

IL RISPARMIO ENERGETICO ATTRAVERSO LA GESTIONE RAZIONALE DEI SISTEMI IDRICI PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDROPOTABILE

Giancarlo Leoni*, Daniele Giunchi*, Sandro Artina °, Nicola Forlani°, Mauro Resenterra°, Barbara Sfarich°

*HERA Spa, V.le Berti Pichat 2/4, Bologna,
°EHS Srl, Piazza di Porta Maggiore 5, Bologna

SOMMARIO

Il Gruppo HERA gestisce la rete di approvvigionamento e di distribuzione di acqua potabile per 156 comuni dell'Emilia-Romagna, un bacino d'utenza di 10 542 km² con 2.3 milioni di abitanti, ed una presenza turistica, durante la stagione estiva, di oltre 3 milioni di unità. Nel 2004 sono stati immessi in rete oltre 300 milioni di m³ di acqua potabile attraverso una rete lunga complessivamente 22 000 km. Il prelievo e la potabilizzazione delle acque, avviene principalmente attraverso 107 impianti.

In un'ottica di rispetto delle sempre più attente politiche energetiche (l'energia elettrica può incidere anche oltre il 50% sul costo di produzione di acqua potabile) ed ambientali, nonché della qualità del servizio fornito ai cittadini, non si può prescindere da uno strumento di previsione e di gestione del macro sistema acquedottistico nel suo complesso.

Per questo motivo, la Divisione Reti Ricerca e Sviluppo del Gruppo HERA ha avviato nel 2004 il progetto MIG (Modello Idraulico Gestionale), che ha portato allo sviluppo di uno strumento capace di individuare i migliori scenari possibili in materia di approvvigionamento, adduzione e distribuzione della risorsa idrica, sia in termini di risparmio idrico ed energetico, sia in termini di efficienza. L'articolo illustra le funzionalità del MIG, con un primo esempio di ottimizzazione.

1 - INTRODUZIONE

Hera nasce il 1° novembre 2002 a seguito di un'attenta lettura dello scenario di settore caratterizzato da una progressiva liberalizzazione della domanda e dall'incremento della pressione competitiva e quindi dalla necessità per le imprese di raggiungere una scala dimensionale adeguata a competere in mercati sempre più contendibili e a cogliere le nuove opportunità di crescita favorite dalla deregolamentazione dei tradizionali monopoli.

La storia del Gruppo è quindi molto recente ma di grande significato poiché è il frutto dell'unica rilevante operazione di integrazione realizzata in Italia nel settore delle local utility. Hera è nata infatti dall'unione di dodici imprese del settore, di grande tradizione e ben radicate sul territorio emiliano-romagnolo, con l'obiettivo di migliorare la qualità dei servizi al cittadino in settori fondamentali come l'energia, l'acqua e i servizi ambientali e di realizzare le significative sinergie ed efficienze rese possibili da tale operazione.

I soci fondatori di Hera sono stati 139 Comuni delle province di Bologna, Ravenna, Rimini e Forlì-Cesena, dislocati da Bologna fino al mare Adriatico. Le società confluite in Hera sono state Amf (Faenza), Ami (Imola), Amia (Rimini), Amir (Rimini), Area (Ravenna), Asc (Cesenatico), Geat (Riccione), Seabo (Bologna), Sis (S.Giovanni in Marignano), Taularia (Imola), Team (Lugo) e Unica (Forlì-Cesena).

Dal 1 gennaio 200, sono confluite in Hera anche le società Acosea, Agea e Cadf della provincia di Ferrara.

1.1 - Il sistema acquedottistico primario

Il Gruppo HERA gestisce una rete di approvvigionamento e di distribuzione di acqua potabile che serve 156 comuni, un bacino d'utenza di 10542 km² con 2.3 milioni di abitanti,

790000 utenze ed una presenza turistica, durante la stagione estiva, di oltre 3 milioni di unità, concentrate prevalentemente nel litorale romagnolo.

Nel 2004 sono stati immessi in rete oltre 300 milioni di m³ di acqua potabile attraverso una rete lunga complessivamente 22000 km .

Il prelievo delle acque, avviene principalmente attraverso:

- 31 campi pozzi;
- 10 derivazioni da corsi d'acqua superficiali;
- 7 gruppi principali di sorgenti;
- 1 fornitura di acqua da parte di Romagna Acque S.p.A.

La potabilizzazione delle acque prelevate viene effettuata in 59 impianti.

1.2 - L'esigenza

La dimensione del sistema gestito impone una visione globale e sinergica degli acquedotti che, a prescindere dalle ottimizzazioni effettuate localmente, permetta di pianificare interventi orientati al miglior impiego delle risorse idriche disponibili, siano esse acque superficiali, acque di falda, oppure forniture esterne (che comunque attingono da risorse idriche naturali).

Per questo motivo, la Divisione Reti R&D del Gruppo HERA ha avviato nel 2004 il progetto MIG (Modello Idraulico Gestionale), che ha portato allo sviluppo di uno strumento di supporto alle decisioni, capace di individuare i migliori scenari possibili in materia di approvvigionamento, potabilizzazione e distribuzione della risorsa idrica in termini di efficienza ambientale ed economica.

Lo sviluppo del modello di ottimizzazione è stato affidato ad EHS S.r.l. Società di Ingegneria Idraulica ed Ambientale.

2 – DEFINIZIONI

Prima di procedere, è opportuno precisare che con il termine “rete” si intende, se non diversamente specificato, una rete acquedottistica.

La “rete primaria o di adduzione” è quella parte di rete che comprende gli impianti necessari alla captazione e alla potabilizzazione dell’acqua, diversamente dalla “rete secondaria o di distribuzione” che ha la funzione di portare l’acqua potabile alle utenze.

Il “punto di consegna” dell’acqua potabile è il confine fra reti adduzione e di distribuzione.

La “fonte” rappresenta l’insieme degli impianti a monte del punto di consegna. Per esempio, nel caso di acqua potabile autoprodotta, la fonte può essere costituita da un campo pozzi, un impianto di potabilizzazione ed un serbatoio pensile. Nel caso di acqua potabile acquistata, è semplicemente l’impianto di spillamento dalla rete principale del fornitore.

Infine, con “acquedotto locale” si intende una rete di distribuzione connessa esclusivamente solo a reti primarie.

3 - IL MODELLO IDRAULICO GESTIONALE (MIG)

Il MIG nasce con l’obiettivo di ottimizzare l’impiego delle fonti acquedottistiche, attuali e future, in termini di:

- *affidabilità*, mettendo la rete primaria nelle condizioni di garantire i volumi d’acqua necessari alla popolazione anche in presenza di gravi criticità quali una siccità eccezionale, oppure l’inquinamento accidentale di una risorsa idrica;
- *costi*, riallocando i volumi fra le diverse fonti con lo scopo di rendere minimo il costo complessivo di produzione;
- *qualità*, in modo da garantire i livelli qualitativi prefissati, utilizzando al meglio le fonti disponibili;
- *ambiente*, limitando il prelievo ed aumentando il rispetto delle risorse idriche naturali più vulnerabili (p.es. le falde acquifere).

Il Modello Idraulico Gestionale è composto principalmente da quattro parti:

- 1) un modulo grafico;
- 2) un modulo funzionale;
- 3) un modulo economico;
- 4) un algoritmo di ottimizzazione.

3.1 – Il modulo grafico

Il MIG è uno strumento fortemente orientato agli impianti e ciò influisce anche sulla schematizzazione della rete.

La rappresentazione grafica sintetizza gli elementi principali del MIG, ovvero:

- *punti di approvvigionamento*, che rappresentano le risorse idriche naturali utilizzate per prelievi superficiali, da sorgenti o da falda;
- *fonti*, ovvero i punti di consegna di acqua potabile alle reti di distribuzione locali;
- *linee di adduzione* che rappresentano le interconnessioni principali fra gli impianti di produzione/fornitura e che permettono fisicamente la riallocazione dei volumi di acqua in base ai risultati degli scenari simulati.

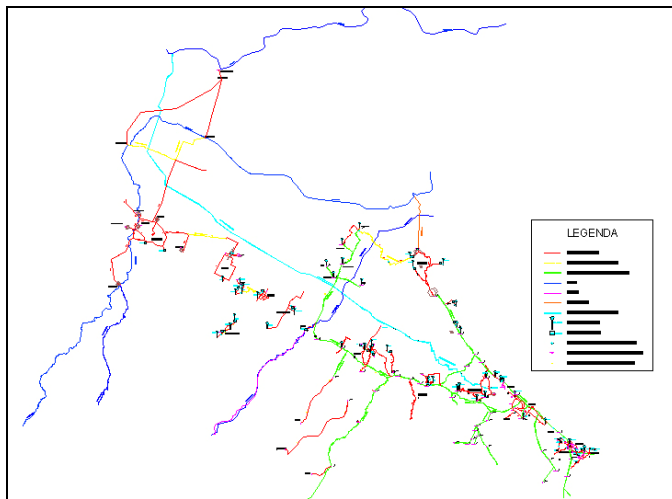


Figura 1: la rappresentazione grafica – vista d’insieme.

Lo schema tiene conto solo degli impianti che possono contribuire ad un processo di riallocazione dei volumi inter-acquedotto, per cui, ad esempio, sono stati esclusi gli acquedotti di piccoli centri locali, il cui contributo al volume totale immesso in rete è trascurabile.

La Figura 1 riporta la vista d’insieme degli impianti gestiti dal MIG, mentre in Figura 3 è riportato il dettaglio del distretto di Bologna.

3.2 – Il modulo funzionale

La rappresentazione funzionale del modello acquedottistico gestisce le seguenti entità e le diverse aggregazioni fra di esse (come mostrato in Figura 2):

- *SOT (Società Operativa Territoriale)*: è un raggruppamento di distretti gestiti da una delle società operative territoriali del Gruppo (Hera Bologna, Hera Forlì-Cesena, ecc.);
- *Distretto*: è un sottoinsieme della SOT che rappresenta nel modello l’acquedotto locale;
- *Fonte*: rappresenta il punto in cui l’acqua prodotta è consegnata alla rete di distribuzione;
- *Linea*: è l’elemento di maggior dettaglio e rappresenta la singola linea in uscita da ogni fonte. Normalmente ogni linea serve un acquedotto diverso.

Inoltre, le condizioni al contorno all’interno delle quali si muove l’ottimizzatore sono:

- *fabbisogno (o immesso in rete)*: domanda complessiva di acqua potabile della zona servita dalla fonte. Una zona può essere servita anche da più fonti;
- *vincolo impiantistico*: il volume prodotto è limitato da caratteristiche tecnico-progettuali dell’impianto;
- *vincolo ambientale*: il prelievo di acqua è limitato da concessioni o da vincoli ambientali (p.es. deflusso minimo vitale per i corsi d’acqua);
- *vincolo di fornitura*: il volume di acqua disponibile è regolato dal contratto di fornitura oppure da reali disponibilità da parte del fornitore.

3.3 – Il modulo economico

Il costo unitario dell’acqua è definito in corrispondenza dei punti di consegna ed è dato dalla somma dei costi relativi agli impianti a monte, dal punto di prelievo dell’acqua fino al punto di consegna.

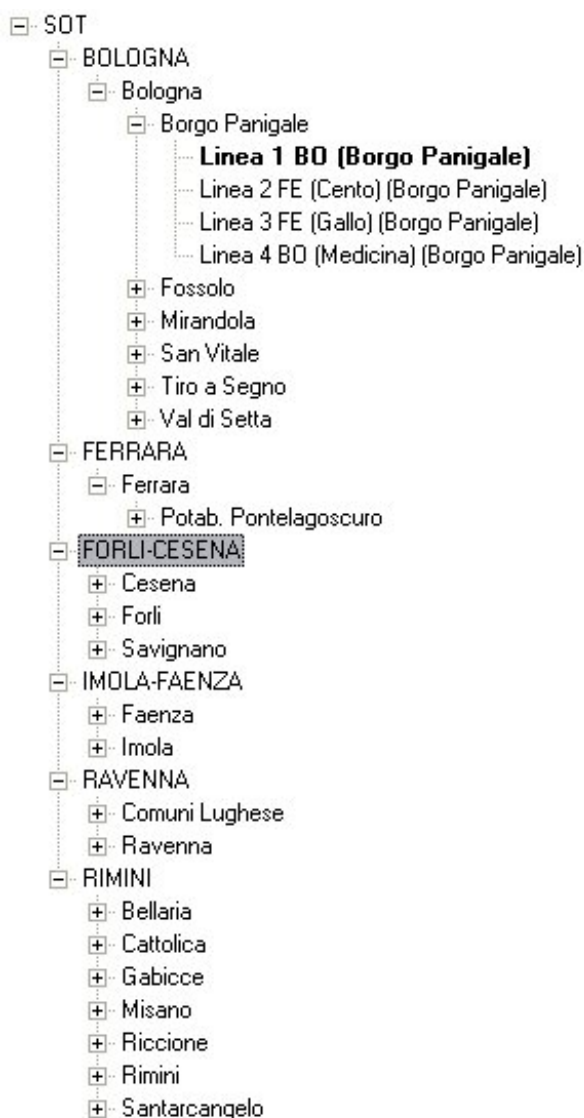


Figura 2: struttura ad albero della rappresentazione funzionale

Il costo unitario dell'acqua potabile *autoprodotta*, espresso in €/m³, presenta una componente fissa (indipendente dalla produzione) ed una componente variabile (funzione dei volumi d'acqua prodotti). In questa fase del progetto, si considera il costo unitario complessivo costante nell'intervallo di ottimizzazione.

In Tabella 1 sono stati riportati i costi unitari di produzione delle fonti del distretto di Bologna.

Il costo unitario dell'acqua *acquistata* è definito dal contratto di fornitura in base a fasce di consumo, per cui si tratta di una funzione (dei volumi utilizzati) lineare a tratti.

Ovviamente sono esclusi i costi di distribuzione locale, essendo invariati rispetto alla riallocazione dei volumi prodotti.

3.4 – L'algoritmo di ottimizzazione

L'algoritmo di ottimizzazione impiegato è del tipo *lineare vincolato* [1-6] opportunamente modificato per tenere conto, tramite funzioni linearizzate a tratti, di situazioni nelle quali il costo di acquisto della risorsa varia per fasce di consumo, come ad esempio nel caso della fornitura da parte di Romagna

Acque.

Se definiamo gli indici:

i = distretto in esame,

j = fonte j -esima del distretto in esame

t = mese dell'anno,

i termini noti:

F_{it} = fabbisogno del distretto i -esimo,

P_{MAX} = potenzialità massima della fonte, tenendo in considerazione i vincoli,

K_{ijt} = vincolo commerciale di fornitura

e le variabili:

x_{ijt} = volume ottimizzato per la fonte j del distretto i al mese

t ,

allora i vincoli al sistema saranno:

$$\sum_j x_{ijt} \geq F_{it} \quad (1)$$

$$x_{ijt} \leq P_{MAX_{jt}} \quad (2)$$

$$x_{ijt} \geq K_{ijt} \quad (3)$$

dove il vincolo (2) vale per l'acqua autoprodotta, mentre il vincolo (3) vale per l'acqua acquistata.

Infine, eseguito il controllo di compatibilità dei vincoli da parte del software, la funzione obiettivo (4) minimizza i volumi da prelevare, in base al costo unitario C_{ijt} di ogni singola fonte dei distretti presi in considerazione:

$$\sum_{t=1}^{12} \left(\sum_j x_{ijt} \cdot C_{ijt} \right) = MIN \quad (4)$$

Il risultato ottenuto definisce la distribuzione ottimale dei volumi prodotti/acquistati, per ogni mese dell'anno e per ogni fonte appartenente ai distretti presi in esame.

Tabella 1: costi unitari di produzione e di energia elettrica

IMPIANTO	Prelievo	Costi unitari (€/cent/m ³)	Costo EE unitario (€/cent/m ³)
Borgo Panigale	falda	6.59	5.51
Fossolo	falda	8.55	5.42
Mirandola	falda	9.26	6.11
San Vitale	falda	8.24	6.84
Tiro a Segno	falda	7.19	5.52
Val di Setta	superficiale	7.76	3.26

4 - UNO SCENARIO REALE

Il Modello Gestionale MIG è stato messo a punto per consentire in futuro lo studio approfondito di alcuni scenari strategicamente importanti

Le sue potenzialità e funzionalità vengono in questa sede illustrate su di un semplice esempio di studio che riguarda il distretto di Bologna, schematizzato nel MIG come illustrato in Figura 3.

Brasimone e poi lungo il Setta.

Tabella 2: Potenzialità di Val di Setta (2003)

MESE	Volumi medi mensili (m ³)	Portate (m ³ /s)
Gennaio	3 545 978	1.36
Febbraio	4 311 781	1.66
Marzo	4 809 763	1.85
Aprile	4 161 920	1.60
Maggio	3 668 807	1.41
Giugno	2 329 785	0.89
Luglio	2 558 161	0.98
Agosto	1 126 768	0.43
Settembre	1 924 410	0.74
Ottobre	1 176 500	0.45
Novembre	3 610 793	1.39
Dicembre	4 618 415	1.78
TOTALE	37 843 081	/

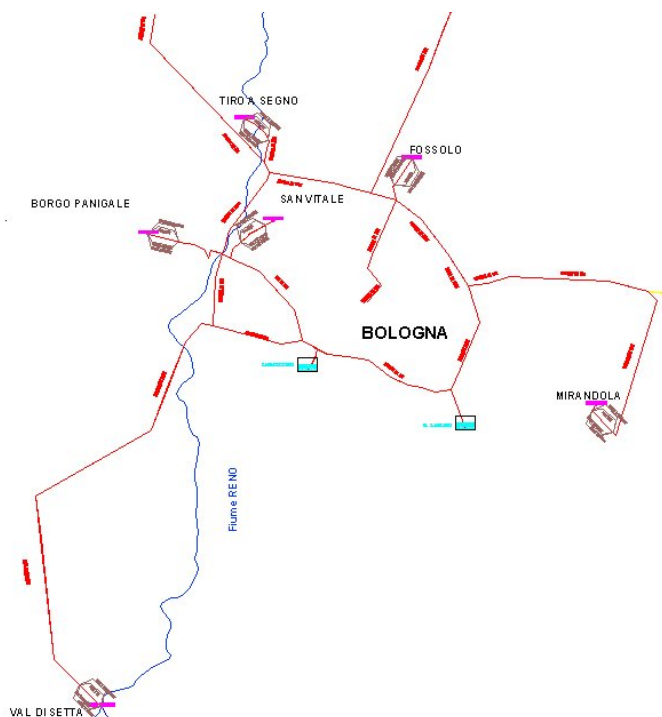


Figura 3: distretto di Bologna con le fonti prese in esame

Lo scenario proposto non comporta nuove opere, salvo accordi sul funzionamento dell'impianto di sollevamento - già esistente e gestito dall'Enel - tra il bacino di Suviana e il lago Brasimone.

Il territorio preso in esame è servito da diversi campi pozzi (Borgo Panigale, Fossolo, Mirandola, S. Vitale, Tiro a Segno), che prelevano acqua di falda, e da un potabilizzatore (Val di Setta) che utilizza acqua di superficie.

I campi pozzi prelevano acqua da falde sotterranee, con un notevole dispendio di energia rispetto al prelievo superficiale, come si può vedere dai costi unitari di energia elettrica riportati in Tabella 1.

4.1 – Ipotesi di scenario

E' facile intuire come un aumento di produzione dell'impianto di Val di Setta porti ad un minor utilizzo dei campi pozzi con i seguenti vantaggi:

- minor richiesta di energia elettrica;
- minor emungimento da falda;
- minori costi di produzione.

La potenzialità del potabilizzatore di Val di Setta risulta essere oggi di 2.4 m³/s, mentre il sollevamento posto a valle di esso è limitato, per motivi impiantistici, a 2.2 m³/s teorici. Tali valori non vengono mai raggiunti e dai dati di produzione per l'anno 2003, riportati in Tabella 2, la media mensile più alta è stata toccata nel mese di marzo con 1.85 m³/s.

Ciò è dovuto principalmente alla disponibilità di acqua del torrente Setta e dai vincoli sul prelievo.

L'ipotesi avanzata è quella di portare l'impianto di Val di Setta a una produzione media mensile di 2.2, m³/sec dopo aver garantito in Setta condizioni che permettano tale prelievo pur mantenendo il deflusso minimo vitale invariato.

Per garantire un sufficiente apporto idrico al potabilizzatore si ipotizza di sfruttare il bacino del Brasimone e quello di Suviana (vedi Figura 4) nel seguente modo, già peraltro adottato in passato:

- sfruttare i sollevamenti che già esistono, utilizzati dall'Enel per risollevarre acqua dal bacino di Suviana al lago Brasimone;
- fare defluire i volumi sollevati lungo il torrente



Figura 4: corografia della zona comprendente il bacino di Suviana e il lago Brasimone

4.2 – Ottimizzazione

L'ottimizzazione è stata eseguita (per avere un riferimento) prima sullo stato attuale e poi sullo scenario ipotizzato. La Tabella 3 riporta l'allocazione dei volumi nelle due situazioni.

Dai risultati si può vedere che, rispetto alla situazione attuale, i campi pozzi di Mirandola e San Vitale vengono sfruttati parzialmente o addirittura eliminati perché più costosi, mentre il campo pozzi Fossolo non viene eliminato in quanto unica fonte disponibile per produrre la quantità necessaria a soddisfare le esigenze locali.

La riallocazione della produzione di acqua potabile porta ad avere un doppio vantaggio direttamente quantificabile; infatti al risparmio energetico si affianca anche un rilevante beneficio

ambientale, dovuto alla diminuzione del volume emunto dalle falde.

La quantificazione dei suddetti benefici è riportata nella Tabella 4.

Tabella 3: situazione attuale e ipotizzata

IMPIANTO	Produzione annuale (m ³)	
	Stato attuale	Ottimizzazione
Borgo Panigale	12 338 736	11 160 089
Fossolo	4 200 000	4 200 000
Mirandola	2 954 239	0
San Vitale	13 154 408	5 782 687
Tiro a Segno	9 492 554	7 190 035
Val di Setta	37 842 681	51 650 208
TOTALE	79 983 022	79 983 019

Tabella 4: risparmi previsti dall'ottimizzazione

Riduzione volume prelevato da falda		Risparmio di EE (€)	
m ³ /anno	% sul prelievo non ottimizzato	€anno	% sul totale non ottimizzato
13 807 527	37.3	177 307	4.7

L'esempio, pur nella sua semplicità rispetto alle potenzialità del MIG, dimostra come, in brevissimo tempo, possono essere valutati scenari di sviluppo ottimizzati sull'utilizzo razionale delle risorse idriche e, come illustrato, anche di quelle energetiche, per cui:

- 1) nel rispetto dell'utilizzo delle acque superficiali, si preleva da falda il minimo indispensabile, favorendo il processo naturale di ricarica ed evitando fenomeni di subsidenza;
- 2) si utilizza meno energia elettrica, per cui se ne deve produrre di meno, a vantaggio di un miglior utilizzo delle risorse non rinnovabili.

5 – CONCLUSIONI

L'ottimizzazione energetica degli acquedotti locali può essere ottenuta mediante un'attenta gestione tecnica degli impianti, coadiuvata anche dai tradizionali modelli matematici di simulazione di reti acquedottistiche.

L'ottimizzazione di grandi sistemi acquedottistici non può prescindere da strumenti innovativi di supporto alle decisioni. Il MIG, rientrando in questa categoria, permette di dare risposte in tempi brevi a ipotesi formulate su scenari complessi.

Oltre che per le ottimizzazioni ambientali ed economiche, fondamentale sarà il suo apporto per la previsione di scenari critici e la relativa messa in sicurezza del sistema acquedottistico nel suo complesso

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Linear programming and extensions – Geogr B. Dantzig. (1998);
2. The art of scientific computing, volume 1 of Fortran numerical recipes – William H. Press. (1997);
3. The composite simplex algorithm - Wolfe P. SIAM J. (1965);
4. Methods of non linear programming – Wolfe P. North – Holland Publishing (1967);
5. A general quadratic programming algorithm – Fletcher R. J. Inst. Maths. Applics (1971);
6. The gradient projection method for non – linear programming. Rosen J. B.. SIAM J (1960).