

CROMO ESAVALENTE: PRESENZA E RILEVABILITÀ NELLE ACQUE

C. Lasagna, F. De Novellis

Abstract: La presenza di cromo esavalente nelle acque destinate al consumo umano distribuite negli Stati Uniti ha recentemente risvegliato grosse preoccupazioni tra la popolazione a causa dell'accertata tossicità a vari livelli di questa specie. Il presente lavoro tratta i problemi correlati a tale tossicità e la conseguente ricerca di un limite di legge ragionevole, anche tenendo conto delle attuali capacità strumentali.

Abstract: The presence of hexavalent chromium in the drinking water distributed in the United States has caused much concern among the local population. This work deals with the problems connected with the toxicity of Cr (VI) and the subsequent search for a reasonable MCL, keeping into account the analytical instrumentation currently available.

1 Introduzione

Il cromo si trova in natura in aria, acqua, suolo e nel biota nei suoi diversi numeri di ossidazione (0, +2, +3, +6, con prevalenza dei due ultimi). In particolare la speciazione tra la forma trivalente e quella esavalente è legata a diversi fattori ambientali, quali il pH ed eventuali ligandi presenti nella matrice. Va tenuto presente che il cromo esavalente, a causa delle sue forti proprietà ossidanti, reagisce facilmente con la sostanza organica con cui viene a contatto, riducendosi fino a cromo trivalente. Il cromo permane comunque nella forma esavalente se le condizioni ambientali sono tendenzialmente molto ossidanti: in tal caso l'elevata mobilità dello ione cromato ne favorisce il trasporto e la dispersione nel terreno e nell'ambiente idrico.

Mentre la forma trivalente è caratterizzata da una tossicità relativamente bassa ed è considerata un nutriente essenziale per il mantenimento del livello ematico di glucosio (potenzia la funzione dell'insulina attraverso la sua attività tirosin-chinasica), il cromo esavalente è considerato altamente tossico e sulla base di evidenze sperimentali ed epidemiologiche è stato classificato dalla IARC come cancerogeno per l'uomo (classe I). L'attenzione verso la presenza di cromo esavalente nelle acque destinate al consumo umano è stata recentemente risvegliata da una serie di articoli apparsi sul *Washington Post* nel 2010, nei quali si faceva riferimento alla presenza di tale specie nelle acque distribuite in 31 città degli Stati Uniti: pur non esistendo un limite di legge specifico per il Cr(VI), in 25 dei 31 casi di cui sopra, il valore ritrovato superava il valore guida (letteralmente, *public health goal*) di 0,06 µg/l, proposto all'epoca dalla normativa della California.

1.2 Utilizzo industriale del cromo esavalente

I sali di cromo esavalente normalmente utilizzati in campo industriale vengono ricavati dalla cromite, cioè dal cromato ferrico presente in natura in giacimenti ubicati principalmente in Turchia, Zimbabwe e Russia. Il loro utilizzo è legato alla produzione di pigmenti e coloranti, di inibitori di corrosione, di refrattari, ma anche alla concia delle pelli e ai processi di trattamento del legno. Informazioni più dettagliate sono riportate in tabella 1.

Tab. 1 - Utilizzo industriale dei composti del cromo esavalente

Nome	Formula	Usi
Triossido di cromo	CrO ₃	Cromatura. In genere viene utilizzato insieme ad additivi che influenzano il processo senza reagire col triossido stesso. Cadmio, zinco ed altri metalli reagiscono invece col triossido per formare un film passivante avente funzione anticorrosiva
Cromato di bario	BaCrO ₄	Pirotecnica; batterie resistenti alle alte temperature
Cromato di cadmio	CdCrO ₄	Catalizzatori; pigmenti
Dicromato di cadmio	CdCr ₂ O ₇ •H ₂ O	Rifinitura di metalli
Cromato di calcio	CaCrO ₄	Inibitori di corrosione; batterie resistenti alle alte temperature
Dicromato di rame	CuCr ₂ O ₇ •2H ₂ O	Conservanti del legno; catalizzatori
Cromato di magnesio	MgCrO ₄ •5H ₂ O	Inibitori di corrosione nella fotoincisione; ceramiche
Cromato di mercurio	HgCrO ₄	Formulazione di composti antifouling
Dicromato di piridina	(C ₅ H ₅ NH) ₂ •Cr ₂ O ₇	Fotosensibilizzatore nella fotoincisione; ceramiche
Cromato di stronzio	SrCrO ₄	Pigmento anticorrosivo; additivo nella placcatura

2 Effetti del cromo esavalente sulla salute umana

L'esposizione prolungata dei lavoratori al cromo esavalente può portare a causa dell'inhalazione di tale sostanza allo sviluppo del cancro in diversi organi (naso, seni paranasali, etc.), ma anche ad altre patologie a livello di fegato, reni, stomaco ed occhi.

Nel caso di ingestione di composti del cromo esavalente, che si può verificare ad esempio nel caso di utilizzo di acqua potabile contenente tale specie ad apprezzabili concentrazioni, allo stato attuale i risultati degli studi scientifici sull'argomento risultano piuttosto controversi. Studi di laboratorio condotti su animali, quale quello pubblicato da *US National Toxicology Program* (NTP), riportano l'evidenza di forme tumorali in ratti a livello del cavo orale e dell'intestino.

Per quanto riguarda gli effetti sull'uomo, sono stati condotti diversi studi epidemiologici per la valutazione dell'incidenza del cancro in popolazioni residenti in zone situate nei pressi di insediamenti industriali in cui veniva fatto uso di cromo esavalente, quali Cina, California, Nebraska, Regno Unito e Grecia. Come si è detto, i risultati sono piuttosto controversi, ma hanno portato ad ipotizzare un effetto carcinogenico nei confronti di fegato, reni, milza, sistema gastroenterico, sistema ematopoietico ed ossa. Inoltre la non completa riduzione a livello gastrico del cromo esavalente a cromo trivalente porta al suo parziale assorbimento in quanto tale, con possibili effetti genotossici.

2.1 Meccanismi di tossicità

Anche se i meccanismi di tossicità dei composti di Cr(VI) non sono ad oggi completamente noti, molti studi, sia in vitro che in vivo, hanno evidenziato alcuni dei suoi effetti e proprietà citotossiche. Mentre il Cr(III) non è in grado di superare in quantità significative le membrane cellulari, il Cr(VI) è trasportato attivamente all'interno delle cellule attraverso i canali anionici non specifici, prevalentemente come ione cromato (CrO₄²⁻). Una volta all'interno della cellula, il Cr(VI) viene rapidamente ridotto da diversi componenti cellulari: glutazione, ascorbato e cisteina.

La tossicità del Cr(VI) a livello intracellulare si manifesta soprattutto con le numerose alterazioni molecolari e strutturali provocate dalle forme instabili [Cr(V) e Cr(IV)] e stabili [Cr(III)] derivanti dal processo di riduzione. È stato infatti dimostrato che il cromo in questi diversi stati di ossidazione è in grado di legarsi a proteine e DNA causando mutazioni geniche ed aberrazioni cromosomiche, alterando il normale ciclo cellulare ed inducendo i geni responsabili dell'apoptosi (morte cellulare programmata). Si suppone inoltre che la forma pentavalente sia fortemente coinvolta nello sviluppo di specie reattive dell'ossigeno e quindi sia in grado di indurre stress ossidativo.

3 Cromo esavalente nelle acque potabili: normativa

Le normative internazionali vigenti si riferiscono sempre e solo al cromo totale. Come di consueto, il riferimento per la definizione di tale limite è rappresentato dalle linee guida dell'OMS, riportate in tabella 2.

Tab. 2 - Linee guida OMS relativamente al cromo nelle acque destinate al consumo umano

Valore guida provvisorio	0,05 mg/l per il cromo totale Tale valore è definito come provvisorio in seguito alle incertezze relative al database tossicologico
Presenza	La concentrazione di cromo totale nelle acque destinate al consumo umano è di norma inferiore a 2 µg/l, sebbene siano noti casi di concentrazioni superiori a 120 µg/l
Base per la definizione del valore guida	Non si dispone di studi di tossicità adeguati per la definizione del NOAEL (<i>No Observed Adverse Effect Level</i> = dose senza effetto avverso osservabile)
Limite di rilevabilità	0,05-0,2 µg/l per il cromo totale determinato con Spettrometria di Assorbimento Atomico
Concentrazione minima raggiungibile mediante trattamento	0,015 mg/l mediante coagulazione

3.1 La normativa EPA per le acque destinate al consumo umano

Il *Safe Drinking Water Act*, approvato dal Congresso degli Stati Uniti nel 1974, stabilisce che l'EPA fissi per i contaminanti presenti nelle acque potabili il valore di *Maximum Contaminant Level Goal* (MCLG), vale a dire la concentrazione al di sotto della quale un contaminante dovrebbe rimanere, stimata sulla base del rischio per la salute, considerando un'esposizione costante e continua per tutto il corso della vita. Si tratta quindi non di un valore limite, oltre il quale un'acqua perderebbe le caratteristiche di potabilità, bensì di un valore massimo "auspicato". Per quanto riguarda il cromo totale il valore di MCLG è fissato a 100 µg/l. EPA ha però stabilito per tale specie anche un valore di MCL (*Maximum Contaminant Limit*), vale a dire una concentrazione limite da non superare, in questo particolare caso coincidente col valore di MCLG, cioè 100 µg/l.

In virtù di quanto consentito dalla legge, alcuni stati USA hanno adottato limiti più restrittivi. E' il caso ad esempio della California, che ha fissato un valore di MCL di 50 µg/l. Questo stesso stato è fino ad ora l'unico che richieda ai gestori dei sistemi acquedottistici il monitoraggio specifico del cromo esavalente, per il quale aveva inizialmente proposto un valore di MCLG di 0,06 µg/l al rubinetto. Nel luglio 2011 ha quindi stabilito un valore di PHG (*Public Health Goal*) di 0,02 µg/l, che si ritiene verrà utilizzato dal Ministero della Salute californiano come base per definire il valore di MCL per Cr(VI), seppure in tempi presumibilmente piuttosto lunghi.

Per concludere, la stessa EPA, anche sulla base di una forte pressione da parte dell'opinione pubblica, sta conducendo un accurato studio scientifico sugli effetti del cromo esavalente sulla salute umana, conseguentemente anche agli studi di tossicità sull'argomento pubblicati nel 2008 da NTP. Nel 2010 EPA ha pubblicato una bozza del lavoro allo scopo di ricevere commenti pubblici e revisione scientifica dei risultati ottenuti. Si prevede che il lavoro definitivo possa essere pubblicato nell'autunno 2011, arrivando a definire se sia necessario stabilire uno standard specifico per il cromo esavalente. Non va dimenticato comunque che tale specie non risulta essere presente nella CCL3 (*Candidate Contaminant List N. 3*, pubblicata dal *Federal Register* nel 2009). Tale lista, riportata nelle tabelle 3 e 4, comprende 116 contaminanti per i quali potrebbe essere prevista in tempi relativamente brevi la regolamentazione.

Tab. 3 - Contaminanti chimici inseriti nella CCL3

1,1,1,2-Tetracloroetano	Anilina	Glicol etilenico	N-nitrosopirrolidina (NPYR)
1,1-Dicloroetano	Bensulide	Formaldeide	Norethindrone (19-noretisterone)
1,2,3-Tricloropropano	Benzilcloruro	Germanio	n-Propilbenzene
1,3-Butadiene	Captano	Halon 1011 (bromoclorometano)	Ossido di etilene
1,3-Dinitrobenzene	Chinolina	HCFC-22	Ossifluorfe
1,4-Diossano	Cianotossine	Idrazina	o-Toluidina
17-alfa-estradiolo	Clethodim	Idroperossido di cumene	Perclorato
1-Butanolo	Clorato	Idrossianisobutilato	Permethrin
2-Metossietanolo	Clorometano (cloruro di metile)	Mestranolo	Profenofos
2-Propen-1-olo	Cobalto	Metanolo	RDX (esaidro-1,3,5-trinito-1,3,5-triazina)
3-Idrossicarbofurano	Dicrotophos	Methamidophos	sec-Butilbenzene
4,4'-Metilendianilina	Dimethipin	Metil bromuro (bromometano)	Stronzio
Acephate	Dimetoato	Metilossidemeton	Tebuconazolo
Acetaldeide	Disulfoton	Metilossirano	Tebufenozide
Acetamide	Diuron	Metil tert-butil etere	Tellurio
Acetochlor	Equilenin	Metiltiofanato	Terbufos
Acido acetochlor etansulfonico	Equilin	Metolachlor	Terbufos sulfone
Acido acetochlor ossanilico	Esano	Molibdeno	Tiodicarb
Acido alachlor etansulfonico (ESA)	Eritromicina	Molinate	Toluene diisocianato
Acido alachlor ossanilico	Estradiolo (17-beta estradiolo)	Nitrobenzene	Tribufos
Acido metholachlor etansulfonico	Estriolo	Nitroglicerina	Trietilammina
Acido metolachlor ossanilico	Estrone	N-metil-2-pirrolidone	Trifeniltin idrossido
Acido perfluorootanoico	Ethoprop	N-nitrosodietilammina (NDEA)	Uretano
Acido perfluorootansulfonico	Etinil estradiolo (17-alfa etinil estradiolo)	N-nitrosodifenilammina	Vanadio
Acroleina	Etilen tiourea	N-nitrosodimetilammina (NDMA)	Vinclozolin
alfa-esaclorocicloesano	Fenamiphos	N-nitroso-di-n-propilammina (NDPA)	Ziram

Tab. 4 - Contaminanti microbici inseriti nella CCL3

Contaminante microbico	Informazioni
<i>Adenovirus</i>	Causa comunemente disturbi respiratori, occasionalmente disturbi gastrointestinali
<i>Calicivirus</i>	Appartiene a questo gruppo il Norovirus. Causano lievi disturbi gastrointestinali autolimitanti
<i>Campylobacter jejuni</i>	Causa lievi disturbi gastrointestinali autolimitanti
<i>Enterovirus</i>	Gruppo di virus comprendente <i>Poliovirus</i> , <i>Coxsackievirus</i> ed <i>Echovirus</i> , in grado di causare lievi disturbi respiratori
<i>Escherichia coli</i> (O157:H7)	Produce tossine, causa di disturbi gastrointestinali e di disfunzioni renali
<i>Helicobacter pylori</i>	Può colonizzare l'intestino umano, causando ulcere e cancro
Virus dell'Epatite A	Può causare disturbi epatici e itterizia
<i>Legionella pneumophila</i>	Spesso presente nelle condutture di acqua calda, se inalato può causare disturbi polmonari
<i>Mycobacter avium</i>	Può causare infezioni polmonari in soggetti con disturbi latenti ai polmoni; può diffondere infezioni nei soggetti gravemente immunocompromessi
<i>Naegleria fowleri</i>	Protozoo parassita che si trova nelle acque superficiali calde poco profonde e nelle acque sotterranee, può causare meningoencefalite primaria amebica
<i>Salmonella enterica</i>	Causa lievi disturbi gastrointestinali autolimitanti
<i>Shigella sonnei</i>	Causa lievi disturbi gastrointestinali autolimitanti e diarrea con presenza di sangue

3.2 La normativa europea per le acque destinate al consumo umano

La normativa di riferimento per le acque destinate al consumo umano in Europa è costituita dalla Direttiva 98/83/EC, ormai recepita da tutti gli Stati Membri. Tale norma prevede un Valore di Parame-

tro (VP) per il solo cromo totale pari a 50 µg/l. Tutti gli stati membri hanno recepito tale limite e nessuno ha preso in considerazione separatamente il cromo esavalente.

4 Presenza di cromo esavalente nelle acque destinate al consumo umano

Le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità riportano che la concentrazione di cromo totale nelle acque destinate al consumo umano è di norma inferiore a 2 µg/l, pur essendo noti casi in cui tale valore raggiunge i 120 µg/l. Non vengono però riportati dati specifici riguardanti il cromo esavalente.

Uno studio recente pubblicato negli Stati Uniti da EWG (*Environmental Working Group*) ha messo in evidenza come in 31 città su 35, in 23 diversi stati USA e nel *District of Columbia*, sia stato trovato cromo esavalente in quantità apprezzabile. I valori più alti sono stati rilevati a Norman, California (12,9 µg/l); Honolulu, Hawaii (2,00 µg/l) e Riverside, California (1,69 µg/l).

Famoso è poi il caso di Oinofita, una regione industriale situata 50 km a nord di Atene. Nel periodo 2007-2010 il livello di cromo esavalente nell'acqua di rete superava in molti casi i 10 µg/l, con un valore massimo di 51 µg/l.

Un caso singolare è quello di due acque minerali estratte nella provincia di Alessandria, in una zona ricca di rocce ofiolitiche. Pur non essendo obbligata per legge a farlo, la ditta dichiarava in etichetta il valore di cromo esavalente, precisamente 8 µg/l per una di esse e 23 µg/l per l'altra.

5 Metodi analitici per la determinazione del cromo esavalente

A causa dell'assenza di limiti specifici per il cromo esavalente nelle acque destinate al consumo umano, storicamente lo sviluppo delle metodologie analitiche per la determinazione del cromo ha prestato maggior attenzione al cromo totale che non alla forma a massimo grado di ossidazione. Essendo però il cromo esavalente normato nelle acque di scarico, da lungo tempo esistono metodi per la sua determinazione in queste matrici, primo tra tutti il metodo spettrofotometrico alla 1,5-difenilcarbazide, che non risultano però utili nel caso delle acque destinate al consumo umano a causa dell'inadeguato limite di rilevabilità. Solo in tempi più recenti metodi basati su separazione, concentrazione e derivatizzazione del cromo esavalente hanno permesso di scendere ai livelli di sensibilità necessari nel caso in cui vengano stabiliti per questa specie limiti di legge o valori guida a livello di quanto proposto ad esempio dalla California (0,06 µg/l, più recentemente 0,02 µg/l). Uno schema dettagliato dei metodi attualmente disponibili, con riferimento alle loro principali caratteristiche e prestazioni, è riportato in tabella 5. Data l'elevata reattività della specie in oggetto, un affidabile risultato analitico può essere ottenuto solo con un campionamento corretto ed utilizzando un metodo di conservazione adeguato. L'abbinamento di refrigerazione e pH basico, seguiti dall'esecuzione dell'analisi in tempi brevi, consentono di perseguire lo scopo.

Tab. 5 - Metodi analitici per la determinazione del cromo esavalente

Tecnica di misura	Riferimenti	Limite di rilevabilità
Spettrofotometria con 1,5-difenilcarbazide	US EPA 7196A (1992)	0,05 mg/l
Cromatografia ionica/Spettrofotometria con 1,5-difenilcarbazide	US EPA 218.6 (1994) US EPA 7199 (1996)	0,3-0,4 µg/l
Cromatografia ionica/Spettrofotometria con 1,5-difenilcarbazide	DIONEX AU 144 (2003)	0,06 µg/l
Cromatografia ionica/analisi elementare con Plasma accoppiato induttivamente o con assorbimento atomico	Posta et al (1996)	0,53 µg/l (assorbimento atomico in fiamma) 0,36 µg/l (ICP-OES) 0,12 µg/l (ICP/MS)
Scambio ionico/Spettrometria di assorbimento atomico elettrotermica	Sahayam et al (2005)	0,03 µg/l
Precipitazione selettiva/tecniche spettrometriche di assorbimento atomico	US EPA 7195 (1986)	5 µg/l
Chelazione con ammino 1-pirrolidincarboditioato/estrazione con metil-isobutilchetone/spettrometria di assorbimento atomico in fiamma	US EPA 7197 (1986)	1 µg/l
Cromatografia ionica/spettrofotometria diretta a 365 nm	Michalski (2004)	0,1-0,2 µg/l
HPLC/spettrofotometria diretta a 365 nm	Li & Zou (1999)	0,16 mg/l
Voltammetria di strappaggio anodico	Bas (2006)	0,006 µg/l
Estrazione con solvente/spettrofotometria diretta a 365 nm	El-Shahawi et al (2005)	10 µg/l

6 Trattamenti per la rimozione del cromo esavalente dalle acque

In letteratura sono citate diverse tecniche, tutte ben consolidate, per la rimozione del cromo esavalente dalle acque. Tra queste si ricordano:

- scambio ionico, sia su resine forti, sia su resine deboli;
- filtrazione su membrana (nanofiltrazione o osmosi inversa);
- riduzione seguita da coagulazione e precipitazione;
- adsorbimento.

Tra le ricerche più recenti, si cita quella realizzata grazie alla collaborazione tra acquedottisti della California meridionale, US EPA e *Water Research Foundation*, relativa alla possibilità di rimozione mediante passaggio su resine anioniche deboli e riduzione-coagulazione-filtrazione.

Bibliografia

A Comparison Of Chromate Analyses By Aa, Uv-Vis Spectrophotometric, And Hplc Methods. Z Li et al.. *Advances in Environmental Research*, 3 (2), 125-131 (1999).

<http://homepages.uwp.edu/li/research/papers/1999/aer1999.pdf>

Alcuni esempi pratici di utilizzazione di sistemi di campionamento automatico e di misurazione on-line. C. Lasagna. Giornata di studio sul campionamento delle acque di scarico e superficiali - Genova, 13 ottobre 2000

Analytical methods for the determination of chromium in the environment. J.L. Broadhurst et al. - The Chromium File – n° 15. International Chromium Development Association (2006).

http://www.icdachromium.com/pdf/publications/CHROMIUM_FILE_N_15.pdf

California sets first PHG for hexavalent chromium.

<http://www.awwa.org/publications/StreamlinesArticle.cfm?itemnumber=57307>

Chemical speciation of chromium(III,VI) employing extractive spectrophotometry and tetraphenylarsonium chloride or tetraphenylphosphonium bromide as ion-pair reagent. M.S. El-Shahawi et al.. *Analytica Chimica Acta*. Volume 534, Issue 2, Pages 319-326 (2005).

Chromium-6 in Drinking Water: MCL Update.

<http://www.cdph.ca.gov/certlic/drinkingwater/Pages/Chromium6.aspx>

Chromium-6 in U.S. Tap Water. R. Sutton. Environmental Working Group (2011).

http://static.ewg.org/reports/2010/chrome6/chrome6_report_2.pdf

Cr(III) and Cr(VI) on-line preconcentration and determination with high performance flow flame emission spectrometry in natural samples. J. Post et al.. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. Volume 355, Numbers 5-6, 719-720 (1996).

Cromo esavalente. ISPESL – Dipartimento di Medicina del Lavoro – Centro Ricerche Parma CERT.

http://www.ispesl.it/urp/schedeTecniche/dml/4.DML_CromoEsavalente.pdf

Determination of Cr(VI) in potable water samples after selective preconcentration on oxalate form of Dowex-1 and electrothermal atomic adsorption spectrometric determination. A.C. Sahayam et al.. Analytica Chimica Acta, Volume 537, Issues 1-2, Pages 267-270 (29 April 2005).

Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water Using Ion Chromatography. Application Update

144. Dionex (2003). http://www.dionex.com/en-us/webdocs/4242-AU144_LPN1495.pdf

Hexavalent Chromium in Drinking Water Regulatory Update and Treatment Options. WaterRF.

http://www.waterrf.org/Research/ResearchTopics/StateOfTheScienceReports/HexavalentChromium_StateOfTheScience.pdf

International experts workshop on hexavalent chromium in drinking water – Proceedings. Atene, 15 Gennaio 2011.

Ion Chromatography Method for the Determination of Trace Levels of Chromium(VI) in Water. R. Michalski.

Polish Journal of Environmental Studies Vol. 13, No. 1, 73-77 (2004).

<http://6csnfn.pjoes.com/pdf/13.1/73-77.pdf>

Low-Level Hexavalent Chromium Treatment Options: Bench Scale Evaluation. P. Brandhuber et al.. AWWA (2004).

<http://waterrf.org/ProjectsReports/PublicReportLibrary/91042F.pdf>

Method 218.6 EPA. Determination of dissolved hexavalent chromium in drinking water, groundwater and industrial wastewater effluents by ion chromatography. U.S. EPA (1994).

http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/bioindicators/upload/2007_07_10_methods_method_218_6.pdf

Method 7195. Chromium, Hexavalent (Coprecipitation). U.S. EPA (1986).

<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/7195.pdf>

Method 7196A. Chromium, Hexavalent (Colorimetric). U.S. EPA (1992).

<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/7196a.pdf>

Method 7197. Chromium, Hexavalent (Chelation/Extraction). U.S. EPA (1986).

<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/7197.pdf>

Method 7199 EPA. Determination of hexavalent chromium in drinking water, groundwater and industrial wastewater effluents by ion chromatography. U.S. EPA (1996).

<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/7199.pdf>

Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Chromium, Nickel and Welding. Volume 49.

WHO - International Agency for Research on Cancer (1990).

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol49/index.php>

Oral ingestion of hexavalent chromium through drinking water and cancer mortality in an industrial area of Greece - An ecological study. A. Linos et al.. Environmental Health (2011).

<http://www.ehjournal.net/content/pdf/1476-069X-10-50.pdf>

Overview of Environmental Laws and Regulations: Navigating the Green Maze. J.J. Bernosky. AWWA (2011).

Refreshable mercury film silver based electrode for determination of chromium(VI) using catalytic adsorptive stripping voltammetry. B. Bas. Analytica Chimica Acta, Volume 570, Issue 2, Pages 195-201 (2006).

Renewed debate on hexavalent chromium levels. A. Eaton. World Water (March/April 2011).

Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Sodium Dichromate Dihydrate in F344/N rats and B6C3F1 mice (Drinking Water Studies). NTP (July 2008).

http://ntp.niehs.nih.gov/files/546_web_FINAL.pdf

Unregulated Contaminant Monitoring Regulation Guidance – Monitoring, chemical vulnerability, Cr(VI) sample collection and preservation, and screening for Cr(VI) with total chromium. (2001).

<http://www.cdph.ca.gov/certlic/drinkingwater/Documents/UCMR/ucmrguidance.pdf>

WHO - Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition (2011).

http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/9789241548151_ch12.pdf

Curriculum vitae delle autrici

Claudia Lasagna: laureata in Chimica, è stata per oltre un decennio responsabile del Laboratorio Reflui dell'Azienda Mediterranea Gas e Acqua S.p.A. di Genova (oggi IREN Acqua Gas S.p.A.). Attualmente lavora per la Fondazione AMGA, occupandosi, tra l'altro, della redazione di testi a carattere scientifico. Collabora con l'Ente Italiano per la Normazione in campo chimico (UNICHIM) all'interno della commissione "Acque destinate al consumo umano" e nella gestione dei circuiti interlaboratorio "Acque destinate al consumo umano" e "Acque di scarico".

Fiorina De Novellis: laureata in Scienze Ambientali, per circa un decennio si è occupata di elaborazione di dati relativi alla qualità delle acque potabili per conto dell'Azienda Mediterranea Gas e Acqua S.p.A. di Genova (oggi IREN Acqua Gas S.p.A.). A partire dal 2005 collabora con Fondazione AMGA occupandosi, tra l'altro, della redazione e revisione di testi e articoli scientifici relativamente ad argomenti tecnici ed economici in lingua italiana ed inglese. Nel contempo ha sviluppato un'intensa attività didattica sul tema "acqua" rivolta a scuole di ogni ordine e grado. Sempre per conto di Fondazione AMGA collabora con l'Ente Italiano per la Normazione in campo chimico (UNICHIM) relativamente ai circuiti interlaboratorio "acque destinate al consumo umano" e "acque di scarico".