

## IGIENE AMBIENTALE

---

---



# CARATTERISTICHE ORGANOLETTICHE DELLE ACQUE DESTINATE AL CONSUMO UMANO: L'ODORE

Rassegna bibliografica a cura di  
**Nadia Fontani<sup>1</sup> e Annamaria Cucchi<sup>2</sup>**

### Gli odori dell'acqua potabile

Le caratteristiche organolettiche dell'acqua erogata alla popolazione rappresentano un fattore di fondamentale importanza in quanto gli utenti giudicano la qualità dell'acqua fornita essenzialmente in base alla sua disponibilità e a colore, odore, sapore e torbidità o limpidezza poiché questi sono gli unici parametri immediatamente apprezzabili dal consumatore. Si tratta ovviamente di un giudizio incompleto ma che va tenuto in considerazione insieme ai risultati di complete analisi di laboratorio.

Da un'indagine condotta nel 1989 da una "Commissione Odori e Sapori", istituita dall'AWWA, è emerso che i principali problemi di odori segnalati dagli utenti erano l'odore di cloro, seguito da odore terroso e di pesce. Gli odori terrosi erano più frequentemente legati a fonti contenenti alghe (acque superficiali). Nel caso di impianti di trattamento di acque profonde, invece, i problemi principali erano generati dalla percezione dell'odore di cloro, di zolfo e di medicinali (SUFFET *et al.*, 1996).

L'odore di terriccio o muffa non sembra quindi essere tipico dei sistemi che utilizzano acque profonde. Quando presente, esso appare comunque legato alla presenza di specifici microrganismi nell'acqua impiegata e/o al loro sviluppo negli impianti di trattamento o di distribuzione.

---

<sup>1</sup> AGAC Reggio Emilia

<sup>2</sup> biologa libera professionista

---

I più potenti composti odorigeni risultano essere infatti metaboliti microbici o prodotti che si formano comunque a seguito dell'attività microbica, quali, per esempio, il 2,4,6-tricloroanisolo, la geosmina, il 2-metilisoborneolo (MIB), la 2-isobutil-3-metossipirazina e la 2-isopropil-3-metossipirazina, prodotti da diversi organismi presenti nei corpi idrici o nel suolo ed in grado di produrre odori percepibili già a concentrazioni di pochi nanogrammi per litro (YOUNG *et al.*, 1996).

La tabella I riporta i principali composti in grado di impartire odori e sapori all'acqua.

Funghi e attinomiceti sono noti produttori di geosmina e 2-metilisoborneolo (DE MATTIA *et al.*, 1991), ma possono impartire odori e sapori sgradevoli all'acqua anche attraverso altri meccanismi.

MONTIEL *et al.* (1987) hanno attribuito la comparsa di acqua maleodorante in una zona di Parigi alla formazione di 2,3,6-tricloroanisolo per metilazione del 2,3,6-triclorofenolo a seguito del trattamento con ipoclorito e ad opera dei funghi ritrovati nelle reti di distribuzione (*Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* e *Penicillium*).

Questo possibile meccanismo di formazione di composti odorosi è stato confermato da NYSTRÖM *et al.* (1992) e KARLSSON *et al.* (1995b); i primi hanno constatato la capacità di alcuni funghi (*Phialophora*, *Acremonium*, *Penicillium*) e attinomiceti di produrre 2,4,6-tricloroanisolo per metilazione del 2,4,6-triclorofenolo, formato nei trattamenti di disinfezione con ipoclorito o per alogenazione naturale.

Oltre all'ipoclorito anche altri composti, utilizzati comunemente nei processi di trattamento, possono contribuire alla formazione di odori sgradevoli. Diverse sostanze chimiche, infatti, possono causare danni ai microrganismi presenti nell'acqua trattata (es. distruzione della membrana cellulare), portando alla liberazione di DOC (dissolved organic carbon), tossine e altre sostanze responsabili di odori e sapori sgradevoli (geosmina, MIB, ecc).

Di tutte le sostanze saggiate, quelle che sembrano esplicare i danni maggiori sulle cellule sono cloro, solfato di rame, permanganato di potassio e idrossido di calcio. L'acqua ossigenata è ritenuta responsabile di danni di media entità, mentre solfato di alluminio e cloruro ferrico sembrano non avere effetti sulla mem-

brana cellulare e quindi sul rilascio di sostanze organiche (PETERSON *et al.*, 1995).

In particolare, il trattamento con solfato di rame, associato alla sonificazione, è stato utilizzato da BOWMER *et al.* (1992) per provocare la lisi cellulare in colture pure di *Anabaena circinalis* e dimostrare l'esistenza di una frazione intracellulare di geosmina, rilasciata solo dopo la rottura della membrana cellulare, oltre alla quota di geosmina prodotta e rilasciata nel mezzo.

DIONIGI (1995) ha dimostrato d'altra parte che il solfato di rame ( $\text{CuSO}_4$ ) ed altri composti contenenti rame, a basse concentrazioni sono in grado di stimolare la crescita della biomassa e la produzione di geosmina da parte di alcune specie fungine quali *Streptomyces tendae*, *Streptomyces albidoflavus* e *Penicillium expansum*.

Gli attinomiceti, insieme ad alghe fitoplanctoniche (soprattutto Cianofitee), sono riconosciuti essere i principali responsabili degli odori di terra nelle acque superficiali. Come le alghe, anche gli attinomiceti concorrono alla produzione di odori con molti composti, in genere volatili, quali 2-isopropil-3-metossipirazina, feniletanolo, salicilaldeide, ecc., oltre a MIB e geosmina.

Gli attinomiceti, inoltre, hanno la capacità esclusiva di sintetizzare mucidone, dal caratteristico odore di muffa.

BLEVINS *et al.* (1995) hanno studiato gli effetti di particolari fattori ambientali sulla produzione di biomassa e di geosmina da parte dell'attinomicete *Streptomyces halstedii*, trovando che la massima produzione di biomassa si verifica a pH 6-7, 30 °C ed elevate concentrazioni di azoto ammoniacale e nitrico, mentre la massima produzione di geosmina si ha a pH 9, 35 °C e basse concentrazioni di azoto ammoniacale e nitrico.

Tra i batteri, molte specie del genere *Pseudomonas* sembrano essere in grado di sintetizzare 2-isopropil-3-metossipirazina ed anche geosmina. Solitamente però la presenza di *Pseudomonas* è associata ad odore di marcio, generato da composti solforati, tra cui predomina il dimetilsolfuro.

Numerosi altri batteri eterotrofi poi sono in grado di produrre dimetilsolfuri utilizzando precursori orga-

**Tab. I.** Principali composti in grado di impartire odori e sapori all'acqua.

<b>Chemical</b>	<b>Odour descriptor</b>	<b>Taste descriptor</b>
<i>Pesticides</i>		
Atrazine	Plastic, polythene, weak bleach	Bitter, astringent
Carbaryl	Disinfectant, glue, hospital, plasters	Antiseptic, plasters, earthy
Chlorophenvinphos	Insecticide, fertiliser, antiseptic	Insecticide, fertiliser, antiseptic
Diazinon	Earthy, musty, potato, cabbage water	–
Dichlobenil	Plastic, cardboard	–
MCPA	Antiseptic	Bitter
Maleic hydrazide	–	Metallic, menthol
Isoproturon	–	Bitter, acid
Propyzamide	Dusty, sooty, cardboard	–
<i>Phenolic and anisole compounds</i>		
4-Chloroanisole	Musty, medicinal, perfume, musky, wet paper	Musty, stale, perfume, earthy, aniseed, sweet
4-Chloro-2-methylphenol	Chemical, TCP, medicinal, acetone	Chlorine, TCP, medicinal, stale, salty
4-Chloro-3-methylphenol	Musty, stale, wet paper, woody, damp	Stale, musty, damp, chlorine
2-Chloro-4-methylphenol	Antiseptic, TCP, plasters	Antiseptic, TCP
Chlorophenol	Musty, sweet, floral, chemical, TCP	Chemical, bitter, TCP, antiseptic
2,4-Dichloroanisole	Musty, stale, chemical, roses	Stale, musty, stagnant, roses
2,4-Dichlorophenol	Musty, antiseptic, medicinal, TCP	Antiseptic, disinfectant
2,6-Dichlorophenol	Musty, antiseptic, medicinal, TCP, metallic	Disinfectant, antiseptic, chemical, TCP, musty, earthy, metallic
Phenol	Wet paper, wet newspaper, cardboard	Metallic, bitter
2,4,6-Trichloroanisole	Dusty, musty, earthy, rotten vegetable	Musty, stale, antiseptic, earthy
<i>Naturally occurring organic compounds</i>		
Geosmin	Musty, earthy, stagnant, grassy, beetroot, mould	Musty, earthy, stale, beetroot, mould
2-Isobutyl-3-methoxy-pyrazine	Woody, stale, musty, coal-dust, ash	Creosote, stale, dusty, coal-dust
2-Isopropyl-3-methoxy-pyrazine	Sooty, dusty, cabbage, wet paper	Musty, vegetable water, stale, peas, asparagus
2-methylisoborneol	Musty, earthy, brazil nuts, peaty	Earthy, musty, mouldy, peaty
<i>Other organic compounds</i>		
Benzene	TCP, musty, phenolic	–
Chlorobenzene	Medicinal, chemical, musty	Bitter, cardboard, musty, paint
Chloroform	Chemical, antiseptic, acetone, estery	Metallic, sweet, cardboard, stale
2-Chlorotoluene	Nail varnish	Musty, stale, nail varnish
3-Chlorotoluene	Disinfectant, TCP, antiseptic	Disinfectant, TCP, bitter
4-Chlorotoluene	Marzipan, almond	Marzipan, aniseed
1,2-Dichlorobenzene	Grassy, vegetable water	Cardboard
1,3-Dichlorobenzene	Medicinal, disinfectant, musty	TCP, cardboard, antiseptic
1,4-Dichlorobenzene	Almond, sweet, marzipan, antiseptic	Almond, cherry sweets, aniseed
Ethylbenzene	Musty, plastic, resin, oily, chemical, styrene, stale	Plastic, resin, oily, chemical, styrene, glass fibre
HHCB	Perfume, floral, soapy, musk, sweet	Perfume, floral, metallic, stale, plastic
Isopropylbenzene	Windowlens, polish, paint, pear drops	Stale, bicarbonate
4-Isopropyltoluene	Rubber gloves, paraffin, sweet, TCP	–
Methyl tert-butyl ether	Estery, vanilla, sweet	Estery, bitter
Naphthalene	Mothballs	Mothballs
Styrene	Rubber, paint, sulphurous	Paint, rubbery, cardboard, shoe polish
Toluene	Paint, chemical, weak petrol	Bitter
1,1,1-Trichloroethane	Dusty, sooty, polish	Stale, drying, musty, chinese food
<i>Inorganic compounds</i>		
Aluminium sulphate	–	Musty, mouldy, stale, (soft water)

nici ed inorganici contenenti zolfo (*Moraxella*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*), (DE MATTIA *et al.*, 1991).

Infine, tra i metazoi, i nematodi si sono rivelati in grado di produrre un metabolita capace di imprimere all'acqua odore di terra, rilevabile fino a diluizioni di 1:20000 (BURRINI e LUPI, 1993).

Nel caso specifico degli impianti di trattamento delle acque profonde e delle relative reti acquedottistiche, ad eccezione delle alghe (che difficilmente possono svilupparsi in un sistema costituito da ambienti privi di luce, quali falde, filtri e tubazioni), tutti gli altri microrganismi fino ad ora menzionati sono stati osservati nell'acqua di controlavaggio dei filtri o nell'acqua raccolta dal lavaggio delle reti di distribuzione.

### La misura degli odori

La misura degli odori costituisce un aspetto del problema quanto mai dibattuto, ma non ancora definito. Esistono due classi di metodi di misura.

I metodi analitici sono basati sull'analisi strumentale di un campione di acqua (principalmente cromatografia gas-massa). Un limite alla loro applicazione è costituito dal costo delle analisi e dal fatto che non tutti i composti possono essere analizzati e rilevati facilmente alle concentrazioni, a volte molto basse, alle quali possono essere presenti, concentrazioni comunque sufficienti per essere rilevate dall'olfatto umano.

I metodi olfattometrici (APHA, 1995; YOUNG *et al.*, 1996) si basano sul rilevamento degli odori da parte di apposite giurie composte da diverse persone. La determinazione olfattometrica di un odore (o di un sapore) è un procedimento complesso, in quanto esistono notevoli differenze nelle risposte, non solo tra individui diversi, ma anche per lo stesso individuo da un giorno all'altro. Esistono infatti persone che sono sicuramente più sensibili di altre a molti composti chimici e l'intensità ed il tipo di odore o sapore percepito possono variare notevolmente. Per questi motivi un'indagine che voglia determinare la presenza e l'intensità di odori nell'acqua distribuita per uso potabile dovrebbe essere condotta seguendo un preci-

so protocollo, in modo da eliminare quanto più possibile almeno le interferenze esterne, essendo quelle legate alla sensibilità soggettiva intrinseche all'analisi stessa e non controllabili.

I metodi olfattometrici risentono di tutti i fenomeni di mascheramento, sinergia, ecc., tra sostanze differenti e non consentono perciò di discriminare i diversi composti responsabili degli odori all'interno di una miscela; di conseguenza non sono utili per la definizione delle sostanze da rimuovere né, ovviamente, per la loro determinazione quantitativa. Inoltre richiedono, come si è visto, squadre di assaggiatori addestrati (i cosiddetti "test panel") ed elaborazioni statistiche, data la variabilità delle risposte dei singoli componenti.

Entrambi i metodi hanno una loro importanza e validità; certamente solo i metodi analitici sono in grado di fornire dati precisi ma, d'altra parte, solo i metodi olfattometrici permettono di avere una descrizione dell'odore e rispecchiano in modo reale quello che può essere il disturbo provocato da un determinato composto alla persona.

Sono stati condotti diversi tentativi di sintesi tra i due approcci, olfattometrico e analitico. Uno di questi è stata la messa a punto di un sistema simulante l'apparato olfattivo: il cosiddetto "naso elettronico". Il "naso elettronico intelligente" FOX 2000, prodotto dall'inglese Alpha M.O.S., utilizza sei piccoli sensori, costituiti da diversi semiconduttori ad ossidi metallici. Le sostanze volatili odorose vengono rilevate per effetto del cambiamento della resistenza elettrica del semiconduttore. Con questo sistema è possibile ottenere una "impronta tipica dell'odore". Una rete neurale o altri metodi di analisi statistica multivariata mettono in correlazione la risposta del naso elettronico con le descrizioni dell'odore fornite dalla strumentazione analitica tradizionale e dalle prove organolettiche, costituendo una biblioteca di odori per l'identificazione di quelli del campione in analisi (POLESELLO, 1994).

Un altro sistema che cerca di combinare i due approcci è la gascromatografia sensoriale, adottata da diversi Autori per la ricerca e la identificazione dei composti odorigeni nell'acqua (KHIARI *et al.*, 1992; NYSTRÖM *et al.*, 1992; BROWNLEE *et al.*, 1995; KENEFI-

CK *et al.*, 1995; KARLSSON *et al.*, 1995a; COTSARIS *et al.*, 1995). Questa tecnica consente di creare un legame diretto tra odori percepiti ed analisi strumentale e di distinguere le singole componenti che contribuiscono a determinare il particolare odore rilevato da un "panel test" in un campione di acqua, mostrando così la reale complessità del profilo di un odore.

### **Possibili trattamenti di rimozione degli odori dalle acque destinate al consumo umano**

Nella filiera di trattamento di un impianto di potabilizzazione il processo di coagulazione-sedimentazione abbatte già da solo una discreta percentuale (30-40%) di sostanze odorigene, in quanto rimuove i microrganismi (alghe, attinomiceti, batteri ecc.) che contengono o sono comunque in grado di produrre la maggior parte di queste sostanze (ANDO *et al.*, 1992).

Vari autori (EGASHIRA *et al.*, 1992; ISHIDA e MIYAJI, 1992; SUMIMOTO, 1992; TERAUCHI *et al.*, 1995; OIKAWA *et al.*, 1995) riportano la capacità di diversi microrganismi (*Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Flavobacterium* spp., lieviti del genere *Candida*) di degradare MIB e geosmina e la conseguente possibilità di ottenere una rimozione biologica di questi composti per filtrazione su supporti solidi (sabbia o carboni attivi).

Tuttavia, secondo HUCK *et al.* (1995), la filtrazione biologica non è comunque utilizzabile come trattamento primario per l'eliminazione di composti odorigeni, quali MIB e 2,4,6-tricloroanisolo, e soprattutto non è adatta a risolvere problemi di comparsa occasionale di odori e sapori nell'acqua da trattare. I composti odorigeni, infatti, risultano essere difficilmente degradabili in assenza di una biomassa acclimatata e quindi possono essere effettivamente rimossi biologicamente solo nei casi in cui la loro presenza nell'acqua da trattare sia abbastanza costante ed adottando basse velocità di filtrazione (filtri lenti).

I carboni attivi granulari (GAC), per le loro proprietà adsorbenti, sono in effetti il metodo più largamente utilizzato per la rimozione dei composti odorosi e, in particolare, di geosmina e 2-metilisorborneolo (SELIGMAN *et al.*, 1992; PIRBAZARI *et al.*, 1993).

I carboni attivi in polvere (PAC) possono essere

utilizzati per lo stesso scopo, ma la contemporanea presenza di elevate concentrazioni di sostanza organica nell'acqua trattata può ridurne l'efficacia (HRUDEY *et al.*, 1992) e comunque i rendimenti di abbattimento difficilmente superano il 20% se i PAC vengono utilizzati da soli. Rendimenti del 65% sono raggiungibili con la combinazione di PAC e clorazione (ANDO *et al.*, 1992).

Alcuni microrganismi responsabili della formazione di sostanze odorigene possono talvolta generare anche tossine con conseguenti possibili danni per la salute umana; tra questi alcune specie di cianobatteri quali *Microcystis aeruginosa* e *Oscillatoria agardhii*. L'utilizzo di GAC e PAC si è rivelato efficace per l'eliminazione non solo degli odori sgradevoli, ma anche nei confronti delle tossine prodotte verso le quali i trattamenti convenzionali applicati alle acque da destinarsi ad uso potabile (coagulazione, filtrazione e clorazione) si sono dimostrati inefficienti (KENE-FICK *et al.*, 1992).

Anche l'impiego di composti ossidanti, come ozono e perozono (ottenuto da ozono combinato con acqua ossigenata), ha permesso di ottenere buoni risultati nella rimozione di odori e sapori sgradevoli causati da 2-metilisorborneolo e geosmina, indipendentemente, tra l'altro, dai tempi di contatto. In particolare il perozono si è dimostrato un ossidante migliore rispetto all'ozono e la geosmina si è rivelata più facilmente ossidabile rispetto al 2-metilisorborneolo (KOCH *et al.*, 1992).

THORELL *et al.* (1992) hanno verificato tuttavia che il trattamento con ozono di un'acqua superficiale determina la formazione di nuovi composti odorosi, mai riscontrati nell'acqua grezza. Alcuni di questi composti sono risultati essere aldeidi, già identificate tra i sottoprodotti dei trattamenti di disinfezione.

I migliori risultati sono stati ottenuti associando il trattamento con ozono al successivo passaggio su carboni attivi. Un'esperienza condotta da NADOT (1995) ha dimostrato che se il solo dosaggio di ozono, pur riducendo notevolmente gli odori e i sapori sgradevoli nell'acqua trattata, non era sufficiente per la loro completa rimozione, lo stesso ozono associato ai carboni attivi addizionati all'acqua grezza permetteva di eliminare completamente il problema.

L'ossidazione con ozono seguita dalla filtrazione

su carboni attivi può essere inoltre agevolmente applicata anche nei casi in cui la concentrazione dei composti odorosi nell'acqua da trattare non sia costante, casi che richiederebbero invece un notevole impegno nel caso del trattamento con PAC, a causa della necessità di regolare i dosaggi (MURAMOTO *et al.*, 1995).

Il minerale *zeolite* ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 80$ ) può essere utilizzato in luogo dei carboni attivi per la rimozione delle sostanze odorigene. Nonostante il costo di questo materiale sia maggiore rispetto a quello dei carboni, esso sembra possedere caratteristiche migliori rispetto ai carboni stessi: l'adsorbimento delle sostanze

odorigene non è ridotto dalla contemporanea presenza di sostanze umiche, necessita di metodi di rigenerazione più semplici (riscaldamento a 500 °C, ma presenta comunque una certa stabilità anche a temperature più elevate, fino a 1100 °C), l'efficienza di adsorbimento non è influenzata negativamente dalla presenza di cloro o di altre sostanze ossidanti. Una volta adsorbite sui granuli di zeolite, le sostanze da rimuovere vengono strettamente trattenute dai pori, evitando la ricontaminazione dell'acqua filtrata. La zeolite possiede una efficienza di abbattimento della geosmina simile a quella dei carboni attivi, ma presenta una minore efficienza nell'abbattimento del MIB rispetto agli stessi carboni (ELLIS e KORTH, 1993).

#### Bibliografia consultata

ANDO A., MIWA M., KAJINO M. e TATSUMI S., 1992 - Removal of musty-odorous compounds in water and retained in algal cells through water purification process. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 299-306.

ANDREOTTOLA G. e RIGANTI V., 1997 - Gli odori e le sostanze odorigene. In: *Atti del Seminario di Studi "Il contenimento degli odori negli impianti di trattamento di acque e rifiuti"*, Pavia, 23 maggio 1997, pp. 11-115.

APHA, 1995 - *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th Ed. APHA, AWWA, WEF. United Book Press Inc., Baltimore.

BLEVINS W.T., SCHRADER K.K. e SAADOUN I., 1995 - Comparative physiology of geosmin production by *Streptomyces halstedii* and *Anabaena* sp.. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 127-133.

BOWMER K.H., PADOVAN A., OLIVER R.L., KORTH W. e GANF G.G., 1992 - Physiology of geosmin production by *Anabaena circinalis* isolated from the Murrumbidgee River, Australia. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 259-267.

BROWNLEE B.G., KENEFICK S.L., MACINNIS G.A. e HRUDEY S.E., 1995 - Characterization of odorous compounds from bleached kraft pulp mill effluent. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 35-40.

BURRINI D. e LUPI E., 1993 - Potabilizzazione di acque superficiali: influenza dei trattamenti sulla presenza di metazoi. In: A. Frigerio (ed.), *Acque per uso potabile*, pp. 249-262. CSI, Milano.

COTSARIS E., BRUCHET A., MALLEVIALLE J. e BURSILL D.B., 1995 - The identification of odorous metabolites produced from algal monocultures. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 251-258.

DE MATTIA M., VOLTERRA L., CESARONI D., BUCCI M.A., PODA G., CHETTI L. e BELTRAMI P., 1991 - Sulla possibile causa dei caratteri organolettici di un'acqua potabile. *I.A.*, **20** (11/12), 675-677.

DIONIGI C.P., 1995 - The effects of copper sulfate on geosmin biosynthesis by *Streptomyces tendae*, *Streptomyces albidoflavus* and *Penicillium expansum*. *Wat. Sci. Tech.*, **11**, 135-138.

EGASHIRA K., ITO K. e YOSHIY Y., 1992 - Removal of musty odor compound in drinking water by biological filter. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 307-314.

ELLIS J. e KORTH W., 1993 - Removal of geosmin and methylisoborneol from drinking water by adsorption on ultrastable zeolite-y. *Wat. Res.*, **27** (4), 535-539.

HRUDEY S.E., RECTOR D. e MOTKOSKY N., 1992 - Characterization of drinking water odour arising from spring thaw for an ice-covered upland river source. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 65-72.

HUCK P.M., KENEFICK S.L., HRUDEY S.E. e ZHANG S., 1995 - Bench-scale determination of the removal of odour compounds with biological treatment. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 203-209.

ISHIDA H. e MIYAJI Y., 1992 - Biodegradation of 2-methylisoborneol by oligotrophic bacterium isolated from a eutrophied lake. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 269-276.

KARLSSON S., GRIMVALL A. e BORÉN H., 1995a - Drinking water off-flavour caused by the formation of short-chain fatty acids in slow sand filters. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 49-54.

KARLSSON S., KAUGARE S., GRIMVALL A., BORÉN H. e SAVENHED R., 1995b - Formation of 2,4,6-trichlorophenol and 2,4,6-trichloro-

- anisole during treatment and distribution of drinking water. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 99-103.
- KENEFFICK S.L., HRUDEY S.E., PREPAS E.E., MOTKOSKY N. e PETERSON H.G., 1992 - Odorous substances and cyanobacterial toxins in prairie drinking water sources. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 147-154.
- KENEFFICK S.L., BROWNLEE B.G., PERLEY T.R. e HRUDEY S.E., 1995 - A chemical and sensory study of odour compounds in the Athabasca River, Alberta, Canada. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 15-21.
- KHIARI D., BRENNER L., BURLINGAME G.A. e SUFFET I.H., 1992 - Sensory gas chromatography for evaluation of taste and odor events in drinking water. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 97-104.
- KOCH B., GRAMITH J.T., DALE M.S. e FERGUSON D.W., 1992 - Control of 2-methylisoborneol e geosmin by ozone and peroxone: a pilot study. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 291-298.
- MONTIEL A., OUVRARD J., RIGAL S. e BOUSQUET G., 1987 - Etude de l'origine et du mécanisme de formation de composés sapides responsables de goûts de moisi dans les eaux distribuées. *TSM L'Eau*, **2**, 73-81.
- MURAMOTO S., UDAGAWA T. e OKAMURA T., 1995 - Effective removal of musty odor in the Kanamachi Purification Plant. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 219-222.
- NADOT J., 1995 - Etude et traitement d'un problème organoleptique survenu à l'usine de production des eaux d'alimentation de Mathay lors de l'été 1984. *TSM L'Eau*, **10**, 749-753.
- NYSTRÖM A., GRIMVALL A., KRANTZ-RÜLKER C., SÄVENHED R. e ÅKERSTRAND K., 1992 - Drinking water off-flavour caused by 2,4,6-trichloroanisole. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 241-249.
- OIKAWA E., SHIMIZU A. e ISHIBASHI Y., 1995 - 2-methylisoborneol degradation by *cam* operon from *Pseudomonas putida* PpG1. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 79-86.
- PETERSON H.G., HRUDEY S.E., CANTIN I.A., PERLEY T.R. e KENEFFICK S.L., 1995 - Physiological toxicity, cell membrane damage and the release of dissolved organic carbon and geosmin by *Aphanizomenon flos-aquae* after exposure to water treatment chemicals. *Wat. Res.*, **29** (6), 1515-1523.
- PIRBAZARI M., RAVINDRAN V., BADRIYHA B. H., CRAIG S. e MCGUIRE M., 1993 - GAC adsorber design protocol for the removal of off-flavors. *Wat. Res.*, **27** (7), 1153-1166.
- POLESELLO A., 1994 - Il "naso elettronico intelligente" FOX 2000. *Laboratorio 2000*, **3**, 18-21.
- SELIGMAN K., ENOS A.K. e LAI H.H., 1992 - A comparison of 1988-1990 flavour profile analysis results with water condition in two northern California reservoirs. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 19-25.
- SUFFET I.H., CORADO A., CHOU D., MCGUIRE M.J. e BUTTERWORTH S., 1996 - AWWA taste and odor survey. *Journal AWWA*, **4**, 168-180.
- SUMITOMO H., 1992 - Biodegradation of 2-methylisoborneol by gravel sand filtration. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 191-198.
- TERAUCHI N., OHTANI T., YAMANAKA K., TSUJI T., SUDOU T. e ITO K., 1995 - Studies on a biological filter for musty odor removal in drinking water treatment processes. *Wat. Sci. Tech.*, **31**, 229-235.
- THORELL B., BORÉN H., GRIMVALL A., NYSTRÖM A. e SÄVENHED R., 1992 - Characterization and identification of odorous compounds in ozonated waters. *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 139-146.
- YOUNG W.F., HORTH H., CRANE R., OGDEN T. e ARNOTT M., 1996 - Taste and odor threshold concentrations of potable water contaminants. *Wat. Res.*, **30** (2), 331-340.