

# ACQUE UMANO: DESTINATE al CONSUMO TECNICHE di DISINFEZIONE

Dott. Giorgio Temporelli  
Ufficio Tecnico-Scientifico S.I.T.A.

## Introduzione

Il DP del 24 maggio 1988 n° 236, riguardante l'attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, stabilisce dei Valori Guida (VG) e dei valori di Concentrazione Massima Ammissibile (CMA) per i vari parametri caratterizzanti la qualità di un'acqua potabile; parametri organolettici; parametri chimico-fisici; parametri riguardanti le sostanze indesiderabili; parametri riguardanti le sostanze tossiche; parametri microbiologici.

Considerando che la contaminazione microbiologica è la fonte d'inquinamento più frequente per le acque prelevate da pozzi, da falde e più in generale da sorgenti non controllate, in questo articolo verranno esaminate solamente le tecniche di disinfezione maggiormente utilizzate.

## Fonti di inquinamento microbiologico

L'inquinamento microbiologico si verifica ogni qual volta siano presenti nell'acqua *batteri, virus, protozoi, funghi e alghe*.

Di gran lunga più frequenti sono i batteri che, presenti in un'enorme varietà di ceppi, popolano la maggior parte delle sorgenti non controllate sotto forma di coliformi e streptococchi fecali. La presenza di coliformi e streptococchi fecali è indice di inquinamento fognario o comunque fecale; tale presenza deve portare all'immediato inutilizzo dell'acqua stessa a scopo potabile, sia per l'uomo che per gli animali da allevamento. La presen-

za di virus è certa nelle acque di scarico fognario e in molte sorgenti non protette. Molti virus, specialmente gli enterovirus, possono risultare più insidiosi dei batteri a causa della loro maggiore resistenza al cloro usato come agente disinfettante; è possibile infatti che anche a seguito di una clorazione, sufficiente a debatterizzare la rete idrica, rimangano tracce di contaminazione virale. L'infezione da protozoi avviene quando il parassita entra nel corpo ospite; tale passaggio può avvenire mediante alimenti od oggetti su cui possono trovarsi le forme cistiche oppure per trasmissione da altri esseri viventi. La presenza di alghe e funghi non induce un pericolo diretto poiché questi microrganismi non sono patogeni per l'uomo, d'altra parte in essi possono albergare germi patogeni e virus; per questo motivo la loro presenza può risultare allarmante nelle acque ad uso potabile.

Il DP n° 236 del Maggio 1988 prevede la potabilità microbiologica di un'acqua solo se il livello di contaminazione rientra nei valori indicati in tabella 1.

PARAMETRI MICROBIOLOGICI	VALORI GUIDA	CMA
Coliformi totali	-	0 (campione 100 ml)
Coliformi fecali	-	0 (campione 100 ml)
Streptococchi fecali	-	0 (campione 100 ml)
Spore di clostridi tollato riduttore	-	0 (campione 100 ml)
Conto coliformi su Agar (36 °C)	10 (campione 1ml)	-
Conto coliformi su Agar (22 °C)	100 (campione 1ml)	-
Conto coliformi su Agar per acque confezionate in recipienti chiusi (36 °C)	5 (campione 1ml)	20
Conto coliformi su Agar per acque confezionate in recipienti chiusi (22 °C)	20 (campione 1ml)	100

Tabella 1 - Valori stabiliti dal DP N° 236 Maggio 1988

A giudizio dell'autorità sanitaria competente può essere effettuata anche la ricerca nei confronti di altri microrganismi come: *alghe, batteriofagi anti E.coli, elminti, enterobatteri patogeni, enterovirus,*

*funghi, protozoi, pseudomonas aeruginosa, stafilococchi patogeni.*

In ogni caso devono risultare costantemente assenti nelle acque potabili gli enterovirus, i batteriofagi anti E.coli, gli enterobatteri patogeni e gli stafilococchi patogeni.

## Disinfettare l'acqua: quanto?

Per rispondere quindi alla domanda di quanto occorra disinfettare l'acqua, al fine di far rientrare i parametri di contaminazione nei valori stabiliti, occorre conoscere:

- 1) la tipologia della contaminazione;
- 2) la quantità della contaminazione;
- 3) il tipo di trattamento che si intende utilizzare.

In linea teorica ogni procedimento di disinfezione è rivolto alla riduzione della carica contaminante sino a valori talmente bassi per cui la probabilità di assumere, assieme all'acqua, una dose infettante efficace sia quasi zero. Il valore "quasi zero" sta ad indicare che, nella teoria, non si può parlare di rimozione totale della carica microbica, ma

che si può arrivare a valori di abbattimento percentuale così elevati (99,99% e oltre) da poter considerare, in pratica, che l'acqua sia microbiologicamente pura. A seconda della tipologia della

contaminazione e del trattamento che si intende utilizzare è possibile stabilire quanto intenso deve e può essere il processo di disinfezione. Deve perché evidentemente al di sotto di un certo valore il trattamento risulta inefficace o parzialmente efficace, allo stesso tempo occorre verificare che si possa eseguire una massiccia azione disinfettante senza generare controindicazioni da sovradosaggio, occorre cioè garantire l'innocuità dell'agente germicida.

## Disinfettare l'acqua: come?

Gli agenti più comunemente utilizzati per la disinfezione dell'acqua destinata all'uso potabile sono solo una piccola parte del numero insieme dei disinfettanti, di origine chimica o fisica, esistenti in natura.

**Tra gli agenti chimici ricordiamo:** alogeni (cloro e cloro derivati in particolare); ozono (O<sub>3</sub>); acqua ossigenata (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>); ossigeno (O<sub>2</sub>). Il loro comune principio di funzionamento si basa sull'elevato potere ossidante.

**Tra gli agenti fisici:**

- **Microfiltrazione** - le dimensioni micrometriche delle maglie filtranti permettono di trattenere le particelle più fini, e una buona parte di ceppi batterici;
- **Ultrafiltrazione** - arrivando a dimensioni inferiori al decimo di micron si crea una barriera per i microrganismi, ed alcuni virus;
- **Osmosi inversa** - le membrane osmotiche sono costituite da una struttura di dimensioni nanometriche, vengono in questo caso trattati tutti i tipi di virus e batteri;
- **Temperatura** - è risaputo che ogni microrganismo è in grado di vivere e riprodursi solamente in certi intervalli di temperatura, è questo il principio di funzionamento delle varie tecniche di sterilizzazione e pastorizzazione;
- **Radiazioni UV-C** - tale radiazione elettromagnetica viene assorbita per risonanza ed è in grado di modificare la struttura del DNA di ogni microrganismo. Questo assicura un elevato potere germicida;
- **Radiazioni ionizzanti** - i raggi X e

i raggi  $\gamma$  hanno la stessa natura

MICROORGANISMO	T min. (°C)	T max (°C)	T ideale (°C)
Psicofili	-5/+5	15/20	12/15
Psicrotrofi	-5/+5	30/35	25/30
Mesofili	5/15	35/47	30/40
Termofili	30/45	60/90	55/75

Tabella 2 - Temperature di sviluppo batterico

ma sono più energetici e più penetranti della radiazione ultravioletta; sono in grado di ionizzare (togliere elettroni) le molecole con cui interagiscono le quali, perdendo la loro funzionalità, inducono la morte cellulare;

- **Ultrasuoni** - l'azione germicida di queste onde sonore dipende dalla loro frequenza oltre che dal tempo di esposizione, gli ultrasuoni hanno un'azione distruttiva nei confronti degli organismi unicellulari e possono indurre la rottura di complesse molecole chimiche.

A seconda della loro efficacia distruttiva nei confronti dei microrganismi, gli agenti di natura chimica o fisica possono essere anche classificati come:

- **agenti disinfettanti** - azione distruttiva nei confronti di determinati agenti patogeni;
- **agenti debatterizzanti** - azione distruttiva nei confronti dei batteri;
- **agenti sterilizzanti** - azione distruttiva nei confronti di ogni microrganismo;
- **agenti antisettici** - azione rivolta all'impedimento o al rallentamento temporaneo della riproduzione microbica.

La scelta di un agente disinfettante deve essere fatta considerando i seguenti principali fattori:

- **tipologia della contaminazione:** il contenuto della carica microbica, in termini di specie e numero, è indispensabile per la scelta dell'agente disinfettante e del suo dosaggio;
- **tipologia chimica - fisica dell'acqua da trattare:** il valore del pH, la temperatura, la torbidità, la qualità e la quantità delle sostanze contenute sono alcuni dei parametri che possono influenzare l'efficacia di un agente disinfettante;
- **innocuità dell'agente disinfettante:** nel caso in cui l'acqua sia destinata all'uso potabile, dell'uomo e/o

degli animali, occorre assicurarsi

che il mezzo disinfettante e gli eventuali sottoprodotti di reazione con alcune

sostanze contenute non possano in nessun modo arrecare danni alla salute;

- **aspetti economici:** i costi di realizzazione e mantenimento di un impianto di disinfezione possono essere molto differenti a seconda delle esigenze e dei risultati prefissati, in base a quanto richiesto dall'utente finale o quanto stabilito dalla normativa vigente.

## Tecnologie a confronto

Tra le varie tecnologie in uso per i trattamenti di potabilizzazione microbiologica delle acque, le più frequentemente utilizzate sono quelle che prevedono l'impiego di forti ossidanti come il cloro, cloro derivati e ozono oppure l'installazione di apparecchi debatterizzatori che sfruttano l'emissione di luce ultravioletta in banda C.

### CLORO E CLORO DERIVATI

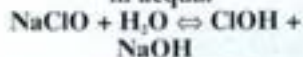
Gli elementi alogeni (cloro, bromo, fluoro, iodio, astato), costituenti il 7° gruppo della tavola periodica, presentano la caratteristica comune di essere tra gli elementi più elettronegativi e di essere energici ossidanti molto reattivi; per questo motivo trovano largo impiego come disinfettanti. Tra tutti gli alogeni il cloro e suoi derivati occupano il primo posto tra i disinfettanti normalmente utilizzati per la potabilizzazione delle acque.

**chimica del cloro gas in acqua:**  
 $Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons ClOH + HCl$

Il pH di tale soluzione concentrata è altamente acido. Il cloro in soluzione acquosa reagisce con vari ioni (Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, NO<sup>2-</sup>, HS<sup>-</sup>) ossidandoli e, alterando le sostanze organiche, svolge l'azione disinfettante. Il cloro è un gas molto irritante per l'apparato respiratorio; attacca infatti bronchi, bronchioli e alveoli polmonari. A causa di tali effetti collaterali per il cloro gas, che appare nell'elenco dei gas tossici contenuto nel DM del 6/2/1935, è

previsto un valore di MCT (massima concentrazione tollerabile).

## chimica dell'ipoclorito di sodio in acqua:



Il pH di tale soluzione concentrata è basico. Più conosciuto con i sinonimi di varechina e candeggina, l'ipoclorito di sodio si presenta come un liquido di colore giallo paglierino dall'odore acre soffocante il quale viene impiegato in massicce quantità nella potabilizzazione delle acque e per il candeggio delle fibre tessili grazie al suo spiccato potere ossidante.

Come per il cloro, anche l'ipoclorito può presentare degli effetti fisiologici collaterali, legati essenzialmente alla bontà del dosaggio in acqua come disinfettante. Il dosaggio dell'ipoclorito di sodio in acqua avviene in genere tramite pompa dosatrice munita di contatore lancia impulsi; con tale dispositivo viene assicurata una corretta miscelazione del prodotto in funzione del flusso di acqua da trattare.

## chimica del biossido di cloro in acqua:



Il biossido di cloro è un gas giallo-arancio dall'odore sgradevole che presenta uno spiccato potere ossidante nei confronti delle sostanze organiche. Come il cloro gas è fortemente irritante per gli occhi, la pelle e le vie respiratorie, pertanto anch'esso è soggetto alle disposizioni legislative sull'impiego dei gas tossici: DM del 6/2/1935. Come agente disinfettante dà buoni risultati nei confronti di batteri, spore batteriche e alghe, specialmente se impiegato in fase di clorazione finale delle acque di utilizzo; d'altra parte la scarsa stabilità, dovuta alla facile retrogradazione a cloriti e clorati, ne limita la sua efficacia.

## OZONO

In natura l'ozono svolge i ruoli più diversi; viene prodotto dall'ossigeno atmosferico per effetto delle scariche elettriche dei temporali e dall'interazione con radiazioni a corta lunghezza d'onda ed è pre-

sente nella fascia atmosferica compresa tra i 15 e i 30 km (stratosfera).

Questo può essere considerato l'ozono "buono" poiché, grazie al suo elevato potere assorbente nei confronti della radiazione ultravioletta a corta lunghezza d'onda, funge da mantello protettivo nei confronti delle radiazioni solari più nocive. Un ruolo più "cattivo" è invece quello giocato dall'ozono generato dall'inquinamento urbano che

si trova nella fascia più bassa dell'atmosfera (troposfera), ovvero tra il suolo e i 15 km. Artificialmente l'ozono viene prodotto grazie al vasto campo di utilizzo che ricopre in materia di disinfezioni. In laboratorio è possibile generarlo facendo passare, attraverso l'aria, scariche elettriche ad alto voltaggio (15.000 - 20.000 V) con frequenza 50 - 500 Hz. Esistono anche speciali lampade a vapori di Hg, cosiddette ozonogene, che presentano un picco di emissione radioattiva intorno alla lunghezza d'onda  $\lambda = 185 \text{ nm}$ . Tale radiazione è in grado di formare ozono quando l'acqua da trattare viene sufficientemente arricchita con ossigeno. La formazione/distruzione dell'ozono è regolata dalla seguente relazione di equilibrio:



Tra le caratteristiche più salienti del gas ozono ricordiamo che:

- ✱ è una sostanza instabile data la sua forte tendenza a ritrasformarsi in ossigeno molecolare; pertanto, non avendo azione disinfettante residua, necessita sempre di una cloro copertura;
- ✱ presenta forti proprietà ossidanti e per questo risulta avere spiccate proprietà battericide; contemporaneamente però determina composti ossigenati di presunta tossicità (aldeidi, chetoni, perossidi);
- ✱ è un forte irritante per le vie respiratorie e per gli occhi e può provocare, per i soggetti esposti per lungo tempo, un abbassamento del metabolismo basale;
- ✱ il limite di esposizione in sicurezza

è stato fissato a 0,1 ppm per 8 ore consecutive.

La soglia olfattiva per l'ozono è 0,05 ppm, solo lievemente più alta della concentrazione ambientale presente nell'aria di alcune città. Comunque, siccome si ha assuefazione in breve tempo, la soglia olfattiva soggettiva non costituisce un indice attendibile della concentrazione presente nell'aria. Tra i vari impieghi dell'ozono si ha la disinfezione delle acque per piscine ed acquedotti e la deodorazione di scarichi grazie all'elevata ossidazione di tutte le sostanze contenute nell'acqua; tuttavia tali impieghi sono condizionati dagli elevati costi di produzione e dalla richiesta di monitoraggio continuo dovuta alla sua elevata tossicità.

## RADIAZIONE ULTRAVIOLETTA

Ormai da diversi decenni sono presenti sul mercato apparecchiature per la disinfezione delle acque che sfruttano l'elevato potere germicida della luce ultravioletta a corta lunghezza d'onda UV-C ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ). Tale radiazione viene artificialmente prodotta da speciali lampade a vapori di mercurio il cui principio di funzionamento è analogo a quello delle tradizionali lampade fluorescenti per uso civile; ciò che cambia è il tipo di gas contenuto (mercurio piuttosto che neon o sodio). La scintilla che attraversa la lampada, dal catodo all'anodo, viene generata classicamente con dispositivi di starter e reattori oppure con accenditori elettronici; essa ha il compito di stimolare il gas contenuto ad emettere radiazione. La qualità della radiazione dipende dal gas: la luce generata dai vapori di mercurio è quasi monocromatica; infatti oltre il 95% dell'emissione è a 254 nm mentre solo una piccolissima parte appartiene al violetto visibile. Per questo tipo di lampade occorre tenere presenti anche altri fattori che possono influenzare significativamente la quantità dell'emissione quali la temperatura di lavoro (ideale 20 °C) e la purezza del quarzo utilizzato (il vetro comune è opaco alla luce UV). L'elevato effetto germicida è attribuibile all'interazione fisica tra la radiazione UV-C e i costituenti fondamentali (nucleotidi) degli acidi nucleici (DNA-





RNA) presenti in ogni essere vivente. A causa della loro conformazione strutturale gli acidi nucleici risultano un ottimo materiale assorbente nei confronti della radiazione UV-C presentando un picco di assorbimento risonante intorno a 254 nm. Qualsiasi tipo di cellula che venga sufficientemente esposta a tale radiazione viene disattivata o resa incapace di riprodursi in quantità infettive all'interno del corpo che la ospita, pertanto può essere considerata inoffensiva. Livelli di abbattimento molto elevati si possono ottenere per qualsiasi microrganismo a patto di utilizzare apparecchi correttamente dimensionati.

I parametri che principalmente intervengono nel calcolo del dimensionamento di un apparecchio debatterizzatore a raggi UV-C sono i seguenti: *portata di punta; potenza UV-C emessa dalle lampade a vapori di mercurio utilizzate; tempo di esposizione; natura della contaminazione microbiologica; % di abbattimento richiesta; caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua da trattare.* Occorre sottolineare che gli ele-

vati rendimenti di questi apparecchi sono ottenuti in tutta sicurezza e senza nessuna controindicazione; infatti, proprio per la natura del tipo di trattamento fisico, vengono assicurate:

- ✱ *l'inalterabilità delle caratteristiche dell'acqua trattata (né gusto, né composizione chimica vengono modificate dalla radiazione ultravioletta);*
- ✱ *la mancanza del limite superiore di dosaggio (maggiore è il dosaggio e maggiore è il livello di disinfezione raggiunto senza nessun effetto secondario).*

## Conclusioni

Per quanto detto appare evidente che, nell'ambito della disinfezione dell'acqua, non esiste una tecnolo-

gia in assoluto migliore, ci sono invece tecniche più opportune o convenienti di altre. Nella pratica questo vuol dire analisi dei costi e garanzie. Vantaggi e limiti sono caratteristiche di ogni tecnica utilizzabile; quindi vengono spesso impiegate "tecniche miste" (UV + cloro copertura, UV + ozono, ecc) al fine di ottenere risultati ad hoc per ogni esigenza.

### Bibliografia

- Saverio Simeone, "Microbiologia e laboratorio", Editrice San Marco
- Italo Melchiorre e Umberto Fortuna, "Igiene e disinfezione dell'acqua", Editrice Il Campo
- Giorgio Temporelli, "La radiazione UV-C nella disinfezione delle acque primarie", periodico L'Ambiente N. 3, Maggio-Giugno 1999, Ranieri Editore.

	UV-C	CLORO	OZONO
Installazione	Semplice	Semplice	Non Semplice
Frequenza manutenzione	Bassa	Alta	Continua
Costi in funzionamento	Contenuti	Contenuti	Elevati
Sistemi di controllo	Buoni	Scarsi	Buoni
Efficacia germicida	Elevata	Elevata	Elevata
Controindicazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>✱ occorre acqua limpida</li> <li>✱ non c'è efficacia per le contaminazioni che avvengono a valle del debatterizzatore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✱ modifica gusto</li> <li>✱ modifica PH</li> <li>✱ sottoprodotti tossici</li> <li>✱ inefficace contro alcuni virus e batteri</li> </ul>	L'impianto deve essere sempre controllato essendo un gas tossico
Tempi di contatto	Pochi secondi	30-60 minuti	Pochi secondi

Tabella 3 - Tecniche di disinfezione a confronto