

PSEUDOMONAS AERUGINOSA COME CAUSA DI INFEZIONI ASSOCIATE ALLE PISCINE

Maurizio Semproni, Claudia Cataldo

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

Introduzione

Le piscine sono frequentate da una popolazione molto eterogenea di persone, che variano per età, salute e standard igienici. Corsi speciali sono organizzati per donne incinte, bambini, persone anziane e portatori di handicap; queste categorie di persone sono potenzialmente più predisposti a contrarre infezioni da patogeni e batteri opportunisti.

Numerose possono essere le fonti di rischio associate alla frequentazione delle piscine e sono direttamente subordinate alle condizioni ambientali-sanitarie dell'impianto e alla sua gestione.

Sicuramente, il rischio più frequente è quello associato alla presenza di microrganismi (batteri, virus e protozoi), patogeni e opportunisti patogeni, che possono essere trasmessi attraverso l'acqua, le superfici contaminate o per contatto diretto con soggetti infetti. Nonostante questo concetto sia noto da tempo, l'impegno nello studio sistematico delle patologie trasmissibili in piscina è ampiamente disatteso.

Le fonti di contaminazione microbica delle piscine possono essere molteplici. La più comune è rappresentata, senza dubbio, dagli utenti stessi che, oltre all'apporto in acqua di flora microbica endogena e saprofitica possono, con l'immersione, trasportare patogeni e opportunisti patogeni. Inoltre, carenze nei trattamenti dell'acqua, cattiva manutenzione dell'impianto, difetti di progettazione e lacune nelle operazioni di pulizia e sanificazione possono incrementare il rischio per i bagnanti e per gli operatori che vi svolgono attività lavorative.

Le infezioni associate al bagno in piscina possono essere principalmente di due tipi: di natura enterica, dovute all'ingestione di acqua contaminata, e per contatto, dovute all'esposizione di pelle e mucose agli agenti infettivi.

Le infezioni enteriche, derivate dalla contaminazione fecale, sono associate a diversi agenti patogeni. Tra i batteri responsabili di patologie acquisite in piscina sono spesso stati segnalati *Escherichia coli* e *Shigella*; inoltre, casi ed epidemie sono state documentate per protozoi, quali *Cryptosporidium* e *Giardia*, e virus, quali norovirus, echovirus, rotavirus e il virus dell'epatite A.

Le infezioni di natura non-enterica vengono trasmesse per contatto con acque che possono contenere virus, funghi e batteri rilasciati durante l'immersione e che possono provocare principalmente infezioni cutanee, dell'orecchio e delle vie respiratorie.

È stato ampiamente dimostrato che tra i virus isolati dalle acque e dalle superfici si ritrovano Adenovirus associati a congiuntiviti e faringiti, virus del papilloma umano (Hpv), responsabile di verruche e Molluscipoxvirus, responsabile del mollusco contagioso.

I funghi più comunemente responsabili di infezioni associate all'uso delle piscine appartengono al gruppo dei dermatofiti: *Epidermophyton floccosum* e varie specie di funghi appartenenti al genere *Trichophyton* sono generalmente quelli più riscontrati. Nelle piscine, l'infezione può essere prevalentemente trasmessa tramite contatti interpersonali, biancheria, teli, indumenti intimi, pavimenti degli spogliatoi, basi delle docce, scarpe e comunque, in generale, superfici infette.

Agenti batterici causa di infezioni cutanee e delle mucose sono spesso *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus*, che generano follicoliti, congiuntiviti, irritazioni cutanee e delle prime vie respiratorie.

Sulle superfici attorno alle vasche si trovano invece generalmente micobatteri ambientali e diversi funghi e lieviti. Negli impianti, soprattutto nelle zone delle docce e dei servizi, può diffondersi grazie all'aerosolizzazione dagli impianti idrici, *Legionella*, agente responsabile di polmoniti.

Rischi infettivi, sembrerebbe più elevati, sono associati a piscine termali, vasche per idromassaggio, *hot tub*, e in genere ambienti acquatici ad uso ricreativo, mentre ancora sono scarsi i dati relativi ai parchi acquatici, ormai ampiamente diffusi anche in Italia.

Nel nostro Paese non esiste una raccolta di dati epidemiologici relativi a epidemie e casi associati all'utilizzo di piscine. Altri Paesi, invece, hanno sistemi più o meno efficienti, di sorveglianza delle malattie idrodifuse. Per quanto riguarda le attività di sorveglianza svolte negli Stati Uniti, dai rapporti dei Centers for Disease Control (CDC) sulle malattie a diffusione idrica associate alle acque ricreative risulta che, nel biennio 2003-2004, si sono verificate, in relazione all'uso di piscine, 62 epidemie che hanno coinvolto 2698 persone, con 58 ospedalizzazioni e un morto. Delle 62 epidemie, 30 (48%) riguardavano epidemie a carattere gastroenterico, derivanti da agenti infettivi, chimici o tossine, 13 (21%) erano epidemie a carattere cutaneo e 7 (11%) erano epidemie a carattere respiratorio acuto. Le restanti 12 epidemie riguardavano altre patologie, meningoencefalite amebica primaria (1), meningite (1), leptospirosi (1), otite esterna (1), e infine patologie miste (8). Di 44 epidemie è stato identificato l'agente eziologico, 20 epidemie (32%) erano di origine batterica; in 15 (24%) erano coinvolti parassiti, 6 (9,7%) erano di origine virale e in 3 (4,8%) erano implicati agenti chimici o tossine. Delle 62 epidemie riportate, 43 erano associate ad acqua trattata, di cui 14 (32,6%) presentavano come agente eziologico batteri, 12 (28%) parassiti, 4 (9,3%) virus e uno (2,3%) agenti chimici. I casi di parassitosi erano tre volte i casi di malattie batteriche (1414 contro 457). Le restanti 19 epidemie erano associate ad acqua non trattata: in 6 (32%) l'agente responsabile erano batteri, in 3 (16%) parassiti, in 2 (11%) virus e in 2 (11%) tossine. In questo caso, a differenza delle acque trattate, i batteri erano i maggiori responsabili dei casi segnalati, sei volte di più dei casi di parassitosi (96 contro 14). La variazione ottenuta tra numero di casi associati ai due tipi di acque è da attribuire alla capacità, da parte dei parassiti, di sopravvivere più a lungo grazie alla presenza di forme infettive di resistenza (cisti, oocisti, uova).

Tra le epidemie di origine batterica nove furono responsabili di dermatiti e, per otto di queste, è stato riconosciuto *Pseudomonas aeruginosa* come agente eziologico. Le otto epidemie si erano verificate in acque trattate e riscaldate di impianti termali e di piscine.

Caratteristiche del microrganismo

Pseudomonas aeruginosa risulta essere uno dei batteri che più frequentemente è implicato nelle malattie od epidemie associate alla frequentazione di impianti ad uso natatorio, anche se non gravi e di solito autolimitanti.

I microrganismi appartenenti alla specie *Pseudomonas aeruginosa* sono batteri a forma di bastoncino diritto o leggermente ricurvo, con lunghezza di $1,5 \pm 3 \mu\text{m}$ e larghezza compresa tra $0,5$ e $0,7 \mu\text{m}$, motili tramite uno o più flagelli polari, Gram negativi, aerobi, ossidasi e catalasi positivi, con metabolismo respiratorio ma in grado anche di utilizzare i nitrati come accettori di elettroni alternativi all'ossigeno. La plasticità nel metabolismo dona a questa specie microbica un'elevata capacità di adattamento. *Pseudomonas aeruginosa* è un microrganismo ubiquitario e

si rileva in acque superficiali, reflue e marine, suoli e vegetazione e ovunque ci sia umidità. Esso è stato rilevato sia in acque non clorate sia in quelle clorate. Generalmente, nelle acque trattate la sua presenza è legata ad una concentrazione di cloro residuo inferiore ad 1 mg/L (1) ed è in grado di sopravvivere anche in acqua distillata e in soluzioni contenenti disinfettanti. La maggioranza dei ceppi cresce a 42 °C ma non a 4 °C. *Ps. aeruginosa* si caratterizza per la produzione di pigmenti solubili: piocianina di colore verde-blu, piorubina di colore rossastro-marrone e fluoresceina evidenziabile per fluorescenza. Più del 90% dei ceppi produce piocianina e un rapporto inversamente proporzionale sembra esistere tra i tassi di crescita e la produzione di piocianina; infatti, a decrementi del tasso di crescita corrisponderebbero incrementi nella produzione di questo pigmento. *Pseudomonas aeruginosa* è un batterio ambientale che ha un'alta resistenza alla pulitura meccanica e alla pressione così come ai disinfettanti e antibiotici. La sua persistenza negli ambienti acquatici e la sua resistenza sono anche da mettere in relazione al fatto che è uno dei microrganismi coinvolti nella formazione del biofilm. Infatti, è in grado di aderire a superfici umide o in contatto con liquidi grazie alla produzione, da parte di ceppi mucoidi o non mucoidi, di lipopolisaccaridi e glicoproteine extracellulari (*slime*). È stato ampiamente dimostrato che i batteri che crescono nel biofilm, subiscono cambiamenti a livello fenotipico che li rendono più resistenti delle forme planctoniche, agli antibiotici, ai biocidi e alle difese immunitarie dell'ospite (2). Tale resistenza è dovuta a strategie multicellulari e/o alla capacità delle singole cellule interne al biofilm di differenziarsi in uno stato fenotipico protetto e tollerante l'azione antimicrobica. In aggiunta, ci sono alcune evidenze che dimostrano che *Pseudomonas aeruginosa* è coinvolto nel fenomeno del *quorum-sensing*, che è il meccanismo di comunicazione cellulare usato per promuovere o reprimere, in risposta alla densità cellulare, una serie di geni utili al batterio solo se espressi dalla comunità. In questi stessi studi si è evidenziato che il *quorum-sensing* potrebbe governare specifiche espressioni di geni atte a modulare la resistenza agli antibiotici da parte di *Pseudomonas aeruginosa* (3). Il *quorum-sensing* gioca anche un ruolo nella resistenza di questo batterio al sodio dodecil solfato e al perossido di idrogeno e in generale ad agenti disinfettanti (4, 5). Nel caso del cloro in alcuni studi è stato dimostrato che la produzione di *slime* da parte di ceppi mucoidi di *Pseudomonas aeruginosa* potrebbe essere un potenziale meccanismo di resistenza batterica (6, 7). *Pseudomonas aeruginosa* può abitare nella cavità nasofaringea e nel tratto digestivo inferiore, ma solo occasionalmente è associato ad una malattia; è conosciuto principalmente come patogeno opportunisto in pazienti immunocompromessi. La sua caratteristica di essere multi-resistente agli antibiotici, fa di *Pseudomonas aeruginosa* un rischio per la salute in ambienti ospedalieri dove può provocare infezioni delle vie urinarie, delle ustioni e delle ferite, ulcere corneali e cheratiti, setticemie, gastroenteriti nei neonati, ascessi, broncopolmoniti e meningiti. La sua attività patogena è dovuta alla sua capacità invasiva e alla produzione di sostanze extracellulari, quali alcune proteasi, tossine emolitiche, enterotossine e la tossina letale, esotossina A. È il secondo patogeno nosocomiale Gram-negativo più frequente negli ospedali, ed ha il più alto tasso di caso-esito mortale di tutte le batteriemie contratte in ambiente ospedaliero. In aree ad elevata frequenza di infezioni nosocomiali (es., cardiocirurgia), può essere responsabile del 14,5% del totale delle infezioni.

Patologie da *Pseudomonas* nelle piscine

Pseudomonas aeruginosa, come sopra evidenziato, è un patogeno opportunisto che può essere isolato da differenti habitat acquatici, compreso il biofilm negli ambienti naturali di acqua dolce e nelle reti idriche. Nel 1975, *Pseudomonas aeruginosa* fu descritto per la prima volta come causa di follicoliti associate all'uso di impianti acquatici (8). Da allora sono state riportate

follicoliti da *Pseudomonas* in seguito all'uso di idromassaggi (9, 10, 11, 12, 13), *hot tub* (14), piscine (14, 15), saune (15), scivoli d'acqua (16) e gonfiabili (17). Quindi, la presenza di *Pseudomonas aeruginosa* nelle acque clorate ad uso ricreativo è ampiamente documentata e associata ad un aumentato rischio di contrarre infezioni dermatologiche, soprattutto follicoliti e otite esterna, le prime più frequenti in piscine, vasche termali, *hot tub* e vasche per idromassaggio, la seconda più frequente solo nelle piscine. Inoltre, *Pseudomonas* è causa, più raramente, della sindrome delle "unghie verdi", un'infezione della piega ungueale, infezioni del tratto urinario e respiratorio, congiuntiviti e infezione di ferite. Si ritiene, in questi casi, che la dose infettante per un individuo sano sia elevata e, comunque, superiore a 1000 organismi/mL. Comunque, l'infezione più frequente causata da *Pseudomonas aeruginosa* è la follicolite. Il periodo di incubazione medio è di 48 ore, con un intervallo che va da 8 ore a 5 giorni. Il quadro clinico è caratterizzato con un'eruzione cutanea molto estesa, principalmente causata dalla produzione di esotossine. Tuttavia, l'aspetto dell'eruzione cutanea non è unico ed può essere confuso con punture di insetto, allergie, scabbia, dermatiti da contatto, herpes, orticaria e follicoliti da stafilococco. L'eruzione cutanea presenta una distribuzione caratteristica sulla pelle provvista di peli e mostra una predilezione per le natiche, le anche, le ascelle e l'esposizione laterale del tronco. Anche se non è limitata a queste aree, è quasi sempre più acuta in queste zone. La pelle delle natiche, delle anche e delle ascelle infatti è esposta a una maggiore umidità e frizione rispetto alle altre parti del corpo. Una volta che il microrganismo si è introdotto nei follicoli piliferi, è probabile che questi fenomeni facilitino lo sviluppo dell'infezione superficiale. La penetrazione del batterio nella cute può essere facilitata anche da piccole abrasioni. In alcuni casi, l'eruzione si accompagna ad altri sintomi che includono mal di testa, malessere, infiammazioni al naso, agli occhi e alla gola, febbre bassa. Sebbene guarisca spontaneamente entro 2-5 giorni, i sintomi possono protrarsi per alcune settimane, e l'infezione iniziale potrebbe portare a follicoliti ricorrenti e ascessi cronici. Generalmente non è richiesta alcuna terapia specifica, ma di solito è sufficiente rallentare le attività legate all'acqua e lasciare che la pelle si asciughi.

I fattori che contribuiscono allo sviluppo di questa sindrome comprendono l'alta temperatura, la turbolenza e l'aerazione dell'acqua, un'elevata presenza di bagnanti per volume di acqua, la distribuzione ubiquitaria di *Pseudomonas* e la capacità di questo organismo di resistere al cloro e di moltiplicarsi rapidamente in acqua a temperature elevate. La reale incidenza delle follicoliti da *Pseudomonas* è difficile da determinare poiché i sintomi sono spesso leggeri e autolimitanti e i pazienti spesso non ricorrono alle cure mediche. Comunque sembra che questa sindrome costituisca un problema diffuso di salute pubblica.

Sebbene anche le vasche per idromassaggio offrano un ambiente particolarmente favorevole, gran parte delle epidemie di follicolite da *Pseudomonas* sono state segnalate in associazione con l'uso delle piscine convenzionali e in un'occasione di frequentazione di un parco acquatico (17). Sono stati anche documentati casi nosocomiali che hanno coinvolto un gruppo di fisioterapisti, oltre ai pazienti, che facevano riabilitazione in acqua (18).

Da indagini svolte, sembrerebbe che le epidemie presentino un andamento stagionale, l'incidenza più alta si osserva nei mesi invernali (19). Questo aumento stagionale può dipendere dalla tendenza degli individui ad utilizzare impianti natatori, sistemi per idromassaggio e *hot tub* più frequentemente durante i mesi invernali.

L'affollamento è un fattore di rischio significativo, anche se le epidemie non sono sempre associate con un alto carico di bagnanti. I tassi di infezione sono simili rispetto al sesso, ma l'evento è superiore nei gruppi dei più giovani, probabilmente perché tendono a rimanere in acqua più a lungo. Sebbene la durata del contatto con l'acqua non sembra sia importante in tutte le epidemie, l'uso frequente e prolungato dell'idromassaggio può rappresentare un fattore di rischio aggiuntivo. Questo è sostenuto anche dall'osservazione che la superidratazione dello

strato corneo favorisce la colonizzazione della pelle da parte di *Pseudomonas aeruginosa*. L'occlusione è un altro fattore che favorisce l'infezione da *Pseudomonas*. L'eruzione cutanea infatti si presenta più grave nelle aree chiuse da costumi attillati e le donne, che indossano costumi interi, sono a rischio più alto. Inoltre, portare il costume per alcune ore dopo l'esposizione può facilitare l'infezione, comunque la sindrome è stata riportata anche in casi in cui le persone non avevano alcun indumento mentre erano nell'idromassaggio.

Le acque ad uso ricreativo sembrano rappresentare un rischio per la diffusione di follicoliti da *Pseudomonas*, da attribuire probabilmente a *bloom* intermittenti del batterio nell'acqua. La maggior parte delle epidemie, circa il 50%, sono state associate al sierogruppo O11. Questo è anche il sierogruppo predominante associato all'otite esterna nei palombari di grande profondità, nei nuotatori agonistici e tra i frequentatori degli idromassaggi ed è il sierotipo più comunemente isolato dalle vasche da idromassaggio. Il sierogruppo O11 rappresenta solo l'8% circa degli isolamenti endemici ospedalieri.

Sono comunque state documentate epidemie di follicolite causate da altri sierogruppi, anche se con frequenze molto basse. Il sierotipo O9 è stato documentato in due epidemie (11, 20), il sierotipo O7 è stato isolato in una epidemia tra gli ospiti di un hotel e la fonte dell'infezione è stata rintracciata nell'idromassaggio (21). Sembra che sia un sierogruppo relativamente raro tra gli isolamenti clinici. Un singolo caso è stato attribuito anche al sierotipo O4 (16). Anche se sierogruppi diversi dall'O11 hanno causato un numero relativamente basso di epidemie di follicolite, è chiaro ora che vari sierotipi di *Pseudomonas aeruginosa* sono in grado di causare una sindrome identica in associazione con la frequentazione delle piscine.

Nonostante i numerosi casi di follicolite da *Pseudomonas*, non ci sono dati disponibili che correlino il numero di *Pseudomonas aeruginosa* vitali nell'acqua con il rischio di contrarre l'infezione. Pertanto, non è possibile determinare la concentrazione di *Pseudomonas aeruginosa* presente nell'acqua al momento in cui il bagnante acquisisce l'infezione. In assenza di questi dati, il rilevamento di qualsiasi numero di *Pseudomonas aeruginosa* potrebbe essere indice di una potenziale causa di follicolite. Questo giustifica il basso valore soglia stabilito, per la qualità delle acque in vasca, nell'Accordo tra il Ministero della Salute, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano (*Pseudomonas aeruginosa* $\leq 1/100$ mL). D'altra parte, anche l'Organizzazione Mondiale della Sanità stabilisce questo valore per le acque di piscina disinfettate, mentre per quelle non disinfettate raccomanda valori pari a $<10/100$ mL (22).

La seconda patologia più frequente causata da *Pseudomonas aeruginosa*, associata all'uso delle acque ricreative, è l'otite esterna (23, 24, 25). L'otite esterna è una malattia che comporta una infiammazione del canale uditivo esterno ed è caratterizzata da dolore, gonfiore, e occasionalmente febbre. Poiché è stata frequentemente associata con il nuoto è conosciuta più comunemente come "orecchio del nuotatore". Altri fattori che si ritiene siano associati con l'otite esterna sono l'aria calda e umida, traumi, perdita dello strato lipidico superficiale e una variazione del pH del canale uditivo esterno. In generale, queste condizioni agiscono sul meato uditivo predisponendolo all'infezione da parte di batteri endogeni preesistenti o di batteri esogeni trasportati. Questa esposizione esogena può avvenire attraverso l'inserimento di oggetti nel canale uditivo esterno o con il nuoto. Si ritiene che il nuoto sia di primaria importanza data la maggiore incidenza di questa malattia durante i mesi estivi, cioè luglio e agosto. È ormai appurato che l'incidenza di otite esterna è maggiore tra i nuotatori che tra i non nuotatori, e sono state documentate epidemie di otite esterna associate ai bagnanti nelle piscine. L'otite esterna spesso si manifesta in associazione con epidemie di follicolite quando c'è un uso concomitante di una piscina. Questa associazione non si osserva in altre epidemie, dove la fonte di contaminazione è stata individuata nelle vasche per idromassaggio, presumibilmente perché i bagnanti tengono la testa fuori dell'acqua. Data la natura infettiva della malattia, il suo manifestarsi è in relazione alla qualità microbiologica dell'acqua di piscina. Vi sono sufficienti

dati che sostengono la relazione tra casi di otite esterna e il nuoto, l'alta temperatura ambientale e l'età. È stato anche osservato che la quantità di tempo trascorsa in acqua e il carico di bagnanti sono i fattori di rischio che incidono maggiormente nella probabilità di contrarre l'infezione. In molti casi *Pseudomonas aeruginosa* è stata isolata dall'orecchio, ma non nelle acque dove i soggetti infettati nuotavano. Una possibile spiegazione è che l'otite esterna si manifesti nonostante una buona qualità batteriologica delle acque e quindi anche quando il numero di *Pseudomonas* è così basso da non risultare rilevante ai fini della qualità dell'acqua.

Fattori che influiscono sulla presenza di *Pseudomonas* nelle acque di piscina

Pseudomonas aeruginosa si può rilevare, anche in gran numero, nelle acque di piscina in assenza dei coliformi, l'indicatore batteriologico tradizionale della qualità dell'acqua.

Nella maggior parte delle epidemie registrate, la causa della presenza di *Pseudomonas* è da imputare ad una manutenzione non corretta, a livelli di cloro inadeguati, o a un cattivo funzionamento dell'impianto di disinfezione. Livelli bassi di disinfettante nell'acqua rappresentano una condizione che aumenta anche il rischio per la trasmissione di altri patogeni cloro-sensibili, come *Escherichia coli* O157:H7 e *Shigella sonnei* che possono causare patologie a carattere gastroenterico.

La qualità microbiologica dell'acqua dipende da un insieme di fattori che, oltre all'efficienza della disinfezione, comprende le condizioni igieniche, il numero dei fruitori che si trovano contemporaneamente nell'impianto e il numero totale di bagnanti per giorno.

Gli elementi chiave, per tenere sotto controllo *Pseudomonas aeruginosa*, sono un adeguato livello di disinfettante e una manutenzione quotidiana, ma di fondamentale importanza è mantenere il livello del disinfettante residuo costante. Questo rientra principalmente nelle attività di formazione degli operatori, nella disponibilità economica del gestore dell'impianto e nelle operazioni di ispezione dell'autorità sanitaria.

Mantenere il cloro residuo in vasca è relativamente facile ma, anche in condizioni operative normali, le concentrazioni di cloro residuo possono essere rapidamente consumate. L'efficacia del cloro libero e combinato disponibile nell'acqua della vasca è influenzata dalla durata dell'esposizione/contatto, con tempi di esposizione più lunghi si ha un effetto maggiore, e dalla temperatura dell'acqua al momento del contatto/interazione, maggiori sono le temperature dell'acqua in vasca e più cloro libero è utilizzato. Anche il pH dell'acqua può influire sull'efficienza della disinfezione. Più l'acqua è verso i valori acidi e più acido ipocloroso si forma, questo porta ad una rapida perdita di cloro e di conseguenza una minore efficace clorazione.

I composti azotati, che vengono introdotti nella piscina dai bagnanti, reagiscono con il cloro formando le cloroammine (cloro combinato).

Sebbene sia il cloro libero che il cloro combinato siano entrambi disinfettanti, il cloro combinato ha un potere disinfettante molto più basso rispetto al cloro libero. Nella maggior parte dei casi, in cui le piscine, ad esempio, sono risultate positive per *Pseudomonas aeruginosa*, è stato riscontrato che il cloro combinato era più alto del cloro libero e questo era legato al sovraffollamento della piscina, essendo i bagnanti la fonte principale di composti azotati. Infatti, maggiore è il numero di bagnanti, più alta sarà la quantità di azoto ammoniacale e azoto organico che viene rilasciata nell'acqua e, conseguentemente, più cloro combinato si formerà.

Pseudomonas aeruginosa, spesso, si ritrova frequentemente in basse concentrazioni e persiste malgrado una clorazione appropriata. Si moltiplica rapidamente quando il livello di cloro libero scende al disotto di 0,5 mg/L o il pH dell'acqua è >7,8.

Poiché il cloro esercita la sua azione disinfettante attraverso la produzione di acido ipocloroso, livelli di cloro anche di 2-3 mg/L risultano inefficaci quando il pH dell'acqua supera 8,0. Le acque in vasca sono generalmente mantenute entro questi limiti, questo può spiegare il fatto della rarità delle epidemie associate a questo batterio.

È più difficile mantenere i livelli di cloro e pH nelle vasche per idromassaggio riscaldate e nelle acque termali che, tra l'altro, generalmente non vengono disinfettate. Infatti, il maggiore carico di bagnanti per volume di acqua, trattandosi di solito di vasche piccole, comporta una richiesta di cloro più alta e le temperature più elevate e il movimento dell'acqua determinano una perdita maggiore di cloro nell'aria.

Per prevenire le epidemie associate all'uso degli impianti natatori è necessaria la diffusione di informazioni sui fattori di rischio e l'applicazione di provvedimenti che permettano di limitare la trasmissione dei patogeni.

Particolato organico rilasciato dai bagnanti e inorganico, da mettere in relazione ad un difetto di progettazione o ad una cattiva manutenzione, probabilmente contribuiscono ad una crescita di *Pseudomonas aeruginosa* nelle acque in vasca. Questo fenomeno è stato osservato anche in presenza di adeguati livelli di cloro libero. Il particolato, così come squame di pelle, muco, saliva, peli, capelli, prodotti solari, probabilmente, proteggono gli organismi nell'acqua e sulle superfici della vasca e intorno ad essa e permettono *bloom* di crescita soprattutto quando la concentrazione di cloro scende al di sotto dei livelli idonei.

Un altro meccanismo adottato da *Pseudomonas aeruginosa*, che gioca un ruolo nell'aumentare la sua resistenza al cloro, è la produzione di esopolissaccaridi. La produzione di *slime* può essere un potenziale meccanismo di resistenza batterica contro il cloro. I ceppi di *Pseudomonas aeruginosa* che formano *slime*, i cosiddetti ceppi mucoidi, sono caratterizzati da una sovrapproduzione di alginato polisaccaridico extracellulare viscoso che rappresenta una componente strutturale principale nella formazione di biofilm da parte di questo batterio.

È stato dimostrato che il fenotipo mucoide di *Pseudomonas aeruginosa* è associato ad una aumentata sopravvivenza nell'acqua clorata. L'effetto protettivo osservato nei ceppi mucoidi è dovuto alla presenza del materiale extracellulare che circonda le cellule mucoidi di *Pseudomonas aeruginosa*. È stata anche dimostrata una reazione chimica tra il cloro e l'alginato che presumibilmente è responsabile del consumo più alto di cloro delle cellule mucoidi rispetto alle non mucoidi. I ceppi mucoidi di *Pseudomonas aeruginosa* possono quindi selezionarsi e persistere nelle acque clorate. *Pseudomonas aeruginosa* può essere introdotto nell'acqua già nella forma mucoide o essere selezionato durante la colonizzazione dell'ambiente clorato. È stata dimostrata la sopravvivenza e la crescita di *Pseudomonas aeruginosa*, in presenza di elevati livelli di cloro libero, da 10 a 15 mg/L, sulle superfici delle tubature di PVC nell'ambiente protetto del biofilm dal quale le cellule vengono poi liberate nell'acqua.

Conclusioni

Dagli studi effettuati sulla presenza di *Pseudomonas* nelle acque di piscina risulta che la causa principale di diffusione delle patologie di cui è responsabile è da addebitare a carenze nel sistema di disinfezione. Attività di prevenzione devono considerare, quindi, la necessità di svolgere una manutenzione corretta dell'impianto, accompagnata da adeguati livelli di disinfettante nell'acqua (cloro attivo libero >1 mg/L, con valori di pH nell'intervallo 6,5 ÷ 7,5) e da eliminazione del particolato in sospensione con controllo della torbidità dell'acqua. Inoltre, è

opportuno eliminare fonti potenziali di *Pseudomonas* anche in stretta prossimità della vasca, nei servizi e negli spogliatoi.

Per ridurre il rischio di contrarre malattie causate da *Pseudomonas aeruginosa* e la trasmissione di altri patogeni a diffusione idrica è importante anche il contributo dei gestori degli impianti. Infatti, le attività di prevenzione si devono basare sull'applicazione di procedure di sanificazione degli ambienti e dell'acqua e sull'adozione di idonee frequenze degli interventi di pulizia, tenendo conto della struttura nel suo complesso e dei dati relativi al numero e alla frequenza dei fruitori. In questo ambito si pongono quindi le attività di gestione e di autocontrollo che, secondo l'Accordo tra il Ministero della Salute, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano (26), sono a carico del gestore dell'impianto natatorio. Il sistema di autocontrollo rappresenta, infatti, lo strumento di prevenzione principale per la tutela della salute e la sicurezza degli utenti. È di competenza del gestore anche la diffusione di regole di comportamento per i frequentatori degli impianti e di formazione del personale per tutte quelle attività che riguardano la conduzione e la salubrità dell'impianto.

Bibliografia

1. Jayasekara NY, Heard GM, Cox JM, Fleet GH. Populations of pseudomonads and related bacteria associated with bottled non-carbonated mineral water. *Food Microbiol* 1998;15:167-76.
2. Costerton JW, Stewart PS, Greenberg EP. Bacterial biofilms: A common cause of persistent infections. *Science* 1999;284:1318-22.
3. Shih PC, Huang CT. Effects of quorum-sensing deficiency on *Pseudomonas aeruginosa* biofilm formation and antibiotic resistance. *J Antimicrob Chemother* 2002;49:309-14.
4. Davies DG, Parsek MR, Pearson JP, Iglewski BH, Costerton JW, Greenberg EP. The involvement of cell-to-cell signals in the development of bacterial biofilm. *Science* 1998;280:295-8.
5. Hassett DJ, Ma JF, Elkins JG, Mc Dermoth TR, Ochsner UA, West SEH, Huang CH, Frederics J, Burnett S, Stewart PS, Mc Fetters G, Passador L, Iglewaki BH. Quorum-sensing in *Pseudomonas aeruginosa* controls expression of catalase and superoxide dismutase genes and mediates biofilm susceptibility to hydrogen peroxide. *Mol Microbiol* 1999;34:1082-93.
6. Grobe S, Wingender J, Flemming HC. Capability of mucoid *Pseudomonas aeruginosa* to survive in chlorinated water. *Int J Environ Health* 2001;204:139-42.
7. Seyfried PL, Fraser DJ. Persistence of *Pseudomonas aeruginosa* in chlorinated swimming pools. *Can J Microbiol* 1980;26:350-5.
8. McCausland WJ, Cox PJ. *Pseudomonas* infection traced to motel whirlpool. *J Environ Health* 1975;37:455-9.
9. Washburn J, Jacobson MD, Marston E, et al. *Pseudomonas aeruginosa* rash associated with a whirlpool. *JAMA* 1976;235:2205-7.
10. Feder HM, Grant-Kels JM, Tilton RC. *Pseudomonas* whirlpool dermatitis. Report of an outbreak in two families. *Clin Pediatr* 1983;22:638-42.
11. Khabbaz RF, McKinley TW, Goodman RA, et al. *Pseudomonas aeruginosa* serotype O:9. New cause of whirlpool-associated dermatitis. *Am J Med* 1983;74:73-7.
12. Breitenbach RA. *Pseudomonas* folliculitis from a health club whirlpool. *Postgrad Med J* 1991;90:169-70.
13. Hollyoak V, Boyd P, Freeman R. Whirlpool baths in nursing homes: use, maintenance, and contamination with *Pseudomonas aeruginosa*. *CDR* 1995;5:102-4.

14. Gregory GW, Schaffner W. *Pseudomonas* infections associated with hot tubs and other environments. *Infect Dis Clin North Am* 1987;1:635-48.
15. Hopkins RS, Abbott DO, Wallace LE. Follicular dermatitis outbreak caused by *Pseudomonas aeruginosa* associated with a motel's indoor swimming pool. *Publ Health Rep* 1981;96:2246-9.
16. Center for Disease Control. An outbreak of *Pseudomonas* folliculitis associated with a waterslide. Utah: MMWR 1983;32:425-7.
17. Tate D, Mawer S, Newton A. Outbreak of *Pseudomonas aeruginosa* folliculitis associated with a swimming pool inflatable. *Epidemiol Infect* 2003;130:187-92.
18. Schlech III WF, Simonsen N, Sumarah R, Martin RS. Nosocomial outbreak of *Pseudomonas aeruginosa* folliculitis associated with a physiotherapy pool. *CMAJ* 1986;134:909-13.
19. Spitalny KC, Vogt RL, Witherell LE. National survey on outbreaks associated with whirlpool spas. *Am J Public Health* 1984;74:725-6.
20. Center for Disease Control. Outbreak of *Pseudomonas aeruginosa* serotype O:9 associated with a whirlpool. Utah: MMWR 1981;30:329-31.
21. Ratnam S, Hogan K, March SB, Butler RW. Whirlpool-associated folliculitis caused by *Pseudomonas aeruginosa*: report of an outbreak and review. *J Clin Microbiol* 1986;23:655-9.
22. World Health Organization. Guidelines for Safe Recreational Water Environments; Swimming Pools and Similar Environments. Geneva: WHO; 2006.
23. Reid TMS, Porter IA. An outbreak of otitis externa in competitive swimmers due to *Pseudomonas aeruginosa*. *J Hyg* 1981;86:357-62.
24. Alcock SR. Acute otitis externa in divers working in the North Sea: a microbiological survey of seven saturation dives. *J Hyg* 1977;78:395-409.
25. Havelaar AH, Bosman M, Borst J. Otitis externa by *Pseudomonas aeruginosa* associated with whirlpools. *J Hyg* 1983;90:489-98.
26. Italia. Accordo tra il Ministero della Salute, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano sugli aspetti igienico-sanitari per la costruzione, la manutenzione e la vigilanza delle piscine ad uso natatorio. Accordo 16 gennaio 2003. *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 51, 3 marzo 2003.