



# Monitoraggio dei sottoprodotti di disinfezione nelle acque potabili Stato dell'arte e sfide future

Maria Concetta Bruzzoniti

Dipartimento di Chimica

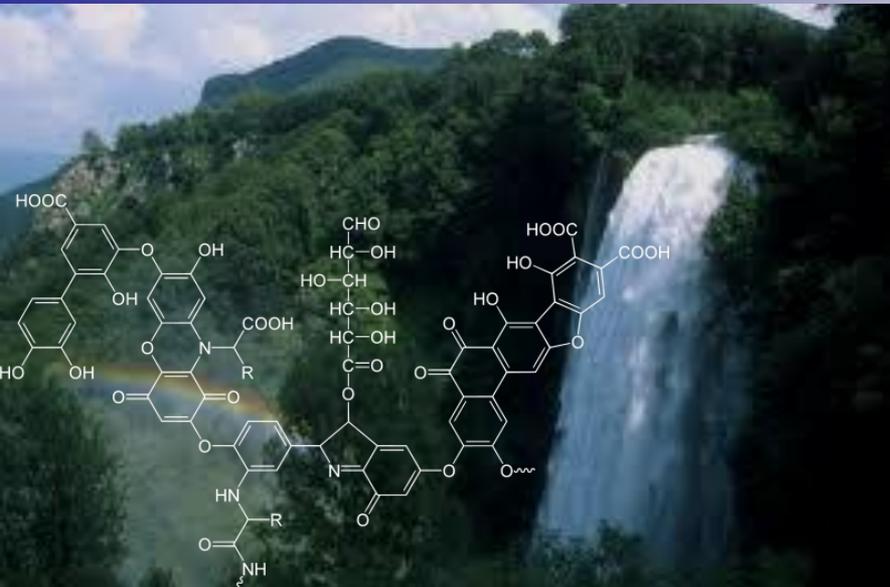
Università di Torino

# Sommario

---

- ◆ Formazione dei sottoprodotti della disinfezione (DBPs)
- ◆ La tossicità delle classi di composti appartenenti ai DBPs
- ◆ I composti regolamentati
- ◆ Il monitoraggio degli acidi aloacetici
  - Gli approcci analitici con tecniche GC e LC
- ◆ Le attuali sfide: i DBPs emergenti

# Come si originano i DBPs?

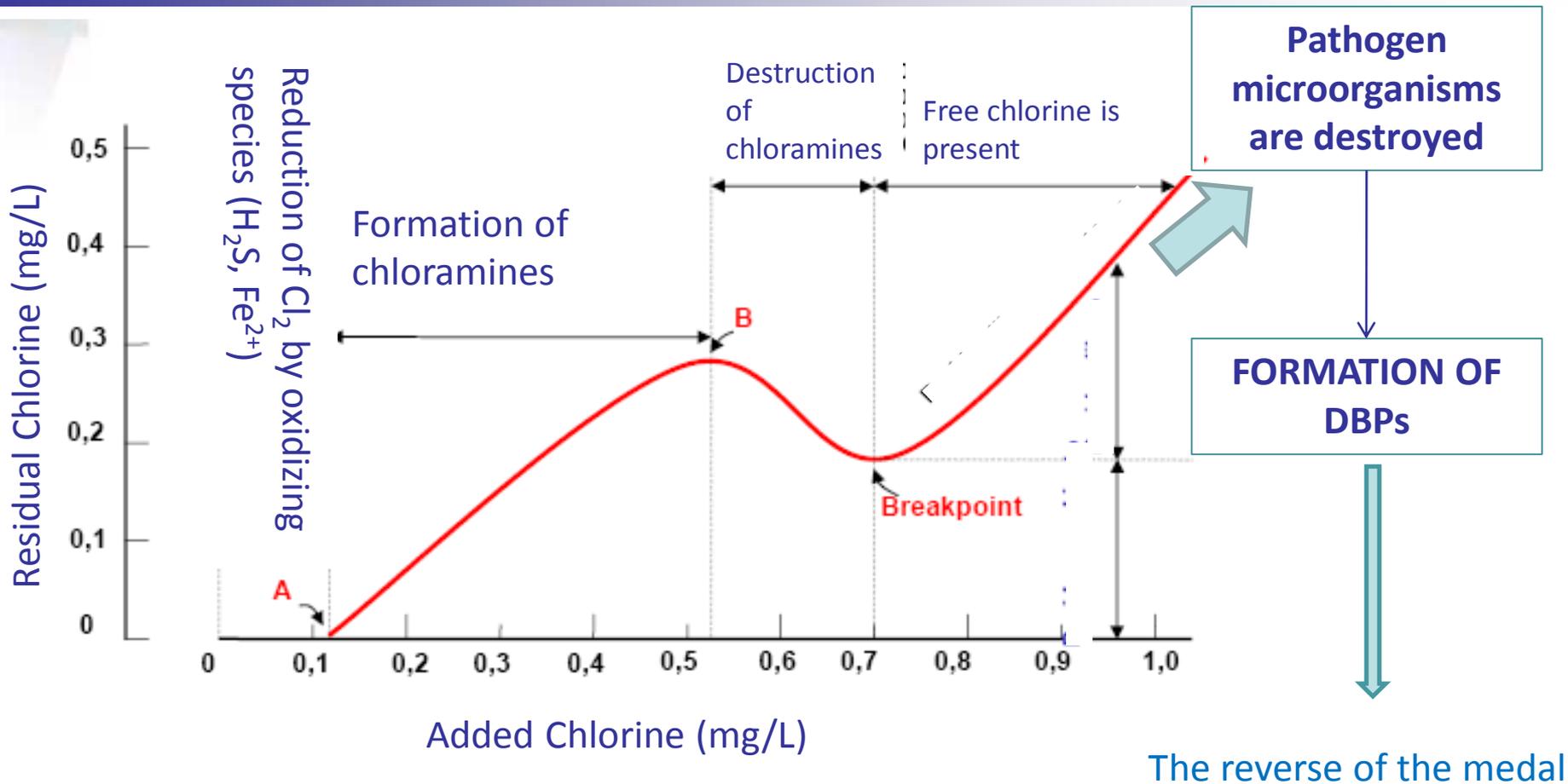


Il problema della formazione dei DBPs durante i processi di potabilizzazione è rilevante quando si impiegano disinfettanti a base cloro o HClO

# DBPs della disinfezione con cloro e acido ipocloroso

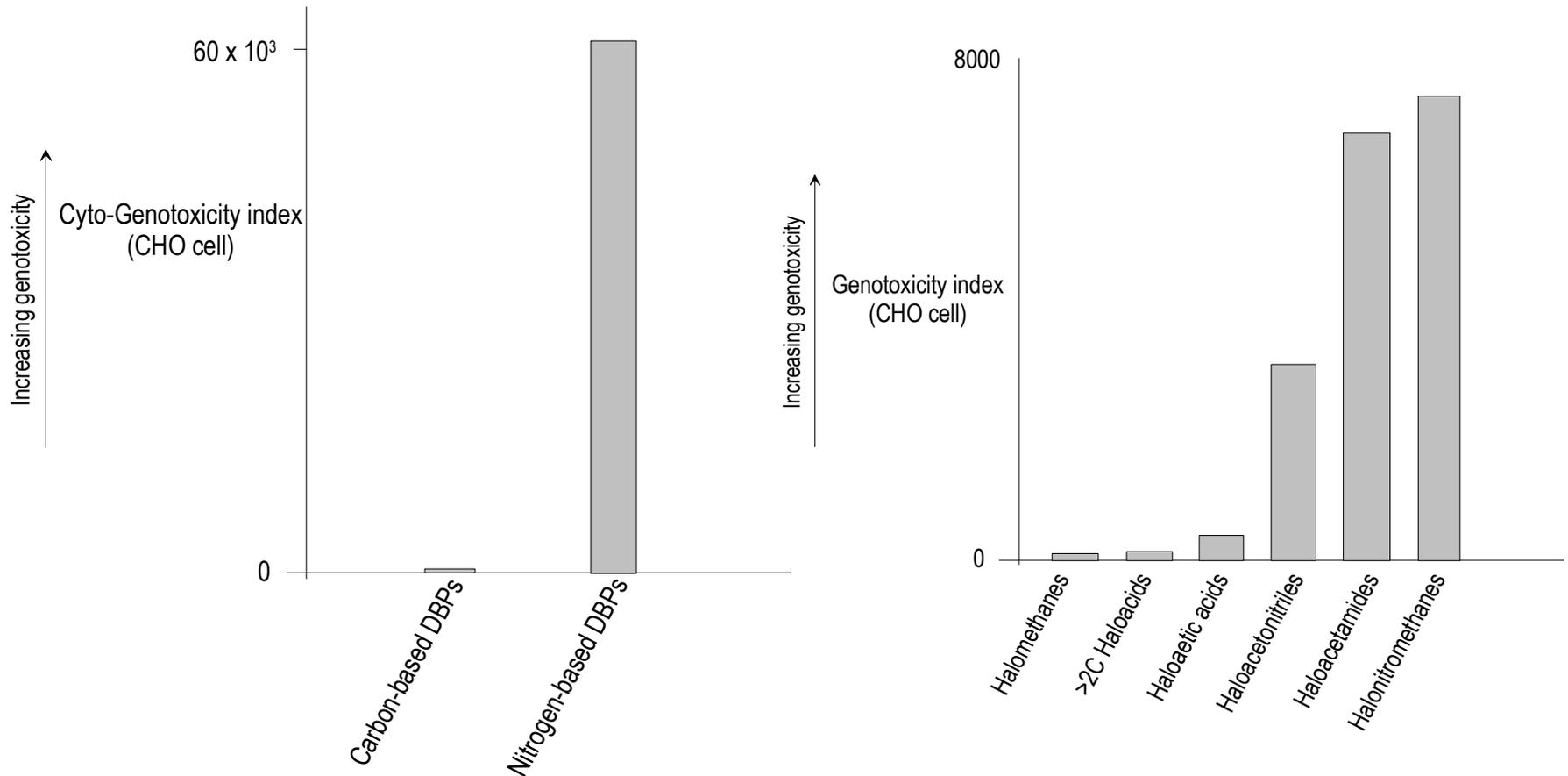
Inorganic	Halogenated organic	Organic oxidation
Chlorite Chlorate (particularly with hypochlorite)	Trihalomethanes (including <i>iodinated</i> ), haloacetic acids (including <i>iodinated</i> ), haloacetonitriles, <i>halonitromethanes</i> , <i>haloamides</i> , chloral hydrate, chloropicrin (trichloronitromethane), chlorophenols, N-chloramines, halofuranones (e.g. <i>MX</i> : <u>3-Chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone</u> and <u>brominated forms of <i>MX</i></u> ), bromohydrins, <u>N-nitrosodimethylamine</u> , tribromopyrrol	Aldehydes, benzene, carboxylic acids

# Formazione dei DBPs durante la potabilizzazione



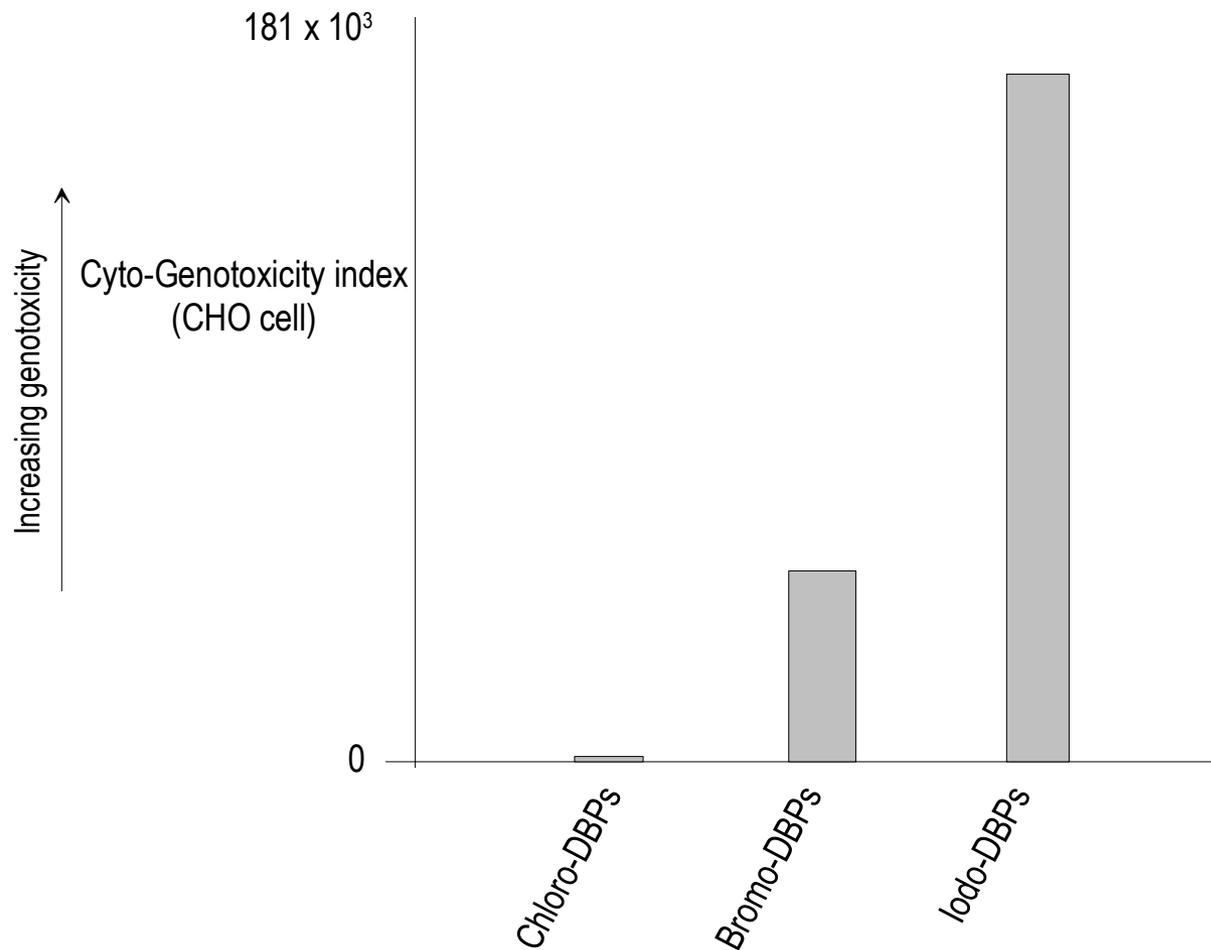
The reverse of the medal

# La tossicità di varie classi di composti DBPs



# La tossicità di alcune classi di composti DBPs

## Effetto del sostituente alogeno



# International Agency for Research on Cancer (IARC)

## Classificazione dei DBPs

Class	By-product	IARC Classification
Trihalomethanes	Chloroform	B2
	Bromoform	B2
	Bromodichloromethane	B2
	Dibromochloromethane	C
Haloacetic acids	Monochloroacetic acid	--
	Dichloroacetic acid	B2
	Trichloroacetic acid	C
Haloacetonitriles	Dichloroacetonitrile	C
	Bromochloroacetonitrile	--
	Dibromoacetonitrile	C
	Trichloroacetonitrile	--
Chlorophenols	2-Chlorophenol	D
	2,4-dichlorophenol	D
	2,4,6-Trichlorophenol	B2
Other chloro-derivatives	Chloropicrin	--
	Chloral hydrate	C
	Cyanogen chloride	--

[A] Carcinogen; [B] Probable human carcinogen (B1: Limited evidence from epidemiologic studies; B2: sufficient evidence from studies on animals); [C] Possible human carcinogen; [D] Not classifiable; [E] Without evidence of carcinogenicity

# I composti DBPs regolamentati

Benchè **più di 600 DBPs** sono stati riportati in letteratura, **solo 11** sono attualmente oggetto di regolamentazione (US, EPA)

	US, EPA	Council Directive 98/83/EC	Italy, DL 31/2001
<b>THMs</b>			
Chloroform			
Bromoform			
Bromodichloromethane			
Dibromochloromethane	80 $\mu\text{gL}^{-1}$	100 $\mu\text{gL}^{-1}$	30 $\mu\text{gL}^{-1}$
<b>HAAs</b>			
Monochloroacetic acid			
Dichloroacetic “	60 $\mu\text{gL}^{-1}$		
Trichloroacetic “			
Monobromoacetic “			
Dibromoacetic “			
Chlorite	1000 $\mu\text{gL}^{-1}$		200 $\mu\text{gL}^{-1}$
Bromate	10 $\mu\text{gL}^{-1}$	10 $\mu\text{gL}^{-1}$	10 $\mu\text{gL}^{-1}$

# Acidi Aloacetici

---

- ◆ I metodi approvati dall'EPA sono il 552 e il 552.2
- ◆ Sono metodi GC-ECD preceduti da estrazione liquido-liquido
  - ◆ Acidificazione ( $pK_a$  HAAs 0.66-2.86)
  - ◆ Estrazione mediante metil terbutil etere
  - ◆ Derivatizzazione e formazione di esteri a catena corta mediante
    - ◆ Diazometano
    - ◆ Metanolo e  $BF_3$
- ◆ Nel tempo, questa procedura è stata ottimizzata da diversi ricercatori

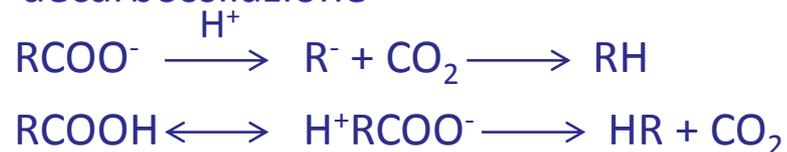
# Prospettive nell'analisi GC degli HAA

- ◆ Recentemente sono stati studiati diversi approcci che agiscono principalmente sull'ottimizzazione delle procedure di estrazione

- ◆ Estrazione in fase solida

- ◆ Dischi in divinilbenzene funzionalizzati con ammine quaternarie (scambiatore anionico forte, SAX), ma recuperi compresi tra 18-45%
- ◆ Cartucce a base silice SAX migliorano i recuperi (79-100%)
- ◆ Microestrazione liquido-liquido, derivatizzazione degli acidi nei loro esteri metilici usando  $H_2SO_4$  e  $CH_3OH$  dopo l'evaporazione, seguita da microestrazione in fase solida mediante spazio di testa e analisi GC-ECD.

Svantaggio: formazione di THMs per decarbossilazione



- ◆ Derivatizzazione diretta degli HAAs ai loro esteri metilici con dimetil solfato, campionamento per spazio di testa usando SPME (CAR-PDMS fiber), analisi GC e MS a trappola ionica
- ◆ LOD compresi tra 0.01-0.45  $\mu gL^{-1}$

# GC nell'analisi degli HAA

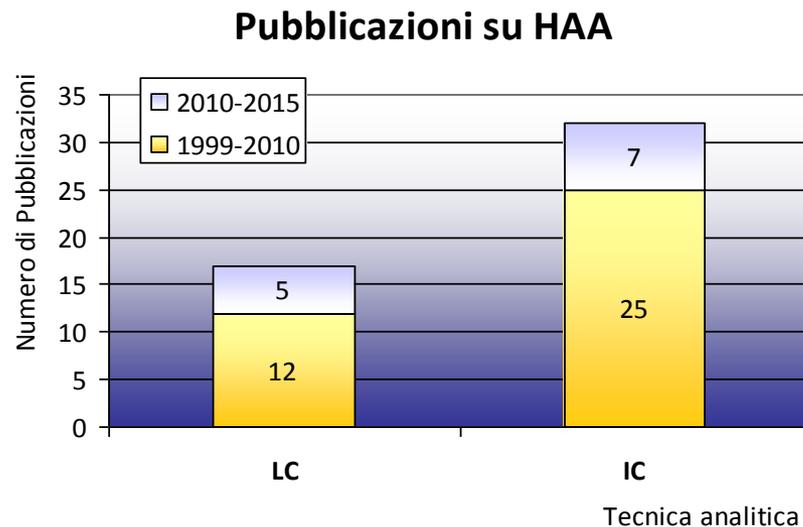
## Svantaggi

---

- ◆ È generalmente accettato il fatto che il metodo è laborioso
- ◆ La forte acidità dei campioni riduce la durata e le prestazioni delle colonne GC
- ◆ HAAs possono subire reazioni di dechlorazione e di termodegradazione nella porta dell'iniettore GC

# LC nell'analisi degli HAA

- ◆ Negli ultimi decenni, la cromatografia liquida LC (principalmente la LC accoppiata con la spettrometria di massa MS o MS-MS) è emersa come alternativa promettente alle procedure necessarie prima dell'analisi GC
- ◆ Nessuna necessità di derivatizzazione
- ◆ Meccanismi proposti
  - ◆ A fase inversa (RP) con fasi contenenti gruppi polari; HILIC (Hydrophilic interaction chromatography);
  - ◆ Scambio ionico
    - ◆ Rappresenta la tecnica maggiormente impiegata nella letteratura scientifica



# UPLC nell'analisi degli HAA

## Meccanismo a fase inversa misto

- ◆ Colonna: BetaMax Acid (C12 con gruppi polari) (2.1 × 250 mm, 5 μm)
- ◆ Eluente: 10% CH<sub>3</sub>CN , 90% (3.5 mM CH<sub>3</sub>COOH, 20 mM COONH<sub>4</sub> pH 5.3) fino a 73% CH<sub>3</sub>CN
- ◆ Rivelatore: MS (triplo quadrupolo), ESI-, in modalità *multiple reaction monitoring* (MRM)

Analyte	(m/z) Precursor ion	(m/z) Product ion
Monochloroacetic (MCA)	92.9 [M-H] <sup>-</sup>	35.4 Cl
Monobromoacetic (MBA)	136.8 [M-H] <sup>-</sup>	78.9 Br
Monoiodoacetic (MIA)	184.8 [M-H] <sup>-</sup>	126.8 I
Dichloroacetic (DCA)	126.8 [M-H] <sup>-</sup>	83.0 [M-COOH] <sup>-</sup>
Trichloroacetic (TCA)	160.8 [M-H] <sup>-</sup>	116.8 [M-COOH] <sup>-</sup>
Dibromoacetic (DBA)	216.8 [M-H] <sup>-</sup>	172.8 [M-COOH] <sup>-</sup>
Bromochloroacetic (BCA)	172.8 [M-H] <sup>-</sup>	128.8 [M-COOH] <sup>-</sup>
Bromodichloroacetic (BDCA)	206.7 [M-H] <sup>-</sup>	162.8 [M-COOH] <sup>-</sup>
Chlorodibromoacetic (CDBA)	250.8 [M-H] <sup>-</sup>	206.7 [M-COOH] <sup>-</sup>
Tribromoacetic (TBA)	250.8 [M-COOH] <sup>-</sup>	78.9 Br

[M-H]<sup>-</sup>  
ione pseudomolecolare

[M-COOH]<sup>-</sup>  
ione decarbossilato

# Meccanismo RP-HPLC misto

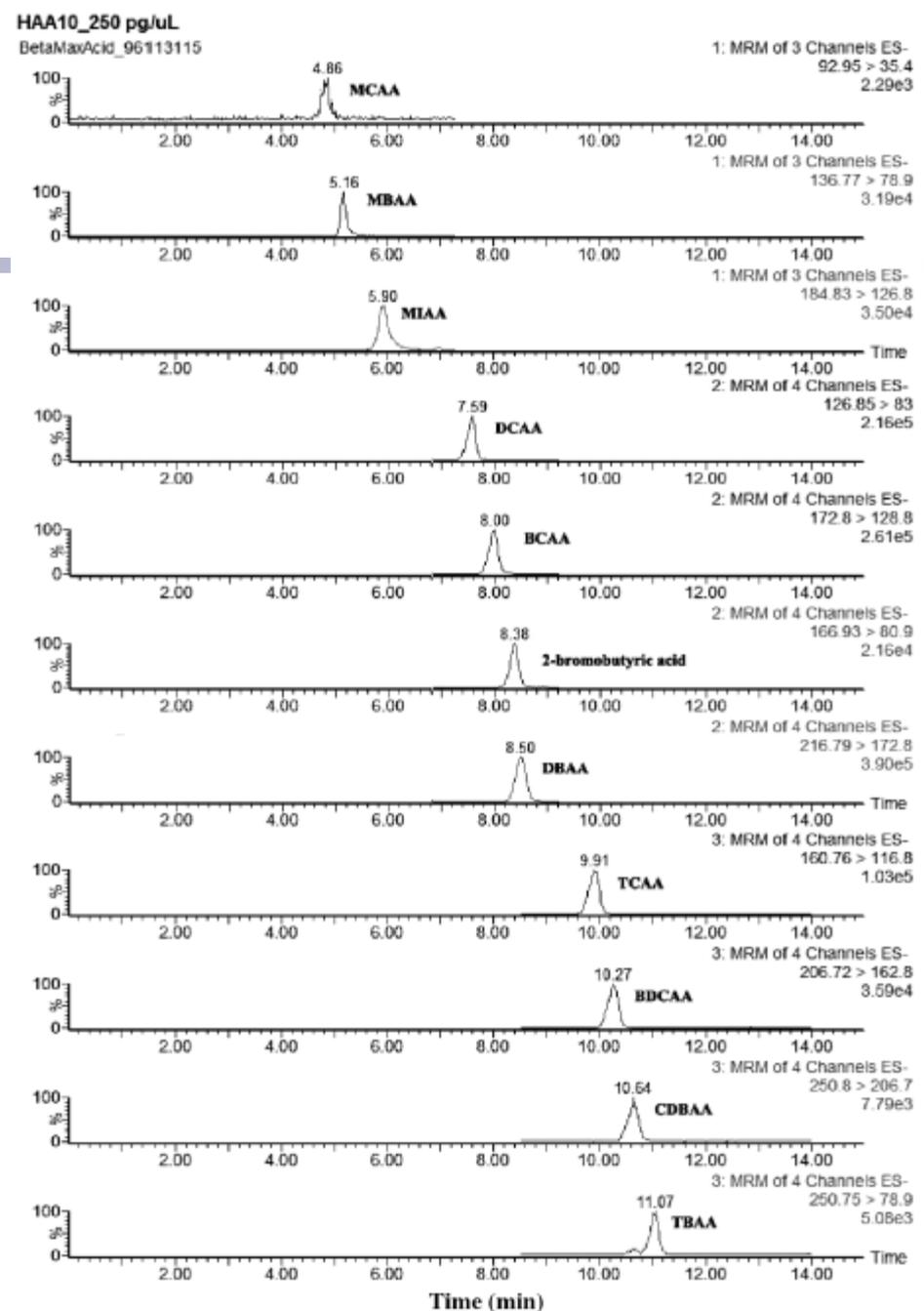
$$k = 2.9-7.9$$

LOQ: 1.0 µg/L (BCA)-222 µg/L (MCA)

1. Acidificazione aumenta  $k$ , ma sopprime il segnale.
2. Maggiori % di CH<sub>3</sub>CN aumentano il segnale ma portano a coeluizione di CDBA e TBA (non risolubile con MS)

I loro ioni precursori [CDBA-H]<sup>-</sup> e [TBACOOH]<sup>-</sup> hanno entrambi m/z 251 ed entrambi possono portare alla formazione di Br come ione prodotto, quindi **CDBA interferisce nella determinazione di TBA.**

3. L'impiego di una colonna C18 *scoda* o comunque allarga (e sdoppia) i picchi.
4. **Consistente effetto matrice (soppressione del segnale) se l'acqua potabile è preconcentrata**



Volume di iniezione 50 microlitri

# LC nell'analisi degli HAA

Analyte	(m/z) Precursor ion	(m/z) Product ion
Monochloroacetic (MCA)	92.9 [M-H] <sup>-</sup>	35.4 Cl
Monobromoacetic (MBA)	136.8 [M-H] <sup>-</sup>	78.9 Br
Monoiodoacetic (MIA)	184.8 [M-H] <sup>-</sup>	126.8 I
Dichloroacetic (DCA)	126.8 [M-H] <sup>-</sup>	83.0 [M-COOH] <sup>-</sup>
Trichloroacetic (TCA)	160.8 [M-H] <sup>-</sup>	116.8 [M-COOH] <sup>-</sup>
Dibromoacetic (DBA)	216.8 [M-H] <sup>-</sup>	172.8 [M-COOH] <sup>-</sup>
Bromochloroacetic (BCA)	172.8 [M-H] <sup>-</sup>	128.8 [M-COOH] <sup>-</sup>
Bromodichloroacetic (BDCA)	206.7 [M-H] <sup>-</sup>	162.8 [M-COOH] <sup>-</sup>
Chlorodibromoacetic (CDBA)	250.8 [M-H] <sup>-</sup>	206.7 [M-COOH] <sup>-</sup>
Tribromoacetic (TBA)	250.8 [M-COOH] <sup>-</sup>	78.9 Br

[M-H]<sup>-</sup>      ione pseudomolecolare

[M-COOH]<sup>-</sup>    ione decarbossilato

# UPLC-HILIC

$$k = 1.3-4.3$$

LOQ: 0.4  $\mu\text{g/L}$  (DCA)-10  $\mu\text{g/L}$  (MCA)

Colonna: Acquity UPLC BEH HILIC (2.1  $\times$  100 mm, 1.75  $\mu\text{m}$ )

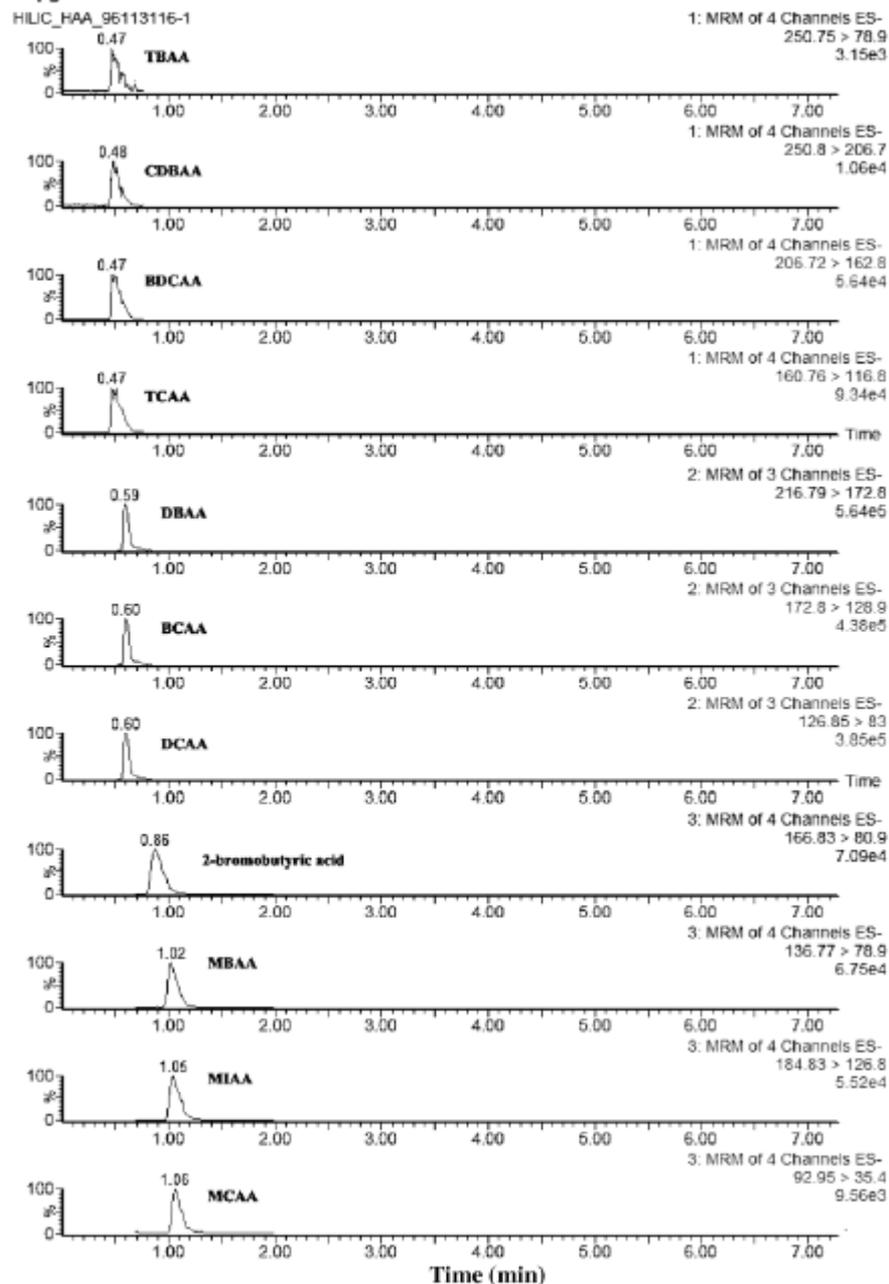
Eluente:

90%  $\text{CH}_3\text{CN}$ , 10% (5 mM  $\text{HCOOH}$ , 10 mM  $\text{COONH}_4$  pH 4.1) fino a 80%  $\text{CH}_3\text{CN}$

1. Il campione deve essere diluito in 90%  $\text{CH}_3\text{CN}$
2. L'iniezione diretta del campione d'acqua peggiora la forma dei picchi
3. L'effetto favorevole dell' $\text{CH}_3\text{CN}$  all'incremento del segnale è penalizzato dalla necessità di diluire il campione
4. Molti picchi coeluiscono.
5. Stessa interferenza per TBA causato dalla presenza di CDBA, come visto in precedenza.
6. Consistente effetto matrice (soppressione del segnale) se l'acqua potabile è preconcentrata

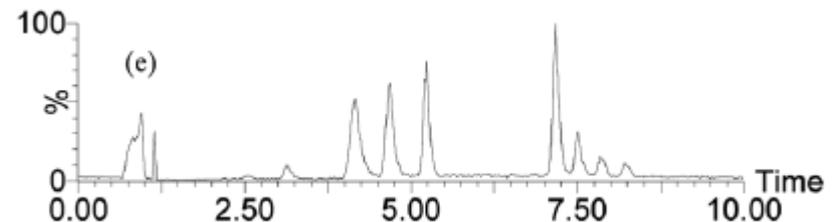
Chen et al. J. Chromatogr. Sci 47 (2009) 67-74

50 pg/uL HAA10 in 90% ACN

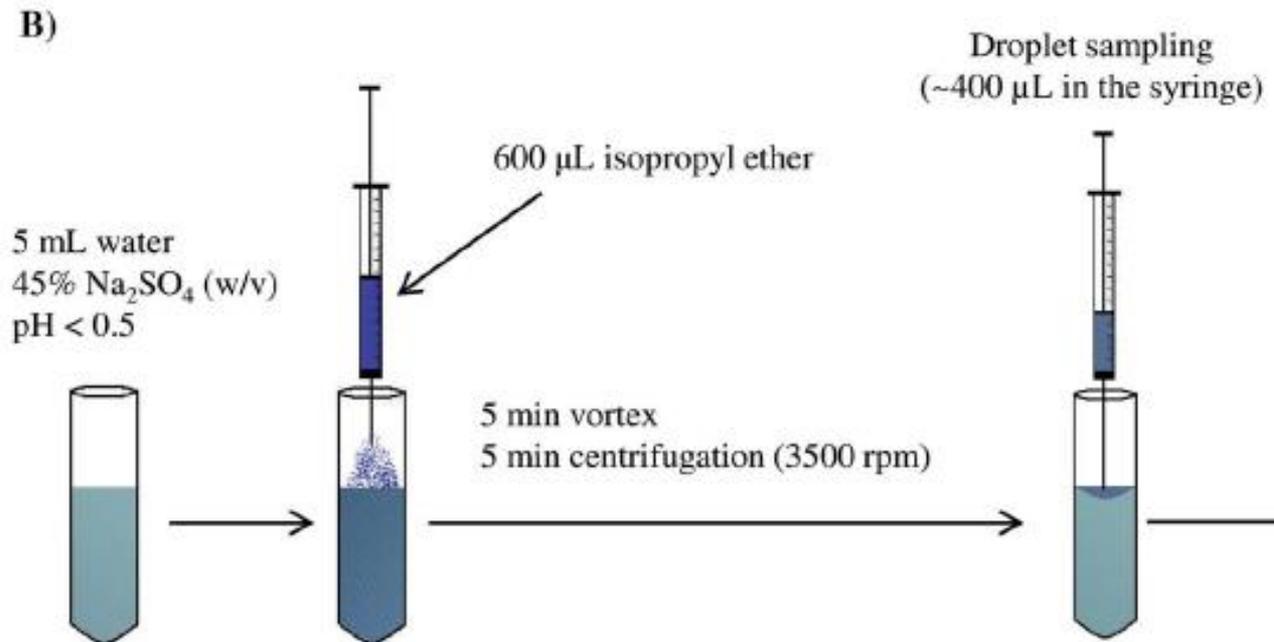


# UPLC: sviluppi

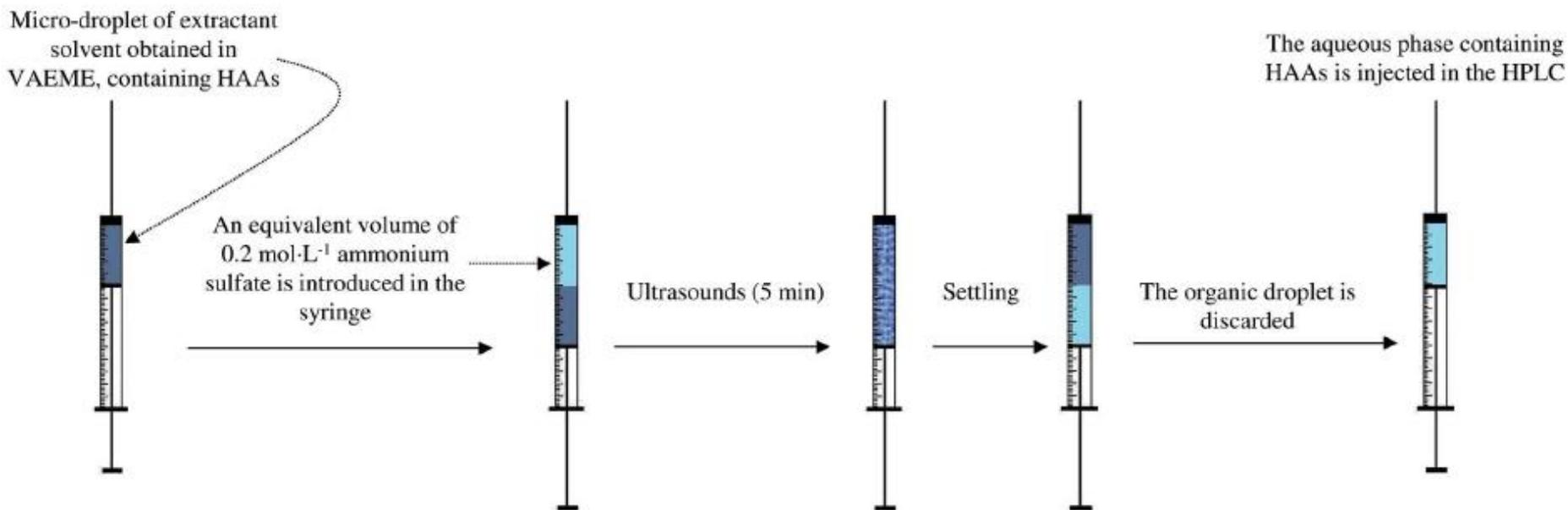
- ◆ Gli svantaggi sopra citati (coeluizione e sensibilità) sono stati affrontati da vari ricercatori.
  - Waters Acquity UPLC HSS T3 (100 x 2.1  $\mu\text{m}$ , dp= 1.8  $\mu\text{m}$ )
  - Volume di iniezione 10  $\mu\text{L}$
  - Velocità di flusso 0.2mL/min (35 °C)
  - Fase mobile: metanolo e 0.125 mM di acido formico.
  - 1% metanolo per 1.5 min e incremento di metanolo al 40% in 4 min mantenuto per 3 min. Incremento di metanolo al 90% mantenuto per 2 min. Ricondizionamento all'1% mantenuto per 3 min prima dell'iniezione successiva
  - Rivelazione ESI- MS/MS in modalità MRM
  - Durata totale dell'analisi 13.5 min.
- Per evitare contaminazione alla sorgente ESI sono state impiegate delle finestre di commutazione allo scarico:
  - ✓ 2 min successivi all'iniezione
  - ✓ a 7 min
- Nessuna diluizione del campione
  - ✓ LOD=0.08–0.25  $\mu\text{g/L}$
- Applicazione: acqua di scarico depurata



# Estrazione degli HAA (preconcentrazione)



# Controestrazione per analisi HPLC



Colonna C18 ( $5 \mu\text{m}$ ,  $150 \times 4.6 \text{ mm}$ )

Velocità di flusso: da  $0.3 \text{ mL}/\text{min}$  ad  $1 \text{ mL}/\text{min}$  in 10 min

Eluente:  $\text{CH}_3\text{CN}$  e  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   $0.2 \text{ M}$ : da 0 a 10%  $\text{CH}_3\text{CN}$  in 10 min

Volume di iniezione  $20 \mu\text{L}$

Rivelazione UV:  $210 \text{ nm}$

Recuperi: 60 (TBA) -106% (MBA)

LOD: 1-  $60 \mu\text{g}/\text{L}$

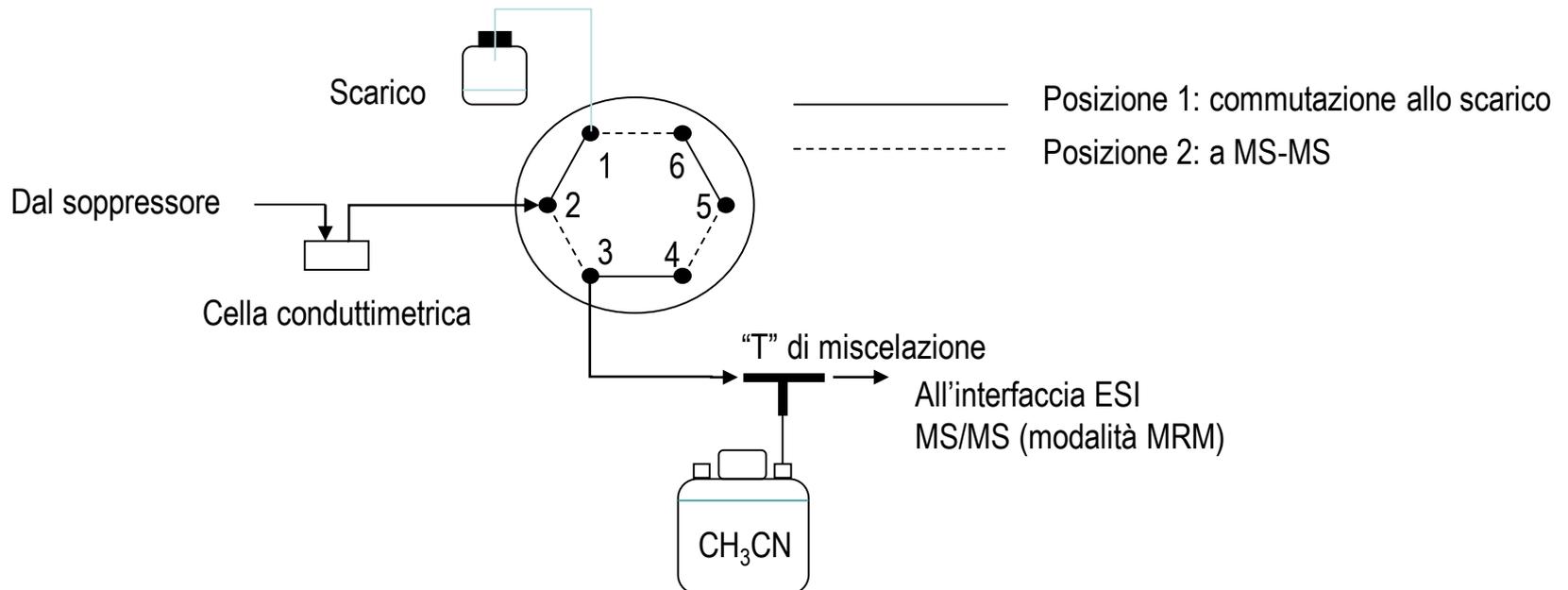
Rocio-Bautista et al Anal. Methods, 2014, 6, 4115

# La cromatografia ionica (IC) nell'analisi degli HAA. Lo scambio anionico

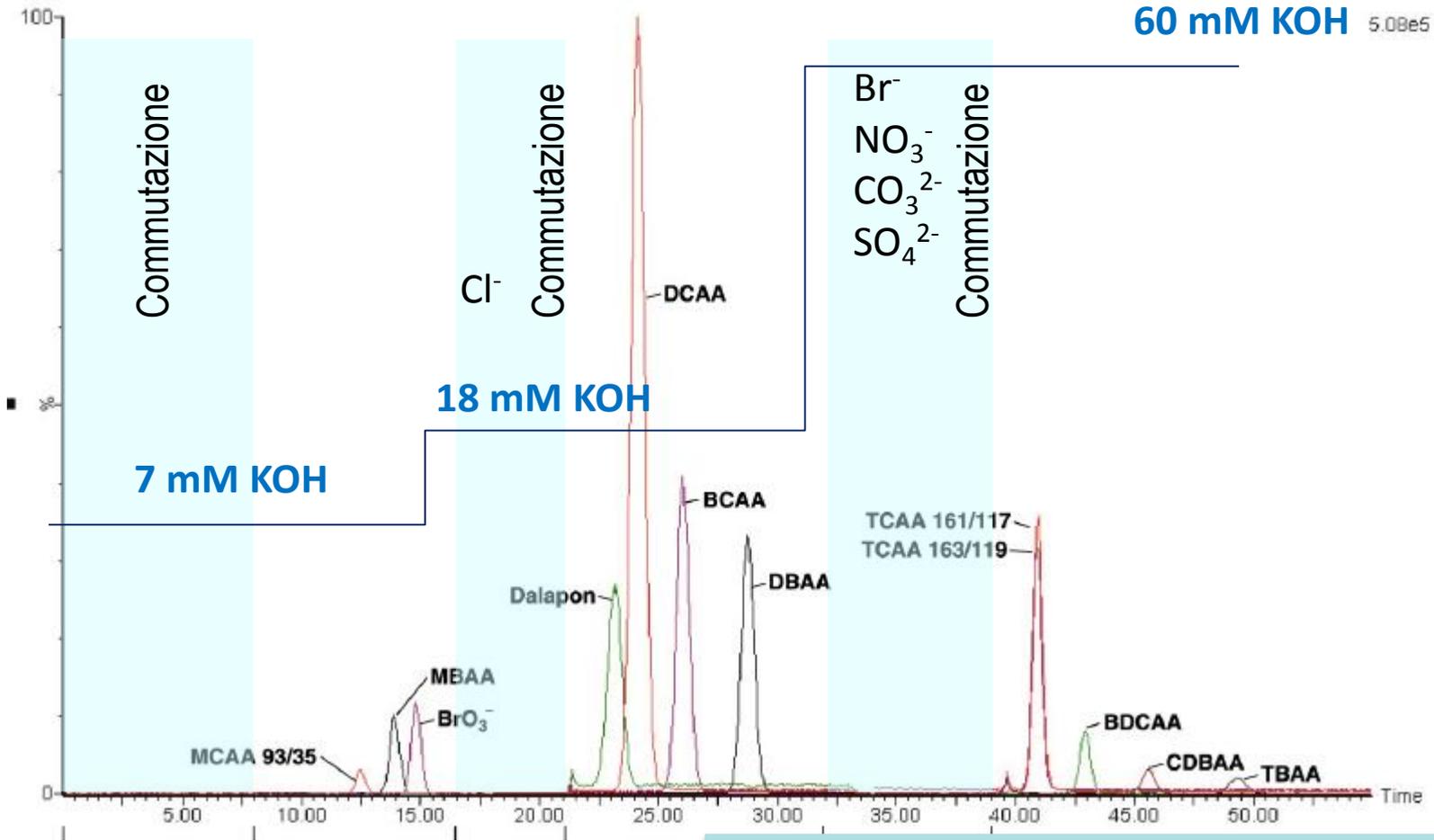
EPA Metodo 557, 2009

**Colonna:** IonPac AS24 250 mm x 2 mm i.d. (T=15 °C)  
**KOH gradiente :** 7 mM da -1 a min; 18 mM da 16.8 a 34.2 min; 60 mM da 34.4 a 51.2 min; 7 mM da 51.4 a 56 min

**Velocità di flusso:** 0.30 mL/min  
**Solvente post-colonna:** 100% acetonitrile at 0.2 mL/min  
**Soppressore:** ASRS300 2 mm, external water mode  
**Finestre di commutazione per l'eliminazione della matrice:**  
0 - 8 min, 16.5 - 21.2 min, e 33 - 39.2 min



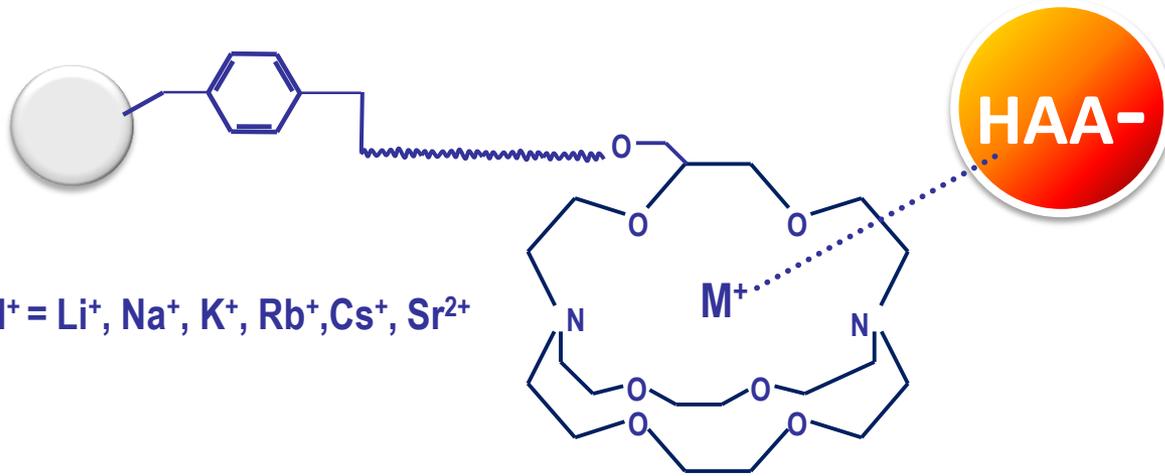
LOQ: 0.08 µg/L (CDBA)-0.6 µg/L (MCA)



Acqua di rubinetto + 8 µg/L di ciascun HAA

# La cromatografia IC nell'analisi degli HAA. Un diverso approccio

OH<sup>-</sup>  
ioni eluente

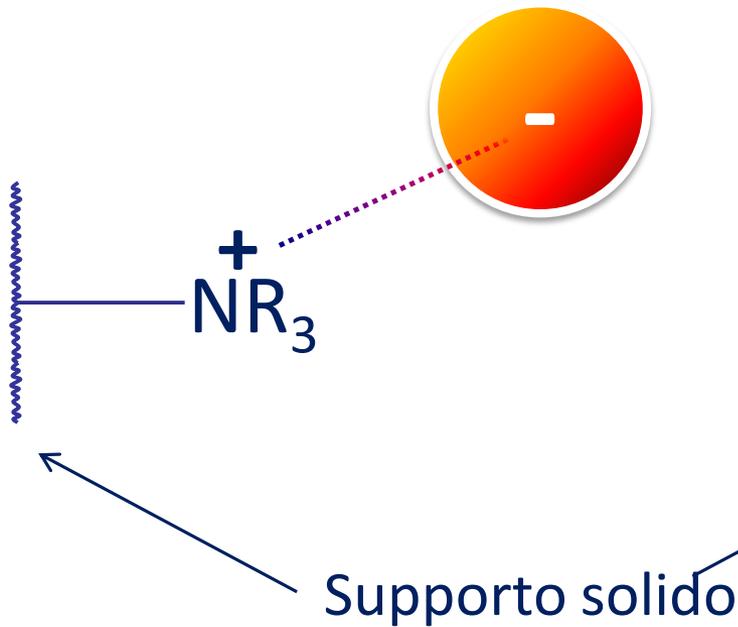


## 2.2.2. Criptando

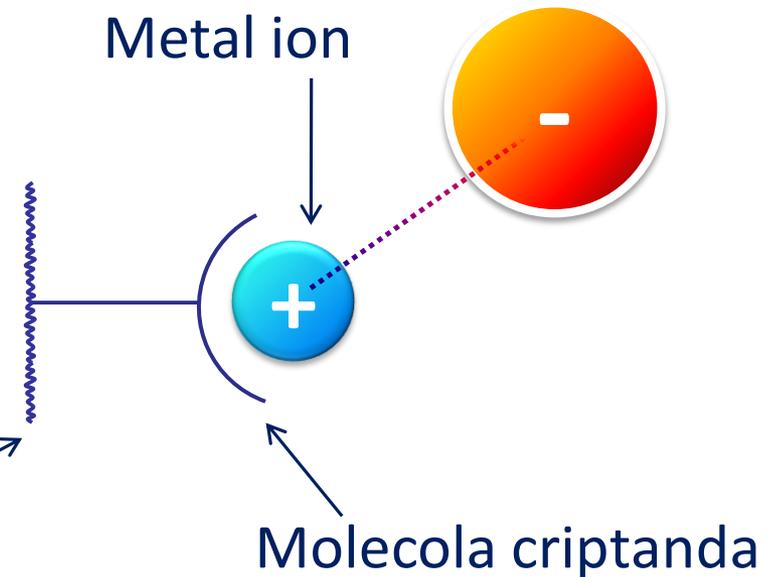
- ◆ In presenza di eluenti a base di idrossidi di metalli alcalini (KOH, NaOH, LiOH, etc.), il catione è ospitato all'interno della cavità del macrociclo.
- ◆ Si genera un gruppo funzionale carico positivamente che agisce come sito di scambio anionico per la separazione degli HAA

# Confronto tra lo scambio anionico classico e con il criptando

Scambio anionico classico



Scambio anionico con ione metallico complessato dal criptando



# Considerazioni teoriche

Bruzzoniti et al. [Acta Chim. Slov. \(2007\)](#) 54, 14-19

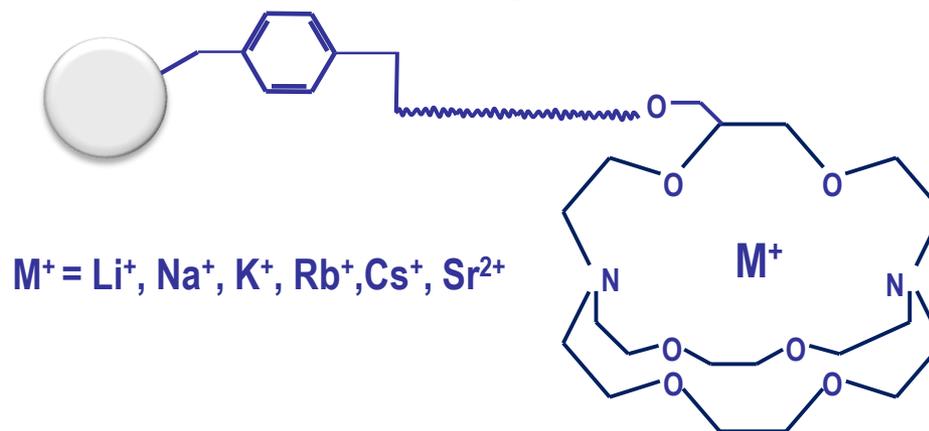
- ◆ Quando il macrociclo è protonato o quando ospita uno ione metallico  $M^+$ , si generano nuovi siti di scambio anionico



$K_H$ : costante di protonazione

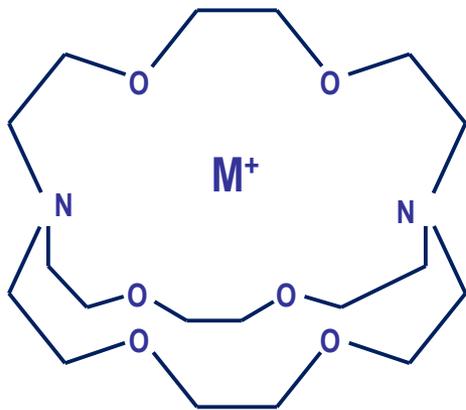
$K_M$ : costante di stabilità del complesso M-Criptando ( $\text{CriptM}^+$ ) complex

La coordinazione  $M^+$ -macrociclo dipende dai valori delle costanti di stabilità



## 2.2.2. Criptando

# Criptandi e costanti di legame

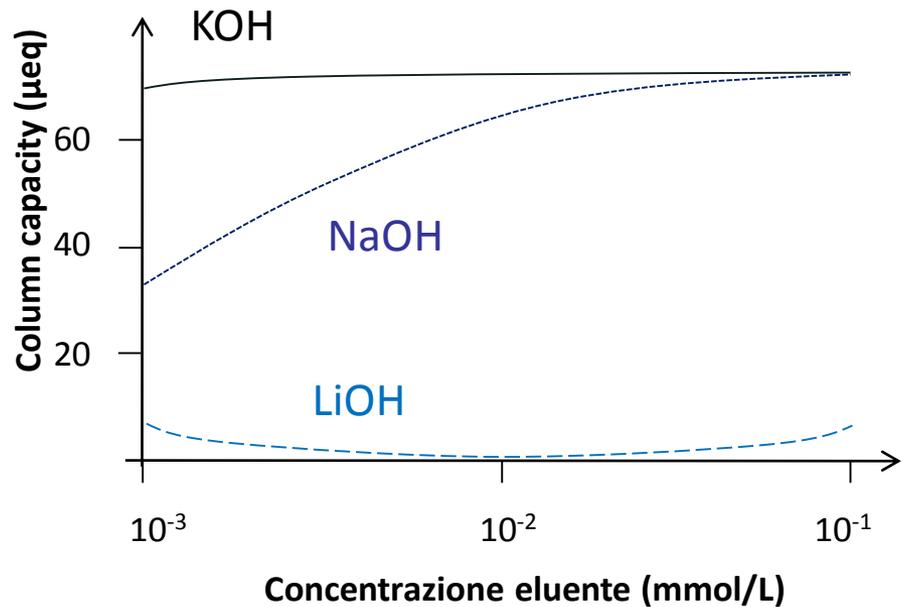
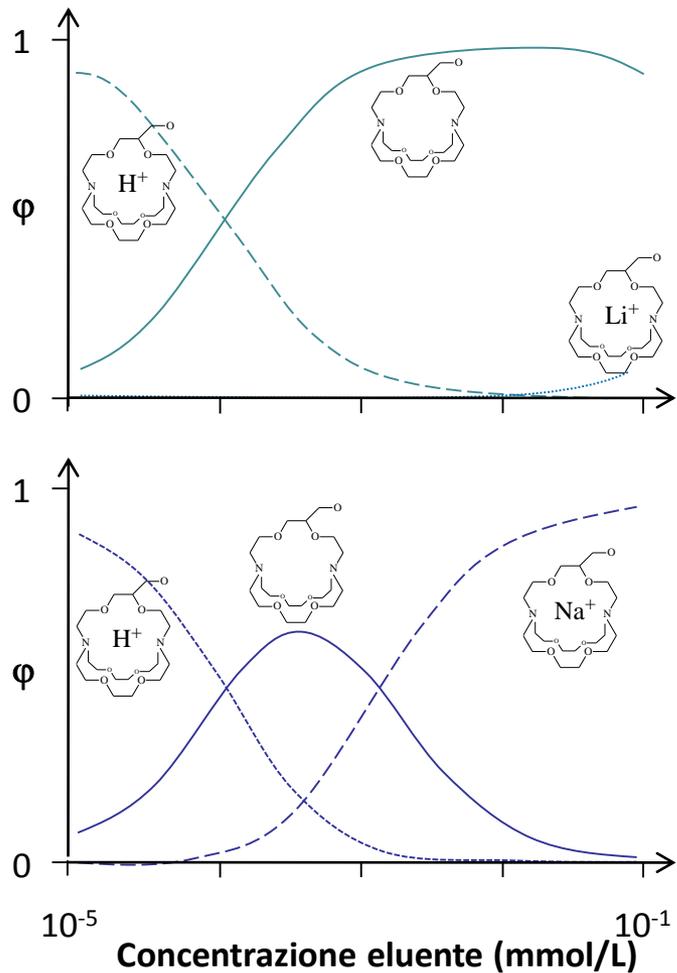


2.2.2. criptando

Catione	LogK (in H <sub>2</sub> O)
Li <sup>+</sup>	~1
Cs <sup>+</sup>	<2
Na <sup>+</sup>	3.9
Rb <sup>+</sup>	4.3
Ca <sup>2+</sup>	4.4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4.5
K <sup>+</sup>	5.4
Cu <sup>2+</sup>	6.8
Sr <sup>2+</sup>	8.0
Ba <sup>2+</sup>	9.5
Ag <sup>+</sup>	9.6

$$K = \frac{[\text{complesso}]}{[L][M^+]}$$

# Effetto del tipo e della concentrazione di catione dell'eluente sulla capacità della colonna



La capacità della colonna è modulabile ed è funzione di:

- 1) Tipo di catione dell'eluente
- 2) Concentrazione del catione in eluente

# Preconcentrazione con rimozione della matrice

- ◆ 125 mL campione acidificato (pH 0.3)
- ◆ LiChrolut EN (fase inversa RP)
- ◆ Eluizione degli HAAs con 5 mL 10 mM NaOH (eluente IC)
- ◆ Rimozione della matrice
  - OnGuard-Ba
  - OnGuard-Ag
  - OnGuard-H
- ◆ Iniezione cromatografica

Analytes	Recovery %, n=3
*MCA	22 ± 2
*MBA	74 ± 9
*DCA	65 ± 11
BCA	55 ± 2
*DBA	101 ± 17
*TCA	106 ± 7
BDCA	75 ± 3
CDBA	67 ± 2
TBA	37 ± 2

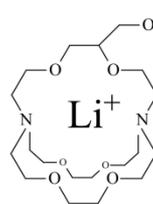
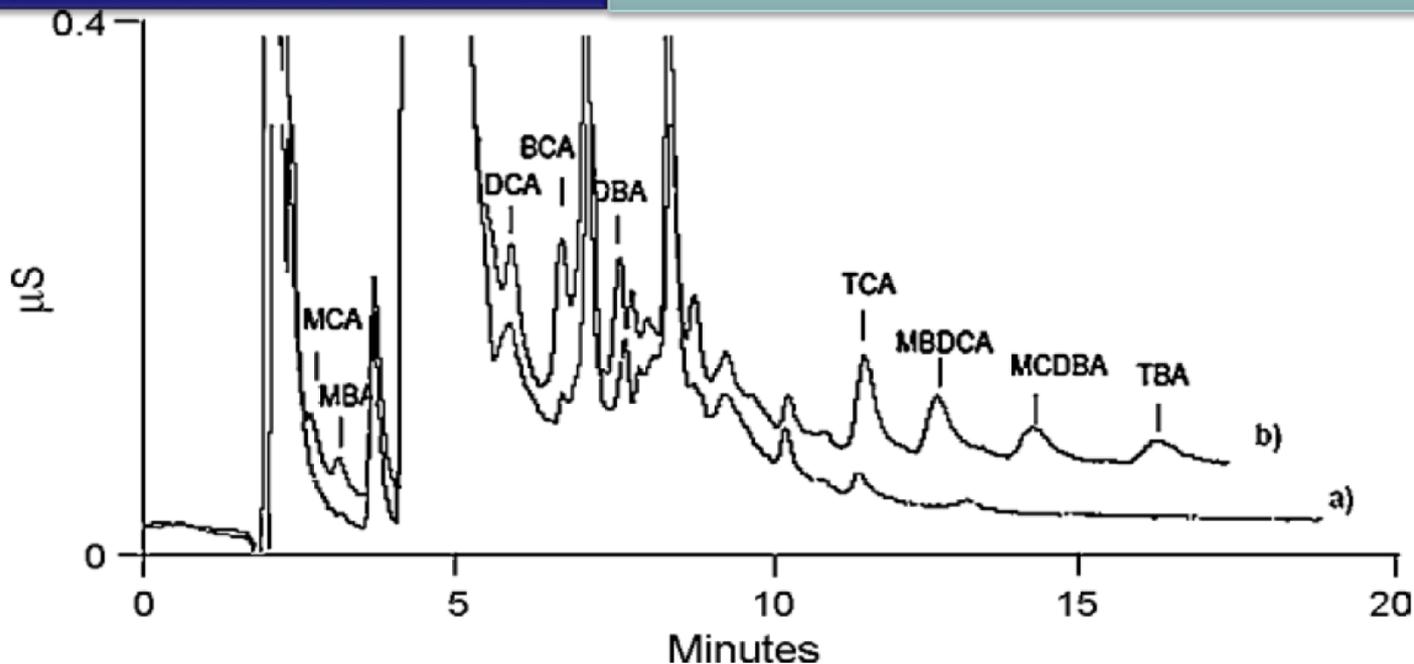
# Determinazione di HAA in acqua di rete mediante IC

Bruzzoniti et al. *J. Chromatogr. A* 1187 (2008) 188-196

HAA5

$\Sigma = 26 \mu\text{gL}^{-1}$

Acqua potabile + (5-105)  $\mu\text{g/L}$  HAA



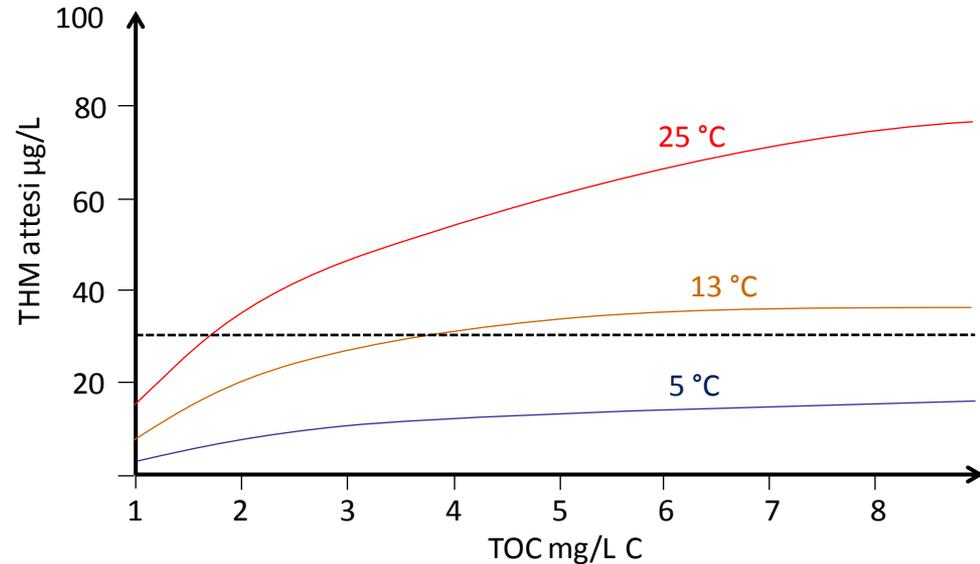
Column sites vs time

# Modelli predittivi-il potenziale di neoformazione

- ◆ Lo sviluppo di modelli matematici che possano prevedere la formazione dei DBPs in diverse condizioni di qualità dell'acqua da trattare e di trattamenti è di grande interesse ed utilità nel settore delle acque potabili
- ◆ **Vantaggi**
  - Conoscere le variabili dell'acqua grezza maggiormente influenti una situazione acquedotto-specifica
  - Prevedere situazioni a rischio legate a stagionalità e/o eventi improvvisi
  - Predisporre interventi correttivi adeguati
- ◆ I modelli più accreditati in letteratura includono come variabili di input uno o più precursori (es., TOC, UV254, e lo ione Br-) e le condizioni di disinfezione (es. dose di Cl<sub>2</sub>, pH, tempo di contatto e temperatura).
- ◆ **Limitazioni**
  - Taratura del modello con database limitato
  - Applicazione ad un tipo specifico di acqua grezza
  - Non utilizzo di tutti i parametri coinvolti
  - Validazione spesso inadeguata

# Caso studio

- ◆ Impianto di potabilizzazione Torino
  - Predecantazione
  - Ossidazione con  $\text{ClO}_2$
  - Chiariflocculazione
  - Filtrazione (sabbia e carbone attivo granulare)
- ◆ Tra le variabili esaminate (portata, T, pH, TOC, UV254, conducibilità,  $\text{NH}_4^+$ , torbidità), quelle maggiormente correlate con la variabile dipendente THM sono
  - T e TOC



$$\ln \text{THM} = 1.164 \ln T + 1.143 \text{TOC} - 1.73$$

La conduzione degli impianti viene modificata quando si prevede il superamento delle condizioni limite

# Determinazione del potenziale di neoformazione

## Standard Method 5710B. Caso studio

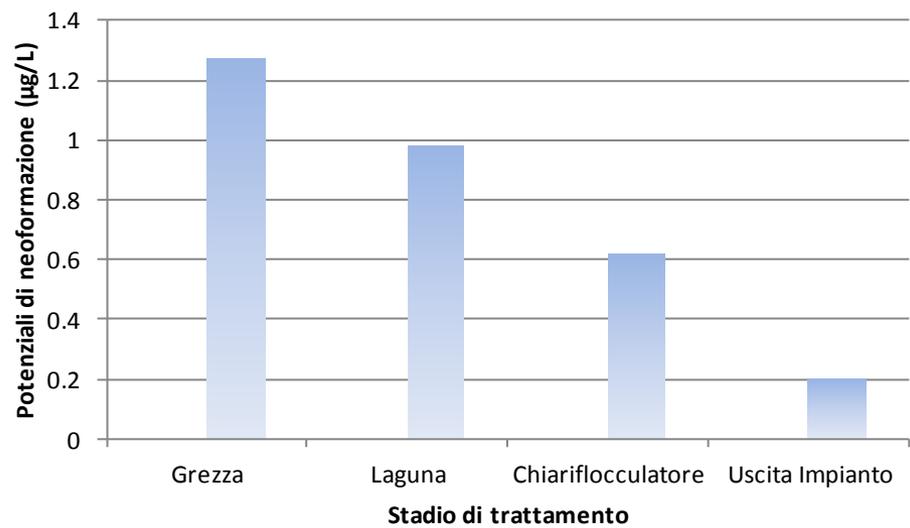
- ◆ Il potenziale di neoformazione dei trialometani THMs corrisponde alla massima quantità di THM che possono essere formati da tutti o dalla maggior parte dei precursori presenti nell'acqua grezza da trattare
- ◆ Questi metodi impiegano una dose elevata di  $\text{Cl}_2$  per assicurare la massima conversione dei precursori a THM (concentrazione di  $\text{Cl}_2$  residua compresa fra 3-5 mg/L) e sono condotti a condizioni controllate di pH, T, tempi di contatto e concentrazione finale di  $\text{Cl}_2$  residua.
- ◆ I THM sono generalmente espressi come concentrazione  $\mu\text{M}$  di  $\text{CHCl}_3$ 
  - $\mu\text{g/L CHCl}_3 = A$  PM=119.4
  - $\mu\text{g/L CHBrCl}_2 = B$  PM=163.8
  - $\mu\text{g/L CHBr}_2\text{Cl} = C$  PM=208.3
  - $\mu\text{g/L CHBr}_3 = D$  PM=252.7

$$THM = A + \frac{119.4}{163.8}B + \frac{119.4}{208.3}C + \frac{119.4}{252.7}D = A + 0.728B + 0.574C + 0.472D$$

Esprimendo in  $\mu\text{M}$  di  $\text{CHCl}_3$

$$THM = THM \frac{\frac{\mu\text{g}}{\text{L}} \text{CHCl}_3}{119.4}$$

**Potenziale di neoformazione =  $\text{THM}_7 - \text{THM}_0$**



# Le sfide attuali

Oltre ai DBPs regolamentati, nuovi composti di questa classe sono oggi oggetto di attenzione negli studi di monitoraggio, tossicologici, epidemiologici e di valutazione di rischio.

Nel 2009, l'EPA ha pubblicato la cosiddetta "Contaminant Candidate List (CCL 3)", un elenco di inquinanti che non sono attualmente nè soggetti, nè proposti ad alcuna regolamentazione nell'ambito delle acque destinate ad uso umano, ma che sono noti essere presenti nelle reti acquedottistiche e che potrebbero richiedere regolamentazione.

Oltre a pesticidi, composti chimici, patogeni trasmissibili con l'acqua, composti farmaceutici e tossine biologiche, la CCL 3 include i **DBPs**.

La CCL 3 include 104 composti chimici o classi e 12 contaminanti microbiologici.

Tra i DBPs, sono compresi: cloralio, formaldeide, bromoclorometano, **nitrosammine**: N-nitrosodietilammina (NDEA); N-nitrosodimetilammina (NDMA) ; N-nitroso-di-n-propilammina (NDPA) ; N-Nitrosodifenilammina ; N-nitrosopirrolidina (NPYR).

Nuovi composti DBPs che sono considerati emergenti includono composti Br- e I-sostituiti (es: **iodo-acidi**, **iodo-THMs**), forme bromurate di MX (3-Cloro-4-(diclorometil)-5-idrossi-2(5H)-furanone) e lo stesso **MX**, aloaldeidi, **aloammidi**, alonitrometani, **aloacetoni**.

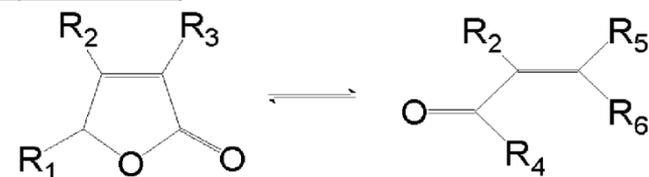
# MX (Mutagen X) e i suoi derivati

MX è di gran lunga il composto DBP più mutageno identificato fino ad ora.

Benchè presente a livelli di concentrazione dei  $\text{ngL}^{-1}$ , MX è responsabile del 20–60% della mutagenicità totale delle acque potabili.

Sono disponibili pochi dati sulla presenza dei composti furanonici alogenati nelle acque potabili a causa della **complessità dei metodi analitici e dell'incertezza della stabilità di tali composti sia nei campioni d'acqua che nei solventi estraenti.**

Composto	Struttura	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
MX	Ring	OH	CHCl <sub>2</sub>	Cl			
ZMX	Open		CHCl <sub>2</sub>		H	Cl	COOH
EMX	Open		CHCl <sub>2</sub>		H	COOH	Cl
Red-MX	Ring	H	CHCl <sub>2</sub>				
Ox-MX	Open		CHCl <sub>2</sub>		OH	Cl	COOH
BMX-1	Ring	OH	CHClBr				
BEMX-1	Open		CHClBr		H	COOH	Cl
BMX-2	Ring	OH	CHBr <sub>2</sub>				
BEMX-2	Open		CHBr <sub>2</sub>		H	COOH	Cl
BMX-3	Ring	OH	CHBr <sub>2</sub>				
BEMX-3	Open		CHBr <sub>2</sub>		H	COOH	Br
MCA	Ring	OH	Cl				
MCA	Open		Cl		H	COOH	Cl



# Le sfide future

---

- ◆ Sono attualmente in revisione le designazioni per la preparazione della CCL 4
- ◆ L'EPA ha richiesto nuove designazioni (candidature) di contaminanti chimici e microbiologici nelle acque potabili per la possibile inclusione nella quarta lista "Contaminant Candidate List "CCL 4.
- ◆ Il periodo utile per tali designazioni è terminato il 22 giugno 2012.
- ◆ L'EPA le sta attualmente esaminando e prevede di pubblicare una bozza di CCL 4 nei primi mesi del 2015 (che includerà un periodo di tempo di 60 giorni per i commenti da parte dell'opinione pubblica).

Acqua = fonte di vita



# Ringraziamenti

---

Per le ricerche IC sugli HAA

Prof. C. Sarzanini, Dr. R.M. De Carlo (Università di Torino)

Dr. K. Horvath, Prof. P. Hajos (University of Pannonia, Hungary)

Per i casi studio sui potenziali di neoformazione

Ing. L. Meucci, dott. M. Fungi (SMAT Torino), dott.ssa S. Franzolin (Università di Torino)

Per il gentile invito e supporto logistico

Dott.ssa P. Ielpo, Dott. A. Mazzone (Ordine dei Chimici di Bari)

*Grazie per l'attenzione*

