

CONDUZIONE DEGLI IMPIANTI A FANGHI ATTIVI

Parte quinta - L'efficienza

Relatore: Fulvio Borrino

L'efficacia del processo

I rendimenti depurativi del mio impianto sono adeguati ?

Trattamento di reflui domestici: qualità dell'effluente (dati da: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal, 2007, IWA)						
Processo	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	Solidi sospesi (mg/l)	Azoto totale (mg/l)	Posforo totale (mg/l)	Batteri (UFC / 100 ml)
Convenzionale	15-40	45-120	20-40	> 20	> 4	10 ⁶ -10 ⁷
Convenzionale + <u>filtrazione</u>	10-20	30-60	10-20	> 20	3-4	10 ² -10 ⁴
Aerazione prolungata	10-35	30-100	20-40	> 20	> 4	10 ⁶ -10 ⁷
Convenzionale + rimozione di N	15-40	45-120	20-40	< 10	> 4	10 ⁶ -10 ⁷
Convenzionale + rimozione di N e P	15-40	45-120	20-40	< 10	1-2	10 ⁶ -10 ⁷

L'efficienza del processo

I rendimenti depurativi adeguati sono raggiunti in modo efficiente ?

*costi riferiti a
grandi impianti
(1 \$₂₀₀₇ = 1,01 €₂₀₂₅)*

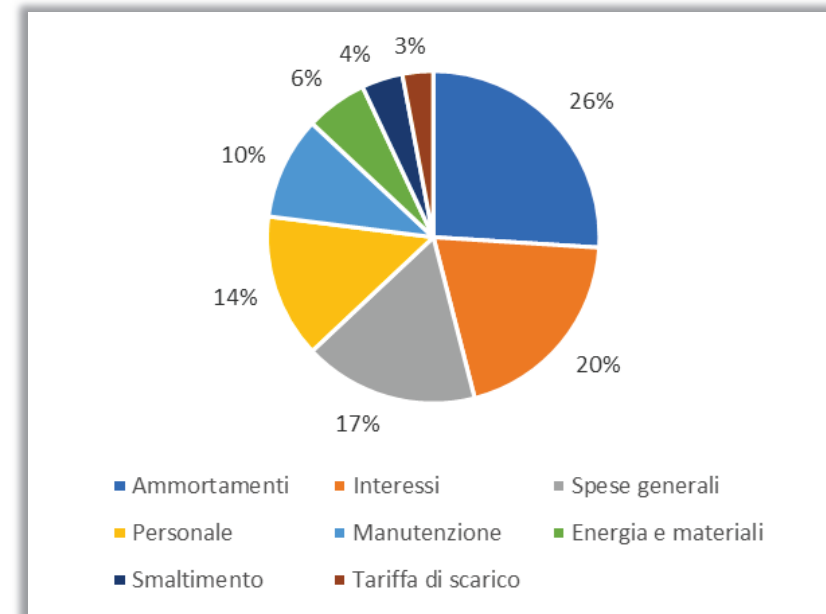
Trattamento di reflui domestici: requisiti e indici generali di efficienza (dati da: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal, 2007, IWA)				
Processo	Potenza installata (W/AE)	Potenza consumata (kWh/AE anno)	Fango disidratato (l/AE)	Costi operativi (\$/AE anno)
Convenzionale	2,5-4,5	18-26	35-90	4-8
Convenzionale + <u>filtrazione</u>	2,5-4,5	18-26	40-100	6-10
Aerazione prolungata	3,5-5,5	20-35	40-105	4-8
SBR (aerazione prolungata)	4,5-6,0	20-35	40-105	4-8
Convenzionale + rimozione di N	2,2-4,2	15-22	35-90	4-9
Convenzionale + rimozione di N e <u>P</u>	2,2-4,2	15-22	35-90	6-10

L'efficienza del processo

Voci di costo per il trattamento delle acque reflue in Germania
(Marktdaten Abwasser 2003, ATV-DVWK & BGW, Korrespondenz Abwasser, Nr. 9, 2004)

i costi di costruzione sono simili a quelli operativi (46% vs 54%)

le spese generali comprendono quelle di laboratorio, amministrative, assicurative, per guardiania, per consulenze, di pulizia



L'efficienza del processo

Le raccolte statistiche interessano soprattutto gli impianti di trattamento delle acque reflue **urbane**

I costi operativi sono fortemente influenzati dalla taglia dell'impianto (grandi economie di scala): in Germania si aggirano sui 25 €/AE all'anno per depuratori da 100.000 AE ma sui 35 €/AE all'anno per impianti da 10.000 AE

Sotto i 10.000 AE, i costi operativi mostrano una grande variabilità tra impianto e impianto e superano anche i 50 €/AE all'anno, con quote del 35-40% per le spese di personale

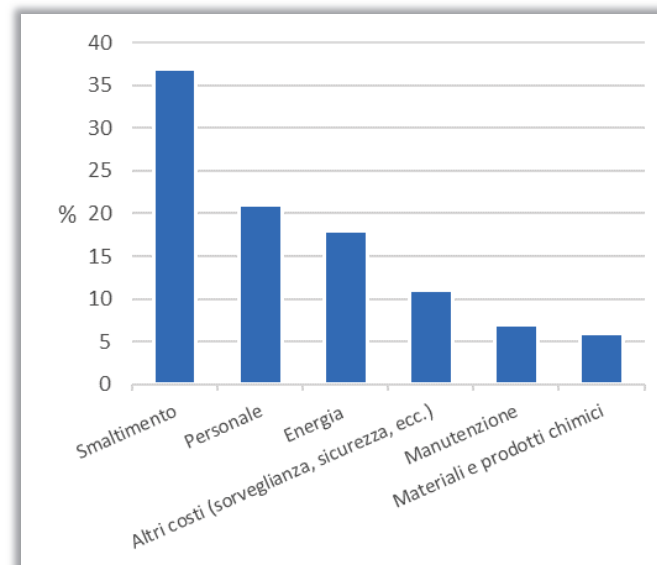
ove possibile, gli impianti consortili sono una scelta intelligente

L'efficienza del processo

Costi operativi

Voce di costo	Costo [% rispetto al costo totale di gestione]
Personale	25-35
Energia elettrica	20-30
Reattivi chimici	2-15
Manutenzione ordinaria	5-10
Smaltimento fanghi	30-50
Altro	1-5

Valori indicativi da Rapporto ISPRA 93/2009

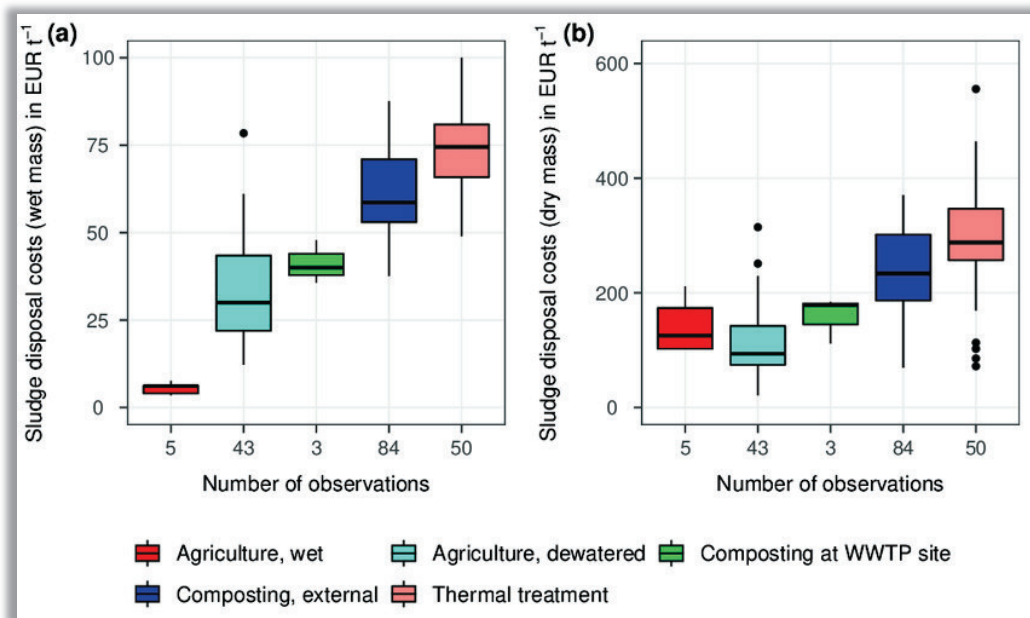


Impianto da 5000 AE
dati da U. Halbach, *Abwasserentsorgung in Brandenburg, Orientierungswerte Jahr 2003, Land Brandenburg, 2003*

L'efficienza del processo

Costi di **smaltimento** dei rifiuti

(Amann, A. et Al., *Operation and Performance of Austrian Wastewater and Sewage Sludge Treatment as a Basis for Resource Optimization*, Water 2021, 13, 2998)



lo smaltimento dei rifiuti diversi dai fanghi ha un peso trascurabile

L'efficienza del processo

Spese di **personale**: comprendono le ore di manutenzione, che negli impianti tedeschi ammontano al 30% del totale

L'incidenza di questa voce è strettamente connessa al livello di automazione dell'impianto e alla strategia manutentiva:

impianti poco automatizzati e con sola manutenzione di emergenza hanno inevitabilmente alti costi di personale



L'efficienza del processo

Una stima grossolana dei costi annuali di manutenzione può essere fatta come percentuale dei costi d'investimento iniziali:

- 2,5-6% per interventi edili
- 2-6% per manutenzioni meccaniche
- 2-6% per manutenzioni elettriche

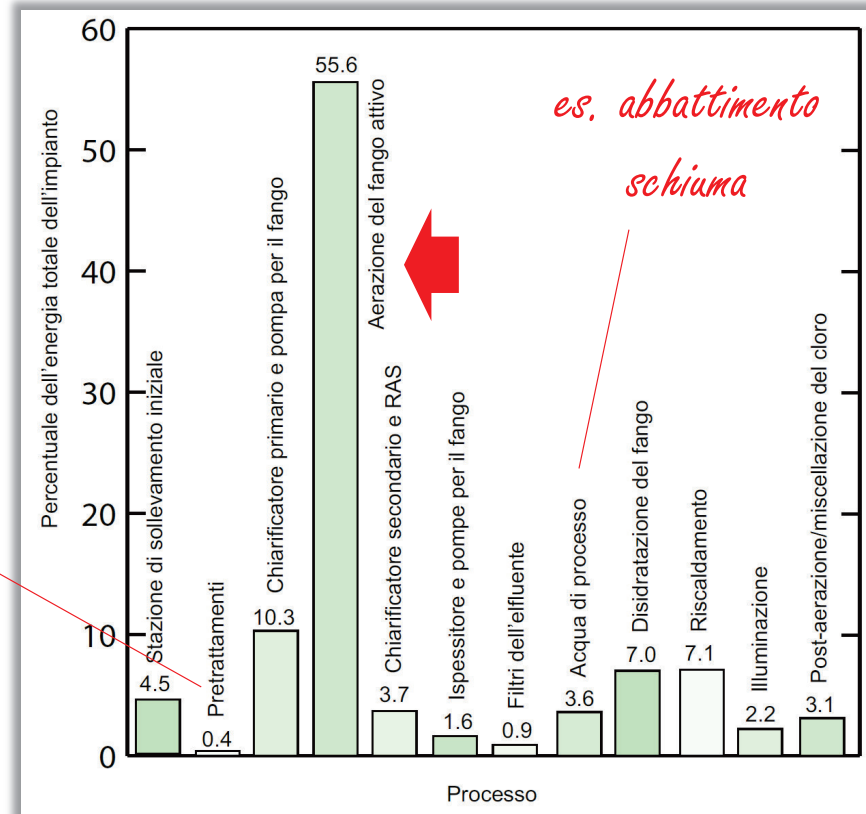


L'efficienza del processo

Consumi di energia elettrica per impianti convenzionali

(Rapporto ISPRA 93/2009; dati tratti da Metcalf & Eddy, *Ingegneria delle acque reflue - Trattamento e riuso*, 2006, McGraw-Hill)

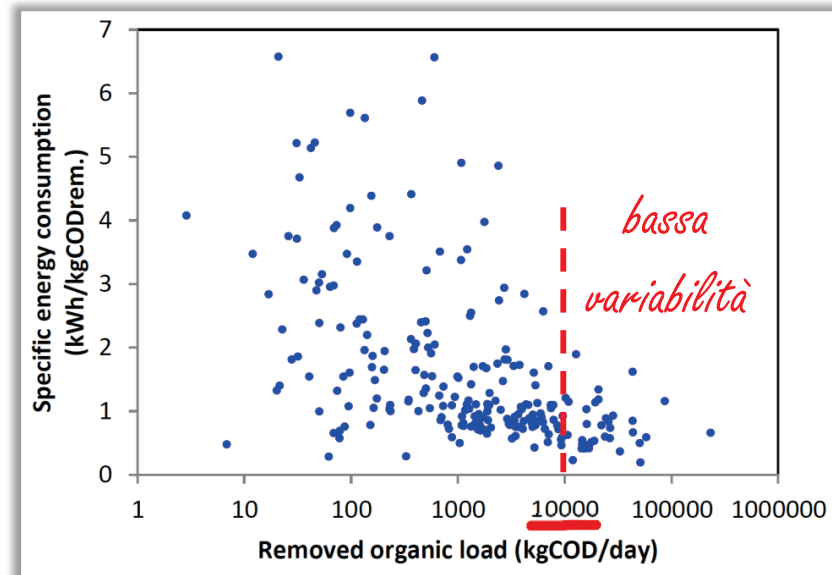
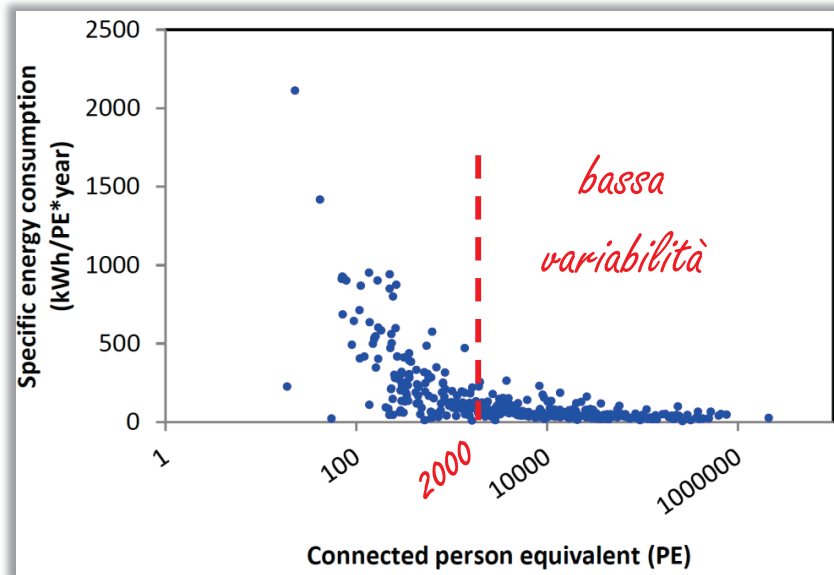
es. grigliatura



L'efficienza del processo

Studio su 369 impianti nel mondo

(ENERWATER – Deliverable 2.1 Study of published energy data Final version – 2015-09-30)



(PE = AE)

L'efficienza del processo

Nei costi per materiali e **prodotti chimici** sono comprese spese che andrebbero imputate ad altri centri di costo: lubrificanti (manutenzione ordinaria), carburanti per autotrazione (manutenzione e spese generali), reagenti di laboratorio (spese generali)

I prodotti chimici impiegati nella gestione ordinaria del processo sono invece:

- coadiuvanti per la disidratazione dei fanghi
- coadiuvanti di sedimentazione (flocculanti)
- prodotti disinfettanti
- metanolo/etanolo (impianti con post-denitrificazione)
- sali per la precipitazione del fosforo (defosforazione chimica)

L'uso di coadiuvanti

Antischiuma

In un impianto ben condotto non dovrebbero essere necessari prodotti antischiuma, salvo durante la fase di avviamento

In un sedimentatore primario dotato di schiumatore meccanico, il controllo della schiuma dovrebbe poter essere assicurato da semplici spruzzi di acqua



spruzzi d'acqua

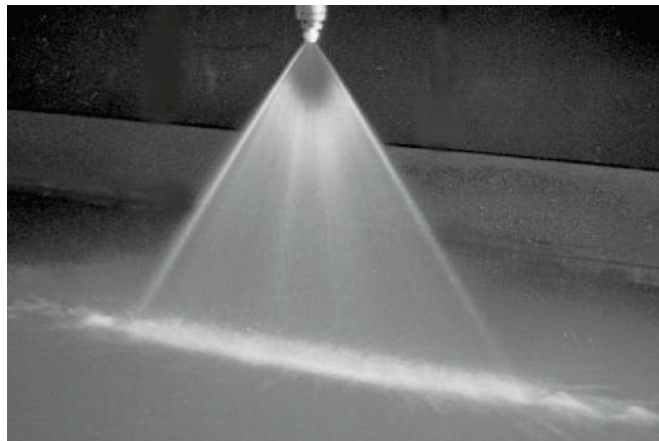
schiumatore della schiuma

<https://gillteq.com>

Ugelli spruzzatori

In molti impianti, gli spruzzi di acqua sono realizzati con ugelli improvvisati

Difficilmente tali soluzioni possono dimostrarsi efficienti quanto gli ugelli ingegnerizzati disponibili in commercio



<https://bex.com>

L'uso di coadiuvanti

Per le emergenze, possono essere impiegati prodotti a base di oli **siliconici** idrofobi e particelle di silice idrofobicizzate (circa 5% in peso): il contenuto di oli siliconici può variare dal 10 al 90% ed è sempre conveniente impiegare i prodotti più concentrati

I prodotti diluiti sono emulsioni e contengono quindi acqua e agenti emulsionanti: hanno il vantaggio di facilitare il dosaggio automatico



L'uso di coadiuvanti

In caso di schiume da Nocardia o Microthrix, che formano filamenti idrofobi, sono invece necessari prodotti idrofili a base di **glicoli**: per tale motivo, alcuni antischiuma siliconici per uso generale sono una miscela di oli siliconici e glicoli polietilenici o polipropilenici



L'uso di coadiuvanti

Se l'impianto è dotato di ugelli per l'abbattimento meccanico della schiuma, il prodotto può essere pre-miscelato con l'acqua impiegata per tale servizio

In caso contrario, può essere introdotto direttamente sulla superficie del bacino, lontano dallo scolmatore della schiuma, oppure nei liquami in ingresso

... ma un uso prolungato di antischiuma può determinare problemi ai diffusori dell'ossigeno e alle membrane filtranti

L'uso di coadiuvanti

Nutrienti

La fonte di **azoto** più economica è l'urea granulare, una sostanza non pericolosa, solubile in acqua, costituita da azoto per il 46%

Va dosata a monte del trattamento: nell'eventuale vasca di equalizzazione, nella fossa delle pompe di sollevamento, all'uscita dell'eventuale sedimentatore primario o nel canale di riciclo dei fanghi

Può essere gestita anche come solido, mediante una coclea dosatrice



<https://www.ortal.it>

L'uso di coadiuvanti

La fonte di **fosforo** più economica è invece l'acido fosforico concentrato, un liquido **corrosivo** per la pelle e per gli occhi, che contiene il 25% di acqua e poco meno del 24% di fosforo

Va dosato negli stessi punti dell'urea mediante una pompa dosatrice

Per motivi antinfortunistici, le tubazioni in pressione dell'impianto di dosaggio dovrebbero essere schermate con materiale trasparente



<https://www.aquabond.ca>

L'uso di coadiuvanti

La fonte di **carbonio** più economica è costituita dal metanolo puro, un liquido **infiammabile, tossico** per ingestione e per contatto con la pelle (cecità, morte), che contiene il 37,5% di carbonio

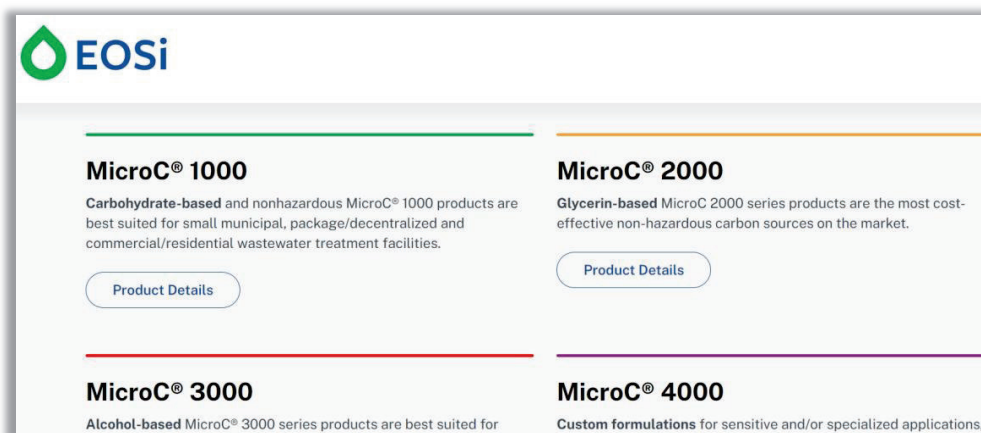
Il punto di dosaggio dipende dallo scopo: per liquami con eccesso di azoto e/o fosforo, negli stessi punti dell'urea; in impianti con vasca di post-denitrificazione in tale vasca



<https://www.chemiphase.co.uk>

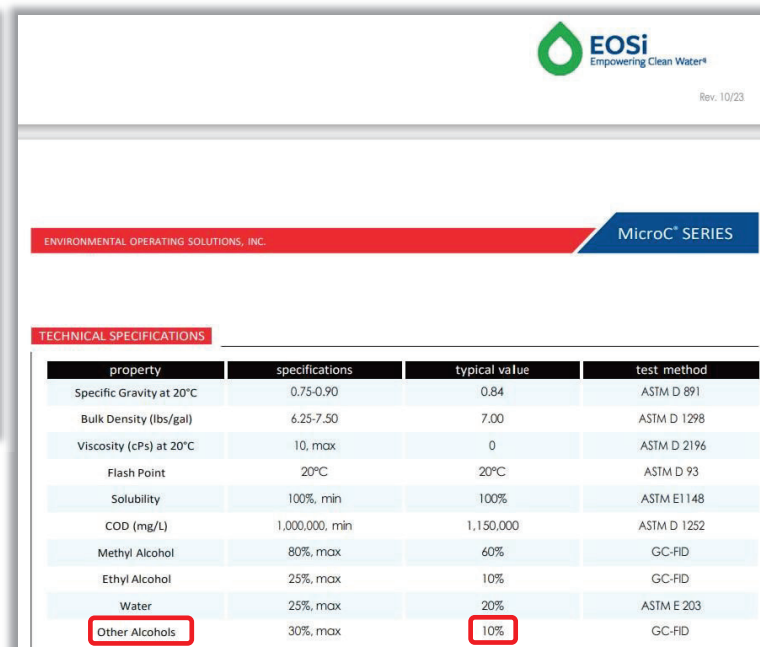
Il metanolo

Per acquistarlo è richiesta una **licenza doganale**: sono pertanto commercializzate miscele di alcool etilico, metilico e isopropilico esenti da licenza nonché sottoprodotti agroindustriali di diversa origine



The screenshot shows the EOSi product overview page. It features the EOSi logo at the top left. Below the logo, there are four product cards arranged in a 2x2 grid. Each card has a title, a brief description, and a 'Product Details' button. A red arrow points from the 'MicroC® 3000' card towards the technical specifications table on the right.

Product	Description
MicroC® 1000	Carbohydrate-based and nonhazardous MicroC® 1000 products are best suited for small municipal, package/decentralized and commercial/residential wastewater treatment facilities.
MicroC® 2000	Glycerin-based MicroC 2000 series products are the most cost-effective non-hazardous carbon sources on the market.
MicroC® 3000	Alcohol-based MicroC® 3000 series products are best suited for
MicroC® 4000	Custom formulations for sensitive and/or specialized applications.



The screenshot shows the EOSi technical specifications page for the MicroC® SERIES. It features the EOSi logo at the top right and the text 'Rev. 10/23'. Below the logo, there is a red banner with 'ENVIRONMENTAL OPERATING SOLUTIONS, INC.' and 'MicroC® SERIES'. A table titled 'TECHNICAL SPECIFICATIONS' is displayed, with columns for property, specifications, typical value, and test method. The 'Other Alcohols' row is highlighted with a red box, showing a typical value of 10%.

property	specifications	typical value	test method
Specific Gravity at 20°C	0.75-0.90	0.84	ASTM D 891
Bulk Density (lbs/gal)	6.25-7.50	7.00	ASTM D 1298
Viscosity (cPs) at 20°C	10, max	0	ASTM D 2196
Flash Point	20°C	20°C	ASTM D 93
Solubility	100%, min	100%	ASTM E1148
COD (mg/L)	1,000,000, min	1,150,000	ASTM D 1252
Methyl Alcohol	80%, max	60%	GC-FID
Ethyl Alcohol	25%, max	10%	GC-FID
Water	25%, max	20%	ASTM E 203
Other Alcohols	30%, max	10%	GC-FID

L'uso di coadiuvanti

Alcalinizzanti

Vanno impiegati per stabilizzare il pH di liquami a bassa alcalinità e garantire un pH > 7,5 nella fase di nitrificazione

Sono dosati dopo l'eventuale sedimentatore primario, considerando che 1 mg/l di CaCO_3 equivale a:

- 0,56 mg/l di CaO
- 0,80 mg/l di NaOH
- 1,06 mg/l di Na_2CO_3

L'uso di coadiuvanti

La calce viva, un solido **corrosivo** per pelle e occhi, è il prodotto più economico, ma richiede un impianto di spegnimento giustificato solo per grandi impianti

La soda caustica al 50% è una soluzione **corrosiva** per pelle e occhi, che va impiegata schermando le tubazioni di dosaggio in pressione con materiale trasparente

Il carbonato di sodio è un solido solubile in acqua, **irritante** per gli occhi ma non corrosivo: è l'alcalinizzante più costoso ma anche la scelta più frequente per la gestione di piccoli impianti



<https://www.schroeder-bauzentrum.de>

L'uso di coadiuvanti

Coagulanti

Dovrebbero essere impiegati solo per contrastare il fenomeno dei fiocchi leggeri (torbidità dell'effluente) in attesa di rimuovere le cause del problema

I più comuni sono sali di **alluminio** (solfato, cloruro e alluminato di sodio) e di **ferro** (solfato e cloruro): hanno tutti reazione acida e possono essere dosati solo in reflui di adeguata alcalinità

Quando aggiunti all'acqua, Al e Fe formano una serie di specie idrate, la cui natura dipende dal pH, dalla temperatura, dalla concentrazione e dalle modalità di miscelazione

L'uso di coadiuvanti

Sono oggi commercializzati coagulanti pre-idrolizzati con prestazioni adeguate in ampi intervalli di pH e di temperatura dei liquami

Alcuni prodotti pre-idrolizzati, come il policloruro di alluminio (PAC), sono preparati mediante aggiunta di basi e determinano quindi minori effetti sul pH

una delle tante denominazioni commerciali del PAC (presumibilmente al 18% di Al_2O_3)

pericolo di gravi lesioni oculari



<http://www.unichemsnc.com>

L'uso di coadiuvanti

I coagulanti dovrebbero essere dosati con pompa dosatrice in ingresso al sedimentatore secondario, con un dosaggio determinato mediante prove di coagulazione (*jar test*)

dose efficace



dose insufficiente

<https://acornwater.ie>

L'uso di coadiuvanti

Attenzione !

Per i reflui industriali sono definiti limiti di scarico sia per l'alluminio sia per il ferro

Tabella 3. Valori limiti di emissione in acque superficiali e in fognatura.

Numero parametro	PARAMETRI	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in rete fognaria (*)
1	pH		5,5-9,5	5,5-9,5
2	Temperatura	°C	(1)	(1)
3	colore		non percettibile con diluizione 1:20	non percettibile con diluizione 1:40
4	odore		non deve essere causa di molestie	non deve essere causa di molestie
5	materiali grossolani		assenti	assenti
6	Solidi speciali totali (2)	mg/L	≤ 80	≤ 200
7	BOD5 (come O2) (2)	mg/L	≤ 40	≤ 250
8	COD (come O2) (2)	mg/L	≤ 160	≤ 500
9	Alluminio	mg/L	≤ 1	≤ 2,0
10	Arsenico	mg/L	≤ 0,5	≤ 0,5
11	Bario	mg/L	≤ 20	-
12	Boro	mg/L	≤ 2	≤ 4
13	Cadmio	mg/L	≤ 0,02	≤ 0,02
14	Cromo totale	mg/L	≤ 2	≤ 4
15	Cromo VI	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,20
16	Ferro	mg/L	≤ 2	≤ 4



L'uso di coadiuvanti

Polielettroliti

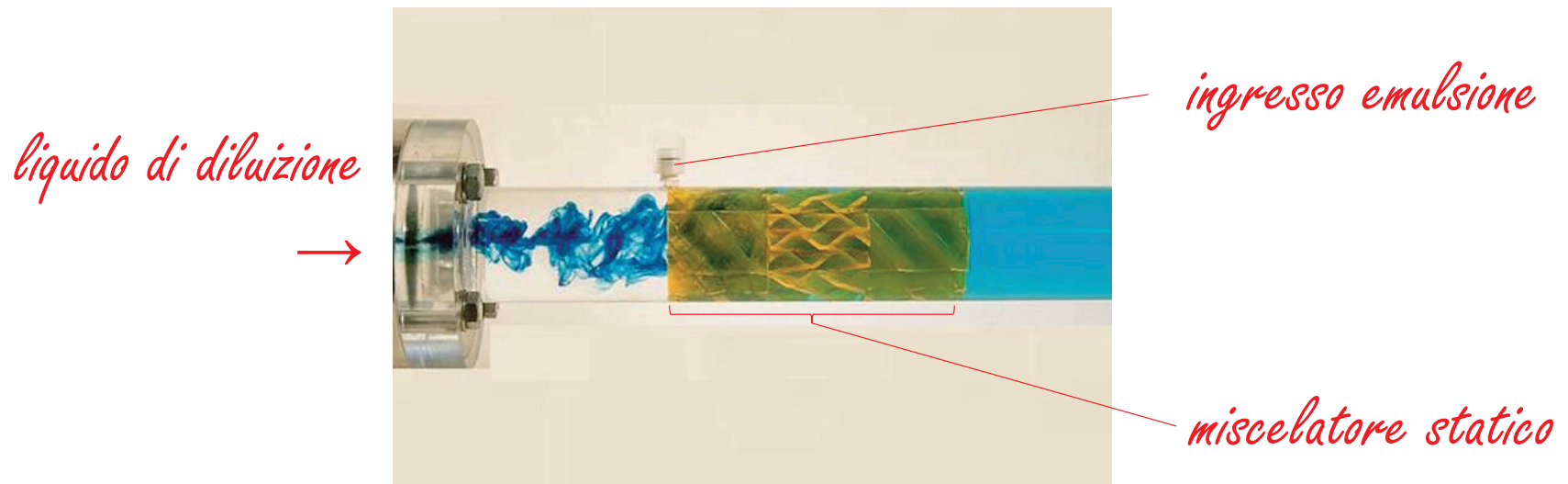
Nel trattamento delle acque reflue, il loro impiego si è affermato per due applicazioni specifiche:

- miglioramento della disidratazione dei fanghi (dosaggi di 0,5-1,5 % SS di **poliammidi cationiche**)
- rimozione del colore solubile (dosaggi inferiori a 20 mg/l di **poliammine**)

Nel secondo caso, un'alternativa economica è rappresentata dall'uso di solfato di alluminio, la cui azione è però massima tra pH 5,0 e 5,5

L'uso di coadiuvanti

Benché le emulsioni contengano solo il 30-40% di principio attivo, la dispersione dei prodotti concentrati richiede un adatto impianto di miscelazione



<https://www.sulzer.com>

L'uso di coadiuvanti

Disinfettanti

Per gli **scarichi**, la normativa prevede un unico indicatore microbiologico applicato alle acque reflue **industriali**:

in sede di autorizzazione allo scarico, l'autorità competente... fisserà il limite opportuno relativo al parametro "Escherichia coli" espresso come UFC/100 mL.

Si consiglia un limite non superiore a 5000 UFC/100 mL



L'uso di coadiuvanti

Per le acque di **balneazione**, il DM 30 marzo 2010 ha introdotto un secondo indicatore microbiologico:

<i>Enterococchi intestinali</i>	Acque marine	200 n*/100ml
	Acque interne	500 n*/100ml
<i>Escherichia coli</i>	Acque marine	500 n*/ 100 ml
	Acque interne	1000 n*/100 ml

i valori limite si applicano al singolo campione

L'uso di coadiuvanti

Per l'uso **irriguo** di acque reflue **urbane**, insieme a Escherichia coli, il decreto legge n. 39 del 14 aprile 2023 ha introdotto due generi batterici patogeni e un indicatore microbiologico non batterico

colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è a diretto contatto con le acque

Classe di qualità ⁽³⁾	Obiettivo Tecnologico indicativo ⁽³⁾	Prescrizioni di qualità			
		<i>E. coli</i> § (numero/100 mL) ⁽³⁾	<i>Legionella</i> spp. § (ufc/L) (*) ⁽³⁾	<i>Nematodi intestinali</i> § (**) ⁽³⁾	<i>Salmonella</i> spp.
A	Trattamento secondario, terziario, <u>filtrazione</u> e disinfezione	≤ 10	≤ 1000	≤ 1 uovo /L	assente
B	Trattamento secondario, terziario e disinfezione	≤ 100	≤ 1000	≤ 1 uovo /L	assente
C	Trattamento secondario, terziario e disinfezione	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1 uovo /L	assente
D	Trattamento secondario, terziario e disinfezione	≤ 10.000	≤ 1000	≤ 1 uovo /L	assente

§ valori rispettati almeno dal 90% dei campioni

la disinfezione è richiesta anche a valle della filtrazione

L'uso di coadiuvanti

Per l'uso **irriguo**, industriale e civile (lavaggio strade, alimentazione di sistemi di riscaldamento/raffreddamento, impianti di scarico nei servizi igienici) di acque reflue **non urbane**, valgono tuttora i limiti stabiliti dal D.M. 12 giugno 2003, n. 185:

- Escherichia coli: 80% dei campioni \leq 10 UFC/100 ml;
0 campioni $>$ 100 UFC/100 ml
- Salmonella: assente

tra gli usi industriali sono comunque esclusi quelli che comportano un contatto tra acque reflue recuperate e alimenti, prodotti farmaceutici o cosmetici

I livelli di disinfezione sono espressi come

$$\text{riduzione di } \log_{10} = -\log \left(\frac{\text{conc}_{\text{out}}}{\text{conc}_{\text{in}}} \right)$$

un valore 1 equivale alla rimozione del 90% dei microorganismi

un valore 2 equivale alla rimozione del 99%

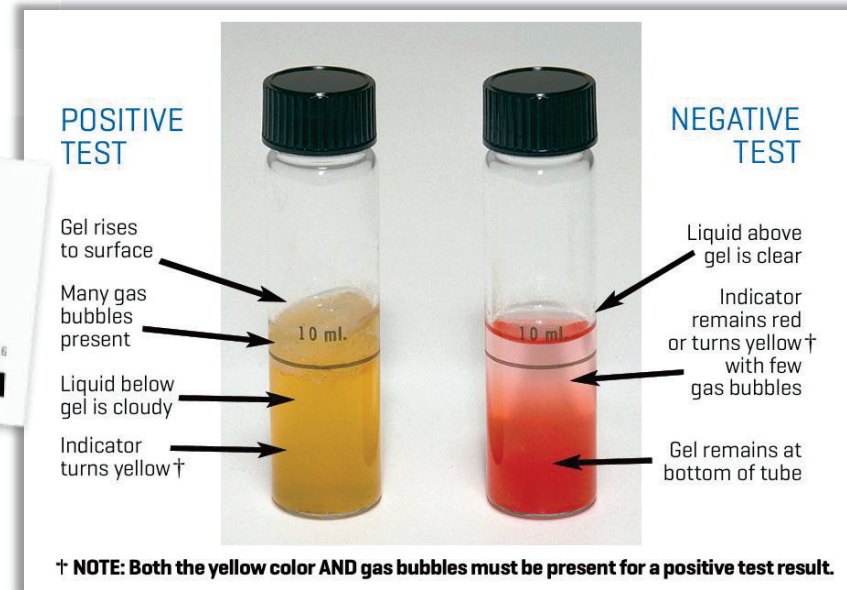
un valore 3 equivale alla rimozione del 99,9%

Nei reflui urbani, *Escherichia coli* è presente in concentrazioni superiori a 10^6 UFC/100 ml e il processo a fanghi attivi senza disinfezione permette livelli depurativi non superiori al 96%

(vedi *Assessment of the fate of Escherichia Coli in different stages of wastewater treatment plants* – M. Raboni, R. Gavasci, V. Torretta - Water, air, and soil pollution, Vol.227 – 2016)

Kit microbiologici

Anche per i parametri microbiologici sono stati sviluppati kit per determinazioni rapide non strumentali

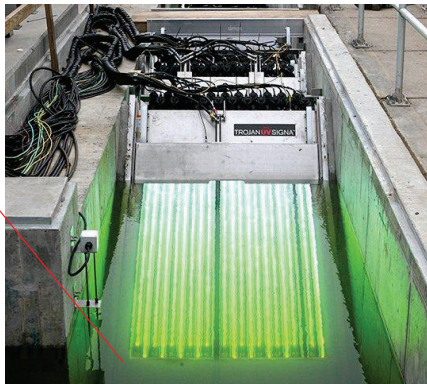


L'uso di coadiuvanti

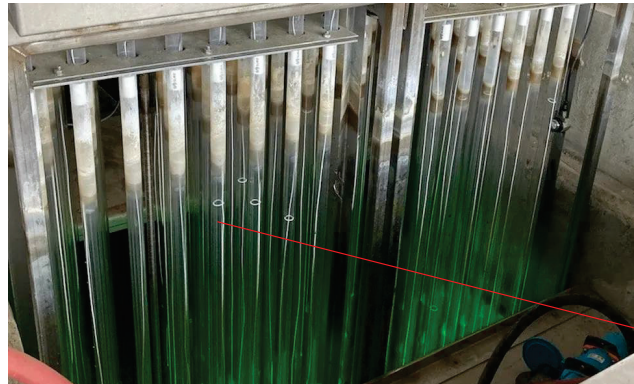
Nel trattamento delle acque reflue sono diffuse principalmente due tecniche di disinfezione: clorazione e irraggiamento con radiazione ultravioletta (240-280 nm)

La seconda tecnica è efficiente solo con acqua priva di torbidità, richiede maggiori investimenti iniziali e non offre protezione rispetto a fenomeni di ricrescita microbica nella rete di distribuzione

*tempi di
contatto
< 60 s*



<https://www.hotsr.com>



<https://www.wwdmag.com>

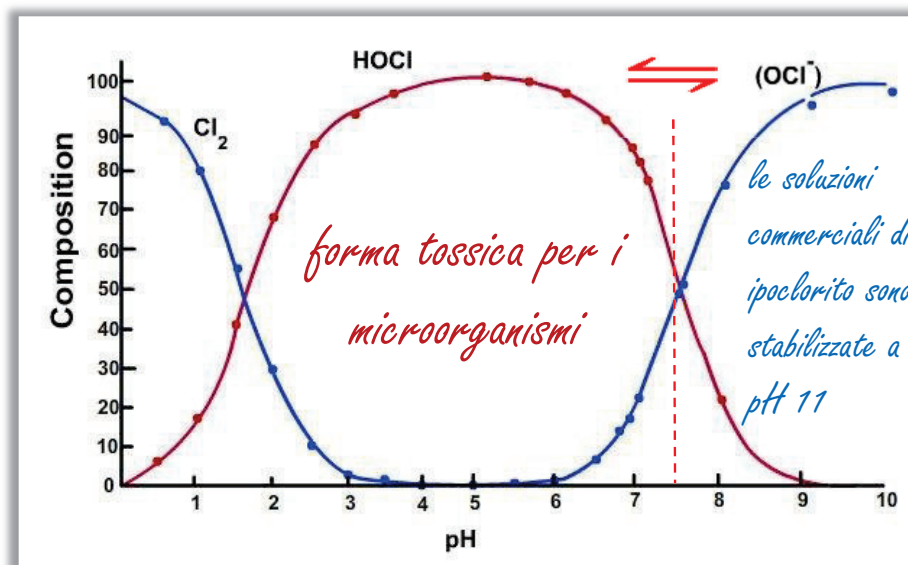
*dose radiante \approx
30 mW·s/cm²*

*i tubi devono essere
puliti*

L'uso di coadiuvanti

La clorazione è ancora la tecnica più applicata, nonostante la legislazione preveda un limite di soli 0,2 mg/l di cloro attivo libero per lo scarico in acque superficiali e di 0,3 mg/l per lo scarico in pubblica fognatura

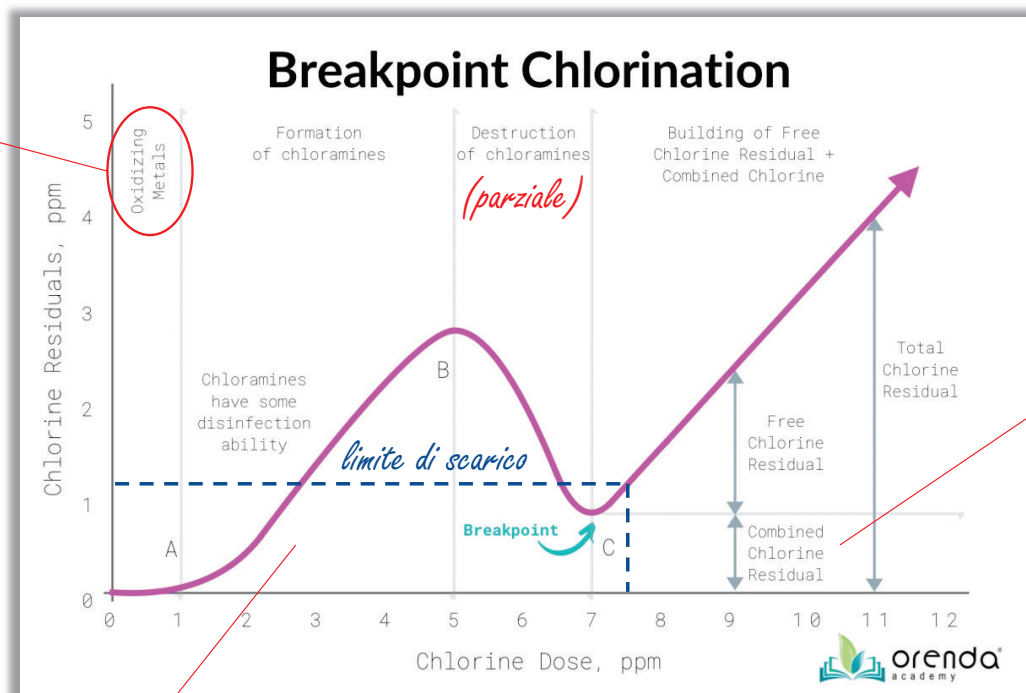
Per cloro libero è da intendersi la somma del cloro (Cl_2), dell'acido ipocloroso (HClO) e dello ione ipoclorito (ClO^-) disciolti



<https://it.hocl.com>

L'uso di coadiuvanti

negli effluenti dei depuratori aerobici, i riducenti organici comportano consumi superiori rispetto al trattamento delle acque potabili



le clorammine contribuiscono alla disinfezione della eventuale rete di distribuzione

dopo le clorammine, i sottoprodotti principali sono il cloroformio e l'acido cloroacetico

Analisi colorimetrica del cloro

Cloro *free available*: a pH \approx 6,5 il cloro e l'ipoclorito ossidano la N,N-dietil-p-fenilendiammina (DPD) incolore, formando il colorante di Würster rosso

La concentrazione del colorante è proporzionale a quella del cloro e dell'ipoclorito

Il metodo è adatto a concentrazioni di $\text{Cl}_2 \approx 1 \text{ mg/l}$; per concentrazioni maggiori, occorre verificare che il colorante di Würster non sia ulteriormente ossidato ad un composto imminico incolore



Analisi colorimetrica del cloro

Cloro **total**: lo ione ioduro viene ossidato dalle clorammine



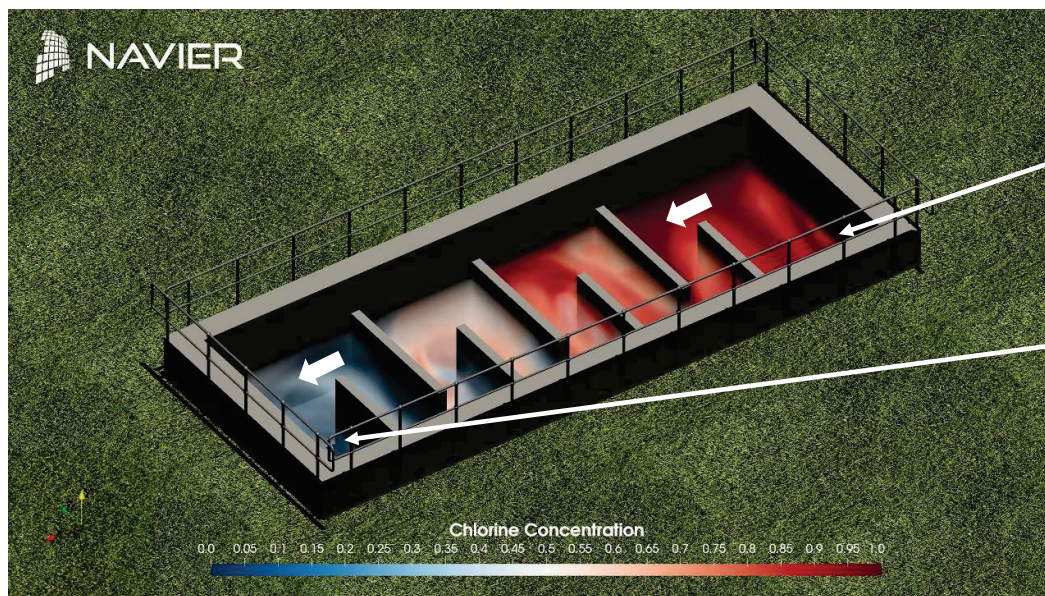
Lo iodio prodotto agisce quindi sulla DPD esattamente come il cloro o l'ipoclorito

Cloro **combined available**: è determinato come differenza tra cloro totale e cloro libero

i limiti per gli scarichi industriali sono riferiti al "cloro attivo libero", un'espressione ibrida tra "cloro libero" e "cloro attivo" impiegata per esprimere la concentrazione delle soluzioni di ipoclorito: è da intendere come cloro libero

L'uso di coadiuvanti

I bacini di clorazione devono consentire un flusso a pistone con tempi di contatto mai inferiori a 30 minuti (lunghezza/larghezza ≥ 40)



punto di dosaggio

uscita dell'effluente

L'uso di coadiuvanti

La concentrazione finale del cloro libero può essere verificata in impianto mediante kit di facile uso che applicano il metodo APAT della N,N-dietil-p-fenilendiammina

Eventuali residui in eccesso possono essere ridotti chimicamente mediante dosaggio di bisolfito di sodio (1,5 mg per mg di Cl_2)



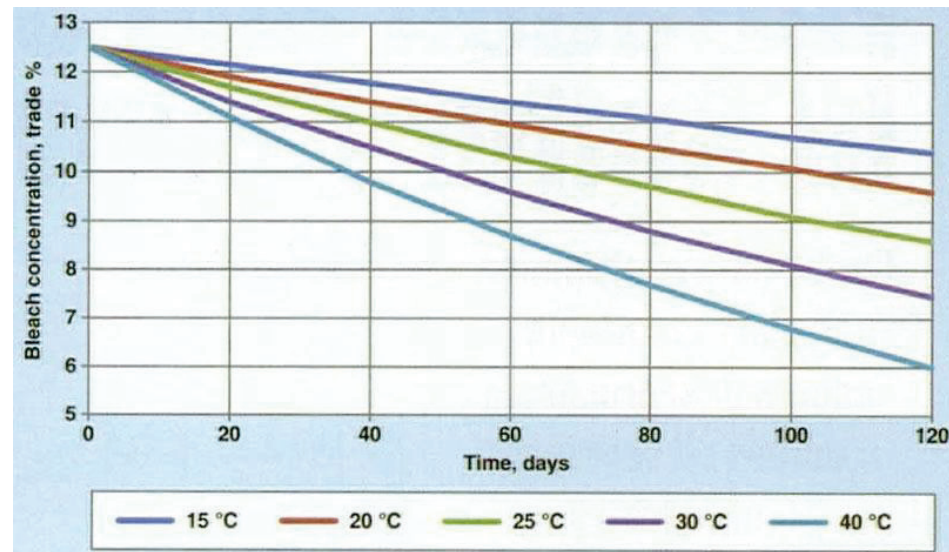
<https://www.sigmaldrich.com>

nei grandi impianti la clorazione può essere effettuata con Cl_2 , un gas tossico che richiede un'autorizzazione all'uso in impianti fissi e personale con patentino di abilitazione all'impiego dei gas tossici

L'uso di coadiuvanti

Nella maggior parte degli impianti viene dosata una soluzione al 10-15% di **ipoclorito di sodio**, contenente un'analogia concentrazione di NaCl e meno del 2% di NaOH: si tratta di un liquido **corrosivo** per pelle e occhi

La soluzione non è stabile: la decomposizione è accelerata da alte temperature di stoccaggio, dalla radiazione ultravioletta e da contaminazioni metalliche (sono consigliati imballaggi in plastica non trasparente)



<https://www.sigmaaldrich.com>

L'uso di coadiuvanti

Il desiderio di evitare non conformità derivanti da residui di cloro nell'effluente ha incentivato trattamenti con altri ossidanti, tutti più costosi a parità di effetto:

- ClO_2 , generato in impianto per azione del cloro sul clorito di sodio, solubile come gas non idrolizzato e quindi eliminabile mediante semplice degasazione
- ozono (O_3) anch'esso generato in impianto e privo di residui
- acido peracetico; le soluzioni al 35% contengono quantità analoghe di acido acetico e ~ 5% di H_2O_2 ; sono poco stabili, **corrosive** e **tossiche** se inalate o ingerite

**GRAZIE
PER
L'ATTENZIONE**