

Riuso delle acque grigie in ambiente domestico: implicazioni per la sanità pubblica

A. Nusca*, E. Funari*, D. D'Alessandro**

Parole chiave: Acque grigie, acque piovane, rischi sanitari

Key words: Grey water, rain water, reuse, health risks

Summary

Grey water reuse in domestic environment: implications for public health

The Authors describe the main microbiological characteristics of gray and rain waters, the evidence of infections related to the reuse of such waters and the main Italian and international standards and guidelines in this regard. In light of the review, the authors conclude that the limits defined by the Italian regulations are very precautionary and should ensure a very low risk of bacterial and/or viral infection (<10.5 and 10.9 cases/year). It remains an open problem the risk of parasitic infections, for which the evidences to draw final conclusions are not sufficient yet.

Introduzione

L'acqua è una risorsa limitata e, come tale, deve essere protetta, difesa ed utilizzata in modo appropriato. Negli ultimi anni il consumo di acqua ha assunto proporzioni imponenti a causa dello sviluppo demografico, industriale ed agricolo, tanto da renderne improrogabile un uso sostenibile, basato anche sul recupero delle acque usate e sul controllo degli sprechi (68).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) (54) stima che entro i prossimi 50 anni più del 40% della popolazione mondiale vivrà in paesi con problemi di scarsità d'acqua.

La ricerca di possibili soluzioni ha fatto emergere due posizioni: una, più tecnologica, orientata verso lo sviluppo di schemi inter-regionali e la costruzione di serbatoi e nuove riserve; l'altra, più ecologica, indirizzata al miglioramento della gestione idrica, mediante la riduzione delle perdite, il controllo dei consumi domestici ed il riciclo delle acque grigie.

Il concetto di riciclo non è certo nuovo, trattandosi di una pratica molto diffusa nell'irrigazione agro-alimentare, soprattutto nei paesi con maggiore siccità. È stato stimato, che nel mondo più di 20 milioni di ettari di terreno agricolo vengano irrigati

* Dipartimento Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Istituto Superiore di Sanità, Roma

** Dipartimento di Architettura ed Urbanistica per l'Ingegneria, Sapienza Università di Roma

con acque reflue non diluite o parzialmente diluite (29). In Italia tale pratica interessa un'estensione > 4000 ha e si tratta di un fenomeno in crescita (4).

Oggi, grazie ai progressi tecnologici e ad un sensibile cambiamento culturale del pubblico e della classe dirigente, si nota una maggiore attenzione verso il recupero delle acque piovane e grigie, anche per scopi urbani ben definiti, per i quali non è necessario l'impiego di acque strettamente potabili. A titolo di esempio si citano l'innaffiamento e l'irrigazione di giardini e parchi, l'irrigazione di aree che circondano palazzi e strutture commerciali, l'alimentazione di fontane e laghetti decorativi, il lavaggio di auto e lo spegnimento di incendi, ma anche il flusso di lavaggio delle toilette ed, a proposito di quest'ultimo, vale la pena ricordare che tale pratica – da sola – potrebbe contribuire a ridurre il consumo di acqua potabile di circa il 33% (26).

Giappone, USA, ed Australia rientrano tra i paesi sviluppati maggiormente impegnati nel recupero delle acque grigie, seguiti da Canada, Regno Unito, Germania e Svezia (26).

In Giappone, la domanda di riuso è condizionata soprattutto dall'alta densità abitativa; per far fronte a questo problema, Tokyo utilizza l'acqua grigia raccolta da uffici, complessi residenziali, edifici pubblici; tale acqua, dopo un idoneo trattamento, viene usata per il flusso di lavaggio delle toilette. In questo paese, già nel 1996, circa il 10% degli impianti di trattamento procurava effluenti di riuso e ogni anno venivano riutilizzati circa $8,5 \times 10^7$ m³ di acqua, seguendo trattamenti avanzati (49). Nel 2006, nella sola città di Tokyo, la percentuale di acque reflue riutilizzate ha raggiunto il 9% (76).

Riutilizzare l'acqua implica un cambiamento di stile di vita, soprattutto se ne viene contenuto il ruolo di veicolo dei rifiuti domestici. Studi svolti in alcuni paesi europei (es.: Inghilterra) evidenziano che, a livello domestico, si pone poca attenzione a ridurre

gli sprechi. A Zurigo, ad esempio, vengono consumati 450 L/persona/giorno, a Copenaghen, 250 L/persona/giorno (26) ed in Italia il consumo medio si attesta intorno ai 270 L/persona/giorno, con un'ampia variabilità tra le diverse regioni (40). Per contrastare tale fenomeno, è stato suggerito di ridurre il consumo di acqua potabile a 36/L persona al giorno ed il riuso delle acque grigie e delle acque piovane dovrebbe dare un notevole aiuto in questa direzione (34).

In Italia, l'acqua depurata, tranne pochissimi casi di riutilizzo industriale ed il già citato uso irriguo, viene re-immessa nelle acque superficiali o in mare (75) e ciò è in netto contrasto con gli indirizzi normativi nazionali e regionali.

Una strategia alternativa per il riuso delle acque urbane potrebbe essere la gestione decentralizzata, che prevede la raccolta ed il trattamento della frazione solida a livello locale su piccola scala, ma permette di trasportare la frazione liquida anche a distanza, in una sede centralizzata, per ulteriori trattamenti e riusi. Gli impianti decentralizzati di riuso dell'acqua possono essere progettati per case singole o gruppi di case e per strutture commerciali e pubbliche (66, 68). Si tratta di soluzioni certamente più flessibili ed interessanti dal punto di vista della sostenibilità, che richiedono però un'attenta valutazione sanitaria, soprattutto nei casi in cui l'acqua venga riciclata localmente o stoccata prima del riutilizzo.

Nonostante la propensione verso l'applicazione di queste nuove soluzioni, nell'ambito della sanità pubblica sussistono ancora alcune perplessità riguardo la sicurezza sanitaria associata al riuso delle acque.

Pur essendo disponibili in letteratura numerose eccellenti revisioni sui problemi sanitari, ambientali e sociali legati all'uso di acque reflue esse sono principalmente orientate al riuso in agricoltura, trattandosi di una delle pratiche più antiche e diffuse (36).

Il presente contributo intende invece porre l'accento sui problemi connessi al riuso

delle acque reflue (grigie e piovane) a livello domestico. In quest'ottica è nata l'esigenza di fare il punto su quanto noto riguardo le caratteristiche delle acque grigie e piovane, in termini di qualità microbiologica, al fine di comprenderne il potenziale rischio e trarre alcune conclusioni in merito alle garanzie offerte dalle norme e raccomandazioni vigenti in materia.

È stato esaminato soltanto il rischio correlato alla presenza di microrganismi patogeni in quanto rappresenta la principale preoccupazione in questo specifico contesto (54).

Caratteristiche microbiologiche delle acque reflue urbane

Le acque reflue urbane sono acque non più idonee ad un utilizzo diretto perché hanno perduto le caratteristiche qualitative originarie. Il DLgs 152/99 (18) considera acque reflue urbane "... le acque reflue domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali, ovvero meteoriche di dilavamento ...". Le acque reflue urbane vengono classificate in *grigie*, *nere* e *piovane*.

1. Acque grigie

L'*acqua grigia* è un'acqua reflua che deriva da diverse attività domestiche, caratterizzata da un basso contenuto di inquinanti fecali (54). Costituisce il 50-80% delle acque reflue domestiche e, grazie al basso livello di patogeni ed azoto, sta ricevendo un'attenzione sempre maggiore per il riuso ed il riciclo (21, 28, 48). Le abitudini di vita delle persone, i prodotti usati e la natura dell'impianto le conferiscono caratteristiche altamente variabili (22). Dati di letteratura hanno riportato che nei paesi sviluppati il volume di acqua grigia prodotta varia da 90 a 120 l/persona/giorno mentre, nei paesi a basso reddito, con penuria d'acqua e con riserve scarsamente efficienti, è pari a circa 20-30 l/persona/giorno (51).

Le acque grigie sono ulteriormente suddivise in acque chiare e scure. Le prime provengono dalla vasca, dal lavabo e dalla doccia; le seconde scorrono dal lavello della cucina, dalla lavastoviglie e dalla lavatrice ed il carico d'inquinamento mostra concentrazioni più elevate di sostanza organica ed inquinanti chimici, rispetto a quelle del bagno (27, 41).

I due tipi di acque grigie (chiare e scure), rispetto alle acque nere, mostrano una buona biodegradabilità in termini di rapporto COD/BOD₅ (47); infatti le acque grigie del bagno sono povere di azoto e fosforo a causa del basso contenuto di urine e feci. È stato stimato che il carico fecale medio in queste acque è di 0,04 g/persona/giorno (56).

In un recente lavoro, Winward (70) riporta che i valori di COD per le acque grigie scure (lavandino della cucina, lavastoviglie) variano da 361 a 1815 mg/L mentre, per quelle chiare (doccia, vasca, lavabo), sono compresi tra 100 a 645 mg/L. Anche la concentrazione degli indicatori batterici risulta diversa: nelle acque grigie chiare i coliformi fecali variano da 10 a 5×10^5 ufc/100 mL (11, 14, 21, 52), mentre nelle acque grigio-scure della cucina da $6,3 \times 10^4$ a $1,2 \times 10^6$ ufc/100 mL (27).

Nelle acque grigie chiare si isolano soprattutto i patogeni che colonizzano la superficie del corpo e delle mucose, mentre nelle scure sono stati rilevati anche patogeni enterici, come *Salmonella* e *Campylobacter*, provenienti dal lavaggio della carne e dei vegetali (6, 15, 60). A fronte di una buona disponibilità di dati sui batteri indicatori, si rileva una carenza in merito ai patogeni. Tuttavia, in campioni prelevati dai flussi del lavabo, alcuni autori hanno isolato *P. aeruginosa* e *S. aureus* (31) ed i sierotipi dal 2 al 14 di *L. pneumophila*; non è stato invece rilevato il sierotipo 1, maggiormente associato alla patologia respiratoria (7).

Giardia e *Cryptosporidium* sono stati isolati soprattutto da flussi della doccia e dei lavabi (7, 8). Nella tabella 1 sono riportate le concentrazioni rilevate.

2. Le acque nere

Sono acque che derivano dai flussi della toilette e, pertanto, pesantemente inquinate dalla massa fecale. La media dei valori del COD è >1000 mg/L e la media dei valori dei TSS (solidi sospesi totali) è di circa 550 mg/L (2).

I dati analitici sulle concentrazioni di batteri indicatori e patogeni specifici su campioni direttamente prelevati da acque nere sono scarsi (70). In generale, la concentrazione di microrganismi presenti nelle acque reflue non trattate, può essere ritenuta una buona approssimazione della qualità microbiologica delle acque nere.

I dati di letteratura relativi ad acque reflue non trattate documentano: un'alta concentrazione di batteri indicatori, patogeni enterici ed opportunisti, con livelli di coliformi totali pari a 4×10^7 ufc/100 mL e di enterococchi pari a 2×10^6 ufc/100 mL (42), concentrazioni medie di *Cryptosporidium*, *Giardia* ed enterovirus, rispettivamente di 4-15 oocisti/L, 40-130 cisti/L, 10^2 - 10^6 ufp/L (32, 55, 58, 59) e concentrazioni di *Salmonella spp.* di 10^2 ufc/100 mL (39) e di *P. aeruginosa* di 10^5 ufc/100 mL (39).

A differenza delle acque nere, le acque reflue sono generalmente diluite dalle acque piovane provenienti dal dilavamento delle varie zone urbane (strade, marciapiedi, ecc.) e presentano, pertanto, cariche microbiche più basse.

3. Le acque piovane

La raccolta ed il riuso delle acque piovane è una pratica molto diffusa a livello mondiale ed in alcune aree tali acque vengono utilizzate come sorgente di acqua potabile da sempre (70).

L'acqua piovana, recuperata dai tetti, può essere immessa e conservata in serbatoi idonei all'uso e qualitativamente è migliore dell'acqua grigia (70), anche se le sue caratteristiche microbiologiche sono fortemente influenzate da diversi fattori ambientali. Ad esempio, l'accesso alle superfici di raccol-

ta da parte di uccelli, piccoli mammiferi e insetti può rendersi responsabile di una contaminazione fecale (70).

Anche il materiale utilizzato per la costruzione delle cisterne, nelle quali vengono raccolte le acque piovane, influisce sulla qualità dell'acqua raccolta: Hollander et al (38) hanno rilevato una concentrazione batterica più bassa da campioni d'acqua piovana prelevati da cisterne di materiale plastico, rispetto a cisterne di calcestruzzo e mattoni.

Nelle acque piovane è stato isolato *P. aeruginosa* (38), ma anche patogeni veicolati dall'aria quali *Mycobacterium spp.* (67). Solitamente, la concentrazione di coliformi totali raggiunge valori fino a 2×10^4 ufc/100 mL; tuttavia il massimo valore di concentrazione di coliformi totali e fecali è inferiore ai valori registrati nelle acque grigie e reflue trattate.

È frequente il riscontro di *E. coli* (61) nonché di coliformi fecali ed enterococchi (50).

È stata inoltre documentata la presenza di patogeni quali *Campylobacter* (1, 64), *Salmonella spp.* (38, 64), *P. aeruginosa* (38), *Micobacterium spp.* (1, 67), *Aeromonas spp.* (64) e *L. pneumophila* (62) e sono stati riportati casi di diarrea da *Campylobacter spp.*, a seguito dell'ingestione di acqua piovana contenuta in cisterne, a scopo potabile (20).

Cryptosporidium e *Giardia* sono stati isolati a concentrazioni fino a 5 oocisti/cisti/L (64).

Rischio sanitario

Da quanto fin qui descritto si evince che le acque grigie e piovane presentano livelli di contaminazione inferiori a quelli dei reflui domestici, ma variabili (12, 27, 56), mostrando anche concentrazioni di patogeni $>10^5$ ufc/100mL (26). Pertanto, se inadeguatamente trattate o disinfettate, tali acque possono comportare un reale rischio infettivo

da batteri, virus e protozoi, per ingestione, inalazione o contatto (25, 33, 72, 73).

Studi epidemiologici e tecniche di modellizzazione probabilistica nota come “quantitative microbial risk assessment” (QMRA) sono stati applicati per quantificare il rischio legato all’uso delle acque reflue, in agricoltura è per definire le strategie di depurazione più appropriate (36).

Attività che producono aerosol come, ad esempio, il lavaggio di auto e l’irrigazione di orti e giardini, possono veicolare nell’aria *P. aeruginosa* spp. (23), *S. aureus* spp. (69), *L. pneumophila* (3) e *Micobacterium* non tubercolare (24), responsabili di malattie respiratorie. Durante il flusso di lavaggio della toilette con riciclo di acqua non potabile, si

forma un aerosol, le cui particelle, contenenti materiale fecale, possono depositarsi sulle superfici circostanti ed anche essere inalate (5, 30, 34).

Come già descritto in precedenza, gli agenti infettivi più spesso ricercati nelle acque grigie sono *Salmonella* spp, *Campylobacter* spp., *E. coli* e protozoi (*Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp.) (8, 12), anche se la presenza di altri agenti infettivi quali *Shigella* spp, *Norovirus*, *Rotavirus* (70) ed *Entamoeba* (43, 70) non può essere esclusa.

I dati riportati nella Tabella 1 mostrano un’ampia variabilità nelle cariche riscontrate e nei patogeni isolati. Oltre a dipendere dalle caratteristiche di base dell’acqua, la variabilità dipende dallo stato di salute della

Tabella 1 – Microrganismi patogeni isolati da acque grigie e piovane (da Winward 2007 (70), modificata)

Batteri	Tipo acqua reflua urbana	Concentrazione ufc/100 ml	Riferimento bibliografico
<i>Aeromonas</i> spp.	Acqua piovana	$<10^4$ - 3×10^4	Albrechsten (2002) (1)
<i>P. aeruginosa</i>	Acqua grigia	$1,99 \times 10^4$	Casanova et al. (2001b) (12)
	Acqua grigia	$3,16 \times 10^3$	Gilboa and Friedler (2007) (31)
	Acqua piovana	<1 -20	Albrechsten (2002) (1)
	Acqua piovana	80	Hollander et al. (1996) (38)
	Acqua piovana	4-30	May and Prado (2006) (50)
<i>E. coli</i>	Acqua grigia	0 - $2,4 \times 10^6$	Birks et al. (2004) (7)
		4 - 1×10^3	Albrechsten (2002) (1)
		2×10^3	Jefferson et al (2004) (42)
		10 - $1,5 \times 10^3$	Birks et al. (2007) (8)
<i>S. aureus</i>	Acqua grigia	10^4	Gilboa and Friedler (2007) (31)
<i>L. pneumophila</i>	Acqua grigia	$1,5 \times 10^2$ - $7,5 \times 10^2$	Birks et al. (2004) (7)
Protozoi	Tipo di acqua	Concentrazione oocisti/cisti/L	Riferimento
<i>Cryptosporidium</i> spp.	Acqua grigia	0-1,2	Birks et al. (2004) (7)
	Acqua piovana	N.D.-50	Albrechsten (2002) (1)
	Acqua piovana	0,01-0,04	Crabtree et al. (1996) (16)
<i>Giardia</i> spp	Acqua grigia	-	Albrechsten (2002) (1)
	Acqua grigia	0,6-1,2	Birks et al. (2004) (7)
	Acqua piovana	0,5-1,5	Birks and Hills (2007) (8)
	Acqua piovana	0,2	Birks et al. (2004) (7)
		0,01-0,15	Crabtree et al. (1996) (16)

N.D. = non determinato

popolazione (36), ma è anche condizionata dalla disponibilità di nutrienti provenienti dai residui di materiale organico che, durante la fase di stoccaggio dell'acqua, contribuiscono alla formazione di biofilm ed alla crescita dei microrganismi (57, 63).

Alcuni batteri come *Salmonella spp* e *Campylobacter spp*, non sembrano in grado di moltiplicarsi in acque grigie (56, 57, 63); la competizione sembra essere la ragione della mancata moltiplicazione per *Salmonella spp.*, mentre *Campylobacter spp.* si ritroverebbe in uno stato vitale ma non coltivabile (VBNC) (56).

Per quanto riguarda i patogeni virali, uno studio effettuato sulla sopravvivenza di poliovirus, quale rappresentante dei virus enterici, mostra un decremento della carica virale dopo 48 ore dalla semina, ma la sua sopravvivenza in acque grigie stoccate si osserva anche a distanza di 8 giorni, soprattutto a temperature intorno ai 17°. Considerando la bassa dose infettiva dei poliovirus, tale sopravvivenza – secondo alcuni autori (57) – dovrebbe destare preoccupazione, per diverse ragioni: i virus enterici vengono spesso rilevati a concentrazioni elevate negli scarichi; nei paesi sviluppati sono spesso responsabili di patologie infettive causate dal consumo di acque contaminate; mostrano una maggiore resistenza dei batteri ad alcuni processi di trattamento, comunemente usati (es.: filtrazione, disinfezione con ipocloruri, ecc.) (32).

Ad ogni modo, nel correlare le concentrazioni dei vari microrganismi patogeni con il rischio sanitario è necessario tenere conto delle rispettive dosi infettive. Si stima che per indurre un'infezione siano sufficienti 10-100 particelle virali per *Norovirus*, *Rotavirus* e *Poliovirus* (45); 10-100 microrganismi di *E. coli O157* e *Campylobacter spp.* (5, 13, 35, 45, 65); 10 microrganismi di *Shigella spp.* (17); 1 cisti di *Entamoeba* (43) e 1-10 oocisti di *Cryptosporidium spp.* (53).

La dose infettante di *Salmonella spp.* dipende dal sierotipo; in indagini effettuate

su volontari sani questa dose oscilla da 10^5 a 10^{10} . Considerando che, in media, le concentrazioni riscontrate nelle acque grigie e piovane risultano notevolmente inferiori a tali valori, si ritiene improbabile che tale microrganismo possa causare patologie severe a seguito delle diverse esposizioni a queste acque, fatta eccezione per l'uso di acque grigie – non trattate – per irrigare colture agro-alimentari. Infatti tale pratica richiede elevati volumi di acqua per la coltivazione ed il rischio è legato al consumo dei vegetali così prodotti, consumati crudi (43, 70).

Anche per *P. aeruginosa* la dose infettante richiesta per produrre una gastroenterite nella popolazione immunocompetente è di circa 10^9 (10), livello difficilmente raggiungibile considerando le cariche osservate nelle acque grigie. Resta aperto il problema delle infezioni cutanee determinate da detto microrganismo, ma nelle modalità di riuso ipotizzate per le acque grigie, tale rischio non dovrebbe sussistere o essere molto contenuto.

La dose infettante di *Legionella spp* non è nota e dipende dall'aggressività del ceppo, anche se è sufficiente una dose molto bassa per indurre l'infezione in una popolazione suscettibile (es.: anziani, immunodepressi, broncopneumopatici cronici, ecc.) (74). Considerando che, nelle acque grigie, è stata rilevata la presenza di ceppi non virulenti (7, 8), è opportuno considerare la potenzialità del rischio. Osservazioni simili valgono per *Aeromonas spp*, in quanto, i primi casi di diarrea segnalati in letteratura, si sono manifestati a dosi $>10^4$ (71).

Per quanto riguarda *S. aureus*, la dose infettante richiesta per produrre un sufficiente quantitativo di enterotossina stafilococcica (ES) negli alimenti è di circa 10^5 cellule per grammo di alimento; pertanto le cariche documentate nei diversi studi sulle acque di riuso sembrano rassicuranti. Com'è noto anche questo microrganismo può rendersi responsabile d'infezioni cutanee, ma valgono le osservazioni già riportate per *P. aeruginosa*.

Rispetto a quanto finora osservato, sembra necessario porre maggiore attenzione al rischio da protozoi (9). Infatti, alcuni studi hanno documentato che le cisti e le oocisti non sono sempre rimosse in modo efficace dai sistemi di trattamento delle acque reflue (9) e le concentrazioni riportate sono compatibili con un rischio infettivo.

Anche la presenza virale deve essere oggetto di una maggiore attenzione, sia in caso di uso irriguo delle acque, sia nelle attività che producono aerosol (32).

Linee Guida dell'Organizzazione mondiale della Sanità

Le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) del 2006 (54) sono state diffusamente utilizzate come modello in materia. Considerando l'ampia diffusione a livello mondiale del riuso irriguo delle acque reflue in agricoltura, nonché il potenziale rischio correlato, le linee guida focalizzano l'attenzione soprattutto su questa pratica e prevedono due tipi di acque di riuso:

- acque per irrigazione *non ristretta*
- acque per irrigazione *ristretta*.

Con il termine *non ristretta* si intende un'irrigazione destinata ad ambiti che possono avere un importante impatto sanitario, come, ad esempio, colture di vegetali da consumare crudi, oppure aree verdi aperte al pubblico. Per tali irrigazioni sono richieste acque con maggiori livelli di qualità (concentrazioni di *E. coli* $\leq 10^3$ ufc/100 mL), ottenibili mediante trattamenti di grado più elevato (es.: trattamento secondario e disinfezione). L'OMS ritiene accettabile tale concentrazione che si associa ad una probabilità di contrarre infezioni batteriche e/o virale, pari a circa 10^{-5} e 10^{-9} casi/anno (9).

Il termine *ristretta* si riferisce invece all'irrigazione di colture non destinate al pubblico (es.: colture di foraggio), per le

quali può essere accettabile una carica di *E. coli* più elevata, pari a 10^5 ufc/100 mL.

Per entrambe le tipologie di acque, l'OMS ha stabilito un limite pari a ≤ 1 uovo/L per le uova di nematodi, anche se tale limite non si è rivelato sufficientemente cautelativo in alcune circostanze, come dimostrano i casi di parassitosi da *Ascaris* verificatisi in bambini che avevano consumato granturco irrigato con acque contenenti concentrazioni anche inferiori ad 1 uovo/L (8). Alla luce di questi ed altri studi è stato proposto di adottare un limite più restrittivo ($\leq 0,1$ uova/L) (9).

Normativa internazionale e nazionale

In diversi paesi sono state elaborate norme specifiche in tema di riuso delle acque reflue. L'approccio più seguito nelle norme è di tipo prestazionale, si riferisce cioè ad obiettivi di qualità, senza specificare tuttavia le modalità per raggiungerli (Tabella 2).

Analizzando le norme dei diversi paesi si osserva una certa variabilità, sia in termini di parametri che di livelli di contaminazione previsti.

Negli Stati Uniti, ad esempio, la pratica del riutilizzo delle acque è in atto da molti anni, soprattutto nelle aree del sud caratterizzate da un elevato grado di siccità (es: California e Texas). La California è stata per lungo tempo un punto di riferimento internazionale, avendo definito dettagliate indicazioni a seconda della destinazione d'uso dell'acqua. Le linee guida prodotte dall'EPA (68), aggiornate al settembre del 2004, non rappresentano norme federali obbligatorie, ma raccolgono le norme definite dagli Stati più orientati alla promozione del riuso. In generale tutti gli Stati degli USA richiedono, prima dell'uso non ristretto, un minimo di trattamento secondario o biologico seguito dalla disinfezione, con limiti per i microrganismi patogeni; solo la Florida richiede anche il controllo per *Giardia* e *Cryptosporidium*, con frequenze variabili a

seconda delle dimensioni dell'impianto (68). I trattamenti richiesti per la bonifica delle acque reflue ad uso ristretto sono generalmente di grado inferiore rispetto a quelli che si effettuano per la bonifica delle acque reflue ad uso non ristretto. Tuttavia tali trattamenti variano da stato a stato, a seconda del giudizio dell'autorità locale competente (68).

In Germania sono stati definiti limiti per coliformi totali e *P. aeruginosa* (48). Una recente revisione delle linee guida propone anche il controllo dei coliformi fecali (47). La Cina ha definito limiti per i coliformi totali e fecali, mentre in Giappone soltanto per i coliformi totali (47).

In Italia, il DLgs 152/06 prevede il riuso irriguo, civile, industriale delle acque reflue. Per i parametri microbiologici è stabilito un valore limite di *E. coli* pari a 10 ufc/100 mL, da riferirsi all'80% dei campioni, con un valore massimo di 100 ufc/100 mL. Per

l'uso irriguo è previsto un valore massimo di 1000 ufc/100 mL in un numero limitato di campioni, a condizione che, nelle aree interessate, non si riscontrino, nel tempo, un incremento di casi di patologie riconducibili a contaminazione fecale. Si tratta quindi di limiti ancora più cautelativi di quelli raccomandati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità per le acque da utilizzare per l'irrigazione non ristretta. Il DLgs 152/06 (19) prevede, inoltre, il controllo del parametro *Salmonella spp.*, che deve essere assente nel 100% dei campioni. Non è invece prevista la ricerca di protozoi, né si fa cenno alla ricerca di virus enterici. Per questi ultimi può essere implicata la mancanza di metodi standard di rilevamento (32).

Nella tabella 2 sono riportati i limiti di accettabilità per il riuso di acque reflue urbane di alcuni Paesi, con l'indicazione sulle possibili applicazioni.

Tabella 2 - Standard microbiologici per il riuso delle acque reflue urbane dopo trattamento

Standard e linee guida delle acque di riuso	Applicazione acqua di riuso	Parametri microbiologici ufc /100 ml
California USEPA (2004)	Irrigazione terreno, parchi, flusso toilette, protezione incendio	Coliformi fecali NR Patogeni ND Coliformi totali 2,2 (media) 23 (max in 30 g)
Germania (Nolde 1999)	Flusso di toilette	Coliformi Totali <10 ⁴ Coliformi fecali < 10 ³ <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <10 ²
Italia DLgs 152/2006 (obiettivo prestazionale)	Irriguo, civile, industriale (art.3)	<i>E. coli</i> 10 (80% dei campioni) 100 (valore massimo) Salmonella assente
Cina (Ernest 2006)	Flusso toilette Uso irriguo, altri scopi di lavaggio	Coliformi totali N.D. Coliformi fecali < 3
Giappone (Maeda et al.1996)	Flusso toilette Irrigazione aree verdi Irrigazione di aree in cui l'accesso al pubblico è limitato o proibito Estetica ambientale	Coliformi totali ≤ 5 × 10 ³ Coliformi totali ≤ 10 ⁵ Coliformi totali ≤ 5 × 10 ³ Coliformi totali ≤ 10 ⁵

Conclusioni

Mentre il risparmio dell'acqua potabile è un imperativo per le zone aride, per le aree a clima freddo e temperato sta diventando un'esigenza crescente e molti Paesi, Italia inclusa, sono impegnati nella ricerca di soluzioni per ridimensionare gli sprechi ed ottimizzare i consumi.

È stato documentato che circa il 70% delle acque in uscita dagli edifici è scaricata come acqua grigia ed il 30% come acqua nera (31, 44, 59); ciò indica che l'acqua grigia può fornire una quantità sufficiente, almeno per il flusso della toilette e ciò ridurrebbe il consumo di acqua potabile circa il 33% (26). Anche l'utilizzo per il lavaggio di auto, per l'irrigazione di aree verdi, giardini, parchi, di campi sportivi, per scopi decorativi e per l'uso in aree cimiteriali ecc., porterebbe ad un notevole risparmio, ad una produzione *in situ* ed alla disponibilità immediata in quantità sufficienti.

Anche se la carica microbica, rispetto alle acque nere, è molto più bassa, l'acqua grigia deve essere sottoposta ad un efficace trattamento, in grado di abbattere la concentrazione dei microrganismi, in particolar modo dei patogeni. Resa meno pericolosa, quest'acqua può essere usata per le attività sopraccitate, che non richiedono livelli di qualità sovrapponibili alle acque destinate al consumo umano. Ciò vale anche per le acque piovane, ponendo particolare attenzione alla fase di accumulo e stoccaggio. Infatti, una volta recuperate e trattate, devono essere protette e controllate per ridurre la possibilità di ricontaminazione (56, 59, 63).

Numerose ricerche sono state svolte sul trattamento di tali acque: le tecnologie disponibili sono differenti per livello di complessità e prestazione. È ovvio che la depurazione comporta un costo, ma l'esperienza, maturata in paesi che applicano da diverso tempo tale pratica, incoraggia verso questa direzione. Infatti, sebbene l'uso di

acque grigie e piovane in ambito domestico esponga ad un potenziale rischio infettivo, i casi di infezione ed epidemie, ad oggi documentati, sono scarsi ed il rispetto dei limiti previsti dalla normativa italiana si associa ad un livello di probabilità di contrarre infezioni batteriche e/o virale molto basso ed inferiore a 10^{-5} e 10^{-9} casi/anno (9).

Rimane aperto il problema delle infezioni parassitarie, per le quali non si dispone di evidenze in merito ad infezioni attribuibili all'uso di acque reflue con queste caratteristiche (9).

Si raccomanda, pertanto: un'attenta sorveglianza ambientale ed epidemiologica, ponendo una particolare attenzione ai virus enterici ed ai protozoi; la ricerca di soluzioni tecniche di depurazione, di grande e piccola scala, sempre più sostenibili ed efficaci nel tempo; la sensibilizzazione della popolazione ad un uso consapevole e sostenibile delle risorse idriche.

Riassunto

Gli Autori descrivono le principali caratteristiche microbiologiche delle acque grigie e piovane, le evidenze di rischio infettivo associato al riuso di tali acque e le principali norme e linee guida italiane e straniere in proposito. Alla luce di quanto evidenziato dalla revisione, gli Autori concludono che i limiti previsti dalle norme italiane sono molto cautelativi e dovrebbero assicurare un rischio di infezione batterica e/o virale molto basso ($<10^{-5}$ e 10^{-9} casi/anno). Rimane aperto il problema del rischio di infezioni parassitarie, per le quali non si dispone ancora di sufficienti evidenze per trarre conclusioni definitive.

Bibliografia

1. Albrechten HJ. Microbiological investigations of rainwater and gray water collected for toilet flushing. *Water Sci Technol* 2002; **46**(6-7): 311-6.
2. Almeida MC Butler, Friedler E. At-source domestic wastewater quality. *Urban* 1999; (1): 49-55.
3. Atlas RM Legionella: from environmental habitats to disease pathology, detection and control. *Environ Microbio* 1999; **1**(4): 283-93.

4. Barbagallo S, Cirelli GL, Indelicato S. Wastewater reuse in Italy. *Water Sci Technol* 2001; **43**: 43-50.
5. Barker J, Jones MV. The potential spread of infection caused by aerosol contamination of surfaces after flushing a domestic toilet. *J Appl Microbiol* 2005; **99**: 339-47.
6. Beuchat LR. Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. *Microbes Infect* 2002; **4**(4): 413-23.
7. Birks R, Colbourne J, Hills S, et al. Microbiological water quality in a large in-building, water recycling facility. *Water Sci Technol* 2004; **50**(2): 165-72.
8. Birks R, Hills S. Characterisation of indicator organisms and pathogens in domestic grey water for recycling. *Environ Monit Assess* 2007; **129**: 61-9.
9. Blumental UJ, Peasey A, Ruiz-Palacios G, Mara D. Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. WELL Study 2000, Task No: 68 Part 1.
10. Bonadonna L, Ottaviani M. Metodi analitici di riferimento per le acque destinate al consumo umano ai sensi del DL.vo 31/2001. Metodi Microbiologici. Roma, ISS, 2005 (Rapporti Istituzionali; 07/5).
11. Casanova LM, Gerba CP, Karpisak M. Chemical and microbial characterization of household gray. *J Environ Sci Health A-Toxic Hazard Subst Environ Eng* 2001; **36**(4): 395-401.
12. Casanova LM, Little V, Frye RJ, et al. A survey of the microbial quality of recycled household graywater. *J Am Water Resources Assoc* 2001; **37**(5): 1313-9.
13. Caul EO. Small round structured viruses-airborne transmission and hospital control. *Lancet* 1994; **343**: 1240-1.
14. Christova-Boal D, Eden RE, Mc Farlane S. An investigation into grey water reuse for urban residential properties. *Desalination* 1996; **106**: 391-7.
15. Cogan TA, Bloomfield SF, Humphrey TJ. The effectiveness of hygiene procedure for prevention of cross-contamination from chicken carcasses in the domestic kitchen. *Lett Appl Microbiol* 1999; **29**: 354-8.
16. Crabtree KD, Ruskin RH, Shaw SB, et al. The detection of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in cistern water in the U.S. virgin islands. *Water Res* 1996; **30**(1): 208-16.
17. Crockett CS, Haas CN, Fazil A, et al. Prevalence of shigellosis in the US: consistency with dose-response information. *Int J Food Microbiol* 1996; **30**(1-2): 87-9.
18. Decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152. Testo aggiornato del decreto legislativo 11 maggio 1999 n.152, recante: "Disposizioni sulla tutela delle acque d'inquinamento e recepimento della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole", a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 258. GURI n. 246 del 20 ottobre 2000 (Suppl Ord n. 172).
19. Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale. GURI n. 88 del 14 aprile 2006 (Suppl Ord n. 96).
20. Eberath-Philips J, Walker N, Garrett N, et al. Campylobacteriosis in New Zealand: results of the of case-control study. *J Epidemiol Community Health* 1997; **51**: 686-91.
21. Eriksson E, Auffarth K, Eilersen A-M, et al. Household chemicals and personal care products as sources for xenobiotic organic compounds in grey wastewater. *Water SA* 2003; **29**(2): 135-46.
22. Eriksson E. Potential and problems related to reuse of water in households. Ph. D. Thesis. Environment and Resources DTU, Technical University of Denmark, 2002.
23. Evans SA, Turner SM, Bosch BJ, Hardy CC et al. Lung function in bronchiectasis: in the influence *Pseudomonas aeruginosa*. *Eur Resp J* 1996; **9**(8): 1601-4.
24. Falkinham JO. Mycobacterial aerosols and respiratory disease. *Emerg Infect Dis* 2003; **9**(7): 763-7.
25. Fannin KF, Vana SC, Jakubowski W. Effect of an activated sludge wastewater treatment plant on ambient air densities of aerosols containing bacteria and viruses. *Appl Environ Microbiol* 1985; **49**(5): 1191-6.
26. Fewkes A. The water saving potential of domestic grey water reuse systems, presented at Management and Protection of the Biosphere, proceedings of the International Conference on Sustainable Economic Development and Sound Regional Resources Management. Uzbekistan, Tashkent State University, 3-5 October 2001: 6.
27. Friedler E. Quality of individual domestic grey water streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. *Environ Technol* 2004; **25**(9): 997-1008.
28. Friedler E, Hadari M. Economic feasibility of on-site grey water reuse in multi-storey buildings. *Desalination* 2006; **190** (1-3): 221-34.
29. Future Harvest. Wastewater irrigation. Economic necessity to threat to health and environment? Washington, DC: Future Harvest, 2001.

30. Gerba CP, Wallis C, Melnick JL. Microbiological hazards of household toilets: droplet production and fate of residual and the fate of residual organisms. *Appl Environ Microbiol* 1975; **30**(2): 229-37.
31. Gilboa Y, Friedler E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: kinetics, survival and re-growth of selected microorganisms. *Water Res* 2008; **42**(10): 1043-50.
32. Gilli G. Professione igienista. Manuale dell'igiene ambientale e territoriale. Milano: Ambrosiana Ed, 2010.
33. Goldmann DA. Transmission of viral respiratory infections in the home. *Pediatr Infect Dis J* 2000; **19**(10): S97-102.
34. Goodland R, Rockefeller A. What is environmental sustainability in sanitation? UNEP-IETC Newsletter, Summer ed., 1996.
35. Griffin PM, Bell BP, Cieslak PR, et al. Large outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections in the Western United States: the big picture. In: Karmali MA, Goglio AG, eds. Recent advances in verocytotoxin producing *Escherichia coli* infectious. Amsterdam: Elsevier, 1994: 7-12.
36. Hamilton AJ, Stagnitti F, Xiong X, et al. Wastewater irrigation: the state of play. *Vadose Zone J* 2007; **6**: 823-40.
37. Hart CA, and Cunliffe NA. Viral gastroenteritis. *Curr Opin Infect Dis* 1999; **12**: 447-57.
38. Hollander R, Bullermann M, Gross C, et al. [Microbiological and hygienic aspects of the use rain water as process water for toilet flushing, garden irrigation and laundering] *Gesundheitswesen* 1996; **58** (5): 288-93 [Articolo in tedesco].
39. Howard I, Espegares E, Lardelli P, et al. Evaluation of microbiological and physicochemical indicators for wastewater treatment. *Environ Toxicol* 2004; **19**(3): 241-9.
40. Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). Ambiente e Territorio. Statistiche in breve. La distribuzione dell'acqua potabile in Italia Anno 1999; 10 luglio 2003.
41. Jefferson B, Palmer A, Jeffrey P, et al. Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of the technologies for urban reuse. *Water Sci Technol* 2004; **50**(2): 157-64.
42. Kay D, Crowther J, Stapleton CM, et al. Faecal indicator organism concentrations in sewage and treated effluents. *Water Res* 2008; **42**(1-2): 442-54.
43. Kothary MH, Babu US. Infective dose of foodborne pathogens in volunteers: a review *J Food Safety* 2001; **21**: 49-73.
44. Lazarova V, Hills S, Birls R. Using recycled water for non-potable, urban uses a review with particular reference to toilet flushing. *Water Sci Technol Water Supply* 2003; **3** (4): 69-77.
45. Le Baron CW, Furutan NP, Lew JF, et al. Viral agents of gastroenteritis public health importance and outbreak management. *Morb Mortal Wkly Rep* 1990; **39**: 1-24.
46. Li F. Treatment of household grey water for non-potable reuses. PhD thesis, Hamburg University of Technology, 2009.
47. Li F, Wichmann K, Otterpohl R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses *Sci Total Environ* 2009; **407**: 3439-49.
48. Li Z, Gulayas H, Jahn M, Gjural DR, et al. Greywater treatment by constructed wetland in combination with TiO₂-based photocatalytic oxidation for suburban and rural areas without sewer system. *Water Sci Technol* 2003; **48**(11): 101-6.
49. Maeda M, Nakada K, Kawamoto K, et al. Area-wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan. *Water Sci Technol* 1996; **33**(10-11): 51-7.
50. May S, Prado RTA. Experimental evaluation of rain water quality for non-potable applications in the city of São Paulo, Brazil. *Urban Water J* 2006; **3**(3): 145-51.
51. Morel A, Diener S. Grey water management in low and middle-income countries. Water and sanitation in Developing Countries (Sandec). Ewag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2006. Accessed in 2010 at <http://www.sandec.ch>
52. Nolde E. Greywater reuse systems for toilet for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin. *Urban Water* 2000; **1** (4): 275-84.
53. Okhuysen PC, Chappell CL, Crabb JH, et al. Virulence of three distinct *Cryptosporidium parvum* isolates for healthy adults. *J Infect Dis* 1999; **180**(4): 1275-81.
54. Organizzazione Mondiale di Sanità (OMS). Guidelines for the safe use of water, excreta and greywater. Vol. 4: Excreta and greywater use in agriculture. Lyon: OMS, 2006.
55. Ottoson J, Hansen A, Björlenius B, et al. Removal of viruses, parasitic protozoa and microbial indicators in conventional and membrane processes in a wastewater pilot plant. *Water Res* 2006; **40** (7): 1449-57.
56. Ottoson J, Stenström TA. Faecal contamination of grey water and associated microbial risks. *Water Res* 2003; **37**: 645-55.
57. Rose JB, Gwo-Shing Sun, Gerba CP, et al. Microbial Quality and persistence of Enteric Pathogens in greywater from various Household Sources. *Water Res* 1991; **25** (1): 37-42.

58. Rose JB, Dickson LJ, Farrah SR, et al. Removal of pathogenic and indicator microorganisms by a full-scale water reclamation facility. *Water Res* 1996; **30**(11): 2785-97.
59. Rose JB, Huffman DE, Riley K, et al. Reduction of enteric microorganisms at the upper occoquan sewage authority water reclamation plant. *Water Environ Res* 2001; **73**(6): 711-720.
60. Rose BE, Hill WE, Umholtz R, et al. Testing for Salmonella in raw meat and poultry products collected at federally inspected establishments in the United States, 1998 through 2000. *J Food Protect* 2002; **65**(6): 937-47.
61. Sazakli E, Alexopoulos A, Leotsinidis M et al. Rain water harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece 2007; **41**: 2039-47.
62. Schelch WF, Gorman GW PhD, Payne MC et al. Legionnaires' disease in the Carribean. An outbreak associated with a Resort Hotel. *Arch Intern Med* 1985; **145**(11): 2076-9.
63. Schneider L. Greywater reuse in Washington State Rule Development Committee Issue Research Report. Washington: State Department of Health, 2009.
64. Simmons G, Hope V, Lewis G, et al. Contamination of potable roof-collected rain water in Auckland, New Zealand. *Water Res* 2001; **35**(6): 1518-24.
65. Tauxe RV. Epidemiology of *Campylobacter jejuni* infections in the United States and other industrial nations. In: Nachamkin I, Blaser MJ, Tompkins L, eds. *Campylobacter jejuni: Current status and future trends*. Washington DC: American Society of Microbiology, 1992: 9-19.
66. Techobanoglous G, Angelakis AN. Technologies for wastewater treatment appropriate for reuse: potential for applications in Greece. *Water Sci Technol* 1996; **33**: 15-24.
67. Tuffley RE, Holbeche JD. Isolation of the Mycobacterium avium-M. intracellulare-M. scrofulaceum complex from tank water in Queensland, Australia. *Appl Environ Microbiol* 1980; **39**: 48-53.
68. USEPA (United States Environmental Protection Agency). Guidelines for Water Reuse. Report EPA/625/R-04/108, USEPA Washington; DC, USA, 2004.
69. Wertheim HFL, Melles DC, Vos MC, et al. The role of nasal carriage in *Staphylococcus aureus* infections. *Lancet Infect Dis* 2005; **5**(12): 751-62.
70. Winward GP. Disinfection of grey water. PhD thesis, Centre for Water Sciences Department of Sustainable Systems School of Applied Sciences, 2007.
71. World Health Organization (WHO). Bacteria of potential health concern N.F. lightfoot heterotrophic plate count and drinking-water safety. Geneva: WHO, 2003.
72. WHO. Guidelines for drinking water quality. www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en
73. WHO. Guidelines for drinking water quality. www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq-2004web.pdf
74. World Health Organization (WHO). Legionellosis. Fact Sheet n° 25, 2005.
75. www.arpalombardia.it/7conferenza/.../24CTN_AIM_009-Fiorletti.pdf
76. Yamada K, Matsushima O, Sone K. Reclaimed wastewater supply business in Tokyo and instruction of new technology. Proceeding from the 6th IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability. Antwerp, Belgium, 9-12 October 2007.

Corrispondenza: Dott.ssa Assunta Nusca, Dipartimento Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena 299, 00161 Roma
 e-mail: assunta.nusca@iss.it