
	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 1 a 62

NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE **PER ADDETTI ALLA CONDUZIONE:** **LA DISINFEZIONE**

MODULO 6

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 2 a 62

Indice

1	La disinfezione	3
2	Disinfezione e sottoprodotti	7
2.1	Reattivi per la disinfezione	15
2.1.1	Utilizzo del Valore CxT per il dimensionamento della disinfezione	15
2.1.2	Cloro gas e ipoclorito di sodio.	18
2.1.3	Biossido di cloro.....	25
2.1.4	L'ozono.....	32
2.2	Miscelatori a turbina.....	38
2.3	I raggi ultravioletti	40
2.3.1	Le membrane filtranti	48
2.3.2	Aspetti sanitari	57
2.3.3	Odore e sapore	57
2.3.4	Influenza di pH e temperatura	57
2.3.5	Efficienza della disinfezione	58
2.3.6	La sicurezza dell'installazione.....	58
2.3.7	Formazione di DBP e misure di controllo	60
2.3.8	Dosaggi	61
2.4	Metodi Analitici	61
2.5	Metodi colorimetrici	61

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 3 a 62

1 La disinfezione

La disinfezione è una fase di processo definita ed estremamente importante.

Costituisce l'ultimo stadio di trattamento, dalla sua corretta conduzione dipende l'ottenimento di un'acqua priva di batteri patogeni e, soprattutto, priva di sottoprodotti dipendenti dal modo con cui agiscono i diversi disinfettanti.

La disinfezione deve essere divisa in due fasi:

- 1) Disinfezione di processo, finalizzata all'abbattimento dei batteri presenti;
- 2) Dosaggio del disinfettante per la copertura della rete.

In funzione delle decisioni assunte in fase di definizione del processo di trattamento possiamo utilizzare disinfettanti diversi per il trattamento vero e proprio e per la rete, o lo stesso disinfettante.

Di seguito si riportano alcuni aspetti generali e storici sulla disinfezione.

L'acqua è un alimento indispensabile per la sopravvivenza ma può veicolare microrganismi patogeni e sostanze dannose ed è stata quindi causa di trasmissione di malattie infettive nel passato anche recente. Secondo l'OMS (l'Organizzazione Mondiale della Sanità) ancora oggi più 800.000 persone, di cui 300.000 bambini, muoiono ogni anno a causa di patologie provocate dal consumo di acqua non idoneamente sottoposta a disinfezione.

Nel mondo non industrializzato il problema sussiste ancora: l'acqua è veicolo di malattie come il colera, l'epatite, etc.

In molte aree la disponibilità della risorsa idrica è ben lontana dai 70-150 l/giorno per ciascun individuo. Esistono purtroppo delle realtà dove non si arriva neanche ai 5 l/giorno. In questi casi la risorsa idrica non è sufficiente a soddisfare il fabbisogno quotidiano che comprende non solo la quantità necessaria all'uomo per il mantenimento del bilancio idrico ma anche di quella necessaria per altri usi indispensabili quali il lavaggio, la cottura degli alimenti la pulizia degli indumenti e della casa. Ciò rende molto probabile il diffondersi di malattie. È indispensabile prevenire tale evenienza assai pericolosa per la popolazione.

L'acqua, quindi, viene prelevata dall'ambiente e trattata con applicazione di tecnologie, più o meno complesse, per renderla idonea agli utilizzi generali, ed al consumo diretto.

La qualità delle acque destinate al consumo umano attualmente è regolata in Italia dal decreto legge numero 31 del 25 dicembre 2001. che definisce le "Acque trattate o non trattate destinate ad uso potabile, per la preparazione di cibi e bevande e per altri usi domestici a pre-

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 4 a 62

scindere dalla loro origine, siano esse fornite mediante la rete di distribuzione, mediante cisterna, in bottiglie o in contenitori”.

Dunque, tutta l’acqua utilizzata direttamente o indirettamente, attraverso manipolazione per la preparazione del cibo, deve essere acqua potabile.

Tutte le acque destinate a consumo umano devono essere potabili.


I requisiti igienici dell’acqua potabile sono:

- buona accessibilità,
- innocuità (inderogabile)
- gradevolezza (auspicabile)

Ad un’acqua potabile si richiede soprattutto l’**innocuità**, cioè che possa essere utilizzata per tutta la vita senza che si crei un danno alla salute. In nessun caso, infatti, devono essere destinate al consumo umano acque che possono rappresentare un rischio di danno, anche solo potenziale per i loro utilizzatori. Se ciò dovesse avvenire potrebbero infatti verificarsi numerosi effetti (tossici, infettivi, mutageni, cancerogeni, etc.) di tipo ed entità diversi in funzione delle caratteristiche qualitative e quantitative degli agenti inquinanti presenti nell’acqua.

In Italia l’accertamento dei requisiti di qualità e dell’idoneità all’utilizzo è normato, nelle more del recepimento della Nuova Direttiva Europea n, 2020/2184, dal D.lgs. 31/01. E’ previsto sia un controllo interno a cura del Gestore del Servizio Idrico Integrato che si avvale di laboratori di analisi interne ovvero stipula apposita convenzione con altri gestori dei servizi idrici, sia un controllo esterno da parte degli organismi di controllo che in Italia sono individuati nei SIAN (Servizi di Igiene degli Alimenti e Nutrizione) che si avvale dell’ARPA (Agenzia Regionale Protezione Ambiente). Le verifiche sono effettuate tenendo conto dei rischi derivanti dalla dimensione della popolazione esposta, e quindi differenziati in quantità e qualità dei parametri in ragione della dimensione dell’acquedotto in termini di popolazione servita o mc. erogati al giorno. Per l’idoneità all’utilizzo, o comunque per favorire il consumo di acque che in seguito ai trattamenti rispondono ai criteri di sicurezza d’uso è però necessario far sì che l’acqua sia anche gradevole, cioè deve riscuotere sia sotto l’aspetto olfattivo che gustativo la più ampia accettabilità da parte dei suoi utilizzatori. Il sapore di cloro è la garanzia dell’innocuità anche se potrebbe essere dosato in modo da non conferire il caratteristico odore e sapore.

Circa il 75% dell’acqua erogata in Italia è sottoposta a disinfezione prima di essere distribuita. Un censimento realizzato nel 1997 da Federgasacqua (attualmente Federutility) ha fornito i seguenti dati:

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 5 a 62

- il 13% delle acque erogate non viene sottoposto ad alcun trattamento di disinfezione;
- il 45% delle acque erogate subisce un trattamento di ossidazione primaria;
- il 26% delle acque erogate subisce un trattamento di ossidazione intermedia;
- l'80% delle acque erogate subisce un trattamento di disinfezione finale.


L'obiettivo di fornire ai consumatori prodotti alimentari sempre più sicuri porta i Legislatori ad un continuo aggiornamento dei criteri di qualità. L'acqua, da considerarsi alimento principe, non sfugge a questa esigenza ed assistiamo ad un continuo restringimento dei criteri di qualità che spesso confliggono con altre esigenze, quali quella di assicurarne la sicurezza d'uso e l'assenza di indici microbici di inquinamento.

Garantire una ottimale disinfezione delle acque potabili è sicuramente difficoltoso quando si analizzano il complesso delle problematiche connesse all'impiego dei disinfettanti conosciuti e dell'insieme della reattività di questi con le sostanze organiche ed inorganiche contenute nelle acque.

La presenza di contaminanti di natura biologica nelle acque ha particolare rilevanza per le possibili conseguenze sulla salute dell'uomo. L'organismo umano espelle con feci e urine organismi (patogeni) capaci di provocare malattie trasmesse per via idrica, perché raggiungono l'ambiente acquatico, attraverso differenti modalità e che possono infettare e dare origine a patologie in altri soggetti. Nelle acque sono presenti anche microrganismi non patogeni che costituiscono un indice indiretto e teorico della eventuale contemporanea presenza di patogeni. Essi costituiscono il gruppo dei microrganismi indicatori di contaminazione fecale. L'analisi batteriologica verte proprio sulla ricerca di questi "indicatori" essenzialmente per motivi di ordine pratico, legati alla relativa semplicità nel loro rilevamento a fronte della ricerca dei patogeni.

L'esame microbiologico delle acque verifica l'eventuale presenza dei microrganismi mediante valutazioni quali-quantitative basate su tecniche analitiche che ne permettono l'evidenziazione e/o lo sviluppo.

L'analisi microbiologica riveste particolare importanza quando si considerino acque destinate all'approvvigionamento idrico-potabile sia in relazione alla loro qualità in funzione del trattamento di disinfezione cui debbono essere sottoposte, sia dopo la loro immissione nella rete idrica. Analogamente, con il controllo microbiologico si definisce la qualità di acque superficiali, quando vengano destinate ad usi a rilevanza igienico-sanitaria e di acque reflue che, con il loro apporto inquinante, influenzano e modificano le caratteristiche del corpo idrico recettore (fiume, lago, mare).

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 6 a 62

I metodi batteriologici tradizionali sono basati sulla semina in idonei terreni di coltura, in genere liquidi, e sulla incubazione in specifiche condizioni, di aliquote dell'acqua da esaminare.

Dopo incubazione la presenza o l'assenza del microrganismo ricercato nell'aliquota di campione seminata viene messa in evidenza sulla base della eventuale variazione subita dal terreno insemato (intorbidimento, cambiamento di colore, ecc.). Eventuali prove successive, partendo dalla coltura iniziale, costituiscono prove di conferma alle quali possono fare seguito ulteriori saggi per la definitiva identificazione dei microrganismi ricercati.

Utilizzando terreni differenti ed opportune temperature di incubazione, è possibile rendere selettivo il metodo al fine di coltivare solo i gruppi microbici di interesse e, talora, una singola specie batterica.

Diversamente, la ricerca di organismi di altra natura (virus, parassiti, metazoi) comporta l'uso di metodologie complesse, generalmente costose, specifiche per l'organismo o il gruppo di organismi ricercati e applicabili da personale specializzato. Inoltre, generalmente, queste tecniche forniscono risposte in tempi lunghi necessitando fasi diverse di preparazione del campione legate anche all'esigenza di concentrare grandi volumi di acqua in relazione all'ampia variabilità delle concentrazioni dei patogeni nelle acque.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 7 a 62

2 Disinfezione e sottoprodotti

Lo svantaggio nell'utilizzare prodotti nella disinfezione è che si ha la produzione di sottoprodotti dannosi per la salute umana. L'attuale normativa italiana, derivata dalla direttiva 98/83 CE definisce in quest'ottica valori di parametro per tutti i sottoprodotti. Nei moduli precedenti abbiamo visto le problematiche delle acque superficiali presenti in Sardegna, derivate essenzialmente da bacini artificiali con spiccate condizioni di eutrofia.

Questo fatto si traduce principalmente, non considerando le problematiche connesse alle fioriture algali, in elevati contenuti di sostanze organiche di derivazione umica e fulvica con stagionali problemi di presenza di ammoniaca, ferro e manganese ridotti, quindi in forma più solubile, bassi valori di torbidità di origine minerale, ed elevata colorazione. In funzione di cosa abbiamo nelle nostre acque, e, dei rendimenti e della qualità ottenuta con i trattamenti chimici e chimico fisici si corre il rischio di produrre:

- Ione bromato, legato all'impiego dell'ozono;
- THM, derivanti dalla reazione del cloro con le sostanze organiche;
- Ione clorito, derivante dall'impiego del biossido di cloro;
- Ione nitrito legato all'impiego della monocloroammina

ABBANO	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 8 a 62

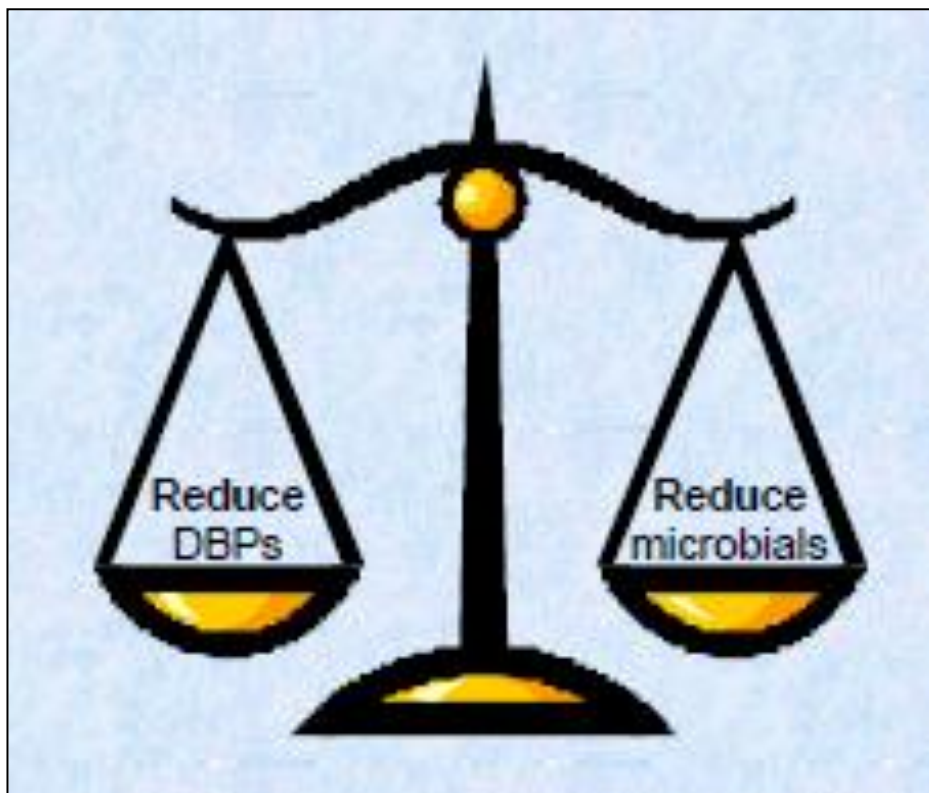
L'immagine sottostante evidenzia un aspetto importante della nostra azione e nelle nostre scelte: riuscire a discriminare fra costi e benefici, dove nei costi inseriamo tutto quello che direttamente o indirettamente viene provocato dal tipo di reattivo che abbiamo scelto per il nostro processo di trattamento, che in modo pratico si traduce nella seguente valutazione: **riuscire a bilanciare l'impiego dei disinfettanti fra risultati della fase e contenimento entro valori accettabili dei sottoprodotti.**

Benefit and Cost Analyses

- Regardless of whether it's an MCL or a Treatment Technique, the information gathering and analytical processes are similar



	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 9 a 62




I rendimenti possibili nell'abbattimento dell'organico sono strettamente legati alle caratteristiche delle acque ed al contenuto delle sostanze organiche tanto che, gran parte del nostro lavoro deve essere finalizzato a massimizzare i rendimenti della fase di coagulazione- flocculazione.

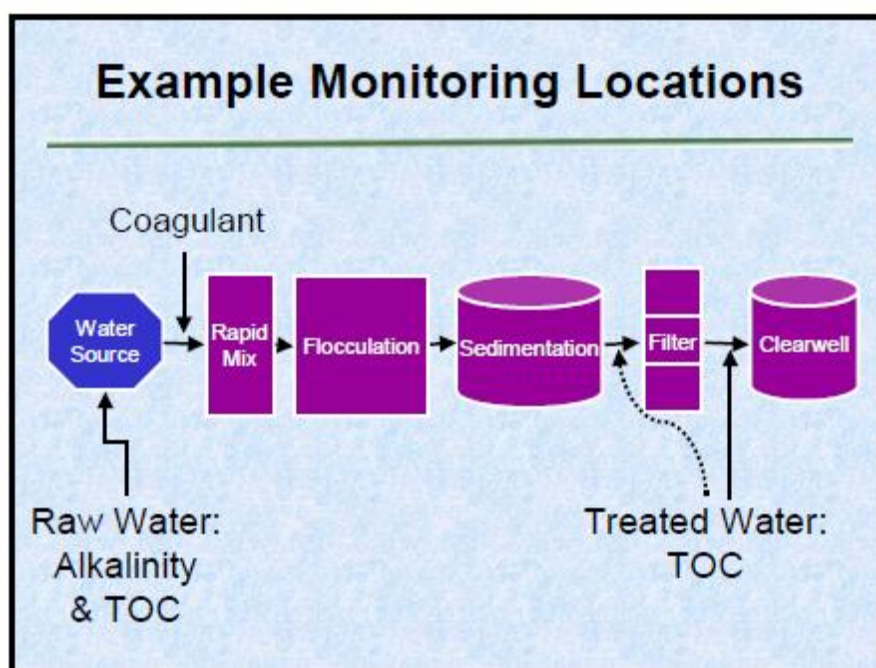
Ricordiamo la seguente tabella:

Rimozione percentuale			
La rimozione possibile dipende dalle caratteristiche delle acque disponibili			
Acqua grezza – TOC (mg/l)	Alcalinità – mg/l CaCO ₃		
	0-60	>60 - 120	>120
>2.0 – 4.0	35.0%	25.0%	15.0%
>4.0 – 8.0	45.0%	35.0%	25.0%
>8.0	50.0%	40.0%	30.0%

Che, in pratica ci porta a queste valutazioni, con un esempio pratico:


	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 10 a 62

Con un'acqua grezza che presenta un'alcalinità di 65 mg/l di CaCO₃, ed un TOC di 9 mg/l, dobbiamo aspettarci nella fase di flocculazione un rendimento del 40%, e quindi un valore di TOC pari a $9 \times (1 - 0,4) = 5,4$, un valore sicuramente elevato e che quindi ci porta a presagire una situazione di rischio in quanto (essendo i disinfettanti ossidanti) si avrà un elevato consumo e quindi la possibilità di molti sottoprodotti.



Se ricordiamo quanto abbiamo visto in relazione ai controlli ed alla scelta dei punti di monitoraggio, diventa evidente che in questi casi il controllo dell'alcalinità e delle sostanze organiche assume una importanza elevata proprio per valutare correttamente la scelta e l'uso del disinfettante. La formazione di sottoprodotti dipende da alcune caratteristiche dell'acqua da trattare e del processo di trattamento:

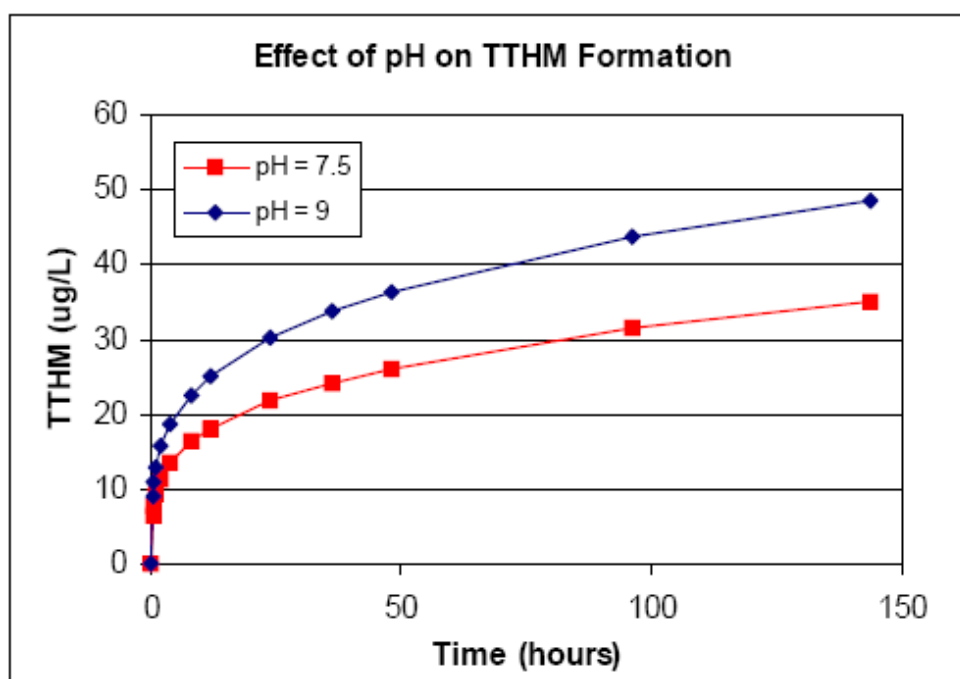
- dose di disinfettante applicata
- tempo di contatto
- temperatura dell'acqua
- pH dell'acqua
- carbonio organico totale (sia come concentrazione sia come tipo di molecola)
- concentrazioni dello ione bromuro nell'acqua
- metodi di pretrattamento

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 11 a 62

La formazione dei DBP (disinfection by-products) deve essere controllata soprattutto nei processi di potabilizzazione e distribuzione delle acque superficiali.

Per alcuni disinfettanti è anche possibile valutare con apposite formule quanti sottoprodotti verranno formati nelle condizioni di impianto, ad esempio i THM derivati dal cloro.

La figura seguente riporta la previsione di produzione di THM a diversi pH calcolati con le formule richiamate:




Source: Plot obtained using the mathematical model developed by Amy et al. (1987).

Fonte EPA

Sotto il termine DBP, nel caso di trattamenti di clorazione, si includono centinaia di sostanze. Esse possono essere raggruppate in tre categorie principali:

- composti che provocano potenziali effetti nocivi (composti tossici, genotossici e cancerogeni);
- composti organici che possono essere utilizzati come nutrienti, cioè che favoriscono la crescita microbica nell'acqua trattata;

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 12 a 62

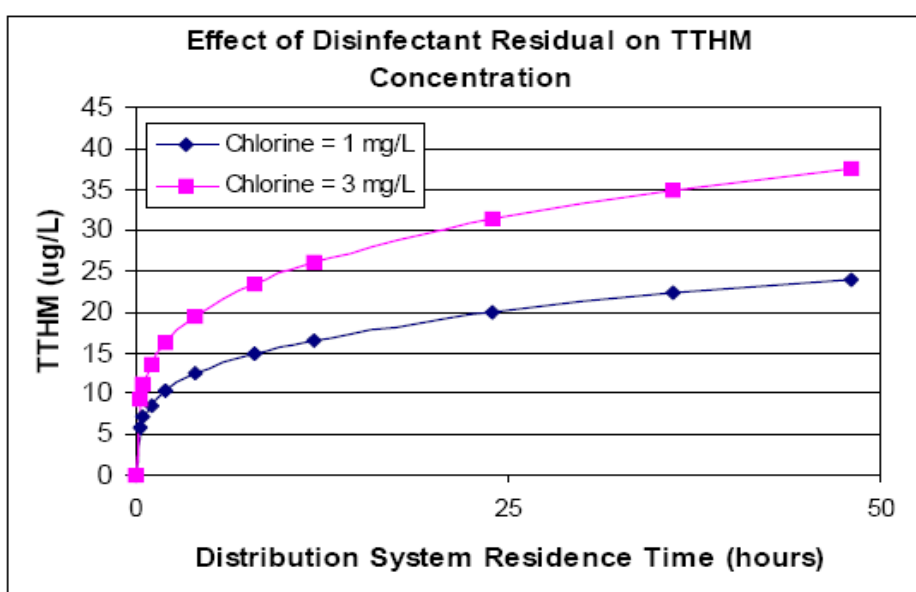
- composti che conferiscono all'acqua trattata sapori e odori sgradevoli, come gli organoalogenati

Si è riscontrato, però, che tali molecole sono solo alcune delle sostanze organiche alogenate che si formano in seguito alla reazione tra il cloro e le sostanze organiche presenti nell'acqua.

Esistono quindi due tipi di problemi ben diversi che derivano dal consumo dell'acqua:

- rischi acuti, associati a malattie epidemiche diffuse attraverso l'acqua;
- rischi a lungo termine, dovuti all'esposizione a sottoprodotti di disinfezione considerati mutageni (che possono cioè causare mutazioni nel DNA) in base a test tossicologici

È quindi estremamente importante che le nuove tecnologie puntino a garantire una buona qualità sanitaria dell'acqua distribuita, sotto tutti i punti di vista.



Source: Plot obtained using the mathematical model developed by Amy et al. (1987).

Ricordiamo inoltre, come già evidenziato nel corso dei diversi moduli che la nostra acqua, quella prodotta nei vostri impianti, deve essere ancora trasportata e che il totale dei sottoprodotti da considerare è quella che troveremo nei punti d'uso. L'immagine riportata sopra evidenzia come aumentano i THM a partire dall'impianto (punto al tempo 0) sino a 50 ore dopo.

La scelta del reagente da impiegare deve essere fatta considerando l'esigenza di garantire un'adequata disinfezione ed evitare la ricrescita batterica nella fase di distribuzione ma dipende soprattutto da alcune caratteristiche del reagente stesso, quali il costo, il titolo in cloro e la

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 13 a 62

stabilità ma soprattutto dalla possibilità di controllare i valori di sottoprodotti derivanti. Il dosaggio dipende dalle condizioni in cui viene utilizzato, dalla qualità dell'acqua da trattare e dall'esigenza di mantenere un residuo di disinfettante attivo nella rete di distribuzione. L'efficacia del processo dipende dalle caratteristiche del disinfettante scelto, dalla tecnologia applicata e da numerose caratteristiche dell'acqua stessa (temperatura, pH, microrganismi contenuti, metalli, sostanze organiche

È infatti necessario valutare con accuratezza vantaggi e svantaggi delle varie tecniche di disinfezione non solo in relazione alle specifiche metodiche da impiegare ma anche in relazione alle caratteristiche chimiche, chimico-fisiche e microbiologiche delle acque da trattare ed alla integrità / vulnerabilità della rete di distribuzione dell'acqua. Pertanto, se l'attuale livello di conoscenza scientifica rende ancora difficile la scelta delle migliori tecnologie di disinfezione e dei più appropriati processi di trattamento, è quanto mai prioritaria l'attenzione alla salvaguardia della salute pubblica.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 14 a 62

Primary / Secondary	Typical application*	Comment
Chlorine/Chlorine	Low THMFP raw water, low TOC, conventional treatment with optimal coagulation.	Most commonly used disinfection scheme. Effective system.
Chlorine/Chloramine	Moderate THM production situation, typically with conventional treatment.	Chlorine to provide disinfection and monochloramine to limit DBP formation.
Chlorine dioxide/Chlorine dioxide	High DBP production, require filter process to remove <i>Cryptosporidium</i> , low chlorine dioxide demand in treated water.	Primary and secondary usage requires a limit on chlorine dioxide dose to reduce residual chlorate/chlorite.
Chlorine dioxide/Chloramine	High DBP production, require filtration to remove <i>Cryptosporidium</i> .	Primary chlorine dioxide dose limited to residual chlorate/chlorite. Stable, low reactive secondary disinfectant.
Ozone/Chlorine	Moderate DBP formation, direct or no filtration, low THMFP.	Highly effective disinfection to achieve high log inactivation; low THMFP to accept free chlorine.
Ozone/Chloramine	Moderate DBP formation, direct or no filtration, higher THMFP.	Highly effective disinfection to achieve high log inactivation, low THMFP to require combined chlorine residual.
UV/Chlorine	Requires membrane treatment to provide effective <i>Giardia</i> and <i>Cryptosporidium</i> removal. UV only for virus inactivation; ground water disinfection; low THMFP.	Rare application but feasible in special circumstances. Little <i>Giardia</i> and no <i>Cryptosporidium</i> inactivation.
UV/Chloramine	Requires membrane treatment to provide effective <i>Giardia</i> and <i>Cryptosporidium</i> removal. UV only for virus inactivation; ground water disinfection, moderate THMFP.	Rare application but feasible in special circumstances. No <i>Giardia</i> or <i>Cryptosporidium</i> inactivation.

La tabella precedente, estratta da uno studio dell'EPA analizza proprio le diverse situazioni che si possono presentare ed ipotizza l'impiego di diversi disinfettanti per la disinfezione e la copertura della rete.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 15 a 62

2.1 Reattivi per la disinfezione

Per ogni singolo Impianto deve essere valutato cosa può accadere e definire nel Piano di Gestione l'insieme delle attività e misurazioni da adottare, in funzione delle caratteristiche delle acque e di come le diverse sezioni di processo interagiscono fra loro.

Essendo la disinfezione un processo chimico ed i cui rendimenti dipendono da cosa abbiamo ottenuto nelle fasi precedenti, i parametri operativi devono essere definiti dal processista valutando le rese di abbattimento della carica batterica a partire dalla preossidazione che, pur non essendo una vera disinfezione, attiva sicuramente una riduzione, ricordando che i reattivi ossidanti sono anche disinfettanti (con l'eccezione dei Permanganati).

I parametri assegnati al conduttore per la disinfezione saranno quindi dipendenti da tutte queste valutazioni tra cui:.

- Il piano di gestione, derivato da osservazioni sul processo che tengono conto di un periodo adeguato, e definisce le rese possibili nelle singole fasi;
- il CxT delle fasi a monte della disinfezione, individuando il CxT per la disinfezione.

Per "CxT", si intende il tempo di contatto e concentrazione residua del disinfettante. Questa grandezza è oggi definita per ogni reagente e microorganismo che vogliamo ridurre, ed è un valore definito proprio nel piano di gestione. Il conduttore deve quindi accertare, sulla base delle condizioni operative se il valore di disinfettante, nell'impianto assegnato, garantisce questo valore.

I parametri che nell'ambito del monitoraggio quotidiano risultano necessari in questa fase sono:

- Concentrazione residua del disinfettante
- Picco di portata giornaliera
- Temperatura
- pH (per i cloroderivati).

2.1.1 Utilizzo del Valore CxT per il dimensionamento della disinfezione

Il metodo del CT è usato per valutare la performance di disinfezione che un impianto di potabilizza può garantire e quindi garantire la conformità agli standard normativi. Per garantire il processo utilizzerà come riferimento il CT richiesto per la rimozione e/o l'inattivazione fisica di 4-logs dei virus (concetti già espressi nella parte generale).

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 16 a 62

La stima del CT stima corrispondente alla inattivazione dei virus sino a 4-log sono la base per la determinazione dei risultati ottenuti dall'impianto.

Le informazioni operative richieste per usare le tabelle CT includono:

- tipo disinfettante;
- temperatura;
- pH (per cloro soltanto);
- concentrazione disinfettante residua.

Usando le informazioni del monitoraggio, il valore di CT che corrispondono alle inattivazioni di 4-logs dei virus (CT4-log, virus) possono essere letti dalle tabelle CT che riportiamo di seguito e che devono essere presenti nel Piano di Gestione dell'Impianto.

Quindi questi valori di CT sono usati per determinare l'inattivazione valutata del micro organismo per ogni disinfettante utilizzato.

La tabella successiva confronta in senso pratico la corrispondenza fra log e percentuale di abbattimento:

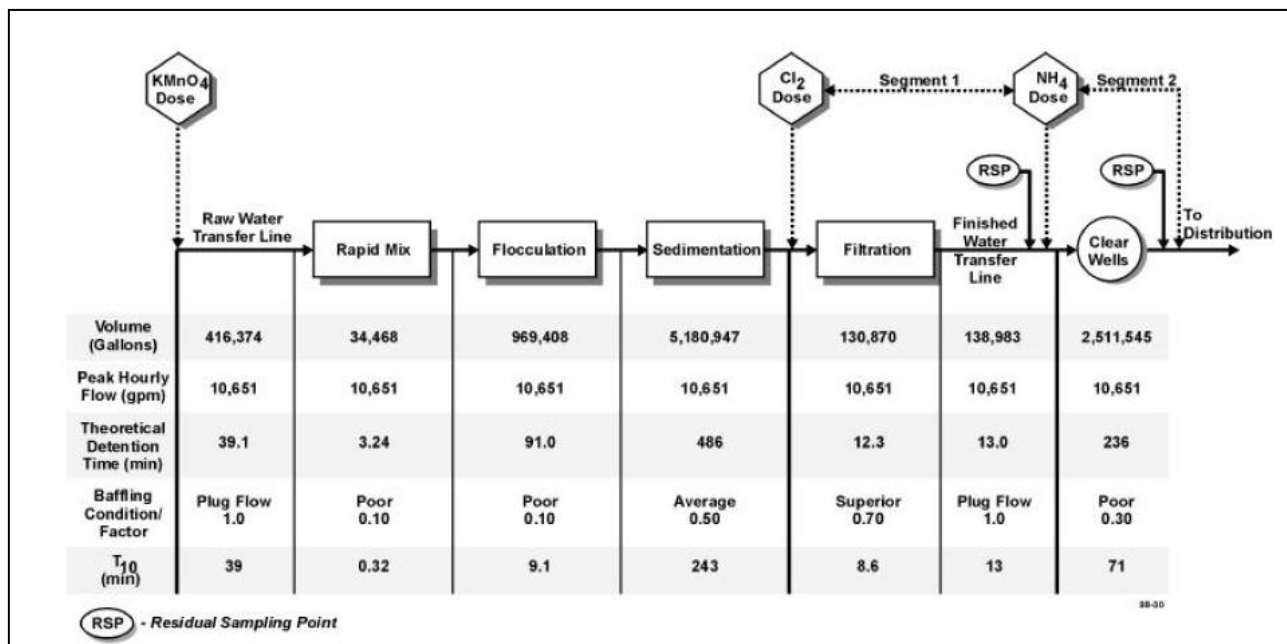
Log Inactivation	Percent Inactivation
0.0	0.000
0.5	68.38
1.0	90.00
2.0	99.00
3.0	99.90
4.0	99.99
5.0	99.999
6.0	99.9999
7.0	99.99999

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 17 a 62

Mentre la tabella successiva, come esempio, riporta la variazione del CT richiesto per avere un Log4 per i Virus, utilizzato dai processisti per il dimensionamento, quando si utilizza cloro o ipoclorito ai pH compresi fra 6 e 9.

Temperature (°C)	CT Value (mg-min/L)	Temperature (°C)	CT Value (mg-min/L)
0.5	12	13	4.8
1	11.6	14	4.4
2	10.7	15	4
3	9.8	16	3.8
4	8.9	17	3.6
5	8	18	3.4
6	7.6	19	3.2
7	7.2	20	3
8	6.8	21	2.8
9	6.4	22	2.6
10	6	23	2.4
11	5.6	24	2.2
12	5.2	25	2

La figura seguente riporta cosa deve essere fatto in termini di valutazione, campionamento e misure per una corretta gestione dell'impianto ed in particolare per l'impostazione dei dosaggi finalizzati ad un corretto impiego dei disinfettanti.



2.1.2 Cloro gas e ipoclorito di sodio.

Si utilizzavano soprattutto in passato e hanno creato diversi problemi il principale dei quali è la formazione di trialometani. Sono stati utili ad eliminare il problema delle malattie infettive veicolate attraverso l'acqua. Il cloro ha un'azione ossidante e battericida. La reazione del cloro gas è data dal fatto che il Cl_2 messo in acqua forma H^+ , Cl^- , e HOCl (ione ipocloroso), quest'ultimo è la formula attiva cioè l'aliquota di cloro disinfettante.

Il cloro sotto forma gassosa comporta dei problemi di gestione, perché essendo un gas deve essere trattato da personale specializzato con apposito patentino, mentre per l'ipoclorito di sodio non esistono problemi di questo tipo. Quando si aggiunge del cloro ad un'acqua in cui non c'è sostanza organica (come un'acqua distillata) se ne ritrova la stessa quantità nell'acqua sotto forma di cloro residuo libero. Il problema del sapore dell'acqua è dovuto alla reazione del cloro con la sostanza organica, ed in particolare di alcuni cloro-organici, quali i clorofenoli, che conferiscono quel classico sapore non piacevole che si ritrova nell'acqua di rete.


L'ipoclorito di sodio venne utilizzato dal 1950 al 1980 dopodiché ne fu ridotto l'utilizzo per la scoperta dei prodotti secondari, mutageni e cancerogeni, passando all'utilizzo del biossido di cloro.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 19 a 62

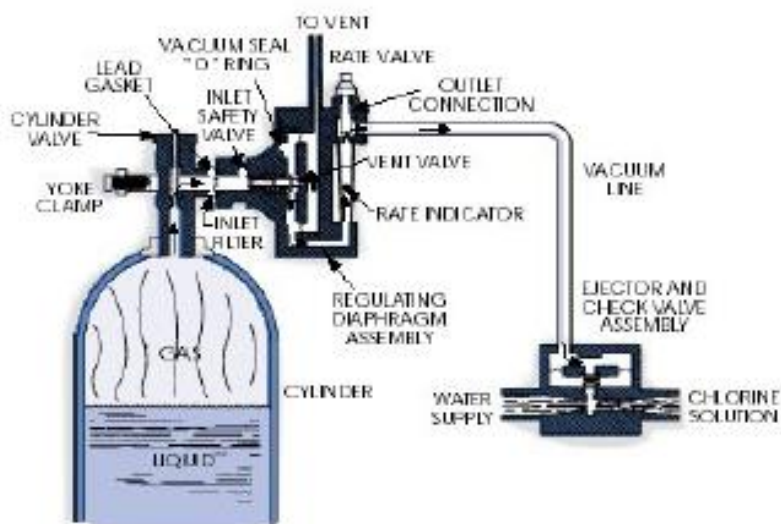
Il **cloro gas** ha dei vantaggi come il basso costo di esercizio e il buon effetto battericida; presenta anche degli svantaggi: la bassa azione su batteri sporigeni e virus, la formazione di alogenoformi (come i trialometani) e l'impiego di personale appositamente specializzato; è analogo come azione agli ipocloriti.

Gli **ipocloriti** hanno come vantaggio il facile impiego, i bassi costi d'impianto, reattività identica al cloro gas e il vantaggio di reagire con cationi metallici in forma ridotta, fatto che spiega come mai l'acqua talvolta assuma determinate colorazioni. L'acqua contiene in soluzione il ferro ferroso, che, in condizioni normali, non ha nessun colore; quando il ferro ferroso viene a contatto con un ossidante, come l'ipoclorito, si trasforma in ferro ferrico che assume una colorazione gialla. Per questa ragione l'acqua erogata dalla rete presenta un colore tendente al giallo. Se, invece, viene interessato il manganese l'acqua tenderà al rosso-marron, caratteristico dei sali manganosi e manganici.



	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 21 a 62

Esempio di dosatore di gas Cloro



Schema di un riduttore di pressione su bombola di gas cloro.

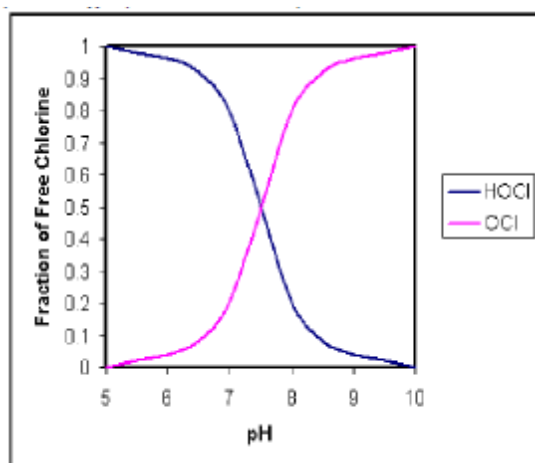
Gli svantaggi degli ipocloriti sono che:

- modificano il pH,
- formano alogenoforni in presenza di sostanza organica,
- perdono facilmente il titolo.

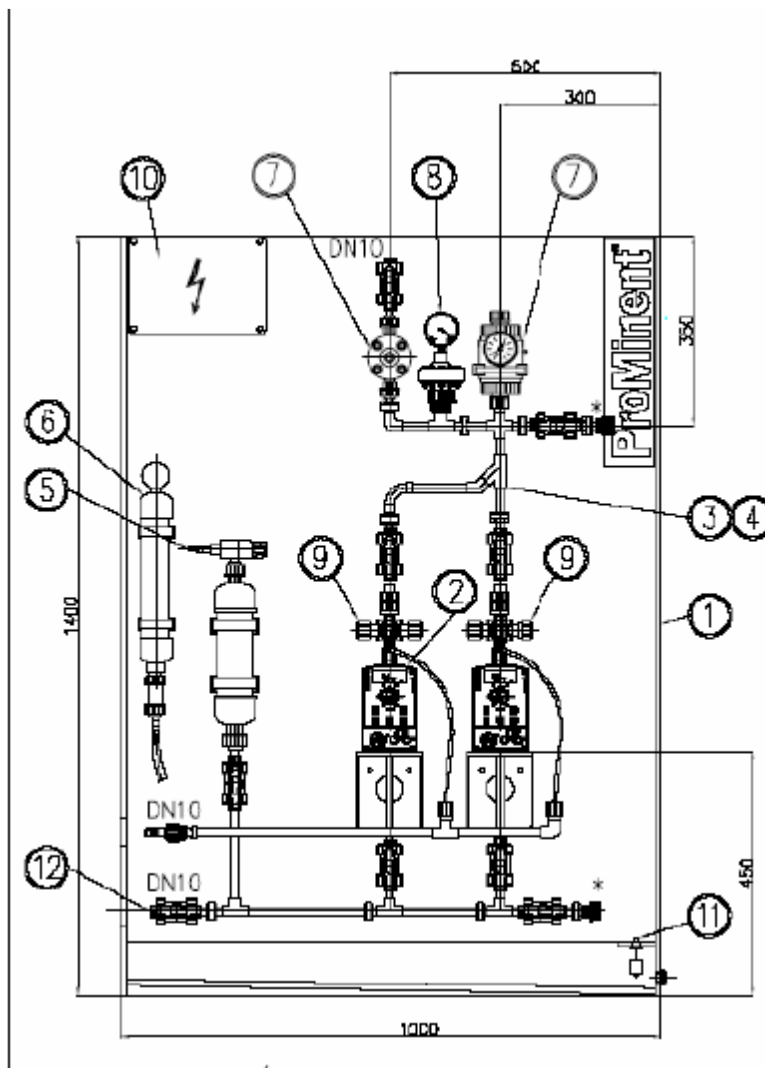
Perdere il titolo significa che qualora il cloro attivo, che è circa il 12%, non venga adeguatamente protetto da luce e da modificazioni della temperatura, si abbassa al 4-5-6-%. In questo caso l'efficienza disinfettante è ridotta della metà.


Il dosaggio dell'ipoclorito è effettuato con normali pompe dosatrici che non presentano particolari esigenze manutentive se non quelle già rappresentate nel modulo specifico.

L'impiego dell'ipoclorito, e del cloro, devono tener conto delle condizioni operative e del pH dell'acqua in quanto essendo l'azione disinfettante dipendente dalla quantità di acido in dissociato presente. Il grafico sottostante evidenzia che l'acqua non deve avere pH elevati.

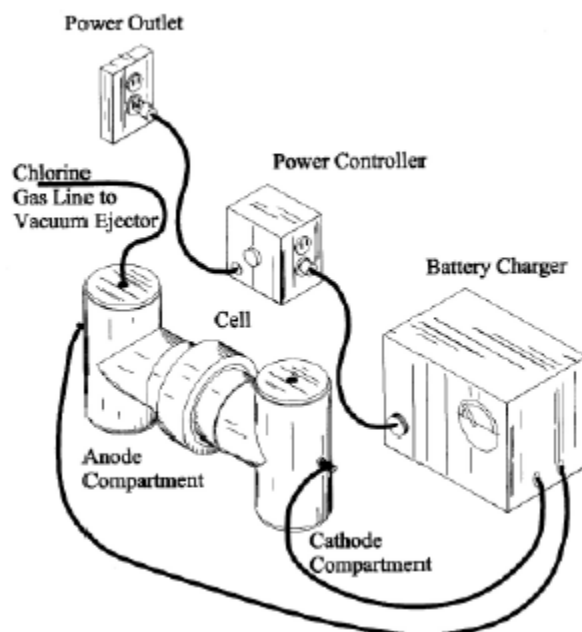


La figura seguente illustra un sistema di dosaggio preassemblato con pompa attiva di scorta.



	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 24 a 62

La figura e la reazione annessa illustrano un sistema di clorazione che potrebbe avere in futuro interessanti applicazioni. Si tratta di un sistema di produzione in situ che utilizza normale sale da cucina (ovviamente di adeguata purezza, per produrre cloro per via elettrolitica, il cui schema di funzionamento è riportato nella figura seguente.



Per conoscenza deve essere richiamato, fra gli ipocloriti, l'ipoclorito di calcio, poco utilizzato e che si presenta come reattivo solido.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 25 a 62

(CaCl₂O₂)



Può essere utilizzato sia come polvere che in compresse: in polvere può essere impiegato con normali dosatori per polveri.

Le forma in pastiglie (vedi figura) hanno impiego pratico per la disinfezione estemporanea di piccoli serbatoi o in emergenza.

2.1.3 Biossido di cloro

Ha avuto in Italia un utilizzo diffuso per sostituire il cloro, in quanto non produce trialometani; anch'esso non è privo di inconvenienti per probabili azioni a livello ematico, proprie dei cloriti (principale sottoprodotto), e delle azioni che avrebbe lo ione clorato a livello della tiroide.

In Italia il sistema di produzione più diffuso utilizza la reazione fra clorito di sodio e acido cloridrico. Da queste reazioni si forma il biossido di cloro che ha le seguenti proprietà:

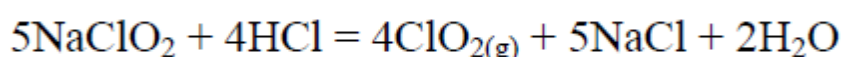
- È un ossidante energico;
- È attivo a pH tra 6,5 e 8,5;

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 26 a 62

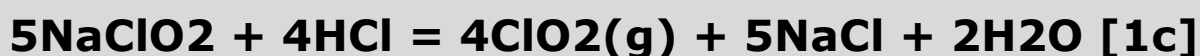
- Non produce sapori;
- È particolarmente attivo su alghe, batteri autoctoni delle reti e dei serbatoi.

Da, come svantaggi, cloriti residui che possono causare anemia emolitica e metaemoglobinemia. L'uso del biossido deve far riflettere, soprattutto in Sardegna, partendo dalla considerazione che l'ingestione di elevate concentrazioni di biossido di cloro e cloriti, che sono ossidanti forti, porta all'ossidazione dell'emoglobina nei globuli rossi a metaemoglobina con relativa perdita della capacità di trasporto dell'O₂. Biossido di cloro e cloriti, come ossidanti rendono i globuli rossi più suscettibili alla lisi e ciò può portare ad anemia emolitica. Il corpo umano ha delle difese contro gli agenti ossidanti che si attivano naturalmente interagendo tra ossidanti e macromolecole. I globuli rossi contengono un tripeptide, il glutathione, che è un agente riducente endogeno antiossidante che deve essere tenuto allo stato ridotto. Normalmente viene tenuto ridotto dall'NADPH, generato dallo scambio esoso monofosfato. Se NADPH non è disponibile, la concentrazione di glutathione ridotto cadrà e la cellula potrà essere attaccata dagli ossidanti. Un enzima che fornisce NADPH è il G6PD, la carenza del quale produce suscettibilità delle cellule ai processi ossidativi; il 30% dei sardi dimostra una carenza di G6PD, questo dato ci fa capire quanto in Sardegna sia importante il controllo delle fasi di disinfezione con biossido di cloro e clorito quali possano essere danni particolari, eventualmente da essi arrecati.

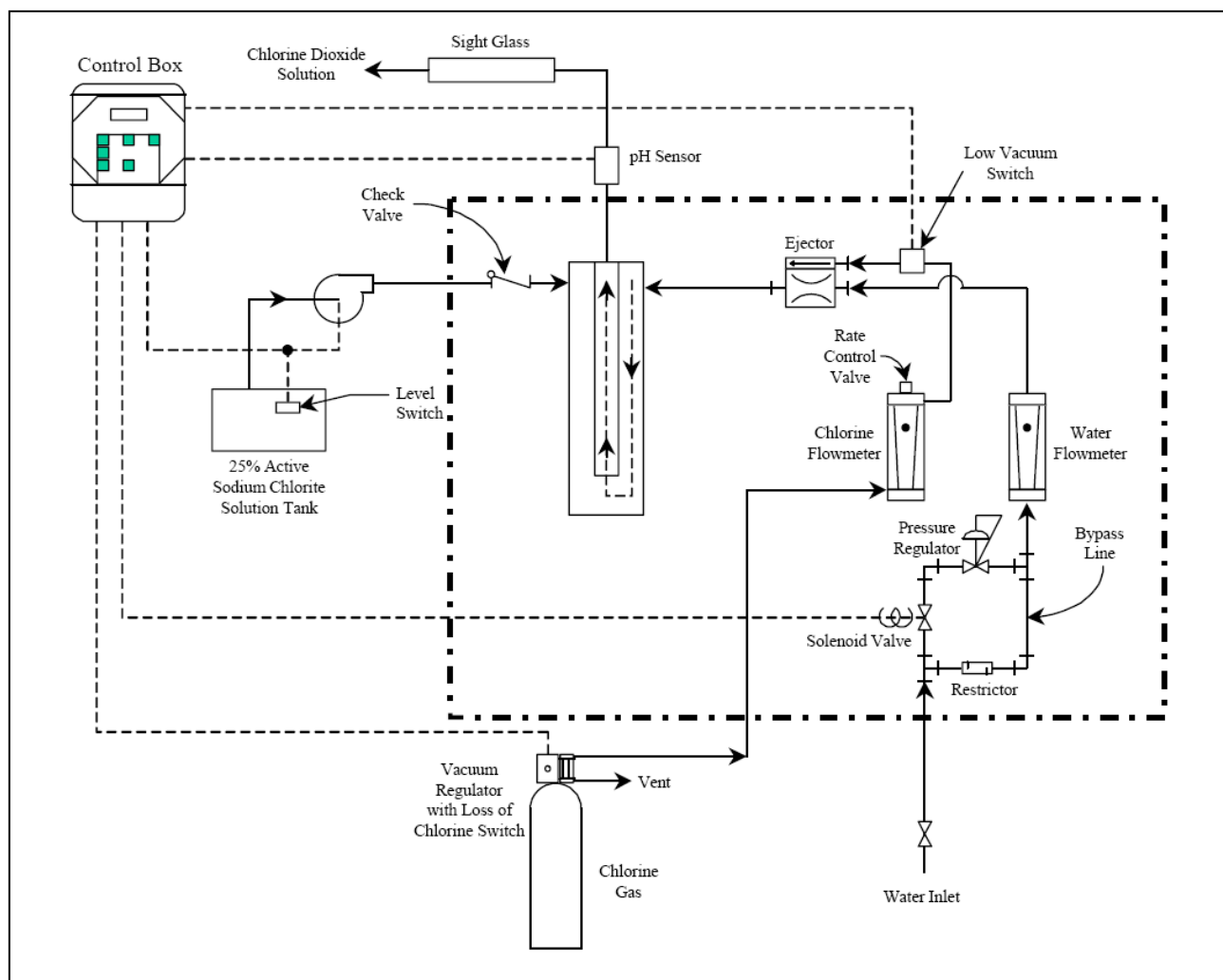
Il Biossido di cloro è prodotto, perlomeno in Sardegna, utilizzando clorito di sodio e acido cloridrico secondo lo schema seguente:



Nel trattamento delle acque potabili il biossido di cloro è generato partendo dalle soluzioni del clorito o clorato di sodio. Le reazioni che avvengono sono:




Lo schema di generatore utilizzando il gas cloro è riportato nello schema seguente.



I generatori di biossido da acido cloridrico e clorito corrispondono alle più varie esigenze di utilizzo. Sono ottimizzate: rese, affidabilità, sicurezza, facilità di conduzione.

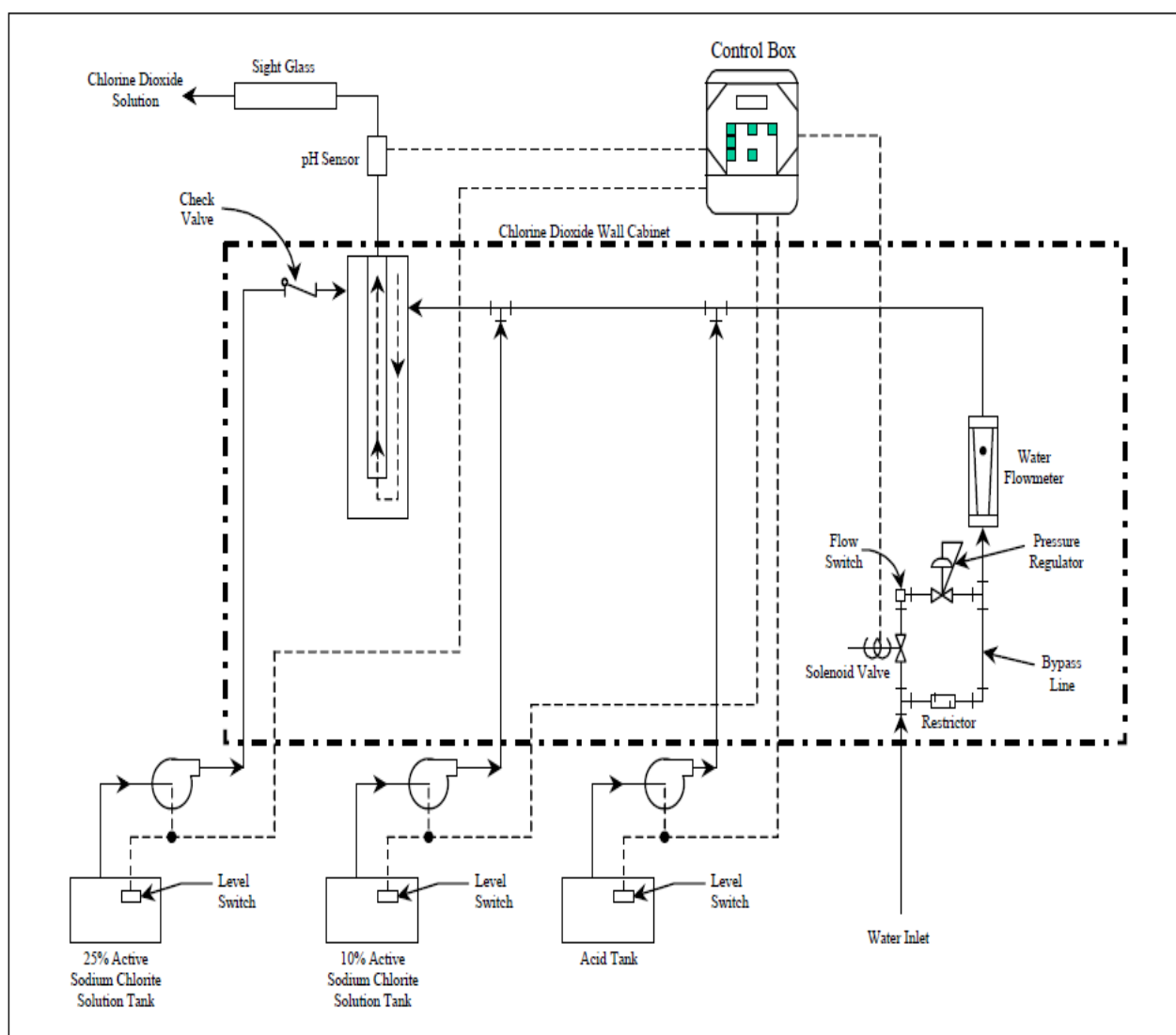
Il biossido prodotto è di alta purezza. E' molto solubile in acqua viene prodotto e utilizzato unicamente sotto forma di soluzione acquosa. Bisogna evitare che si formino sacche di gas a concentrazione superiore al 10% in volume (circa 300 g/mc) poiché essendo un gas instabile può decomporsi in modo violento. Le apparecchiature devono provvedere alla diluizione immediata del biossido di cloro. Tutti i generatori devono essere equipaggiati di misuratori di portata dei reagenti e dell'acqua di diluizione eventuale. Questi devono determinare il blocco del sistema in caso di anomalie del funzionamento. Le apparecchiature devono essere sistemate in locali provvisti di adeguata ventilazione. Lo stoccaggio dei reattivi deve avvenire in modo separato e devono essere presenti le vasche di contenimento.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 28 a 62

I generatori cambiano in funzione del tipo di reazione ricercata. Nella maggior parte dei generatori commerciali possono avvenire più reazioni contemporaneamente. Nella tabella sottostante vengono illustrati i diversi tipi di generatori in commercio:

GENERATOR TYPE	MAIN REACTIONS	
	Reactants, byproducts, key reactions, and chemistry notes	SPECIAL ATTRIBUTES
ACID-CHLORITE: (Direct Acid System)	$4\text{HCl} + 5\text{NaClO}_2 \rightarrow 4\text{ClO}_{2(\text{aq})} + \text{ClO}_3^-$ <ul style="list-style-type: none"> Low pH ClO_3^- possible Slow reaction rates 	Chemical feed pump interlocks required. Production limit ~ 25-30 lb/day. Maximum yield at ~80% efficiency.
AQUEOUS CHLORINE-CHLORITE: (Cl_2 gas ejectors with chemical pumps for liquids or booster pump for ejector water).	$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{HOCl} / \text{HCl}]$ $[\text{HOCl}/\text{HCl}] + \text{NaClO}_2 \rightarrow \text{ClO}_{2(\text{g})} + \text{H}/\text{OCl}^- + \text{NaOH} + \text{ClO}_3^-$ <ul style="list-style-type: none"> Low pH ClO_3^- possible Relatively slow reaction rates 	Excess Cl_2 or acid to neutralize NaOH. Production rates limited to ~ 1000 lb/day. High conversion but yield only 80-92% More corrosive effluent due to low pH (~2.8-3.5). Three chemical systems pump HCl, hypochlorite, chlorite, and dilution water to reaction chamber.
RECYCLED AQUEOUS CHLORINE OR "FRENCH LOOP" TM (Saturated Cl_2 solution via a recycling loop prior to mixing with chlorite solution.)	$2\text{HOCl} + 2\text{NaClO}_2 \rightarrow 2\text{ClO}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH}$ <ul style="list-style-type: none"> Excess Cl_2 or HCl needed due to NaOH formed. 	Concentration of ~3 g/L required for maximum efficiency. Production rate limited to ~ 1000 lb/day. Yield of 92-98% with ~10% excess Cl_2 reported. Highly corrosive to pumps; draw-down calibration needed. Maturation tank required after mixing.
GASEOUS CHLORINE-CHLORITE (Gaseous Cl_2 and 25% solution of sodium chlorite; pulled by ejector into the reaction column.)	$\text{Cl}_{2(\text{g})} + \text{NaClO}_{2(\text{aq})} \rightarrow \text{ClO}_{2(\text{aq})}$ <ul style="list-style-type: none"> Neutral pH Rapid reaction Potential scaling in reactor under vacuum due to hardness of feedstock. 	Production rates 5-120,000 lb/day. Ejector-based, with no pumps. Motive water is dilution water. Near neutral pH effluent. No excess Cl_2 . Turndown rated at 5-10X with yield of 95-99%. Less than 2% excess Cl_2 . Highly calibrated flow meters with min. line pressure ~ 40 psig needed.
GASEOUS CHLORINE-SOLIDS CHLORITE MATRIX (Humidified Cl_2 gas is pulled or pumped through a stable matrix containing solid sodium chlorite.)	$\text{Cl}_{2(\text{g})} + \text{NaClO}_{2(\text{s})} \rightarrow \text{ClO}_{2(\text{g})} + \text{NaCl}$ <ul style="list-style-type: none"> Rapid reaction rate New technology 	Cl_2 gas diluted with N_2 or filtered air to produce ~8% gaseous ClO_2 stream. Infinite turndown is possible with >99% yield. Maximum rate to ~1200 lb/day per column; ganged to >10,000 lb/day.
ELECTROCHEMICAL (Continuous generation of ClO_2 from 25% chlorite solution recycled through electrolyte cell)	$\text{NaClO}_{2(\text{aq})} \rightarrow \text{ClO}_{2(\text{aq})} + \text{e}^-$ <ul style="list-style-type: none"> New technology 	Counter-current chilled water stream accepts gaseous ClO_2 from production cell after it diffuses across the gas permeable membrane. Small one-pass system requires precise flow for power requirements (Coulombs law).
ACID/PEROXIDE/CHLORIDE	$2\text{NaClO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{ClO}_2 + \text{O}_2 + \text{NaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	Uses concentrated H_2O_2 and H_2SO_4 . Downscaled version; Foam binding; Low pH.

La generazione è effettuata con apparecchiature di diverso tipo, in pressione o in depressione, utilizzando pompe dosatrici per il dosaggio dei reattivi nei reattori di produzione o sistemi che utilizzano eiettori per aspirare l'acido ed il clorito.



Source: Demers and Renner, 1992.

Gli schemi di dosaggio tengono conto, soprattutto per i sistemi in depressione, della pressione presente nel punto di immissione della soluzione di biossido di cloro,

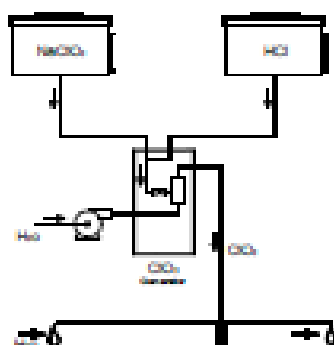
Il sistema composto da reattore e regolazioni è normalmente contenuto in cabine preassemblate cui occorre collegare le linee, munite di appositi filtri, dell'acido, del clorito, dell'acqua di diluizione da immettere nel reattore, e dell'acqua di trasporto che deve essere regolata, per portata e pressione al fine di garantire la corretta alimentazione dei reattivi nel reattore.

Nella manipolazione del clorito occorre avere particolare attenzione per evitare di disperdere prodotto nel suolo e nel terreno, in quanto evaporata l'acqua, il prodotto solido può favorire combustioni spontanee.

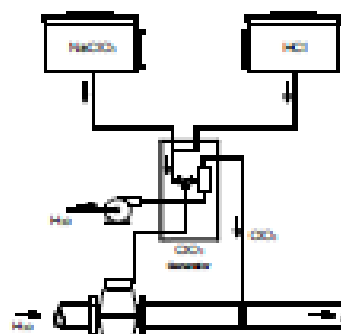
Generatore di Biossido di Cloro

T70G4000

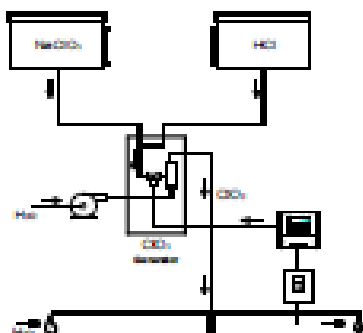
SISTEMI DI DOSAGGIO



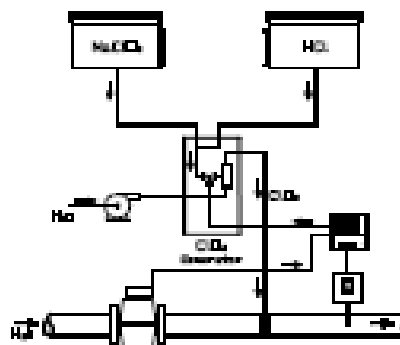
A. Impianto con portata e carico di sostanze ossidabili costante; regolazione manuale



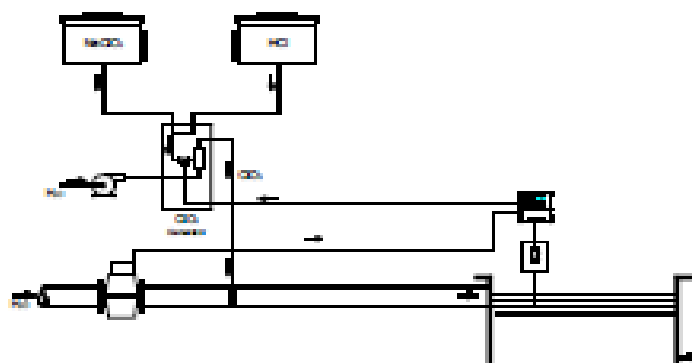
B. Impianto con portata variabile e carico di sostanze ossidabili costante; regolazione automatica in base alla portata




C. Impianto con portata costante e carico di sostanze ossidabili variabile; regolazione automatica in base alla misura di biossido di cloro residuo




D. Impianto con portata e carico di sostanze ossidabili variabile; regolazione automatica in base alla portata ed alla misura di biossido di cloro residuo.



E. Dosaggio in vasca di contatto; regolazione automatica in base alla portata, al biossido di cloro residuo; algoritmo speciale per tempo di contatto.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 31 a 62

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 32 a 62

2.1.4 L'ozono

E' un fortissimo ossidante (più forte del cloro). La produzione è effettuata in appositi generatori partendo sia da aria secca che da ossigeno. L'ozono è la forma allotropica (O₃) dell'ossigeno. La capacità disinfettante è dovuta alle reazioni con i doppi legami presenti nelle molecole dei composti organici insaturi con formazione di azoturi instabili che si scindono spontaneamente.

La chimica dell'Ozono è comunque complessa, ed è possibile guidare il processo ossidativi indirizzando queste verso meccanismi di reazione radicalica o ionica, agendo sul pH, sul contenuto di carbonati, con il dosaggio di perossido di idrogeno.

Le possibilità di azione offerte sono molteplici con il risultato che:

- Degrada fenoli
- Per concentrazioni residue di 0,1-0,2 mg/l esplica un'azione antibatterica
- Per concentrazioni di 0,4 mg/l esplica un'azione antivirale
- Tempi di contatto: 2-4 minuti

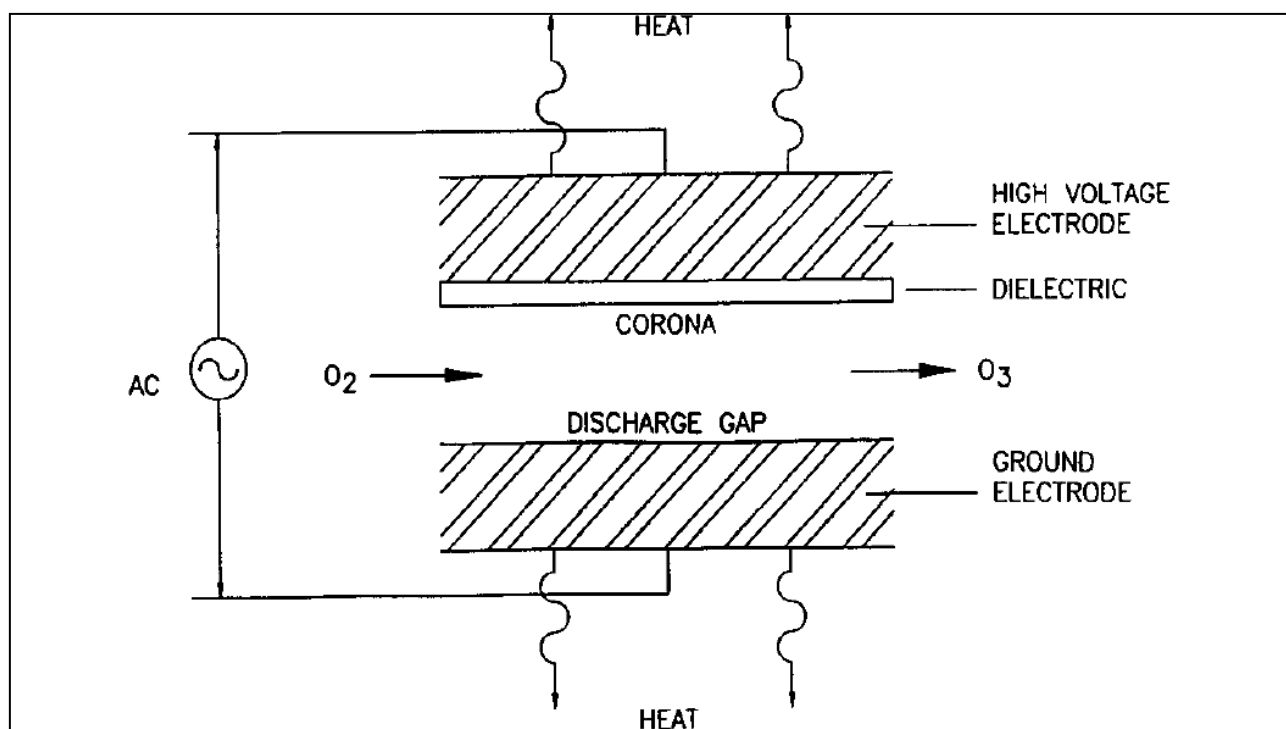
Anch'esso deve essere utilizzato in modo appropriato al fine di evitare la formazione dei sottoprodotti con implicazioni sanitarie, quale ad esempio lo ione bromato.

L'applicazione dell'Ozono deve essere sempre prevista in doppio stadio, come preossidante e come disinfettante secondario, in combinazione con l'affinamento su Carboni Attivi.

Generatore di ozono: poiché l'ozono è una molecola instabile, esso dovrebbe essere generato nel punto di dosaggio. Nasce dalla reazione tra una molecola d'ossigeno con un atomo di ossigeno

302 > 203

La reazione è fortemente endotermica e richiede una notevole energia. Si può produrre mediante l'effetto corona che consiste in una scarica elettrica. L'ossigeno si fa passare attraverso due elettrodi nei quali avviene una scarica di corrente. Questi elettroni forniscono energia necessaria alla dissociazione delle molecole di ossigeno con conseguente formazione dell'ozono.



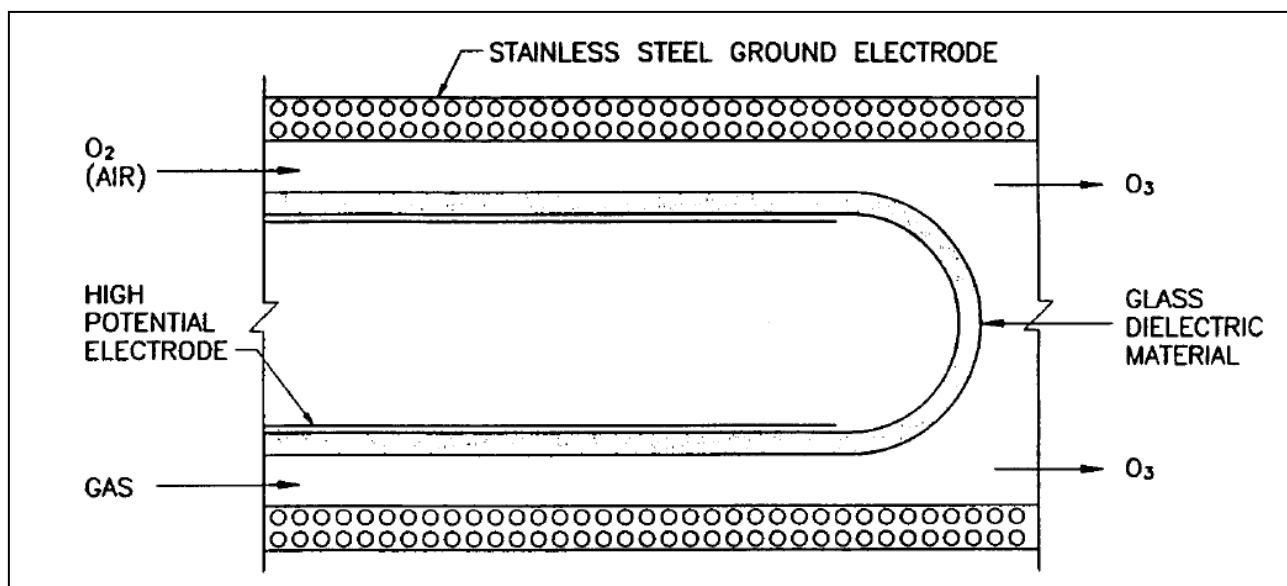
La tensione richiesta è proporzionale alla pressione del gas all'interno del generatore e alla larghezza dello scarico. Il maggior rendimento si otterrebbe aumentando la tensione, la frequenza e la costante dielettrica avendo un dielettrico sottile. Tuttavia per questioni di sicurezza ci sono delle limitazioni pratiche a questi parametri. Infatti all'aumentare della tensione, gli elettrici e i dielettrici sono più soggetti a guasti e usura. All'aumentare della frequenza si producono concentrazioni più alte di ozono con conseguente surriscaldamento dell'apparecchiatura che quindi richiede un raffreddamento maggiore per evitare la decomposizione dell'ozono. I dielettrici più sottili si perforano facilmente. Un buon apparecchio deve comunque garantire una affidabilità operativa, una buona resa di produzione di ozono con la necessità di poca manutenzione.

In commercio esistono due tipi di produttori d'ozono:

- a cilindri concentrici
- a piastre parallele.

Quest'ultimi sono generatori più piccoli che presentano un raffreddamento ad aria.

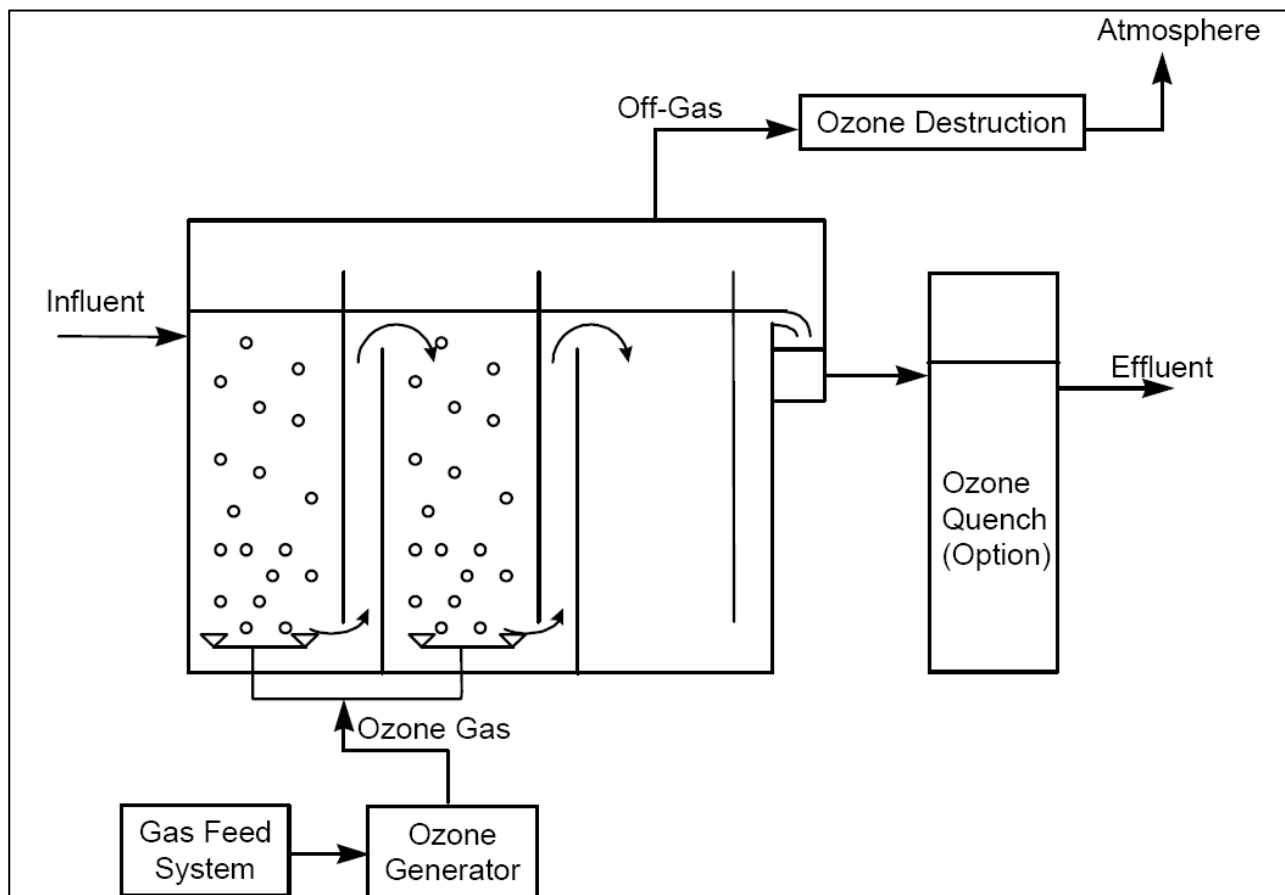
	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 34 a 62



I generatori sono classificati in funzione della frequenza dell'alimentazione applicata agli elettrodi. Generatori a bassa frequenza (50 o 60 hertz) e media frequenza (60-1000 hertz) sono quegli più comuni che ritroviamo negli impianti di trattamento.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 35 a 62

Riportiamo un semplicissimo schema di come avviene il dosaggio dell'ozono.



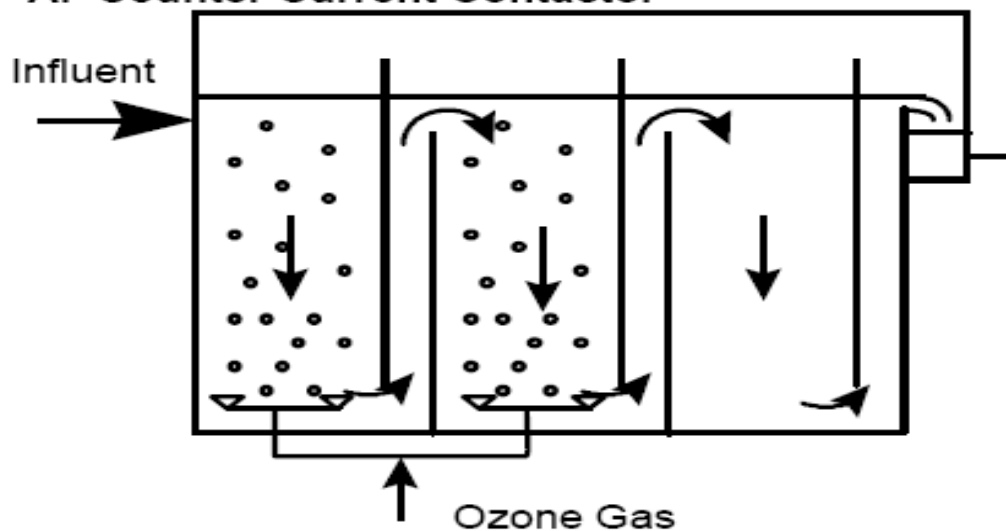
Una volta che l'ozono è stato prodotto questo viene dosato nell'acqua, reagisce con la materia organica, inorganica compresi qualsiasi tipo di agenti patogeni. L'ozono che non reagisce viene liberato in atmosfera dopo essere stato distrutto in quanto si ritrova in concentrazioni superiori a quelle che sono le dosi tossiche. L'apparecchio converte l'ozono in ossigeno lavorando a temperature $> 350^{\circ}\text{C}$ o impiegando catalizzatore e lavorando a temperature $> 100^{\circ}\text{C}$.

I più comuni dosatori di ozono sono:

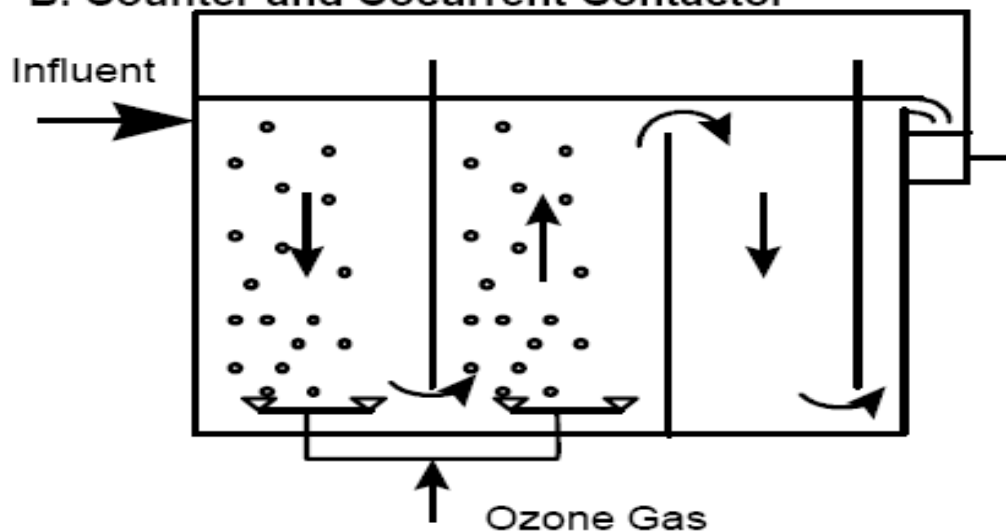
- diffusori a bolla
- iniettori
- miscelatori a turbina

Diffusori a bolla:

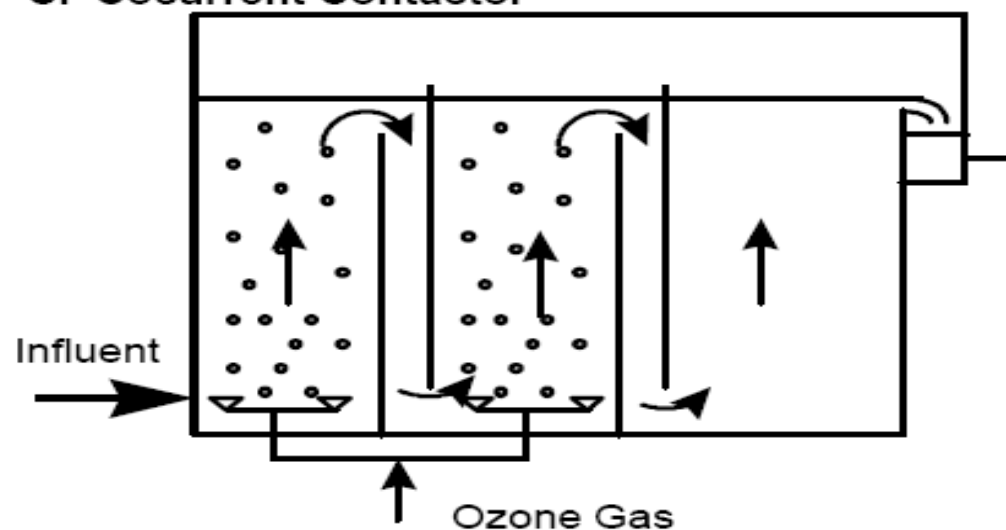
A. Counter Current Contactor




B. Counter and Cocurrent Contactor



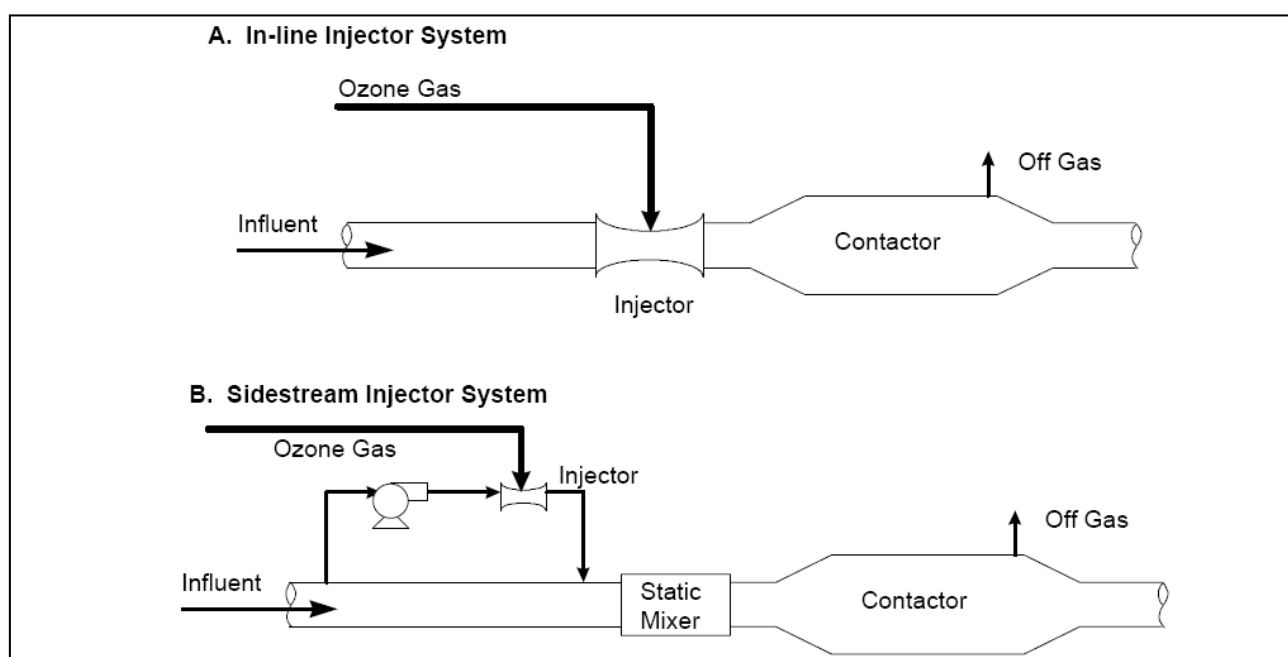
C. Cocurrent Contactor



	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 37 a 62

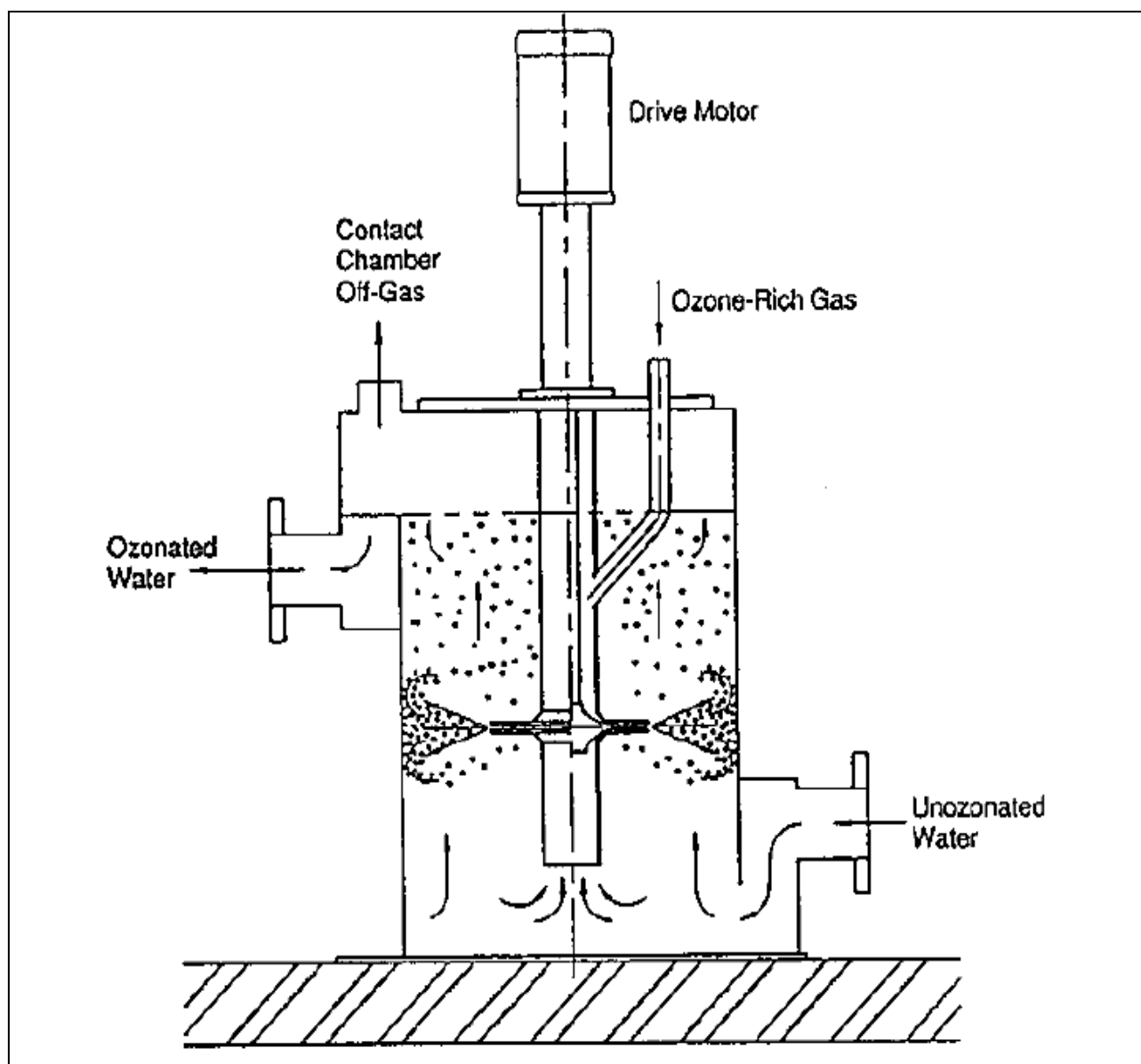
Questo tipo di diffusore offre il vantaggio di non necessitare di ulteriore energia, d avere alti tassi di trasferimento d'ozono, semplicità operativa, e nessun tipo di pezzo "mobile"

INIETTORI:



L'ozono è iniettato nell'acqua in condizione di depressione generata nella sezione di un tubo Venturi. In questo modo l'ozono viene "aspirato" dalla stessa acqua che deve essere trattata. Oppure una parte dell'acqua in trattamento viene pompata con una pressione maggiore in modo da creare un vuoto più spinto per l'immissione dell'ozono che garantirà una miscelazione migliore e per far fronte alle richieste di disinfezione di CxT.

2.2 Miscelatori a turbina.




I miscelatori a turbina garantiscono una miscelazione maggiore ed un trasferimento di ozono superiore al 90%. Tuttavia richiede un dispendio di energia superiore.

In generale: il sistema di produzione dell'ozono è altamente complesso ma ormai grazie alla tecnologia e l'automazione l'operatore è in grado di far funzionare tutto il sistema. La manutenzione invece richiede dei tecnici esperti che possono essere individuati nel personale a di-

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 39 a 62

sposizione, debitamente istruiti, o l'azienda produttrice del macchinario stesso. La manutenzione è eseguita sui filtri, sui compressori, sugli alloggiamenti dei contatti, sugli dielettrici ecc..

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 40 a 62

2.3 I raggi ultravioletti

Sarebbero la soluzione ideale perché non causano alterazioni organolettiche. L'effetto antibatterico è maggiore per lunghezze d'onda di 260 nm. L'unico problema è che l'acqua deve essere perfettamente limpida.

L'acqua viene fatta scorrere in maniera lamellare in modo che le radiazioni possano penetrare. Il problema è che se c'è della torbidità, la particella di solido può fungere da cono di protezione per i microrganismi, quindi la radiazione non riesce a penetrare per colpire i microrganismi e l'acqua può restare contaminata. Per questo motivo i raggi ultravioletti non vengono utilizzati nei grossi acquedotti ma solo nelle piccole strutture.

La maggiore efficienza raggiunta oggi dalle lampade utilizzate e quindi la possibilità di migliorare le rese, rende possibile ipotizzarne l'impiego secondo gli schemi già visti.

Pur non avendo al momento installazioni significative si rappresentano alcuni schemi di funzionamento.

Ricordando che l'obiettivo della disinfezione di impianto è quello di garantire prima della disinfezione di copertura l'idoneità batteriologica dell'acqua, e che è essenziale minimizzare la produzione di sottoprodotti, nuove generazioni di lampade possono portare in un breve futuro ad interessanti sviluppi applicativi.

L'uso di luce UV per disinfettare l'acqua potabile richiede (1) la generazione di luce UV con le proprietà germicide volute e (2) la consegna (o trasmissione) di quella luce agli agenti patogeni. Questa sezione fornisce una descrizione di base di come la luce UV è generata e le condizioni ambientali che favoriscono la consegna agli agenti patogeni.

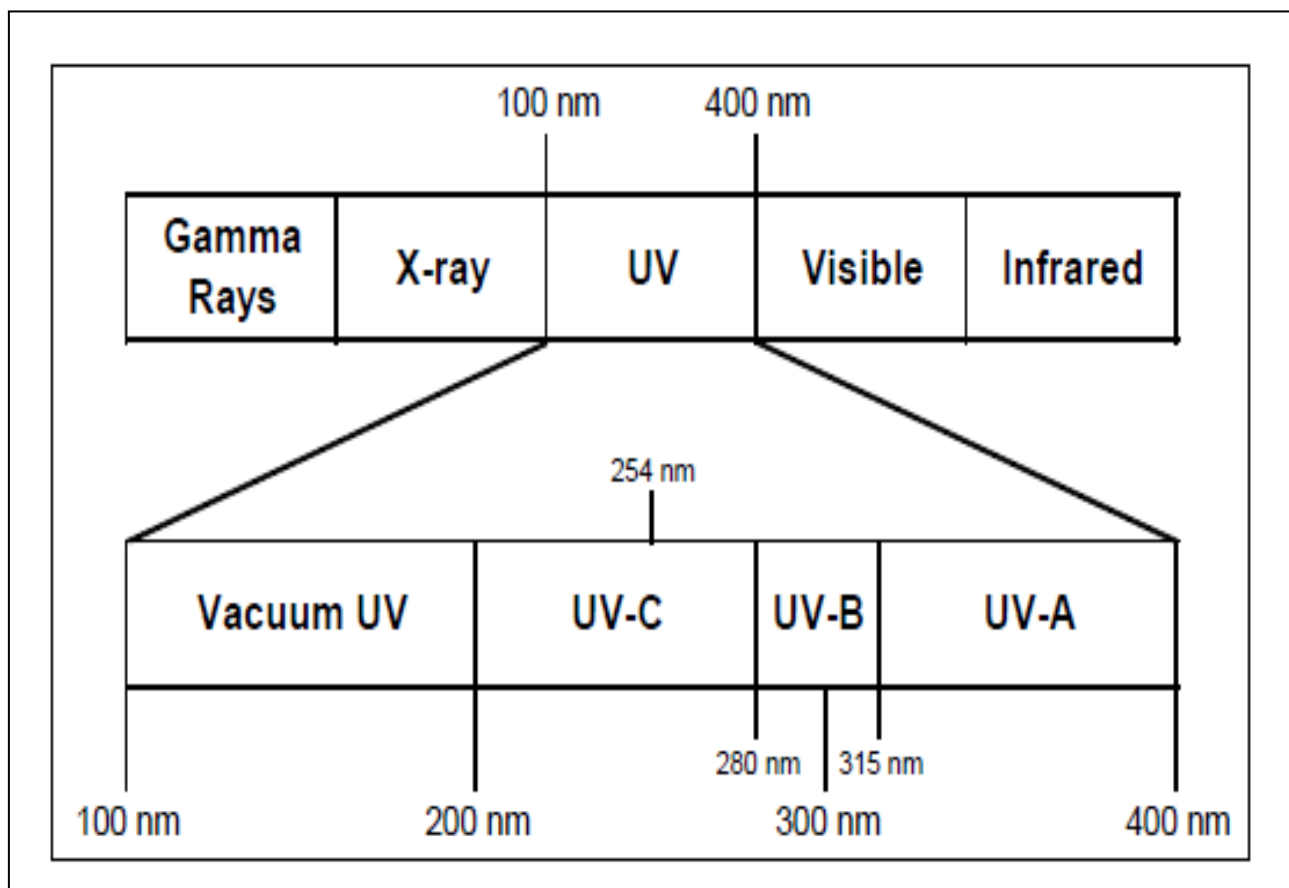
Natura della luce UV

La luce UV è la regione dello spettro elettromagnetico che si trova fra i raggi X e la luce visibile (figura 2.1). Lo spettro UV è diviso in quattro regioni come appare figura 2.1:


Vacuum UV (100 a 200 nm), UV-C (200 a 280 nm), Uv-B (280 a 315 nm) ed Uv-A (315 a 400 nm) (Meulemans 1986). La disinfezione UV è dovuta all'azione germicida di Uv-B e di UV-C cui risultano sensibili i microorganismi. L'azione germicida di Uv-A è piccolo rispetto agli Uv-B ed UV-C e quindi sarebbero necessari tempi molto elevati di esposizione per essere efficace come disinfettante. La luce nella gamma UV di vuoto è molto efficace nella disinfezione dei microorganismi (Munakata ed altri 1991).

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 41 a 62

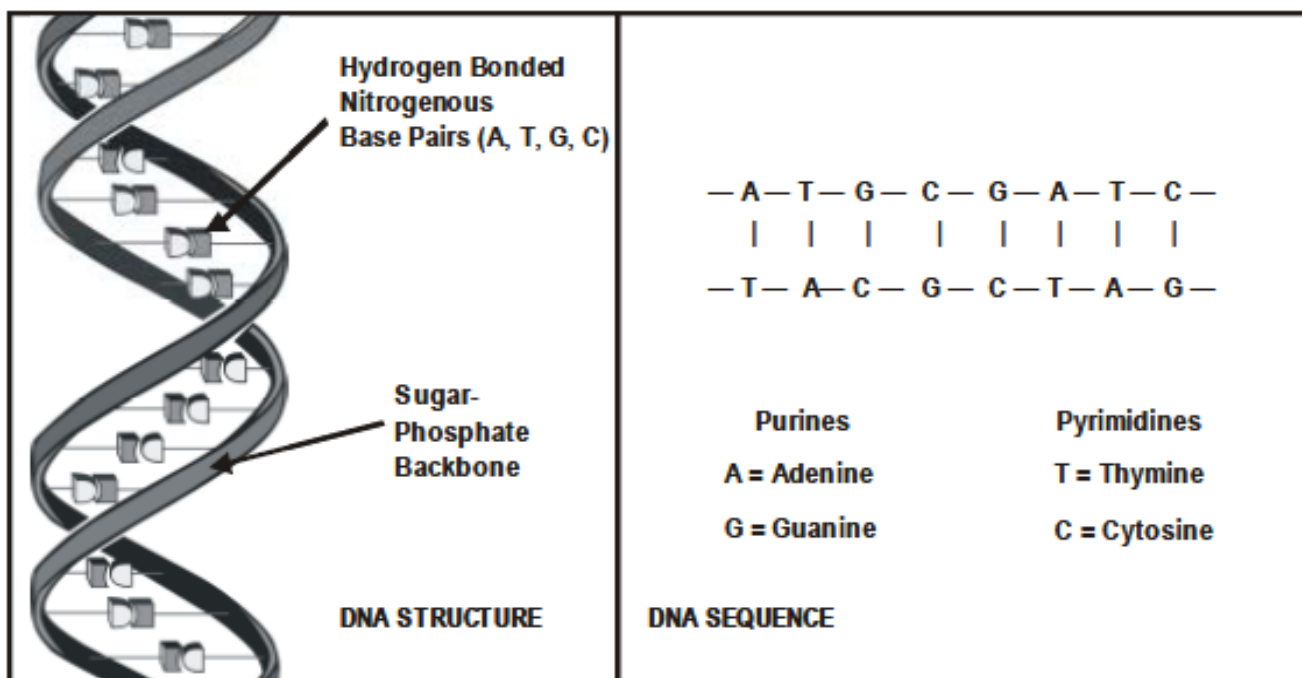
Tuttavia, è poco pratico per le applicazioni di disinfezione dell'acqua perché la trasparenza dell'acqua a queste lunghezze d'onda è limitata. Per gli scopi della potabilizzazione, la lunghezza d'onda germicida pratica per luce UV varia fra 200 e 300 nm.



La capacità di assorbimento UV (A_{254}) è un parametro comunemente usato nell'analisi della qualità dell'acqua e caratterizza la trasmittanza dell'acqua alle lunghezze d'onda nel campo degli ultravioletti utilizzati per la disinfezione. L'assorbanza è in questo caso un indice del contenuto della sostanza organica. Le varie procedure richiedono per l'analisi di filtrare il campione attraverso una membrana da $0.45 \mu\text{m}$ prima della misurazione della capacità di assorbimento. Se la misura è effettuata secondo una versione modificata del metodo standard 5910B (APHA ed altri 1998), non è richiesta nel campione di acqua la filtrazione e la misura del pH_o. Poiché la maggior parte delle particelle in acqua potabile assorbono la luce UV, è suggerito che le misure di capacità di assorbimento siano effettuate senza filtrare il campione. Di conseguenza, la misura modificata rappresenta la dispersione e un certo assorbimento dalle parti-

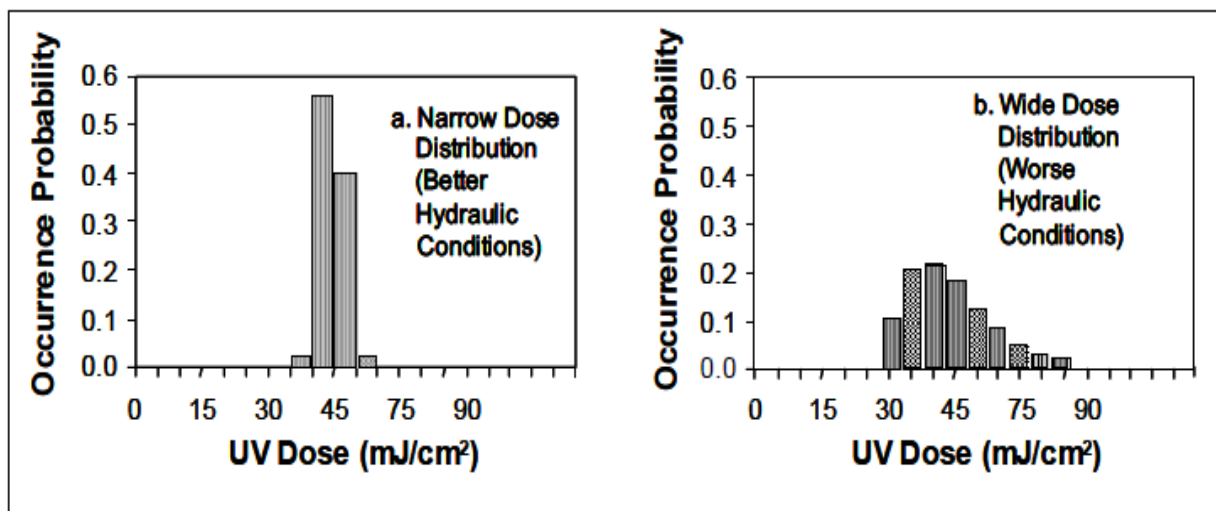
	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 42 a 62

celle nel campione di acqua che può interferire con la disinfezione UV. Lo schema di azione della luce UV nei confronti dei microrganismi può essere rappresentata dalla figura seguente:

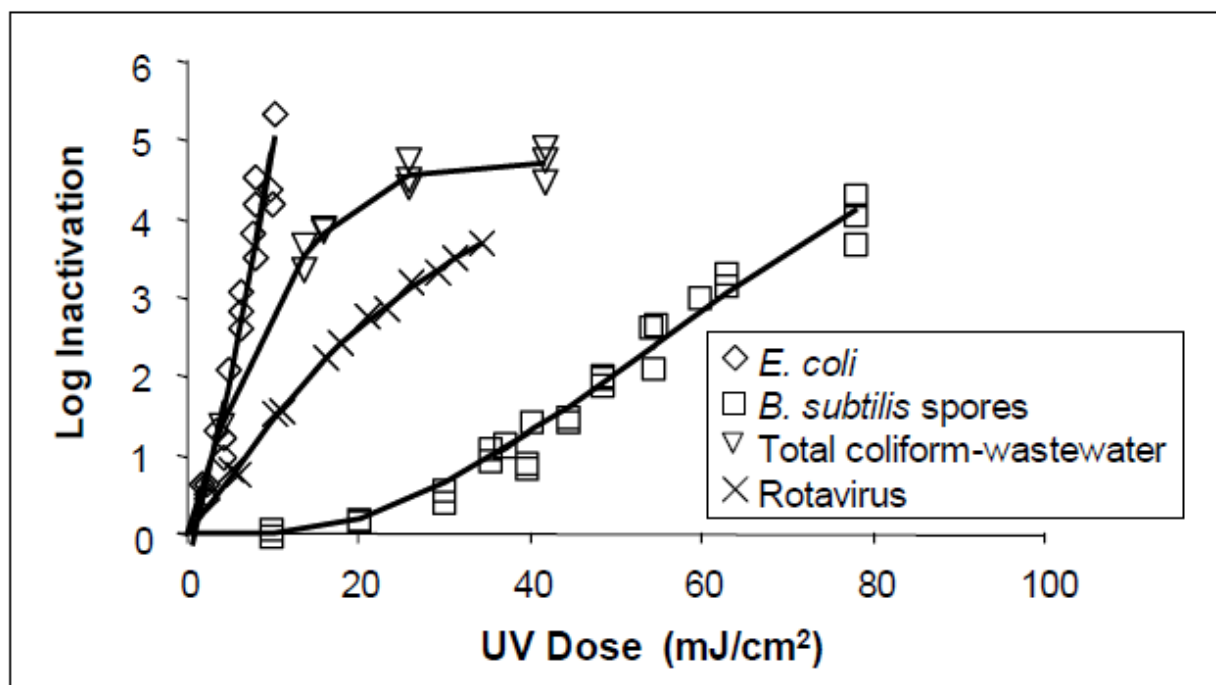


E' quindi evidente che l'azione in impianto è praticamente inguidabile e l'efficienza del sistema è strettamente dipendente dalla qualità dei trattamenti a monte, che devono essere in grado di garantire torbidità estremamente basse.


Nell'impiego degli UV nella disinfezione è importante la geometria dei reattori per assicurare l'ottimale irradiazione dell'acqua ed ottimizzare l'impiego dell'energia, che costituisce il costo di esercizio del sistema



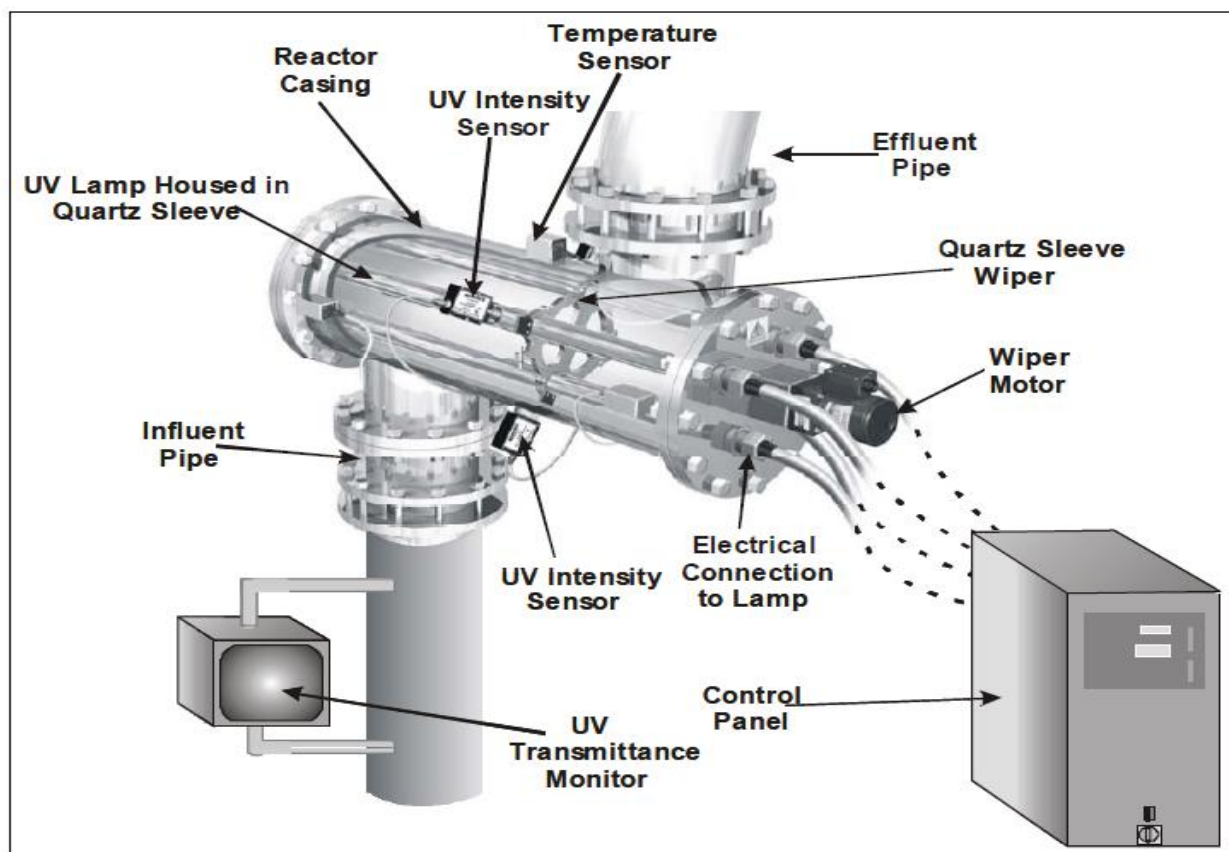
Per comparare questo sistema di disinfezione a quelli chimici, dal punto di vista concettuale, si riporta un diagramma che evidenzia come anche in questo caso possano essere applicati gli stessi concetti di abbattimento percentuale della carica batterica (log).



In questo caso non si considera ovviamente una concentrazione residua, ma deve essere stimata l'energia convertita in radiazione, e da qui la dose applicata.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 44 a 62

La figura seguente illustra in modo schematico un tipico sistema UV che comprende anche un misuratore di trasmittanza ed un sensore di intensità per verificare l'efficienza delle lampade.



Pur nella semplicità, è evidente anche in questo caso la presenza di misure da fare, differenti da quelle chimiche, essenziali per avere la garanzia di funzionamento del sistema.

Le modalità di installazione possono essere in tubo (reattore chiuso), o in canale, utilizzato spesso per le acque reflue.

a. Closed-Channel Reactor

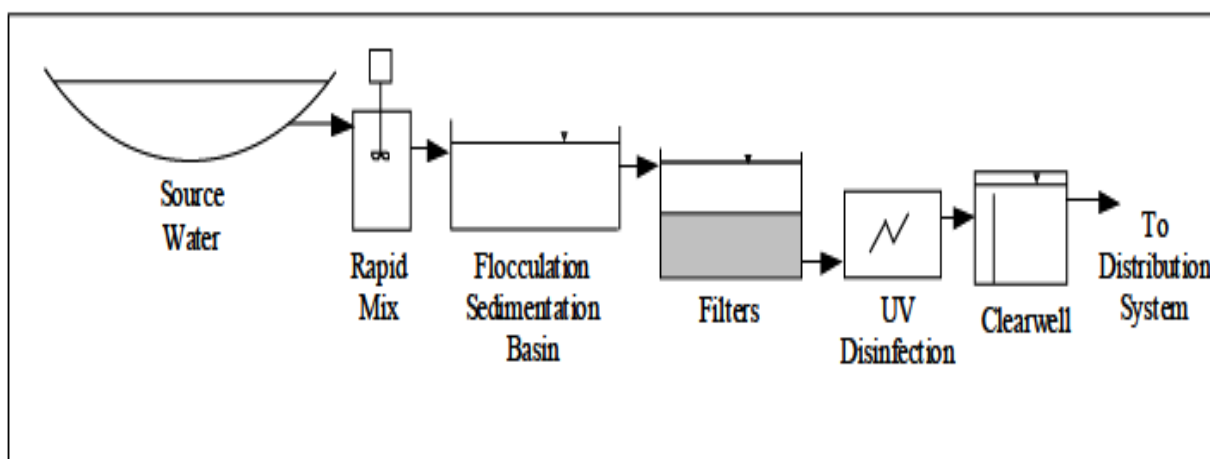


b. Open-Channel Reactor



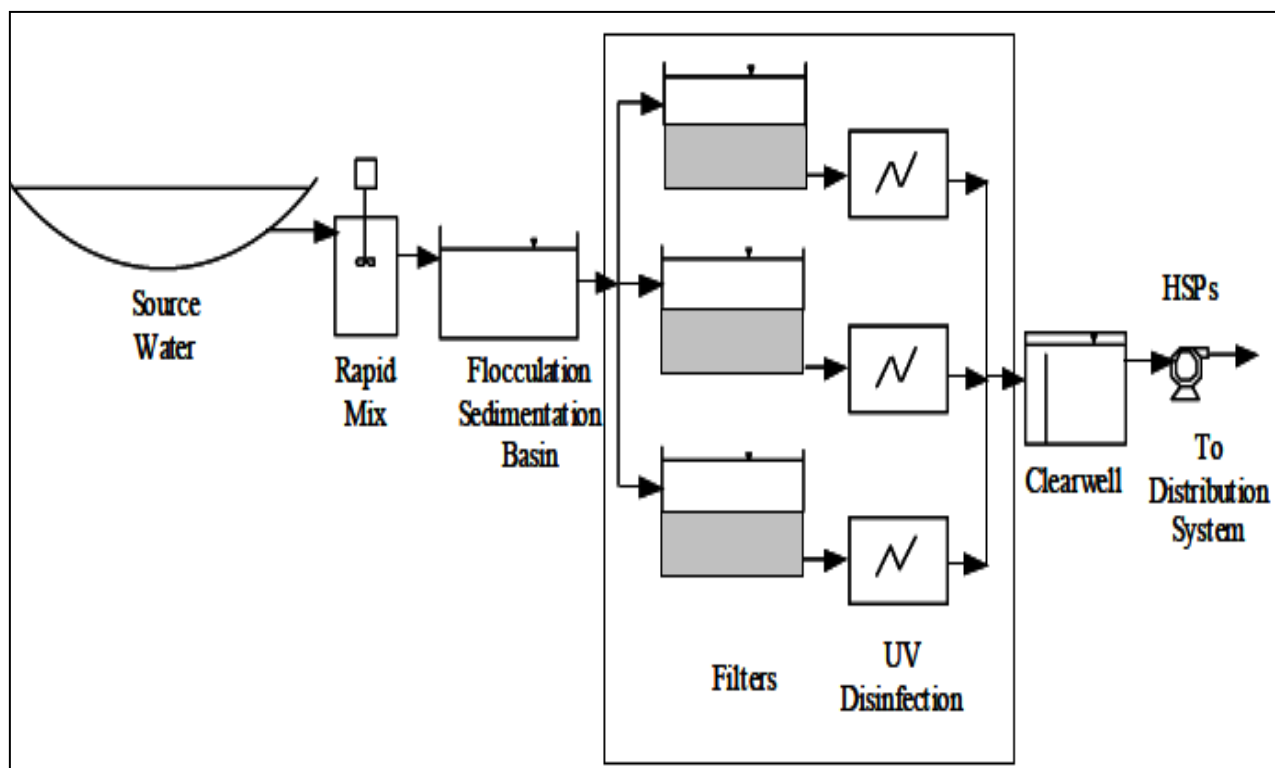
È essenziale in tutti i sistemi provvedere con regolarità alla pulizia dei tubi di quarzo, anche se i nuovi sistemi possono avere apparati di pulizia automatici.

Ricordando quanto già visto nei precedenti moduli, l'inserimento degli UV in impianto può essere fatto secondo il seguente schema:

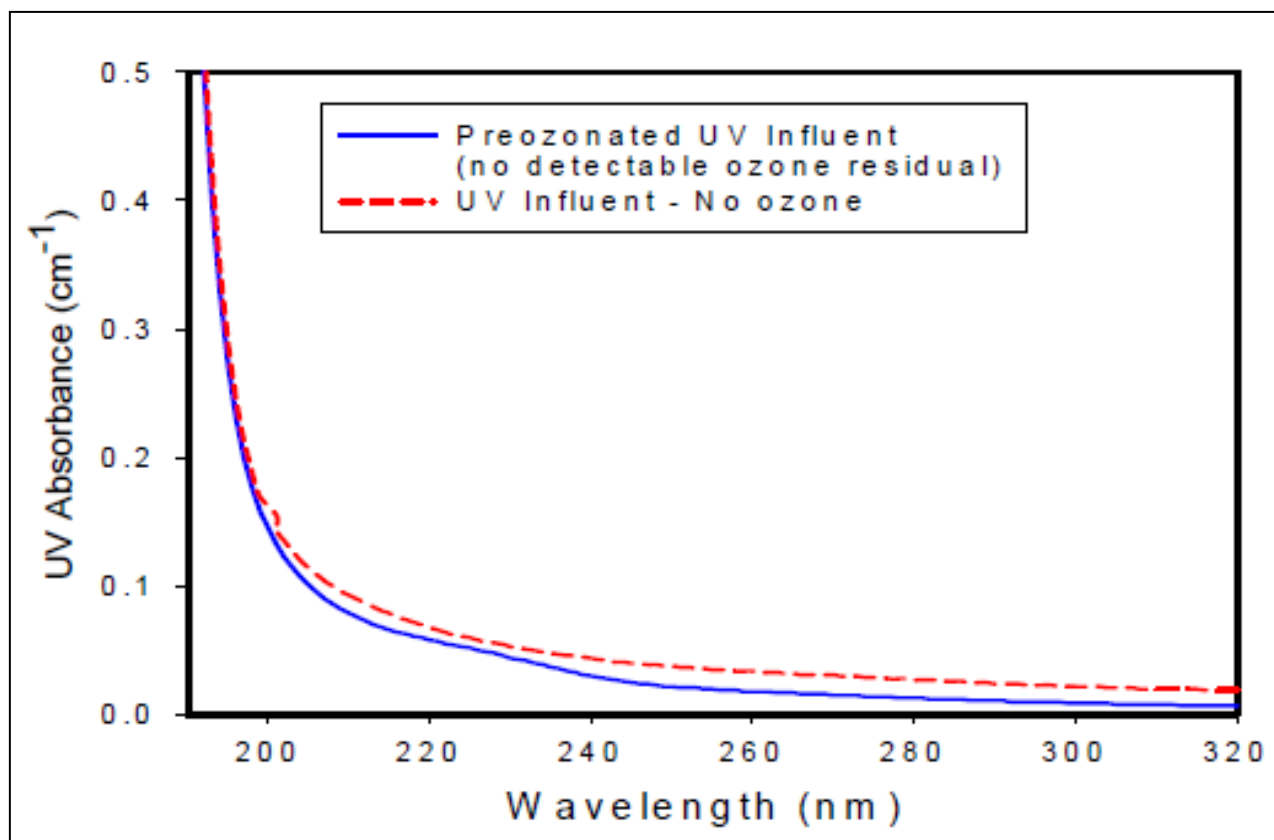


Ossia subito dopo la filtrazione e prima della disinfezione di copertura.

La figura seguente rappresenta come possono essere inseriti funzionalmente. La soluzione tecnicamente migliore è quella di prevedere un sistema di irradiazione sull'uscita di ogni filtro.




Per concludere si riporta un diagramma dal quale si evidenzia l'importanza dei trattamenti a monte, ed in questo caso per migliorare la trasmittanza dell'acqua.



La tabella seguente rappresenta un normale piano di manutenzione della sezione UV

Frequenza	Operazioni di verifica	Azione
Settimanale	Controllare la calibratura in linea del sensore di UVT	Calibrare il sensore di UVT quando l'incertezza di misura garantita dal fornitore è superiore.
Mensile	Controllare l'alloggiamento del reattore, i manicotti e le guarnizioni della spazzola per vedere se ci sono perdite	Sostituire l'alloggiamento, il manicotto, o le guarnizioni del pulitore se danneggiato.
Mensile	Eseguire protocollo del controllo di calibratura del sensore di intensità UV	Controllare la calibratura del sensore di alimentazione della lampada utilizzata durante le condizioni di esercizio normale
Quando il sensore di intensità UV evidenzia la mancata calibrazione	Sostituire il sensore installato con il sensore di riserva calibrato	<ul style="list-style-type: none"> •Controllare il sensore di riferimento con il secondo sensore di riferimento o altri due sensori prova per accertare se il primo sensore di riferimento è calibrato. •Se il sensore di riferimento è calibrato correttamente, sostituire il sensore installato con il sensore calibrato manutenzione il


	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 48 a 62

		sensore fuori calibrazione. •Controllare il sensore sostituito successivamente.
Mensile Semestralmente	Controllare l'efficienza di pulizia	•Lettura del sensore di intensità UV. •Estrarre un manicotto per il reattore (o la serie delle lampade per i reattori per controllo tenute • Controllare i manicotti restanti se si nota lo sporco sul primo manicotto. •Pulire manualmente se si nota un eccessivo sporco sui manicotti. •verificare la lettura del sensore di intensità UV e confrontare la lettura con l'originale dopo la pulizia. •Sostituire il tubo di contenimento della lampada se l'intensità UV non è ristabilita al livello di targa
Semestralmente	Controllare il serbatoio del liquido di pulizia	Riempire la soluzione se il livello del serbatoio è basso. Vuotare e sostituire la soluzione se la soluzione è scolorita
Annualmente	Calibrare il sensore di riferimento	Trasmettere il sensore di riferimento al fornitore per la calibrazione.
Annualmente	Test-trip GFI	Verificare i collegamenti di terra in conformità con le raccomandazioni del fornitore.

2.3.1 Le membrane filtranti

Le membrane filtranti sono dei sistemi per potabilizzare l'acqua che usano delle porosità intorno ai 0,45 micron, che quindi trattengono tutti i microrganismi tranne alcuni virus piccolissimi. Nella filiera del trattamento alcuni disinfettanti, come il biossido di cloro, essendo fortemente ossidanti vengono dosati anche nella fase di pre-trattamento. Questo perché ossidano il materiale organico sospeso o in soluzione, ferro, manganese,.

E' fondamentale fare una distinzione fra quello che è il dosaggio all'inizio del processo e quello finale. Il primo infatti ha lo scopo di contribuire all'abbattimento di tutte quelle sostanze che poi verranno rimosse con la filtrazione e sedimentazione. Il secondo serve per avere la disinfezione ed eventualmente la copertura nella rete.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 49 a 62

L'obiettivo è quello di raggiungere, quando deve essere garantita anche la copertura nell'acqua, una concentrazione di disinfettante (ipoclorito di sodio al 15-13%) di 0,2-0,5 mg/l (in funzione anche delle esigenze della rete).

Il calcolo della quantità di disinfettante da utilizzare si ottiene con prove empiriche di diluizioni scalari, seguite da misurazioni analitiche effettuabili con la strumentazione a disposizione (kit colorimetrico, pocket colorimeter, spettrofotometro).

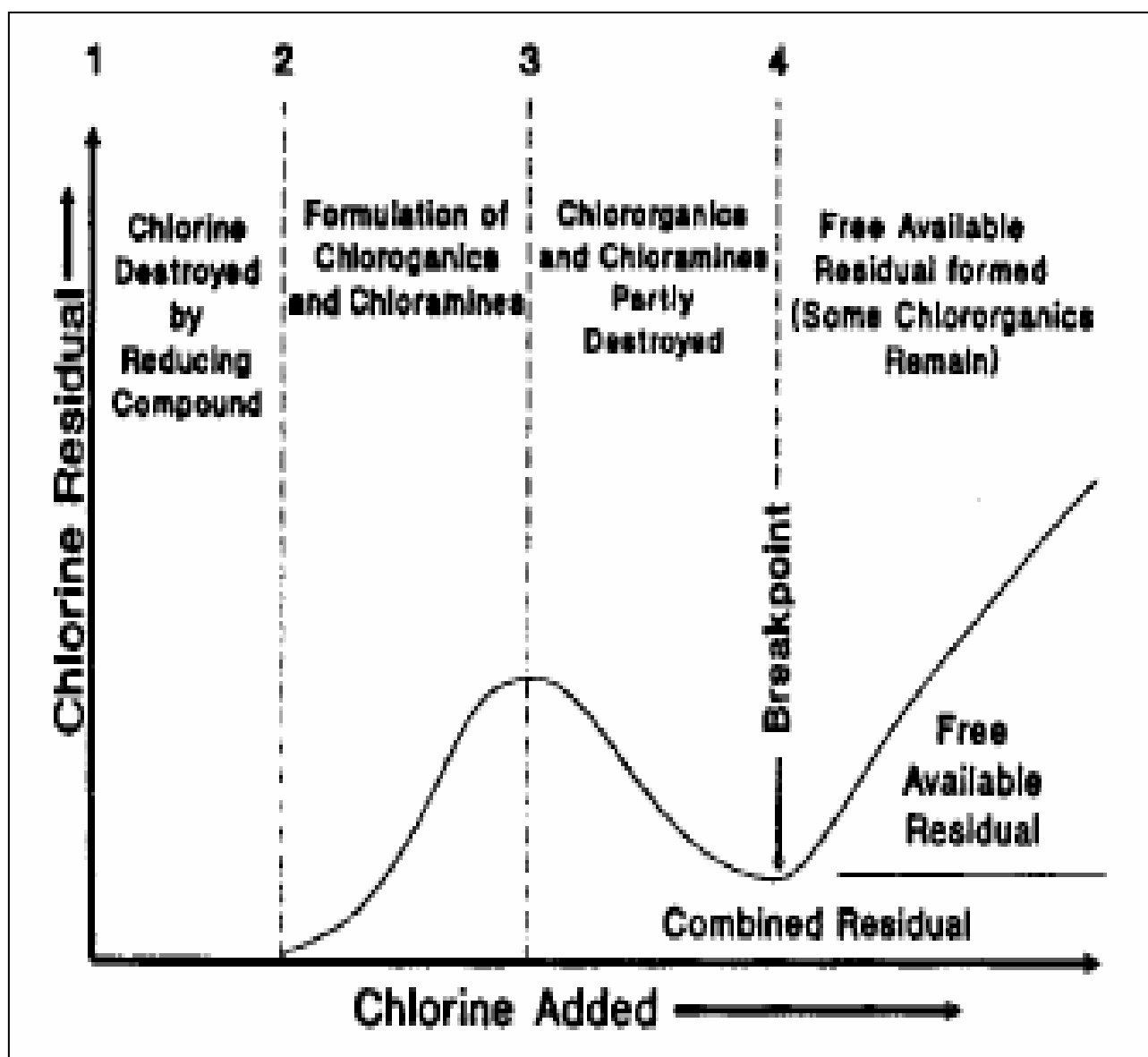
In effetti la quantità di cloro necessaria è data dalla differenza tra il cloro dosato e quello residuo (sotto forma di cloro libero) che si ritrova dopo un certo periodo di trattamento.

Questa metodica prevede l'allestimento di una serie di diluizioni scalari di campioni di acqua con l'ipoclorito di sodio, sulle quali si eseguono dopo 30 minuti delle determinazioni analitiche. Questa metodica consente di valutare tutte le variabili che possono influenzare il risultato pratico rendendolo diverso da quello calcolato teoricamente.

Procedura:


1. procurarsi l'acqua della quale vogliamo calcolare la clororichiesta
2. introdurre in 10 becher un volume di acqua pari a 500 ml. Bisogna essere sicuri che il becher sia perfettamente pulito in modo tale da non sfalsare il risultato
3. aggiungere in ogni becker una certa quantità di cloro crescente per esempio con concentrazioni che vanno da 0, 0.1, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.8, 2.4, 3.0, 3.6 mg/l. Bisogna miscelare Mettiamo le soluzioni al buio e ogni 10 minuti sino ad un tempo che è pari a 30 minuti andiamo a misurare la concentrazione di residua.
4. alla conclusione dell'esperimento si rilevano tutte le concentrazioni residue.

Questa operazione si chiama individuazione del "Break point" e può essere schematizzata da un grafico come segue dove al cloro dosato corrisponde il cloro trovato




Nel dettaglio:

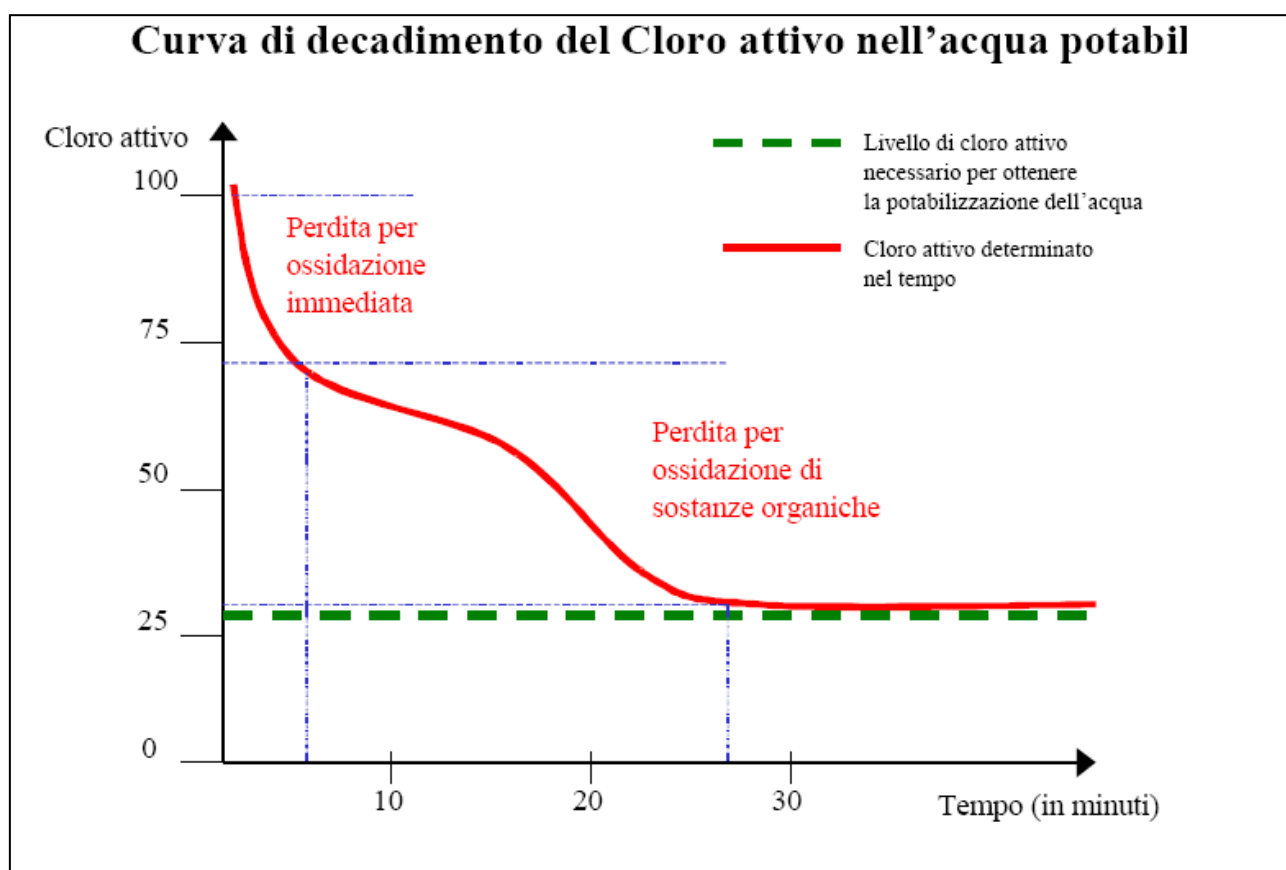
- i. zona 1-2: corrisponde ad un consumo istantaneo del cloro aggiunto ad opera degli elementi riducenti contenuti nell'acqua quali ferro, manganese, cianuri, nitriti, solfuri, ecc.
- ii. zona 2-3: è quella ove si formano i composti organici del cloro ed in particolare le clorammine e dove è presente il cloro combinato
- iii. zona 3-4: nella quale si assiste alla denitrificazione delle clorammine secondo determinate reazioni; in questa zona si eliminano odori e sapori dell'acqua
- iv. zona 4-5: oltre il "break-point", nella quale ogni ulteriore aggiunta di cloro reagisce come se si trovasse in un'acqua pura, il cloro si ritrova allo stato di cloro libero.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 51 a 62

Il cloro totale è dato dalla somma del cloro libero e del cloro combinato, eventualmente presente al break-point. Ogni acqua possiede una propria curva di clorazione e la quantità di cloro da aggiungere per arrivare al break point è differente.


	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 52 a 62

Di seguito viene riportata una curva di decadimento tipica del cloro attivo dosato per potabilizzare l'acqua.



Dopo l'aggiunta di ipoclorito all'acqua si ha un suo immediato decadimento dovuto a sostanze che reagiscono con l'ossigeno attivo quali i sali di ferro, manganese, il gruppo ammonio. Queste sostanze sono naturalmente presenti nell'acqua in quantità variabili.

Dopo questo primo collasso, l'ipoclorito inizia a reagire con le sostanze organiche presenti e, tra queste, i batteri. Per questa operazione è previsto un ulteriore decadimento che avviene in circa 30 minuti. Se dopo questo tempo il livello di cloro attivo si stabilizza ad un livello uguale o superiore a quello stabilito (linea verde) l'obiettivo di potabilizzazione dell'acqua è stato raggiunto. Se il decadimento è molto alto e scende sotto la linea verde, bisogna fare un'ulteriore aggiunta di ipoclorito. Se il decadimento continua nel tempo, l'acqua scelta per la potabilizzazione non è di qualità adeguata. In questo caso, è preferibile cambiare la fonte di approvvigionamento o eseguire alcuni processi di trattamento preventivi quali la filtrazione o la flocculazione.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 53 a 62

Norme relative alla concentrazione di disinfettante (Cloro residuo)

Il cloro che si usa come agente per la potabilizzazione conferisce un sapore particolare all'acqua. La concentrazione tollerata di cloro residuo dipende dai paesi e dalle abitudini dei consumatori e può essere molto diversa da paese a paese. In Europa, il livello di cloro residuo tollerato è molto basso; nell'ordine di 0.1 mg/litro.

Negli Stati Uniti e in America in generale, dove il sapore di cloro è sinonimo di garanzia di qualità dell'acqua consumata, il valore che può essere tollerato è 10 volte superiore (1 mg/litro).

Per l'Organizzazione Mondiale della Sanità, una concentrazione di 0.5 mg/litro di cloro residuo nell'acqua, dopo un tempo di contatto di 30 minuti, garantisce una disinfezione soddisfacente. D'altra parte, sempre l'O.M.S., precisa che non si è osservato nessun effetto negativo per la salute nei casi in cui la concentrazione di cloro residuo sia stato di 5 mg/litro. Questa concentrazione deve essere considerata come valore massimo che non deve essere raggiunta in nessun caso.

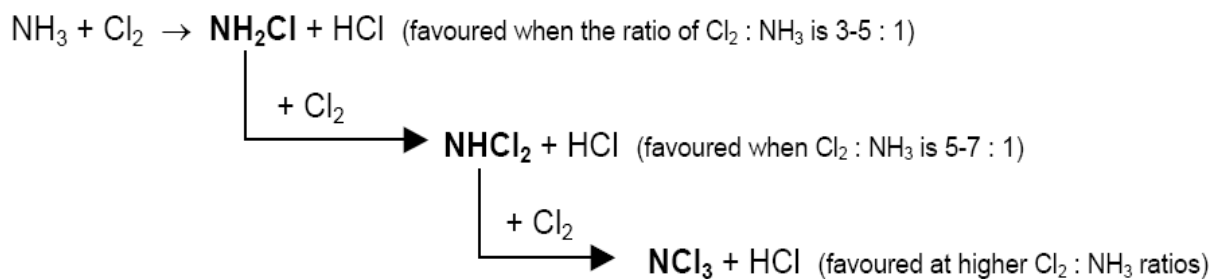
Un altro problema che potrebbe manifestarsi è quello della ipotetica reazione che si potrebbe creare in rete se abbiamo ammoniaca. L'impiego del cloro sotto forma di ipoclorito potrebbe infatti reagire con l'ammoniaca andando a formare la clorammina.

Questa non viene utilizzata nella pratica di processo a causa dell'elevato CxT necessario, mentre è ottima come disinfettante di copertura grazie alla bassa reattività ed all'elevata persistenza.

Le diverse forme che si possono avere sono:

1. monoclorammina NH_2Cl
2. diclorammine NHCl_2
3. triclorammine NCl_3

Le diverse forme dipendono dal rapporto stechiometrico col quale avviene la reazione.

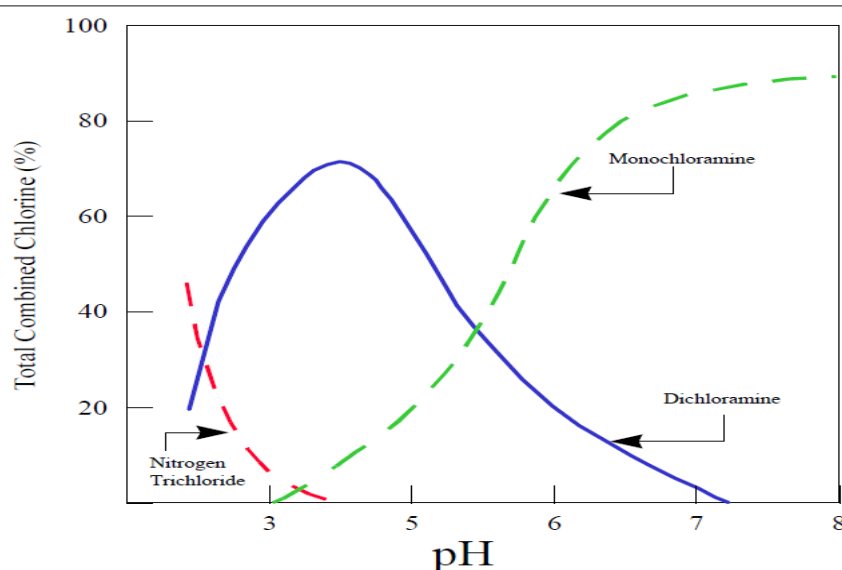


La tabella sottostante riporta i prodotti della reazione in funzione del rapporto in peso tra cloro e ammoniaca .

Tabella 1:RAPPORTI Cl₂/NH₃ PER LA FORMAZIONE DEI PRODOTTI


Reaction	mg Cl ₂ /mg NH ₃
Monochloramine (NH ₂ Cl)	4.2
Dichloramine (NHCl ₂)	8.4
Nitrogen Trichloride (NCl ₃)	12.5
Nitrogen (N ₂)	6.3
Nitrate (NO ₃)	16.7
Free residual reaction	9

Source: AWWA and ASCE, 1990.



Source: Palin, 1950.

Mentre il grafico sopra illustra l'incidenza del pH nella formazione delle diverse specie di clorammina.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 55 a 62

L'introduzione nella filiera produttiva prima del cloro o dell'ammonio (da ammoniaca in soluzione o bicarbonato di ammonio) non è molto importante se vengono rispettate le indicazioni. Però normalmente si preferisce aggiungere prima il cloro perché viene utilizzato come disinfettante primario e dopo non più di 10 o 30 minuti, l'ammoniaca per contenere un'ulteriore formazione di DPBs. L'ammontare di ammoniaca richiesta per la formazione della monocloroammina dipende dai seguenti fattori:

- Azoto organico nell'acqua;
- Residuo di ammoniaca e monocloroammina richiesto nel sistema di distribuzione.

Se c'è azoto organico nell'acqua grezza, l'ammontare di ammoniaca supplementare richiesta dovrebbe essere determinata attentamente sottraendo l'ammoniaca di fondo dalla quantità desiderata.

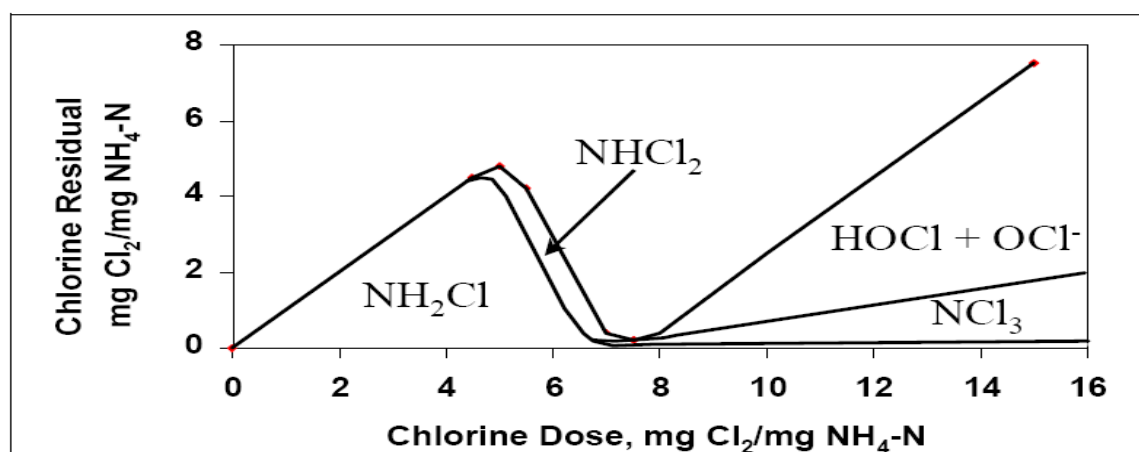

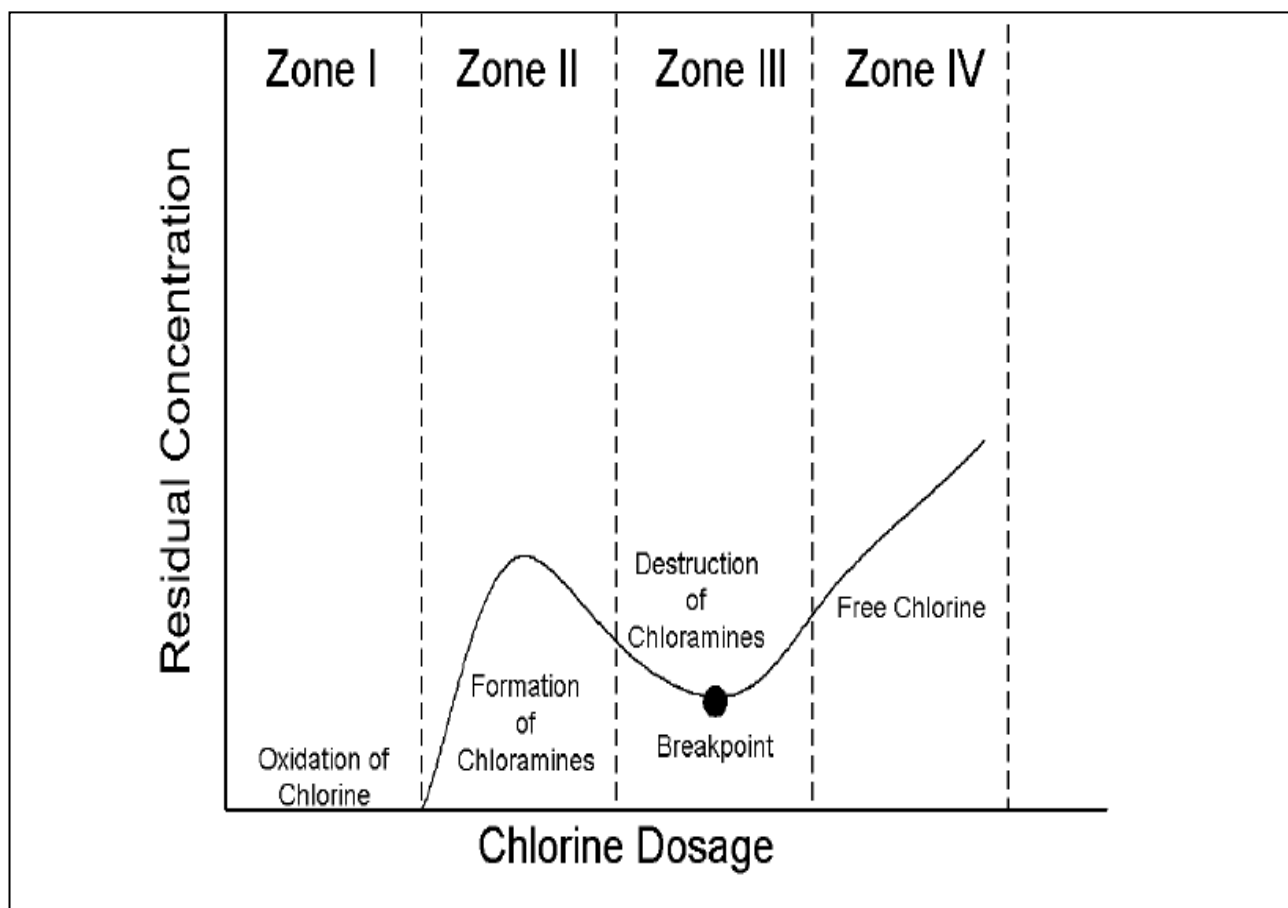


Figure 6-1. Theoretical Breakpoint Curve

CURVA TEORICA DI BREK-POINT

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 56 a 62

Il grafico mostra l'andamento della concentrazione residua del cloro in funzione del suo dosaggio. Nella zona I abbiamo che tutto il cloro è ridotto a cloruri da composti riducenti che reagiscono immediatamente con il Cloro. Nella zona II abbiamo la formazione delle clorammi-



ne.

Nella zona III abbiamo la distruzione della clorammina sino al punto di breakpoint. Da qui in poi e nella zona IV abbiamo che tutto il cloro aggiunto lo ritroviamo sotto forma di cloro libero. Da queste considerazioni si evince l'importanza del giusto dosaggio del rapporto cloro/ammoniaca come evidenziato anche dal grafico sottostante.

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 57 a 62

2.3.2 Aspetti sanitari

Prima del suo impiego come disinfettante la monoclorammina è stata testata in laboratorio.. L'IARC agenzia internazionale della ricerca contro il cancro non valuta la monoclorammina contenuta nell'acqua potabile come un potenziale cancerogeno. Anemie emolitiche acute, metaemoglobinemia e emolisi sono stati evidenziati in pazienti dializzati che hanno utilizzato acqua disinfettata con clorammina per la dialisi. Questi problemi possono sorgere per concentrazioni comprese tra 0.1 e 0.25-0.30 mg/l. Ospedali e centri di dialisi devono perciò essere informati se l'acquedotto utilizza questo disinfettante perché dovranno effettuare sull'acqua un trattamento particolare per la rimozione della clorammina (con l'uso di carboni attivi per un tempo di contatto che va dai 5 a 10 minuti, e poi l'assorbimento di ammoniaca residua con adsorbenti tipo zeoliti). Nel processo di dialisi infatti l'acqua è a contatto con il sangue attraverso una membrana permeabile e non tutti i dispositivi sanitari di questo tipo in uso, rimuovono la monoclorammina. L'uso di agenti riducenti come tiosolfato di sodio o acido ascorbico possono rimuoverla. Invece l'aerazione e la bollitura sono inutili. Non esiste alcun problema, per questi pazienti, se l'acqua è ingerita.


2.3.3 Odore e sapore

La monoclorammina è un ossidante più debole del cloro libero, reagisce più blandamente con la sostanza organica e conseguentemente non sviluppa odori e sapori indesiderati. Questi sono eventualmente presenti se il rapporto mono e diclorammina eccede il 20%. La monoclorammina a concentrazioni elevate produce un odore pungente. La triclorammina è la più irritante, ha un odore sgradevole a concentrazioni molto basse come 0.02 mg/l. insieme alla diclorammina è la responsabile del tipico odore di "piscina coperta".

L'inalazione dà luogo a bruciore agli occhi, tosse, dispnea nausea e vomito. Nelle mucose, esse si decompongono ad ammoniaca (NH₃) ed acido ipocloroso (HOCl) che può dissociare poi ad acido cloridrico (HCl) ed ossigeno nascente (O). Effetti corrosivi da ammoniaca ed acido cloridrico si segnalano anche a danno del tratto respiratorio. Si segnalano anche una acidosi metabolica è rarissimi casi di avvelenamento.

2.3.4 Influenza di pH e temperatura

Simile alla maggior parte dei disinfettanti l'efficienza del potere battericida della clorammina aumenta con l'aumentare della temperatura. Inoltre l'efficienza cala per pH alti e temperature basse. Per esempio, l'inattivazione di E.coli è approssimativamente 60 volte più lenta a pH 9.5 e temperature di 2 e 6 °C che a pH 7 e temperature tra 20 e 25 °C (al di et di Wolfe., 1984).

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 58 a 62

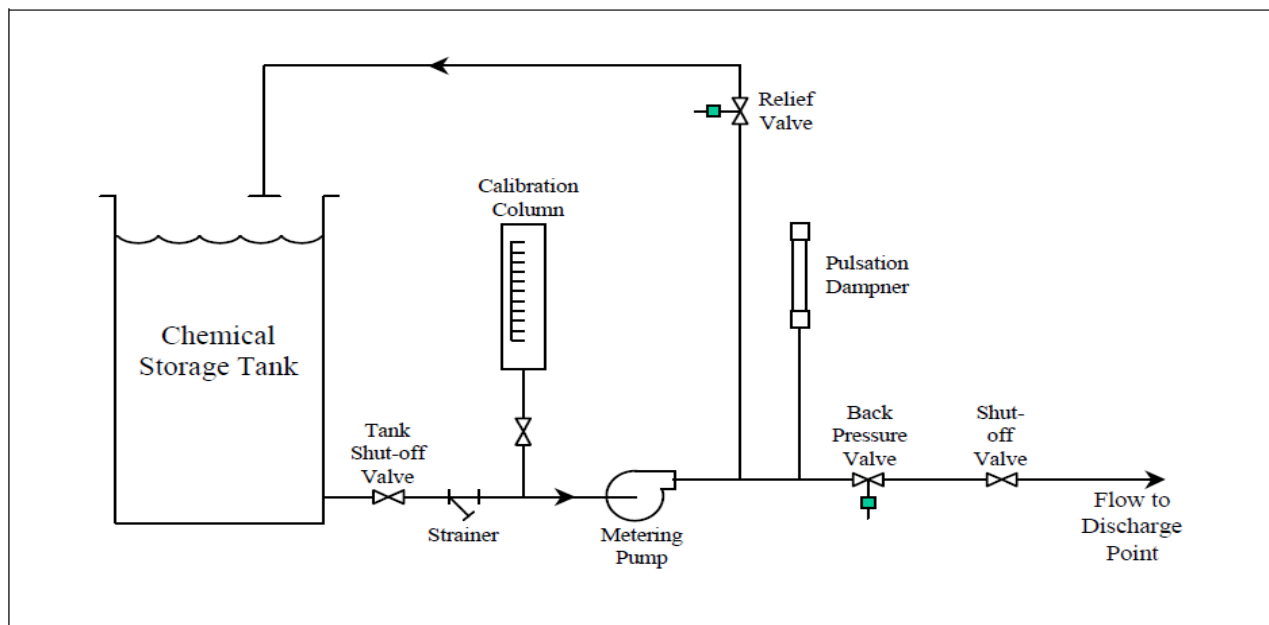
2.3.5 Efficienza della disinfezione

La monoclorammina può essere usata come disinfettante di copertura in acque potabili e ha il vantaggio di creare meno sottoprodotti dell'uso del cloro stesso e di persistere per un periodo più lungo rispetto al cloro. Inghilterra, Stati Uniti e Canada hanno usato la monoclorammina come disinfettante per decenni ed hanno dimostrato con modelli di studio che la clorammina è efficace contro i batteri contenuti nel biofilm. Sono però disinfettanti deboli per inattivare virus e protozoi. Di conseguenza è estremamente difficile soddisfare il SWTR il criterio di CT per la disinfezione primaria di Giardia e virus. Questo fa sì che venga utilizzata nella disinfezione secondaria contro la crescita microbica. Per questo motivo, in sistemi che usano monoclorammina, come disinfettante di copertura, in preossidazione è usato il cloro a concentrazioni tali da debellare microrganismi e virus (pratica ancora in uso in numerosi impianti degli Stati Uniti). L'ammoniaca è aggiunta poi in un altro punto dell'impianto e si ha la formazione della clorammina in situ.

2.3.6 La sicurezza dell'installazione.

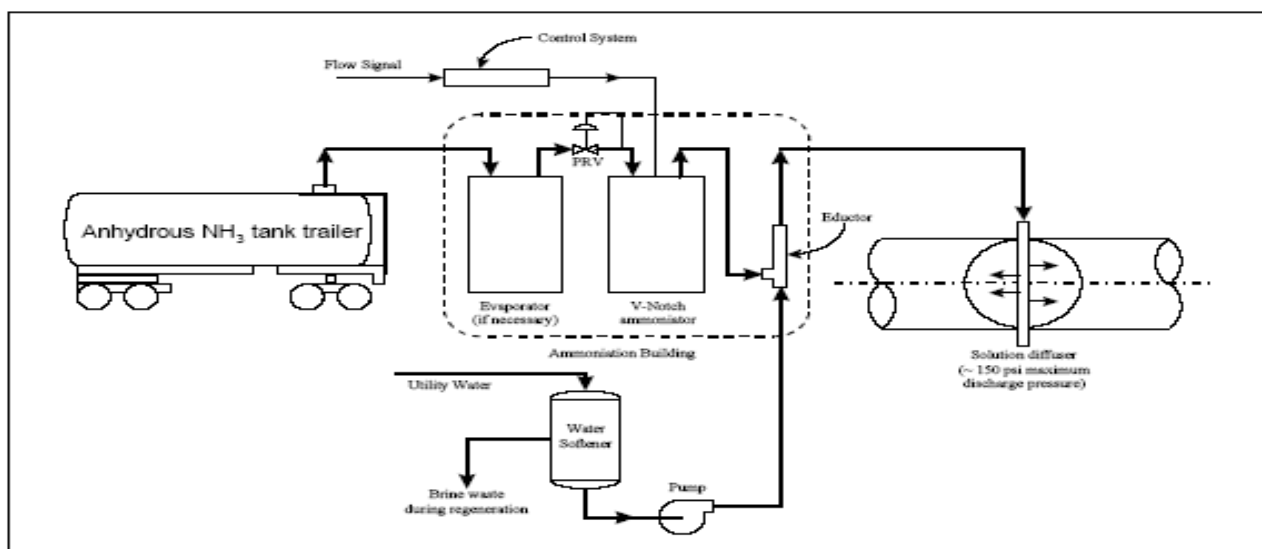
Per lavorare in sicurezza si dovrebbe evitare e prevenire la formazione di sostanze gassose azotate e la vaporizzazione dell'ammoniaca. Perciò quando si sta predisponendo la realizzazione dell'impianto il serbatoio dell'ammoniaca e quello del cloro vanno sistemati in luoghi diversi e lontani fra loro.

Se i serbatoi si trovano in locali chiusi deve essere predisposta, in base alle leggi vigenti nel Paese, un ottimo sistema di aerazione. Lo stoccaggio deve essere effettuato in ambienti freschi, i serbatoi devono essere protetti dalla luce del sole per evitare aumenti di temperatura e pressione.. In climi più caldi, un serbatoio all'aperto dovrebbe essere dipinto di bianco. In climi più freddi, il serbatoio dovrebbe essere coibentato per prevenire effetti indesiderati. Nella figura sottostante è mostrato un sistema di distribuzione dell'ammoniaca. Sebbene l'ammoniaca anidra sia un gas a temperature e pressione ambiente viene immagazzinato in recipienti e può essere trasportato come un liquido in pressione. In questa fase l'ammoniaca è estremamente solubile in acqua. La figura seguente illustra lo schema tipico di un impianto per il dosaggio di ammoniaca in soluzione acquosa.



SISTEMA ALIMENTAZIONE AMMONIACA IN SOLUZIONE

Mentre la figura successiva è relativa al dosaggio di ammoniaca gassosa che richiede, ovviamente una presolubilizzazione in un flusso di acqua adeguato.



Source: Montanmerv. 1985.

SISTEMA ALIMENTAZIONE AMMONIACA ANIDRA

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 60 a 62

2.3.7 Formazione di DBP e misure di controllo

L'efficacia delle clorammine per controllare la produzione di DBP dipende da una varietà di fattori,


- a) rapporto cloro-ammoniaca;
- b) il punto di introduzione di ammoniaca rispetto a quello del cloro;
- c) il tempo di contatto;
- d) pH.

La monoclorammina dà luogo a concentrazioni più basse di nitriloacetone e non produce significativi DBPs rispetto al cloro. Il cloro libero, oltre che con l'ammoniaca, reagisce con l'azoto organico per formare una varietà di clorammine organiche. Questi sono sottoprodotti indesiderabili perché non hanno nessuna attività biocida. Possono accadere molte altre reazioni, quali ossidazione di ferro, manganese e altri inorganici, come solfuro di idrogeno che sottraggono il cloro dalla formazione di monoclorammina. Ovviamente questo problema è nullo o non significativo quando la cloroammina viene utilizzata e prodotta nelle acque da immettere in distribuzione e quindi già chiarificate.

Il problema potenziale con le clorammine è la nitrificazione. Per evitare questo il rapporto cloro-ammoniaca deve essere compreso tra 3:1 e 5:1, con un valore ottimale di 4:1.

Se si lavora con un eccesso di ammoniaca questa funge da nutriente per i batteri che crescono e nitrificano già all'interno dei filtri a sabbia, convertendo l'ammoniaca a nitrati, passando attraverso un prodotto intermedio che sono i nitriti. Questi riducono rapidamente il cloro libero, accelerano la decomposizione delle clorammine e possono influire sulla determinazione del cloro libero. La riduzione del cloro causa un aumento di batteri e conseguentemente una potenziale proliferazione di coliformi totali.

Tra i sottoprodotti della monoclorammina, l'inconveniente principale è rappresentato dalla potenziale produzione di N-Nitroso, di methyl amine (NDMA) (e analoghi), particolarmente sentito a causa della tossicità di questi composti, peraltro, riscontrabili in modo quasi ubiquitario nell'ambiente e negli alimenti (WHO, 2004; WHO, 2006). L'Agenzia per la protezione ambientale della California, nota per la sua severità scientifica, nell'ambito del documento di studio per la proposizione del limite di NDMA nell'acqua (California Environmental Protection Agency, 2006) propone un VP. di 0,003 µg/l ben più restrittivo rispetto al valore proposto all'O.M.S. che è di 0,1 µg/l (WHO, 2006) probabilmente anche in relazione alle problematiche analitiche connesse all'accertamento di questo sottoprodotto che sono attualmente elevate per

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE DISINFEZIONE	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 61 a 62

la complessità della metodica di estrazione ed analisi (EPA: Document EPA/600/R-05/054, 2004).



L'uso ormai decennale di questo disinfettante ha portato ad una sua regolamentazione normativa in numerosi Paesi (tra cui USA, Canada, Australia, Nuova Zelanda e la stessa UE) alla formulazione delle linee guida dell'OMS che prevedono concentrazioni massime ammesse, espresse come cloro combinato, comprese fra 2 e 4 mg/l.

2.3.8 Dosaggi

All'acqua disinfettata con ipoclorito viene dosata l'ammoniaca (con un valore massimo di 0,5 mg/l) in funzione del giusto rapporto e in modo tale che sia garantita la produzione di 1,5 mg/l di monocloroammina, che ha la funzione esclusiva di garantire la clorocopertura di rete ed evitare il fenomeno della ricrescita batterica.

2.4 Metodi Analitici

La determinazione analitica è basata sulla quantificazione del cloro combinato calcolato come differenza tra il cloro totale e libero. Le procedure analitiche devono distinguere quello che è il cloro libero da quello totale:


- amperometrico (4500-CI D)
- N,N-diethyl-p-phenylenediamine (DPD)
 -  ferroso titrimetrico (4500-CI F)
 -  colorimetrico (4500-CI G)

2.5 Metodi colorimetrici

Durante il corso degli anni, numerosi sono stati i metodi colorimetrici utilizzati per determinare il cloro libero e totale. Due i metodi indicati:

1. metodi di DPD;
2. Lapteff (1974).

I metodi di DPD sono operativamente più semplici rispetto all'amperometrico. Essi sono stati accettati e sono diffusi ampiamente sul campo. Si basano sul fatto che monoclorammina ed ammoniaca libera possono esistere nello stesso campione di acqua. L'ipoclorito aggiunto si combina con l'ammoniaca libera a formare monoclorammina. In presenza di un catalizzatore a base di cianoferrato, la monoclorammina nel campione reagisce sostituendo fenolo per formare un

	NOZIONI DI POTABILIZZAZIONE <i>DISINFEZIONE</i>	Settore Complesso
		Potabilizzazione
		MODULO VI
		Pag. 62 a 62

composto intermedio. Il composto intermedio sostituisce fenolo per formare indofenolo (un composto di color verde) che è proporzionale all'ammontare della monoclorammina presente nel campione analizzato. L'ammoniaca libera è determinata per comparazione di intensità del colore, con e senza l'aggiunta di ipoclorito.

L'analisi può essere influenzata da molti fattori inclusi pH, temperatura, tempo della reazione e la presenza di altri ioni, come alluminio, rame, cloruri ferro, manganese fosfati, silice carbonati, zinco, nitriti e nitrati.