

CAPITOLO 7

TRATTAMENTI DI DISINFEZIONE

7.1 DISINFEZIONE PER CLORAZIONE

I trattamenti classici di depurazione delle acque reflue, finalizzati alla rimozione del carbonio (BOD_5) e delle sostanze sedimentabili, hanno un'azione scarsamente efficace nella rimozione di virus e batteri. I trattamenti primari e secondari esercitano un'azione “sequestrante” rispetto a questi ultimi, ma in genere non sono sufficienti a garantire il rispetto dei limiti imposti dalla normativa e, soprattutto, il pericolo d'eventuali inquinamenti microbiologici.

Pertanto, il carico microbiologico richiede specifici trattamenti di ossidazione o di disinfezione al fine di abbattere soprattutto la presenza dei microrganismi patogeni nei liquami in uscita dalla depurazione. L'utilizzo di disinfettanti va però valutato caso per caso, in considerazione della possibile *tossicità* che ognuno di questi può esercitare nei confronti dei microrganismi, poiché alcuni possono risultare più sensibili di altri all'azione di un agente disinfettante. In ogni caso, il processo di disinfezione finale non deve essere impiegato per mascherare eventuali deficienze depurative dei trattamenti a monte.

Oltre al tipo di microrganismi e d'agente disinfettante, diversi sono i parametri che influenzano l'efficacia e l'efficienza di un trattamento di disinfezione:

- *il pH e la temperatura delle acque reflue;*
- *il tipo ed il tempo di contatto, ovvero il livello di miscelazione tra agente disinfettante e microrganismi;*
- *la presenza di eventuali solidi sospesi o di sostanze disciolte, che possano interferire con la reazione principale.*

I processi di disinfezione maggiormente utilizzati vengono distinti sulla base dell'utilizzo di agenti disinfettanti a base di cloro (cloro gassoso, ipocloriti, biossido di cloro).

Per dimensionare o controllare un trattamento di disinfezione delle acque reflue si fa spesso riferimento a *modelli cinetici*: il più utilizzato è la Legge di Chick, che esprime la relazione teorica della velocità di abbattimento di una specie di microrganismi sottoposta ad un definito agente disinfettante:

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot N$$

dove:

N = carica batterica presente in 100ml di campione;

t = tempo di contatto (min.);

k = costante di scomparsa che tiene conto del fatto che tale legge fa riferimento al caso della presenza di un'unica specie e per un determinato agente disinfettante in condizioni di temperatura costante ed attività del disinfettante costante nel tempo in assenza di altri composti che, reagendo con esso, lo consumano.

Purtroppo, la relazione tra intensità o concentrazione di agente disinfettante e quantità di microrganismi presenti non è, in genere lineare: *nel caso della disinfezione per clorazione* si ricorre ad un'espressione del tipo:

$$N_t/N_o = (1 + 0,23 C_r t)^{-3}$$

dove:

No = carica batterica iniziale al tempo "t0" (in 100ml di reflu grezzo);

Nt = carica batterica finale al tempo "t" (<10 MPN/100ml come da Tab. 1/A della normativa- 152/99 e 258/00);

Cr = concentrazione cloro libero residuo al tempo "t" (<0.2 mg/l come da Tab. 1/A della normativa);

t = tempo di contatto (min.).

Dalla relazione (2) si ricava:

$$t_{c(\text{medio})} = \frac{\sqrt[3]{N_o/N_t} - 1}{0.23 \cdot C_r}$$

che fornisce il tempo di contatto medio necessario in funzione del cloro residuo, a parità di N_o e N_t .

Quindi una volta fissato il livello di abbattimento microbico che si vuole realizzare, noto il tempo di contatto e la portata di liquame da trattare, è possibile determinare il volume della vasca ove effettuare il trattamento:

$$V = Q \cdot t_c (\text{medio})$$

I *modelli empirici* disponibili in letteratura solitamente correlano l'efficacia della disinfezione, espressa come "x log", al prodotto concentrazione disinfettante-tempo di contatto ($C \cdot t$).

In particolare, per i disinfettanti chimici la relazione diventa $C^n \cdot t^m$, dove n ed m sono parametri che dipendono dal tipo di disinfettante e di microrganismo.

Il vantaggio dell'impiego degli xlog per esprimere l'efficacia della disinfezione risiede nella possibilità di sommare gli x log d'abbattimento nel caso di più processi in serie e nella rapida conversione in termini percentuali:

<i>x log</i>	<i>Percentuale d'abbattimento</i>
1 log	90%
2 log	99%
3 log	99.9%

Tab.5.1 - Percentuale di abbattimento

Disinfettare le acque d'approvvigionamento destinate al consumo umano e disinfettare le acque reflue sono temi ben diversi essendo diversi gli obiettivi, le tecniche ed i costi. Ciò che rimane inalterata è la chimica della disinfezione, poiché trattasi d'utilizzare comunque composti o radiazioni atti ad interferire biologicamente con gli organismi contaminanti (non necessariamente batteri o virus: anche organismi quali protozoi, nematodi, ecc.).

Il potere disinfettante ed ossidante del cloro viene impiegato nel trattamento terziario di disinfezione. Il processo di clorazione consiste nel dosare, nel liquame grezzo o depurato, un agente ossidante contenente cloro attivo quale:

- *Cloro gassoso o liquido;*
- *Ipoclorito di sodio;*
- *Ipoclorito di calcio;*
- *Diossido di cloro.*

Scelta dell'agente disinfettante

Fra i vari metodi, la clorazione con ipoclorito è tuttora quella più largamente applicata in tutto il mondo per una molteplicità di fattori: basso costo e facilità di trasporto e manipolazione. L'ipoclorito di calcio $[Ca(ClO)_2]$, sebbene più costoso, presenta circa il 65÷70% di cloro disponibile in più rispetto a quello di sodio (NaClO) ed è anche più stabile in quanto conservato allo stato solido ermeticamente sigillato.

Nella tabella 5.2 sono riportate le caratteristiche principali dell'ipoclorito.

SINONIMI O NOMI COMMERCIALI	Varechina, Candeggina, Acqua di Javel
FORMA COMMERCIALE	Solido (varie pezzature)
FORMULA CHIMICA	$Ca(ClO)_2$
MASSA MOLECOLARE	143
CONTENUTO DI SOSTANZA	65% (m/m) di cloro attivo

ATTIVA	
COSTITUENTI SECONDARI ED IMPURITÀ	NaCl
METODI DI PRODUZIONE	Clorazione di latte di calce e soda caustica seguita da filtrazione ed essiccamento
PRINCIPALI UTILIZZI NEL TRATTAMENTO DELL'ACQUA	Disinfettante primario e secondario, ossidante, rimozione dei composti ammoniacali

Tab.5.2 - Principali caratteristiche dell'ipoclorito di calcio (Fonte AMGA)

Il metodo di impiego del cloro, utilizzato nel programma, fa ricorso ad un certo quantitativo d'ipoclorito di sodio o di calcio per ottenere il desiderato dosaggio di cloro nella vaschetta di miscelazione. Il volume della vaschetta di miscelazione è dato dalla seguente formula:

$$V_{mix} = \frac{Q_{max}(14) \cdot t_c \text{ (vaschetta di miscelazione)}}{3600}$$

Dal punto di vista chimico il cloro, o un suo composto, a contatto con l'acqua viene rapidamente idrolizzato secondo la seguente reazione:



L'acido ipocloroso, formatosi a seguito di questa reazione di idrolisi, a sua volta ionizza:



con formazione di ione idronio e di anioni ipoclorito.

Entrambe le reazioni sono di equilibrio e sono più o meno spostate verso i prodotti a seconda del pH dell'acqua. Se l'ambiente di reazione è molto acido (pH < 2) il cloro è più stabile nella forma molecolare pertanto il grado di avanzamento della reazione (5) è trascurabile.

In presenza di un pH intorno a 5, il Cl_2 è, in sostanza, totalmente trasformato in acido ipocloroso. Con un valore di $\text{pH} \approx 10$, la reazione (6) è del tutto spostata verso destra quindi l'acido ipocloroso è in pratica completamente dissociato ed il cloro è presente solo come anione ipoclorito (a $\text{pH} > 9$, il 96% del cloro attivo disponibile è nella forma di ione ipoclorito).

Per valori di pH compresi tra 5 e 10, in soluzione saranno presenti contemporaneamente HClO e ClO^- in quantità relativa che dipende dal grado d'avanzamento delle reazioni (A) e (B) (a pH di poco superiori alla neutralità la soluzione contiene uguali quantità di acido ipocloroso indissociato e di ioni ipoclorito). Generalmente il processo di clorazione è compiuto con liquami d'origine domestica le cui caratteristiche rientrano in quest'ultimo caso.

Poiché l'azione battericida del cloro è più marcata quando si trova nella forma HClO , si avrà un'efficienza nell'abbattimento della carica microbica maggiore in ambiente moderatamente acido rispetto ad un liquame leggermente alcalino: con $\text{pH} > 8$ la facoltà disinfettante del cloro è notevolmente ridotta.

L'efficacia dell'acido ipocloroso è dovuta alla relativa facilità con la quale tale composto attraversa la parete cellulare. Lo ione ipoclorito è un disinfettante debole non riuscendo ad attraversare facilmente la parete cellulare dei microrganismi.

In generale, affinché le specie ossidanti del cloro, HClO e ClO^- , possano esercitare la loro azione disinfettante, è necessario garantire che esse permangano a contatto con il liquame da trattare per un tempo sufficiente. Si ricorre allora ad una vasca nella quale, tramite l'introduzione d'appositi setti che hanno il compito aggiuntivo di rendere difficili i corto-circuiti, è stato realizzato un percorso a zig-zag. Nella seguente figura, ad esempio sono presenti 4 canali, per cui la lunghezza totale L del percorso del liquido è pari a $4 * \lambda$ (dove λ è la lunghezza della vasca).

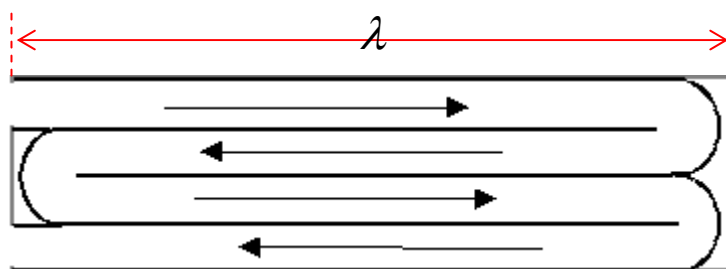


Fig. 5.1 - Schema di bacino di contatto ottimale per la clorazione (Nurizzo, 1994; Vismara et al., 1991)

In altri termini, per una buona omogeneizzazione è necessario che il bacino di contatto abbia poche inversioni di flusso a 180°, i setti siano realizzati in modo da evitare eccessive turbolenze ed il rapporto tra la lunghezza λ della vasca di clorazione e la larghezza W_c del canale sia circa 18 (Masotti, 1987, pag.113).

Il volume della vasca di contatto è dato da:

$$V_c \text{ (vasca di contatto)} = \frac{Q_{\max}(14) \cdot t_{\text{rit}} \text{ (vasca di contatto)}}{60} = L \cdot W_c \cdot H$$

dove:

V_c = Volume della vasca di clorazione [m^3];

L = lunghezza totale del percorso del fluido (canale) [m];

W_c = larghezza del canale [m];

H = altezza del canale [m];

t_{rit} = tempo di ritenzione nella vasca di contatto [min]

$Q_{\max}(14)$ = portata massima [m^3/h].

Poiché:

$$\lambda = L/N_{ca}$$

dove:

N_{ca} = Numero di canali affiancati.

e considerando che

$$\lambda / W_c = 18$$

la lunghezza totale del canale L sarà valutata come:

$$L = \sqrt{\frac{18 \cdot Nca \cdot Q_{\max} (14) \cdot t_c}{60 \cdot H}}$$

Per evitare che nella vasca di clorazione avvenga la sedimentazione si deve mantenere una velocità orizzontale non inferiore a 0,15 m/s (Masotti, 1987, pag.843):

$$v_{or} = \frac{Q_{\max} (14)}{3600 \cdot S_t}$$

dove:

S_t : sezione trasversale del canale [m²] = $W_c \cdot H$;

v_{or} : velocità orizzontale [m/s].

Solitamente per la disinfezione delle acque reflue il tempo di contatto necessario è >15 min con una concentrazione di cloro attivo <10 mg/l.

Nella tabella 5.3 sono riportati i valori $C \cdot t$ (mg · min/l) necessari per inattivare alcuni tipi di agenti infettanti, dove C è la concentrazione di reagente e t è il tempo di contatto.

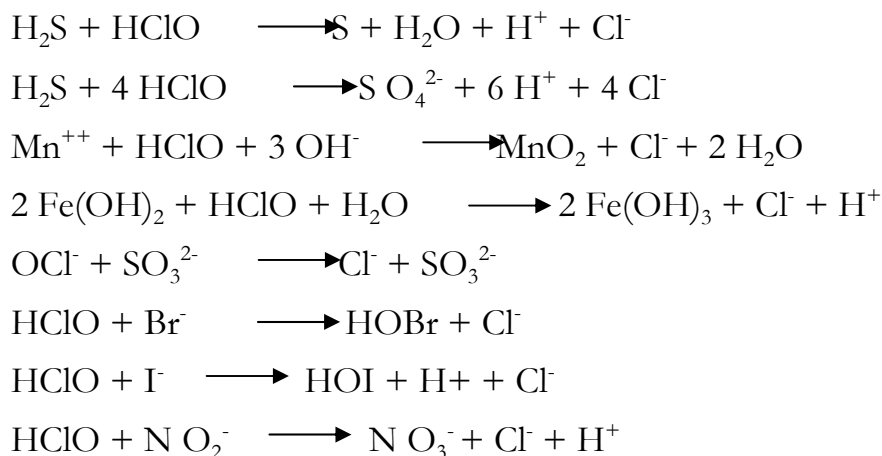
Tipo di disinfettante	Cloro
<i>Condizioni ideali di pH</i>	6-7
Unità di misura	C x t
<i>E. coli</i>	0.03-0.05
<i>Polio Virus</i>	1.1-2.5
<i>Giardia muris</i>	30.630

Tab.5.3 - Dose di disinfettante che inattiva il 99% dei microrganismi (T = 5°C) (Fonte AMGA)

Il cloro ossida le sostanze organiche e le sostanze riducenti inorganiche eventualmente presenti. In particolare, ai fini dell'efficacia della disinfezione,

assumono rilevanza queste ultime reazioni giacché, essendo molto veloci, sottraggono parte del cloro dalle desiderate trasformazioni atte alla rimozione dei microrganismi.

Tra le reazioni cosiddette di “cloro richiesta” vi sono:



La presenza di composti organici azotati, di ammoniaca e di sostanze ossidabili in grado di reagire con il cloro, è molto importante in quanto reagiscono formando prodotti che nella titolazione vengono considerati come cloro-residuo combinato. Il tipo di prodotti dipende dalla temperatura, dal tempo di reazione, dal pH e dal rapporto iniziale Cl_2/NH_3 . Nonostante si abbiano valori diversi a seconda dell’impianto circa il corretto valore di break-point d’applicare, essi sono in genere compresi tra 8 (valore minimo stechiometrico) e 10, a seconda della concentrazione degli altri inquinanti che possono reagire col cloro.

Le reazioni del cloro in soluzione acquosa con ammoniaca libera sono note come reazioni di break-point dal nome della curva che lega il cloro totale residuo¹ (combinato attivo [presente nelle cloroammine o in altri composti con legami N-Cl (i.e. dicloroisocianurato di sodio)] e libero [presente come una miscela in equilibrio di ioni ipoclorito (OCl^-) ed acido ipocloroso (HOCl)] al cloro totale aggiunto. Al momento dell’immissione del cloro nell’ambiente di reazione si ha il consumo del reagente senza produzione di cloro residuo dopodiché inizia la reazione con l’ammoniaca. Nel primo tratto della curva, con l’immissione del cloro, si vengono a formare composti, che costituiscono il cloro residuo combinato, quali: cloroammine (NH_2Cl , NHCl_2 , NCl_3) il cui potere disinfettante è circa 70÷80 volte inferiore a quello dello

¹ Quando il cloro è presente in acqua in forma disponibile, cioè in grado di agire come ossidante, i termini, usati indifferentemente in letteratura, “disponibile”, “attivo”, o “residuo” si equivalgono (D. L.vo n. 152 Maggio 1999, allegato 2).

stesso ipoclorito, composti clorurati con le sostanze organiche e vengono ossidate le sostanze inorganiche riducenti (NCl_3 si forma anche per reazione dell'acido ipocloroso con composti organici azotati, sebbene con un chimismo complesso ed ancora in parte sconosciuto).

Nel secondo tratto, incrementando la quantità di cloro impiegata, i prodotti clorurati instabili, quali le cloroammine, vengono a loro volta eliminati consumando notevoli quantità del cloro disponibile in soluzione: per questo motivo il cloro residuo diminuisce fino a toccare il minimo nel cosiddetto “punto di rottura” o “break point”.

In tale punto l'azoto ammoniacale scompare e l'acqua contiene solo composti stabili del cloro e tracce di cloro attivo libero (acido ipocloroso) e di cloroammine (mono- e dicloroammina; la tricloroammina si forma in concentrazioni rilevanti solo con rapporti $\text{Cl}_2/\text{NH}_3 > 15$ e con $\text{pH} < 4$) (v. Riganti, Conio: “Aspetti chimici della disinfezione”. Ingegneria chimica ambientale, XXVII, Ottobre 1998).

Successivamente, ogni eventuale aggiunta di cloro comporta un corrispondente aumento della concentrazione del cloro libero.

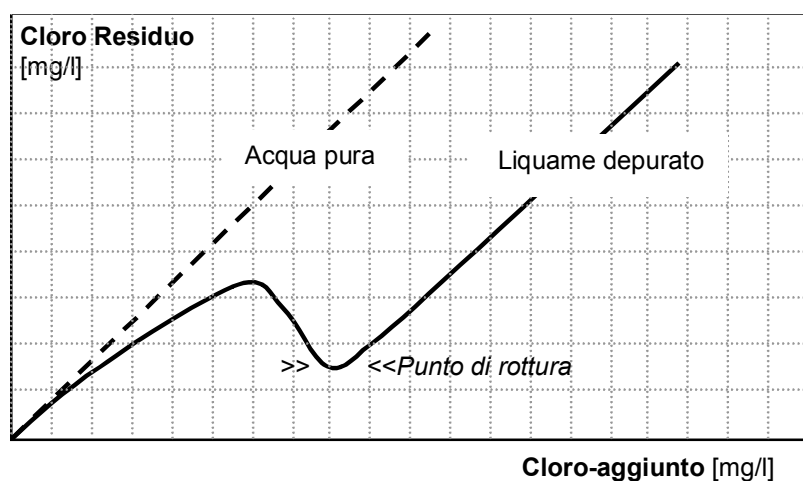


Fig. 5.2 - Andamento tipico del cloro residuo in funzione del cloro aggiunto per acqua pura e per liquame depurato (Curva di Break-Point) (Masotti, 1987; Passino, 1995)

Nel trattamento di disinfezione dell'effluente di un impianto di depurazione, vengono impiegate concentrazioni di cloro lontane da quelle caratteristiche del punto di rottura e con tempi di contatto sufficientemente lunghi (circa 1 ora sulla portata media oraria), tali da consentire la lenta idrolisi delle cloroammine formatesi generando nuovamente l' HClO (come già detto è l'acido ipocloroso ad avere potere disinfettante; il cloro legato in modo non reversibile, cioè

presente in composti stabili, non interviene nell'asepsi). La dose da impiegare dipenderà naturalmente dalla concentrazione di ammoniacale nell'influenza da trattare:

Concentrazione desiderata di cloro [mg/l]	Cloro liquido [kg]	Ipoclorito di sodio			Ipoclorito di calcio
		Al 5% di cloro disponibile [litri]	Al 10% di cloro disponibile [litri]	Al 15% di cloro disponibile [litri]	Al 65% di cloro disponibile [litri]
2	0.203	3.884	2.008	1.295	0.312
10	0.993	19.392	9.908	6.711	1.535
50	5.033	97.015	49.617	33.395	7.67

Tab.5.4 - Quantità di reagente che deve essere aggiunta all'acqua per ottenere varie concentrazioni di cloro in 100m³ di acqua (la quantità d'ipoclorito di sodio è basata sulla concentrazione volumetrica di cloro disponibile sia nel caso d'ipoclorito di sodio, sia nel caso d'ipoclorito di calcio un non corretto stoccaggio può causare una riduzione del cloro disponibile). Fonte: AWWA-"Disinfecting water mains" (modificato)

7.2 DISINFEZIONE PER RAGGI ULTRAVIOLETTI

La disinfezione delle acque con raggi ultravioletti rappresenta un valida alternativa ai metodi di disinfezione tradizionali che prevedono l'immissione di sostanze chimiche. Questo sistema si basa sul potere disinfettante che ha una particolare banda di frequenza della radiazione solare: i raggi ultravioletti in banda C (UV-C: lunghezza d'onda 200-280 nanometri).

I raggi UV-C distruggono i microrganismi patogeni in pochi secondi, prevenendo la loro ulteriore moltiplicazione, infatti questi agiscono direttamente sul patrimonio genetico, cioè sul DNA del batterio.

Il punto di massima azione battericida si ha con lunghezze d'onda comprese tra i 250 e 260 nanometri.

Tale processo ha il principale vantaggio di non prevedere l'immissione di sostanze chimiche nell'acqua e non ne altera quindi i parametri chimici e fisici. In questo modo, però, non viene offerta nessuna azione disinfettante residua per i successivi passaggi che dovrà effettuare la corrente liquida. Inoltre questo

tipo di processo è fortemente penalizzato dalla presenza di solidi sospesi che possono impedire ai raggi emessi dalle lampade di colpire i microrganismi.

Il sistema di disinfezione a raggi UV prevede un'apposita unità di trattamento costituita da un canale in cui particolari lampade a vapori di mercurio sono immerse nel liquido da disinfettare. Tali unità sono in genere dotati di sistemi di pulizia delle lampade oppure sfruttano l'effetto pulente dovuto all'incremento di velocità della corrente idrica nel canale. Nel dimensionamento occorre però tenere presente che le velocità nel canale non devono essere eccessive, infatti affinché il processo funzioni correttamente bisogna sempre garantire al volume liquido un certo tempo di esposizione alla radiazione delle lampade.

Anche per la disinfezione a raggi UV è possibile parlare di dosaggio, dove per dose si intende:

$$D \text{ [mJ/cm}^2\text{]} = I \text{ [mW/cm}^2\text{]} \cdot t_{\text{esposizione}} \text{ [s]}$$

dove:

$I \text{ [mW/cm}^2\text{]} =$ Intensità di radiazione

$t_{\text{esposizione}} \text{ [s]} =$ Tempo di esposizione

La dose richiesta dal processo dipende dalla percentuale di rimozione batterica che si intende raggiungere, misurata in unità logaritmiche di abbattimento. Una unità logaritmica (Log1) è pari ad un abbattimento del 90% e per tale percentuale di riduzione batterica è richiesta una dose D_{10} , che varia a seconda del tipo di microrganismo che si vuole abbattere (per es. per l'escherichia coli $D_{10} = 3-6 \text{ mJ/cm}^2$). La relazione che intercorre tra l'unità logaritmica di abbattimento e la percentuale di abbattimento è del tipo:

$$\text{Log } n = \sum_{i=1}^n 9 \cdot 10^{-i}$$

quindi per Log 2 avremo il 99% di abbattimento, per Log3 il 99,9% e così via.

La dose richiesta dal sistema sarà invece pari a:



$$Dr [mJ/cm^2] = n \cdot D_{10}$$

dove:

n = numero di unità logaritmiche di abbattimento volute

D_{10} = dose necessaria ad un abbattimento del 90%

Una volta assegnate le unità logaritmiche di abbattimento batterico da raggiungere e quindi ottenuta la dose richiesta, è possibile ottenere l'intensità di radiazione necessaria:

$$I[mW/cm^2] = \frac{Dr}{t_{esposizione}}$$

Il tempo di esposizione è in genere fissato pari a 5-7 s, ma può essere anche ricavato dalla geometria dell'unità di trattamento, infatti:

$$\text{Volume}_{disp} = \text{Volume}_{tot} - \text{Volume}_{lampade}$$

Volume_{disp} = volume disponibile alla massa liquida

Volume_{tot} = volume totale nell'unità di trattamento

$\text{Volume}_{lampade}$ = volume occupato dalle lampade

Il volume totale dell'unità di trattamento sarà pari a:

$$\text{Volume}_{tot} = W_{ch} \cdot L_{ch} \cdot H$$

W_{ch} = larghezza canale

L_{ch} = lunghezza canale

H = altezza della colonna d'acqua

Il volume occupato dalle lampade sarà pari a:

$$\text{Volume}_{lampade} = n \cdot d \cdot \text{arc lung}$$

7-13



n = numero di lampade

d = diametro lampade

arc lung = lunghezza della lampada

Il tempo di permanenza all'interno del canale è calcolato come:

$$t_{\text{esposizione}} [\text{s}] = \text{Volume}_{\text{disp}} [\text{m}^3] / Q [\text{m}^3/\text{s}]$$

L' intensità di radiazione precedentemente calcolata è intesa come valore effettivo, cioè l'intensità che effettivamente è misurata ad una certa distanza (cammino ottico) dalla sorgente. Infatti l'effettiva intensità di radiazione è un valore ridotto rispetto a quello che si ha alla sorgente e si calcola come:

$$I_0 [\text{mW} / \text{cm}^2] = \frac{I [\text{mW} / \text{cm}^2]}{T \cdot F_p}$$

dove I_0 è l'intensità di radiazione alla sorgente, T è la trasmittanza ed F_p è il fattore sporco/età della lampada. La Trasmittanza dipende dal cammino ottico, dalla concentrazione di solidi e dal coefficiente di assorbimento, secondo la legge di Lambert-Bearn. Valori tipici della trasmittanza sono:

	Trasmittanza percentuale (%)
trattamento primario	67-45
trattamento secondario	74-60
trattamento terziario	82-67

Il fattore di sporcamento/età tiene invece conto che l'intensità di radiazione diminuisce con l'avanzare del ciclo di vita della lampada. In genere F_p varia tra 0,5 e 0,9.

E' possibile una volta dimensionata l'unità di disinfezione calcolare l'effettivo abbattimento di carica batterica come:

$$\%abb = (1 - N/N_0) \cdot 100 \approx [1 - \exp(-k \cdot Dr \cdot t_{esposizione})] \cdot 100$$

Scelta del numero di lampade

Le lampade a raggi ultravioletti più utilizzate in commercio sono quelle a vapori di mercurio, di queste esistono due tipologie: ad alta pressione e a media pressione. Le prime hanno intensità di radiazione maggiori, pertanto ne occorre un numero minore nel canale (in genere una o due) ma hanno anche un ciclo di vita di minore durata quindi devono essere sostituite con maggiore frequenza. Le lampade a media pressione hanno invece una più lunga durata ed essendo necessario installarne un numero maggiore di due, offrono una maggiore copertura in caso di avaria o sporcamento eccessivo di una lampada.

Nel dimensionamento del numero di lampade necessarie occorre tenere conto della irradiazione complessiva richiesta dal processo e della irradiazione offerta dalla singola lampada. L'irradiazione totale necessaria è calcolabile attraverso la seguente relazione suggerita da J. Sobotka:

$$W = Q \cdot Dr \cdot \ln(1/T) / 1000$$

dove:

W = irradiazione totale necessaria [kW]

Q = portata influente [l/s]

Dr = dosaggio richiesto [mJ/cm²]

mentre il numero teorico di lampade è dato da:

$$n. \text{ lampade} = W/W_i$$

dove W_i [kW] è l'irradiazione offerta dalla singola lampada.



Ovviamente non tutta la potenza assorbita dalla lampada sarà restituita in termini di irradiazione ultravioletta, ma solo una percentuale rappresentata dal rendimento della lampada η . Quindi in realtà W_i è data da:

$$W_i = P_{ass} \cdot \eta$$

dove P_{ass} rappresenta la potenza assorbita dalla singola lampada in kW.

Una volta ottenuto il numero di lampade è possibile ricavare la potenza totale assorbita come:

$$(P_{ass})_{tot} = (P_{ass})_i \cdot n.lampade$$

da cui si ricava, moltiplicando per un opportuno coefficiente maggiorativo (in genere 1,4 –1,5), la potenza installata.

Riferimenti

- [1] EPA “Ultraviolet Disinfection Guidance Manual”, 2003
- [2] EPA: Municipal Wastewater Disinfection, 1986
- [3] R. Baur, D. Murray “Design consideration for ultraviolet disinfection”, Brawn and Caldwell
- [4] www.novuscd.it
- [5] Documentazione interna Anova.