

FOCUS

G. Mancini, M. Bruno -
Dipartimento di Ingegneria Civile
ed Ambientale - Università di
Catania.

IL PROBLEMA NEL RIUSO E

L'obiettivo di questo lavoro è quello fornire un quadro delle soluzioni tecnologiche disponibili, per attuare il riuso delle acque reflue e la dissalazione e, in particolar modo, di fornire indicazioni sui relativi costi, in modo da indirizzare gestori e amministrazioni verso scelte effettivamente sostenibili.

Quello dell'approvvigionamento idrico è senz'altro uno dei problemi centrali del 21° secolo, con la vita di milioni di persone indissolubilmente legata ad una corretta amministrazione delle sempre più limitate risorse idriche.

Solo l'1% delle risorse totali di acqua nel pianeta ha qualità e caratteristiche adeguate agli usi umani e si prevede che, nel 2025, quasi un terzo della

popolazione delle nazioni in via di sviluppo, circa 2,7 miliardi di persone, vivrà in regioni caratterizzate da una forte scarsità di tale bene. A fronte di una richiesta di approvvigionamento che dovrà crescere del 41% per incontrare i bisogni di tutti quei settori che seguono la crescita della popolazione, si registra una crescente compromissione qualitativa delle risorse causata da



pratiche di uso non corrette (effluenti industriali, inquinamento agricolo, acque reflue civili).

È, quindi, prevedibile come, a causa del progressivo inquinamento degli acquiferi, dell'incremento e concentrazione della popolazione, dell'innalzamento del tenore di vita e dello

sentono il rispetto anche dei più severi standard qualitativi. Ovviamente l'applicazione di queste tecnologie per il riuso o la dissalazione diventa economicamente sostenibile solo se il valore dell'acqua recuperata o dissalata compensa il costo del trattamento [1].

Le considerazioni di tipo eco-

maria (che può essere destinata ad altri scopi) ed i mancati costi di smaltimento, il risparmio di fertilizzanti e l'incremento di produttività dei suoli nel caso specifico del riuso ai fini irrigui.

Ciascuna di queste voci partecipa alla composizione di un costo dell'acqua trattata che

Occorrerebbe, pertanto, affrontare il problema dell'individuazione dei trattamenti necessari, non solo sulla base del rispetto delle condizioni igienico-sanitarie e della convenienza economica "stretta" del sistema, ma attraverso un approccio integrato e multidisciplinare che tenga conto di

DEI COSTI NELLA DISSALAZIONE

sviluppo industriale, nonché dei potenziali cambiamenti climatici, la richiesta di fonti non convenzionali crescerà sensibilmente nel prossimo futuro in tutti i diversi settori di utilizzo ed, in particolar modo, in quello agricolo (Figura 1).

Tuttavia, sia le acque provenienti da dissalazione sia dal riutilizzo delle acque reflue trattate costituiscono ancora percentuali molto modeste rispetto alle necessità (Tabella 1).

Sostenibilità del riuso delle acque reflue e della dissalazione

I vincoli principali con i quali i progetti di riuso delle acque reflue e di dissalazione tendono generalmente a confrontarsi sono prevalentemente di tipo normativo ed economico. L'evoluzione delle tecnologie di trattamento delle acque reflue e delle tecnologie per la dissalazione ha infatti ormai reso disponibili, benché non ancora largamente applicati, alcuni efficaci processi finalizzabili al riuso ed alla dissalazione, dei quali i più noti sono i trattamenti a membrana, che con-

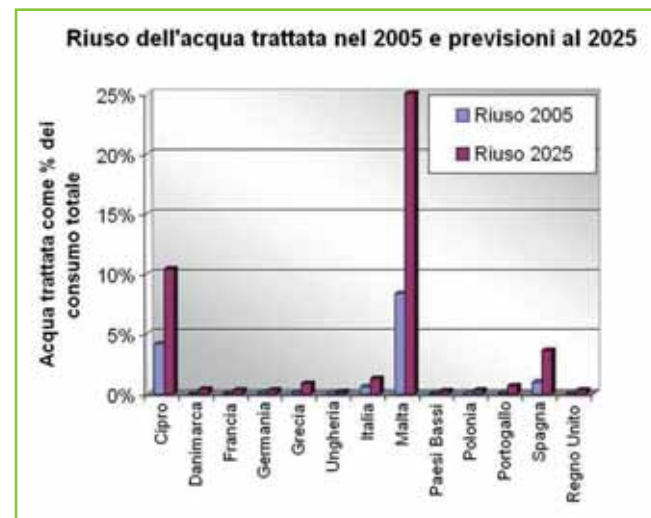


Figura 1 - Percentuali di riutilizzo, per uso irriguo, sui consumi idrici totali in Europa all'anno 2005 e nel 2025 [7].

nomico non devono però limitarsi al semplice costo del trattamento per rendere la risorsa idrica disponibile all'uso designato ma devono comprendere una accurata analisi costi-benefici di ulteriori attività come la captazione dei reflui o dell'acqua di mare, la distribuzione degli effluenti trattati, la salvaguardia della risorsa pri-

ma deve risultare raffrontabile a quello delle risorse convenzionali utilizzate sullo specifico territorio [2].

La fattibilità di un progetto di riuso delle acque reflue recuperate o di dissalazione, non dipende quindi soltanto dalla scelta dei trattamenti che garantiscano il soddisfacimento degli standard e dei limiti

imposti dalla normativa vigente, ma occorre anche considerare numerosi altri fattori locali (socio-economici, ambientali, decisionali ecc.) che potrebbero renderlo sostenibile o, viceversa, non sostenibile [3].

tutti i fattori che incidono nella scelta delle alternative di riutilizzo o di dissalazione.

Ciononostante la valutazione delle alternative di un progetto si basa ancora prevalentemente dalla valutazione dei costi associati alla realizzazione ed alla gestione.

Nel seguito verrà, pertanto, fornita una serie di dati utili ad una valutazione economica di massima del costo di implementazione di un progetto di riuso o dissalazione.

Costi da sostenere per il riuso delle acque reflue e la dissalazione

Un'idea comune ma poco corretta, nel pianificare il riutilizzo dell'acqua o l'utilizzo dell'acqua dissalata è quella per cui quest'acqua rappresenti una fonte di approvvigionamento a costo conveniente.

Tale assunzione è generalmente vera solo qualora i luoghi di trattamento siano convenientemente localizzati nelle vicinanze di grossi utilizzatori dell'acqua stessa. Infatti, i sistemi di trasporto e di distribuzione rappresentano il principale costo di molti progetti di riutilizzo dell'acqua o di utilizzo dell'acqua dissalata.

Ad esempio, valori recenti del costo ammortizzato dell'acqua reflua trattata per il riutilizzo in California raggiungono i 0,45 €/m³, esclusi i costi operativi e di manutenzione [4]. Tale costo dell'acqua trattata è nor-

Tabella 1 - Distribuzione delle risorse idriche sul totale dell'acqua utilizzata [8].

Tipologia di acqua	Portata [mLg]	Percentuale %
Acqua superficiale	6.525.000	63,2
Acqua di falda	3.571.000	36,3
Acqua dissalata	30.410	0,29
Acqua riutilizzata	19.450	0,19
Totale	10.326.000	100

Tabella 2 - Costi di riutilizzo in funzione della destinazione d'uso e della tipologia di trattamento.

Tipologia di acqua trattata e trattamento adottato	Dim. Impianto	Costo	Rifer. Bibl.
Acque di rifiuto di un'industria alimentare: trattamenti preliminari (equalizzazione, separazione oli, chiariflocculazione) + MacroF+ MicroF + UF + NF + RO	1.200 m ³ /g (6.000 ab. equ.)	0,147 US\$	[9]
Acque di rifiuto civili:			
a) trattamento fisico-chimico + UV			
costi fissi totali		0,042 €/m ³	
costi variabili totali		0,033 €/m ³	
costi totali	20.000 m ³ /g	0,075 €/m ³	
b) macrofiltrazione + ultrafiltrazione	(100.000 ab. equ.)		[10]
costi fissi totali		0,082 €/m ³	
costi variabili totali		0,033 €/m ³	
costi totali		0,115 €/m ³	
Acque di rifiuto civili: filtrazione con filtro di sabbia a letto mobile + adsorbimento su carboni attivi granulari + disinfezione con ozono(a)	800-1.000 m ³ /g (4.000÷5.000 ab. equ.)	0,24 €/m ³	[11]
Acque di rifiuto civili riutilizzate per scopi irrigui, costo dell'effluente trattato nel caso di(b):			[12]
a) basso livello di trattamento	-	0,098 €/m ³	
b) alto livello di trattamento		0,1715 €/m ³	
c) irrigazione senza restrizioni		0,2939 €/m ³	
Acqua di rifiuto trattata per il riutilizzo agricolo senza restrizioni: Coagulazione/flocculazione + filtrazione + disinfezione	-	0,4÷1,5 €/m ³	[13]
Acqua di rifiuto trattata per il riutilizzo agricolo (predisinfezione con ipoclorito di Na + coagulazione con policloruro di Al + postdisinfezione con ipoclorito di Na + postdisinfezione UV):			[14]
	8.000 m ³ /g (40.000 ab. equ.)		
a) costo trattamento (valore medio annuale)		0,60 €/m ³	
b) costo controlli analitici (valore medio annuale)		0,27 €/m ³	
c) costo totale (valore medio annuale)		0,87 €/m ³	
Acqua di rifiuto trattata per il riutilizzo nell'industria tessile:			[15]
a) equalizzazione + digestione aerobica + sedimentazione		0,60 €/m ³	
b) bioflottazione		0,80 €/m ³	
c) filtrazione con filtro a sabbia continuo		0,01 €/m ³	
d) filtrazione con filtri a sacco e a cartuccia		0,04 €/m ³	
e) elettroflottazione	400÷1.200 m ³ /g	0,12 €/m ³	
f) ultrafiltrazione	(2.000÷6.000 ab. equ.)		0,16 €/m ³
g) nanofiltrazione		0,22 €/m ³	
h) osmosi inversa		0,25 €/m ³	
i) Gac (adsorbimento su colonna)		0,15 €/m ³	
l) ozonizzazione		0,15 €/m ³	
m) un'opportuna combinazione delle precedenti tecnologie		0,7÷0,8 €/m ³	
Acqua di rifiuto trattata per il riutilizzo irriguo: Chiariflocculazione+filtrazione+disinfezioneUV+CLO₂	950 m ³ /g	0,53 €/m ³	[16]
Acqua di rifiuto trattata per il riutilizzo irriguo: Filtrazione + disinfezione NaClO	100 m ³ /g	1,14 €/m ³	[17]
Acqua di rifiuto trattata per il riutilizzo irriguo: Lagunaggio	100.000 m ³ /g	0,18 €/m ³	Lubello 2007

(a) Nel costo stimato di 0,24 €/m³ sono stati inclusi anche i costi di costruzione, di ammortamento, le spese di manutenzione e per il monitoraggio della qualità dell'effluente, nonché i consumi di energia ed i consumi di coagulante, carboni attivi, ossigeno e azoto, i quali contribuiscono in maniera considerevole nella determinazione del costo stimato.

(b) Per effluente che ha subito un basso livello di trattamento, si intende un effluente trattato in stagno di ossidazione con un tempo di detenzione non superiore a 10 giorni (Bod > 60 mg/l, Tss > 90 mg/l); per effluente che ha subito un alto livello di trattamento si intende un effluente da Mbtpt o da trattamenti equivalenti con Bod < 20 mg/l, Tss < 30 mg/l; per effluente che può essere utilizzato per irrigazione senza restrizioni, si intende un effluente trattato mediante filtrazione profonda a sabbia, oppure trattato in uno stagno di ossidazione con tempi di detenzione non inferiori a 60 giorni o ancora diluito con acqua fino ad una quantità inferiore al 10%, in cui si è provveduto anche alla rimozione dei nitrati (coliformi fecali non superiori a 10/100 ml, torbidità non superiore a 5 Ntu, o Tss non superiori a 10 mg/l, cloro residuo 1 mg/l).

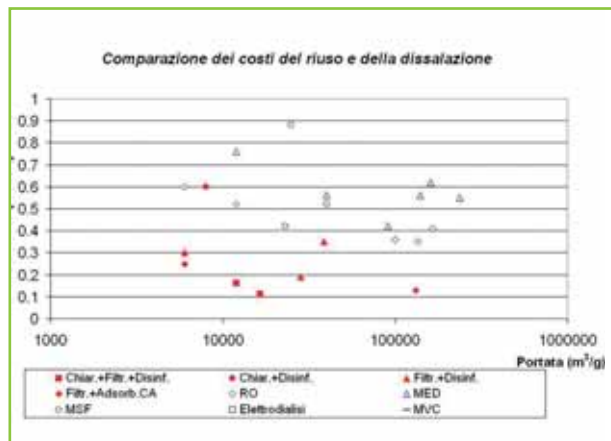


Figura 2 - Rappresentazione dei costi del riuso e della dissalazione per tipologia di trattamento.

malmente troppo alto per l'irrigazione agricola tradizionale negli Stati Uniti e in molti altri Paesi. D'altra parte occorre, per esempio, osservare come le sempre più stringenti normative mirate alla tutela della salute pubblica e della qualità dei corpi idrici ricettori continuo ad innalzare i livelli di depurazione delle acque reflue urbane e ad avvicinarli a quelli richiesti per il riutilizzo dei reflui depurati [5].

Per le acque di rifiuto, viene riportato, come esempio, il costo pro capite annuo del servizio di collettamento e depurazione delle acque reflue in differenti Paesi europei [6] in euro: Germania 119, Inghilterra 122, Francia 109, Italia 55.

Il costo di implementazione di un'alternativa di riuso o di dissalazione dell'acqua richiede l'investigazione di tre componenti di costo principali:

- trattamenti necessari al fine del raggiungimento di determinati standard di qualità dell'effluente;
- monitoraggio della qualità dell'acqua trattata;
- distribuzione dell'acqua trattata.

Occorre sottolineare come l'efficacia economica di un progetto di riuso o di dissalazione sia direttamente legata al volume di acqua trattata.

Costi di trattamento

Nel processo di valutazione, le differenti opzioni di riutilizzo o di dissalazione dell'acqua vengono confrontate con le alternative convenzionali di non riutilizzo o di utilizzo della risorsa "fresca". Il confronto tra i costi dell'acqua rigenerata o dissalata e quelli dell'approvigiona-

mento dell'acqua fresca forniscono una misura dell'efficacia e della fattibilità di un progetto di riuso o di dissalazione.

In molti casi, non vi è un'unica opzione più adatta delle altre e due o più trattamenti risultano ugualmente sostenibili in relazione alle condizioni locali che quindi diventano determinanti

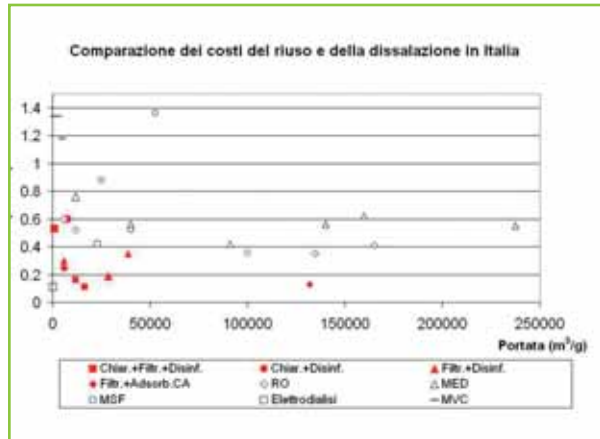


Figura 3 Rappresentazione dei costi del riuso e della dissalazione per tipologia di trattamento dei casi studi in Italia.

Tabella 3 - Costi della dissalazione in funzione della dimensione dell'impianto e della tipologia di trattamento.

Trattamento	Ubicazione dell'impianto	Dimensione Impianto	Costo (m³/g)	Rifer. Bibl. €/m³
Osmosi inversa	Monterosso (La Spezia)	600	0,6	Acam S.p.A
Osmosi inversa	Gela	15.800	1,32	[18]
Msf	Gela	52.800	1,36	[18]
Med	Trapani	34.780	1,76	[18]
Elettrodialisi	Pantelleria	900	1,88	[18]
Mvc	Pantelleria	3.200	2,07	[18]
Mvc	Porto Empedocle	4.800	1,18	[18]
Mvc	Lampedusa	950	2,46	[18]
Osmosi inversa	Lastovo (Croazia)	300	0,60	D. Sambrailo et al. 2005
Osmosi inversa + Oyster (convertitore di energia del moto ondoso)	Kerala (India)	1.860	0,45	El Instituto Tecnologico de Canarias, 2008
Med	Tsinghua (Cina)	120.000-160.000	0,56	[19]
Elettrodialisi	Taiwan (Cina)	320	0,11	Yu-Mei Chaoa et al. 2008
RO	Egitto: Sharm El Sheikh	3.500	1,06	[20]
Mee-mvc	Hurgada	1.500	1,34	
Mee-tvc	Suez	5.000	2,61	
Msf-BR	Eoun Mousa	5.000	2,08	
Osmosi inversa	Hawaii	7,3	0,86	[21]

nella scelta finale. In Tabella 3 ed in Tabella 4 vengono riportate, rispettivamente, una sintesi dei diversi processi applicabili per il riuso delle differenti tipologie di acque reflue e una sintesi per la dissalazione ed i relativi costi. Nelle Figure 2 e 3 vengono rappresentati i costi dei vari progetti di riuso e dissalazione nel mondo, suddivisi per tipologia di trattamento, ed in funzione della dimensione dell'impianto. Dall'analisi effettuata, si evince che: i costi di riuso e dissalazione sono fortemente dipendenti dal tipo di tecnologia adottata e, contemporaneamente, dalla dimensione dell'impianto, per cui non è semplice stabilire quale sia il trattamento più vantaggioso in termini economici; i costi della dissalazione sono considerevolmente più alti di quelli del riuso e tale differenza è molto più marcata per piccole dimensioni dell'impianto.

Costi per il monitoraggio

In quanto ai costi del monitoraggio, nel confronto tra i diversi standard imposti o consigliati dalle autorità di controllo locali o internazionali, si registrano sensibili differenze e svariate incongruenze in relazione all'inconsistenza o lacunosità di definizione di numerosi fattori, quali i punti di campionamento, il numero di campionamenti e le relative analisi. Per esempio, nel caso delle acque reflue trattate, alcune analisi chimiche (pH, Ntot, Ptot) o microbiologiche (E. coli) hanno costi bassi, altre (sottoprodotti della disinfezione, composti farmaceutici, Enterovirus) costi considerevoli. Inoltre, a seconda della pericolosità del parametro analizzato, è richiesta una frequenza delle analisi più o meno alta.

Conclusioni

Il riuso delle acque reflue consente di disporre di una risorsa idrica non convenzionale che, opportunamente trattata e recuperata, può essere impiegata in modo vantaggioso

in numerosi settori. Anche la dissalazione costituisce una fonte di approvvigionamento non convenzionale che, in determinati contesti, può risultare concorrenziale.

Occorre sottolineare come sul piano tecnico non esistano in effetti limitazioni al raggiungimento di standard qualitativi per il reimpiego delle acque reflue o per la dissalazione delle acque marine.

Le tecnologie oggi disponibili sono infatti in grado di produrre dai reflui depurati e acqua dissalata di qualità elevata. Le limitazioni al riguardo derivano più che altro da vincoli di natura economica. L'analisi riportata fornisce una sintesi di diver-

se esperienze nel mondo, che possono dare delle indicazioni di massima utili per valutare la concreta fattibilità di queste soluzioni alternative alle scarse risorse tradizionali.

La convenienza economica del riuso e della dissalazione varia da caso a caso, pertanto è necessario definire puntualmente i criteri tecnici ed economici necessari per la scelta della strategia perseguibile.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Mujeriego, T. Asano, *Water Science and Technology*, 1999, **40(4-5)**, 1.
- [2] N. Haruvy, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, **66**, 113.
- [3] G. Mancini *et al.*, "Riuso delle acque reflue e costi di affinamento", in *Processi e Tecnologie Innovativi per la Depurazione delle Acque Reflue*. Edizioni Csisa, 2006, 247.
- [4] A. Urkiaga *et al.*, *Desalination*, 2008, **218**, 81.
- [5] L. Bonomo, C. Nurizzo, "Recupero e riuso di acque reflue depurate. In Sviluppo nelle tecniche di depurazione delle acque reflue", ed. L. Bonomo, Politecnico di Milano, 2000, 491.
- [6] Regione Emilia Romagna, Autorità per la vigilanza dei servizi idrici e gestione dei rifiuti urbani, 2007.
<http://www.ermesambiente.it/autoridrsu/documenti/sintesi/settore%20Acqua%20Sintesi%20relazioni.pdf>
- [7] A. N. Angelakis, B. Durhamb, *Desalination*, 2008, **218**, 3.
- [8] G. K. Pearce, *Desalination*, 2008, **222**, 66.
- [9] A. Hafez *et al.*, *Desalination*, 2007, **214**, 261.
- [10] M. Gomez *et al.*, *Desalination*, 2007, **202**, 369.
- [11] M. Petala *et al.*, *Desalination*, 2006, **195**, 109.
- [12] P. Fine *et al.*, *Journal of Environmental Management*, 2006, **78**, 163.
- [13] V. Lazarova *et al.*, *Water Practice & Technology*, 2006, **1(2)**, 1.
- [14] O. Santoro *et al.*, Riutilizzo delle acque reflue urbane in Puglia: l'esperienza di gestione del bacino integrato di accumulo e trattamento di Fasano (BR). Atti del seminario Ecomondo 2006.
- [15] F. Ferrero *et al.*, Analisi delle problematiche per il risparmio idrico nell'industria tessile: fattibilità e costi. Atti della 34a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale, "Il riutilizzo delle acque reflue urbane e industriali", Cremona, 29-30 ottobre 2007.
- [16] M. Torregrossa, "Interventi finalizzati al recupero e riuso delle acque reflue nella città di Palermo". Seduta plenaria del consiglio dell'acqua, 2007.
- [17] M. Gual *et al.*, *Desalination*, 2008, **219**, 81.
- [18] G. Curto *et al.*, "Acqua dolce dal mare - L'esperienza di un trentennio di dissalazione in Sicilia", Editoriale Bios, 2006.
- [19] Shaorong Wu, *Desalination*, 2006, **190**, 287.
- [20] A. A. Mabrouk, *Desalination*, 2007, **205**, 354.
- [21] Gang Qin *et al.*, *Aquacultural Engineering*, 2005, **32**, 365.