

LA DECENTRALIZZAZIONE NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI SCARICO*

G. Libralato, F. Avezzù **

Sommario – È presentata una panoramica complessiva del ruolo della decentralizzazione nei processi di trattamento delle acque di scarico. L'analisi della letteratura scientifica a livello internazionale ha messo in luce l'importanza e l'attualità della tematica in questione evidenziando possibili ricadute economiche, sociali, tecnologiche ed ambientali non trascurabili. Infatti, la scelta tra centralizzazione e decentralizzazione e tutte le relative possibili declinazioni intermedie non è apparsa affatto scontata, soprattutto nelle aree soggette a nuova urbanizzazione o a profonda ristrutturazione. In generale, è stato evidenziato che di volta in volta è necessario ponderare il tipo di approccio più adatto alla situazione contingente in funzione anche delle potenzialità legate al riutilizzo delle acque reflue depurate per scopi specifici così come al recupero di eventuali materie prime seconde.

THE ROLE OF DECENTRALISATION IN WASTEWATER TREATMENT

Summary – This paper presents an overview about the role of decentralisation in wastewater treatment. The international scientific literature review evidenced the today importance of this matter, highlighting potential economic, social, technological and environmental implications. Actually, the choice between decentralisation and centralisation and their relative gradient of scale applicability showed to be not so easy to be done, especially in the case of newly developing areas as well as those subjected to high redevelopment phenomena. In general, it has been evidenced the opportunity of a case-by-case approach selection, particularly, bearing in mind the potentiality related to treated wastewater reuse and material recovery.

Parole chiave: trattamento alla fonte, piccoli impianti di depurazione, decentralizzazione, centralizzazione.

Keywords: on-site treatment, small wastewater treatment plant, decentralisation, centralisation.

1. INTRODUZIONE

Il tradizionale concetto di gestione delle acque di scarico su base centralizzata è stato applicato con successo per decenni nelle aree più densamente abitate dei paesi industrializzati. C'è da chiedersi, però, se questo tipo di ap-

proccio continui ad essere il più adeguato nel risolvere i problemi della gestione dei reflui, non solo in relazione ai paesi in via di sviluppo, ma anche in quelli industrializzati o interessati da un'incalzante espansione.

Infatti, i sistemi di gestione delle acque di scarico su base decentralizzata, in alternativa alla centralizzazione, sono già stati presi in considerazione da numerosi ricercatori in tutto il mondo e molteplici sono le dispute in corso riguardo alle potenziali applicazioni tecnologiche (Wilderer e Schreff, 2000). A questo proposito, è stato evidenziato che sono numerose le organizzazioni governative e non governative che hanno iniziato ad occuparsi dei processi di decentralizzazione e dei piccoli impianti in genere, e tra queste è possibile annoverare la Banca Mondiale (World Bank), l'Eigenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), la Swedish Environmental Protection Agency (SEPA), il Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ), l'Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), il Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ), le Nazioni Unite (UN) e l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente degli Stati Uniti (USEPA). Inoltre, nell'ambito dell'*International Water Association* (IWA) è stato costituito il gruppo *ad hoc* denominato *Small Water and Wastewater Systems* che si è fatto carico di investigare i sistemi delocalizzati e il loro ruolo nel riciclo e riutilizzo delle acque e dei nutrienti nell'ottica del raggiungimento di un livello di sostenibilità ambientale superiore. Infatti, appare sempre più realistica la possibilità di raggiungere alcuni dei *Millennium Development Goals* individuati dalle Nazioni Unite proprio grazie ai processi di decentralizzazione. Tra questi, è previsto il dimezzamento entro il 2015 della popolazione senza un accesso sicuro all'acqua potabile e ai processi di sanitizzazione di base, limitando al contempo la perdita delle risorse ambientali e migliorando la gestione del ciclo dell'acqua (UN, 2010).

* Dalla 40° Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale Piccoli impianti di depurazione: aspetti gestionali, tenutasi il 28 Maggio 2010 a Verona.

** Prof. Giovanni Libralato, Prof. Francesco Avezzù; Dipartimento di Scienze Ambientali, Università Cà Foscari Venezia – Calle Larga Santa Marta, 2137 – 30123, Venezia – Tel./Fax 0412348596, e-mail: giovanni.libralato@unive.it; avezzuf@unive.it.

Già qualche anno fa, Jefferson *et al.* (2000) sottolineavano il fatto che i piccoli impianti di depurazione avevano iniziato a giocare un ruolo importante a livello globale nella gestione della qualità delle acque di fiumi, laghi, estuari ed acquiferi, essendo in forte crescita ed espansione rispetto ai sistemi centralizzati (IPPC, 2008). Anche se questi impianti non sono attualmente molto numerosi, in alcuni paesi i piccoli impianti decentralizzati sono già in grado di trattare volumi maggiori di acque di scarico rispetto ai sistemi centralizzati, attraverso processi che sono ritenuti, in generale, di minore impatto rispetto a quelli tradizionali di trattamento (Deininger e Wilderer, 2000).

In sostanza, la decentralizzazione sta emergendo come nuovo approccio per il trattamento delle acque reflue in sostituzione e/o integrazione della tradizionale centralizzazione, tanto da essere stata oggetto di una recente indagine durata 10 anni sui rifiuti organici umani e rivolta, principalmente, alla sensibilizzazione del grande pubblico proprio sull'importanza che le varie forme di trattamento decentralizzato possono avere (George, 2008). In Italia, ad esempio, più di 9000 impianti municipali per il trattamento delle acque di scarico hanno una capacità di trattamento inferiore ai 2000 AE, e, in alcune aree, l'approccio decentralizzato risulta essere l'alternativa maggiormente diffusa. Questo è il caso della città di Venezia dove le acque di scarico sono trattate da più di 140 piccoli impianti biologici e un considerevole numero di fosse settiche (Tromellini *et al.*, 2008; MAV, 2007; IWA, 2011).

Il dibattito a livello nazionale ed internazionale sul rapporto tra centralizzazione e decentralizzazione (Libralato *et al.*, 2008) ha messo in luce i relativi vantaggi e svantaggi, soprattutto sotto il profilo ambientale, sociale e tecnologico. In particolare, è stato evidenziato che gli aspetti economici sono scarsamente definibili in termini generali, se non nell'accertamento del fatto che i maggiori investimenti nella centralizzazione sono assorbiti dalla rete di collettamento (Bakir, 2001) e, per converso, nella decentralizzazione dalla tecnologia di trattamento dei reflui. È stato, però, stabilito come il traguardo della sostenibilità ambientale nei processi di depurazione delle acque richieda di perseguire la riduzione di tutti i possibili fenomeni di diluizione dei reflui, la

massimizzazione del riutilizzo delle acque e dei sottoprodotti ottenuti, l'applicazione di tecnologie efficienti, affidabili, con lunghi tempi di vita, a basso costo sia di costruzione sia di gestione e manutenzione, e tutto questo a diverse scale, nonché la tendenza verso l'auto-sufficienza e l'accettazione da parte dell'opinione pubblica (Chung *et al.*, 2008; Libralato *et al.*, 2008; Massoud *et al.*, 2009; Afferden *et al.*, 2010). In particolare, risulta essere palese l'impossibilità di indicare una sola strada da percorrere per raggiungere questi obiettivi, rendendosi necessaria, quasi sempre, una valutazione caso per caso.

Visto che la letteratura scientifica ha già ampiamente dato conto del ruolo della centralizzazione e del servizio sociale sinora reso, si è scelto in questa sede di tentare di approfondire gli ambiti di convenienza e i vincoli legati alla decentralizzazione, soprattutto nell'ottica delle necessità emergenti principalmente rivolte alla gestione delle risorse idriche (*i.e.* riutilizzo e riciclo). Infatti, le più recenti tendenze sono quelle di considerare le acque di scarico come una vera e propria risorsa rinnovabile dalla quale recuperare acqua, energia (*e.g.* processi di depurazione anaerobici con produzione di CH_4) e fertilizzanti/ammendanti (diversione delle urine e riutilizzo dei fanghi in campo agricolo) (Guest *et al.*, 2009; IWA, 2011).

2. LA DECENTRALIZZAZIONE

Mentre nel contesto urbano del mondo sviluppato, la norma è rappresentata dalla centralizzazione, nei paesi in via di sviluppo la situazione è diametralmente opposta (Ho e Anda, 2004). In ogni caso, a livello internazionale è già sviluppato un certo grado di accettazione dei processi di decentralizzazione, sia da parte dei professionisti del settore sia da parte del legislatore e dell'opinione pubblica. Per esempio, il 25% della popolazione statunitense (circa 60 milioni di persone) è attualmente servita da piccoli impianti decentralizzati, specialmente nelle aree rurali o in quelle zone non raggiunte dai sistemi di collettamento e trattamento centralizzato delle acque di scarico (UNEP, 2002).

Oggi, nel mondo sviluppato, la crescita delle periferie urbane e dei centri rurali e i processi di rinnovamento di aree industriali, resi-

denziali e dei servizi hanno imposto la considerazione di scenari alternativi rispetto ai tradizionali sistemi di trattamento delle acque (Bakir, 2001; Ho e Anda, 2004).

In ogni caso, è risultato evidente che numerosi sono i parametri che potrebbero essere in grado di influenzare il futuro sviluppo dei piccoli impianti decentralizzati: fattori non trascurabili potrebbero essere la crescita della popolazione nelle aree rurali e nei paesi in via di sviluppo, l'ulteriore decremento della qualità delle acque superficiali, la costruzione di grandi complessi edilizi in aree metropolitane, lo sviluppo pianificato di nuove comunità isolate, la crescente scarsità della risorsa acqua e la sempre maggiore attenzione rivolta al suo riutilizzo (Randall, 2003).

Sicuramente, la scelta tra i due approcci deve essere condotta con estrema attenzione e con riferimento ad una serie di variabili comprendenti aspetti pratico-gestionali, amministrativi e di tutela. Alcuni dei fattori che non dovrebbero essere trascurati nella scelta tra centralizzazione e decentralizzazione riguardano la densità della popolazione, le caratteristiche del territorio servito, i costi di investimento, mantenimento e gestione, la protezione dell'ambiente, la conservazione delle risorse sia idriche sia energetiche, il riutilizzo dell'acqua, il ciclo dei nutrienti, la sicurezza e la protezione della salute pubblica, la politica di sviluppo degli insediamenti

umani e il ruolo dei contenuti tecnologici e delle relative efficienze prestazionali (Ho, 2005).

Il trattamento decentralizzato è principalmente definito dal fatto che le acque reflue sono trattate nelle strette vicinanze della sorgente che le ha prodotte (Wilderer e Schreff, 2000). Nonostante persista, comunque, la necessità di provvedere alla raccolta dei reflui, la lunghezza e le dimensioni delle tubazioni risultano essere notevolmente contenute. In particolare, la decentralizzazione può essere applicata a diversi livelli: da quello individuale, alle unità *cluster* (tipicamente da 4 a 12 abitazioni), dai raggruppamenti di abitati isolati, a strutture commerciali, residenziali e ricreative, sino ai sistemi satellite (Satellite Treatment Plants), generalmente integrati con l'impianto centralizzato per il processamento della frazione solida (Tchobanoglous *et al.*, 2004) come illustrato in Figura 1 dalla quale è possibile visualizzare, in termini generali, le potenzialità di transizione dalla centralizzazione alla decentralizzazione. Tutte le tipologie di trattamento elencate risultano essere in ultima analisi funzione delle caratteristiche e dei volumi delle acque di scarico da trattare così come della possibilità di operare la diversione dei flussi alla sorgente.

Secondo Orth (2007), la decentralizzazione è contraddistinta da tre principali categorie che comprendono i sistemi finalizzati alla sempli-

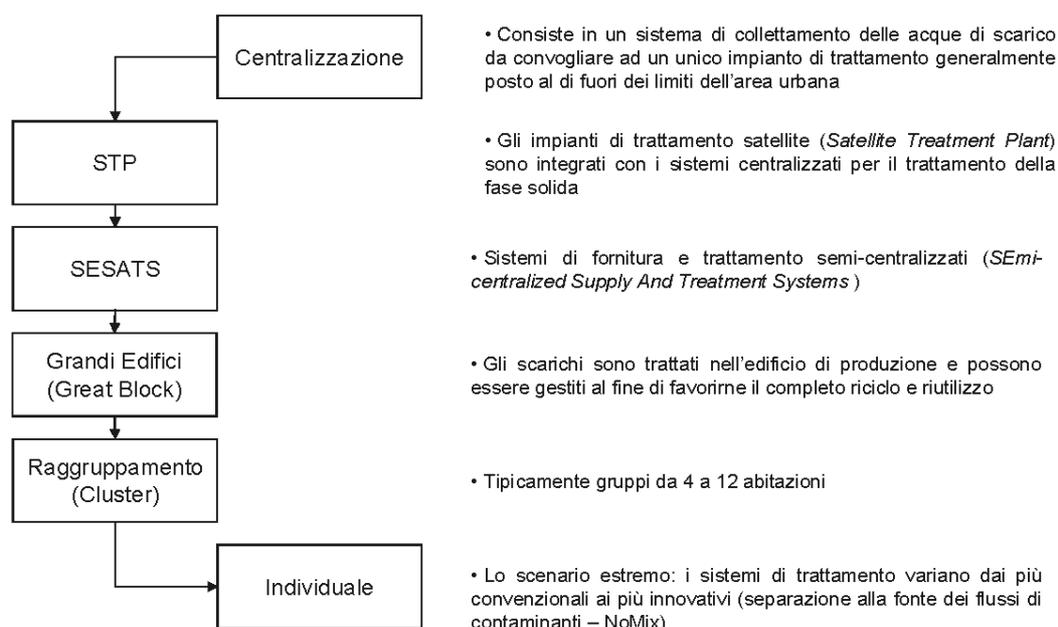


Fig. 1 – Il passaggio dalla centralizzazione alla decentralizzazione (Tchobanoglous *et al.*, 2004, mod.; Libralato *et al.*, 2008)



Fig. 2 – WC del tipo Roediger NoMix (www.roevac.com) (Larsen et al., 2009)

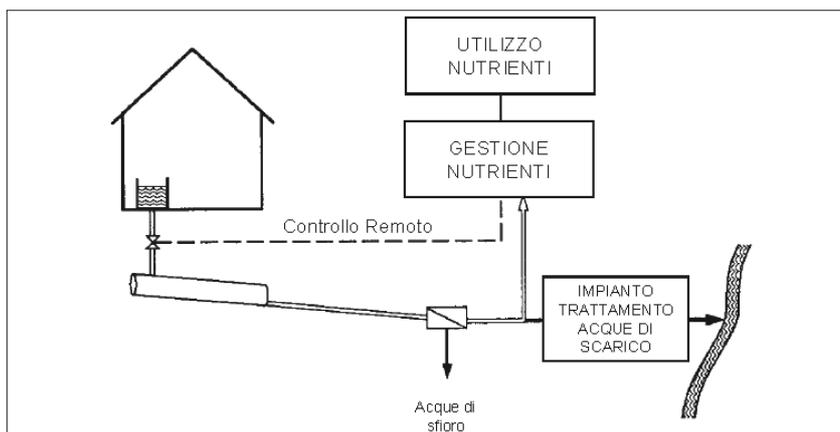


Fig. 3 – Elementi base del sistema di trasporto di soluzioni nutritive di origine antropica (ANS) (Larsen e Gujer, 1996)

ce sanitizzazione delle acque reflue, gli impianti a piccola scala con un trattamento biologico-meccanico e i sistemi finalizzati al riciclo/riutilizzo. In particolare, un caso estremo di decentralizzazione è considerato quello del trattamento individuale configurato al fine di separare alla fonte i vari flussi di contaminanti (NoMix), agevolandone il trattamento ed il riutilizzo, aumentando l'efficienza dello stesso trattamento di depurazione (Ho, 2005) e risparmiando energia (Otterpohl et al., 2003). Un esempio dell'approccio NoMix è riportato in Figura 2 ove appare evidente come sia possibile operare una separazione delle urine alla fonte (Larsen et al., 2009; McCann, 2010). Nello specifico, è stato riportato il fatto che nel 2003 in Cina, l'approccio NoMix nella versione a secco (dry separation) era già in uso da parte di circa 700000 utenze (Larsen et al., 2009). Inoltre, è possibile ipotizzare accanto alla raccolta di soluzioni nutritive di origine antropica (Anthropic Nutrient Solution, ANS) alla fonte, anche delle modalità di trasporto (Larsen e Gujer, 1996; Larsen et al., 2009) che, utilizzando e modulando i sistemi di collettamento esistenti (Rauch et al., 2003), potrebbero consentire il conferimento degli ANS dal livello decentralizzato a quello centralizzato per il trattamento e l'eventuale riutilizzo come illustrato in Figura 3 e Figura 4.

Come riportato in Figura 5, le possibilità di separazione degli scarichi alla fonte e dei relativi riutilizzi, anche immediati, sono numerose. Oltre alla diversione dei flussi per urine (*yellow wastewater*) e materiale fecale (*brown wastewater*) che assieme costituiscono le acque nere (*black wastewater*), è anche possibile se-

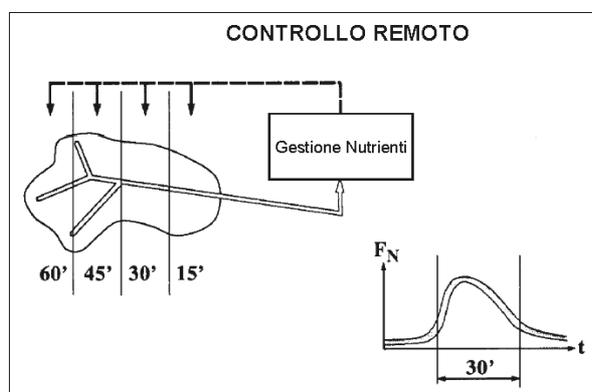


Fig. 4 – Identificazione della strategia di trasporto di ANS. Si prevede di accumulare gli ANS settore per settore per poi rilasciarli contemporaneamente per costituire un'unica ondata (F_N = Flusso notturno) che raggiungerà il sistema di trattamento centralizzato alla concentrazione massima (Larsen e Gujer, 1996)

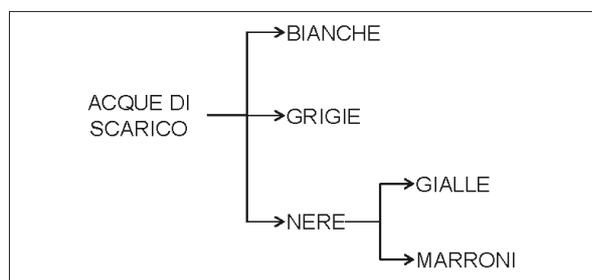


Fig. 5 – Possibilità nella diversione dei flussi alla sorgente (Libralato et al., 2008)

parare le acque piovane, cosiddette bianche (*white wastewater*), da quelle grigie (*grey wastewater*) composte dalle acque sporche derivanti da docce, lavandini, lavatrici, lavastoviglie e cucine (Li et al., 2010).

Allo stesso tempo, inoltre, i processi di decentralizzazione dovrebbero consentire di minimizzare la potenziale contaminazione residua delle acque di scarico e degli ecosistemi da parte di microinquinanti, che possono essere presenti anche in basse concentrazioni (e.g. farmaceutici, prodotti personali per la cura del corpo e metalli) (Janssens *et al.*, 1997; Escher *et al.*, 2006; Avezzù e Anselmi, 2007; Lienert *et al.*, 2007a; Borsuk *et al.*, 2008).

I piccoli impianti decentralizzati del tipo *end-of-pipe* sono in forte crescita negli Stati Uniti a causa dei loro bassi costi e per il fatto che l'utilizzatore non percepisce alcuna significativa differenza rispetto alla centralizzazione (Bakir, 2001). Analogamente è accaduto in Colombia, dove i costi di investimento iniziale sono stati ridotti evitando di costruire un unico impianto centralizzato a favore della realizzazione di due impianti decentralizzati (Bakir, 2001).

Il fenomeno dei piccoli impianti decentralizzati ha suscitato notevole interesse anche in

Giappone, uno tra i paesi più industrializzati a livello mondiale. Kimura *et al.* (2007) hanno riportato l'esistenza in Giappone di circa 2500 impianti su base decentralizzata, deputati, principalmente, al recupero delle acque di scarico all'interno di grandi complessi residenziali, commerciali o direzionali. È stato stimato che il 26% dei piccoli impianti decentralizzati sono stati installati presso uffici pubblici, il 13% presso edifici privati, il 15% presso edifici scolastici, oltre a ospedali, strutture sportive ed industrie di varia natura.

In Italia, è stato verificato che il 6% della popolazione è servito da piccoli impianti di depurazione con una potenzialità inferiore a 2000 A.E. che rappresentano, però, il 73% degli impianti complessivamente presenti sul territorio nazionale. È in Liguria (92%), Campania (88%) e Abruzzo (87%) che si riscontra la maggiore concentrazione di impianti non superiori ai 2000 A.E. (AA.VV., 2010). Questo fatto è dovuto principalmente all'estensione e alla morfologia del territorio. Infatti, i piccoli impianti ubi-

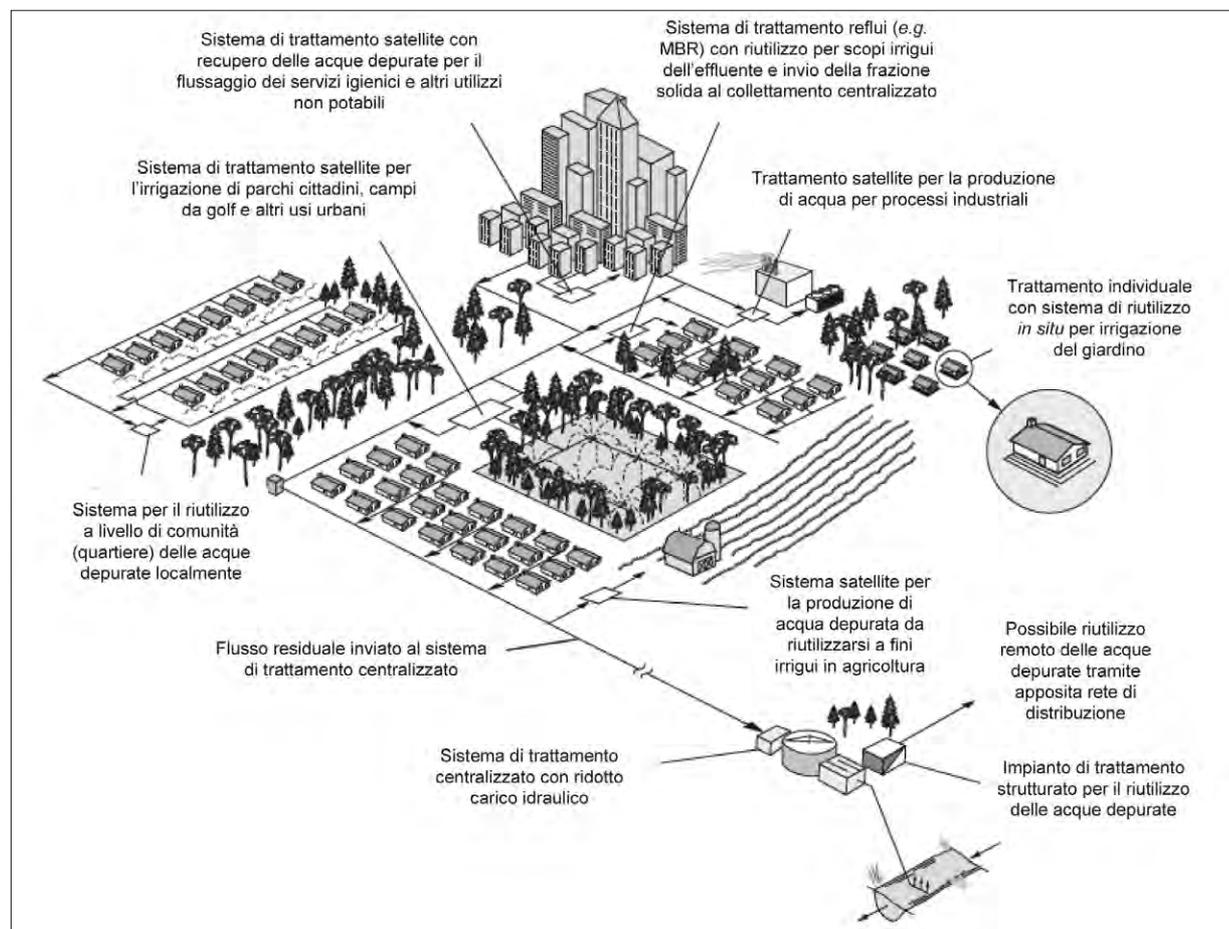


Fig. 6 – Le potenzialità della decentralizzazione e della centralizzazione in un'area densamente popolata (Gikas e Tchobanoglous, 2009 modificato)

cati in prossimità dell'origine del refluo da trattare hanno dimostrato di risolvere in maniera più adeguata il trattamento delle acque delle realtà locali, come quelle montane. Nella panoramica nazionale, Venezia rappresenta un caso di studio del tutto particolare nell'applicazione della decentralizzazione ai trattamenti per la depurazione delle acque di scarico. La città, situata all'interno di una laguna di circa 540 km² con una profondità media di 0,5 m, è stata costruita su un insieme di 119 isole separate da 160 canali. Venezia è, tuttora, priva di una rete fognaria vera e propria ed è solo il periodico flusso e riflusso delle maree ad agevolare la dispersione degli inquinanti e la pulizia dei collettori ove presenti. Lo sviluppo economico e l'evoluzione delle caratteristiche e dei volumi degli scarichi, assieme alla nascita del polo industriale di Porto Marghera, alla progressiva urbanizzazione e sviluppo dell'agricoltura intensiva nel bacino scolante, hanno comportato un progressivo aumento del carico di inquinanti in laguna. Eclatanti furono i fenomeni di eutrofizzazione delle acque e la diffusione dei chironomidi (MAV, 2007). Il legislatore, dopo aver accertato lo stato dell'arte, dedicò al problema degli scarichi di Venezia uno specifico articolo nell'ambito del DL 71/1990, relativo alla definizione delle misure urgenti per il miglioramento qualitativo e per la prevenzione dell'inquinamento delle acque, coinvolgendo direttamente i comuni nella definizione delle caratteristiche degli impianti di trattamento individuali. Ulteriori provvedimenti normativi, estesero gli adempimenti necessari alla depurazione degli scarichi non solo alle aziende artigiane produttive, ma anche agli stabilimenti ospedalieri, agli enti assistenziali, alle aziende turistiche ricettive e della ristorazione. In questi anni, gli sforzi compiuti dal legislatore, dal Magistrato alle Acque di Venezia e dagli enti locali sono stati palesati dal fatto che rispetto ai 5447 scarichi censiti, esistono ben 4493 piccoli impianti di trattamento decentralizzati a diverso contenuto tecnologico, il cui numero è comunque destinato ancora a crescere. Tra questi, sono stati annoverati ben 65 impianti del tipo AS-SBR (Activated Sludge Sequencing Batch Reactor) e 43 del tipo MBR (Membrane Biological Reactor), oltre a più di 2300 fosse settiche, che sono monitorati e telecontrollati in remoto con il sistema di gestione SisTeMAV (MAV, 2007).

3. VANTAGGI E SVANTAGGI DI CENTRALIZZAZIONE E DECENTRALIZZAZIONE

Nell'ottica di una trattazione più approfondita della decentralizzazione, è stato ritenuto opportuno riassumere le maggiori criticità relative al dibattito sulla scelta dei futuri sistemi di gestione delle acque di scarico urbane attraverso una disamina complessiva dei vantaggi e degli svantaggi degli approcci legati alla centralizzazione piuttosto che alla decentralizzazione. In particolare, sono stati messi in luce aspetti di natura economica, ambientale, sociale e tecnologica. Nel caso della centralizzazione, una serie di autori vari (Bakir *et al.*, 2001; Crites e Tchobanoglous, 1998; Crites *et al.*, 2006; Ho e Anda, 2004; Ho, 2005; Libralato *et al.*, 2008; Maurer *et al.*, 2006; Tidaker *et al.*, 2007; Van Lier *et al.*, 1999; Wilderer *et al.*, 2000) hanno evidenziato che:

- il costo per la depurazione a parità di volume sembrerebbe comunque essere ancora competitivo, considerando, però, la presenza di un sistema di collettamento già in essere;
- la maggior parte dei costi (80%) è rivolta alla costruzione del sistema di collettamento, con possibili economie di scala dovute alla presenza di un'elevata densità di popolazione;
- si devono preventivare costi di costruzione e di mantenimento con la necessità di un completo rinnovo di tutte le infrastrutture dopo circa 50-60 anni d'utilizzo;
- gli investimenti nei sistemi di fognatura non possono essere recuperati se il sistema è abbandonato;
- è necessario impiegare metodi di trattamento più costosi in presenza di reflui particolarmente diluiti;
- la depurazione è principalmente legata alla sanitizzazione delle acque piuttosto che alla rimozione dei nutrienti che si potrebbero rendere responsabili di fenomeni di eutrofizzazione nei corpi recettori;
- vi è la tendenza ad esportare volumi di acqua piovana dalle zone residenziali con una possibile eventuale diminuzione del livello dell'acquifero;
- esiste una forte dipendenza dalle forniture elettriche che potrebbero non essere adeguate in caso di crisi economica o politica;

- è necessario il consumo di elevati volumi d'acqua potabile al fine di prevenire intasamenti all'interno della rete di collettamento;
- vi potrebbero essere delle diseconomie di scala qualora risultasse necessario coprire lunghe distanze o si registrassero infiltrazioni nei sistemi di collettamento da parte di acque meteoriche o dell'acquifero;
- potrebbero insorgere fenomeni di contaminazione da parte di acque di scarico industriali;
- i sistemi fognari convenzionali (a reti miste) che gestiscono e richiedono elevate portate di acqua possono essere particolarmente pericolosi in occasione di eventi meteorici intensi;
- alti impatti ambientali nel caso di malfunzionamenti e considerevoli rischi nel momento in cui si verificano eventi catastrofici: contaminazione con agenti patogeni dei corpi idrici recettori e possibile effetto domino.

Nel caso, invece, della decentralizzazione autori vari (Borsuk *et al.*, 2008; Ho e Anda, 2004; Ho, 2005; Hong *et al.*, 2005; Fane e Fane, 2005; Lamichhane, 2007; Libralato *et al.*, 2008; Ronteltap *et al.*, 2007; Tchobanoglous, 2003; Weber *et al.*, 2007; Wilderer e Schreff, 2000) hanno rilevato che:

- risponde alle esigenze di periferie urbane e di centri rurali, così come ai processi di rinnovamento di aree industriali, residenziali e dei servizi, ma anche alla crescita della popolazione nelle aree rurali e nei paesi in via di sviluppo;
- può essere d'aiuto nel caso della costruzione di grandi complessi edilizi in aree metropolitane;
- può partecipare allo sviluppo pianificato di nuove comunità isolate;
- riduce gli inconvenienti legati alla raccolta dei reflui, alla lunghezza e alle dimensioni delle tubazioni che risultano essere notevolmente contenute;
- risulta essere applicabile a diversi livelli;
- i piccoli impianti sono più adeguati nell'assicurare un maggiore livello di sostenibilità ambientale supportando il possibile riutilizzo delle acque e il riciclo dei nutrienti;
- è possibile massimizzare le opportunità di riutilizzo delle acque di scarico *in situ*, diminuendo il volume finale dello scarico e riducendo i potenziali impatti cumulativi sui cor-

pi recettori in seguito all'incremento delle stesse politiche di riutilizzo;

- i piccoli impianti consentono di separare le acque di scarico domestiche da quelle meteoriche di dilavamento;
- è possibile escludere la contaminazione dei reflui domestici destinati al riutilizzo e dei relativi fanghi da parte degli scarichi industriali;
- è possibile separare alla fonte i vari flussi di contaminanti (approccio NoMix), agevolandone il trattamento ed il riutilizzo, aumentando l'efficienza del trattamento di depurazione e risparmiando energia;
- è possibile abbassare notevolmente il rischio sanitario per l'intera comunità;
- è possibile minimizzare la potenziale contaminazione residua totale di microinquinanti organici e inorganici, così come di quelli eventualmente presenti nei nutrienti destinati al recupero e riutilizzo;
- i piccoli impianti sono adatti per aree difficilmente raggiungibili o nel caso in cui siano disponibili spazi particolarmente ristretti per la loro installazione, non presentando, inoltre, rischi di effetti catastrofici;
- i piccoli impianti sono tendenzialmente compatti e dall'impatto estetico particolarmente ridotto, presentando una notevole flessibilità e adattabilità alle condizioni di servizio;
- i piccoli impianti decentralizzati sono generalmente ritenuti convenienti solo nel momento in cui prevedono l'adozione di tecnologie per la depurazione particolarmente avanzate, efficienti, robuste, facili da gestire e mantenere;
- la maggior parte dei costi è assorbita dall'unità di trattamento con le possibili economie di scala che sono risultate essere legate, principalmente, all'organizzazione del trattamento su base di unità *cluster*;
- tende ad impedire l'ulteriore decremento della qualità delle acque superficiali.

Nel caso della decentralizzazione è stato riscontrato che la maggior parte dei costi è assorbita dall'unità di trattamento (Hong *et al.*, 2005), mentre le possibili economie di scala sono risultate essere legate, principalmente, all'organizzazione del trattamento su base di unità *cluster* (Ho e Anda, 2004). Kimura *et al.* (2007) hanno affermato che i costi del riutilizzo dell'acqua depurata nei piccoli impianti decentralizzati sono paragonabili a quelli del-

Tab. 1 – Possibilità di riutilizzo delle acque reflue depurate (da Asano et al. (2007) modificato, Bouwer (1991), Gill e Rainville (1994), Harrhoff e Van der Merwe (1996), Mann e Liu (1999), Pettygrove e Asano (1985), Yamagata et al., (2002))

Applicazioni del riutilizzo	Specifiche
Irrigazione in campo agricolo	La tipologia di suolo, di coltivazione, di sistema di irrigazione, le condizioni climatiche e la legislazione locale contribuiscono a definire le caratteristiche di minimo richieste per il riutilizzo e, quindi, anche del relativo trattamento
Irrigazione giardini	Per giardini pubblici e privati, parchi, campi da golf
Applicazioni industriali	Ampiamente utilizzate per il raffreddamento di centrali termoelettriche, raffinerie e industrie manifatturiere in genere
Applicazioni urbane per scopi non irrigui	Anti-incendio, raffreddamento impianti di condizionamento, flussaggio servizi igienici, autolavaggio
Applicazioni ambientali e ricreative	Creazione e mantenimento aree umide, integrazione portata corpi d'acqua durante periodi di magra eccessiva
Ricarica della falda (riutilizzo potabile indiretto)	Introduzione in falda di acque di scarico trattate di elevata qualità, anche per controllare i fenomeni di intrusione salina
Ricarica acque superficiali (riutilizzo potabile indiretto)	Introduzione di acque di scarico trattate di elevata qualità in bacini d'acqua superficiali per ridurre le possibilità di eventuali fenomeni di scarsità idrica
Utilizzi potabili diretti	Unico caso documentato è presso Windhoek (Namibia): le acque dopo essere sottoposte ad un trattamento terziario con osmosi inversa partecipano alle risorse idriche già presenti in rete

l'acqua di rete. In particolare, per uno scarico con una portata variabile tra i 50 m³/g – 200 m³/g, i costi specifici sono stati stimati attorno agli 7 US\$/m³ in entrambi i casi.

Nell'ambito del contesto urbano australiano, Ho e Anda (2004) hanno affermato che a parità di caratteristiche costruttive, operative e di resa (20 mg/L BOD e 30 mg/L SS) i sistemi centralizzati e quelli decentralizzati presentano costi del tutto confrontabili. È stato stimato che il costo di allaccio alla pubblica fognatura è variabile fra 4500 US\$ e 10000 US\$ per singola unità abitativa, così come l'ordinaria gestione e manutenzione è risultata essere compresa fra 500 US\$ e 1000 US\$ per anno sempre per singola unità abitativa, anche se non risulta ben chiaro come siano state formulate queste stime. Da una recente indagine, sembra, inoltre, che i consumi energetici degli impianti decentralizzati rispetto a quelli centralizzati non si discostino significativamente tra loro considerando sia il consumo energetico per m³ di refluo trattato sia quello per kg di COD rimosso (Rocca, 2010).

Maurer *et al.* (2006) hanno tentato di stimare quando il costo delle tecnologie per la decentralizzazione del trattamento delle acque di scarico risulti essere competitivo rispetto alla centralizzazione. È apparso, anche se in termini puramente indicativi, che la decentralizzazione è conveniente solo nel momento in cui i risparmi che è in grado di conseguire

consentono di coprire anche i costi relativi all'abbandono del precedente sistema di trattamento. È stato, però, evidenziato il fatto che i costi legati alla decentralizzazione tendono a diminuire soprattutto nel caso in cui si consideri uno scenario che preveda l'utilizzo della rete di collettamento già esistente con costi variabili tra i 262 US\$ e i 679 US\$ per persona, considerando città con più di 50000 abitanti e meno di 10000 abitanti, rispettivamente. Viceversa, lo scenario che prevede assieme alla totale assenza del sistema di collettamento la separazione delle urine alla fonte sembra comportare dei costi tra i 665 US\$ e i 2179 US\$ per persona, considerando sempre città con più di 50000 abitanti e meno di 10000 abitanti, rispettivamente (Maurer *et al.*, 2006).

4. AMBITI E VINCOLI DELLA DECENTRALIZZAZIONE

La precedente analisi sui vantaggi e svantaggi dei diversi approcci suggerisce pertanto la necessità di riconsiderare i tradizionali criteri valutativi sinora adottati nella gestione del sistema idrico puntando sulle potenzialità legate al riutilizzo. La separazione decentralizzata sembra offrire un certo numero di vantaggi. Tra gli altri, è in grado di migliorare la qualità dell'effluente per quanto riguarda la concen-

Tab. 2 – La qualità degli effluenti attualmente raggiunta con le più diffuse tecnologie di trattamento da Asano et al. (2007) e Gikas e Tchobanoglous (2009) modificato

Parametro	Unità di Misura	Intervallo di qualità dell'effluente dopo il relativo trattamento				
		Convenzionale a fanghi attivati	Convenzionale a fanghi attivati con filtrazione	Fanghi attivati con BNR e filtrazione	MBR	Fanghi attivati con BNR, seguito da MF, RO e AOP
Solidi Sospesi Totali (TSS)	mg/L	5-25	2-8	1-4	<1	<0.01
Solidi Colloidali	mg/L	5-25	5-20	1-5	0-4	<0.01
Richiesta biochimica di ossigeno (BOD)	mg/L	5-30	<5-20	1-5	<5-10	<1
Richiesta Chimica di Ossigeno (COD)	mg/L	40-80	30-70	20-30	<30-40	10-50
Carbonio Organico Totale (TOC)	mg/L	10-40	15-30	1-5	5-10	<0.5
Azoto ammoniacale	mg N/L	1-10	1-6	1-2	<1-5	<0.5
Azoto nitroso	mg N/L	20-30	20-30	1-10	<10	<0.5
Azoto nitrico	mg N/L	da 0 a tracce	da 0 a tracce	0.001-0.1	da 0 a tracce	tracce
Azoto totale	mg N/L	15-35	15-35	2-5	<10	<1
Fosforo totale	mg P/L	4-10	4-8	<2	4-10	<0.1
Torbidità	NTU	2-15	0.5-4	0.3-2	<1	<0.1
Composti organici volatili (VOCs)	µg/L	10-40	10-40	10-20	10-20	<10
Metalli	mg/L	1-1.5	1-1.4	1-1.5	tracce	<0.005
Tensioattivi	mg/L	0.5-2	0.5-1.5	0.1-1	0.1-0.5	<0.01
Solidi totali disciolti	mg/L	500-700	500-700	500-700	500-700	20-40
Costituenti in tracce	µg/L	5-40	5-30	5-30	0.5-20	<10
Coliformi totali	No/100 mL	10 ⁴ -10 ⁵	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁵	<100	<1
Cisti di protozoi ed oocisti	No/100 mL	10 ¹ -10 ²	0-10	0-10	0-1	<1
Virus	PFU/100 mL	10 ¹ -10 ³	10 ¹ -10 ³	10 ¹ -10 ³	10 ⁰ -10 ³	<1

AOP = Advanced Oxidation Processes
 BNR = Biological Nutrient Removal
 MBR = Membrane Biological ReACTOR
 MF = Micro-Filtration
 RO = Reverse Osmosis

trazione dei nutrienti e dei microinquinanti, tra cui quelli di origine farmaceutica e i metalli pesanti, riducendo i loro effetti sul corpo recettore o sull'eventuale riutilizzo delle acque depurate, per esempio, in campo agricolo (Avezzù e Anselmi, 2007). Inoltre, offre la possibilità di un eventuale riutilizzo delle acque reflue depurate nei pressi della sorgente che le ha generate. Sicuramente, la tendenza al riutilizzo della risorsa acqua e al recupero dei nutrienti, non solo per motivi di carattere meramente ambientale, ma anche per i risparmi che se ne possono conseguire in termini economici, dovrebbe tendere ad aumentare la diffusione dei piccoli impianti decentralizzati, tenendo presente anche le nuove problematiche ambientali che potrebbero sorgere in relazione alla presenza di microinquinanti organici.

Storicamente, i sistemi di collettamento e trattamento delle acque di scarico sono stati ideati per gestire flussi generati in ambito prettamente urbano, che, tipicamente, per via gravitativa sono convogliati in corpi d'acqua superficiali. Nel tempo, in seguito all'aumento della popolazione inurbata e allo sviluppo di nuove periferie urbane, molti sistemi di gestione centralizzata delle acque di scarico non sono più in grado di far fronte ai volumi delle acque reflue da trattare. Inoltre, molto spesso i preesistenti impianti non possono essere am-

pliati in quanto l'urbanizzazione residenziale, commerciale o industriale è andata ad occupare proprio quelle aree che avrebbero potuto essere dedicate allo scopo. Da questo punto di vista, è stato rilevato, inoltre, che l'espansione dei sistemi di collettamento, che comporta serie problematiche legate all'interruzione del traffico e di altri servizi pubblici, non è ben vista da parte dei decisori politici. Ne consegue, quindi, la necessità di adottare dei *provvedimenti alternativi* tra i quali particolare attenzione stanno riscuotendo proprio i *sistemi decentralizzati e satellite* (Gikas e Tchobanoglous, 2009).

L'espansione continua delle città ha determinato una crescente domanda di risorse idriche per scopi potabili e non, sia da acque superficiali sia da falda. In molte località, il loro sfruttamento è giunto pressoché al limite, ove lo stesso non sia stato addirittura superato. Nel momento in cui le acque di scarico sono state adeguatamente trattate e recuperate, esse stesse possono rappresentare una fonte stabile e sostenibile di approvvigionamento. L'utilizzo di sistemi decentralizzati e satellite consentirebbe di agire in quest'ottica, riducendo anche, complessivamente, la richiesta nella fornitura di acque potabili.

Infatti, si può sicuramente affermare che solo recentemente nelle società industriali è stato

compreso il vero valore della risorsa acqua e della necessità di un suo utilizzo sostenibile. Inoltre, a causa di limiti di qualità allo scarico sempre più stringenti da parte di normative nazionali e internazionali, le acque reflue trattate presentano, ormai, livelli qualitativi particolarmente elevati, che sono sicuramente funzione anche della tecnologia depurativa adottata, oltre che dei criteri gestionali messi in pratica, tali da consentire il loro immediato riutilizzo in un'ampia serie di applicazioni (e.g. flussaggio servizi igienici).

Il riutilizzo delle acque reflue depurate potrebbe essere, inoltre, di particolare interesse soprattutto in quelle aree che si sono dimostrate nel tempo, e sempre di più, esposte a fenomeni siccitosi, basti pensare allo stesso sud Italia. Infatti, in seguito ai processi di cambiamento del clima a livello globale, la prospettiva è proprio quella di una sempre minore disponibilità idrica accanto al verificarsi di fenomeni estremi.

Oggi giorno, non solo a livello nazionale, ma a scala mondiale, le problematiche legate alla sicurezza coinvolgono direttamente i processi di trattamento delle acque di scarico. Un impianto centralizzato risulta essere maggiormente esposto ad eventuali atti terroristici proprio per le devastanti conseguenze che potrebbe avere sugli ambienti acquatici bersaglio, senza considerare le implicazioni sanitarie correlate. Inoltre, anche i disastri naturali come terremoti ed alluvioni possono determinare delle conseguenze particolarmente devastanti nel caso di impianti centralizzati per il trattamento dei reflui.

Le acque reflue depurate hanno trovato nel tempo un ampio ventaglio di possibili applicazioni come illustrato in Tabella 1. Le possibilità di riutilizzo sono state organizzate in funzione dei volumi d'acqua attualmente recuperati in ordine decrescente, anche se gli stessi possono essere fortemente legati a particolari situazioni o necessità locali. Al di là del riutilizzo potabile indiretto, come conseguenza della ricarica della falda, l'utilizzo potabile diretto è ancora scarsamente preso in considerazione, ma inevitabilmente si ritiene che in un prossimo futuro questo tipo di approccio divenga dominante. Infatti, attraverso l'impiego delle migliori o se non altro delle più appropriate tecnologie per il trattamento dei reflui, è possibile assicurare effluenti della qualità fi-

nale desiderata, inclusa quella che contraddistingue le acque ad uso potabile. A questo riguardo, è stata riportata in Tabella 2 la qualità degli effluenti che può essere raggiunta con le più diffuse tecnologie di trattamento attualmente disponibili.

A livello nazionale, per esempio, il sostegno alla decentralizzazione potrebbe contribuire ad incentivare il riutilizzo della risorsa acqua non solo per rispettare quanto sancito nella direttiva 91/271/CEE (Urban Wastewater Directive), ma anche per far fronte alle sempre crescenti carenze idriche, specie durante le stagioni estive, sia per scopi irrigui sia industriali (Lazarova *et al.*, 2001, 2003, 2004). L'indice dello stress idrico dell'Italia è risultato già superiore al 20%, tale cioè da richiedere interventi gestionali al fine di bilanciare la domanda e l'offerta delle risorse idriche, ma anche azioni tali da dirimere i conflitti per l'uso della risorsa (Bixio *et al.*, 2006). Al momento, infatti, il riutilizzo riguarda quasi esclusivamente i sistemi con potenzialità medio-alta, cioè da un minimo di 500 m³/g fino ad oltre 100.000 m³/g (Libralato e Avezù, 2007).

Risulta evidente, comunque, che l'adozione di sistemi decentralizzati in zone densamente popolate che dispongono già di una rete di collettamento e di un impianto di trattamento centralizzati non rappresenta un'alternativa attuale dal punto di vista economico (Avezù e Anselmi, 2007), ma un tipo di approccio non deve forzatamente escludere l'altro soprattutto in relazione al fattore di scala e a quello legato alla densità di popolazione (Chung *et al.*, 2008). In particolare, è possibile far riferimento alla Figura 6 ove sono indicate le potenzialità dei rapporti tra decentralizzazione e centralizzazione in un'area densamente popolata. L'indirizzo generale potrebbe, infatti, essere quello di sostenere una reale coesistenza tra i sistemi centralizzati e decentralizzati con diversi livelli di applicazione, che al momento appaiono più realistici nel caso di centri commerciali, ospedali, aeroporti o nell'ambito di nuovi insediamenti urbani nell'ottica anche di un riutilizzo in sito delle acque depurate (Guest *et al.*, 2009). Infatti, spesso si verifica che l'approccio che appare corretto sul piano teorico si scontra con una realtà difficilmente conciliabile, principalmente a causa della normativa regionale, talvolta più stringente di quella nazionale e per il modello di sviluppo

urbanistico ed industriale che è stato perseguito senza tener conto di una gestione efficiente e sostenibile dei sistemi di convogliamento e trattamento delle acque reflue, lasciando pertanto in eredità situazioni di non facile e, soprattutto, non economica soluzione. Da questo punto di vista, la decentralizzazione potrebbe essere favorita da nuove ipotesi normative che, per esempio, tengano conto anche della densità abitativa delle aree o, direttamente della superficie impegnata nel caso delle attività interessate.

4.1 Caso di studio

Un caso di studio particolarmente emblematico è quello riportato da Gikas e Tchobanoglous (2009) circa l'applicazione di un sistema decentralizzato a scala satellite che serve una nuova area residenziale in Australia. La Rouse Hill Development Area, situata a circa 45 km a NE di Sydney, è stata interessata da un ampio processo di urbanizzazione per finalità principalmente residenziali. Le autorità locali, onde evitare eventuali fenomeni di inquinamento dell'estuario del fiume Hawkesbury-Nepean, hanno proposto il trattamento delle acque reflue su base decentralizzata e satellite pianificando il riutilizzo delle acque depurate per finalità non domestiche come, per esempio, l'irrigazione dei giardini, il flussaggio dei servizi igienici e il lavaggio auto. La principale conseguenza è che solo una minima frazione delle acque depurate è effettivamente scaricata nel corso d'acqua, a causa dei processi di riutilizzo, che stanno comportando, contemporaneamente, una forte riduzione della domanda di acqua a scopo potabile. Ad oggi, più di 15000 utenze sono allacciate al sistema di riutilizzo delle acque, mentre altre 10000 si prevede che lo saranno a breve. L'impianto di trattamento delle acque di scarico è del tipo tradizionale a fanghi attivati con una portata giornaliera di 5600 m³/giorno.

4.2 La separazione alla fonte

La precedente analisi circa i vantaggi e svantaggi di centralizzazione e decentralizzazione ha consentito di mettere in luce il fatto che proprio i trattamenti di decentralizzazione spinti fino alla separazione alla fonte (Tecnologia NoMix) risultano, in generale, essere sicura-

mente più attraenti qualora non sia presente una rete di collettamento delle acque di scarico (i.e. la separazione alla fonte era considerata vantaggiosa principalmente nelle aree rurali (Nelson e Murray, 2008)). Tuttavia, le tendenze più recenti hanno evidenziato come questo tipo di approccio possa rappresentare non solo nei paesi in via di sviluppo, ma anche in aree densamente popolate una soluzione di particolare interesse (Nhapi, 2004; Nhapi e Hoko, 2004). Larsen *et al.* (2009) hanno messo in luce, ad esempio, come nella città cinese di Kunming, caratterizzata da una veloce industrializzazione e da conseguenti gravi problematiche legate alla qualità delle acque, gli esperti locali tendano a favorire proprio la separazione dei flussi alla sorgente (Medilanski *et al.*, 2006).

Nelle aree costiere, prive di infrastrutture per la gestione delle acque reflue, ove è richiesta una forte riduzione dei carichi di azoto per limitare i fenomeni di eutrofizzazione delle acque, la scelta della diversione delle urine alla fonte è indicata come prioritaria (Larsen *et al.*, 2007). Infatti, la capacità dei piccoli impianti di separare alla fonte fino all'80% dei componenti azotati risulta essere particolarmente competitiva qualora si consideri un'efficienza media in un impianto tradizionale a fanghi attivati del 50-60% (Larsen *et al.*, 2009).

Una frequente criticità mossa contro i processi di decentralizzazione è quella legata all'assenza di un'economia di scala, essendo nella maggior parte dei casi presi in considerazione solo qualora sia eccessivamente costoso procedere alla costruzione di sistemi di collettamento a servizio di impianti centralizzati. Le innovazioni tecnologiche nel campo dei processi depurativi hanno, però, incrementato la competitività della decentralizzazione, basti pensare alle potenzialità rappresentate dalle tecnologie a membrana (Di Gianno, 2004). Questo processo non è solo tecnico, ma anche basato su una "economia dei numeri": le membrane sono prodotte, ormai, in quantità considerevoli, tali da averne abbassato i costi. Inoltre, già oggi alcune tecnologie per la separazione alla fonte risultano essere economicamente competitive (Oldenburg *et al.*, 2007).

Per il trattamento spinto di separazione alla fonte delle urine, è stato stimato che un investimento pari a 260-440 US\$/persona potreb-

be essere in grado di colmare il divario tra l'approccio NoMix e i trattamenti convenzionali (Oldenburg *et al.*, 2007). Secondo Larsen *et al.* (2009) questo evento si verificherà effettivamente solo nel momento in cui i sistemi No-Mix saranno prodotti in numero elevato, anche se ulteriori ricerche sono ritenute necessarie per minimizzare i problemi gestionali (e.g. idrolisi dell'urea). Nel caso, poi, della gestione dei microinquinanti la problematica appare ancora più attuale. Infatti, mentre gli impianti convenzionali sembrano non essere in grado di rimuovere efficacemente questa nuova categoria di inquinanti, i piccoli impianti decentralizzati, che adottano strategie di trattamento alla fonte, presentano una maggiore efficienza nella loro riduzione/rimozione (Larsen *et al.*, 2004; Kujawa-Roeleveld e Zeeman, 2006; Joss *et al.*, 2008). Infatti, circa il 60-70% dei farmaceutici e degli ormoni finiscono nelle urine (Lienert *et al.*, 2007a), anche se, comunque, sembra che quelli più problematici siano presenti nel materiale fecale, determinando una distribuzione ai fini del potenziale ecotossicologico che risulta essere equipartito tra la frazione fecale e le urine (Lienert *et al.*, 2007b). Da questo punto di vista l'eliminazione anche solo della metà dei microinquinanti organici potenzialmente presenti sembra essere un'operazione comunque economicamente vantaggiosa a causa delle crescenti problematiche legate alla loro diffusione nei vari comparti ambientali (Lienert *et al.*, 2006; Burkhardt *et al.*, 2007; Larsen *et al.*, 2009). Una frequente obiezione che viene posta a proposito dei processi di separazione alla fonte è quella legata all'accettazione da parte dei portatori di interesse e del pubblico più generale, a causa di una prevenzione preconcepita. Alcuni studi sembrano indicare, però, l'esatto contrario: molti tendono a sostenere l'approccio di separazione dei flussi alla sorgente, vincolata, però, al fatto che altri si occupino poi della manutenzione pratica (Lienert *et al.*, 2006). In modo similare, è stato verificato che alcune applicazioni NoMix testate in progetti pilota in Austria, Danimarca, Germania, Lussemburgo, Olanda, Svezia e Svizzera sono state ben accettate, soprattutto ritenendo di contribuire al riciclo dei nutrienti in agricoltura, anche se sono stati segnalati alcuni problemi legati ad intasamenti ed odori molesti (Larsen *et al.*, 2009).

5. LA PIANIFICAZIONE DEL MODELLO SU BASE DECENTRALIZZATA

I gestori delle risorse idriche sembrano avere, in generale, uno scarso interesse ad innovare. Infatti, i beneficiari delle risorse idriche, che sono coloro che richiedono l'innovazione del sistema, non sono tangibili, mentre le autorità pubbliche che agiscono in sostituzione della domanda privata sono difficili da rafforzare. Esisterebbero, in particolare, quattro variabili a cui si dovrebbe fare riferimento in sede decisionale: *costi, flessibilità nel consumo del territorio, mantenimento, e protezione ambientale* come suggerito da Engin e Demir (2006) anche se relativamente al solo caso delle piccole comunità. Viceversa, Chung *et al.* (2008) hanno proposto un modello più generale per la valutazione del trattamento su base decentralizzata dimostrando in sostanza come la decentralizzazione sia più adatta a territori caratterizzati da una *morfologia estremamente variabile* o da *abitati sparsi*. Ad esempio, nel confronto tra un impianto centralizzato e una serie di impianti satellite posti al servizio di una comunità di al massimo 1,2 milioni di persone, è stato visto che sicuramente l'economia di scala è a favore dell'impianto centralizzato. Nel momento in cui, però, la morfologia del territorio risulta essere caratterizzata da vari livelli geodetici, si verifica che la configurazione satellite dovrebbe essere quella da privilegiare (Chung *et al.*, 2008). In secondo luogo, gli innovatori devono affrontare sicuramente i costi collegati agli investimenti infrastrutturali effettuati in precedenza e azioni concertate per l'innovazione sono richieste al fine di sopperire ai costi complessivi. Inoltre, le operazioni supportate dagli ingenti investimenti di capitali hanno determinato l'affermazione di taluni approcci rispetto ad altri che sono considerati come economicamente vantaggiosi solo a causa delle economie di scala sviluppate (vedi centralizzazione), anche se in realtà è possibile che si determinino costi maggiori rispetto a quelli preventivati e con in aggiunta uno sforzo nell'investimento tecnologico inferiore rispetto a quanto atteso o possibile. L'assistenza fornita agli innovatori che sono in grado di realizzare prodotti di nicchia di alto valore potrebbero scontrarsi con gli interessi costituiti attraverso opzioni nuove ed econo-

micamente vantaggiose, anche se l'assistenza fornita implica sicuramente la definizione di politiche di assunzione dei rischi.

Nella politica europea dell'acqua, le tendenze già in atto sono quelle di una gestione che tenga in considerazione i costi complessivi della risorsa stessa. Gli effetti dei cambiamenti nella politica dell'acqua saranno visibili nei prossimi decenni, ma non dovranno essere sovrastimati in quanto i benefici privati derivanti dalla buona qualità dell'ambiente acquatico sono ancora considerati intangibili. Infatti, sembra vi sia proprio per questo una limitata tendenza ad innovare. Gli incentivi potrebbero ricevere un forte impulso qualora sia promosso lo sviluppo delle risorse idriche in ambiti di elevato valore quali quelli nel campo della salute pubblica, turismo, educazione, ricerca, utenze domestiche e così via. Questi usi dipendenti direttamente dalla qualità della risorsa acqua dovrebbero giustificare il sostegno all'innovazione, motivando l'ingresso degli stessi innovatori (Krozer *et al.*, 2010).

6. CONCLUSIONI

Quando si parla di decentralizzazione non si fa riferimento solamente al NoMix o al trattamento individuale, ma ad un più ampio gradiente di trattamenti che possono essere di sostanziale aiuto nell'integrare i processi centralizzati di trattamento delle acque di scarico. Risulta evidente, comunque, che l'adozione di sistemi decentralizzati in zone densamente popolate che dispongono già di una rete di collettamento e di un impianto di trattamento centralizzati non rappresenta un'alternativa attuale dal punto di vista economico. L'indirizzo generale potrebbe essere quello di sostenere una reale coesistenza tra i sistemi centralizzati e decentralizzati con diversi livelli di applicazione, che al momento appaiono più realistici nel caso di centri commerciali, ospedali, aeroporti o nell'ambito di nuovi insediamenti urbani specialmente nell'ottica di un riutilizzo in sito delle acque depurate. Inoltre, si è recentemente pensato a come gli stessi potrebbero intervenire in sostituzione degli impianti centralizzati nel momento in cui le infrastrutture poste a loro servizio non saranno più in grado di assolvere la loro funzione a causa del grado di vetustà raggiunto. Infatti, sarà sicura-

mente necessario porsi il problema in un futuro non troppo lontano circa le procedure da adottare nel momento in cui il sistema di collettamento e raccolta delle acque di scarico esistente necessiterà di interventi di manutenzione molto sostenuti, eventi che si stimano necessari ogni circa 50-60 anni. Come procedere? Eseguire interventi invasivi e costosi nel cuore delle città per ripristinare la funzionalità dei sistemi centralizzati interrompendo il traffico e altri servizi pubblici? O in alternativa adottare una qualche forma di decentralizzazione? Inoltre, bisogna sicuramente ricordare che questa seconda opzione sembra essere, già, appetibile oggi giorno senza doversi per questo figurare particolari scenari futuri. Infatti, l'espansione continua delle città ha determinato una crescente domanda di risorse idriche per scopi potabili e non sia da acque superficiali sia da falda tanto da esser giunta pressoché al limite in molte località. L'utilizzo di sistemi decentralizzati e satellite consentirebbe di recuperare e riutilizzare le acque di scarico depurate facendole diventare una fonte stabile e sostenibile di approvvigionamento. In particolare, il riutilizzo delle acque reflue depurate potrebbe essere di estremo interesse soprattutto in quelle aree che si sono dimostrate nel tempo sempre più esposte a fenomeni siccitosi.

Infine, per quanto riguarda la decentralizzazione spinta fino alla separazione alla fonte, essa potrebbe costituire un'allettante prospettiva specialmente nell'ottica di ridurre le gravi problematiche legate alla qualità delle acque, sebbene ulteriori ricerche siano ancora necessarie in materia.

BIBLIOGRAFIA

- Afferden van M., Cardona J.A., Rahman K.Z., Daoud R., Headley T., Kilani Z., Subah A., Mueller R.A.**, 2010. A step towards decentralised wastewater management in the Lower Jordan Rift Valley. *Water Science and Technology: Water Supply* 10(2), 181-192.
- Asano T.**, 1985. *Artificial Recharge of Groundwater*. Butterworth Publishers, Boston, MA.
- Asano T., Mujeriego R., Parker D.**, 1988. Evaluation of industrial cooling systems using reclaimed municipal wastewater. *Water Science and Technology* 20 (10), 163-174.
- Avezzù F., Anselmi M.**, 2007. Il bilancio complessivo degli inquinanti. In: *Il riutilizzo delle acque re-*

- flue urbane e industriali. 34° Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale, Palazzo Cittanova – Cremona (Italy), 29-30 Ottobre 2007.
- AA.VV.**, 2010. La gestione dei piccoli impianti di depurazione. CIPA Editore, Manuale n. 8, Milano, Italia.
- Bakir H.A.**, 2001. Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa. *Journal of Environmental Management* 61, 319-328.
- Bayer P., Heuer E., Karl U., Finkel M.**, 2005. Economical and ecological comparison of granular activated carbon (GAC) adsorber refill strategies. *Water Research* 39(9), 1719-1728.
- Bixio D., Thoeyea C., De Koningb J., Joksimovich D., Savicc D., Wintgensd T., Melind T.**, 2006. Wastewater reuse in Europe. *Desalination* 187, 89-101.
- Borsuk M.E., Maurer M., Lienert J., Larsen T.A.**, 2008. Charting a path for innovative toilet technology using multicriteria decision analysis. *Environmental Science and Technology* 42(6), 1855-1862.
- Bouwer H.**, 1991. Role of groundwater recharge in treatment and storage of wastewater for reuse. *Water Science and Technology* 24 (9), 295-302.
- Burkhardt M., Kupper T., Hean S., Haag R., Schmid P., Kohler M., Boller M.**, 2007. Biocides used in building materials and their leaching behavior to sewer systems. *Water Science and Technology* 56 (12), 63-67.
- Chung G., Lansey K., Blowers P., Brooks P., Ela W., Stewart S., Wilson P.**, 2008. A general water supply planning model: Evaluation of decentralized treatment. *Environmental Modelling and Software* 23(7), 893-905.
- Crites R.W., Tchobanoglous G.**, 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, New York, USA.
- Crites R.W., Middlebrooks E.J., Reed S.D.**, 2006. *Natural Wastewater Treatment Systems*. Taylor and Francis, Boca Raton, FL.
- Deiningner A., Widerer P.A.**, 2000. Small wastewater treatment plants IV. *Water Science and Technology* 41(1): vii.
- Di Giano F. A., Andreottola G., Adham S., Buckley C., Cornel P., Daigger G.T., Fane A.G., Galil N., Jacangelo J.G., Pollice A., Rittmann B.E., Rozzi A., Stephenson T., Ujang Z.**, 2004. Membrane bioreactor technology and sustainable water. *Water Environmental Research* 76 (3), 195-196.
- Engin G.O., Demir I.**, 2006. Cost analysis of alternative methods for wastewater handling in small communities. *Journal of Environmental Management* 79, 357-363.
- Escher B.I., Pronk W., Suter M.J.F., Maurer M.**, 2006. Monitoring the removal efficiency of pharmaceuticals and hormones in different treatment processes of source-separated urine in bioassays. *Environmental Science & Technology* 40, 5095-5101.
- Fane A.G., Fane S.A.**, 2005. The role of membrane technology in sustainable centralised wastewater systems. *Water Science and Technology* 51(10), 317-325.
- George R.**, 2008. *The Big Necessity: Adventures in the World of Human Waste*, Portobello Books Ltd, England, UK.
- Gikas P., Tchobanoglous G.**, 2009. The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. *Journal of Environmental Management* 90(1), 144-152.
- Gill G., Rainville D.**, 1994. *Effluent for irrigation. Wastewater Reuse for Golf Course Irrigation*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Guest J.S., Skerlos S.J., Barnard J.L., Daigger G.T., Hilger H., Jackson S.J., Karvazy K., Kelly L., Macpherson L., Mihelcic J.R., Pramanik A., Raskin L., Van Loosdrecht M.C.M., Yeh D., Love N.G.**, 2009. A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater. *Environmental Science and Technology* 43(16), 6126-6130.
- Harrhoff J., Van der Merwe B.**, 1996. Twenty-five years of wastewater reclamation in Windhoek, Namibia. *Water Science and Technology* 33 (10-11), 25-35.
- Ho G., Anda M.**, 2004. Centralised versus decentralised wastewater systems in an urban context: the sustainability dimension. 2nd IWA Leading-Edge Conference on Sustainability. 8th-10th November 2004, Sydney, Australia.
- Ho G.**, 2005. Technology for sustainability: the role of on site, small and community scale technology. *Water Science and Technology* 51(10), 15-20.
- Hong S.W., Choi Y-S., Kim S.J., Kwon G.**, 2005. Pilot-testing an alternative on-site wastewater treatment system for small communities and its automatic control. *Water Science and Technology* 51(10), 101-108.
- IPPC, Integrated Pollution Prevention and Control**, 2008. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control.
- IWA**, 2011. 10th Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems and 4th Conference on Decentralised Water and Wastewater International Network. 18th-22nd April 2011, Venezia, Italia.
- Janssens I., Tanghe T., Verstraete W.**, 1997. Micropollutants: a bottleneck in sustainable wastewater treatment. *Water Science and Technology* 35(11-12), 23-32.
- Jefferson B., Laine A.L., Judd S.J., Stephenson T.**, 2000. Membrane bioreactors and their role in wastewater reuse. *Water Science and Technology* 41(1), 197-204.
- Joss A., Siegrist H., Ternes T.A.**, 2008. Are we about to upgrade wastewater treatment for remo-

- ving organic micropollutants? *Water Science and Technology* 57 (2), 251–255.
- Kimura K., Mikami D., Funamizu N.**, 2007. Onsite wastewater reclamation and reuse in individual buildings in Japan. Congresso Magistrato alle Acque di Venezia, Il monitoraggio della qualità delle acque con stazioni fisse e i sistemi di trattamento decentralizzati. Analisi delle soluzioni internazionali e l'approccio in Laguna di Venezia. 3-5 Ottobre 2007 Palazzo Franchetti, Venezia (Italia).
- Krozer Y., Hophmayer-Tokich S., van Meerendonk H., Tijssma S., Vos E.**, 2010. Innovations in the water chain – experiences in the Netherlands. *Journal of Cleaner Production* 18, 439-446.
- Kujawa-Roeleveld K., Zeeman G.**, 2006. Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts. *Reviews Environmental Science and Biotechnology* 5(1), 115-139.
- Lamichhane K.M.**, 2007. On-site sanitation: a viable alternative to modern wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* 55(1-2), 433-440.
- Larsen T.A., Gujer W.**, 1996. Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34 (3-4), 87-94.
- Larsen T.A., Lienert J., Joss A., Siegrist H.**, 2004. How to avoid pharmaceuticals in the aquatic environment. *Journal of Biotechnology* 113 (1-3), 295-304.
- Larsen T.A., Maurer M., Udert K.M., Lienert J.**, 2007. Nutrient cycles and resource management: implications for the choice of wastewater treatment technology. *Water Science and Technology* 56(5), 229-237.
- Larsen T.A., Alder A.C., Eggen R.I.L., Maurer M., Lienert J.**, 2009. Source separation: will we see a paradigm shift in wastewater handling? *Environmental Science and Technology* 43(16), 6121-6125.
- Lazarova V., Levine B., Sack J., Cirelli G., Jeffrey P., Muntau H., Salgot M., Brissaud F.**, 2001. Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science and Technology* 43(10), 25-33.
- Lazarova V., Hills S., Birks R.**, 2003. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology* 3 (4), 69-77.
- Lazarova V., Asano T.**, 2004. Challenges of sustainable irrigation with recycled water. In: Lazarova, V., Bahri, A. (Eds.), *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landshapes, and Turf Grass*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1-30.
- Li F., Wichmann K., Otterpohl R.**, 2010. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment* 407, 3439-3449.
- Libralato G., Avezù F.**, 2007. I sistemi decentralizzati in Italia. In: *Il monitoraggio della qualità delle acque con stazioni fisse e i sistemi di trattamento decentralizzati. Analisi delle soluzioni internazionali e l'approccio in Laguna di Venezia*, Magistrato alle Acque di Venezia, 3-4 ottobre 2007, Palazzo Franchetti, Venezia.
- Libralato G., Anselmi M., Avezù F.**, 2008. Criteri di scelta tra centralizzazione e i piccoli impianti decentralizzati. 36° Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale: La gestione dei piccoli impianti di depurazione – Piacenza 11 Aprile 2008.
- Lienert J., Larsen T.A.**, 2006. Considering user attitude in early development of environmentally friendly technology: a case study of NoMix toilets. *Environmental Science and Technology* 40 (16), 4838-4844.
- Lienert J., Burki T., Escher B.I.**, 2007a. Reducing micropollutants with source control: substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in faeces and urine. *Water Science and Technology* 56 (5), 87-96.
- Lienert J., Gudel K., Escher B.I.**, 2007b. Screening method for ecotoxicological hazard assessment of 42 pharmaceuticals considering human metabolism and excretory routes. *Environmental Science and Technology* 41 (12), 4471-4478.
- McCann B.**, 2010. Exploiting wastewater potential through nutrient recovery research. *Water21*, June 2010.
- Mann G.J., Liu Y.A.**, 1999. *Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization*. McGraw-Hill, New York.
- Massoud M.A., Tarhini A., Nasr J.A.**, 2009. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management* 90(1), 652-659.
- Maurer M., Rothenberger D., Larsen T.A.**, 2006. Decentralised wastewater treatment technologies from a National perspective: at what cost are they competitive? *Water Science and Technology: Water Supply* 5(6), 145-154.
- MAV, Magistrato alle Acque di Venezia**, 2007. *Venezia, una scelta obbligata. I trattamenti individuali di depurazione*. A cura di Ferrari G. e Tromellini E. Marsilio Ed., Venezia.
- Medilanski E., Chuan L., Mosler H.-J., Schertleib R., Larsen T.A.**, 2006. Wastewater management in Kunming, China: a stakeholder perspective on measures at the source. *Environ. Urban* 18 (2), 353-368.
- Nhapi I.**, 2004. A framework for the decentralised management of wastewater in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth* 29 (15-18), 1265-1273.
- Nhapi I., Hoko Z.A.**, 2004. A cleaner production approach to urban water management: potential for application in Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth* 29 (15-18), 1281-1289.
- Nelson K.L., Murray A.**, 2008. Sanitation for unserved populations: technologies, implementation

challenges and opportunities. *Annual Review of Environment and Resources* 33, 119-151.

Oldenburg M., Peter-Frohlich A., Diabacs C., Pawlowski L., Bonhomme A., 2007. EU demonstration project for separate discharge and treatment of urine, faeces and greywater – Part II: Cost comparison of different sanitation systems. *Water Science and Technology* 56 (5), 251-257.

Orth H., 2007. Centralised versus decentralised wastewater systems? *Water Science and Technology* 56(5), 259-266.

Otterpohl R., Braun U., Oldenburg M., 2003. Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas. *Water Science and Technology* 48(11-12), 23-32.

Pettygrove G.S., Asano T., 1985. *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: a Guidance Manual*. Lewis Publishers, Chelsea, MI.

Randall C.W., 2003. Changing needs for appropriate excreta disposal and small wastewater treatment methodologies or The future technology of small wastewater treatment systems. *Water Science & Technology* 48(11), 1-6.

Rauch W., Brockmann D., Peters I., Larsen T.A., Gujer W., 2003. Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production *Water Research* 37, 681-689.

Rocca A., 2010. Indagine sui consumi energetici negli impianti di depurazione delle acque reflue urbane. Tesi di Laurea Università degli Studi di Brescia Facoltà di Ingegneria Corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio. Relatore Prof. C. Collivignarelli.

Ronteltap M., Maurer M., Gujer W., 2007. The behaviour of pharmaceuticals and heavy metals during struvite precipitation in urine. *Water Research* 41, 1859-1868.

Tchobanoglous G., 2003. The strategic importance of decentralised wastewater management in the twenty-first century. *Proceedings IDA Conference on Water Reuse and Desalination, 25th-26th February, Singapore*.

Tchobanoglous G., Ruppe L., Leverenz H., Darby J., 2004. Decentralized wastewater management: challenges and opportunities for the twenty-first century. *Water Science and Technology: Water Supply* 4(1), 95-102.

Tidaker P., Sjoberg C., Jonsson H., 2007. Local recycling of plant nutrients from small-scale wastewater system to farmland – A Swedish scenario study. *Resources, Conservation and Recycling* 49, 388-405.

Tromellini E., 2008. Centralised control for Venice's decentralised wastewater treatment. *Water21*, August 2008.

UN, 2010. *The Millennium Development Goals Report 2010*. New York.

UNEP, 2002. *Environmentally sound technologies for wastewater and stormwater management – an international Source book*, IWA Publishing and UNEP – International Environmental Technology Centre, London and Osaka (<http://www.unep.or.jp>).

Yamagata H., Ogoshi M., Suzuki Y., Ozaki M., Asano T., 2002. On-site insight into reuse in Japan. *Water Science and Technology* 21(7), 26-28.

Van Lier J.B., Lettiga G., 1999. Appropriate technologies for effective management of industrial and domestic waste waters: the decentralised approach. *Water Science and Technology* 40(7), 171-183.

Weber B., Cornel P., Wagner M., 2007. Semi-centralised supply and treatment systems for (fast growing) urban areas. *Water Science and Technology* 55(1), 349-356.

Wilderer P.A., Schreff D., 2000. Decentralised and centralised wastewater management: a challenge for developers. *Water Science and Technology* 41(1), 1-8.

CURRICULA

Giovanni Libralato – Laureato in Scienze Ambientali nel 2003 presso la Facoltà di Scienze MM.FF.NN. dell'Università Ca' Foscari Venezia, ha conseguito nel 2007 il Dottorato di Ricerca Europeo in Scienze Ambientali. Ha collaborato con il Dipartimento di Scienze Ambientali in qualità di contrattista sin dal 2004, continuando poi nel triennio 2004-2007 come dottorando di ricerca e nel triennio 2008-2011 come assegnista di ricerca. Dall'A.A. 2009-2010 è professore a contratto presso il medesimo Dipartimento. È membro del comitato di revisione di alcune riviste scientifiche. Ha partecipato a numerosi convegni scientifici in Italia e all'estero sia in qualità di relatore sia di moderatore. Ha pubblicato numerosi lavori sia a livello nazionale sia internazionale. Si occupa di ecotossicologia e bioindicazione con particolare riferimento al monitoraggio dei processi di depurazione delle acque di scarico, in presenza anche di microinquinanti, e di bonifica di suoli contaminati. È membro della Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), della Società Italiana di Ecologia e del CISBA.

Francesco Avezzù – Laureato in Ingegneria Chimica presso l'Università di Padova e Professore Associato di Processi e Impianti Industriali Chimici nella Facoltà di Scienze MM.FF.NN. dell'Università Ca' Foscari Venezia. Svolge la sua attività presso il Dipartimento di Scienze Ambientali della medesima Università. Si occupa di problemi connessi alla trattabilità biologica di reflui industriali, di rimozione biologica di nutrienti, di tecnologie avanzate per i trattamenti biologici dei liquami e del comportamento di sostanze non biodegradabili nei processi di ossidazione a fanghi attivati. Ha svolto numerosi lavori sperimentali pubblicati su riviste italiane e straniere, e ha partecipato in qualità di relatore a numerosi convegni scientifici in Italia e all'estero.