

RISCHIO DI ESPOSIZIONE *INDOOR* A SOSTANZE DISINFETTANTI E LORO PRODOTTI DI DEGRADAZIONE IN AMBIENTI NATATORI E CENTRI WELLNESS

Paola Bottoni, Mattea Chirico, Lucia Bonadonna

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

Introduzione

Diverse e a multi-barriera sono le strategie di trattamento dell'acqua per il mantenimento di condizioni esteticamente gradevoli e salubri, in impianti natatori pubblici e privati, a uso sportivo e ricreativo, in centri acquatici dedicati ad attività ludiche e in centri wellness. Esse includono trattamenti fisici (filtrazione) e chimici (disinfettanti, flocculanti, correttori di pH, antialghe) (1- 4).

Tra i metodi chimici, la clorazione è la tecnica più utilizzata, più economica e più sicura. Se i sistemi di clorazione sono praticati in maniera corretta, è possibile mantenere l'acqua in condizioni igieniche tali da evitare situazioni di rischio microbiologico (3-5). L'uso degli agenti a base di cloro, con il loro elevato potere ossidante ad azione antimicrobica, ha consentito, storicamente e a oggi, di contrastare l'insorgere di malattie e la diffusione di epidemie correlate ad acque ad uso ricreativo (1, 4, 6-8). Le segnalazioni in tal senso non sono molto frequenti, tuttavia, alcune infezioni possono essere associate a questo tipo di acque ed essere a carico del sistema gastrointestinale, delle prime vie respiratorie, del tratto urinario, dell'apparato uditivo e degli occhi, di pelle, capelli, piedi e unghie.

Se batteri, funghi filamentosi e alcuni protozoi possono essere comunemente rilevati in questo tipo di acque senza rappresentare obbligatoriamente un rischio per la salute degli utenti, la presenza di alghe può limitare l'efficacia dei trattamenti e condurre a condizioni organolettiche ed estetiche non accettabili.

Microrganismi patogeni possono essere comunque presenti nonostante l'acqua subisca trattamenti. Oltre che nelle vasche, essi possono essere rilevati anche in altre sezioni degli impianti, considerando che acqua, aria e superfici possono rappresentare siti di localizzazione e accumulo. Attraverso apparati di pompaggio, di filtrazione, ventilazione, climatizzazione, impianti idrici, superfici umide e telerie (8-11) essi possono diffondersi attraverso aria e aerosol, favoriti anche da temperature relativamente elevate e da turbolenze dell'acqua (tipiche di giochi acquatici e fontane).

Nella Tabella 1 sono riportati alcuni agenti microbici responsabili di patologie attraverso l'ingestione e il contatto con acqua o superfici e l'inalazione di aerosol (4, 8, 11).

In tutte le occasioni, durante la frequentazione di impianti ad uso natatorio e ricreativo, è inevitabile il contatto/ingestione e l'inalazione da parte dei bagnanti e degli operatori con gli agenti disinfettanti e i loro sottoprodotti (*Disinfection By-Products*, DBP). Questi ultimi, a loro volta attivi come agenti ossidanti, sono considerati indesiderabili dal punto di vista sanitario se presenti oltre certi limiti di concentrazione (3, 5, 8, 12). Ciò rappresenta un aspetto critico per la tutela della salute. Infatti, oltre che essere solubili, possono essere anche volatili e potenzialmente tossici (4, 12, 13).

Tabella 1. Principali vie di trasmissione e microrganismi patogeni associati all'uso di acque ad uso ricreativo e ludico

Fonte di trasmissione	Microrganismi patogeni
Origine fecale (uomo e animali)	Vari ceppi di <i>Escherichia coli</i> , <i>Shigella</i> spp. (batteri), Norovirus, Adenovirus, Epatite A, Epatite E; altri Enterovirus (virus), <i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i> (protozoi).
Origine ambientale	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Legionella</i> spp., <i>Mycobacterium</i> spp., <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Leptospira</i> spp. (batteri), <i>Acanthamoeba</i> spp, <i>Plasmodium</i> spp., <i>Naegleria fowleri</i> (protozoi).
Contatto persona-persona	<i>Pediculus humanus capitis</i> (insetti), <i>Enterobius vermicularis</i> (nematodi), <i>Trichophyton</i> spp., <i>Epidermophyton floccosum</i> (funghi).

È stato spesso segnalato che, in piscine in cui viene effettuata la clorazione, sono i bambini a correre il rischio maggiore: l'inalazione di vapori può comportare la possibilità di comparsa di asma bronchiale o di peggioramento della malattia già conclamata, di rinite allergica e aumentare la sensibilizzazione a malattie allergiche del sistema respiratorio (4, 14). Infiammazioni delle vie respiratorie sono comunque state riscontrate anche in lavoratori di impianti natatori (15).

Agenti disinfettanti a base di cloro

L'Accordo Stato Regioni (3) sulle piscine elenca i disinfettanti che possono essere utilizzati per il mantenimento della salubrità dell'acqua. La maggior parte sono composti a base di cloro che sono impiegati per la disinfezione delle acque di piscina e di impianti ad esse assimilabili. I più comunemente utilizzati sono:

- ipoclorito di sodio NaClO
- ipoclorito di calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$
- cloroisocianurati $\text{NaCl}_2(\text{CNO})_3$

Gli ipocloriti immessi in acqua liberano per idrolisi acido ipocloroso indissociato (HClO), ipoclorito (ClO^-) e cloro gassoso disciolto ($\text{Cl}_2 \text{aq}$) che, se usato come unico agente disinfettante, produce HClO e ipoclorito. Le proporzioni delle tre componenti della miscela ossidante dipendono sostanzialmente dal pH e dalla temperatura dell'acqua, ma, nella maggior parte delle acque trattate, prevalgono HClO e ClO^- corrispondono al cloro attivo libero, definito anche cloro totale o cloro libero (16, 17). L' HClO ha il maggior potere ossidante nei confronti delle cellule batteriche e degli enzimi endocellulari ed elimina inoltre i residui organici in soluzione, mentre l'ipoclorito risulta meno efficace, non superando la barriera cellulare dei microrganismi. In presenza di sostanze organiche azotate (es. urea) e ammoniaca, gli agenti a base di cloro reagiscono prontamente e danno origine a sottoprodotti della disinfezione (DBP) e cloro derivati come le cloroammine che costituiscono, nell'insieme, il Cloro Attivo Combinato. I DBP che costituiscono il cloro attivo combinato hanno un potere disinfettante inferiore rispetto al cloro attivo libero, dato che le molecole attive di quest'ultimo sono progressivamente consumate nelle reazioni di ossidazione dell'azoto organico. Cloro attivo libero e cloro attivo combinato possono essere presenti nell'acqua simultaneamente (16, 17). Tra i prodotti derivanti dai processi di

clorazione i trihalometani sono i più noti e derivano dall'ossidazione di carbonio organico (residui, deiezioni e detriti).

I cloroisocianurati, una volta disciolti in acqua, si idrolizzano producendo HClO, e quindi implementando il cloro attivo libero. Questi composti sono definiti come stabilizzanti e sono utilizzati prevalentemente in piscine all'aperto, in quanto l'acido cianurico si lega debolmente all'acido ipocloroso e ne rallenta la fotodegradazione, rallentando quindi la scomparsa di cloro libero.

Un altro composto che può trovare un certo impiego nelle piscine è il biossido di cloro che è un gas molto solubile, volatile e reattivo. In genere è usato in forma liquida stabilizzata, a contatto con l'acqua si riduce agendo come radicale libero e producendo gli ioni clorito (ClO_2^-) e clorato (ClO_3^-) che hanno, nell'insieme, azione ossidante e disinfettante.

In Tabella 2 sono elencate le concentrazioni di agenti a base di cloro riportate dalla letteratura e in uso in Italia (3, 4, 8).

Tabella 2. Concentrazioni di agenti a base di cloro per piscine e ambienti assimilabili

Tipologia di piscina/ ambienti assimilabili	Concentrazione di cloro (mg/L)			pH
	libero	combinato	libero "dose shock"	
Piscine uso combinato di O ₃ o UV	≤0,5			
Piscine ad uso ricreativo	1-3		≥20 (applicazioni periodiche)	7,2-7,8
Idromassaggi, SPA	2-4			7,2-7,8
Vasche di strutture sanitarie, idroterapia, SPA	15 (piccoli invasi idroterapici, vasche Hubbard) 2-5 (idromassaggio, SPA)			
Piscine ad uso ricreativo (Italia)	0,6-1,8 Cl ₂ (AI) 0,7-1,5 Cl ₂ (AV)	≤0,2 Cl ₂ (AI) ≤0,4 Cl ₂ (AV)		6,5-7,5 (AI) 6,5-7,5 (AV)
Piscine (Italia) uso combinato di O ₃ e Cl ₂	0,4-1,6 Cl ₂ (AI) 0,4-1,0 Cl ₂ (AV) ≤0,01 O ₃ (AI e AV)	≤0,05 Cl ₂ (AI) ≤0,2 Cl ₂ (AV)		6,5-7,5 (AI) 6,5-7,5 (AV)

AI: Acqua di Immissione; AV: Acqua di vasca

Rischi da agenti disinfettanti a base di cloro e DBP

Cloro attivo libero

In normali concentrazioni di esercizio e a pH neutro, gli agenti disinfettanti che generano cloro attivo libero non provocano problemi di irritazioni agli occhi e alle mucose ma possono provocare disidratazione dei capelli e della pelle. Le concentrazioni di questi disinfettanti aumentano quando le acque sono periodicamente sottoposte a clorazione "shock" o clorazione d'urto (cloro ≥20 mg/L), ma in queste condizioni gli impianti dovrebbero essere mantenuti

chiusi all'utenza (3). L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), per impianti natatori pubblici o semi-pubblici, raccomanda livelli non superiori a 3 mg/L, e non superiori a 5 mg/L per vasche piccole, idromassaggi e similari (18).

Nel caso di uso di cloro gassoso come agente disinfettante, è nota sia la sua elevata tossicità, sia la possibilità che esposizioni acute (concentrazioni ≥ 5 ppm) possano provocare irritazioni (anche polmoniti) anche gravi del tratto respiratorio (30 ppm) (19). Nel caso di normale impiego degli agenti a base di cloro e in condizioni controllate di pH, il cloro gas che si forma in acqua rimane in soluzione e i livelli riscontrabili nell'aria sovrastante sono trascurabili. Permangono tuttavia i rischi di intossicazione per bagnanti e/o operatori causati da contatti accidentali tra agenti a base di cloro e acidi usati come correttori di pH, a seguito di guasti meccanici o errori umani, che possono portare all'emissione di quantità elevate di cloro gassoso (19).

Cloro attivo combinato

Deriva dalla combinazione tra cloro attivo libero e sostanze organiche e inorganiche determinando la formazione di DBP, principalmente cloroammine clorate, trihalometani e clorofenoli che hanno concentrazioni fortemente dipendenti dal pH, dalla temperatura e dal rapporto iniziale cloro/azoto.

I DPB del cloro attivo combinato contribuiscono alla produzione del cosiddetto "odore di cloro" tipico negli impianti natatori e in particolare in ambienti *indoor*, fattore che è sintomatico di un'eccessiva diminuzione di cloro attivo libero, che è invece scarsamente percettibile all'olfatto. Le cloroammine e in particolare la tricloroammina sono molto volatili e migrano nell'aria sovrastante le vasche persistendo in particolar modo al di sopra della superficie dell'acqua e nei connessi ambienti *indoor*. Questi e altri DPB del cloro attivo combinato sono tra i principali responsabili dell'insorgenza di irritazioni di occhi, mucose e vie respiratorie nei bagnanti e negli operatori.

Cloroammine inorganiche e organiche

Monocloroammina, diclororammina, tricloroammina (o tricloruro d'azoto), rispettivamente NH_2Cl , NHCl_2 , NCl_3 , sono DPB volatili, tossici e irritanti che si possono ritrovare nell'aria sovrastante le vasche di piscine coperte. In particolare, la tricloroammina è estremamente volatile (tensione di vapore $131,2 \pm 0,1$ mmHg a 25°C) rispetto alle altre cloroammine. La concentrazione delle tricloroammine aumenta al crescere della concentrazione di cloro attivo libero e al diminuire dei valori di pH: a pH 7,5-9 predomina la monocloroammina mentre al decrescere del pH (intervallo $3 \leq \text{pH} \leq 7$) si formano progressivamente diclororammina e tricloroammina (20). Le concentrazioni soglia a cui è percepibile il caratteristico odore di cloro in piscine *indoor* sono: 0,02 mg/L per la tricloroammina, 0,5 mg/L per la dicloroammina e 0,65 mg/L per la monocloroammina.

Le cloroammine sono le maggiori responsabili delle irritazioni oculari mentre la tricloroammina è la principale causa delle irritazioni delle vie respiratorie (20). Le cloroammine inorganiche hanno un'emivita di degradazione in acqua variabile da qualche minuto a molti giorni e tra esse la monocloroammina è la più stabile, dato che si idrolizza molto lentamente. L'OMS ha definito un valore di linea guida per l'acqua potabile per la monocloroammina di 3 mg/L (18) mentre raccomanda un livello di $0,5 \text{ mg/m}^3$, come valore provvisorio, per le specie clorate espresse come tricloroammina nell'aria di piscine *indoor* e similari (4). Per analoghi effetti tossici, si segnalano altri DBP organici clorurati, quali dicloroacetoneitrile, diclorometilammina e cloruro di cianogeno che derivano da reazioni tra agenti a base di cloro, cloroammine e molecole organiche come creatina, acido ureico, ammonio clorurato e altri amminoacidi (21). Il cloruro di cianogeno è un irritante delle vie respiratorie e la sua

conversione a cianuri e tiocianati può ulteriormente contribuire all'insorgenza di fenomeni di tossicità cronica (22).

Trialometani

I trialometani (*TriHaloMethanes*, THM) sono stati i primi DBP, derivanti dai processi di clorazione delle acque potabili e piscine, a essere ritrovati e studiati a causa dei possibili impatti negativi sulla salute. I principali THM sono cloroformio o triclorometano (CHCl_3), bromodichlorometano (CHBrCl_2), clorotribromometano (CHBr_2Cl) e tribromometano (CHBr_3) e derivano dall'ossidazione del carbonio organico naturale e di origine antropica eventualmente presenti nell'acqua. I THM sono notoriamente dannosi per il sistema nervoso centrale, il fegato e i reni. Il cloroformio è il THM più diffuso in piscine e in ambienti *indoor*, rappresentando circa il 90% dei THM potenzialmente ritrovabili nell'acqua di piscine e similari ed è il principale responsabile dell'odore di cloro, oltre alle cloroammine (23). Il cloroformio è considerato cancerogeno (2B) dalla IARC (18) e, anche a basse concentrazioni, un'esposizione al cloroformio può causare disfunzioni a livello epatico e renale. Il cloroformio è molto volatile (197 mm Hg a 25°C) e poco solubile in acqua e le concentrazioni massime nell'aria sono rilevabili appena sopra la superficie dell'acqua. I suoi livelli in piscine all'aperto sono sensibilmente inferiori.

L'OMS ha definito per il cloroformio un valore di linea guida per l'acqua potabile di 0,3 mg/L. Una rassegna sui limiti di cloroformio nell'aria degli ambienti di lavoro è riportata dai CDC americani (*Centers for Disease Control and Prevention*) (24).

Clorofenoli, cloropicrina, acidi cloroacetici

Clorofenoli mono-, di e triclolo- sostituiti e cloropicrina sono DBP derivanti dalla clorazione rispettivamente di composti fenolici, come alcuni biocidi, e di acidi umici, aminoacidi e nitrofenoli. Gli acidi cloroacetici, di cui i più comuni sono il di- e il tri- cloroacetico, si formano per ossidazione del materiale organico durante la clorazione.

L'OMS ha definito un valore di linea guida per l'acqua potabile per il 2,4,6-triclorofenolo di 0,2 mg/L e un valore di linea guida provvisorio per l'acido dicloroacetico di 0,05 mg/L (18). Sempre per l'acido dicloroacetico l'USEPA ha stabilito per l'acqua potabile uno standard di 0,06 mg/L (25). Il 2,4,6-triclorofenolo e l'acido dicloroacetico sono classificati come cancerogeni dalla IARC, mentre la cloropicrina è una sostanza mutagena (18).

Clorito e clorato

Questi composti sono DBP derivanti dall'impiego di biossido di cloro che tendono a permanere in soluzione in acque trattate. L'OMS ha stabilito un valore di linea guida provvisorio simile sia per il clorato sia per il clorito nelle acque potabili (0,7 mg/L) (18). Negli Stati Uniti e in Italia sono definiti standard per l'acqua potabile per il clorito rispettivamente di 1 mg/L e di 0,2 mg/L (25, 26). In merito alle acque di piscina, l'OMS indica che le concentrazioni sia del clorito sia del clorato dovrebbero essere mantenute sotto i 3 mg/L (4). Da studi tossicologici si evince che il clorito può essere causa di anemia nei bambini e nei giovani e di disordini al livello del sistema nervoso a seguito di esposizione a lungo termine attraverso l'acqua potabile (25). Il clorato può avere effetti goitrogenici a dosaggi elevati (4).

Acido isocianurico e cianurati

Per l'acido isocianurico è stato stabilito, nel nostro Paese, un valore ≤ 75 mg/L (3) sia nelle acque di immissione sia in vasca. Tale valore rientra nei limiti suggeriti dall'OMS per le acque

di piscina (<117 mg/L) (4). Per le acque potabili, il valore di linea guida è di 40 mg/L (18). In altri paesi i limiti del composto, per le acque di piscina, sono piuttosto variabili e, in alcuni casi, l'uso *indoor* non è consentito. I pochi dati disponibili indicano che i livelli di tali sostanze in acque di piscina e di centri benessere possono giungere fino a 500 mg/L (4).

Altri DBP

Dati di letteratura indicano che i DBP attualmente conosciuti rappresentano solo una punta di un iceberg rispetto ad altre numerose sostanze che possono essere ritrovate nelle acque di piscina trattate. È stato dimostrato che gli agenti disinfettanti possono trasformare sostanze come farmaci, olii e lozioni solari e svariati altri prodotti di igiene personale in composti clorurati e ossidati potenzialmente tossici e in precursori di nitrosammine (6). In piscine pubbliche sono stati identificati e quantificati oltre 100 DBP, di cui 15 erano noti mentre i restanti erano del tutto sconosciuti ma classificabili nelle seguenti categorie: aloacidi, THM, aloacetonitrili, aloaldeidi, alochetoni, alonitrometani, aloammidi aloalcol e alofenoli. Nella stessa indagine è stato dimostrato anche il potenziale mutagenico dei campioni d'acqua prelevati dalle piscine in esame (27). In un'indagine condotta in 11 piscine *indoor* trattate con cloro per un periodo di sei mesi è stata dimostrata la presenza dei seguenti DBP: monoclorammina, diclorammina, triclorammina, cloroformio, bromoformio, dibromoclorometano, cloruro di cianogeno, bromuro di cianogeno, dicloroacetonitrile, diclorometilammina e, con frequenza minore, diclorobromometano (28).

Esposizione ai DBP a base di cloro

Una rassegna di studi relativi alla presenza di DPB nelle acque e nell'aria di piscine *indoor* e *outdoor* e di altre tipologie di impianti, come idroterapie e SPA, è riportata dall'OMS. I composti analizzati con maggior frequenza sono stati i THM, in particolare il cloroformio, ma anche gli acidi cloroacetici, con qualche dato su cloroacetonitrili, cloropicrina e cloralio idrato (4). Alcuni studi pongono in rapporto le concentrazioni dei DBP in aria con i livelli plasmatici o l'aria alveolare nei nuotatori e negli operatori. Come esempio, si riportano dati sul cloroformio i cui livelli misurati rispettivamente nell'aria *indoor* e nell'aria alveolare dei nuotatori erano di circa 20,7 e 9,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ prima di arrivare in piscina, di circa 91,7 e 29,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dopo 1 ora di sosta a bordo vasca, di circa 169,7 e 76,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dopo 1 ora di nuoto, per poi decrescere dopo 1 ora dal termine delle attività sportive a livelli di circa 20,0 e 26,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (4).

Di interesse è anche uno studio epidemiologico retrospettivo che ha ricercato un'associazione tra presenza di tricloroammina dell'aria *indoor* in 38 impianti natatori e sintomatologie delle alte vie respiratorie (raucedine, perdita di voce, sinusite), e atopie (iperreattività, rinite e asma allergici) nel personale addetto agli impianti (624 soggetti) (15). La tricloroammina era presente a intervalli tra 0,13 a 1,35 mg/m^3 (media 0,56 mg/m^3). L'associazione è stata dimostrata statisticamente per le sintomatologie a carico delle vie aeree superiori nei lavoratori esposti a tricloroammina rispetto alla popolazione generale. La categoria più a rischio era quella degli istruttori di nuoto con sintomi di sinusite, freddo cronico e mal di gola. Per sintomi atopici è stato invece osservato un eccesso di rischio probabilmente ricollegabile all'aggravarsi di malattie preesistenti o a possibili interazioni tra allergeni e tricloroammina (15).

Sono stati studiati gli effetti dell'esposizione a disinfettanti e DBP in nuotatori professionisti che, in ragione delle molte ore trascorse in vasca, del maggiore sforzo fisico compiuto e di una conseguente inalazione di aria più profonda e potente, assorbono più sostanze a base di cloro. In

questi ultimi è stata rilevata una diminuzione considerevole della funzionalità polmonare in piscine disinfettate con il cloro, e in molti di loro si manifesta sofferenza asmatica.

In ultimo, vi sono anche studi effettuati per stimare il rischio di contrarre asma da parte di bambini e adolescenti. In uno studio che ha coinvolto oltre 800 adolescenti che frequentavano regolarmente piscine *indoor* clorate, è stato dimostrato statisticamente che le attività natatorie potevano fortemente potenziare risposte immunitarie con conseguente sviluppo di asma, febbre da fieno e rinite allergica a seconda delle ore trascorse in piscina in soggetti sensibilizzati (14).

In sintesi, il nuoto rappresenta una delle principali fonti di esposizione non professionale ai DBP della clorazione. In particolare, l'esposizione ai THM è tanto maggiore quanto più è lunga la permanenza in acqua. Sia in ambienti *indoor* sia all'aperto, la concentrazione di THM aumenta in estate a causa delle elevate temperature e dell'immissione di maggiori quantità di materiali organici a seguito del progressivo affollamento degli impianti. Ciò posto, si può affermare che i nuotatori sportivi e agonisti e gli operatori degli impianti sono sicuramente i più esposti all'assunzione di THM attraverso l'aria.

Conclusioni

Come sopra riportato, esiste un elevato potenziale rischio sanitario per operatori e nuotatori derivante da ingestione di acqua, assorbimento attraverso cute e mucose e inalazione in impianti natatori e di wellness *indoor* dove l'acqua è trattata con agenti disinfettanti a base di cloro.

Le pratiche di disinfezione sono tuttavia inevitabili e assolutamente indispensabili per evitare rischi più gravi correlati alla trasmissione di malattie infettive.

In merito ai rischi chimici derivanti dall'ingestione di acqua clorata e di DBP in impianti ad uso natatorio e ricreativo, in mancanza di una specifica normativa, si potrebbe ricorrere ai valori guida dell'OMS (4, 18).

Nel caso di ingestione, si deve tuttavia considerare che la quantità di acqua generalmente ingerita è molto bassa (16-45 mL per gli adulti; ≤ 100 mL per i bambini). Ciò significa che l'esposizione per via orale a clorocomposti è comunque bassa, di breve termine e non continua nel tempo (4).

Diversamente, l'esposizione di cute e mucose interessa sia l'intera superficie corporea sia siti particolarmente sensibili come occhi, bocca, orecchie. Per mitigare questi rischi si rendono necessarie l'applicazione e la diffusione di buone pratiche igieniche e gestionali già definite in molti paesi sia in strutture pubbliche che private.

Gli aspetti più delicati riguardano comunque l'esposizione a disinfettanti e DBP attraverso l'aria, in particolare in piscine e vasche *indoor* e in ambienti chiusi ad esse pertinenti. Per questi tipi di esposizione si può fare riferimento ai valori limite di soglia (*Threshold Limit Value*, TLV) o similari definiti per i clorocomposti negli ambienti di lavoro che si calcolano, in genere, per un'assunzione di aria di circa 10 m^3 di un adulto in una giornata lavorativa di 8 ore per un totale di 40 ore settimanali. È tuttavia necessario osservare che questa quantità, nel caso delle piscine, dovrebbe anche essere modulata considerando anche l'intensità dello sforzo fisico effettuato, il tipo di attività svolta, l'età dei nuotatori con particolare riguardo della popolazione infantile e giovanile, la movimentazione dell'acqua, la durata giornaliera e complessiva dell'esposizione e altri fattori, non ultime le finalità ricreative o professionali dei frequentatori (1, 4, 23).

In Italia, la maggior parte dei criteri rilevanti ai fini della disinfezione e della sicurezza degli impianti natatori è stata enunciata nel 2003 nell'“Accordo tra 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” (3) che, successivamente, sono stati ripresi in diversi regolamenti emanati a livello regionale e provinciale.

Con l'evoluzione delle conoscenze, i requisiti di qualità per impianti natatori, ricreativi e centri benessere dovrebbero essere implementati, estesi e armonizzati al fine di preparare un'efficace base di dati che possa indirizzare nuove attività di tipo prenormativo che includano gli agenti disinfettanti tradizionali e innovativi e i principali DBP.

Sono pertanto auspicabili ulteriori ricerche e indagini sui DBP e lo sviluppo di criteri di qualità per l'aria per questi ultimi, date la numerosità di impianti pubblici e di wellness esistenti e la vastità della popolazione coinvolta nel nostro paese. Ciò aprirebbe nuove strade per forme di controllo routinario dei DBP attraverso un'opportuna selezione di indicatori e dei relativi livelli di sicurezza da inserire in una revisione dell'attuale dettato normativo.

Bibliografia

1. Bonadonna L, Donati G (Ed.). *Piscine ad uso natatorio: aspetti igienico-sanitari e gestionali per l'applicazione della nuova normativa*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2007. (Rapporti ISTISAN 07/11).
2. Italia. Ministero della Sanità - Conferenza Stato-Regioni. Atto di intesa relativo agli aspetti igienico sanitari concernenti la costruzione, la manutenzione e la vigilanza delle piscine ad uso natatorio. *Gazzetta Ufficiale* n. 39 (S.O. n. 32) del 17.2.1992.
3. Italia. Accordo 16 gennaio 2003 tra il Ministero della Salute, le Regioni e le Province Autonome di Trento e Bolzano relativo agli aspetti igienico-sanitari per la costruzione, la manutenzione e la vigilanza delle piscine ad uso natatorio. *Gazzetta Ufficiale* n. 51 del 3.3.2003.
4. World Health Organization. *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 2. Swimming pools and similar environments*. Geneva: WHO; 2006. Disponibile all'indirizzo: http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/bathing2/en; ultima consultazione 16/09/2014.
5. Bonadonna L, Colagrossi R, La Sala L (Ed.). *Parametri microbiologici per il controllo delle acque di piscina: metodi analitici di riferimento*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/46).
6. Bottoni P, Bonadonna L, Chirico M, Caroli S, Záray G. Emerging issues on degradation by-products deriving from personal care products and pharmaceuticals during disinfection processes of water used in swimming pools. *Microchem J* 2014;112:13-6.
7. USEPA. *Alternative disinfectants and oxidants. Guidance manual*. Washington, DC: EPA, Office of Water; 1999. (EPA 815-R-99-014). Disponibile all'indirizzo: http://www.epa.gov/ogwdw/mdbp/alternative_disinfectants_guidance.pdf; ultima consultazione 16/09/2014.
8. Centers for Disease Control and prevention. *Healthy swimming/Recreational water. Operating Public Hot Tubs*. [internet]. Atlanta: CDC; 2014. Disponibile all'indirizzo: <http://www.cdc.gov/healthywater/swimming/resources/operating-public-hot-tubs-factsheet.html>; ultima consultazione 16/09/2014.
9. Brandi G, Sisti M, Papparini A, Gianfranceschi G, Schiavano GF, De Santi M, Santoni D, Magini V, Romano-Spica V. 2007. Swimming pools and fungi: an environmental epidemiology survey in Italian indoor swimming facilities. *Int J Environ Health Res* 2007;17:197-206.
10. Briancesco R, Meloni P, Semproni M, Bonadonna L. Non-tuberculous mycobacteria, amoebae and bacterial indicators in swimming pool and spa. *Microchem J* 2014;113:48-52.
11. Barna Z, Kádár M. The risk of contracting infectious diseases in public swimming pools. A review. *Ann Ist Super Sanità* 2012;48:374-86.
12. United States Environmental Protection Agency. *Safe storage and handlings of swimming pool chemicals*. Washington, DC: EPA; 2001. (EPA 550-F-01-003). Disponibile all'indirizzo:

- <http://www2.epa.gov/sites/production/files/2013-11/documents/spalert.pdf>; ultima consultazione 16/4/2015.
13. CDC. Acute Illness and injury from swimming pool disinfectants and other chemicals. United States, 2002-2008. *MMWR* 2011;60:1343-7. Disponibile all'indirizzo: http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6039a2.htm?s_cid=mm6039a2_e;ultima consultazione 16/09/2014.
 14. Bernard A, Nickmilder M, Voisin C, Sardella A. Impact of chlorinated swimming pool attendance on the respiratory health of adolescents. *Pediatrics* 2009; 124: 110-118.
 15. Jacobs JH, Spaan S, van Rooy GBGJ, Meliefste C, Zaat VAC, Rooyackers JM, Heederik D. Exposure to trichloramine and respiratory symptoms in indoor swimming pool workers. *Eur Respir J* 2007;29:690-8.
 16. Rice EW, Baird RB, Eaton AD, Clesceri LS (Ed.). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American Water Work Association; 2012.
 17. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, Istituto di Ricerca sulle Acque Consiglio Nazionale delle Ricerche. *Metodi analitici per le acque. Volume 2, Costituenti inorganici non metallici. Cloro attivo libero*. Roma: APAT; 2003. (Rapporti 29/2003). Disponibile all'indirizzo: <http://www.irsa.cnr.it/ShPage.php?lang=it&pag=metod>; ultima consultazione 16/09/2014.
 18. World Health Organization. *Guidelines for drinking water quality. Fourth Edition*. Geneva: WHO; 2011. Disponibile all'indirizzo: http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf; ultima consultazione 16/09/2014.
 19. Thomas HL, Murray V. Review of acute chemical incidents involving exposure to chlorine associated with swimming pools in England and Wales, June-October 2007. *J Public Health* 2008;30:391-7.
 20. Scottish Centre for Infection and Environmental Health. *Chemicals in drinking water: chloramines*. Glasgow: Health Protection Scotland. 2001.
 21. Li J, Blatchley ER. Volatile disinfection byproduct formation resulting from chlorination of organic-nitrogen precursors in swimming pools. *Environ Sci Technol* 2007;41:6732-9.
 22. Health Canada. *Environmental and workplace health. Chloramines*. Ottawa: Health Canada; 1995. Disponibile all'indirizzo: http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/chloramines/chloramines-eng.pdf; ultima consultazione 16/09/2014.
 23. Dipartimento di Medicina del Lavoro, Osservatorio Nazionale Epidemiologico sugli ambienti di vita. *Le piscine*. Roma: Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro; 2005. (Quaderni per la salute e la sicurezza). Disponibile all'indirizzo: <http://www.ispesl.it/ossvita/pdf/Piscine.pdf>; ultima consultazione 16/4/2015.
 24. Centers for Disease Control and prevention. *Workplace safety & health topics. Chloroform*. Atlanta, GA: CDC; 2013. Disponibile all'indirizzo: <http://www.cdc.gov/niosh/topics/chloroform>; ultima consultazione 16/4/2015.
 25. United States Environmental Protection Agency. *Drinking water standards and health advisories*. Washington, DC: Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency; 2012. (EPA 822-S-12-001). Disponibile all'indirizzo: <http://water.epa.gov/drink/standards/hascience.cfm>; ultima consultazione 16/09/2014.
 26. Italia. Decreto legislativo 2 febbraio 2001, n. 31. Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano. *Gazzetta Ufficiale – Serie Generale* n. 52, 3 marzo 2001.
 27. Richardson SD, De Marini DM, Kogevinas M, Fernandez P, Marco E, Lourencetti C, Ballesté C, Heederik D, Meliefste K, McKague AB, Marcos R, Font-Ribera L, Grimalt JO, Villanueva CM. What's in the Pool? A comprehensive identification of disinfection by-products and assessment of

mutagenicity of chlorinated and brominated swimming pool water. *Environ Health Persp* 2010;118:1523-30.

28. Weaver WA, Li J, Wen Y, Johnston J, Blatchley MR, Blatchley ER 3rd. Volatile disinfection by-product analysis from chlorinated indoor swimming pools. *Water Res* 2009;43:3308-18.