

## 24. - POSSIBILITÀ DI IMPIEGO DELLE ACQUE REFLUE TRATTATE IN AGRICOLTURA E DELLE ACQUE SALMASTRE DISALATE PER USI POTABILI

COTECCHIA V. & LIBERTI L. (\*)

### 24.1. - POSSIBILITÀ DI IMPIEGO DELLE ACQUE REFLUE TRATTATE IN AGRICOLTURA

#### 24.1.1. - *La situazione nel mondo*

Il riutilizzo produttivo delle acque reflue municipali opportunamente trattate (*wastewater reuse*, WWR), è pratica largamente diffusa nel mondo (tab. 24.1, fig. 24.1), i cui diversi aspetti teorici ed applicativi sono oggetto di una vasta letteratura in continuo aggiornamento (SHUVAL, 1977; SHUVAL *et alii*, 1986; WPCF, 1983; PRICE, 1988; USEPA, 1992; TCHOBANOGLOUS, 2003; WHO, 2006; ASANO 2007, 2010).

Per concorrere ad allentare la crisi idrica che affligge 1/3 della popolazione mondiale (ONU, 2010), si stima che gli investimenti nel WWR aumenteranno del 60% (da 1,02 a 1,63 MLD\$) nel prossimo quinquennio in paesi come USA e Canada (FROST & SULLIVAN, 2010). Nel solo 2010 sono stati realizzati nuovi imponenti impianti WWR nei mercati emergenti del Far East (Pechino

---

(\*) Prof. Lorenzo Liberti. Ordinario di Tecnologie per la Tutela dell'Ambiente. Politecnico di Bari

Tab. 24.1 - *Alcuni esempi di riuso di acque reflue a fini produttivi (agricoltura).*  
 - Some examples of wastewater reuse for productive purpose (agriculture).

PAESE	ACQUE REFLUE RIUTILIZZATE	
USA	2.6 Mmc/d	(535 impianti)
California	0.9 Mmc/d	(210 impianti)
S. Africa	0.2 Mmc/d	(25% totale a. reflue)
Cina	1.3 MHa	
Australia	10.000 Ha	(Melbourne)
Cile	16.000 Ha	(Santiago) (*)
Messico	90.000 Ha	(Mexico City) (**)
<b>Israele</b>	1990	2010
totale acque reflue (Mmc/d)	0.61	1.26
acque reflue trattate (Mmc/d)	0.44 (72%)	1.22 (97%)
acque reflue riciclate (Mmc/d)	0.44 (72%)	1.15 (94%)
contributo acque reflue a irrigazione	11%	
(*) 70% totale acque irrigue in stagione secca		
(**) 80% totale acque irrigue in stagione secca		

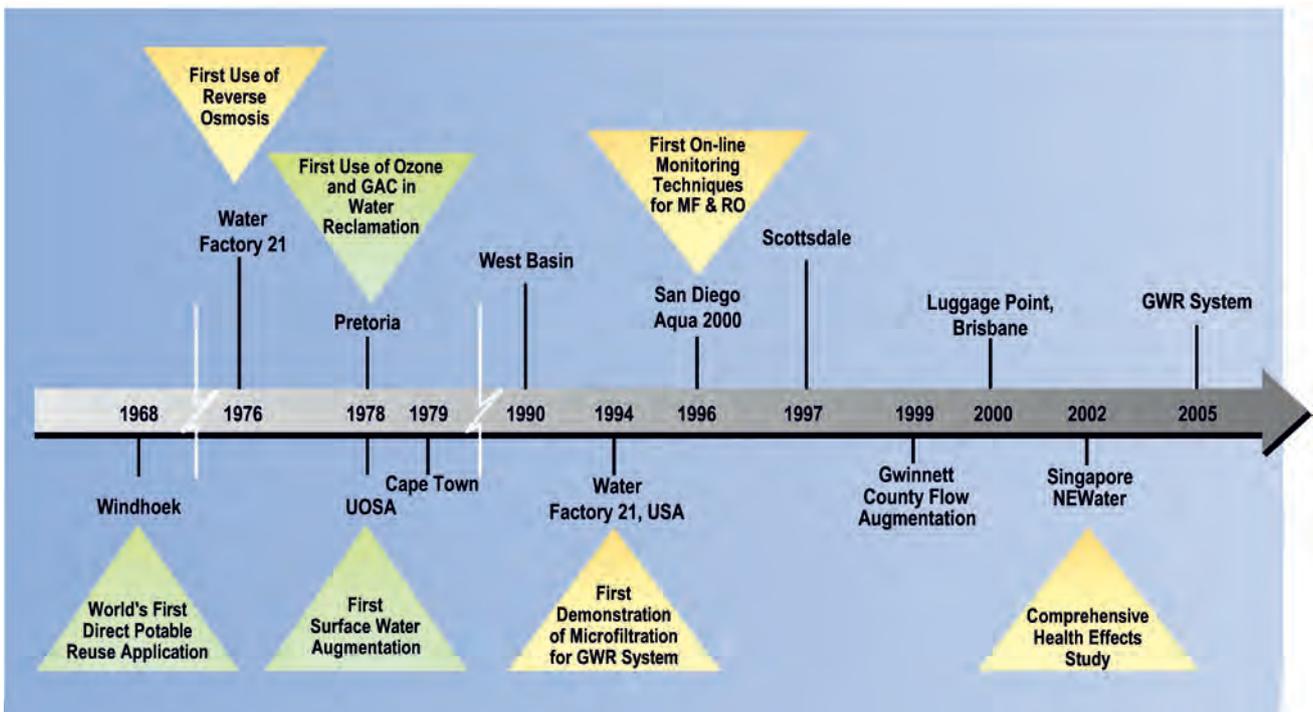


Fig. 24.1 - Tappe miliari nel waste water reuse (GWR = groundwater recharge). - Milestones in waste water reuse (GWR = groundwater recharge).

Beixiaohu), nel Middle East (Doha North, Qatar, 439 MLD\$, e Hadera, Israele, 456 MLD\$, tra i più grandi impianti del genere), in Europa (Glanerbrug, Olanda; Grecia ecc.), dove Germania e Israele hanno lanciato un *Joint R & D Program* da 1,5 M€ (<http://epa.gov./water.recycling/Index.html>) e, in particolare, negli USA (Palo Verde, Arizona; Incline, Nevada; Lanai Isle, Hawaii; Montebello, Santa Rosa e lavine, California). Meritevole di ci-

tazione è la nota *Water Factory 21* a *Orange County*, California, il più grande impianto WWR al mondo, funzionante dal 1975 e ampliato nel 2009 con un investimento di 0,5 MLD\$, in cui i reflui civili depurati sono in parte versati nell'invaso artificiale che alimenta il locale impianto di potabilizzazione (riuso potabile indiretto) e in parte iniettati in falda per contrastare l'intrusione di acqua salata dall'Oceano Pacifico.

Il WWR riguarda già più del 70% delle acque reflue in Israele (fig. 24.2) e in Sud Africa (tab. 24.2).

Oggi è frequente addirittura il riutilizzo dei reflui municipali a fini potabili (*Direct Potable WWR*). Dopo l'impianto originario di Windhoek (Sud Africa), che dal 1968 alimenta 1/3 della rete idropotabile (LAW, 2003), impianti analoghi sono sorti in tutto il mondo, da ultimo l'impianto da 1.360 m<sup>3</sup>/d a Cloudcroft, New Mexico (USA) (WATER-REUSE, 2011), inducendo oggi alcuni dei massimi studiosi del settore a definire il DPWWR "*The future imperative*" (LEVERENZ *et alii*, 2011).

#### 24.1.2. - La situazione in Puglia

In Italia il WWR, previsto già dalla Legge n.319/76 (Merli), è stato disciplinato dal D.M. 185/03, confermato come norma transitoria dall'art.170 p.3 b) D.Lgs 152/06 s.m.i. (Testo Unico

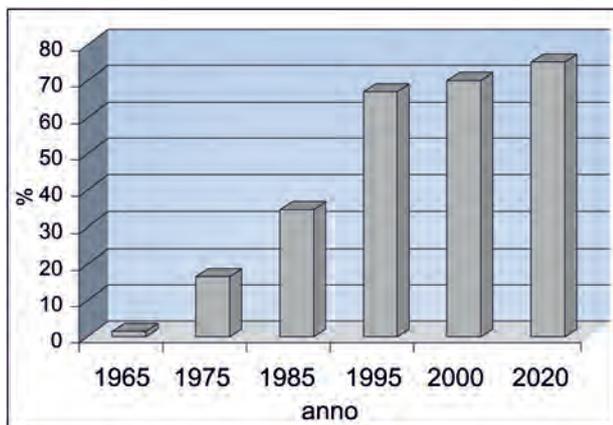


Fig. 24.2 - Riutilizzo di reflui civili in Israele.  
- *Municipal wastewater reuse in Israel.*

Tab. 24.2 - *Riuso di acque reflue a fini potabili in Sud Africa.*

- Waste water reuse for drinking purpose in South Africa.

LOCALITÀ	POTENZIALITÀ
Windhoek	30.000 A.E. dal 1969 ininterrottamente
Pretoria	4.500 m <sup>3</sup> /d in costruzione
Cape Town, Cape Flats	4.500 m <sup>3</sup> /d
Cape Town, Athlone	3000 m <sup>3</sup> /d
Porth Elizabeth	440 m <sup>3</sup> /d dimostrativo

Ambiente). La Regione Puglia è stata pioniera nel campo del WWR. Infatti già il Piano di Risana-mento Acque (L.R. n.24/83) aveva assunto la scelta strategica di sottoporre a depurazione spinta (*affinamento*) le acque reflue dei maggiori depuratori municipali ( $\geq 50$  l/s) come misura per affrontare il cronico deficit idrico regionale e per consentirne il riuso produttivo in agricoltura e nell'industria, nonché per ricarica artificiale della falda, alleviando l'enorme pressione del settore agricolo su quest'ultima. Il Piano di Tutela delle Acque (PTA, 2009) ha confermato tale strategia, estendendola ai depuratori minori ( $>10$  l/s), al fine di far fronte alla crescente domanda di acqua di qualità e contenere la salinizzazione della falda idrica, soggetta a prelievo eccessivo (spesso incontrollato).

In attuazione di tale politica, ingenti risorse pubbliche sono state investite nella costruzione di impianti di affinamento. Dopo i primi impianti realizzati a fine anni '80 con il "Progetto Integrato per il Disinquinamento del Golfo di Manfredonia", nell'ultimo decennio la costruzione di impianti WWR è ripresa su ampia scala, sicché oggi se ne contano già 40 (fig. 24.3) ed altri 80 sono in programma. Tali impianti sono caratterizzati dai seguenti elementi:

- costituiscono trattamento aggiuntivo (terziario e/o quaternario) a quello depurativo ordinario, richiedendo ulteriori notevoli investimenti, sebbene attenuati dall'effetto scala (fig. 24.4);
- mostrano grande variabilità negli schemi tecnologici (fig. 24.5), scelti dai diversi progettisti in assenza di un coordinamento generale;
- presentano notevole variabilità nella stima del costo del trattamento (fig. 24.6), realisticamente prevedibile attualmente in  $\approx 0,3$  €/m<sup>3</sup> (escluso l'ammortamento).

Fino a poco tempo fa, tuttavia, nessuno di tali impianti era ancora entrato stabilmente in esercizio. Faceva eccezione solo l'impianto WWR di Fasano Forcatella (350 m<sup>3</sup>/h), su cui si dirà più avanti.

Come evidenziato da un recente studio finanziato dalla Regione (PROGETTO STRATEGICO 091 "Strategie Integrate per il Riuso Produttivo di Acque Reflue" - SIRPAR), diversi fattori concorrevano ad impedire il decollo del WWR in Puglia, connessi alle complesse problematiche di natura

Tab. 24.3 - *Impianti di affinamento per il riuso di acque reflue municipali in Puglia.*  
- Municipal WWR plants in Apulia.

<b>A) Completati</b>					
Provincia	Località	Ab. Equiv.	Depurazione (mc/h)	Limiti scarico (D.Lgs. 152/99)	Affinamento (mc/h)
BA	Bari est	541.261	4511	Tab. 1	3250
BA	Bari ovest	295.683	2464	Tab. 1	1080
BA	Conversano	24.037	200	Tab. 1	250
BR	Mesagne	81.413	678	Tab. 4	583
BR	Ostuni	32.810	273	Tab. 1	229
BR	Fasano Forcatelle	43.845	365	Tab. 4	149
FG	Foggia	187.200	1560	Tab. 1	1250
FG	Isole Tremiti	5.000	42	Tab. 4	42
FG	Vieste	22.133	184	Tab. 1	184
LE	Lecce	98.208	818	Tab. 1	833
TA	TA Bellavista	132.723	1106	Tab. 1	2083
TA	TA Gennarini	100.000	833	Tab. 1	3208
TA	Massafra	31.148	260	Tab. 4	333
TA	Lizzano	24.696	206	Tab. 4	138
TA	Castellaneta	17.860	149	Tab. 4	149
<b>Totale n. 15</b>		<b>1.355.449</b>			<b>3321</b>
<b>B) Da adeguare e potenziare (finanziati)</b>					
BA	Andria	130.000	1083	Tab. 4	540
BA	Castellana	18.500	154	Tab. 4	55
BA	Molfetta	63.945	533	Tab. 1	458
BA	Ruvo - Terlizzi	52.866	441	Tab. 1	475
FG	Trinitapoli	14.447	120	Tab. 1 - Tab. 2	120
FG	Cerignola	83.200	693	Tab. 1 - Tab. 2	335
FG	Margherita di S.	19.800	165	Tab. 1 - Tab. 2	125
FG	San Sevaro	88.000	733	Tab. 1	290
FG	Lucera	37.620	314	Tab. 1	188
TA	Avetrana	8.400	70	Tab. 4	70
TA	Mareggio	18.000	150	Tab. 4	150
<b>Totale n. 11</b>		<b>811.346</b>			<b>8243</b>
<b>C) Privi di opere di adduzione</b>					
BR	Ceglie Messapico	29.450	245	Tab. 1	245
BR	San Donaci	7.700	64	Tab. 4	64
BR	San Pancrazio S.	10.527	88	Tab. 4	88
FG	Carapelle	7.000	58	Tab. 1	58
LE	Novoli	10.932	91	Tab. 4	91
LE	Presicce	15.872	132	Tab. 4	132
<b>Totale n. 6</b>		<b>81.481</b>			<b>678</b>
<b>D) Di nuova realizzazione</b>					
BA	Barletta	92.305	769	Tab. 1	1480
BA	Putignano	28.097	234	Tab. 4	234
LE	Tricase	17.751	148	Tab. 4	82
LE	Corsano	15.391	128	Tab. 4	105
LE	Carpignano	13.475	112	Tab. 4	104
LE	Gallipoli	80.000	667	Tab. 1	500
LE	Maglie (consortile)	59.827	499	Tab. 1	500
LE	Castrano	41.902	349	Tab. 1	146
<b>Totale n. 8</b>		<b>348.748</b>			<b>3151</b>

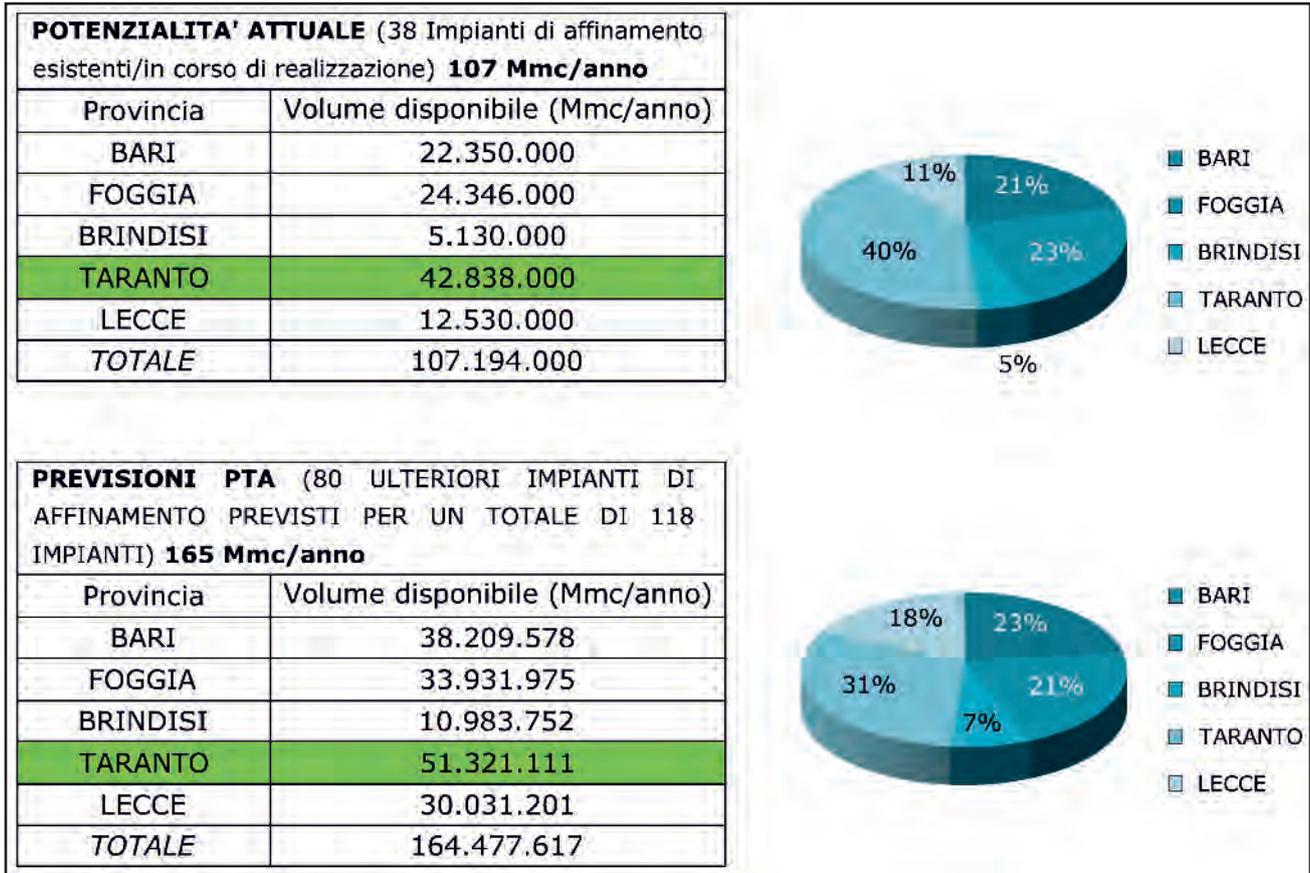


Fig. 24.3 - Potenzialità di riuso delle acque reflue in Puglia.  
- Potential reuse of waste water in Apulia.

tecnica e gestionale di tale pratica, tra cui:

- 1) rischi sanitari (talvolta amplificati a fini commerciali), che richiedono puntuali e rigorose procedure di *risk analysis* scientificamente mature (WHO, 1989; AA.VV., 2008)
- 2) titolarità della gestione dell'impianto, spesso diversa rispetto a chi gestisce i depuratori a monte e accumulo/distribuzione a valle;
- 3) costo del refluo affinato, non competitivo con acqua di falda (specie se prelevata abusivamente).

Il primo problema discende dall'ambiguità dell'originaria Norma Nazionale (L.319/76 e DCI-TAI 04/02/77), che fissava standard di qualità diversi per l'irrigazione di prodotti agricoli da consumarsi crudi o cotti (e/o non commestibili). Nell'impossibilità di controllare l'effettivo uso del refluo affinato, nei bandi di gara dei primi impianti di affinamento (Progetti integrati per disinquinamento del Golfo di Manfredonia, 1983, e del Golfo di Taranto, 1987) con DGR n.1648/84 la Regione Puglia fissò cautelativamente limiti ancora

più restrittivi (tab. 24.3), particolarmente costosi e difficili da raggiungere stabilmente in sede di collaudo funzionale degli impianti stessi. Il problema è oggi superato dalla disciplina nazionale (D.M. n.185/03), che fissa standard univoci e ragionevoli. Al riguardo il PTA pugliese prevede la possibilità di deroga per la concentrazione di Cloruri (1.200 anziché 250 mg/l, a causa della frequente intrusione marina nelle reti fognarie) e Azoto (35 anziché 15 mg/l, poiché accresce il valore agronomico al refluo affinato).

La formazione di cloroderivati tossici della disinfezione (*disinfection by-products*, DBP), tuttavia, sollecita l'adozione di tecniche di disinfezione innovative, preferibilmente non chimiche (raggi UV, membrane, ac. peracetico) rispetto alla clorazione, tuttora prevalente nel trattamento delle acque.

Anche il secondo problema sembra avviato a superamento. Con DGR n. 662/06 e L.R. n.27/08, infatti, la Regione Puglia ha definito l'intero territorio regionale quale Ambito Territoriale Ottimale

(ATO) e fino al 2018 vi ha individuato il Gestore Unico del Servizio Idrico Integrato ex L.R. 28/99 in AQP (Acquedotto Pugliese Spa). Quest'ultimo, a sua volta, nel 2009 ha creato la società "in house" Pura Depurazione srl, affidandole la conduzione di tutti gli impianti idrici dell'ATO Puglia, inclusi gli impianti di affinamento.

L'ostacolo principale al decollo del WWR in Puglia, tuttavia, è costituito dal costo dell'affinamento. In linea di principio, considerando l'utilizzazione

del refluo affinato un tipico servizio a domanda individuale, toccherebbe agli utilizzatori di tale risorsa (Consorti irrigui, Aziende agricole, Industrie) corrispondere un prezzo atto a coprire il costo di produzione e l'eventuale accumulo a distribuzione. Tale onere, in gran parte dei casi, eccede largamente il costo del prelievo dell'acqua di falda che, per giunta, di solito è disponibile quando (nella stagione irrigua, senza bisogno di onerosi accumuli intermedi), dove (presso l'azienda interessata, senza bisogno di

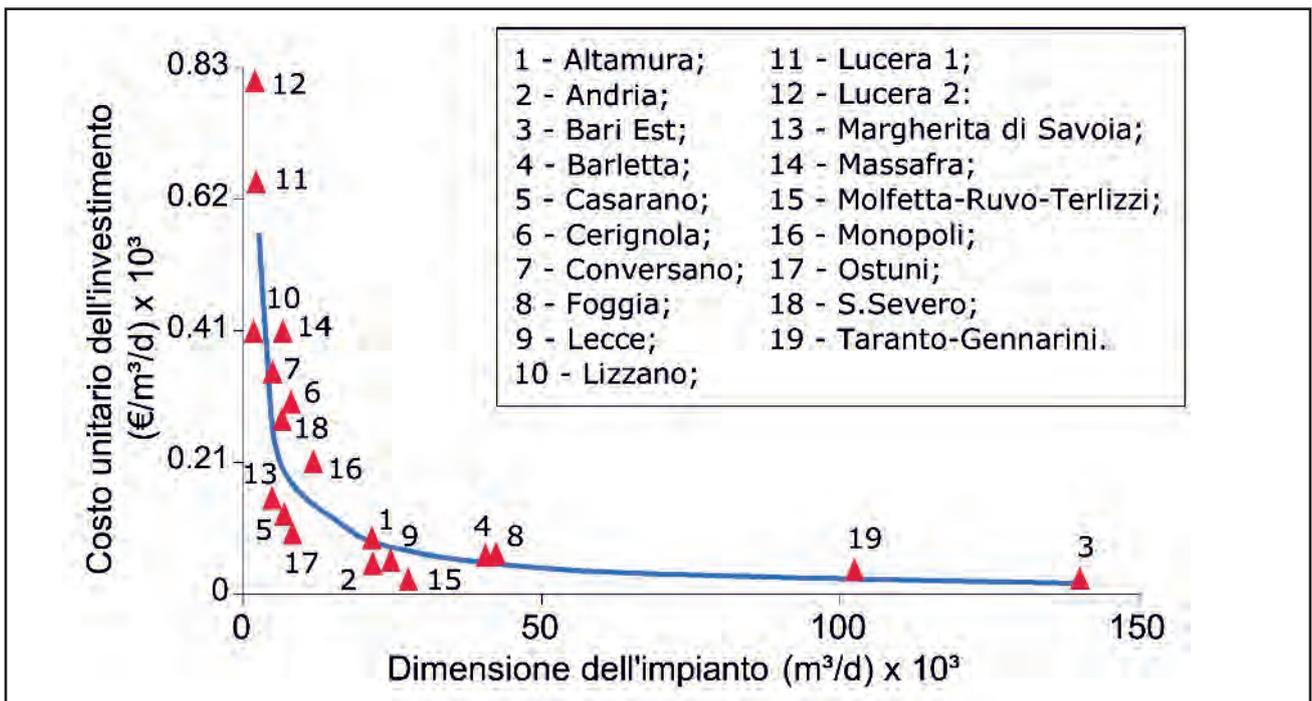


Fig. 24.4 - Costo di investimento unitario degli impianti di affinamento in Puglia.  
 - Unit investment cost of municipal WWR plants in Apulia.

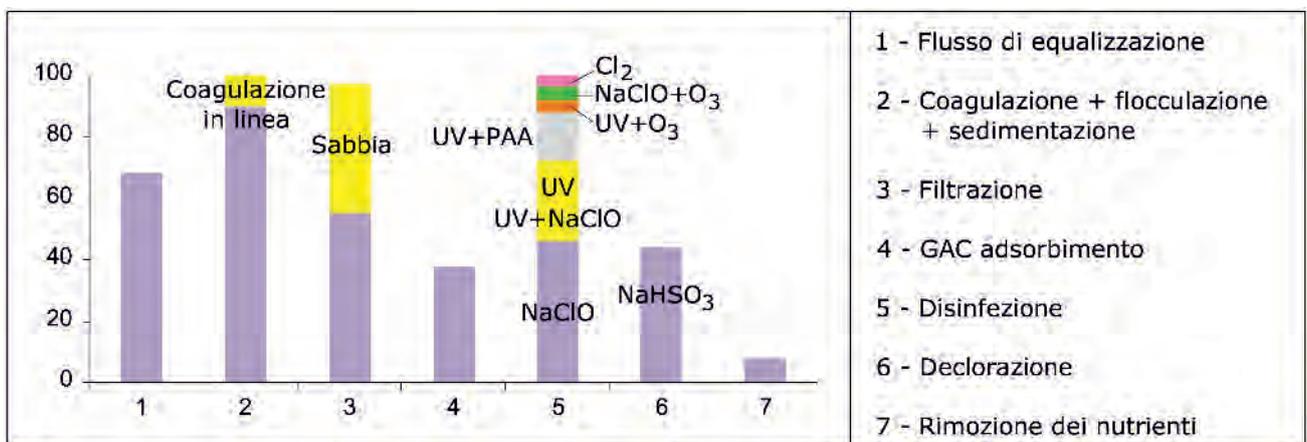


Fig. 24.5 - Operazioni unitarie adottate negli impianti di affinamento pugliesi.  
 - Unit operations adopted in Apulian municipal WWR plants.

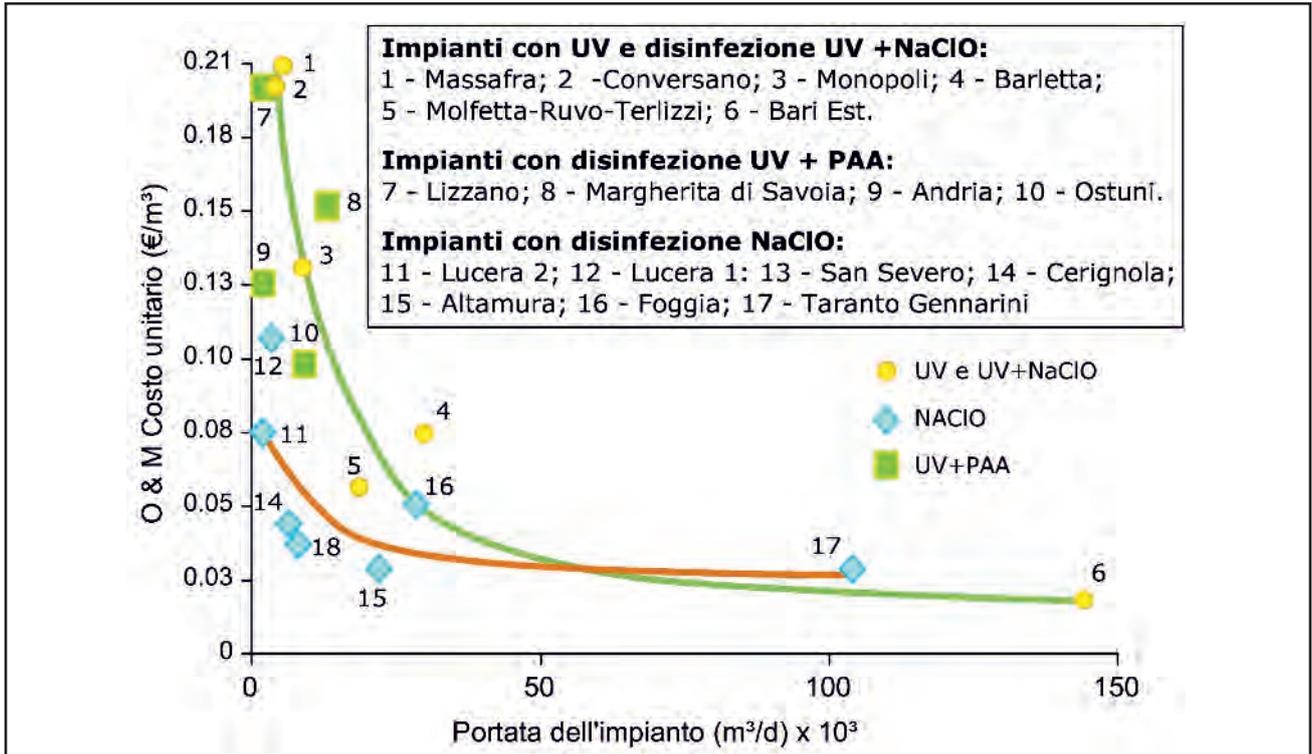


Fig. 24.6 - Costo di gestione unitario stimato degli impianti di affinamento in Puglia.  
 - Estimated unit management cost of municipal WWR plants in Apulia.

Tab. 24.3 - Principali limiti di accettabilità per le acque reflue depurate.  
 - Major acceptability limits of treated wastewater.

Parametro (mg/L)	Scarico L.n.319/76	Riuso DCITAI 4/2/77	Riuso DGR Puglia 1648/84	Scarico DLgs 152/99	Scarico DLgs 152/06	Riuso DM 185/03 <sup>(+)</sup>
BOD	40	40	15	25	40	20
COD	160	160	40	125	160	100
SS	80	80	10	35	80	10
Cl <sub>attivo</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Indice SAR		15				10
Colimetria <sup>(°)</sup>	20/12/2x10 <sup>3(*)</sup>	2 <sup>(**)</sup> - 20 <sup>(***)</sup>	2 <sup>(**)</sup> - 20 <sup>(***)</sup>			0.2
E.coli				5x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>3</sup>	10

(°) MPN/100ml; (\*) per Coliformi Totali, Coliformi Fecali e Streptococchi Fecali rispettivamente; (\*\*) per prodotti destinati ad essere consumati crudi; (\*\*\*) per raccolti lavorati prima del consumo, pascoli e prati; (+) transitoriamente confermato dal DLgs 152/06 s.m.i e confermati dalla Regione Puglia Progetto di PTA pugliese adottato con DGR n. 883/07.

reti di distribuzione) e quanto ne serve (in relazione allo specifico uso). Maggiore chiarezza al riguardo potrebbe ottenersi in presenza un serio controllo dell'acqua di falda, con puntuale monitoraggio degli emungimenti, con un'anagrafe accurata dei pozzi esistenti (autorizzati e non), adottando l'obbligo della misurazione dei volumi prelevati e sanzionando i prelievi abusivi.

La L.R. n. 27/08 (*Modifiche e integrazioni all'art.1 della L.R.n.06/09/99 n.28*), tuttavia, ha posto le basi per il superamento della questione cruciale di chi debba farsi carico del costo dell'affinamento.

La Direttiva CE/2000/60 prescrive, tra gli obiettivi ambientali (art.4 all. V), *mantenere o migliorare lo stato dei corpi idrici superficiali e sotterranei, al fine di raggiungere un livello di qualità "buono" entro il 2015*. Attual-

mente, nessuno dei corpi idrici pugliesi ha stato ambientale *buono* (tranne l'area antistante Brindisi), ma al più *sufficiente*, quando non *scadente* (Lago di Lesina), *mediocre* (area antistante Bari, Barletta e Manfredonia) e addirittura *pessimo* (Torrente Candelaro) (tabb. 24.4, 24.5) (PTA, 2009). Al fine di contribuire a perseguire tale obiettivo, l'art.1 c.1 lett.a) della L.R. n.27/08 ha compreso nel Servizio Idrico Integrato "l'affinamento delle acque reflue laddove necessario a perseguire gli obiettivi di qualità stabiliti dal Piano di Tutela delle Acque".

Al legislatore regionale, cioè, è apparso ragionevole finalizzare al perseguimento di obiettivi di qualità di interesse generale anche il trattamento di affinamento dei reflui municipali, scaricandone il costo sulla fiscalità generale.

Tale innovativo principio risulta in via di puntuale definizione attraverso il Regolamento Regionale pugliese n. 8 del 18 aprile 2012 "Norme e

*misure per il riutilizzo delle acque reflue depurate*" (pubblicato nel Bollettino Ufficiale della Regione Puglia n. 58 del 20-04-2012).

L'art.3 del Regolamento, in particolare, prevede che la Regione promuova accordi di programma con i gestori degli impianti di recupero delle acque reflue ed i Gestori delle reti di distribuzione, al fine di prevedere agevolazioni ed incentivazioni al riutilizzo del refluo depurato attraverso:

- contributi finanziari per l'elaborazione dei Piani di Gestione;
- incentivi e agevolazioni tariffarie a sostegno dell'utilizzo del refluo depurato nei casi in cui è prioritario l'obiettivo del risparmio idrico;
- contributi al soggetto gestore della rete di distribuzione;
- contributi al soggetto gestore dell'impianto di recupero.

Tab. 24.4 - *Monitoraggio delle acque superficiali in Puglia (PTA 2009).*  
- Monitoring of surface waters in Apulia (PTA 2009).

CORPI IDRICI SUPERFICIALI SIGNIFICATIVI		
Corpo idrico	Stato Ambientale attuale	Obiettivo al 2015
Torrente Saccione	SUFFICIENTE	BUONO
Fiume Fortore	SUFFICIENTE	BUONO
Fiume Ofanto	SUFFICIENTE	BUONO
Torrente Locone	SUFFICIENTE	BUONO
Torrente Candelaro	<b>PESSIMO</b>	SUFFICIENTE(*)
Torrente Salsola	SUFFICIENTE	BUONO
Torrente Triolo	SUFFICIENTE	BUONO
Torrente Cervaro	SUFFICIENTE	BUONO
Torrente Carapelle	SUFFICIENTE	BUONO
<b>Acque di transizione</b>		
Lago di Lesina	SCADENTE	BUONO
Lago di Varano	SUFFICIENTE	BUONO
Laghi Alimini	SUFFICIENTE	BUONO
<b>Le acque marino-costiere</b>		
AMP Isole Tremiti, zona A (area di controllo per il Mare adriatico)	ELEVATO	ELEVATO
Area antistante il porto di Manfredonia	MEDIOCRE	BUONO
Area antistante il Comune di Barletta	MEDIOCRE	BUONO
Area antistante il Comune di Bari	MEDIOCRE	BUONO
Area antistante il Comune di Brindisi	BUONO	BUONO
AMP Porto Cesareo (area di controllo per il Mar Ionio)	ELEVATO	ELEVATO
Area antistante la località Chiatona (Comune di Palagiano)	ELEVATO	ELEVATO
(*) Obiettivo Ambientale meno rigoroso, come consentito dal comma 6 dell'art. 77 del Dlgs 152/2006		

Tab. 24.5 - *Monitoraggio delle acque sotterranee in Puglia (PTA 2009).*  
- Groundwater monitoring in Apulia (PTA 2009).

Corpo idrico	Stato attuale		Obiettivo 2015	
	Qualitativo	Quantitativo	Qualitativo	Quantitativo
Acquifero del Gargano	4	C	3	B
Acquifero dell'alta Murgia	2	C	2	B
Acquifero Murgia tarantina	4	C	3	B
Acquifero Murgia Nord fascia costiera	4	C	3	B
Acquifero Murgia Nord interna	2	C	2	B
Acquifero Murgia Sud fascia costiera	4	C	3	B
Acquifero Murgia Sud interna	2	C	2	B
Acquifero del Salento ad alta concentrazione salina	4	C	3	B
Acquifero del Salento a bassa concentrazione salina	4	C	2	B
Acquifero alluvionale della bassa Valle del Fortore	4	C	3	B
Acquifero del Tavoliere	4	C	3	B
Acquifero della bassa Valle dell'Ofanto	4	C	3	B
Acquifero superficiale dell'Arco Ionico Tarantino occidentale	4	C	2	B
Acquifero dell'area leccese costiera adriatica	4	C	2	B

**Legenda per classificazione dello stato "qualitativo"**

Classe 1	Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche
Classe 2	Impatto antropico ridotto e sostenibile nel lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche
Classe 3	Impatto antropico significativo con caratteristiche idrochimiche generalmente buone ma con segnali di compromissione
Classe 4	Impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti
Classe 0	Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies idrochimiche naturali con concentrazioni al di sopra dei valori di classe 3

**Legenda per classificazione dello stato "quantitativo"**

Classe A	Impatto antropico nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Le estrazioni di acqua o alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili sul lungo periodo
Classe B	Impatto antropico ridotto, vi sono moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento consentendo un uso della risorsa sostenibile sul lungo periodo
Classe C	Impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziata da rilevanti modificazioni agli indicatori generali soprasposti (nella valutazione quantitativa bisogna tenere conto anche degli eventuali surplus incompatibili con la presenza di importanti strutture sotterranee preesistenti)
Classe D	Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica

Grazie a questa scelta politica il sistema del WWR pugliese sembra finalmente in grado di decollare. In funzione del reperimento delle risorse necessarie per il riavvio e/o l'eventuale adeguamento alle norme nel frattempo succedutesi, infatti, sono già stati (ri)messi in esercizio recentemente gli impianti WWR di Ostuni (275 m<sup>3</sup>/h), Gallipoli (667 m<sup>3</sup>/h), Trinitapoli (120 m<sup>3</sup>/h), gestiti da Pura-AQP, mentre altri si preannunciano a breve.

Sul piano attuativo, tuttavia, la scelta coraggiosa della Regione Puglia ha di fronte due problemi non secondari:

- 1) in assenza di *Best Available Techniques* (BAT), occorrerà del tempo e la necessaria esperienza gestionale prima di poter stabilire il costo di affinamento standard, da addebitare alla collettività tra i diversi schemi di affinamento utilizzati negli impianti pugliesi (fig. 24.6);
- 2) la previsione di affinare a regime 272 Mm<sup>3</sup>/a (50% dell'intero consumo idro-potabile pugliese, figura 24.3) comporterà un sensibile incremento

( $\geq 0,15 \text{ €/m}^3$ ) nella tariffa a favore del gestore del Servizio Idrico Integrato, con ripercussioni sociali difficilmente prevedibili.

#### 24.1.3. - *L'impianto di affinamento di Fasano*

Un breve cenno specifico merita l'impianto WWR di Fasano (BR), unico stabilmente in marcia sin dalla realizzazione (2005), per l'esclusiva esperienza operativa e gestionale fornita per il territorio pugliese. L'impianto sorge in adiacenza al depuratore municipale (gestito da AQP Pura), di cui affina quota-parte dell'effluente secondario (in funzione della domanda del comprensorio) - destinato allo scarico ex-D.Lgs 152/06- portandolo agli standard per il riuso ex-D.M. n.185/03 attraverso le seguenti operazioni di trattamento in serie (figg. 24.7, 24.8):

- pre-disinfezione (con ipoclorito sodico NaOCl o acido peracetico CH<sub>3</sub>COOOH);
- coagulazione-flocculazione in *rapid-mixer* (con Policloruro di alluminio pAlCl<sub>3</sub>);



Fig. 24.7 - Impianto di depurazione e contiguo impianto di affinamento (freccia) di Fasano (BR).  
- Wastewater treatment plant and near-by WWR plant (arrow) at Fasano (BR).

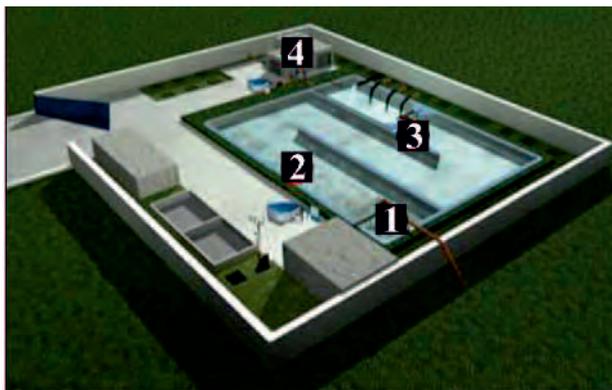


Fig. 24.8 - Rendering dell'impianto di affinamento di Fasano (BR).  
 Legenda: 1) Pre-disinfezione e rapid mixing; 2) Coagulazione - flocculazione;  
 3) Simentazione; 4) Post - disinfezione.  
 - Rendering of the WWR plant at Fasano (BR). Legend: 1) Pre-disinfection and rapid  
 mixing; 2) Coagulation - flocculation; 3) Settling; 4) Post-disinfection.

- sedimentazione lenta in bacino "a chicane" da 6.000 m<sup>3</sup>;  
 - post-disinfezione (con ipoclorito sodico o acido peracetico e raggi UV [optional]).

L'impianto, di proprietà del Comune di Fasano, che ne ha affidato la gestione a una giovane società locale (Aquasoil srl), opera ininterrottamente da 6 anni. Tenuto in esercizio tutto l'anno, l'impianto tratta una portata di refluo che nei mesi estivi cresce fino a 80.000 m<sup>3</sup> (fig 24.9), distribuiti al circostante fertile comprensorio agricolo (500 Ha) e sportivo (campi da golf) tramite una rete distributiva di circa 30 km (fig. 24.10). La gestione dell'impianto ed i controlli sul suo effluente non hanno finora fatto registrare disfunzioni e, grazie al contributo in conto-esercizio del Comune ed ai ricavi

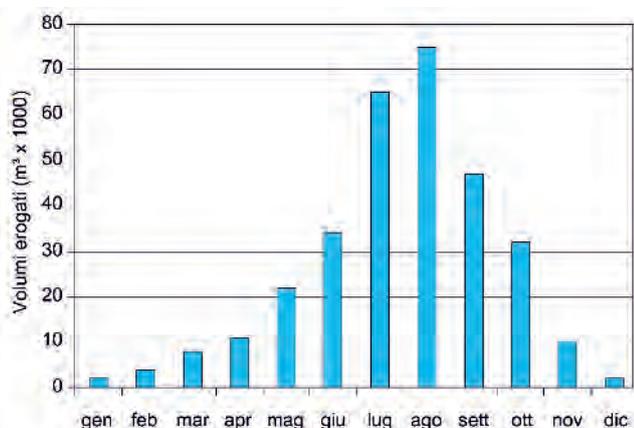


Fig. 24.9 - Distribuzione mensile del refluo affinato prodotto e distribuito dall'impianto di Fasano (BR).  
 - Monthly distribution of recycled municipal wastewater resource produced and distributed by Fasano plant (BR).

assicurati dalla domanda della risorsa affinata da parte del comprensorio agricolo-sportivo servito, il conduttore dell'impianto ha trovato finora l'equilibrio finanziario degli oneri di gestione.

#### 24.1.4. - L'impianto di affinamento di Taranto

Altrettanto significativa è la situazione di Taranto, in cui la domanda di risorsa affinata potrebbe essere fortemente alimentata dal maggiore comparto industriale pugliese (ILVA, ENI, Cementir).

Grazie all'Accordo di Programma ai sensi dell'art.17 Legge n.36/94, sottoscritto il 5/8/99 tra le Regioni Puglia, Basilicata ed il Ministero delle Infrastrutture, attraverso l'invaso del Fiume Sinni l'AQP assicura alla città di Taranto una dotazione idro-potabile di ca. 500 l/s, a fronte di un fabbisogno quasi doppio nei mesi estivi. Ciò crea antiche e gravi situazioni di disagio sociale, che nell'estate 2007 sfociarono in una vera e propria emergenza, con l'interruzione totale dell'erogazione idrica per alcuni giorni a diversi quartieri cittadini, costretti ad approvvigionarsi tramite autobotti. Lo schema Sinni assicura all'industria locale circa 500 l/s. Se dunque l'acqua dolce avesse uso in serie (prima potabile e poi produttivo, dopo affinamento dei reflui), anziché in parallelo, a parità di importazioni idriche (1.000 l/s), a Taranto potrebbero essere evitati conflitti tra esigenze civili e produttive locali.

A tal fine sono già state realizzate le necessarie infrastrutture impiantistiche (fig. 24.11), cioè:

- impianti di affinamento presso i depuratori municipali di Bellavista e di Gennarini;
- condotta trans-Mar Grande per trasferire l'effluente del secondo presso il primo.

Sono stati inoltre programmati ulteriormente presso il polo Bellavista:

- impianto di dissalazione per allineare le caratteristiche dei reflui affinati (Bellavista + Gennarini) alle esigenze dello Stabilimento Siderurgico ILVA;
- condotta di collegamento per trasferire l'effluente dissalato allo stabilimento ILVA.

Le suddette opere programmate presso il polo Bellavista, sebbene finanziate da tempo, non sono mai state eseguite, in parte per lungaggini legate al Sito Inquinato di Interesse Nazionale Taranto (L.

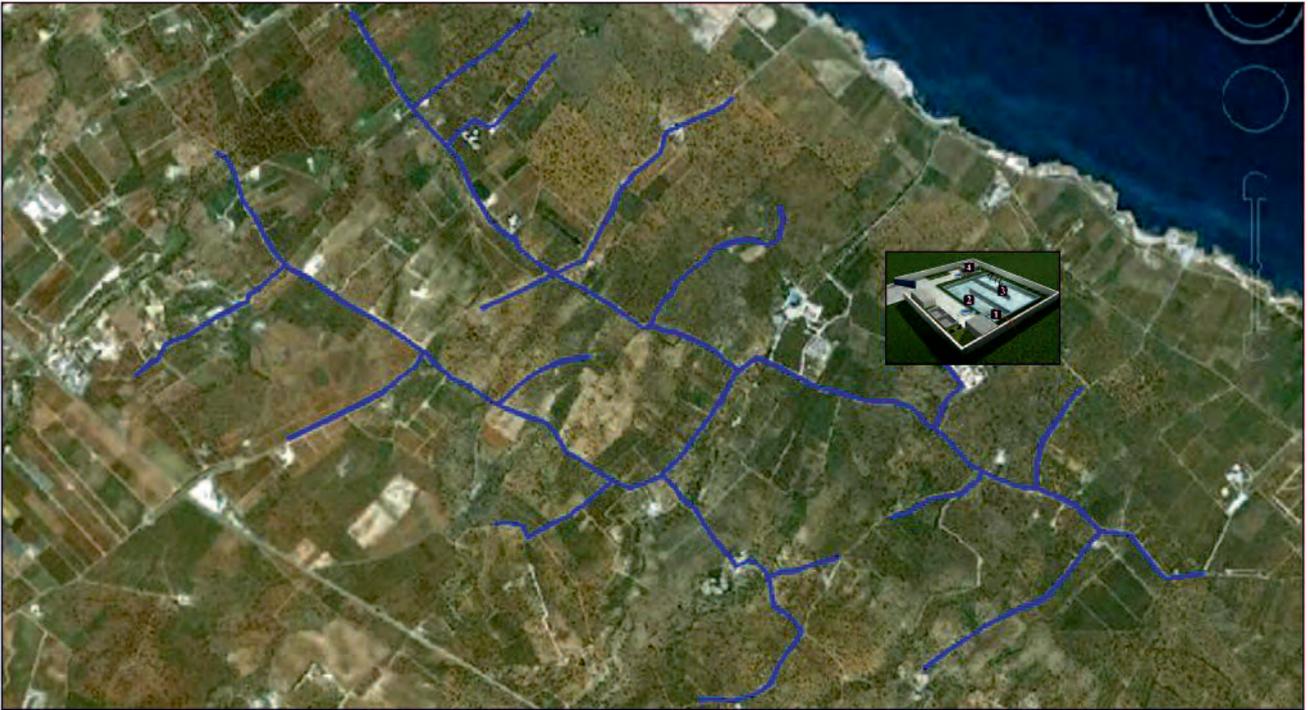


Fig. 24.10 - Rete di distribuzione irrigua del refluo affinato dall'impianto di Fasano (BR).  
- Irrigation distribution network of the municipal wastewater recycled at Fasano plant (BR).

n.426/98), più probabilmente per l'incongruenza del costo stimato per l'acqua affinata e dissalata.

Uno studio effettuato al Politecnico di Bari ha suggerito al riguardo un piano in quattro punti:

- 1) smantellamento del polo depurativo Gennarini (depurazione + affinamento), ormai in pieno tessuto urbano, e valorizzazione urbanistica di quell'area, di proprietà comunale;
- 2) utilizzazione della condotta trans-Mar Grande per trasferire il refluo bruto di Gennarini al polo Bellavista, in Z.I., e potenziamento dello stesso recuperando le apparecchiature di Gennarini nonché (in parte) le risorse economiche rivenienti dalla trasformazione urbanistica di quell'ex-area servizi;
- 3) trattamento completo (depurazione+affinamento+dissalazione), in sito idoneo (Bellavista, Z.I.), in un unico impianto, dell'intera portata di refluo civile di Taranto (500 l/s) e vendita del refluo affinato e dissalato alla grande industria locale;
- 4) contestuale rinuncia di quest'ultima all'attuale approvvigionamento di acqua del fiume Sinni (500 l/s) e destinazione degli attuali 1.000 l/s di provenienza lucana alle esigenze idro-potabili del capoluogo (e, per l'eventuale esubero, agli usi agricoli).

#### 24.1.5. - L'esperienza dell'IRSA in Puglia

A partire dal 2000 l'IRSA ha svolto ed ha tuttora in corso diverse attività sperimentali in scala dimostrativa sul riutilizzo delle acque reflue trattate a fini irrigui. In particolare vengono investigate le potenzialità dei processi di filtrazione superficiale per la semplificazione e l'ottimizzazione dei processi di affinamento degli effluenti, finalizzati al loro riutilizzo diretto sul campo.

Al fine di semplificare la gestione e aumentare l'efficacia dei trattamenti terziari, una variante dello schema di trattamento "tradizionale" può essere ottenuta sostituendo la coagulazione-flocculazione e la filtrazione di volume con un singolo processo di filtrazione di superficie. Appartengono a questa categoria due tipi di processi di filtrazione: su teli/tessuti e a membrana. I risultati ottenibili con questo schema di trattamento dipendono dal grado di filtrazione applicato. Si ottengono in ogni caso ottime prestazioni in termini di rimozione dei solidi, perciò risulta conveniente effettuare la successiva sezione di disinfezione tramite raggi UV: applicata ad acque poco torbide essa è molto efficace e relativamente economica. La filtrazione su

tessuto opera nel range della microfiltrazione e viene solitamente operata per gravità. Per quanto riguarda le membrane, nell'ambito del trattamento delle acque reflue finalizzato al riuso irriguo si lavora prevalentemente a bassa pressione (sino a 1.5 bar). Si raggiungono *cut-off* compresi tra  $1\ \mu\text{m}$  a  $0,01\ \mu\text{m}$ , ottenendo un abbattimento della carica microbiologica (anche di alcuni parassiti resistenti agli attacchi chimici) che renderebbe inutile il ricorso alla disinfezione finale (POLLICE *et alii*, 2004). Di fatto, però, soprattutto nei casi di riutilizzo diretto degli effluenti, è opportuno prevedere un sistema di disinfezione “*on demand*” da utilizzare nel caso in cui si registri una contaminazione microbiologica.

Le attività sperimentali dell'IRSA sono state svolte prevalentemente nell'ambito di diversi progetti di ricerca nazionali ed internazionali, quali POM B12 (2000-2001), Aquatec (PON 2002-

2006), PRIN (2010-2012), Interra (PON 2011-2014) e *Water4Crops* (*Collaborative Project* FP7 2012-2016). In tali attività si è progressivamente concentrata l'attenzione sull'ottimizzazione sia del processo di trattamento complessivo di reflui domestici mediante bioreattori a membrana (MBR), sia dell'affinamento di effluenti di preesistenti processi di depurazione a fanghi attivi mediante trattamenti terziari di filtrazione attraverso membrana o attraverso tessuti (processo FDG, filtro a dischi a gravità).

I principali risultati delle predette attività sperimentali, eseguite tutte, è il caso di ribadirlo, su scale rappresentative di situazioni reali, possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- Rispetto ai processi di separazione solido/liquido convenzionali (sedimentatori a gravità) l'adozione della filtrazione attraverso membrane consente un miglior controllo dei processi biologici di depura-

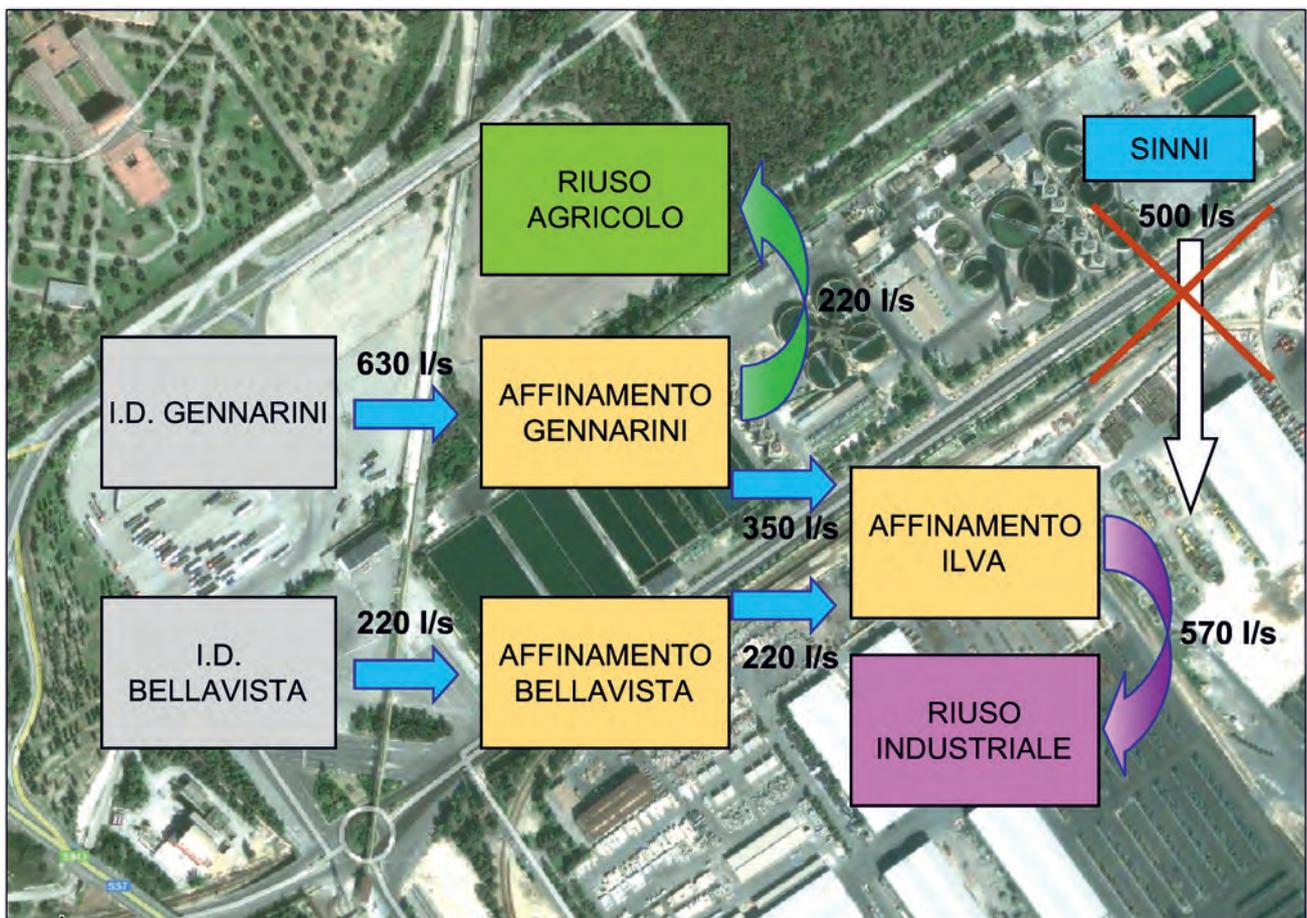


Fig. 24.11 - Proposta regionale per il riutilizzo delle acque reflue di Taranto.  
- Regional proposal for the reuse of municipal wastewater of Taranto.

zione rendendo gli MBR notevolmente più affidabili e più flessibili dei sistemi a fanghi attivi convenzionali rispetto alle variazioni quali-quantitative dei reflui in ingresso;

- la presenza delle membrane in sostituzione dei sedimentatori secondari oltre a vantaggi di compattezza ed efficienza, garantisce una disinfezione almeno parziale degli effluenti secondari, consentendone il riutilizzo diretto. È comunque opportuno predisporre sistemi di disinfezione “*on demand*”, destinati ad eventuali malfunzionamenti (infiltrazioni, rotture) e/o a garantire effetti batteriostatici nei serbatoi di accumulo degli effluenti (LOPEZ *et alii*, 2010);

- le concentrazioni dei principali indicatori di contaminazione fecale (Coliformi fecali, Escherichia coli, Streptococchi, Salmonella e parassiti enterici come Giardia e Criptosporidium) misurate nel corso delle attività sperimentali indicano che la qualità microbiologica degli effluenti sottoposti a filtrazione attraverso membrana e post-disinfezione è mediamente superiore a quella delle fonti convenzionalmente usate per l'irrigazione (falde artesiane) (LONIGRO *et alii*, 2006; 2007);

- è stato verificato sperimentalmente che la presenza negli effluenti di un indicatore di contaminazione fecale (Escherichia Coli) in concentrazioni anche elevate ( $10^3$ - $10^4$  UFC/100 mL) non dà luogo a fenomeni di accumulo né sul terreno né sulle piante, e che i tempi di persistenza di tale indicatore non superano alcuni giorni dopo il termine della contaminazione (dati non pubblicati);

- la possibilità di conservare parzialmente il contenuto di nutrienti nel refluo costituisce un vantaggio dal punto di vista agronomico e consente di limitare gli apporti di nutrienti di origine chimica, oltre ad avere effetti positivi sulla semplificazione dei processi di depurazione delle acque (LOPEZ *et alii*, 2006);

- l'adozione di processi terziari basati sulla filtrazione attraverso membrane consente di rimpiazzare treni di trattamento più complessi (chiariflocculazione-filtrazione-disinfezione) con un solo processo facilmente controllabile, che non richiede l'utilizzo di additivi chimici e dà luogo a limitatissime produzioni di fanghi che possono essere restituiti all'impianto di depurazione.

#### 24.1.6. - L'impianto di affinamento di Trinitapoli

Un esempio importante dell'applicazione della filtrazione di superficie ai fini del riuso irriguo degli effluenti trattati è dato dall'impianto di affinamento di Trinitapoli (D'ARCANGELO, 2006). Esso fa parte di un progetto finalizzato al recupero di un volume pari a circa 1.260.000 mc/anno di reflui municipali opportunamente trattati allo scopo di consentire il riutilizzo irriguo degli effluenti. In particolare, il processo di affinamento consiste in un trattamento terziario mediante ultrafiltrazione degli effluenti dell'impianto di depurazione municipale, con successivo stoccaggio delle acque prodotte in un bacino di accumulo della capacità di circa 950.000 mc. Le acque così trattate e accumulate vengono distribuite ad un comprensorio irriguo avente un'estensione di circa 500 ettari. L'impianto di affinamento e il bacino di accumulo sono stati realizzati dal Consorzio di Bonifica della Capitanata, che li ha anche gestiti per alcuni anni. In particolare tra luglio e novembre 2004 è stata condotta un'attività sperimentale sul riutilizzo delle acque reflue trattate. Nel 2012 la gestione dell'impianto terziario è stata ceduta alla società Pura-AQP.

In estrema sintesi, l'impianto è costituito da:

- un pre-trattamento di filtrazione convenzionale mediante filtri rapidi in pressione;
- la sezione di ultrafiltrazione mediante membrane a fibre cave (su tre linee indipendenti);
- da tutte le apparecchiature accessorie per il lavaggio delle membrane finalizzato a mantenere l'efficienza del processo di filtrazione.

Le caratteristiche medie delle acque prima e dopo il processo di ultrafiltrazione sono riportate in tabella 24.6.

Lo schema previsto da questo progetto prescinde dalla presenza di un trattamento di post-disinfezione a valle del processo di ultrafiltrazione, e tale scelta può essere giustificata dai seguenti motivi:

- le acque trattate dal sistema di ultrafiltrazione vengono prelevate dopo la disinfezione effettuata presso il depuratore municipale;
- l'ultrafiltrazione come detto può essere considerata di per se un processo di disinfezione;
- l'utilizzo irriguo degli effluenti avviene dopo la

loro permanenza nel bacino di stoccaggio, che può garantire un ulteriore abbattimento dei parametri microbiologici.

I risultati dell'attività sperimentale svolta dal Consorzio hanno consentito di verificare l'idoneità del processo di trattamento adottato per la produzione di una risorsa idrica alternativa a quelle convenzionali da destinare all'irrigazione.

#### 24.1.7. - Conclusioni

La Puglia ha promosso sin dagli anni '80 del secolo scorso la politica del WWR di reflui municipali (L.R. n.24/83), al fine di consentire la salvaguardia e l'uso sostenibile di risorse primarie (falda). Il *wastewater reuse* può infatti contribuire in modo significativo al soddisfacimento della domanda idrica regionale, come da tempo avviene su vasta scala in Paesi simili al nostro (Spagna, Israele ecc.), e consentire quindi la riduzione degli emungimenti dagli acquiferi.

I notevoli sforzi attuativi della politica regionale, tradotti in 40 impianti WWR già realizzati a servizio dei centri maggiori pugliesi ed altri 80 program-

mati nei centri minori, si sono rivelati inidonei a superare gli ostacoli di natura scientifica, tecnica ed soprattutto economica finora opposti a tale pratica a livello locale, fortemente influenzato dall'uso (spesso abusivo) di acqua di falda. Infatti tranne l'impianto di Fasano, in esercizio da diversi anni, e quello di Trinitapoli recentemente acquisito da Pura AQP, nessuno degli impianti WWR pugliesi già realizzati è entrato pienamente in attività. Emblematico, al riguardo, è il caso di Taranto, dove una razionale organizzazione dei due impianti WWR esistenti consentirebbe di fornire adeguata risposta alle esigenze conflittuali di natura idro-potabile ed industriale espresse da quel territorio.

Recenti significativi mutamenti sul piano organizzativo, gestionale, della disciplina dei controlli e degli standard di accettabilità sono stati introdotti dal legislatore regionale pugliese attraverso l'adozione del PTA (2009) e la pubblicazione del Regolamento Regionale n.8/2012 "*Norme e misure per il riutilizzo delle acque reflue depurate*".

Decisiva appare in particolare la scelta operata dalla L.R. n.27/08 che, finalizzando l'affinamento dei reflui al perseguimento degli obiettivi di qualità prescritti dalla Direttiva CE/2000/60, consente di trasferire alla fiscalità generale il costo dell'affinamento stesso.

Ciò ha già consentito il (ri)avvio all'esercizio di diversi impianti WWR (Ostuni, Trinitapoli, Gallipoli) e altri si preannunciano, in funzione del reperimento delle necessarie risorse economiche.

È auspicabile che in questo nuovo scenario legislativo, regolamentare e gestionale regionale, grazie anche alle specifiche esperienze operative in via di consolidamento da parte del Gestore Unico del Servizio Idrico Integrato, il WWR cessi finalmente di essere un mito per diventare realtà anche in Puglia.

Dal punto di vista tecnologico, i risultati di oltre un decennio di attività sperimentali su scale significative suggeriscono l'opportunità di considerare i processi di filtrazione superficiale (tessuti, membrane) come quelli più idonei a garantire livelli qualitativi elevati negli effluenti. La diffusione di tali sistemi in situazioni analoghe a quella pugliese (Israele) è una testimonianza indiscutibile della loro efficacia e di costi operativi ormai confrontabili con quelli delle tecnologie tradizionali.

Tab. 24.6 - *Caratteristiche delle acque in ingresso e in uscita dall'impianto di ultrafiltrazione (affinamento) di Trinitapoli (da D'ARCANGELO, 2006).*

- Characteristics of the water inlet and exiting from ultrafiltration plant (wwr) of Trinitapoli (from D'ARCANGELO, 2006).

Parametro	U.M.	Ingresso	Uscita
Portata	m <sup>3</sup> /h	333	300
Rapporto di recupero	%		90
COD	mg/l	100	< 20
BOD	mg/l	25	<10
TSS	mg/l	35	< 1
Solidi Sedimentabili	ml/l	1	Assenti
Torpidità	NTU	40	< 2
Escherichia coli	UFC/100 ml		2
Rimozione carica batterica	%		99,99
Rimozione coliformi totali	%		99,99

## 24.2. - POSSIBILITÀ DI IMPIEGO DI ACQUE DISSALATE

### 24.2.1. - *Cenni storici*

Per le sue sfavorevoli caratteristiche meteo-oro-pedologiche e i 925 km di costa, la Puglia appare particolarmente votata all'uso della dissalazione per colmare il proprio cronico deficit idrico.

A tal fine nel 1966 (quando l'area ionico-salentina non era ancora servita dagli schemi idrici dell'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese - EAAP), grazie agli studi pionieristici di Giorgio Nebbia (Università di Bari), Roberto Passino (Università di Roma) e pochi altri, su impulso dell'On. Aldo Moro il Parlamento affidò al CNR il Programma Speciale per l'Approvvigionamento Idrico del Mezzogiorno (PSAIM), creando a Bari il Laboratorio Sperimentale di Chimica e Tecnologia delle Acque.

Obiettivo del PSAIM era valutare la convenienza tecnico-economica della dissalazione, dal secondo dopoguerra in crescente affermazione in numerosi paesi semi-aridi del mondo, in alternativa al tradizionale trasporto a distanza di acqua dolce. Obiettivo complementare era favorire il trasferimento all'industria nazionale del relativo *know how*, all'epoca patrimonio quasi esclusivo di pochi paesi (USA, Israele, Russia).

In un quindicennio entrambi gli obiettivi apparivano sostanzialmente raggiunti, con un costo del-

l'acqua dissalata comparabile con il prezzo riscosso da EAAP (non includente l'ammortamento) e con aziende italiane in grado di competere sui mercati internazionali.

Grazie anche all'originale pretrattamento DESULF<sup>®</sup> brevettato dal CNR (BOARI *et alii*, 1974, 1976), infatti, a fine anni '70 la Soc. Reggiane O.M.I. realizzava diversi dissalatori MSF (all'isola del Giglio, da 240 m<sup>3</sup>/d; alla centrale ENEL di Bari, da 1.900 m<sup>3</sup>/d; allo stabilimento Anic di Gela, da 10.000 m<sup>3</sup>/d ecc.) e nel 1983 si aggiudicava la realizzazione dell'impianto da 200.000 m<sup>3</sup>/d a Doha East (Kuwait), all'epoca uno dei più grandi dissalatori al mondo (fig. 24.12) (DE MAIO *et alii*, 1983; ZANNONI *et alii*, 1983). A sua volta l'italiana TPL nel 1986 vinceva la gara dei "Dissalatori delle isole minori siciliane" (Lipari 4.800 m<sup>3</sup>/d, Pantelleria 3.200 m<sup>3</sup>/d, Salina 1.450 m<sup>3</sup>/d, Ustica 600 m<sup>3</sup>/d, Linosa 500 m<sup>3</sup>/d e Marettimo 500 m<sup>3</sup>/d) e nel 1990 realizzava i dissalatori di Trapani (54.000 m<sup>3</sup>/d) e Porto Empedocle (4.800 m<sup>3</sup>/d); successi analoghi coglievano altre aziende italiane.

All'epoca la dissalazione avveniva prevalentemente mediante impianti di distillazione di tipo MSF (*Multiple Stage Flash*), fortemente energivori ( $\approx 60\%$  del costo dell'acqua prodotta imputabile al consumo energetico, figura 24.13).

Il brusco aumento del prezzo del petrolio causato dalla guerra israelo-egiziana del Kippur del 1973 ( $\leq 500\%$  nel decennio successivo, figura

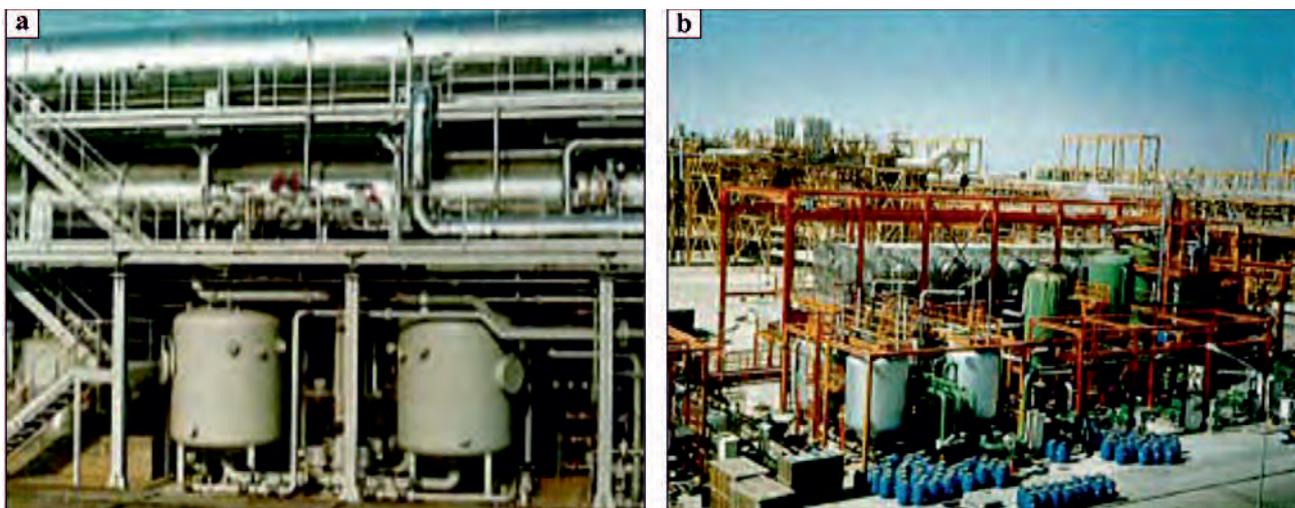


Fig. 24.12 - Pretrattamento DESULF nei dissalatori MSF: a) Gela; b) Doha East (Kuwait).  
- DESULF pretreatment at MSF desalination plant of Gela (a) and Doha East, Kuwait (b).

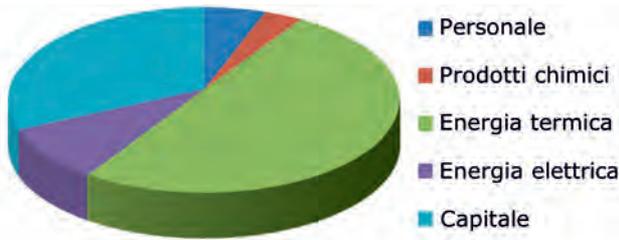


Fig. 24.13 - Composizione del costo dell'acqua dissalata con grandi impianti MSF.  
- Cost breakdown of water desalted by big MSF plants.

24.14), tuttavia, determinò l'abbandono dell'opzione dissalazione in molti paesi *oil importer*. In Italia, in particolare, prevalse negli anni '80 l'opzione politica di approvvigionare il Mezzogiorno mediante trasporto di acqua dolce dalle regioni limitrofe Campania, Molise e, soprattutto, Basilicata. In quest'ultima regione, a tal fine, furono realizzati enormi invasi artificiali (ad es., Sinni, 450 Mm<sup>3</sup>, tra i più grandi d'Europa), con non trascurabili conseguenze sul piano tecnologico (realizzazione di impianti di potabilizzazione specifici) e qualitativo (formazione di indesiderati sottoprodotti della disinfezione) connesse all'uso di acque superficiali rispetto alle tradizionali acque di sorgenti (Sele).

Lo stesso Consiglio Nazionale delle Ricerche abbandonò il PSAIM, convertito nell'Istituto di Ricerca Sulle Acque (IRSA), con sedi a Roma, Milano e Bari, dedicato all'ampia tematica della gestione complessiva dell'acqua. Significativamente, però, la EUROPEAN DESALINATION SOCIETY (2010), sezione della World Desalination Society, fissò negli anni '90

la propria sede a L'Aquila, dove redige tuttora la principale rivista scientifica del settore (*Desalination*).

#### 24.2.2. - Situazione attuale nei Paesi europei

Risulta difficile confermare oggi la bontà di quella scelta politica, visto che il mercato della dissalazione continua ad espandersi allo sbalorditivo tasso medio del 7%/a da ca. 30 anni (fig. 24.15), praticamente in tutto il mondo (fig. 24.16), dove oggi si contano ca. 15.000 impianti in 100 paesi (WANGNICK, 2008) e stime affidabili prevedono investimenti per 88 MLD\$ nei prossimi 5 anni (PIKE RESEARCH, 2011).

A differenza dell'Italia, i principali paesi europei *oil importer* continuarono a credere nella dissalazione, anche per il mercato interno. Ne sono prova, ad es., l'impianto MSF di Rotterdam (12.000 m<sup>3</sup>/d), quello a osmosi inversa (nel seguito RO, *Reverse Osmosis*) di Londra (2009) e l'odierna *leadership* della francese Veolia, mentre solo poche aziende italiane (Impregilo, Fisia) hanno continuato ad operare nel settore, per lo più all'estero (fig. 24.17; WANGNICK, 2008)

L'odierna produzione mondiale di acqua dissalata ( $\approx 70$  Mm<sup>3</sup>/d) potrebbe dissetare l'intera UE e, a conferma della vitalità del settore, nell'ultimo decennio molti impianti hanno già superato la potenzialità-soglia di 500.000 m<sup>3</sup>/d e diversi altri sono in programma (tab. 24.7) (WATER DESALINATION REPORT, 2011).

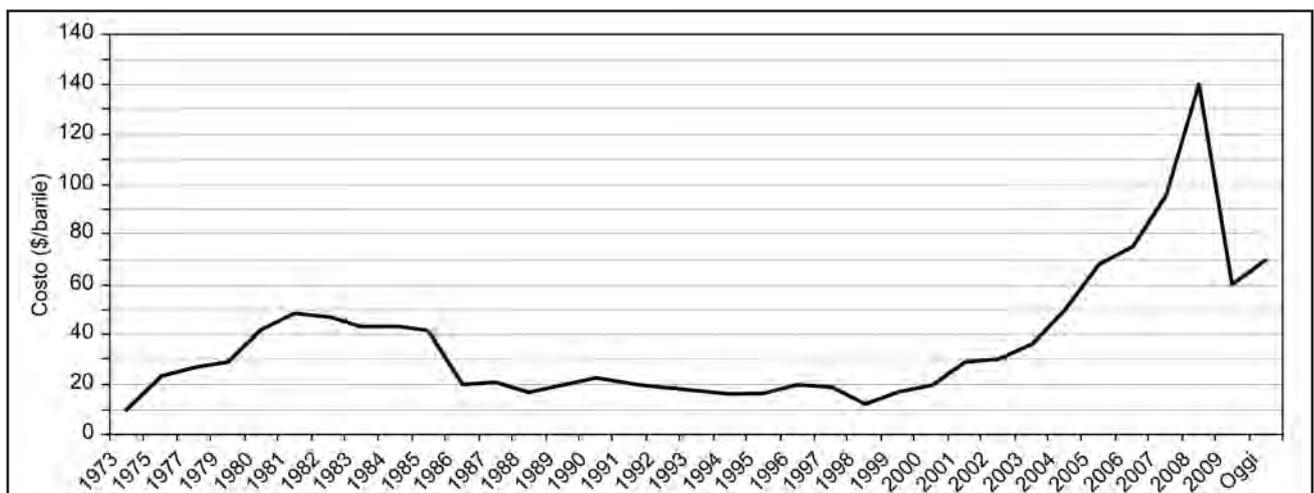


Fig. 24.14 - Andamento del prezzo del petrolio (\$/barile, non attualizzato).  
- Oil price trend (\$/barrel, undiscounted).

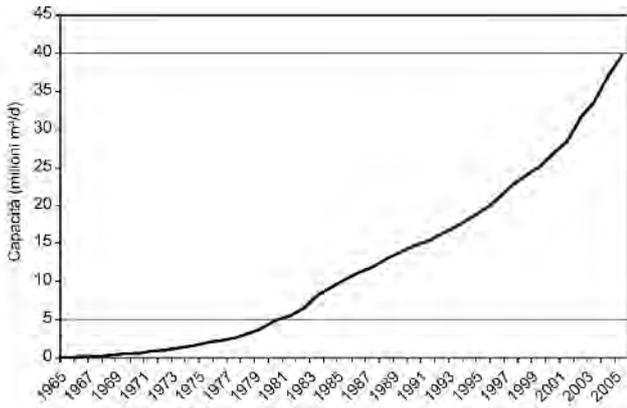


Fig. 24.15 - Andamento della produzione di acqua dissalata nel mondo.  
- Desalinated water production in the world.

#### 24.2.3. - Situazione in Puglia

In questo scenario la dissalazione è tornata di attualità anche in Puglia per almeno due ragioni:

- 1) il prezzo del petrolio, a parte il picco del 2008, a valuta attuale ed al recente tasso di cambio ( $\approx 1,35 \text{ \$/€}$ ) è addirittura inferiore a quello del 1973 (fig. 24.14);
- 2) l'attività di R&D ha prodotto notevoli progressi,

specie nella tecnologia RO, a fabbisogno energetico particolarmente contenuto.

La scelta politica di garantire l'approvvigionamento idropotabile da fonti extraregionali ( $\approx 75\%$ , per lo più dalla Basilicata, tabella 24.8), non ha risolto il fabbisogno idrico pugliese, che il PTA stima destinato a crescere del 50% nel 2020.

Di tale realtà ha finalmente preso atto anche la Regione Puglia, che nel Piano d'Ambito (ATO, 2002) prevedeva la realizzazione entro il 2006 di 4 dissalatori a uso potabile (fig. 24.18). Ad oggi tuttavia nessuno dei 4 dissalatori è stato realizzato né si intravede l'inizio lavori a breve. Tutto ciò ha indotto un recente convegno internazionale a intitolare la sessione inaugurale "*Desalination perspectives in Italy: dream or reality?*". Inaspettatamente, la localizzazione dei dissalatori si è rivelata il principale elemento di criticità avverso la loro realizzazione, fieramente avversata dalla popolazione pugliese a causa dell'impatto ambientale temuto (*sindrome Nimby*). Né sono valsi finora, per superare i localismi esasperati, i giudizi largamente favorevoli sull'impatto ambientale dei moderni impianti di dissalazione – specie quelli RO – emessi da nume-

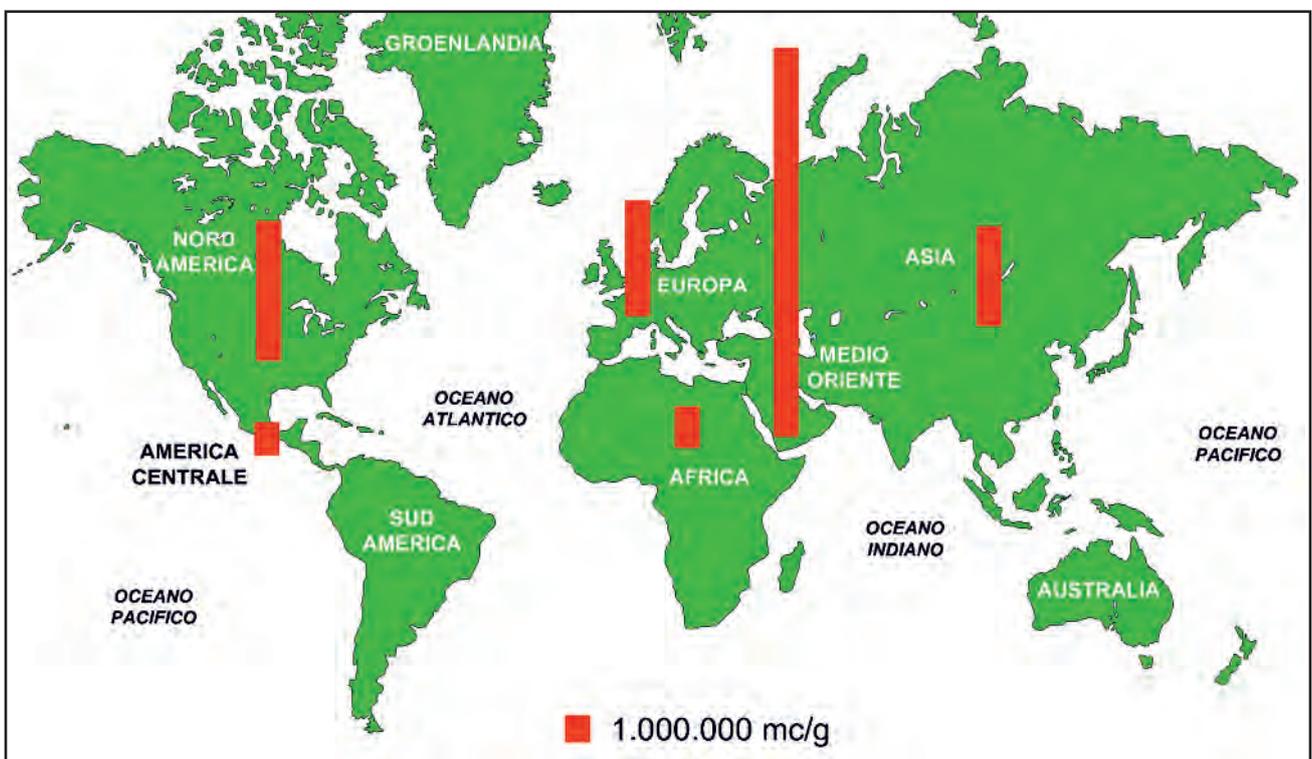


Fig. 24.16 - Distribuzione nel mondo degli impianti di dissalazione.  
- Desalination plants in the world.

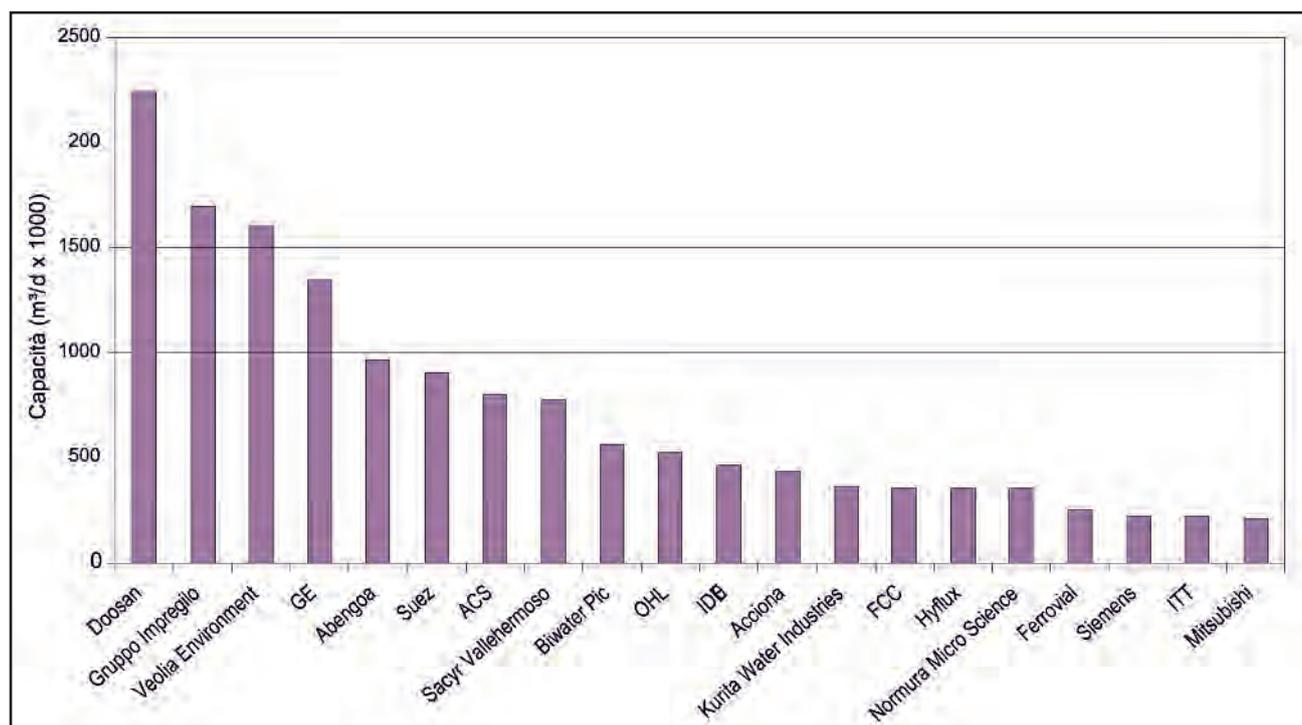


Fig. 24.17 - Maggiori imprese mondiali nel settore della dissalazione.  
- Major desalination firms in the world.

Tab. 24.7 - Nuovi impianti di dissalazione a potenzialità  $\geq 300.000 \text{ m}^3/\text{d}$ .  
- New desalination plants with  $\geq 300,000 \text{ m}^3/\text{d}$  capacity.

Paese	Impianto	Potenzialità (m³/d)	Alimento	Tecnologia	Situazione
Algeria	El Quel	300.000	salmastra	BWRO	gara in atto
Iran	Kerman	300.000	mare	SWRO	studio di fattibilità
Australia	Spencer Gulf	300.000	mare	SWRO	progettazione
Australia	Southeastern	300.000	mare	SWRO	progettazione
Libia	Jfara	300.000	mare	SWRO	gara da bandire
Singapore	Tuas II	320.000	mare	SWRO	in esercizio
Israele	Ashkelon	350.000	mare	SWRO	in esercizio
Turchia	Istanbul	350.000	mare	SWRO	gara da bandire
UAE	Hamriyah IV	365.000	mare	SWRO	gara bandita
Libia	Bengasi	400.000	mare	SWRO	progettazione
Israele	Soreq 2	410.000	mare	SWRO	approvazione
Israele	Hadera	411.000	mare	SWRO	in ampliamento
Trinidad	Point Lisas	455.000	mare	SWRO	progettato
Libia	Misurata	500.000	mare	SWRO	gara da bandire
Libia	Tripoli Est	500.000	mare	SWRO	gara da bandire
UAE	Hassyan 2	545.000	mare	SWRO	progettato
Arabia Saudita	Yanbu 3	550.000	mare	MSF	gara in atto
Giordania	Mar Rosso	550.000	mare	SWRO	gara bandita
Arabia Saudita	Shoiba 4	650.000	mare	MSF	da progettare

BWRO (acqua salmastra ad osmosi inversa); SWRO (acqua di mare ad osmosi inversa); MSF (multi – fase di distillazione)

Tab. 24.8 - *Fonti di approvvigionamento idropotabile per la Puglia (l/s and %).*

- Drinking water supply sources for Apulia (l/s and %).

Fonte	Regione	l/s	%
Pertusillo	Basilicata	3.425	25.5
Sinni	Basilicata	3.615	26.8
Sele – Calore	Campania	3.900	28.9
ERIM	Molise	65	0.5
Ofanto Locone	Puglia/Campania/ Basilicata	475	3.5
Occhito	Puglia/Molise	2.000	14.8
<b>Totale</b>		<b>13.480</b>	<b>100.0</b>

rosi esperti e studiosi in base all'esperienza ultracinquantennale maturata su questa tecnologia nel mondo (HOPNER & WINDELBERG, 1997; SADIQ, 2002; EINAV *et alii*, 2003; SOMMARIVA *et alii*, 2004; SADHWANI *et alii*, 2005; HASHIM & MUNEER HAJJAJ, 2005; AL-BARWANI & PURNAMA 2007; LATTERMAN & HOPNER, 2008; SANCHEZ & LIZASO, 2008; COTRUVO *et alii*, 2010).

In queste condizioni, perdurando e aggravandosi l'insufficienza idrica regionale, di recente la Regione Puglia ha proposto la realizzazione anche di numerosi "mini" dissalatori ( $\leq 2.000 \text{ m}^3/\text{d}$ , figura 24.19) (IANNARELLI, 2010), sui quali si attende ora il pronunciamento dei Comuni interessati. Nel Piano d'Ambito 2009 non sono stati inseriti i 4 dissalatori previsti dal precedente Piano; è stato invece previsto un unico dissalatore allocato presso lo sbarramento del fiume Tara.

24.2.4. - *Dissalazione di acqua salmastra*

La disponibilità illimitata e molto più diffusa di acqua di mare ne fa statisticamente preferire l'uso negli impianti di dissalazione rispetto all'acqua salmastra (fig. 24.20). Appare tuttavia opportuno soffermarsi brevemente su quest'ultima, risorsa naturale molto pregiata ai fini della dissalazione, disponibile in misura apprezzabile in Puglia (WANGNICK, 2008).

Si usa comunemente distinguere i processi di dissalazione a seconda che allontanano:

- il solvente (osmosi inversa RO, congelamento e distillazione);
- il soluto (elettrodialisi ED, scambio ionico SI).

All'inizio il basso prezzo del petrolio favorì nettamente i *processi che allontanano il solvente*, in particolare la distillazione (perlopiù tramite MSF) - sebbene l'elevato aumento di volume per il cambiamento di stato liquido/vapore comporti la necessità di impianti enormi (fig. 24.21) - grazie anche alla scarsa durata delle prime membrane RO ( $\leq 1$  anno) e all'inefficienza termodinamica dei processi di congelamento. La distillazione è praticamente indifferente all'elevata salinità dell'acqua di mare ( $\geq 0,6\text{M}$ ), che causa un trascurabile innalzamento ebullioscopico ( $\Delta T_{\text{eb}} \approx 0,3^\circ\text{C}$  a 1 atm), poco maggiore di quello per l'acqua salmastra ( $\Delta T_{\text{eb}} \approx 0,03^\circ\text{C}$  a 1 atm).

La bassa salinità dell'acqua salmastra ( $\leq 0,05\text{M}$ ), quando e se disponibile in misura adeguata, la rende preferibile nei *processi che allontanano il soluto*, in cui il consumo di energia è direttamente proporzionale alla concentrazione salina, quali ED e SI, che con-

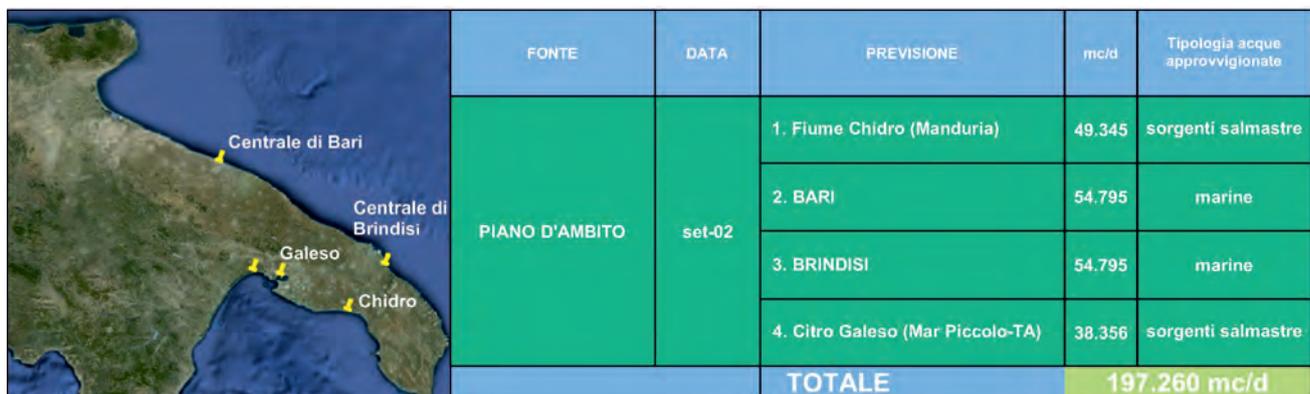


Fig. 24.18 - Programmazione regionale in materia di dissalazione a scopo potabile in Puglia (PdA, 2002).

- Regional planning on desalination for drinking purposes in Apulia (PdA, 2002).

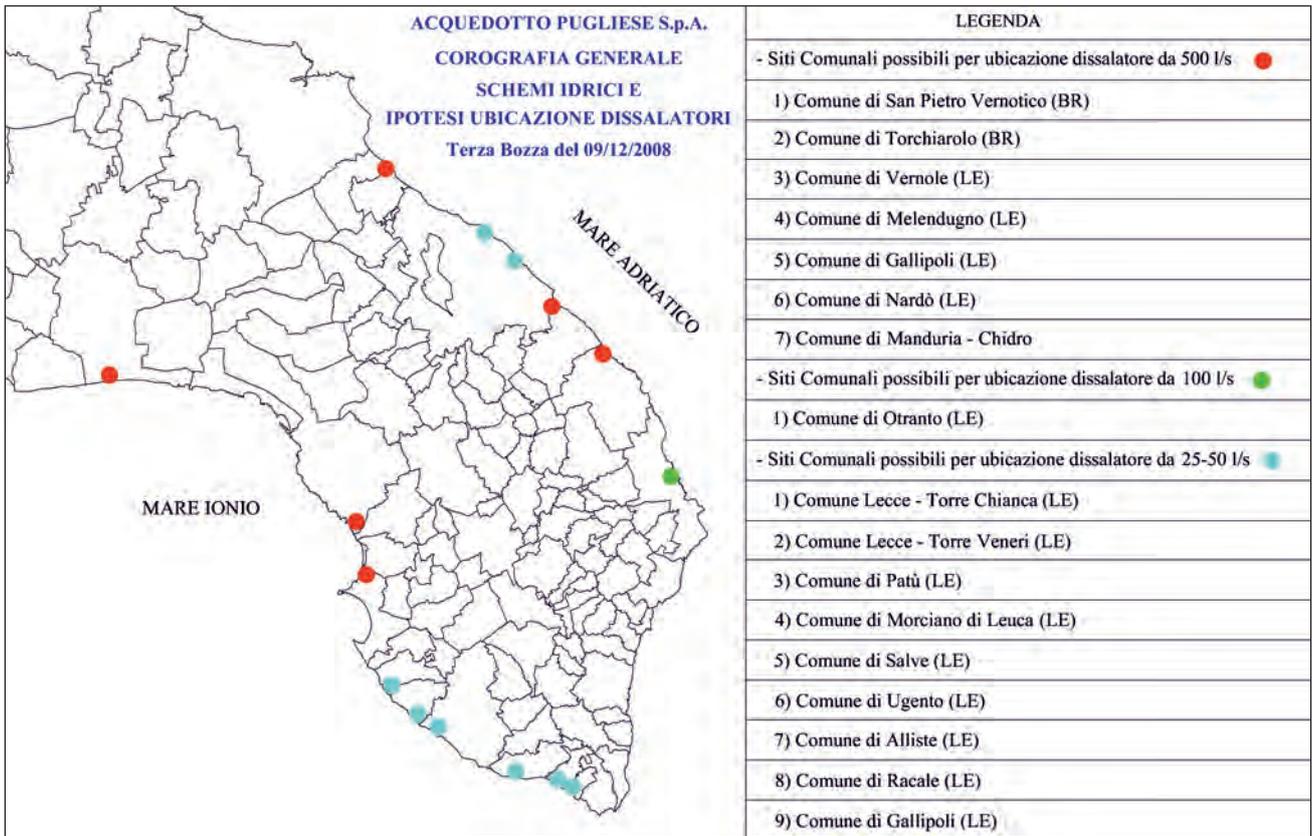


Fig. 24.19 - Nuove strategie della Programmazione regionale in Puglia per la dissalazione delle acque.  
 - *New strategies of regional Planning for water desalination in Apulia.*

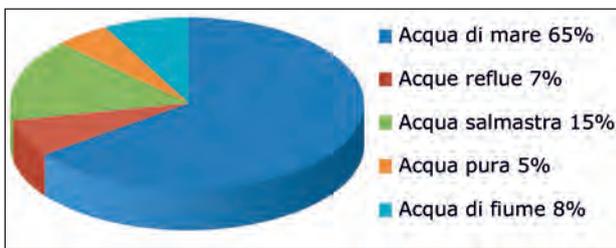


Fig. 24.20 - Tipo di alimento utilizzato negli impianti di dissalazione nel mondo.  
 - *Share of feed water in desalination plants in the world.*

sumano energia elettrica e chimica rispettivamente, entrambe più costose dell'energia termica.

A parte usi specifici (SI è l'unica tecnologia in grado di produrre acqua totalmente demineralizzata, necessaria, ad es., nella generazione di energia termoelettrica), pertanto, la diffusione di impianti di dissalazione tipo ED e SI è fortemente limitata appunto dalla scarsità di acqua salmastra. Va tuttavia ricordato l'impianto di dissalazione di acqua salmastra da 7.500 m<sup>3</sup>/d realizzato negli anni '70 per integrare l'approvvigionamento idro-potabile di Brindisi (BOARI *et alii*, 1972), basato su un origi-

nale abbinamento delle tecnologie ED e SI secondo il Processo SIRA<sup>®</sup>, brevettato dal CNR (BOARI, 1972), applicato a Mashabei Sadeh (4.000 m<sup>3</sup>/d) nel deserto Negev, Israele (HALPERN & OLIE, 1972).

Le moderne membrane RO sono molto resistenti, in grado di durare anche fino a 10 anni. La loro incredibile miniaturizzazione (membrane "a fibra cava", *hollow fiber*, figura 24.22), unitamente al mancato cambiamento di stato fisico dell'acqua (il processo RO avviene a T ambiente), consente impianti molto compatti (possono stare in un sottoscala), che non emettono emissioni in atmosfera. Come già evidenziato, inoltre, il fabbisogno energetico del processo RO è circa metà di quello MSF.

Tutto ciò spiega il dilagante successo degli impianti RO per dissalare acqua di mare (*sea water reverse osmosis* SWRO) e/o salmastra (*brackish water reverse osmosis* BWRO), come il grande *Yuma Project* (272.500 m<sup>3</sup>/d), avviato nel 1993 per dissalare la falda salmastra di Colorado River e Welton-Mohawk Valley in Arizona mediante BWRO (AN, 2011a).



Fig. 24.21 - Tipico dissalatore MSF di acqua di mare a Dubai.  
- MSF desalination plant of sea water in Dubai.

La dissalazione di acqua salmastra è molto più conveniente di quella dell'acqua di mare per vari motivi:

- la pressione osmotica ( $\Delta\pi$ ) da vincere per allontanare il solvente è proporzionale alla salinità (proprietà colligativa di soluzioni acquose): in pratica gli impianti BWRO operano a  $\Delta\pi \leq 26$  atm, ca. metà di quelli SWRO ( $\geq 55$  atm);
- l'elasticità delle moderne membrane RO consente di adattarne facilmente le performance a ragionevoli variazioni di salinità delle acque salmastre (da 2.000 a 4.000 mg/l);
- la bassa salinità dell'alimento consente maggiore produzione specifica, con *fattore di recupero*  $\eta_{\text{BWRO}} \geq 70\%$  (cioè  $\geq 0,7 \text{ m}^3_{\text{acqua dissalata}}/\text{m}^3_{\text{acqua trattata}}$ ) contro  $\eta_{\text{SWRO}} \leq 40\%$ , e minore salinità del permeato (*reiezione salina*  $\chi \leq 99\%$ );
- la minore salinità della salamoia risultante (concentrato) riduce i problemi di corrosione salina dei materiali e ne semplifica lo smaltimento.

Come già detto, la diffusione dei dissalatori BWRO è limitata dalla scarsa disponibilità dell'acqua salmastra e soprattutto dal delicato equilibrio chimico-idrodinamico cui è solitamente soggetta la falda idrica. A parte rari casi di acque salmastre originate da giacimenti salini (miniere di salgemma nel Mid-West USA, Israele, Sicilia), infatti, ordinariamente l'acqua salmastra si forma per (parziale) miscelazione di acqua dolce di origine meteorica e acqua mare di intrusione continentale, su cui galleggia per il minore peso specifico. Tale delicato

equilibrio verrebbe messo doppiamente in crisi:

- dall'emungimento dell'acqua salmastra da dissalare, che accelererebbe l'intrusione marina (come già spesso avviene, date le caratteristiche del sottosuolo in ampie zone della Puglia, per l'utilizzo massiccio di acqua di falda per l'irrigazione);
- dallo scarico del concentrato prodotto dal processo RO, qualora smaltito in falda.

Quest'ultimo problema è particolarmente serio ogni qualvolta l'acqua salmastra si trova lontano dalla costa. Svariate soluzioni sono state proposte a tal fine, dall'essiccamento naturale del concen-



Fig. 24.22 - Membrana RO a fibra cava (*hollow fiber*).  
- Hollow-fiber RO membrane.

trato nell'area del Mar Morto al recupero dei sali disciolti in New Mexico, con qualche convenienza economica (FOWLIE, 2011). È noto altresì il caso dei tre impianti BWRO di Granot (2004), Gat (2004) e Lahat (2010) in Israele, che producono complessivamente ca. 0,1 Mm<sup>3</sup>/d di acqua potabile, per i quali è stata realizzata una condotta di ca. 47 km per smaltirne i concentrati a mare (fig. 24.23; MEKOROT, 2010). Questo problema non si pone se la falda salmastra è vicina, o addirittura *interna*, al mare, come spesso accade per le sorgenti costiere regionali (cap. 4).

Il basso fabbisogno energetico dei BWRO, inoltre, rende più facile l'impiego di energie rinnovabili, come nei 350 mini-dissalatori *trailer-mounted* utilizzati in Iraq (CUNNINGHAM, 2011) e addirittura di energia manuale (GENESIS, 2011) (fig. 24.24).

Prospettive molto interessanti sull'impiego di energie rinnovabili anche in grandi impianti di dissalazione sono scaturite dal Progetto PRODES (*PROMotion of renewable energy for water production through DESalination*), concluso nel 2010 da 17 aziende leader in UE (PRODES, 2008).

#### 24.2.5. - Costi della dissalazione

Come indica la figura 24.25, il generale continuo progresso di processi e impianti di dissalazione in questi primi 40 anni ha reso ormai il costo dell'acqua dissalata minore di quello dell'acqua potabile ottenuta con metodi tradizionali in quasi tutti

i paesi (WANGNICK, 2008). In particolare, i due più grandi impianti di dissalazione oggi in esercizio al mondo (Askelon, Israele, da 350.000 m<sup>3</sup>/d e Tuas II, Singapore, da 320.000 m<sup>3</sup>/d, tabella 24.7), entrambi di tipo SWRO, nel 2001 hanno abbattuto la soglia di 0,5 \$/m<sup>3</sup> (incluso ammortamento) (PIQUE, 2002), seguiti in seguito da numerosi altri



Fig. 24.23 - "Long conduit project" che porta a mare il concentrato degli impianti BWRO di Granot, Gat e Lahat (Israele).  
- "Long conduit project" discharging to sea the BWRO concentrate of Granot, Gat and Lahat (Israel).

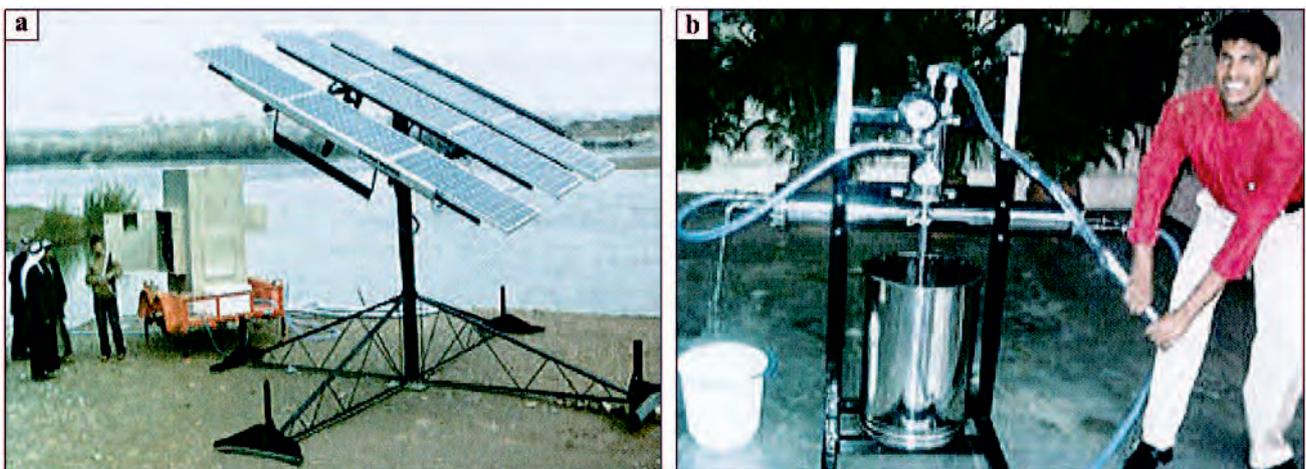


Fig. 24.24 - Dissalatore BWRO: a) ad energia solare (40 m<sup>3</sup>/g); b) a mano (400 l/h).  
- BWRO desalination systems powered: a) by solar energy (40 m<sup>3</sup>/d); b) by hand (400 l/h).

impianti SWRO in Israele (Sorek e Hadera), Algeria (Magraa) ecc. Nell'espansione in corso dell'impianto Tuas II il costo dell'acqua è stimato in 0,36 \$/m<sup>3</sup> (AN, 2011b), meno del prezzo medio corrisposto in Puglia ad AQP (escluso ammortamento).

Con impianti BWRO il costo dell'acqua dissalata è ancora minore: 0,17 \$/m<sup>3</sup> nei 3 grandi impianti (0,4 Mm<sup>3</sup>/d l'uno) realizzati per trattare acqua di falda a Pejonpongan e l'acqua dei fiumi Krukut e Pesanggraan a Jakarta (AN, 2011c).

Dal 2005, tuttavia, si registra un aumento del costo dell'acqua dissalata, a causa per lo più della maggiore attenzione rivolta dalla popolazione all'impatto ambientale di tali impianti, con la necessità di dotarli di sofisticati sistemi di alimentazione (*fish-friendly intake*) e di scarico salamoia (*low-impact brine disposal*) per non turbare l'habitat (AN, 2011d). Ciò vale, ad esempio, per il recente impianto BWRO da 23.500 m<sup>3</sup>/d di Camarillo (California), dove l'acqua dissalata è distribuita a 0,7 \$/m<sup>3</sup> (a fronte di 0,9 \$/m<sup>3</sup> dell'acqua di acquedotto) (AN, 2011e).

Per quanto riguarda gli impianti SWRO, ciò vale in particolare in Australia, dove è in corso un poderoso programma di investimenti per arrivare a coprire il 25% del fabbisogno potabile mediante impianti di dissalazione: come mostra la figura 24.26, a fronte di un costo prevalente dell'acqua dissalata di 0,5-1,0 €/m<sup>3</sup>, negli impianti più recenti l'acqua costa anche ≥2 €/m<sup>3</sup> (VOUTCHKOV, 2011).

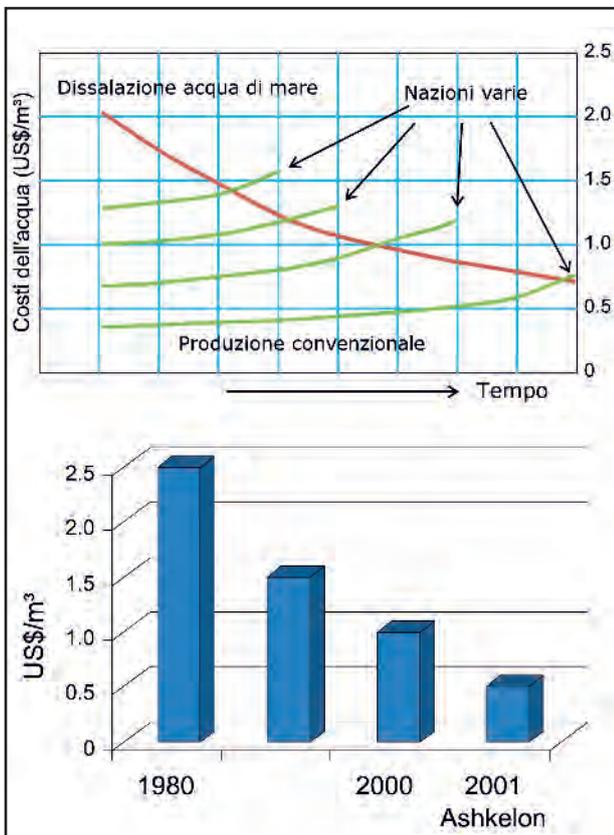


Fig. 24.25 - Andamento del costo dell'acqua potabile e di quella dissalata nel mondo.  
- Cost of drinking water and desalted water in the world.

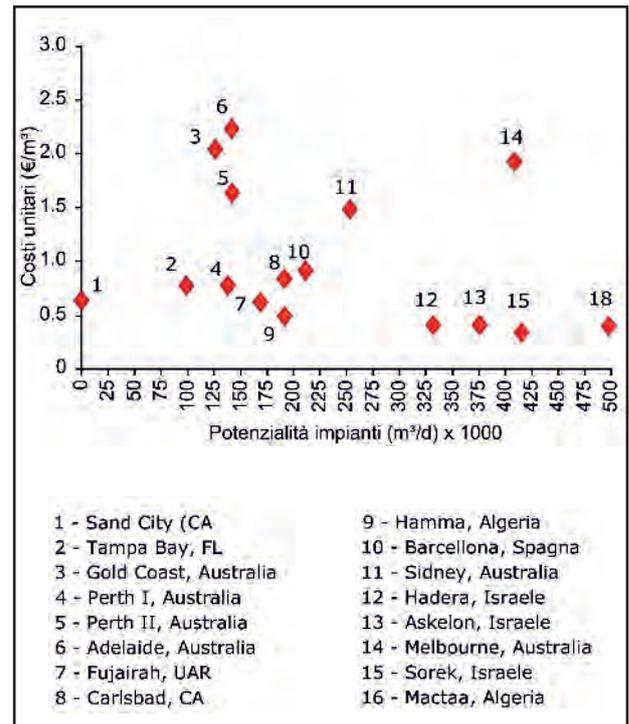


Fig. 24.26 - Costo dell'acqua in recenti dissalatori SWRO.  
- Water cost in recent SWRO desalination plants.

In realtà, pur con la più diffusa tecnologia SWRO il costo dell'acqua dissalata può variare notevolmente in funzione dei seguenti fattori, più importanti della stessa potenzialità d'impianto:

- 1) localizzazione dell'impianto (se è lontano dalla costa, presso aree marine protette ecc.);
- 2) considerazioni ambientali (impatto ambientale e *NIMBY Syndrome*);
- 3) tempistica di realizzazione (molto più costoso se in fasi successive);
- 4) mercato locale (costo manodopera, ricambi, energia ecc.);
- 5) ripartizione dei rischi tra proprietario, costruttore e gestore dell'impianto (contratti BOOT, *build-own-operate-transfer*).

Ulteriori significative affermazioni tuttavia sono previste grazie alle recenti scoperte annunciate nel campo delle RO (*nano-engineered* e *bio-mimetic membranes* AN, 2011d; <http://www.globalwatering.com>).

#### 24.2.6 - Conclusioni

Le più recenti analisi finanziarie del settore concordano nel ritenere che, una volta superata la crisi economica mondiale in corso, il mercato della dissalazione continuerà ad espandersi nel mondo inarrestabilmente, con stime di raddoppio della odierna produzione mondiale di acqua dissalata (da 68 a 130 Mm<sup>3</sup>/d) e investimenti complessivi nel settore pari a 80 MLD\$ nei prossimi 5 anni (GLOBAL DESALINATION REPORT, 2011; DESALINATION TECHNOLOGY MARKETS, 2011; SOUTH AFRICAN DESALINATION PLANT MARKETS 2011; GLOBAL DESALINATION MARKET REPORT, 2010; POWER & DESALINATION IN THE GCC, 2010).

È auspicabile pertanto che anche la Regione Puglia possa finalmente avviare una concreta politica di dissalazione a fini civili e produttivi. A tal fine, tra l'altro, occorrerà ben documentare e comunicare la posizione favorevole sull'impatto ambientale degli impianti di dissalazione, specie di quelli RO, assunta di recente dall'OMS, onde superare la diffidenza delle popolazioni interessate alla ubicazione di tali impianti.