è possibile rilevare che nel funzionamento non irriguo i tronchi presentano un funzionamento abbastanza omogeneo ($CV_t \leq 0.3$), al variare dello scenario, mentre nel funzionamento irriguo i diversi tronchi evidenziano accentuate disomogeneità dei PI, progressivamente decrescenti verso valle. Il tronco 4b-5 presenta un CV_t prossimo allo zero, indicando che il servizio di estremità viene garantito con assoluta uniformità.

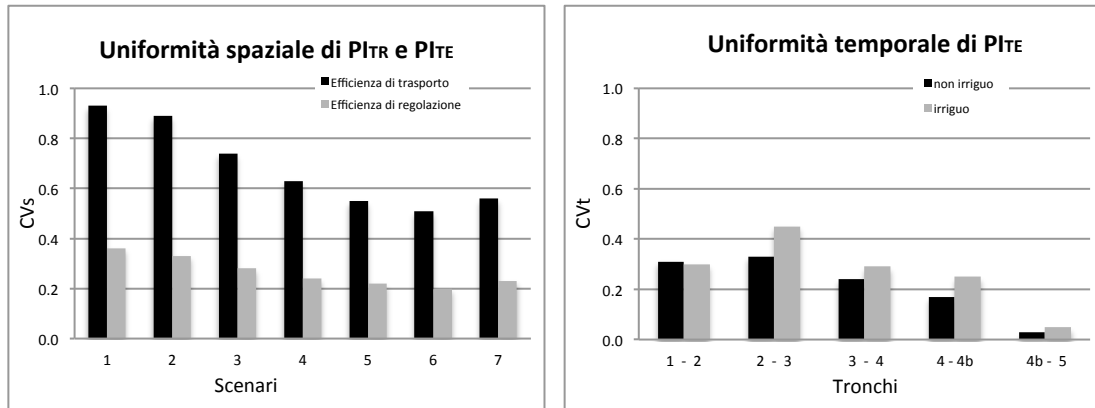


Figura 2. Uniformità spaziale e temporale dell'efficienza di trasporto

Considerando il servizio reso all'utenza (Fig.3), ovvero i PI relativi alle erogazioni, è possibile rilevare come tutti gli indicatori relativi all'uniformità spaziale (CV_s) decrescano nel considerare il funzionamento non irriguo o quello irriguo, denotando così notevoli differenze tra i regimi di funzionamento delle erogazioni alle diverse utenze.

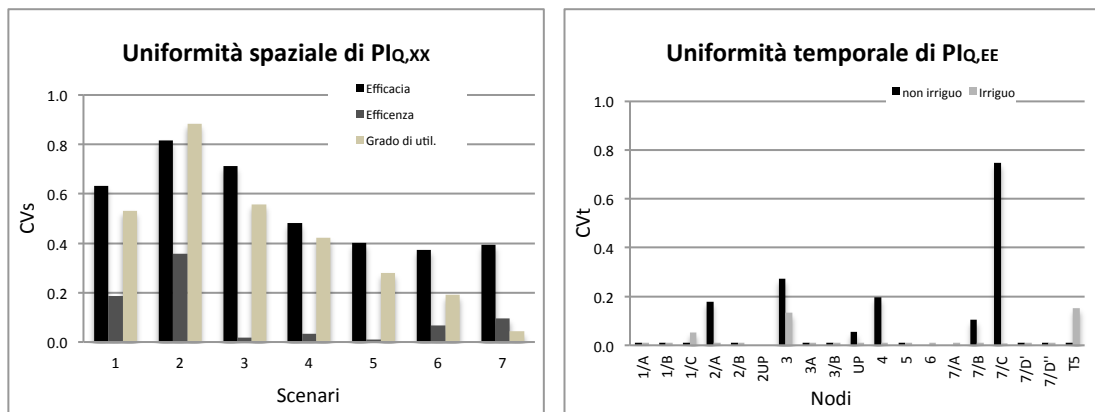


Figura 3. Uniformità spaziale e temporale dei PI relativi alle erogazioni

Considerando ogni singolo nodo di erogazione (Fig.3, destra) l'uniformità temporale delle Efficienze di erogazione ($PI_{Q,EE}$) denota una uniformità quasi generalizzata dei PI negli scenari irrigui ($CV_t \approx 0$), mentre per gli scenari invernali diversi nodi mostrano indicatori molto variabili nel tempo con CV_t maggiori di 0.6, segnalando condizioni di funzionamento molto variabili nel tempo.

4 CONCLUSIONI

La metodologia proposta introduce una procedura che consente la valutazione delle performance di ogni componente e dell'intero sistema idrico analizzato, basata sui principali parametri che descrivono il funzionamento idraulico dell'infrastruttura, ma capace di considerare anche le caratteristiche strutturali proprie del sistema indagato.

Sulla base, anche dell'applicazione ad un caso di studio, è possibile verificare che gli indicatori di performance proposti permettono di analizzare le differenti criticità dell'infrastruttura indagata, migliorando la conoscenza del sistema. In particolare risulta più agevole il confronto tra alternative di funzionamento differenti (scenari) perché effettuato sulla base di confronti tra PI numerici ed adimensionali. Tutto ciò può assicurare un valido supporto alle attività di monitoraggio e gestione, oltre che guidare le scelte in modo più consapevole e mirando al soddisfacimento di obiettivi strategici.

Il ricorso ai Performance Indicators proposti:

- in fase di verifica, permette di valutare sinteticamente lo stato del sistema e dei suoi componenti con riferimento a predefinite configurazioni o ipotesi di funzionamento;
- in fase di gestione, permette di analizzare differenti condizioni di funzionamento, valutare per ciascuna il tipo di risposta atteso e selezionare quelle che risultano complessivamente migliori;
- in fase di pianificazione o di progettazione, permette di esaminare differenti configurazioni o ipotesi di intervento e stimare preventivamente il tipo di servizio conseguente alle differenti scelte.

In tutti i casi la definizione dello stato del sistema, condotta secondo una metodologia oggettiva, garantisce un valido supporto nella selezione delle migliori alternative di intervento.

BIBLIOGRAFIA

- Bao, Y., Mays, L.W. (1990). Model for water distribution system reliability. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 116(9), 1119-1137.
- Bos, M.G. (1997). Performance indicators for irrigation and drainage. *Irrigation and Drainage Systems*. 11(2): 119–137.
- Bos, M.G., Nugteren, J. (1990). On irrigation efficiencies. 4th ed. Wageningen. *International Institute for Land Reclamation and Improvement*, Pub.n.19.
- Burt, C.M., Styles, S. (1997). Irrigation Modernization Study – Appendix on Irrigation Indicators – World Bank-IPTRID-IIIMI.
- Clemmens, A.J., Bos, M.G. (1990). Statistical methods for irrigation system water delivery performance evaluation. *Irrigation and drainage systems* 4: 345-365.
- Coelho, S.T. (1997). Performance in water distribution: A System Approach. *Water engineering and management series*. LNEC (National Civil Engineering Laboratory), Portugal.
- Ermini, R. (2000). Indici di prestazione per schemi idrici complessi. *Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, IDRA2000 GE.
- Ermini, R., Fiorentino, M., e Viparelli, R. (1998). Una metodologia per la valutazione dell'incidenza della vulnerabilità meccanica sul disservizio nelle reti acquedottistiche. *Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Vol III, Catania.
- Fiering, M. B. (1982a). Alternative indices of resilience. *Water Resour. Res.*, 18(1), 33–39.
- Fiering, M. B., (1982b). Estimates of resilience indices by simulation. *Water Resour. Res.*, 18(1), 41–50.
- Goulter, I. C. (1992). Assessing the reliability of water distribution networks using entropy based measures of network redundancy. Entropy and energy dissipation in water resources, V. P. Singh and M. Fiorentino, eds., Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 217–238.
- Gunderson, L.H., Waletts, C.J. (2002). Resilience in water landscape of southern Florida. Resilience and the behavior of large scale systems, L.H. Gunderson and L. Pritchard Jr., eds., Island Washington, D.C.
- Hashimoto, T., Stedinger, J. R., and Loucks, D. P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*. 18/1 14–20.
- Levine, G. (1982). Relative water supply. An explanatory variable for irrigation systems. Technical Report n.6, Cornell University. Ithaca, NY, USA.
- Mays, L.W. (1993). Methodologies for reliability analysis of water distribution system. *Proc. American Water Works Association*, Annual Conference.
- Merriam, J.L., Shearer, M.N., and Burt, C.M. (1983). Evaluating irrigation systems and practices. In design and operation of farm irrigation systems; Jensen, M.E (ed). ASAE Monograph No.3. *American Society of Agriculture Engineers*.
- Molden, D.J., and Gates, T.K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. *J. of irrigation and drainage engineering*. ASCE, 116 (6), 804-823.
- Tang, Y.K. (1985). Evaluation of water distribution network reliability. *Proc. ASCE Hydraulic Division Specialty Conference*. Orlando, FL.
- Tanyimboh, T.T. (1993). An entropy-based approach to the optimum design of reliable water distribution networks, PhD thesis, Civil Eng. Dept., University of Liverpool, UK.
- Todini, E. (2000). Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. *Urban Water*, 2(3), 115–122.
- Weller, J.A. (1991). An evaluation of the Porac River Irrigation System. *Irrigation and Drainage Systems*, vol.5 1-17, Springer.