

Disinfettanti e sottoprodotti della disinfezione

Obiettivi della sessione

- Descrivere l'importanza della disinfezione nel fornire acqua potabile sicura.
- **Descrivere i disinfettanti chiave valutati in *Linee guida* e descrivono le loro principali caratteristiche ed efficacia.**
- Descrivere i principali sottoprodotti formati dai principali disinfettanti e descrivere il probabile rischio per la salute derivante dalla loro presenza in acqua.
- Descrivere l'equilibrio tra i rischi microbiologici e chimici per la salute e sottolineare la necessità di dare priorità alla qualità microbiologica.

Disinfettanti e sottoprodotti della disinfezione

introduzione

La disinfezione dell'acqua potabile è essenziale se vogliamo proteggere il pubblico dagli scoppi di malattie infettive e parassitarie trasmesse dall'acqua. I principali disinfettanti valutati in *Linee guida* sono cloro libero, clorammine, biossido di cloro e ozono.

Per quanto non esista l'organismo indicatore perfetto, ciascuno dei disinfettanti comunemente usati ha i suoi vantaggi e svantaggi in termini di costo, efficacia, stabilità, facilità di applicazione e formazione di sottoprodotti.

La tabella 1 riassume i valori Ct per i quattro disinfettanti principali,

dove C = concentrazione di disinfettante in mg / litro e

t = il tempo di contatto in minuti richiesto per inattivare una determinata percentuale di microrganismi.

Tabella 1. Riepilogo dei valori Ct (mg / L. Min) per inattivazione del 99% a 5 C (Clark et al, 1993)

Organismo	Disinfettante			
	Cloro libero, pH da 6 a 7	Clorammina preformata, pH da 8 a 9	Biossido di cloro, pH da 6 a 7	Ozono pH da 6 a 7
<i>E. coli</i>	0,034-0,05	95-180	0,4-0,75	0.02
Virus della polio 1	1,1-2,5	768-3740	0,2-6,7	0,1-0,2
Rotavirus	0,01-0,05	3806-6476	0,2-2,1	0,006-0,06
Batteriofago f 2	0,08-0,18	-	-	-
<i>G. lamblia</i> cisti	47-> 150	-	-	0,5-0,6
<i>G. Muris</i> cisti	30-630	-	7,2-18,5	1.8-2.0 un'
<i>C. parvum</i>	7200 _B	7200 _c	78 _B	5-10 _c

un' Valori per inattivazione del 99,9% a pH 6-9. B

Inattivazione del 99% a pH 7 e 25 ° C.

c 90% di inattivazione a pH 7 e 25 ° C.

Dai valori di Ct, l'ozono è il più efficiente e la clorammina il meno efficiente, in particolare per gli agenti virali. Il cloro libero è più efficace del biossido di cloro nei confronti di *E. coli* e rotavirus. Il biossido di cloro è più efficace del cloro libero per quanto riguarda il protozoo *Giardia lamblia* e *Muris*. L'ozono è il disinfettante più efficace per il cryptosporidium

parvum. All'aumentare della temperatura, i valori di Ct diminuiscono per tutti i disinfettanti. L'effetto del pH varia a seconda della natura del disinfettante ed è più pronunciato per il cloro.

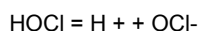
Cloro e suoi derivati

Il cloro è il disinfettante per acqua potabile più utilizzato. Quando aggiunto all'acqua, si verifica la seguente reazione entro un secondo o meno:



L'entità della costante di idrolisi dell'equilibrio è tale che l'idrolisi all'acido ipocloroso, HOCl, è praticamente completa in acqua dolce a pH > 4 e a dosi di cloro fino a 100 mg / litro (Morris, 1982).

L'acido ipocloroso è un acido debole che si dissocia parzialmente in acqua come segue:



Il valore della costante di ionizzazione acida è di circa 3×10^{-8} . Come mostrato nella Figura 1, in 20 ° C e pH 7,5, esiste un'equa distribuzione di HOCl e OCl⁻. A pH 8, circa il 30% del cloro libero è presente come HOCl, e a pH 6,5, il 90% è presente come HOCl (Morris, 1982). Il termine cloro libero si riferisce alla somma di acido ipocloroso e ione ipoclorito. Poiché l'HOCl è un disinfettante considerevolmente più efficace dell'OCl⁻ e il cloro libero, anche come ipoclorito, è più efficace del cloro combinato (ad es. Le clorammine), il *Linee guida* raccomandare che la disinfezione sia effettuata a pH inferiore a 8 e a cloro libero concentrazione $\geq 0,5$ mg / litro.

Di tutti i disinfettanti, la chimica e la tossicità dei sottoprodotti di reazione del cloro sono state le più approfondite.

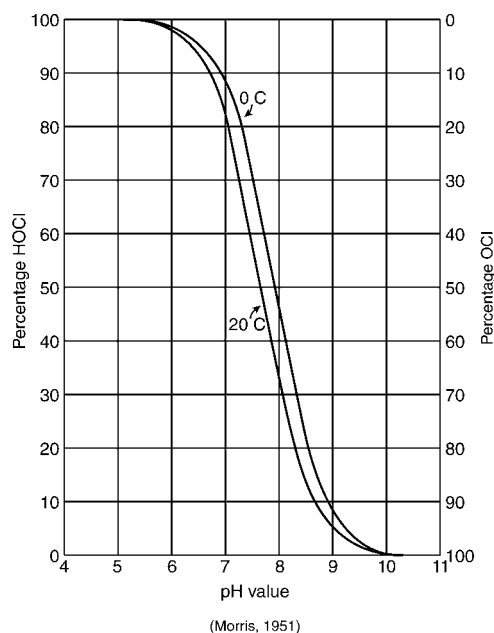


Figura 1: Distribuzione di acido ipocloroso e ione ipoclorito in acqua a diversi valori di pH e temperature (Morris, 1951)

Dalla scoperta di Rook della formazione di aloformi durante la clorazione dell'approvvigionamento idrico di Rotterdam (Rook, 1974), numerosi composti alogenati sono stati identificati nell'acqua potabile clorata e la loro tossicità è stata valutata. I precursori di questi composti alogenati comprendono composti umici e fulvici naturali e materiale algale. I sottoprodotti di disinfezione del cloro più comunemente trovati sono i trialometani (THM), gli acidi acetici alogenati, gli acetoniitrili alogenati, l'idrato di cloro e i fenoli clorurati. Altri includono furanone clorurato

MX, alopicrine, alogenuri di cianogeno, haloketones e aloaldeidi. L'alogenato
i sottoprodotti di disinfezione identificati rappresentano solo circa la metà del totale formato.

Sulla base di studi tossicologici su animali, valori guida (GV) sono stati raccomandati per un certo numero di questi composti. **Indubbiamente, la terza edizione del *Linee guida*, previsto per l'anno 2002, includerà ulteriori sottoprodotti della clorazione.**

Le seguenti sostanze chimiche risultanti dalla clorazione delle risorse idriche sono state valutate in *Linee guida*:

- cloro libero (HOCl + OCl⁻)
- trialometani
- acidi acetici clorurati
- acetoniitrili alogenati
- clorato idrato (tricloroacetaldeide)
- clorofenoli
- MX (3-cloro-4-diclorometil-5-idrossi-2 (5H) -furanone)

Per i paesi che desiderano controllare DBP, potrebbe non essere necessario stabilire standard per tutti i DBP per i quali sono stati proposti valori orientativi. I trialometani, di cui il cloroformio è il componente principale, sono probabilmente i principali DBP, in alcuni casi insieme agli acidi acetici clorurati.

In molti casi, controllo dei livelli di cloroformio e, dove appropriato, l'acido tricloroacetico fornirà anche una misura adeguata di controllo su altri sottoprodotti della clorazione.

(a) Cloro

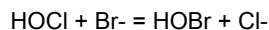
Il cloro libero nell'acqua potabile non è particolarmente tossico per l'uomo. La principale fonte di esposizione al cloro è l'acqua potabile. Pertanto, il 100% del TDI è stato assegnato all'acqua potabile fornendo un GV basato sulla salute di 5 mg / litro per la somma di acido ipocloroso e ione ipoclorito. Sulla base della soglia del gusto e degli odori del cloro libero, è dubbio tuttavia che i consumatori tollerino un livello così elevato di cloro. La maggior parte degli individui è in grado di assaggiare il cloro a concentrazioni inferiori a 5 mg / litro e alcuni a livelli inferiori a 0,3 mg / litro. Il GV salutare per il cloro non deve essere interpretato come un livello desiderabile di clorazione.

(b) Trialometani

I sottoprodotti di disinfezione del cloro predominanti sono i THM. Tuttavia, rappresentano solo circa il 10% del totale dei composti alogeni organici formati dalla clorazione dell'acqua.

I THM sono formati dalla clorazione acquosa di sostanze umiche, di composti solubili secreti dalle alghe e di composti azotati presenti in natura (Morris, 1982). I THM sono costituiti principalmente da cloroformio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromoformio.

Quando il bromuro è presente nell'acqua potabile, viene ossidato in acido ipobromoso dal cloro:



HOBr reagisce con composti organici naturali per formare alometani bromurati. Allo stesso modo, la presenza di ioduro può portare alla formazione di clorobromoiodo-metani misti.

Alcune dichiarazioni generalizzate possono essere fatte riguardo ai THM nell'acqua potabile clorata (IARC, 1991; Morris, 1982; Canada, 1993):

- La concentrazione di THM nell'acqua potabile varia ampiamente e varia da non rilevabile a 1 mg / litro o più;
- I livelli di THM sono più elevati nelle acque superficiali clorate rispetto alle acque sotterranee clorate;
- Le concentrazioni di THM tendono ad aumentare con l'aumentare della temperatura, del pH e del dosaggio del cloro;
- Le concentrazioni di THM aumentano allo stoccaggio anche dopo l'esaurimento del cloro residuo o dopo la dechlorazione. Ciò indica la formazione di prodotti intermedi che portano alla lenta produzione di THM;
- Il cloroformio è di solito il THM più abbondante, spesso responsabile di oltre il 90% della concentrazione totale di THM;
- Se c'è una quantità significativa di bromuro nell'acqua grezza, i THM bromurati, incluso il bromoformio, possono essere dominanti;
- La formazione di THM può essere minimizzata evitando la pre-clorazione e mediante un'efficace coagulazione, sedimentazione e filtrazione per rimuovere i precursori organici prima della disinfezione finale;
- La rimozione dei THM dopo la loro formazione è difficile e comporta processi ad alta intensità di risorse come l'adsorbimento del carbone attivo o lo stripping dell'aria.

Poiché i trialometani di solito si verificano insieme, è stata pratica prendere in considerazione i trialometani totali come un gruppo e un certo numero di paesi ha stabilito linee guida o standard su questa base, che vanno da 0,025 a 0,25 mg / litro.

Nel 1993 OMS *Linee guida*, GV individuali sono stati raccomandati per i quattro trialometani. Partendo dal presupposto che i THM possano esercitare potenziali effetti tossici attraverso meccanismi biologici simili, le autorità potrebbero voler stabilire standard per totale THM che spiegherebbero possibili effetti additivi e non semplicemente sommerebbero i valori guida per i singoli composti per arrivare a uno standard. Si consiglia invece il seguente approccio:

$$\frac{C_{\text{bromoform}}}{GV_{\text{bromoform}}} + C \frac{GV_{\text{DBCM}}}{DBCM} + C \frac{GV_{\text{BDCM}}}{BDCM} + C \frac{GV_{\text{cloroformio}}}{\text{cloroformio}} \leq 1$$

dove C = concentrazione, e
GV = valore indicativo

Studi epidemiologici di cancerogenicità di cloro e DBP

Nel 1991, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) dell'OMS ha pubblicato una valutazione dei rischi cancerogeni per l'uomo nell'acqua potabile clorata sulla base di numerosi studi tossicologici ed epidemiologici sugli animali.

IARC ha concluso che a causa di uno o più

carenze metodologiche, gli studi epidemiologici esaminati non possono costituire la base di una valida valutazione del rischio.

L'indagine epidemiologica della relazione tra l'esposizione all'acqua potabile clorata e l'insorgenza del cancro è stata considerata problematica perché qualsiasi aumento del rischio relativo rispetto a quello nelle persone che bevono acqua non clorata è probabile che sia piccolo e quindi difficile da rilevare negli studi epidemiologici. In tutti gli studi valutati, le stime dell'esposizione erano imprecise e i surrogati (ad es. Superficie contro acque sotterranee) non riflettono l'esposizione durante i periodi di tempo pertinenti per l'eziologia dei tumori in questione. Molte variabili, come le abitudini al fumo, le pratiche dietetiche, l'uso di alcol, lo stato socio-economico e l'etnia sono noti per influenzare l'incidenza del cancro e non sono state prese in considerazione nella maggior parte degli studi (IARC,

1991).

Nella sua valutazione complessiva, IARC ha concluso che esiste prove inadeguate per la cancerogenicità dell'acqua potabile clorata nell'uomo e negli animali da esperimento (IARC, 1991).

Cloramina e suoi derivati

La cloramina generalmente produce sottoprodotti simili a quelli osservati con il cloro ma a concentrazioni molto più basse. Un'eccezione a ciò è la formazione di cloruro di cianogeno, CNCl (Bull e Kopfler, 1991). L'uso della cloramina come disinfettante è aumentato negli ultimi anni a causa della limitata formazione di THM, tuttavia si sa poco sulla natura di altri sottoprodotti.

La monocloramina è circa 2000 e 100000 volte meno efficace del cloro libero per l'inattivazione di E. coli e rotavirus, rispettivamente. Pertanto, la monocloramina non può essere considerata come disinfettante primario. È utile per mantenere un disinfettante residuo nei sistemi di distribuzione. Il passaggio alla monocloramina per controllare la formazione di THM può quindi compromettere la disinfezione e la *Linee guida* cautela contro tale procedura. Le clorammine organiche sono disinfettanti ancora meno efficaci della monocloramina.

Biossido di cloro e suoi derivati

A causa del suo pericolo esplosivo, il biossido di cloro viene prodotto nel punto di utilizzo. ClO_2 viene generato attraverso la reazione di clorito di sodio e cloro. Le reazioni al biossido di cloro con sostanze umiche non formano livelli significativi di THM. Inoltre, non reagisce con l'ammoniaca per formare clorammine. I principali sottoprodotti della disinfezione del biossido di cloro sono il cloruro, il clorato e il clorito.

Il biossido di cloro è più efficace per l'inattivazione delle cisti di *Giardia* rispetto al cloro libero, ma meno efficace per il rotavirus e l'*E. coli*. A differenza del cloro, l'efficienza di disinfezione del biossido di cloro è indipendente dal pH e dalla presenza di ammoniaca.

È stato raccomandato un GV provvisorio per il clorito mentre non erano disponibili dati adeguati per raccomandare un GV per il clorato. Non è stato raccomandato alcun GV per il biossido di cloro *di per sé* a causa della sua rapida decomposizione in soluzioni acquose e il clorito GV è adeguatamente protettivo per la potenziale tossicità da biossido di cloro. Inoltre, la soglia del gusto e degli odori per il biossido di cloro nell'acqua è di 0,4 mg / litro che costituisce un fattore limitante e un segnale per la sua presenza a concentrazioni più elevate nell'acqua potabile.

Altri sottoprodotti di reazione del biossido di cloro con sostanze organiche nell'acqua potabile non sono stati ben caratterizzati ma includono aldeidi, acidi carbossilici, alacidi, clorofenoli, chinoni e benzochinone (Bull e Kopfler, 1991).

In un recente articolo, oltre 40 biologici sottoprodotti di disinfezione sono stati identificati in un impianto pilota in Indiana che utilizza il biossido di cloro come disinfettante primario. La tossicità di questi sottoprodotti è in gran parte sconosciuta (Richardson et al. 1994).

Ozono e suoi derivati

L'ozono si decompone rapidamente dopo l'applicazione e per questo motivo non è stato proposto alcun GV per l'ozono.

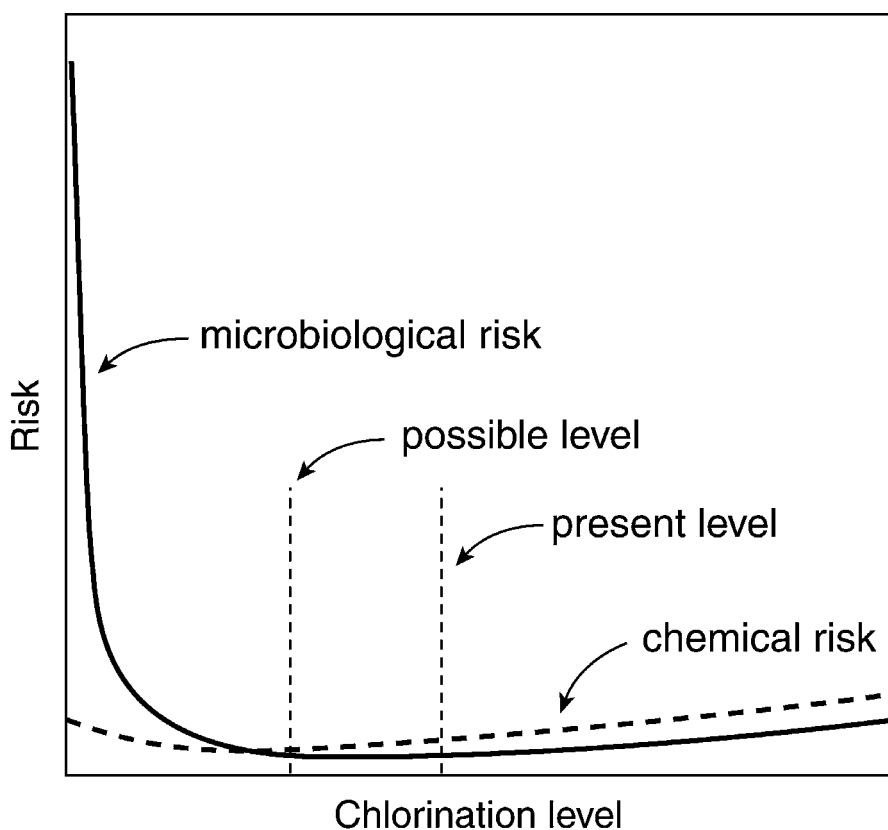
Dai prodotti di ozonazione che sono stati identificati includono formaldeide e altre aldeidi, acidi carbossilici, perossido di idrogeno, bromato, bromometani, acidi acetici bromurati, acetoni nitrili e chetoni bromurati. I valori delle linee guida sono stati raccomandati per il bromato e la formaldeide.

L'ozono è il disinfettante più efficace per tutti i tipi di microrganismi. Gli svantaggi includono la mancanza di residui di disinfettante, problemi di ricrescita biologica nei sistemi di distribuzione, costi elevati e informazioni limitate sulla natura e la tossicità dei suoi sottoprodotti.

Bilanciamento dei rischi chimici e microbici

Le valutazioni quantitative dei rischi associati alla contaminazione microbica dell'acqua potabile sono scarse. Sebbene esistano lacune nelle nostre conoscenze, non possiamo permetterci di rimandare l'azione fino a quando non sarà disponibile una rigorosa valutazione quantitativa dei rischi chimici rispetto ai rischi microbici e ogni risposta sarà nota.

Una presentazione semiquantitativa dei rischi associati alla disinfezione è stata tentata per la prima volta da Morris (1978) ed è riportata nella Figura 2. Quanto segue è più o meno una citazione del suo lavoro: Il rischio di malattie infettive portate dall'acqua è molto elevato quando non c'è clorazione usata e scende bruscamente a un valore basso quando vengono mantenuti anche livelli minimi di clorazione. Lo sappiamo sulla base dell'esperienza di un secolo, dichiarò Morris. All'aumentare del livello di clorazione, il rischio continua a scendere leggermente, ma non raggiunge mai lo zero, poiché nessun sistema è perfetto. A livelli molto elevati di cloro il rischio microbico aumenta poiché il gusto e l'odore possono causare l'uso di forniture non sicure.



(Morris, 1978)

Figura 2: Rischi e benefici della clorazione dell'acqua (Morris, 1978)

Il rischio chimico non parte da zero poiché esiste un pericolo connesso con la materia organica prima della clorazione. Il rischio chimico diminuisce inizialmente perché la distruzione di sostanze chimiche per ossidazione compensa più che la formazione di nuove sostanze chimiche a bassi livelli di clorazione. A causa della formazione di sottoprodotti, il rischio chimico aumenta con l'aumentare del livello di clorazione. Intuitivamente, descrisse il rischio chimico derivante dalla clorazione come considerevolmente inferiore rispetto al rischio microbico derivante da una fornitura non disinfettata.

Nei paesi sviluppati, da quando la filtrazione e la clorazione sono diventate comuni per l'approvvigionamento idrico della comunità, la morbilità e la mortalità a causa di malattie intestinali portate dall'acqua, in particolare febbre tifoide e colera, sono diminuite a livelli trascurabili. Quasi tutti gli scoppi causati dall'acqua che si verificano ancora sono associati all'uso di acqua non trattata o acqua da sistemi in cui la clorazione era inadeguata.

Altri studi sull'impatto sulla salute riguardano gli effetti benefici sulla salute dell'approvvigionamento idrico sicuro e sufficiente e di servizi igienico-sanitari adeguati, tre fattori così intrecciati che spesso non è possibile tracciare linee definite di demarcazioni tra di loro. Insieme, costituiscono i pilastri della protezione della salute pubblica. Si stima che la prevista riduzione della morbilità ottenibile attraverso la fornitura di approvvigionamento idrico sicuro e sufficiente e servizi igienici adeguati (OMS, 1992):

Riduzione prevista della morbilità (%)	
Colera, tifo	80
Malattie diarroiche	40
Dracunculiasi	100
schistosomiasi	60

Quando si applicano queste riduzioni percentuali ai tassi di morbilità e mortalità globali per queste malattie, i benefici di salvare milioni di vite attraverso questi interventi sono immediatamente evidenti.

Come mostrato nella Figura 3 sul retro, la fornitura di acqua potabile sicura può comportare una riduzione del 20% della mortalità infantile (Regli et al., 1993).

Nel loro lavoro pionieristico sul confronto del rischio stimato da agenti patogeni noti in acque superficiali non trattate e clorazione da prodotti in acqua potabile, Regli et al. (1993) hanno concluso che:

- il rischio di morte per agenti patogeni è almeno da 100 a 1000 volte maggiore del rischio di cancro per sottoprodotti di disinfezione (DBP);
- il rischio di malattia da agenti patogeni è almeno 10.000 a 1 milione di volte maggiore del rischio di cancro da DBP;
- i tassi di morbilità e mortalità da agenti patogeni rispetto a quelli provenienti da DBP, possono essere considerevolmente più alti nei paesi in via di sviluppo in cui lo stato sanitario e sanitario non è altrettanto buono;

- nelle società in cui la mortalità infantile e l'aspettativa di vita sono basse, molte persone non dovrebbero vivere abbastanza a lungo da sostenere il cancro, il che provoca anche differenze molto più elevate nel rischio derivante dall'esposizione ad agenti patogeni rispetto ai DBP sopra citati.

Mentre quest'ultima affermazione sembra cinica, riflette la vera situazione in molti paesi in via di sviluppo.

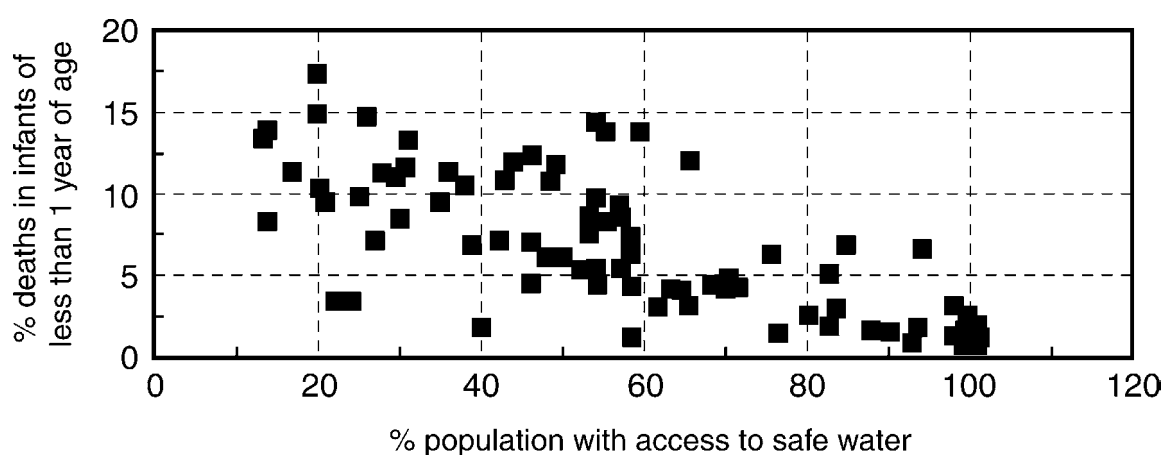


Figura 3. Mortalità infantile rispetto all'accesso ad acqua sicura (Regli et. Al., 1993)

Conclusion

Un'adeguata disinfezione dell'acqua potabile è la priorità più importante per garantire un approvvigionamento idrico sicuro. Recenti epidemie di colera in America Latina e in Ruanda forniscono prove drammatiche dell'importanza di un'adeguata disinfezione dell'acqua. Esistono prove limitate di possibili effetti sulla salute dei sottoprodotti disinfectanti, in particolare i possibili rischi di cancro dovuti al cloroformio e agli altri trihalometani e sottoprodotti. Questa evidenza si basa su studi sugli animali ad alte dosi.

Gli studi epidemiologici condotti finora non forniscono alcuna prova del fatto che i disinfectanti e i loro sottoprodotti influenzino la salute umana alle concentrazioni riscontrate nell'acqua potabile. L'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro ha concluso che esiste prove inadeguate per la cancerogenicità dell'acqua potabile clorata nell'uomo e negli animali da esperimento.

Sebbene dichiarato in modo qualitativo, il messaggio del *Linee guida* è chiaro:

I rischi stimati per la salute dai disinfectanti e dai loro sottoprodotti sono estremamente piccoli rispetto ai rischi reali associati a una disinfezione inadeguata ed è importante che la disinfezione non venga compromessa nel tentativo di controllare tali sottoprodotti. La distruzione di agenti patogeni microbici attraverso l'uso di disinfectanti è essenziale per la protezione della salute pubblica.

Tutti i disinfectanti per necessità sono sostanze reattive e producono sottoprodotti. Poco si sa circa la natura e la tossicità dei sottoprodotti di ozono, biossido di cloro o clorammine. Il

i sottoprodotti della clorazione sono quelli che sono stati più ampiamente identificati e la loro tossicità valutata. La disinfezione con cloro non dovrebbe essere penalizzata per questo motivo.

Nel

Inoltre, in molti paesi, se la disinfezione può essere praticata, sarà attraverso l'uso di cloro.

Vi sono ora sempre più indicazioni del fatto che i rischi stimati per la salute dai disinfettanti e dai loro sottoprodotti siano di un ordine di grandezza inferiore di molti gradi rispetto ai rischi reali associati a una disinfezione inadeguata. Quindi, sebbene vi sia una grande certezza scientifica che l'acqua disinfettata in modo inadeguato si traduca in devastanti epidemie di malattie microbiche, vi è relativamente grande incertezza riguardo ai possibili rischi per la salute causati dai DDBP. Nello stabilire gli standard per i disinfettanti per prodotti, si sottolinea che " **Laddove le circostanze locali richiedono che si debba fare una scelta tra il rispetto delle linee guida microbiologiche o le linee guida per i disinfettanti o i sottoprodotti disinfettanti, la qualità microbiologica deve sempre avere la precedenza e, se necessario, un valore di linea guida chimica può essere adottato a un livello di rischio più elevato . Disinfezione efficiente deve mai essere compromesso.**" (1993 *Linee guida*)

Riferimenti

Bull RJ, Kopfler FC (1991). Effetti sulla salute dei disinfettanti e dei sottoprodotti della disinfezione, American Water Works Association, Denver.

Canada Health and Welfare (1993). Principi e applicazioni del trattamento delle acque. Associazione canadese di acque e acque reflue, Ottawa.

Clark RM, Hurst CJ, Regli S (1993). Costi e benefici del controllo dei patogeni nell'acqua potabile. In: Sicurezza della disinfezione dell'acqua: bilanciamento dei rischi chimici e microbici. Craun GF ed. Stampa ILSI, Washington, DC

Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (1991). Monografie IARC sulla valutazione dei rischi cancerogeni per l'uomo, volume 52 Acqua potabile clorata; sottoprodotti della clorazione; alcuni altri composti alogenati; composti di cobalto e cobalto, Lione.

Morris JC (1951), ricerca inedita, Università di Harvard, 1951

Morris JC (1978). Riepilogo della conferenza. In: clorazione dell'acqua impatto ambientale ed effetti sulla salute. Volume 2. Jolley RL, Gorchev H., Hamilton DH eds., Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan.

Morris JC (1982). Prospettiva della salute nel trattamento ossidativo dell'acqua per fornitura potabile. Parte 2 Valutazione della salute degli attuali disinfettanti ossidanti. Istituto nazionale per l'approvvigionamento idrico. Leidschendam, Paesi Bassi.

Regli S., Berger P., Macler B., Haas C. (1993). Albero decisionale proposto per la gestione dei rischi nell'acqua potabile: considerazione della salute e dei fattori socioeconomici. In: Sicurezza della disinfezione dell'acqua: bilanciamento dei rischi chimici e microbici. Craun GF ed. ILSI Press, Washington, DC

Richardson SD, Thruston AD, Collette TW (1994). Identificazione multispettrale di sottoprodotti di disinfezione con biossido di cloro nell'acqua potabile. *Environ. Sci. Technol.*, 28 : 592-599.

Rook JJ (1974). Formazione di aloformi durante la clorazione di acque naturali. *J. Soc. per il trattamento e l'esame delle acque* 23 : 234-243.

Organizzazione mondiale della sanità (1992). Il nostro pianeta, la nostra salute. Rapporto della Commissione dell'OMS su salute e ambiente. Ginevra.

Allegato 1

QUALITÀ BATTERIOLOGICA DELL'ACQUA POTABILE

organismi	Valore indicativo
Tutta l'acqua destinata al consumo	
<i>E. coli</i> o batteri coliformi termotolleranti	Non deve essere rilevabile in alcun campione da 100 ml
Acqua trattata che entra nel sistema di distribuzione	
<i>E. coli</i> o batteri coliformi termotolleranti	Non deve essere rilevabile in alcun campione da 100 ml
Batteri coliformi totali	Non deve essere rilevabile in alcun campione da 100 ml
Acqua trattata nel sistema di distribuzione	
<i>E. Coli</i> o batteri coliformi termotolleranti	Non deve essere rilevabile in alcun campione da 100 ml
Batteri coliformi totali	Non deve essere rilevabile in alcun campione da 100 ml. Nel caso di forniture di grandi dimensioni, dove vengono esaminati campioni sufficienti, non devono essere presenti nel 95% dei campioni prelevati durante un periodo di 12 mesi.

Disinfettanti e sottoprodotti disinfettanti

Tabella 1: Riepilogo dei valori Ct (mg / L. Min) per inattivazione del 99% a 5 °C (Clark et al, 1993)

Organismo	Disinfettante			
	Cloro libero, pH da 6 a 7	Clorammina preformata, pH da 8 a 9	Biossido di cloro, pH da 6 a 7	Ozono pH da 6 a 7
E. coli	0,034-0,05	95-180	0,4-0,75	0,02
Virus della polio 1	1,1-2,5	768-3740	0,2-6,7	0,1-0,2
Rotavirus	0,01-0,05	3806-6476	0,2-2,1	0,006-0,06
Batteriofago f ₂	0,08-0,18	-	-	-
G. lamblia cisti	47-> 150	-	-	0,5-0,6
G. Muris cisti	30-630	-	7,2-18,5	1,8-2,0 _{un'}
C. parvum	7200 _B	7200 _C	78 _B	5-10 _C

un' Valori per inattivazione del 99,9% a pH 6-9.

B Inattivazione del 99% a pH 7 e 25 C.

C 90% di inattivazione a pH 7 e 25 C.

Disinfettanti e sottoprodotti disinfettanti

Piano di presentazione

Sezione	Punti chiave	OHP
<p>introduzione • si consiglia la disinfezione di tutte le acque fornite per bere</p>	<p>dall'OMS per proteggere la salute pubblica</p> <ul style="list-style-type: none"> • disinfettanti principali valutati in <i>Linee guida</i> sono: cloro libero, clorammine, biossido di cloro e ozono • l'ozono complessivo è il disinfettante più efficace, sebbene il cloro sia anche efficace ed efficiente • tutti i disinfettanti presentano vantaggi e svantaggi e tutti producono sottoprodotti • un certo numero di sottoprodotti di disinfezione sono stati valutati nel GDWQ 	<p>1,2 Tabella 1</p>
<p>Cloro e suoi sottoprodotti</p>	<ul style="list-style-type: none"> • il cloro è il disinfettante più comune • quando il cloro viene aggiunto all'acqua forma acido ipocloroso, ione idrogeno e ione cloro • a causa della maggiore efficienza, il <i>Linee guida</i> consiglia la disinfezione con cloro a pH inferiore a 8 e una concentrazione di cloro libero superiore a 0,5 mg / l • l'uso del cloro porta alla formazione di sottoprodotti alogenati, inclusi i THM • precursori dei THM sono acidi umici e fulvici naturali e materiale algale • numerosi altri sottoprodotti possono essere formati (vedi carta o <i>Linee guida</i> per esempio) • le impurità nel cloro gassoso e liquido rilevanti per la natura dei sottoprodotti sono il tetracloruro di carbonio e il bromuro • GV impostati per una serie di sottoprodotti della clorazione • molto difficile stimare l'esposizione a composti organici alogenati nell'acqua potabile • potrebbe non essere necessario stabilire standard per tutti i sottoprodotti inclusi in <i>Linee guida</i>, è meglio concentrarsi sui principali gruppi (ad es. THM) • la qualità microbiologica dell'acqua non dovrebbe mai essere compromessa dalle preoccupazioni relative ai sottoprodotti di disinfezione 	<p>3,4,5</p>

Sezione	Punti chiave	OHP
Cloro	<ul style="list-style-type: none"> • il cloro libero nell'acqua potabile non è particolarmente tossico e il GV per la salute è di 5 mg / l • i consumatori molto improbabili accetterebbero tali livelli di cloro poiché il gusto si nota a partire da 0,3 mg / l • non usare GV come livello desiderabile di clorazione 	
Tri alometani	<p>• questi sono i principali sottoprodotti della clorazione, nella acqua formale 10</p> <ul style="list-style-type: none"> • È più probabile che si verifichino THM nelle acque superficiali clorate rispetto alle acque sotterranee • Le concentrazioni di THM variano ampiamente; aumentando all'aumentare della temperatura, del pH, del dosaggio del cloro e allo stoccaggio dopo esaurimento del cloro libero o dechlorazione • il cloroformio è il THM più comune (di solito > 90% del THM totale) • quando è presente il bromo, i THM bromurati sono probabilmente dominanti • La formazione di THM può essere minimizzata evitando la preclorazione e ottimizzando il trattamento • La rimozione di THM è costosa e difficile 	6
Clorammina e sottoprodotti	<ul style="list-style-type: none"> • clorammine formate dalla reazione di cloro e ammoniaca o ammine organiche • può ottenere mono-, di- e triclorammine a seconda del pH e della temperatura • sottoprodotti della clorammina simili al cloro libero, ad eccezione del cloruro di cianogeno • monoclorammina da 2000 a 100.000 volte meno efficace del cloro libero per inattivazione di <i>E.coli</i> e rotavirus 	7
Biossido di cloro e derivati	<ul style="list-style-type: none"> • biossido di cloro prodotto nel punto di utilizzo a causa del suo pericolo di esplosione • il biossido di cloro non forma THM o clorammine • i sottoprodotti principali sono clorito, clorato e cloruro • biossido di cloro più efficace del cloro libero nell'inattivazione di <i>Giardia</i> cisti ma meno efficace contro <i>E.coli</i> e rotavirus • nessun GV per il biossido di cloro nell'acqua poiché si dissocia rapidamente • GV impostati per il clorito ma non per il clorato 	8
Ozono e sottoprodotti	<ul style="list-style-type: none"> • l'ozono si decompone rapidamente dopo l'applicazione e quindi non è stato proposto alcun GV • i sottoprodotti includono formaldeide, altre aldeidi, perossido di idrogeno e bromometani (vedi carta / <i>Linee guida</i> per ulteriori esempi) 	9

Sezione	Punti chiave	OHP
Ozono e sottoprodotti <i>(Continua)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • l'ozono è il disinfettante più efficace per quanto riguarda i microrganismi • gli svantaggi includono: mancanza di residui, problemi di ricrescita biologica nei sistemi di distribuzione, costi elevati e informazioni limitate sulla natura e la tossicità dei sottoprodotti • quando l'ozonizzazione seguita dalla clorazione, possono aumentare le concentrazioni di THM bromurati 	
Bilanciamento dei rischi chimici e microbici	<ul style="list-style-type: none"> • attualmente una scarsità di valutazione quantitativa dei rischi relativi di contaminazione microbica e chimica dell'acqua potabile • Morris ha presentato una presentazione semiquantitativa: questo ha dimostrato che il rischio di malattie infettive trasmesse dall'acqua è elevato laddove la clorazione non è praticata e questo diminuisce drasticamente con livelli di clorazione anche minimi, sebbene non possa mai raggiungere il rischio zero • a concentrazioni molto elevate di cloro, il rischio microbico aumenta poiché il gusto e l'odore causano l'uso di forniture non sicure • i rischi chimici non iniziano a zero come sempre alcuni pericoli derivanti dalla materia organica prima della clorazione • i rischi chimici sono inizialmente bassi ma aumentano con l'aumentare dei dosaggi di cloro • il rischio di morte per agenti patogeni è almeno da 100 a 1000 volte maggiore del rischio di cancro da sottoprodotti disinfettati e rischio di malattia da agenti patogeni almeno da 10.000 a 1 milione di volte maggiore • i tassi di morbilità e mortalità da agenti patogeni rispetto al rischio di cancro da sottoprodotti possono essere molto più alti nei paesi in via di sviluppo in cui lo stato sanitario e sanitario è scarso 	10
conclusioni	<ul style="list-style-type: none"> • la disinfezione è importante per garantire un approvvigionamento di acqua potabile sicuro • sono disponibili informazioni limitate sui rischi per la salute derivanti dai sottoprodotti della disinfezione • la formazione di sottoprodotti della disinfezione può essere ridotta se il processo di trattamento è ottimizzato e si evita la preclorazione • esistono prove inadeguate relative alla cancerogenicità dell'acqua potabile clorata • sono disponibili ulteriori informazioni sul cloro perché è stato studiato in modo più dettagliato e ciò non dovrebbe penalizzare l'uso del cloro • poiché la qualità microbiologica è di fondamentale importanza, la disinfezione non dovrebbe essere compromessa 	

Disinfettanti valutati

Cloro

chloramine

Biossido di cloro

Ozono

Iodio



Disinfettanti e sottoprodotti disinfettanti

L'ozono complessivo è il disinfettante più efficace, sebbene il cloro sia efficace ed efficiente

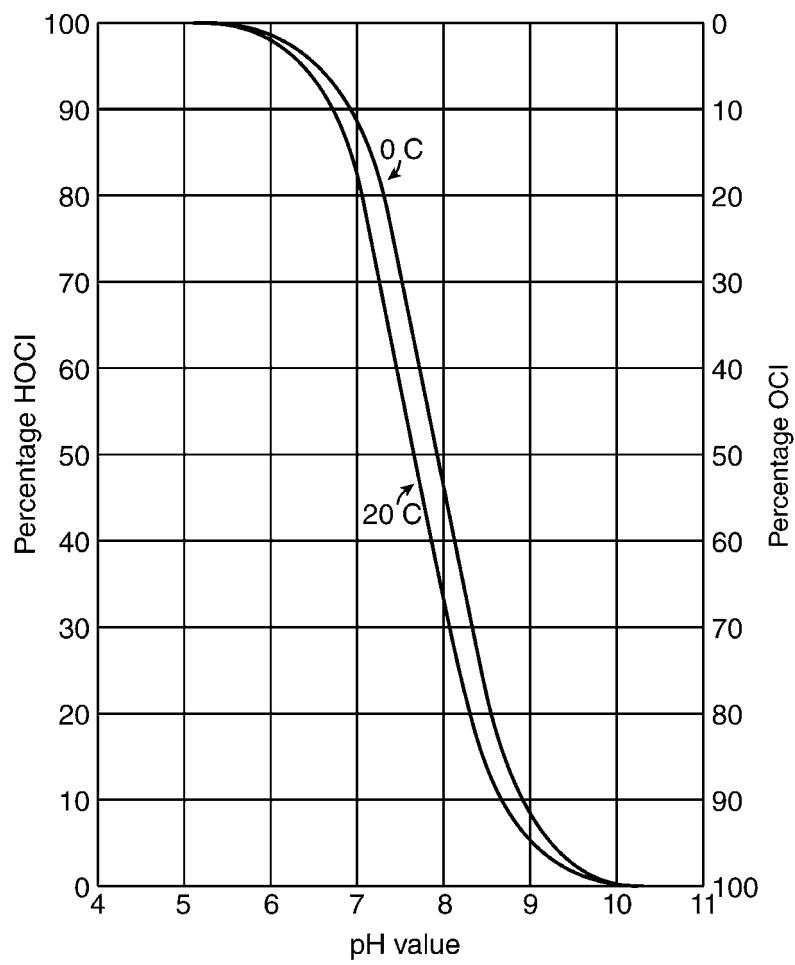
Tutti i disinfettanti presentano vantaggi e svantaggi e tutti producono sottoprodotti

Numerosi sottoprodotti disinfettanti sono stati valutati nelle Linee guida

La qualità microbiologica dell'acqua non dovrebbe mai essere compromessa dalle preoccupazioni relative ai sottoprodotti di disinfezione



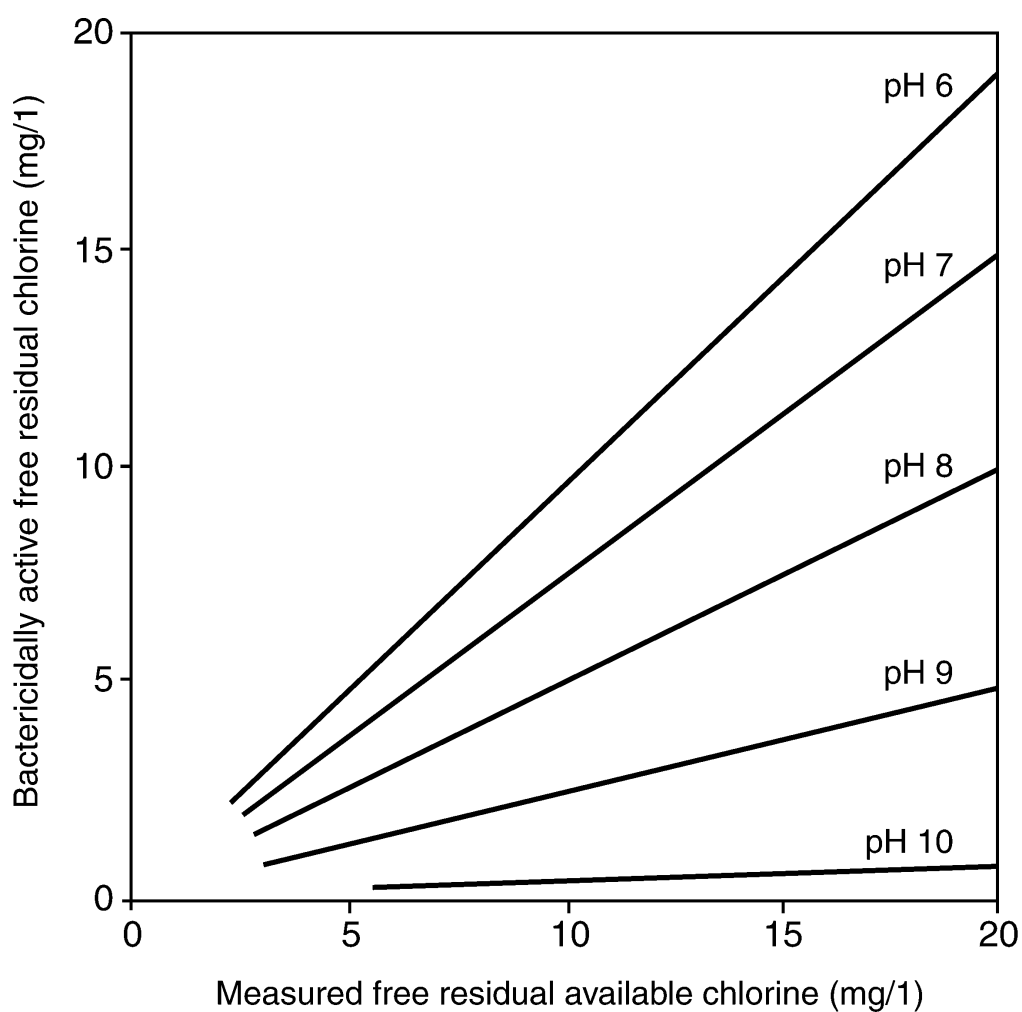
Distribuzione di acido ipocloroso e ione ipoclorito in
acqua a diversi valori di pH
e temperature



(Morris, 1951)



Rapporto tra residuo libero misurato
Cloro disponibile (HOCl +, OCl-) e
Battericidally Active (HOCl)



Cloro

Il cloro è il disinfettante più comune Sottoprodotti del
cloro »Cloro libero

»Trealometani (THM)» Acidi acetici
clorurati »Acetonitrili alogenati

»Cloridrato idrato (tricloroacetaldeide)» Clorofenoli
»MX

(3-cloro-dichlormethyl-5-idrossi-2 (5H) -furanone)

Potrebbe non essere necessario stabilire standard per tutti i sottoprodotti
inclusi nelle Linee guida, è meglio concentrarsi
i principali gruppi (ad es. THM)



trialometani

Il principale sottoprodotto della clorazione

Formata dalla clorazione acquosa di sostanze umiche

È più probabile che si verifichi nelle acque superficiali clorate rispetto alle acque sotterranee

Le concentrazioni di THM tendono ad aumentare con l'aumentare della temperatura, del pH e del dosaggio di cloro

I THM sono costituiti principalmente da:

- »Chloroform
- »Bromodichlorometano»
- Dibromochlorometano
- »Bromoformio

La formazione di THM può essere minimizzata evitando la preclorazione e ottimizzando il trattamento



Cloramina e suoi derivati

Clorammine formate per reazione di cloro e ammoniaca o ammine organiche

A seconda del pH e della temperatura si possono formare mono, di- e tricloramine

Sottoprodotti della cloramina simili al cloro libero ad eccezione del cloruro di cianogeno

La monocloramina è un disinfettante meno efficace del cloro libero e non può essere considerata un disinfettante primario; sebbene utile per mantenere un residuo.



Biossido di cloro e suoi derivati

Biossido di cloro prodotto nel punto di utilizzo a causa del suo pericolo di esplosione

Le reazioni con sostanze umiche non formano livelli significativi di THM o clorammine

I sottoprodotti principali sono:

»clorito» clorato »cloruro

Più efficace del cloro libero nell'inattivazione delle cisti di Giardia
ma meno efficace contro ***E.coli*** e rotavirus

Nessun GV per il biossido di cloro nell'acqua poiché si dissocia rapidamente. GV impostati per il clorito ma non per il clorato



Ozono e suoi derivati

Disinfettante più efficace per tutti i tipi di microorganismi

Si decompone rapidamente dopo l'applicazione, pertanto non è stato proposto alcun GV per l'ozono

I sottoprodotti includono:

»formaldeide» aldeidi

»Perossido di idrogeno»

bromometani

Gli svantaggi comprendono:

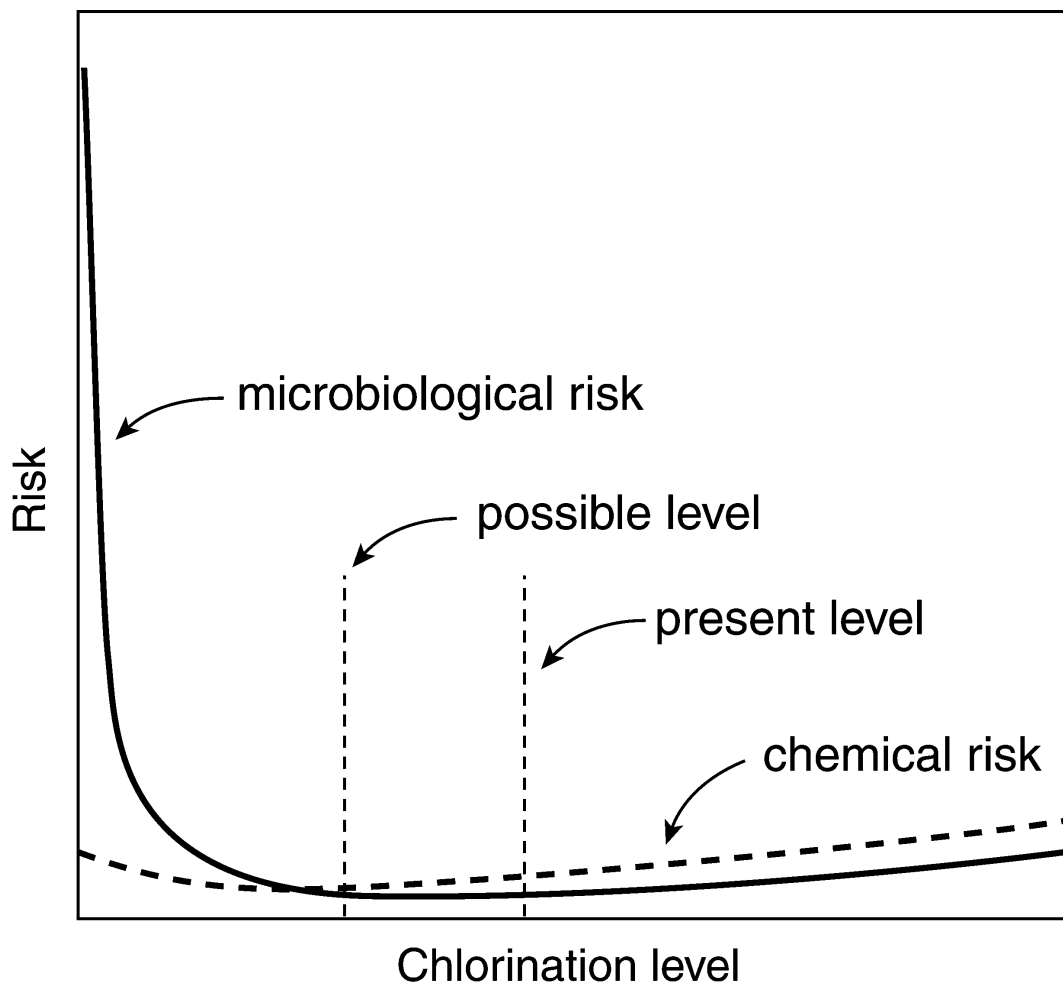
»mancanza di residui

»Ricrescita biologica nei sistemi di distribuzione» costo elevato

»Informazioni limitate sulla tossicità dei suoi sottoprodotti



Bilanciamento chimico e microbiologico rischi



(Morris, 1978)

