

# CONSIDERAZIONI SUL RIUSO IRRIGUO DEGLI EFFLUENTI DEPURATI IN ITALIA

C. Nurizzo\*

## INDICE

1. PREMESSE	pag. 2
2. PREQUISITI PER IL RIUSO AGRICOLO	pag. 3
3. IL RISCHIO MICROBIOLOGICO	pag. 4
4. ALTRI PARAMETRI DI RISCHIO	pag. 8
5. CENNI AL PROBLEMA DEI LIMITI	pag. 10
6. CENNI ALLE TECNICHE DI AFFINAMENTO DEI REFLUI DEPURATI	pag. 11
7. CENNI AGLI ASPETTI ECONOMICI	pag. 14
BIBLIOGRAFIA	pag. 16

---

\* Prof. Ing. Costantino NURIZZO, straordinario di Impianti di Trattamento delle Acque di Approvvigionamento, 1<sup>a</sup> Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Milano, piazza L. da Vinci 32, 20133 MILANO, DIAR- Sezione Ambientale.

## 1. PREMESSE

Il riuso delle acque usate, previo adeguato trattamento ed attraverso un sistema di convogliamento e distribuzione che generalmente prescinde da diluizione con acque naturali rappresenta un'importante componente del ciclo delle acque ed è una prassi che sempre più si sta diffondendo. L'attuale interesse nasce da una serie di fattori di natura sociale, economica e tecnica legati alla situazione locale. Il più importante di essi è ovviamente costituito dall'insufficienza delle risorse idriche tradizionali a fronte del crescente peso demografico, dell'aumento dei fabbisogni connesso allo sviluppo economico (industriale, agricolo, civile e turistico) ed ai mutamenti verificatisi nei cicli idrologici. Esso riguarda in primo luogo regioni a clima arido o semiarido, ma comincia ad interessare anche aree con precipitazioni relativamente abbondanti, laddove il forte sviluppo dei centri urbani determina uno squilibrio almeno locale tra risorse e fabbisogni, con conseguente necessità di reperire nuove fonti di approvvigionamento a distanze sempre maggiori.

Nel passato, i livelli di depurazione richiesti allo scarico erano quasi sempre raggiunti con i tradizionali processi biologici, in genere limitati alla sola rimozione dell'inquinamento carbonaceo e solo negli ultimi venti anni si sono diffusamente estesi i trattamenti volti al controllo dei composti dell'Azoto ed eventualmente del Fosforo. Si è andata in tal modo riducendo la differenza tra i livelli di intervento (e conseguentemente tra gli oneri economici) comunque richiesti dalla legislazione sugli scarichi e quelli che consentono il diretto recupero della risorsa per le diverse utilizzazioni. Tale tendenza, decisamente in atto nei paesi ove il costo dell'acqua ha da tempo raggiunto livelli elevati, comincia a delinearsi anche in Italia ed è destinata a rafforzarsi nella previsione delle esigenze poste dalla recente normativa in tema di bilanci degli inquinanti nei corpi idrici ricettori.

La Fig. 1 rappresenta, in sequenza temporale, le modifiche qualitative conseguenti l'impiego delle acque. Risorse idriche di buona qualità sono di norma utilizzate per produrre acqua potabile, successivamente inquinata dagli usi urbani ed industriali. Gli impianti di depurazione sono oggi concepiti per recuperare il livello qualitativo richiesto allo scarico, tenuto conto delle esigenze dell'ambiente acquatico e degli usi multipli dei ricettori.

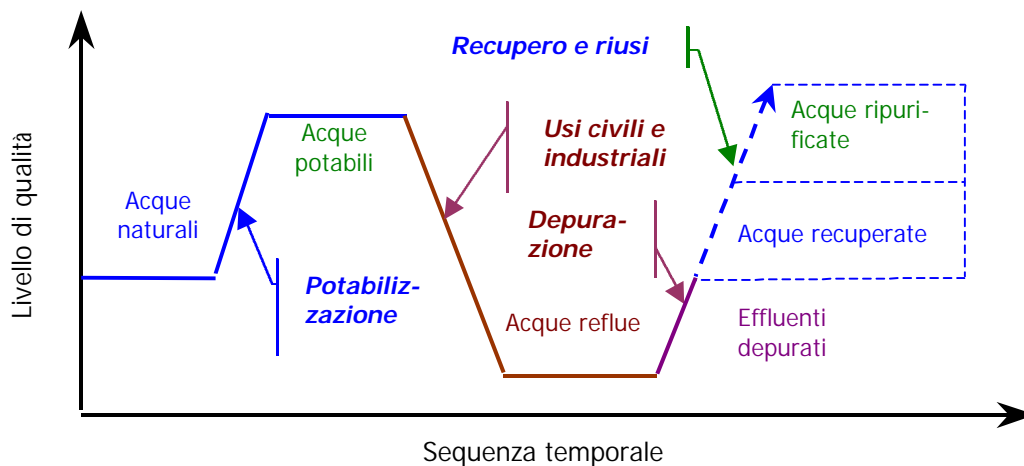


Fig. 1 - Modifiche delle caratteristiche delle acque connesse al loro uso ed ai trattamenti di potabilizzazione, di depurazione e di affinamento (Mujeriego & Asano, 2000).

A tal fine sono in genere sufficienti obiettivi di depurazione non particolarmente stringenti, conseguibili con i consueti processi biologici e terziari che restituiscono reflui di qualità peraltro inferiore a quella delle acque originariamente attinte. Il riuso richiede invece almeno alcune fasi aggiuntive di affinamento, diversificate in funzione delle utilizzazioni previste che possono anche comprendere il riuso potabile diretto. Le tecnologie oggi disponibili sono infatti in grado di produrre dai reflui - in assenza di vincoli di carattere economico - acqua di qualità comunque elevata, utilizzabile per qualsiasi uso. Le limitazioni al riguardo derivano, oltre che dai reali vincoli di natura economica, anche dai problemi di accettazione da parte degli organismi decisori, degli utilizzatori e - più in generale - dell'opinione pubblica.

Esistono numerosi settori (agricolo, industriale, urbano, potabile, ambientale, etc.) ove le acque reflue possono essere convenientemente riutilizzate; tra tutte queste opportunità, ci si occuperà qui di seguito degli aspetti legati al riuso in agricoltura. In Fig. 2 è riportata la distribuzione dei consumi idrici tra i diversi settori, in funzione del livello di reddito dei diversi paesi: come si può notare i consumi totali pro-capite sono tre volte più elevati nei paesi ad alto reddito, rispetto ai paesi più poveri; la quota di pertinenza agricola decresce all'aumentare del reddito, dati i maggiori consumi industriali mentre gli usi urbani presentano un contributo relativamente modesto.

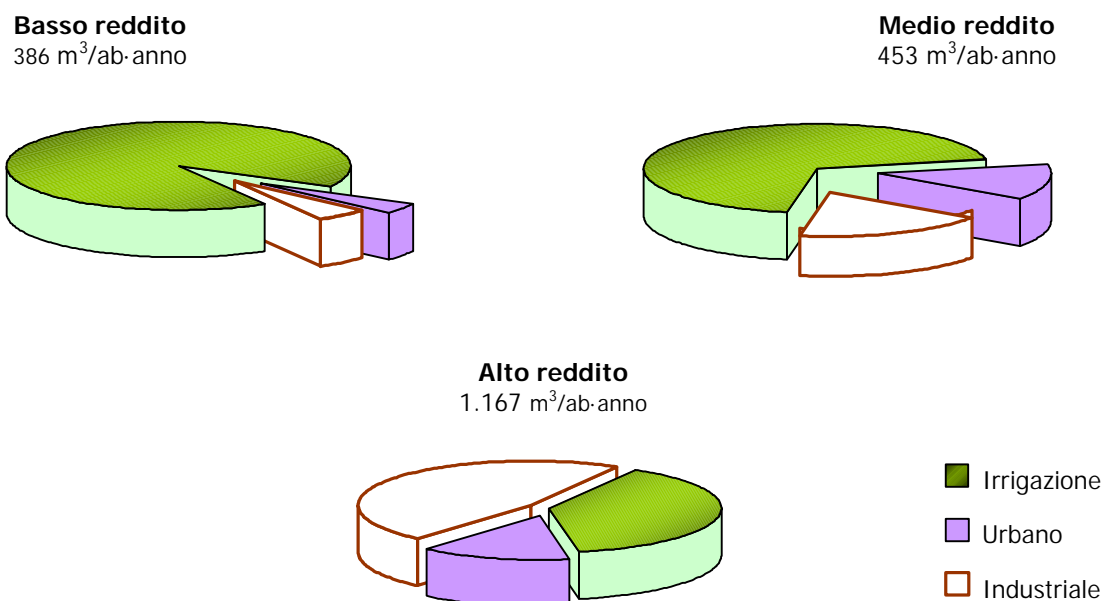


Fig. 2 - Consumi idrici pro capite e suddivisione i diversi settori, in funzione del reddito dei diversi paesi (Renaud et al., 1998).

## 2. PREREQUISITI AL RIUSO AGRICOLO

L'importanza di questo tipo di riutilizzazione sta acquistando sempre maggiore rilievo anche in Europa, soprattutto nel bacino del Mediterraneo<sup>1</sup>. In tale area infatti, la tradizionale carenza di risorse idriche naturali si manifesta con picchi stagionali che incidono negativamente non solo sull'agricoltura, ma anche sulle altre attività economiche (e particolarmente sul turismo) e sul benessere della popolazione.

Una delle conseguenze primarie di un diffuso ricorso a forme di riutilizzazione agricola (o paesaggistica) degli effluenti affinati è una maggiore disponibilità di risorse idriche naturali per gli usi civili ed industriali. Per costruire un ragionevole progetto di riuso è necessario porsi alcuni quesiti; tra questi assumono rilievo i seguenti quesiti:

- l'apparato legislativo locale è idoneo a promuovere le possibilità di riutilizzazione agricola/paesaggistica dei liquami affinati?
- l'approccio utilizzato è coerente con le politiche locali di sviluppo agricolo?
- in che modo l'agricoltura può essere integrata nel ciclo di recupero delle acque usate?
- in qual modo è possibile coinvolgere associazioni e utilizzatori per promuovere il progetto di riuso?
- quali sono i criteri ed i livelli di qualità previsti?
- qual è la situazione epidemiologica locale?
- le tecnologie proposte sono idonee al raggiungimento dello scopo?
- il progetto di riuso tiene nel dovuto conto gli aspetti economici?

<sup>1</sup> Anche in altre regioni europee, non propriamente mediterranee, si verificano talora carenze stagionali delle risorse idriche naturali, capaci di influenzare negativamente tutta l'economia.

I vantaggi ed i rischi potenziali connessi alla realizzazione di un progetto di riuso agricolo dei liquami sono riassunti nella seguente Tab. 1.

Tab. 1 - Vantaggi e rischi legati al riuso agricolo di reflui depurati (Nurizzo et al. 1989).

POSSIBILI VANTAGGI	POSSIBILI RISCHI
disponibilità continua di acqua	batteri, elminti, protozoi, virus
risparmio di risorse idriche naturali	salinità, SAR, Boro, metalli, composti organici, etc.
riduzione dell'inquinamento dei ricettori	inquinamento cronico del suolo
disponibilità di nutrienti e di micro-elementi	possibili fenomeni di eutrofia nei bacini di accumulo

### 3. IL RISCHIO MICROBIOLOGICO

Tra tutti i rischi citati, quello *microbiologico*<sup>2</sup> assume particolare rilievo e può essere affrontato con approcci diversi:

- + *Rischio accettabile, in funzione della situazione epidemiologica locale:* dipende dalla qualità media delle acque (in prevalenza superficiali) utilizzate ad uso irriguo e dalla conoscenza di documentati rischi igienici ad essa correlati.
- + *Rischio accettabile, in funzione del tipo di raccolti irrigati e delle tecniche di irrigazione:* dipende dagli usi prevalenti dell'acqua recuperata, dal modo in cui essa viene distribuita e dall'intervallo di tempo minimo tra irrigazione e raccolto. Ad esempio la resistenza dei virus in ambiente esterno varia tra ~ 2 settimane in estate e ~ 6 settimane in autunno e in primavera, ma già durante la prima settimana si hanno riduzioni di ~ 2 log (Yates, Gerba, 1998).
- + *Criterio di protezione totale:* l'acqua recuperata non deve produrre in nessun caso prevedibile problemi di tipo ambientale o igienico. Questa, ad esempio, è stata la via seguita per la cosiddetta "Emergenza Puglia" (Bonomo, Nurizzo, Rolle, 1999), che ha previsto standard di qualità per 52 diversi parametri, compresi metalli e composti organici.

In Fig. 3 sono raccolti alcuni dati piuttosto recenti a proposito dell'evoluzione della qualità microbiologica di 3 importanti corsi d'acqua del Nord-Italia, per i quali è stato possibile disporre di un'ampia messe di dati su un arco di tempo adeguato. Come si può vedere è in corso un progressivo miglioramento della situazione, anche se lo scostamento esistente tra la qualità microbiologica di fiumi come l'Adige o il Po e fiumi come il Ticino, resta molto considerevole.

In Fig. 4 sono invece riassunti i dati relativi all'evoluzione delle malattie tifoidi in Italia e, rispettivamente, nei diversi comparti geografici principali. Come si può rilevare dalla Fig. 4, la situazione complessiva è decisamente migliorata (su scala nazionale il numero di casi ogni 100.000 abitanti si è praticamente dimezzato), anche se permangono differenze significative e situazioni non consolidate.

Una conferma di tale situazione può essere desunta dai dati, relativi ai casi di epatite A rilevati durante lo stesso arco temporale in Europa, riassunti nella successiva Fig. 5. Come si può notare la situazione italiana, dopo un periodo di complessiva stabilità con dati comparabili o addirittura migliori di quelli di altri paesi europei, ha avuto un'improvvisa impennata dei casi; tale evoluzione è stata peraltro imputata al consumo di molluschi crudi.

<sup>2</sup> Anche altri parametri devono essere considerati per valutare la qualità globale di un'acqua recuperata; ad esempio: BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, SAR, cloruri, B, Na, nitrati, fosfati, etc. (cfr. in seguito).

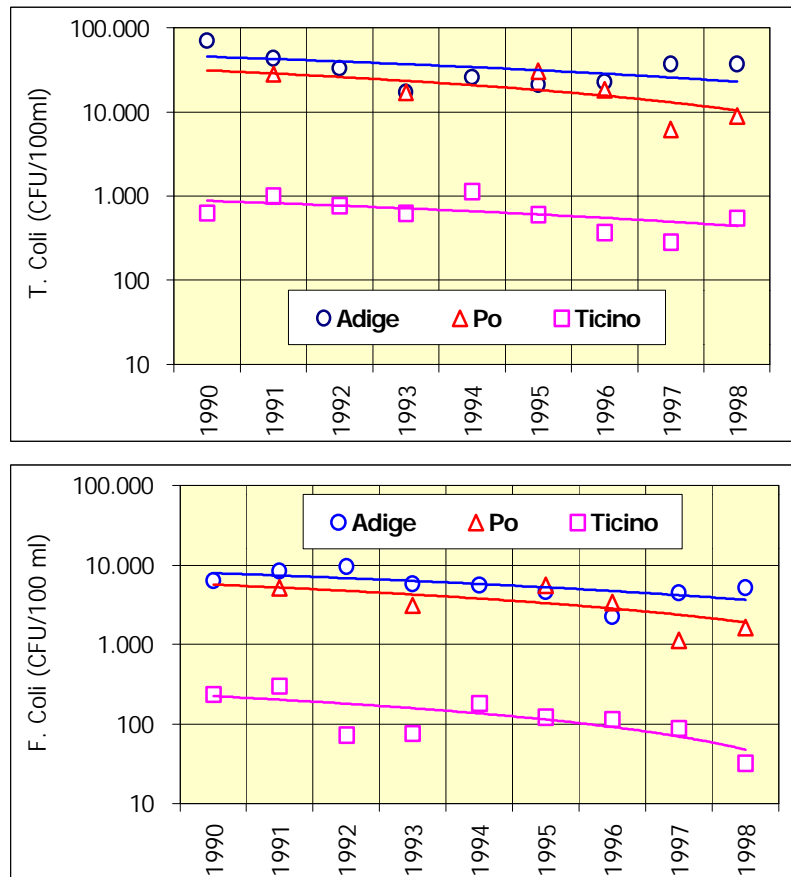


Fig. 3 - Valori medi delle conte per *T. Coli* ed *F. Coli* in alcuni fiumi italiani (prelievi alle seguenti distanze dallo sbocco: Po  $\approx$  90 km; Adige  $\approx$ 120 km; Ticino  $\approx$  60 km).

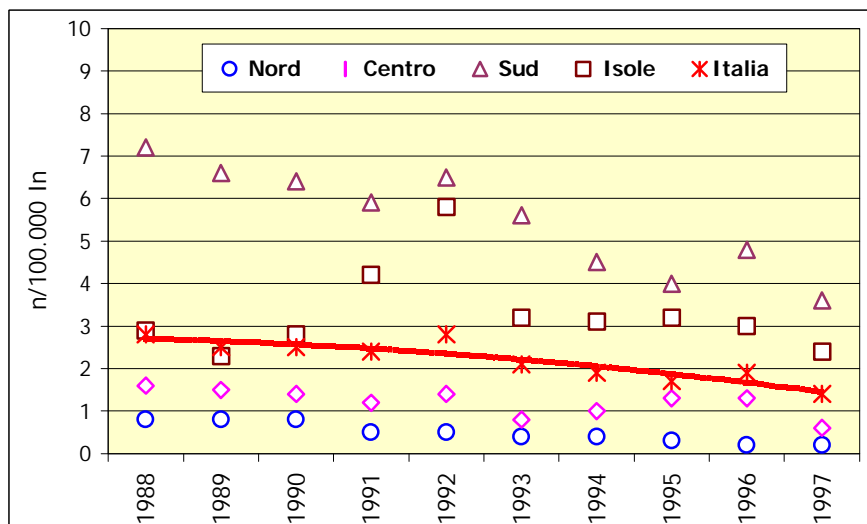


Fig. 4 - Andamenti dei casi di malattie tifoidi/100.000 ab (1988-1997) nelle diverse aree geografiche italiane (da Carbini et al., 1997).

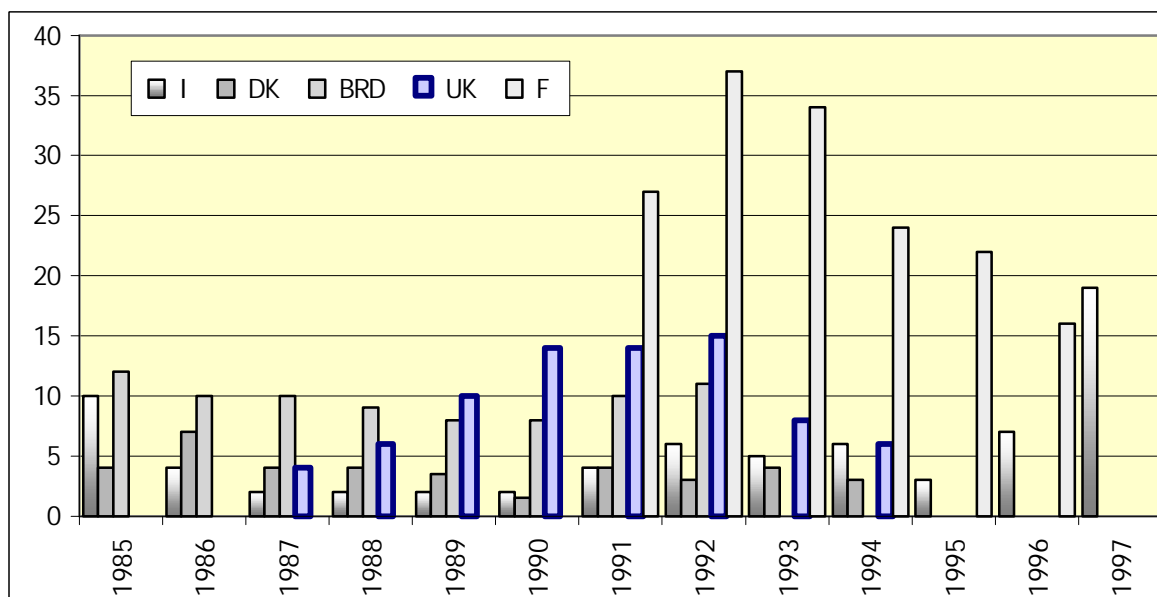


Fig. 5 - Andamento dei casi di epatite A (1985-1997) in alcuni paesi europei; i dati derivano da diverse statistiche epidemiologiche, riassunte in *Nurizzo et al., 2000a*.

Comunemente, ai fini della impostazione dei rischi nel caso di riuso agricolo, si fa riferimento a due diverse situazioni:

- riuso non limitato (*unrestricted irrigation*): quando l'irrigazione è effettuata su prodotti agricoli da consumare crudi o su aree aperte al pubblico (ad esempio, parchi pubblici);
- riuso limitato (*restricted irrigation*): quando l'irrigazione è effettuata su prodotti da non consumare crudi o su aree non aperte al pubblico (ad esempio, produzione di foraggio).

Probabilmente sarebbero opportune anche altre distinzioni legate al tipo di coltura e di contatto tra acqua e prodotto. Da questo punto di vista le tecniche di distribuzione assumono grande rilevanza: i problemi microbiologici sono infatti notevoli per l'irrigazione a spruzzo con contatto diretto (ad esempio, fragole, insalata, etc.), mentre altrettanto non accade quando si usano sistemi di erogazione *goccia a goccia*, soprattutto se a livello dell'apparato radicale delle colture<sup>3</sup>.

È peraltro evidente che, a meno di condizioni estremamente favorevoli<sup>4</sup>, sarà difficile pensare alla produzione di acque recuperate di qualità differenziata e pertanto, in assenza di una rete protetta e di una costosa struttura di controllo degli usi, diventa quasi obbligata la scelta del livello qualitativo più elevato, con evidenti ricadute sui costi.

Risulta quindi di primaria importanza stabilire limiti di qualità congrui, tali cioè da garantire la sicurezza igienica senza limitare le possibilità di sviluppo delle pratiche di riutilizzo.

Il problema dei limiti resta tuttora molto dibattuto, anche perché non è chiaro quali siano gli organismi da scegliere come bersaglio, vale a dire quelli *indice* di inquinamento e quelli *indicatori* di un'efficace livello di trattamento, anche perché il rischio di contrarre un'affezione di tipo virale (a parità di esposizione) è nei paesi sviluppati molte volte superiore a quello che si riscontra per gli enterobatteri patogeni. Anche i protozoi appaiono essere più rischiosi in termini di infettività<sup>5</sup>; i vari microrganismi sono peraltro presenti nelle acque di scarico in numero molto diverso da specie a specie (cfr. Tab. 2).

<sup>3</sup> Ciò consente inoltre un risparmio di risorse, riducendo le perdite per evaporazione e ruscellamento.

<sup>4</sup> Rete di irrigazione esclusivamente dedicata al riutilizzo non limitato o irrigazione di aree ben individuate di colture non problematiche (ad esempio, ampie aree esclusivamente coltivate ad agrumi), senza possibilità di prelievi non previsti e in situazione di continuo monitoraggio.

<sup>5</sup> Anche il *Cryptosporidium* è dotato di forte infettività potenziale: in una recente indagine (*Yates, Gerba, 1998*) è risultato il patogeno più aggressivo negli ultimi 20 anni in USA.

Tab. 2 - Presenza di microrganismi nei liquami non trattati: conte indicative di riferimento (Yates, Gerba, 1998).

PATOGENI	CONCENTRAZIONE	
	n/100 ml	n/l
<u>Batteri:</u>		
▪ <i>Salmonellae</i>	2,3 ÷ 800	
▪ <i>Shigellae</i>	1 ÷ 1.000	
▪ <i>Vibrio C.</i>	10 ÷ 10.000	
<u>Virus:</u>		
▪ <i>Poliovirus</i>		182 ÷ 492.000
▪ <i>Rotavirus</i>		400 ÷ 85.000
<u>Parassiti:</u>		
▪ <i>Giardia</i>		125 ÷ 100.000
▪ <i>Cryptosporidium</i>		0.3 ÷ 122
▪ <i>Entamoeba</i>		4
▪ <i>Ancylostoma</i>		6 ÷ 188

Per quanto concerne la resistenza di alcuni microrganismi di interesse o utilizzati come indicatori, in Fig. 6 sono riassunti i livelli di rimozione ottenibili con diversi tipi di intervento depurativo, passando dal normale trattamento biologico a successive fasi di post-trattamento.

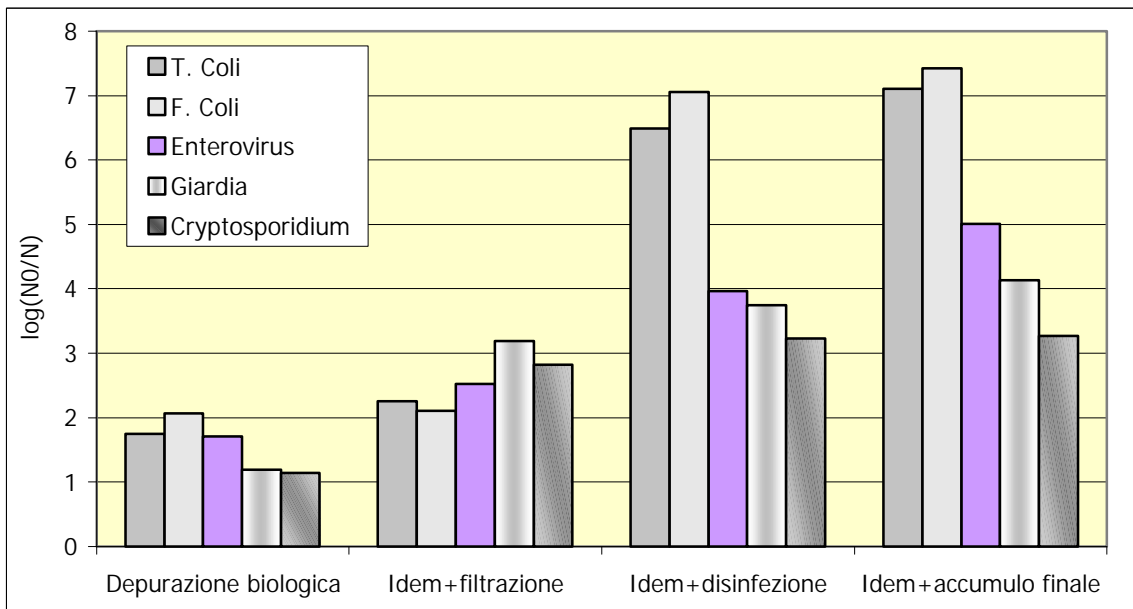


Fig. 6 - Efficienze di rimozione media riscontrate per alcuni microrganismi nel corso di processi depurativi variamente strutturati (De Leon, 1987).

#### 4. ALTRI PARAMETRI DI RISCHIO

Oltre agli aspetti microbiologici, su cui di solito si focalizza buona parte dell'attenzione, esistono numerosi altri aspetti della qualità delle acque recuperate che possono avere influenza non trascurabile sul successo di un progetto di recupero e reimpiego agricolo. Tra questi si elencano i seguenti:

- sviluppo di biomasse nella rete di distribuzione;
- incrostazioni e intasamenti del sistema di erogazione (sistemi goccia a goccia);
- accumulo di sali nell'intorno del punto di erogazione (sistemi goccia a goccia);
- rischi di inquinamento della falda (per infiltrazione e dilavamento degli strati superficiali) e delle acque superficiali per scorrimento (irrigazione a spruzzo e per scorrimento superficiale).
- riduzione nel tempo della permeabilità dei suoli, dovuto a TSS;
- riduzione del potenziale osmotico dovuto alla salinità dell'acqua con riduzione dell'assorbimento idrico da parte della vegetazione;
- fenomeni di fitotossicità - sia per l'apparato radicale, che per quello aereo (nel caso di irrigazione a spruzzo) - dovuti alla presenza di metalli, boro, cloro-residuo, etc.

Qui di seguito saranno brevemente richiamati alcuni aspetti relativi ai parametri di maggiore influenza per evitare di far fallire un progetto di riuso agricolo, qualora questi parametri risultassero limitanti.

**Solidi sospesi totali:** l'uso di effluenti almeno filtrati, con TSS costantemente < 20 mg/l, non sembra portare a significative variazioni nella permeabilità dei terreni. Problemi possono per contro sorgere nei sistemi di irrigazione goccia a goccia, per i quali sono stati rilevati problemi di intasamento rapido (dell'ordine dei mesi) imputabili prevalentemente alle particelle con dimensioni tra 60 e 300  $\mu$  (Adin, Sacks, 1988); va peraltro rilevato che i dati citati si riferiscono a effluenti filtrati e successivamente stoccati in bacino di accumulo, il cui contenuto medio di TSS era mediamente dell'ordine di 50 mg/l.

**Salinità**<sup>6</sup>: le colture vengono classificate a tale proposito in funzione del loro limite di resistenza, espressa come conducibilità elettrica specifica; le classi sono le seguenti:

- |                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| • colture sensibili                | $C_{ES} < 5$ mS/cm          |
| • colture moderatamente sensibili  | $C_{ES} = 5 \div 10$ mS/cm  |
| • colture moderatamente resistenti | $C_{ES} = 10 \div 15$ mS/cm |
| • colture resistenti               | $C_{ES} < 25$ mS/cm         |

**SAR:** questo parametro che mette in relazione il contenuto di Sodio<sup>7</sup> con quello di Calcio e Magnesio può incidere sullo scambio cationico e sull'interazione tra suolo e radici, provocando effetti simili a quelli indotti da un'eccessiva salinità, con significative cadute di produttività; esiste una scala di accettabilità del SAR in funzione della tolleranza delle colture:

- |   |               |
|---|---------------|
| • accettabile da tutte le colture               | SAR < 10      |
| • determina ridotte limitazioni                 | SAR = 10 ÷ 18 |
| • determina forti (o inaccettabili) limitazioni | SAR > 18      |

**Boro:** è probabilmente l'elemento la cui presenza determina le maggiori conseguenze negative per le colture (clorosi e danni all'apparato aereo), anche perché gli interventi depurativi tradizionali incidono solo marginalmente sulla sua concentrazione residua. Per molti raccolti è in grado di esercitare effetti tossici già a concentrazioni<sup>8</sup> dell'ordine di 0,75 mg/l; a questo proposito si segnala che un'indagine svolta su 10 impianti dell'area milanese (e quindi in situazioni di generale diluizione degli effluenti) ha portato a rilevare un valore medio annuo di 0,76 mg/l, con punte fino a 1,5 mg/l (Mezzanotte et al., 1995). Benché i suoi composti siano solubili, il Boro può accumularsi nel terreno peggiorando ulteriormente la situazione.

<sup>6</sup> Si consideri gli usi dell'acqua di approvvigionamento comportano incrementi di salinità variabili tra 150 e 380 mg/l (Mujeriego et al., 1998).

<sup>7</sup> L'incremento di Sodio dovuto agli usi civili delle acque di approvvigionamento è di norma compreso tra 40 e 70 mg/l (USEPA, 1992). Un altro problema connesso a valori di Sodio elevati (prescindendo dal SAR) è legato ai possibili danni dell'apparato fogliare (come del resto accade con elevate concentrazioni di cloruri): valori di Na < 100 mg/l sono raccomandati per l'irrigazione a spruzzo (Papadopoulos, 1991).

<sup>8</sup> La tossicità del Boro diventa praticamente generalizzata a partire da concentrazioni di 1,5 mg/l.



ne; un controllo effettuato su parcelle di terreno irrigato con liquami affinati contenenti fino a 2,5 mg B/l ha portato a rilevare incrementi fino al 400% del contenuto in Boro del terreno, rispetto ai valori delle parcelle di controllo irrigate con acqua (*Indelicato et al., 1988*).

**Cloro-residuo e cloruri**<sup>9</sup>: il cloro-residuo libero non porta normalmente a conseguenze per le colture se la sua concentrazione non eccede 1 mg/l, anche se alcuni raccolti appaiono sensibili già a concentrazioni < 0,1 mg/l, mentre è sempre dannoso se  $C_R > 5$  mg/l (*USEPA, 1992*). I cloruri provocano effetti simili (clorosi fogliare) a concentrazioni molto superiori: si ritiene opportuno non irrigare a spruzzo con concentrazioni di cloruri > 140 mg/l (*Mara, 1998*).

**Azoto e Fosforo**: la presenza di Azoto in forma nitrica costituisce una fonte di nutrienti significativa, anche se deve essere controllata la situazione idrogeologica dell'area irrigata per evitare accumuli di nitrati in falda. Minori sono gli apporti fertilizzanti per quanto riguarda il Fosforo<sup>10</sup>, soprattutto dopo l'applicazione della normativa che ormai da anni ne ha bandito la presenza nei detersivi.

In Tab. 3 sono riassunti i dati sugli apporti di N e P desunti dalla lunga esperienza israeliana nel settore del riutilizzo agricolo dei liquami affinati, confrontati con i fabbisogni medi.

Come si può rilevare gli apporti di N sono significativi, mentre quelli di P, pur non trascurabili sono insufficienti<sup>11</sup>; fa eccezione, per entrambi i nutrienti il caso delle coltivazioni ad agrumi, anche in conseguenza dell'elevato il tasso di irrigazione segnalato.

Tab. 3 - Apporti medi di N e P fornito dai liquami affinati (contenenti in media 45 mg N/l e 8 mg P/l) usati per l'irrigazione di diverse colture in Israele (*Avnimelech, 1993*).

RACCOLTO	IRRIGAZIONE (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ·anno <sup>-1</sup> )	AZOTO (kg N·ha <sup>-1</sup> ·anno <sup>-1</sup> )		FOSFORO (kg P·ha <sup>-1</sup> ·anno <sup>-1</sup> )	
		Apporto	Richiesta	Apporto	Richiesta
FRUMENTO	4,600	210	250-300	37	100
MAIS	2,000	90	250-300	16	100
COTONE	4,000	180	300	32	100
COTONE	8,000	360	300	64	100
AGRUMI	7,000	320	120-200	56	10-30

**Metalli**: molti metalli (Fe, Cu, Zn, Mn, etc.) sono micronutrienti essenziali per il metabolismo vegetale, mentre possono esercitare effetti tossici, se in elevata concentrazione.

In Tab. 4, i limiti previsti dall'USEPA<sup>12</sup> per irrigazione a lungo (LT) e breve (ST) termine<sup>13</sup> con effluenti affinati sono confrontati con gli attuali limiti (*D. Lgs. 152/1999*) per lo scarico in acque superficiali.

Per quanto riguarda i metalli pesanti, uno studio californiano (citato in *USEPA, 1992*) ha portato a rilevare che dopo 5 anni di irrigazione con liquami affinati non erano registrati accumuli nel suolo se non per Zinco e il Rame; le parcelle irrigate con acqua di pozzo hanno invece evidenziato aumenti del contenuto di Ferro e, ancora, di Rame.

È stato inoltre rilevato come l'apporto di metalli pesanti dovuto ai fertilizzanti chimici sia spesso decisamente superiore a quello derivante dall'impiego di liquami affinati.

<sup>9</sup> Il contenuto in cloruri nei liquami è solitamente superiore di 20-50 mg/l, rispetto a quello dell'acqua di approvvigionamento.

<sup>10</sup> Il Fosforo, come del resto il Potassio, è scarsamente lisciviabile e tende ad accumularsi nel terreno.

<sup>11</sup> Risulta quindi molto importante cercare di strutturare il sistema di affinamento in modo da non deprimere in modo sostanziale il contenuto residuo di Fosforo.

<sup>12</sup> I limiti USEPA sono considerati piuttosto conservativi poiché si applicano anche a suoli sabbiosi.

<sup>13</sup> Irrigazione fino a 20 anni consecutivi su suoli neutri o alcalini, a tessitura fine.

Tab. 4 - Limiti raccomandati per alcuni elementi, rispettivamente per irrigazione LT e ST (USEPA, 1992), confrontati con quelli previsti dal D. Lgs. 152/1999.

ELEMENTO	LT (mg/l)	ST (mg/l)	D.Lgs. 152/99	OSSERVAZIONI
Alluminio	5,0	20	≤ 1	Dannoso in suoli acidi, non dà tossicità se pH > 5,5
Arsenico	0,1	2,0	≤ 0,5	Il riso è molto sensibile (0,05 mg/L)
Boro	0,75	2,0	≤ 2	Micro-elemento essenziale, tossico per agrumi se > 1 mg/l
Cadmio	0,01	0,05	≤ 0,02	Si raccomandano limiti conservativi
Cromo	0,1	1,0	≤ 2	Si raccomandano limiti conservativi
Cobalto	0,05	5,0	-	In suoli neutri o alcalini è meno pericoloso
Ferro	5,0	20,0	≤ 2	Può innescare perdite di P e Mo
Manganese	0,2	10,0	≤ 2	Tossico anche a basse concentrazioni per molte colture
Molibdeno	0,01	0,05	-	Tossico per bestiame nutrito con foraggi da suoli ad alto Mo
Nickel	0,2	2,0	≤ 2	In suoli neutri o alcalini è meno pericoloso
Piombo	5,0	10,0	≤ 0,2	Può inibire la crescita cellulare
Rame	0,2	5,0	≤ 0,1	Tossico anche a basse concentrazioni per molte colture
Selenio	0,02	0,02	≤ 0,03	Come Rame e Molibdeno
Vanadio	0,1	1,0	-	Tossico anche a basse concentrazioni per molte colture
Zinco	2,0	10,0	≤ 0,5	Tossicità ridotta in suoli organici a tessitura fine

## 5. CENNI AL PROBLEMA DEI LIMITI

Questo aspetto è probabilmente quello più ampiamente dibattuto, già da molti anni, soprattutto per quanto concerne la sicurezza igienica<sup>14</sup> delle acque recuperate. I problemi riguardano sia la scelta degli organismi di riferimento, a cui si è già accennato, che l'affidabilità, associata alla ragionevolezza, dei limiti proposti. Un altro aspetto che sta assumendo sempre maggior peso fa invece riferimento alla reale rappresentatività dei metodi analitici usati per stabilire l'efficacia dei processi di rimozione dei microrganismi. Sono infatti ancora molti i quesiti da risolvere per raggiungere l'obiettivo richiesto: un metodo di determinazione che consenta di dare conto reale dell'entità dei microrganismi definitivamente inattivati, di quelli tuttora attivi e, soprattutto, di quelli quiescenti (responsabili dei processi di ricrescita), che attualmente non possono essere accertati con sicurezza.

La situazione normativa italiana per il riuso agricolo di acque reflue fa tuttora riferimento all'All. 5 della legge Merli (le risultanze dei lavori della Commissione appositamente costituita per l'aggiornamento di tali limiti non sono ancora state recepite a livello ministeriale) e la Commissione Europea non ha ancora stilato direttive specifiche<sup>15</sup>, anche se la pratica del riuso è fortemente raccomandata dalla Direttiva n. 171/91. In linea di principio la gran parte delle normative vigenti nei diversi Stati<sup>16</sup> fa riferimento a due capostipiti: il cosiddetto California Title 22 (1978, parzialmente aggiornato nel 1993) e le Linee Guida dell'OMS (1989). In termini molto generali e forse semplificativi la situazione può essere così riassunta:

<sup>14</sup> Gli altri parametri di interesse (Boro, salinità, SAR, etc.) sembrano invece essere abbastanza consolidati.

<sup>15</sup> È peraltro stata costituita recentemente una Commissione Scientifica mista EU-OMS per studiare gli aspetti di base che consentano di fissare appropriati limiti di qualità.

<sup>16</sup> Fanno ad esempio eccezione l'Australia, l'Arizona, la Florida e il Sud Africa, che hanno scelto approcci originali, pur ispirandosi alle due normative di riferimento.

- Gli Stati cosiddetti sviluppati tendono fissare limiti sempre più restrittivi circa la qualità delle acque di scarico, per migliorare quanto più possibile la situazione igienica e la protezione dell'ambiente; per conseguenza il passo per raggiungere standard di riuso anche molto spinti non è ampio.
- Gli Stati in via di sviluppo devono invece fronteggiare situazioni critiche sia dal punto di vista economico, che da quello igienico e pertanto, anche tenendo conto della situazione epidemiologica locale, tendono a massimizzare i vantaggi di una disponibilità accessoria di risorse idriche, anche accettando un certo livello di rischio igienico.
- Probabilmente la soluzione più ragionevole si situa in una posizione intermedia che, verificando la situazione della salute pubblica locale e l'impatto igienico (anche con analisi di rischio) ed economico delle scelte di qualità delle acque recuperate, porti a limiti sufficientemente severi, senza peraltro richiedere, per le classi di qualità più elevata, valori praticamente coincidenti con quelli in vigore per le acque potabili.

Il citato ed acceso dibattito in corso sui limiti verte fondamentalmente su tre aspetti, non solo pertinenti ai limiti microbiologici:

- Il primo aspetto si riferisce alla differenza spesso assai rilevante tra la qualità microbiologica richiesta per i liquami affinati da utilizzare per l'irrigazione di raccolti da consumare crudi e quella delle acque naturali normalmente impiegate (e per le quali non esiste praticamente alcun tipo di normativa<sup>17</sup> e di controllo).
- Il secondo aspetto riguarda le *classi di qualità*, frequentemente richiamate sia dalle normative, che da molti studiosi del settore: spesso infatti ci si riferisce, in accordo con la terminologia americana, all'irrigazione non limitata o indiscriminata (*unrestricted*) e a quella limitata (*restricted*), per la quale sono accettabili livelli di qualità meno severi. Il problema che sorge spontaneo, soprattutto in una situazione come quella italiana, è il seguente: ha senso introdurre due livelli di qualità quando la frammentazione della proprietà agricola rende pressoché impossibile prevedere l'uso dell'acqua e nessun plausibile controllo circa l'effettiva destinazione dell'acqua recuperata prelevabile da una rete irrigua è prevedibile?
- L'ultimo aspetto, non meno importante dei precedenti, si riferisce alla presenza nei liquami trattati, non tanto di elementi inorganici (ad esempio i metalli pesanti), quanto di composti organici (microinquinanti, cataboliti farmaceutici, tensioattivi, etc.) spesso presenti in ridotta concentrazione. Per questi inquinanti l'efficacia dei metodi tradizionali di affinamento è molto ridotta e il rischio di una loro eventuale concentrazione nelle parti eduli dei vegetali è poco noto. Pertanto la determinazione di accettabili livelli di rischio a lungo termine risulta molto problematica.

## 6. CENNI ALLE TECNICHE DI AFFINAMENTO DEI REFLUI DEPURATI

Le tecniche di affinamento utilizzabili per recuperare acqua rinnovata da reflui urbani depurati sono abbastanza ben consolidate e principalmente dirette alla rimozione dei TSS residui, mediante processi chimico-fisici, e - soprattutto - all'abbattimento della carica microbiologica.

In Tab. 5 sono riassunte sinteticamente le caratteristiche e gli obiettivi principali delle unità di processo più comunemente usate nell'ambito del riuso agricolo, in relazione alle situazioni contingenti; in Fig. 7 sono invece rappresentati alcuni degli schemi utilizzabili per l'affinamento di acque reflue depurate biologicamente. Possono essere anche proposti schemi che utilizzano anche altre unità di processo e tra quelle di non comune impiego nel settore del riuso irriguo si possono citare: l'adsorbimento su GAC/PAC, le tecniche BAC (*biological activated carbon*), lo scambio ionico su resine selettive ed i metodi a membrana (in particolare la microfiltrazione). Mentre i processi basati sull'adsorbimento e sullo scambio ionico appaiono marginali nel settore del riuso agricolo degli effluenti, è probabile che l'attuale forte sviluppo delle tecniche a membrana le porti in un prossimo futuro ad una più larga diffusione. In Fig. 8 sono invece riassunte le prestazioni (relativamente a rimozione di TSS e COD) di alcuni impianti operanti con diversi coagulanti.

Si riportano, per analogia, anche i risultati ottenuti mediante precipitazione con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; anche tale unità di processo, com'è noto, utilizza una sequenza di miscelazione rapida (fase di dispersione), miscelazione

<sup>17</sup> Un'eccezione è rappresentata, ad esempio, dalla Lombardia, che prevede per l'irrigazione indiscriminata un valore massimo di 5.000 T. Coli/100 ml nelle acque superficiali usate allo scopo. Peraltro non sono chiari quali siano i controlli previsti e le eventuali sanzioni applicate a chi dovesse usare acque eccedenti questo limite.

lenta (fase di reazione) e sedimentazione, ma i con volumi diversi rispetto alla schema tipico della chiariflocculazione (in particolare si riduce quello di sedimentazione).

Tale processo è stato utilizzato in diverse occasioni, anche per la contemporanea significativa inattivazione microbiologica a pH > 10,5 (inclusi i virus), ma comporta una maggiore produzione di fanghi e la perdita della quasi totalità dei fosfati originariamente presenti.

Tab. 5 - Riassunto delle caratteristiche e degli obiettivi principali delle unità di processo più comuni nel settore del riuso agricolo degli effluenti.

UNITÀ	OBIETTIVI	CARATTERISTICHE ED OSSERVAZIONI
Chiariflocculazione (CFS)	Rimozione TSS (soprattutto fini/colloidali), COD/BOD <sub>5</sub> , carica microbiologica etc.	Possibilità di precipitare una frazione anche consistente di metalli pesanti ( <i>Nurizzo et al., 1989</i> ). Dosi ridotte di coagulanti consentono di preservare gran parte del Fosforo ( <i>Nurizzo et al., 1995</i> ).
Filtrazione (FR)	Rimozione finale TSS (indispensabile anche per la disinfezione, soprattutto con UV e O <sub>3</sub> ), uova di elminti e protozoi.	Rimossi anche batteri e virus (fino a 1,8 log, con 7 mg Fe/l, di enterovirus). Simili ai filtri per potabilizzazione anche per i carichi idraulici (5-10 m/h); meglio operare ai limiti inferiori del campo ( <i>Rigby et al., 1985</i> ), per migliorare la rimozione dei TSS fini.
Filtrazione per contatto (FC)	Può sostituire la chiariflocculazione, soprattutto per effluenti di buona qualità.	Prestazioni analoghe a quelle della chiariflocculazione, anche se lievemente inferiori; richiede filtri ad alto strato o multistrato per garantire cicli sufficientemente lunghi.
Flottazione ad aria (DAF)	La chiariflocculazione DAF è talora usata per gli effluenti di stagni biologici.	Prestazioni analoghe con minori dimensioni d'impianto (t <sub>R</sub> ~ 15 minuti), ma con dosi di reagenti molto superiori, fino a 150 mg/l di coagulanti + alcuni mg/l di polielettrolita ( <i>Bosher et al., 1998</i> ).
Disinfezione (D)	Cloro, ipocloriti, ClO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PAA o raggi UV.	Ampiamente favorita da un pretrattamento per la rimozione dei TSS in quasi tutti i casi e, particolarmente, nel caso di UV e O <sub>3</sub> .
Sistemi naturali	Rimozione di tutti gli inquinanti residui (con particolare riferimento a carica microbiologica).	<i>Stagni biologici, fitodepurazione, infiltrazione/percolazione</i> ; spesso considerati in questo gruppo i bacini di stoccaggio finale. Richiedono spesso elevate superfici e possono dare problemi di TSS. La richiesta di impermeabilizzazione può elevare i costi d'impianto.

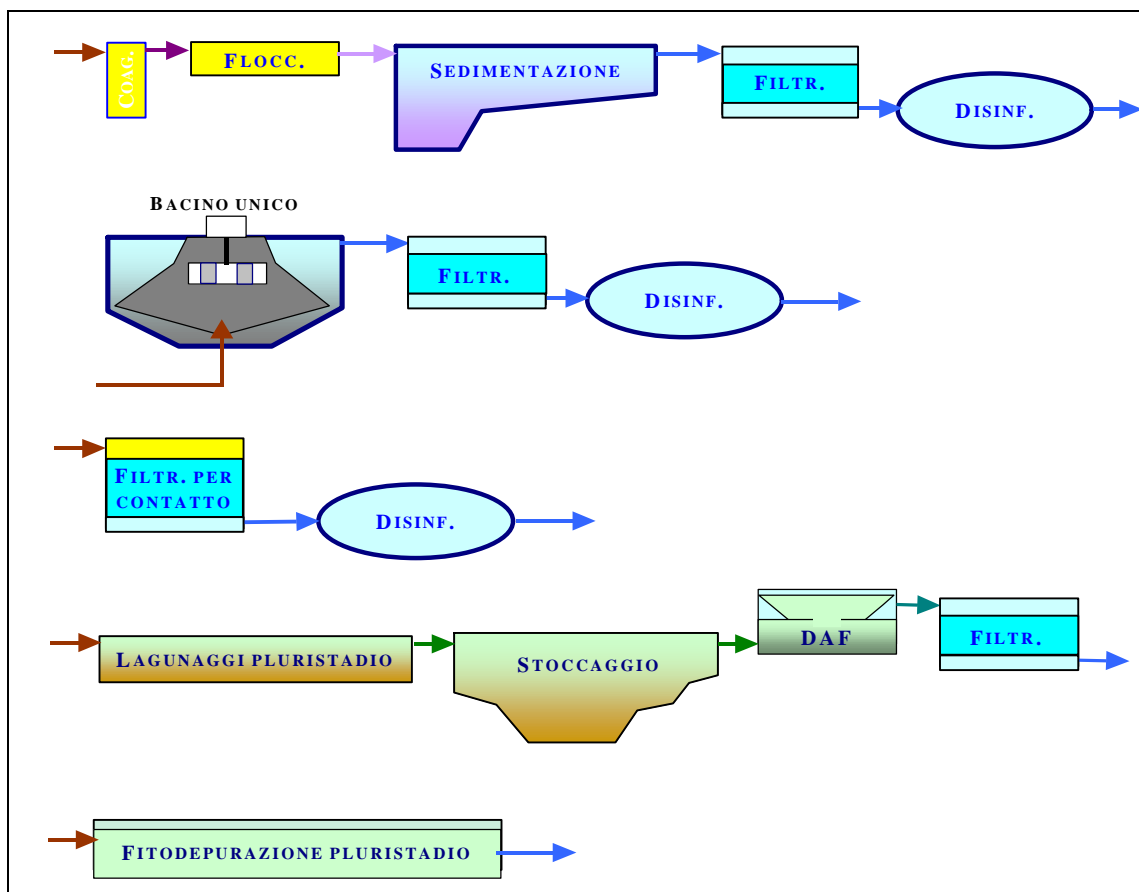


Fig. 7 - Alcuni schemi per l'affinamento di acque reflue depurate biologicamente.

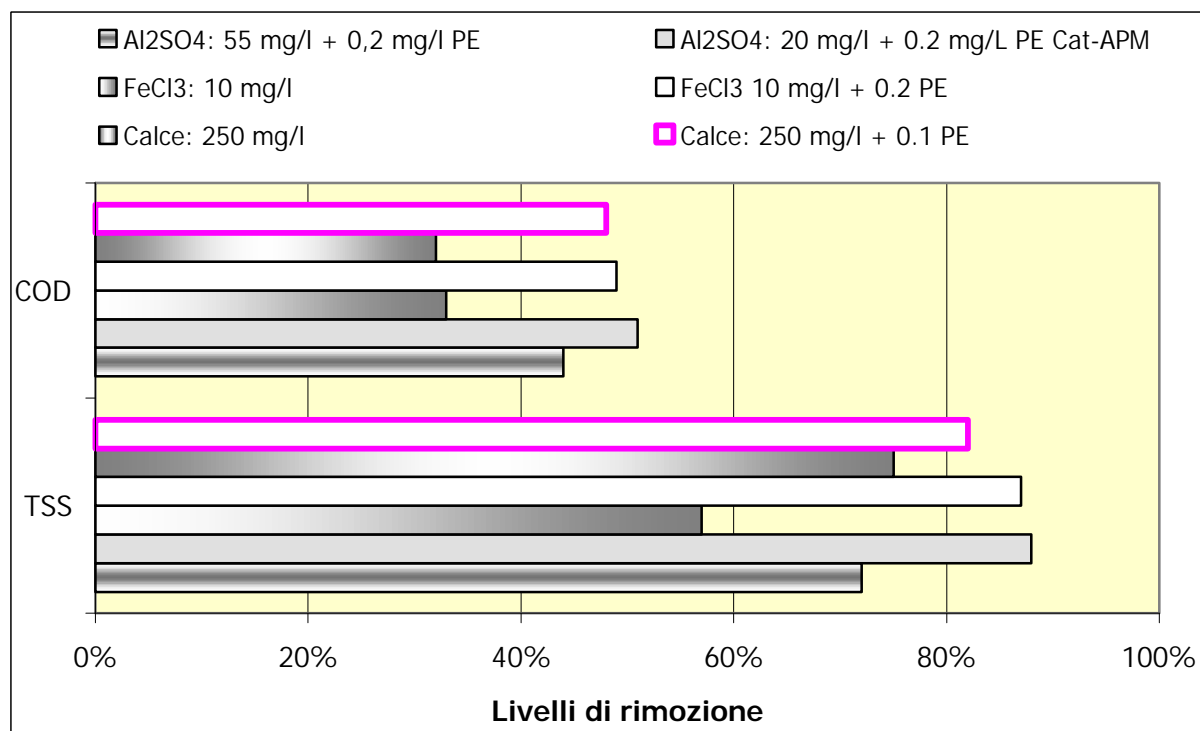


Fig. 8 - Rimozione di TSS e COD mediante chiariflocculazione con diversi agenti (Nurizzo et al., 2000b). N.B.: i dati relativi a FeCl<sub>3</sub> si riferiscono ad effluenti molto diluiti (COD < 45 mg/l e TSS < 15 mg/l).

Gli schemi di affinamento risentono abbastanza delle condizioni locali, ma nelle gran parte dei casi le scelte si riducono ad un gruppo piuttosto ridotto di schemi, qui di seguito elencati:

- **Filtrazione per contatto + disinfezione:** è lo schema al momento più diffuso, per quasi tutte le potenzialità di impianto, quando si vogliono privilegiare gli aspetti di semplicità (è infatti costituito da un sistema di miscelazione in linea dei coagulanti e da una filtrazione rapida ad alto strato), ingombro ridotto, costi ragionevoli ed elasticità di esercizio. Fornisce infatti risultati medi del tutto simili a quelli ottenibili con impianti più complessi; il confronto con la cosiddetta *filtrazione diretta* (coagulazione + flocculazione + filtrazione rapida) si risolve solitamente a favore della filtrazione per contatto. Operando con ridotte dosi di coagulanti, consente anche di non penalizzare il contenuto residuo di fosfati (cfr. Fig. 9). L'aspetto di maggiore peso riguarda la scelta della fase (o delle fasi) di disinfezione: sempre più frequentemente (anche per motivi economici) viene presa in considerazione l'opzione a raggi UV, eventualmente combinata con modesti dosaggi di ipoclorito o PAA.
- **Metodi naturali:** l'uso della fitodepurazione appare essere molto attraente, in particolare per le piccole potenzialità, anche se esistono in Europa esempi di applicazioni anche per impianti di media dimensione (ad esempio in Spagna, l'impianto di Empuriabrava). Altrettanto e forse maggiore interesse stanno destando nel medesimo ambito i cosiddetti sistemi ad infiltrazione-percolazione, che alla scala dimostrativa hanno dimostrato eccellenti capacità, con ingombri inferiori fino a 10 volte rispetto ai sistemi di fitodepurazione (operano infatti a carichi idraulici dell'ordine di 0,25-0,75 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·d). Sta invece scemando l'interesse, almeno in Italia, per gli stagni biologici i quali risultano essere penalizzati, oltre che dall'elevata superficie richiesta, anche economicamente (quasi sempre l'impermeabilizzazione del fondo e degli argini è una richiesta preliminare).
- **Bacini di stoccaggio:** benché non si tratti di un sistema di trattamento vero e proprio, l'uso di questi serbatoi sembra molto appropriato per aumentare la quantità di acqua recuperata riutilizzabile e per conseguenza ridurre l'incidenza della voce ammortamento sui costi di gestione. Essi consentono inoltre di garantire una notevole sicurezza di funzionamento anche in caso di malfunzionamento dell'impianto di affinamento e riducono i consumi di disinfettante e di coagulanti; per contro possono peggiorare il valore dei TSS in uscita e richiedere quindi una specifica fase di separazione a valle dell'accumulo finale.

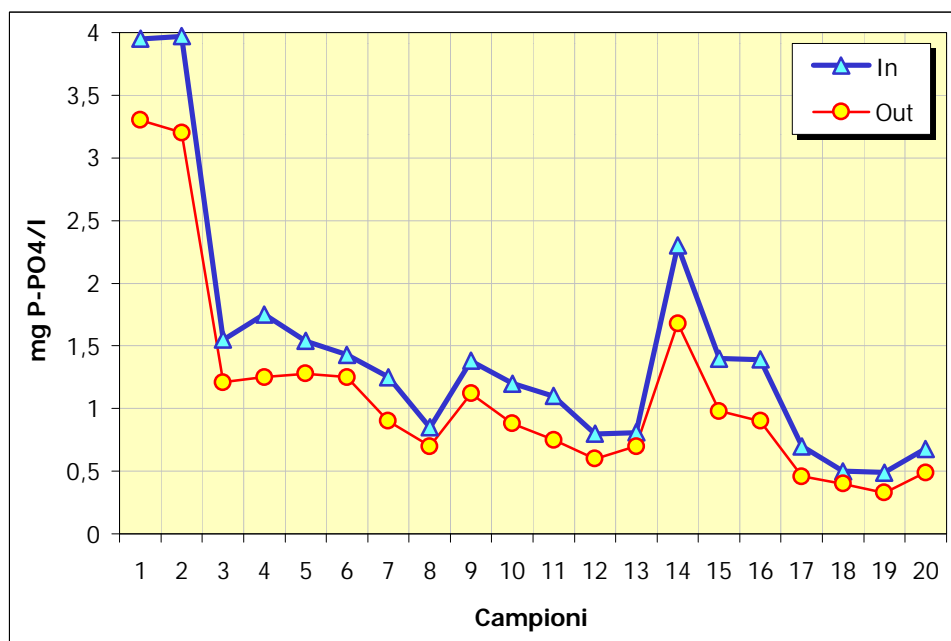


Fig. 9 - Andamento del fosforo in entrata ed in uscita da un trattamento di filtrazione per contatto con FeCl<sub>3</sub> in dosi inferiori a 3 mg Fe/l. (Nurizzo et al., 1995).

## 7. CENNI AGLI ASPETTI ECONOMICI

La previsione dei costi d'impianto e di esercizio di un qualsiasi impianto o di una sua fase di trattamento presenta sempre qualche difficoltà di interpretazione nell'effettuare paragoni e confronti. Pertanto le considerazioni qui di seguito riportate hanno solo lo scopo di dare alcune indicazioni orientative, ma la loro attendibilità dovrà essere verificata, impianto per impianto, tenendo conto delle differenze di funzionamento e delle condizioni al contorno.

In termini molto generali si può ritenere che il costo di gestione di un impianto di affinamento rivolto alla produzione di acque idonee alla riutilizzazione agricola sia prevalentemente da imputare alla fase di disinfezione<sup>18</sup> e pertanto la scelta dei disinfettanti (come del resto la qualità dell'effluente depurato da affinare) assume rilievo molto significativo. A questo proposito uno dei punti critici discende dal fatto che i dati disponibili sulla disinfezione dei liquami depurati ed affinati fanno riferimento ai Coliformi totali; una quantità di dati decisamente inferiore si riferisce ai Coliformi fecali, ma - almeno a conoscenza di chi scrive - non si dispone di una quantità di dati sufficiente per quanto concerne l'organismo di riferimento previsto dall'attuale normativa, cioè l'*E. Coli*. Anche il rapporto *T. Coli/F. Coli* è un parametro molto variabile, in funzione delle condizioni: confrontando i dati di letteratura si ottiene infatti un valore oscillante in un campo molto ampio, compreso tra 2,5 e 10.

Per conseguenza si è deciso di effettuare le considerazioni qui di seguito riportate continuando a fare riferimento ai Coliformi totali.

Un altro aspetto cruciale riguarda la qualità dell'effluente da considerare: per la disinfezione con PAA il parametro TSS ha importanza relativa (la clorazione risente, ma non in modo estremo), mentre esso assume forte peso per l'ozonizzazione ed è di fondamentale importanza nel caso si opti per una disinfezione UV. Pertanto, soprattutto quando gli obiettivi di disinfezione sono particolarmente elevati, sarà indispensabile fare riferimento ad effluenti filtrati o, meglio, sottoposti almeno a filtrazione per contatto (UV).

Per impostare qui un confronto economico è stato preso a riferimento (cfr. Fig. 10) il caso di un impianto di affinamento costituito da una fase di filtrazione per contatto con  $\text{FeCl}_3$  seguita da disinfezione (4 ipotesi alternative) che debba operare sull'effluente di un impianto di depurazione biologico (portata media di tempo secco di  $50.000 \text{ m}^3/\text{giorno}$ ; carica microbiologica (*T. Coli*)  $N_0 \sim 10^5 \text{ CFU}/100 \text{ ml}$ ).

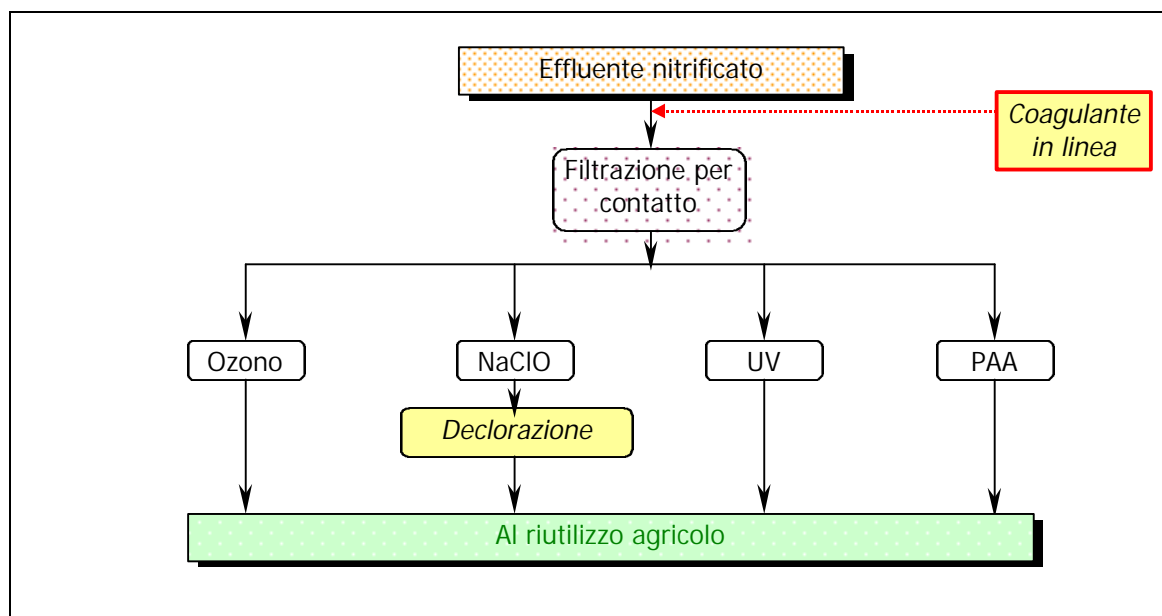


Fig. 10 - Schema preso in considerazione per la valutazione degli aspetti economici dell'affinamento.

<sup>18</sup> La fase di rimozione dei TSS e del COD residui ha normalmente costi di gestione dell'ordine delle 15-20 lire/m<sup>3</sup>, quando viene realizzata mediante filtrazione per contatto.

I parametri assunti per la simulazione sono:

⇒ costo energia:	200 lire/kWh;
⇒ costo annuo globale del personale:	60 milioni/addetto;
⇒ prezzo PAA (riferito all'agente attivo):	10 lire/g;
⇒ prezzo NaClO (riferito all'agente attivo):	1,1 lire/g;
⇒ ammortamento <sup>19</sup> :	4 %;
⇒ manutenzione O.C.:	0,5 % del valore;
⇒ manutenzione O.E.M.:	3 % del valore;
⇒ obiettivi di qualità (T. Coli):	2÷20÷100÷1.000÷10.000 CFU/100 ml.

L'impianto deve essere caratterizzato da notevole sicurezza di funzionamento, soprattutto per gli obiettivi di qualità più stringenti, e pertanto realizzato con una certa ridondanza di apparecchiature (riserve, etc.).

I dati di confronto riportati di seguito discendono da un'indagine condotta sul mercato italiano all'inizio del 1999 e sono stati elaborati tenendo conto che, sulla base di risultati sperimentali (*Liberti & Notarnicola, 1998*), non è stato previsto - a causa delle elevate dosi necessarie - l'uso del PAA per il raggiungimento del limite più stringente, tuttora vigente (2 T. Coli/100 ml).

Dal punto di vista dei costi di esercizio, come si può rilevare dalla Fig. 11, la clorazione con ipocloriti appare tuttora il metodo più economico, ma la disinfezione UV sembra avere ormai costi paragonabili<sup>20</sup>, soprattutto quando nel primo caso risulti necessaria (come avviene di frequente) la dechlorazione. Sicuramente più costosi appaiono gli interventi di disinfezione basati sull'impiego dell'ozono o dell'acido peracetico; per quanto riguarda l'ozonizzazione, dai dati riportati da (*Fahey, 1990; Carnimeo et al., 1994*) esce confermata la sua difficile applicabilità anche economica (gli impianti di ozonizzazione, come peraltro quelli per la produzione del biossido di cloro, qui non considerato, hanno maggiori necessità di personale specializzato e richiedono un esercizio particolarmente attento); ciò è vero soprattutto nel caso di impianti che utilizzano aria atmosferica per produrre ozono. Informazioni recenti portano peraltro a segnalare come l'ingresso sul mercato di impianti di ozonizzazione dell'ultima generazione, possa probabilmente consentire una riduzione dei costi di gestione.

---

<sup>19</sup> Calcolato su 10 anni per le attrezzature elettromeccaniche e su 25 anni per le opere civili.

<sup>20</sup> Si ricordino le precedenti considerazioni circa le necessità in merito alla qualità delle acque.



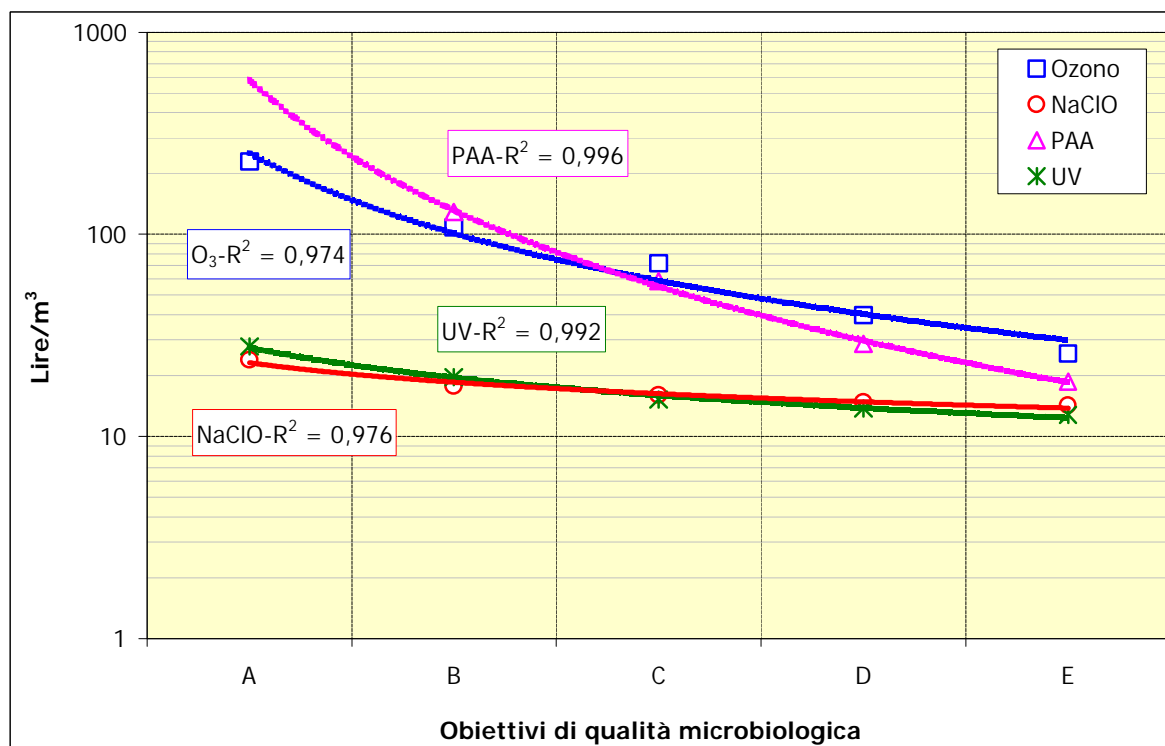


Fig. 11 - Andamento dei costi di gestione prevedibili per la disinfezione di reflui biologici, in funzione dell'obiettivo di qualità microbiologica richiesto (rielaborato da Nurizzo *et al.*, 2000).

Legenda: A) 2 T. Coli/100 ml; B) 20 T. Coli/100 ml; C) 100 T. Coli/100 ml; D) 1.000 T. Coli/100 ml; E) 10.000 T. Coli/100 ml.

Dalla Fig. 11 è facile notare quanto siano significativi gli scostamenti, almeno per i livelli di qualità più elevati, tra i costi di gestione dell'ozono (e del PAA) e quelli dei raggi UV e degli ipocloriti; tale situazione risulta essere particolarmente accentuata nel caso dell'ozono poiché sono compresi nel calcolo anche i costi di ammortamento dell'impianto, che sono - com'è noto - tutt'altro che trascurabili. La situazione viene peraltro ad equilibrarsi parzialmente quando gli obiettivi di qualità sono meno stringenti: in ogni caso il vantaggio economico dato dall'uso degli ipocloriti e dai raggi UV continua a restare marcato.

## BIBLIOGRAFIA

Acher A. J. (1993). *Design and operation of photochemical disinfection plants*. Proc. of the Int. Conf. "Small Wastewater Treatment Plants", Trondheim.

Adin A., Sacks M. (1988). *Water quality and emitter clogging relationship in wastewater irrigation*. Proc. of the 4<sup>th</sup> Water Reuse Symposium, 2-7 August, Denver, Colorado, AWWA Research Foundation, pp. 517-530.

Asano T. (1998). *Wastewater reclamation and reuse*. Technomic Publishing Co.

Asano T. (2000). *Recycling of treated wastewater for indirect potable and urban use. Treatment options and challenges*. Euro CASE Workshop. Paris, Juillet 2000.

Asano T., Levine A.D. (1996). *Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future*. Wat. Sci. & Tech., 33, 10-11, pp. 1-14.

Avnimelech Y. (1993). *Irrigation with sewage effluents: the Israeli experience*. Env. Sci. & Tech., 27, 7, pp. 1278-1281.

- Bonomo L., Nurizzo C., Rolle E. (1999). *Advanced wastewater treatment and reuse: related problems and perspectives in Italy*. *Wat. Sci. & Tech.*, 40, 4-5, pp. 21-28.
- Bosher C., Simms T., Zeghal S. (1998). *DAF/F treatment of stabilisation lagoon effluent for irrigation reuse*. Proc. of the 2<sup>nd</sup> Int. Conf. "Advanced treatments, recycling and reuse", Milano 14-16 Settembre.
- Carbini R., D'Amato S., Del Prete A., Rizzuto E., Vellucci L., Virtuani L. (1997). *Bollettino epidemiologico*, n. 15, Ministero della Sanità, Settore Statistico Epidemiologico, Roma.
- Carnimeo D. et al. (1994). *Wastewater disinfection by UV at Trani municipal plant*. *Wat. Sci. & Tech.*, 30, 4, pp.125-132.
- De Leon R. (1987). *Enterovirus, Cryptosporidium and Giardia monitoring on wastewater reuse effluent in Arizona*. Proc. of the 4<sup>th</sup> Water Reuse Symposium, 2-7 August, Denver, Colorado, AWWA Research Foundation.
- Fahey R. J. (1990). *The UV effect on wastewater*. *Wat. Eng. & Manag.*, 6, pp.15-22.
- Harhoff J., van der Merwe B. (1996). *Twenty years of wastewater reclamation in Windhoek, Namibia*. *Wat. Sci. & Tech.*, 33, 10-11, pp. 25-33.
- Indelicato S., Tamburino V., Barbagallo S. (1988). *Agronomical and health aspects of municipal wastewater irrigation*. Proc of the 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Environment Protection, S. Angelo d'Ischia, (NA), 5-7 October 1988, pp. 4.B/25-32.
- Kobler D., Boller M.(1997). *Particle removal in different filtration systems for tertiary wastewater treatment: a comparison*. *Wat. Sci. & Tech.*, 36, 4, pp. 259-267.
- Liberti L., Notarnicola M. (1998). *Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture*. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. "Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse". Milano, 14-16 September 1998.
- Mara D. (1998). *Waste stabilization ponds and wastewater storage and treatment reservoirs: the low-cost production of microbiologically safe effluents for agricultural and aquacultural reuse*. In T. Asano (ed.) "Wastewater reclamation and reuse". Technomic Publishing Co., pp. 141-158.
- Mezzanotte V., Arcadipane M., Faniuolo L., Siviero R. (1995). *Analisi di Fosforo e Boro in alcuni impianti di depurazione urbani*. *Inquinamento*, 37, 7, pp. 40-45.
- Mujeriego R., Asano T. (2000). *The role of advanced treatments in wastewater reclamation and reuse*. *Wat. Sci. & Tech.*, 40, 4-5, pp. 1-9.
- Mujeriego R., Salavedra M., Sala J. (1998). *Estudi de la desinfecció d'un efluent secundari mitjançant una planta pilot de llum ultraviolada*. Report for the Consorci de la Costa Brava.
- Nieuwstad Th. J., Mulder E. P., Havelaar A. H., van Olphen M. (1988). *Elimination of micro-organisms from wastewater by tertiary precipitation and simultaneous precipitation followed by filtration*. *Wat. Res.*, 22, 11, pp. 1389-1397.
- Nurizzo C., Vismara R., Butelli P., Mezzanotte V. (1989). *Trattamenti per il reimpiego irriguo di liquami depurati*. Quaderni di Ingegneria Ambientale, n. 10, p. 106, ed. CIPA, Milano.
- Nurizzo C., Butelli P., Mezzanotte V. (1995). *Low-dose polishing of treated wastewaters: pilot plant results*. Proc. 2<sup>nd</sup> IAWQ Int. Symposium on Water Reuse, Iraklio (GR).
- Nurizzo C., Bonomo L., Malpei F. (2000)a. *Some economic considerations on wastewater reclamation for irrigation, with reference to the Italian situation*. Proc. 1<sup>st</sup> IWA World Water Congress, 8, pp. 425-432, Paris (F), 3-7 luglio 2000.
- Nurizzo C., Canziani R., Malpei F. (2000)b. *Technological aspects of wastewater reclamation and reuse for irrigation*. EU Report, Grant n. 14976-1999-04-F1ED ISP IT (in press).
- Papadopoulos I. (1991). *Chemical quality appraisal of treated effluent for irrigation*. Proc. VII Congres Mondial des Ressources en Eau, Rabat, 12-18 Mai.
- Renaud P., Lazarova V. Levine B., Manem J. (1998). *Water Reuse*. *Water Supply*, 16, 1-2, pp. 285-312.

Rigby M. G., Ridgway H. F., Argo D. G. (1985). *Evaluation of pulsed bed and dual media filters for treatment of secondary effluent*. Proc. of the 3<sup>rd</sup> Water Reuse Symposium, 26-31 August, San Diego, California, AWWA Research Foundation, pp. 1204-1225.

USEPA (1992). *Guidelines for water reuse*. Agency for International Development, NSFC, Morgantown, West Virginia (USA).

Yates M. V., Gerba C. P. (1998). *Microbial considerations in wastewater reclamation and reuse*. In: T. Asano (ed.) *"Wastewater reclamation and reuse"*, Technomic Publishing Co., pp. 437-488.

Vari (1999). *Un futuro per l'acqua in Italia*. Quaderno IRSA-CNR, n. 109, Roma.