

## DEPURAZIONE ACQUE.

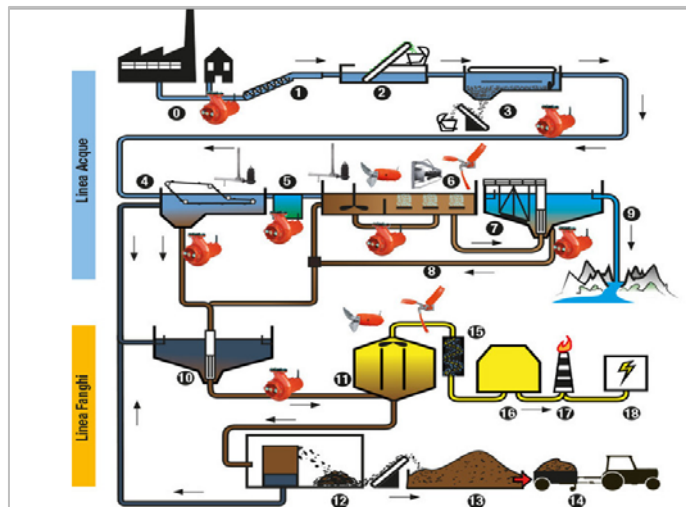
### NOTA 1: TRATTAMENTI MECCANICI E FISICI

**Ferruccio Trifirò**

*Direttore responsabile La Chimica e l'Industria*

*Professore Emerito Università di Bologna*

La depurazione delle acque civili, industriali, agricole e di piscine è realizzata con diversi trattamenti, in questa prima nota si esamineranno solo quelli meccanici e fisici. I trattamenti meccanici sono: la grigliatura, la dissabbiatura e la disoleatura. I trattamenti fisici sono: la flottazione, la sedimentazione, la filtrazione meccanica, l'adsorbimento fisico, la separazione con membrane e la disinfezione con raggi UV.



#### Introduzione

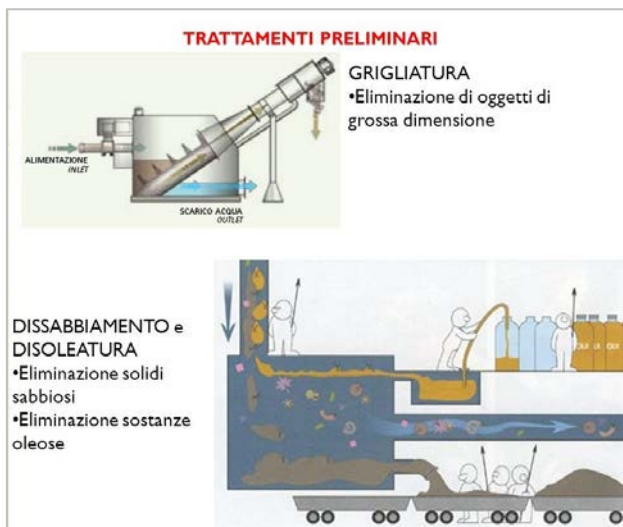
L'inquinamento delle acque non solo è responsabile di 25 tipologie di malattie diverse, ma anche della diminuzione della biodiversità e della distruzione di molte specie acquatiche. La chimica, con tutto il ciclo di vita dei suoi prodotti, è uno dei responsabili di questo inquinamento, ma è anche il settore che negli ultimi vent'anni ha dato un grande contributo, con continui sforzi, nella ricerca per rendere l'acqua pulita ed igienicamente pura [1-13]. Gli utilizzi delle acque sono i seguenti: potabile, agricolo, per piscine, industriale (di processo, per raffreddamento, produzione di vapore e sistemi antincendio). L'acqua industriale purificata può avere i seguenti riutilizzi: per l'acqua di processo, per il riscaldamento, per il raffreddamento, per servizi antincendio, scarico in acque superficiali e scarico nella rete fognaria consortile. Gli inquinanti delle acque sono: sostanze inorganiche disciolte ed in sospensione; materiali organici e inorganici di grosse dimensioni (plastica, carta, sabbia ed oli), sostanze patogene, torbidità, oli minerali, materiali in sospensione e sedimentabili, metalli, sostanze organiche non biodegradabili e biodegradabili disciolte (coloranti, tensioattivi, fenolo, pesticidi, solventi e coloranti, solfuri, VOC, grassi, sostanze clorate), sostanze organiche e inorganiche tossiche e nutrienti N e P.

I trattamenti di purificazione di acque primarie e reflue sono i seguenti: meccanici, chimici, fisici, biologici e di disinfezione. I trattamenti meccanici sono: la grigliatura, la disoleatura, la dissabbiatura. I trattamenti fisici sono: la flottazione, l'evaporazione, la sedimentazione, la filtrazione meccanica, la separazione con membrane, l'adsorbimento fisico, la disinfezione (UV).

I trattamenti chimici sono: la coagulazione, la flocculazione, la precipitazione, l'adsorbimento chimico, lo scambio ionico, l'ossidazione-riduzione, la neutralizzazione e la disinfezione.

I trattamenti biologici sono: aerobici o anaerobici (ossidazione, nitrificazione e denitrificazione). Questi trattamenti avvengono nelle seguenti fasi temporali successive: trattamenti preliminari

(grigliatura, dissabbiatura, disoleatura); trattamenti primari e anche terziari: ossidazione, riduzione, precipitazione, chiariflocculazione, neutralizzazione, filtrazione, flottazione, utilizzo di



membrane e scambio ionico; trattamenti secondari (processi biologici e di sedimentazione fanghi); trattamenti solo terziari (l'adsorbimento fisico e la disinfezione).

Il trattamento acque è una fra le tecnologie più complesse dell'industria chimica e questo è dovuto ai seguenti motivi: i singoli inquinanti richiedono tecnologie di trattamento diverse; per ogni singolo inquinante esistono diverse tecnologie alternative di trattamento; le tecnologie da scegliere per ogni singolo inquinante dipendono dalla presenza di altri inquinanti, dalla loro

concentrazione, dalla quantità di acqua da trattare e dal tipo di utilizzo delle acque; ci sono costi energetici, costi gestionali (costo smaltimento fanghi), costi ambientali (emissione gas serra CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>), i costi di smaltimento dei fanghi come rifiuti ed i costi dei reagenti chimici.

### I trattamenti meccanici

I trattamenti meccanici, che sono realizzati nella fase preliminare di purificazione sono: l'eliminazione di sostanze solide o liquide sospese che possono influenzare negativamente i trattamenti successivi di purificazione e sono costituiti dalle seguenti fasi: la grigliatura, ossia la separazione di solidi grossolani non sedimentabili (stracci, plastica, ecc.); la dissabbiatura, ossia la separazione di solidi in sospensione sedimentabili (sabbia e terriccio); la disoleatura, ossia la separazione di sostanze oleose.

La grigliatura grossolana separa solidi di grosse dimensioni facendo passare l'acqua attraverso una griglia che blocca i solidi sospesi e vengono trattenuti i materiali aventi dimensioni superiori ai 2÷5 centimetri (legno, stracci, materiale vario) trasportati dalle acque reflue; la griglia è costituita da un'intelaiatura in acciaio avente barre poste verticalmente e distanziate di 2÷5 cm. La grigliatura fine serve a trattenere le particelle sospese aventi dimensioni superiori ad 1÷1,5 millimetri e viene eseguita con macchine chiamate rotostacci. Il materiale trattenuto viene inviato ad un compattatore per mezzo di coclea e insaccato in appositi "big bags".

I dissabbiatori sono costituiti da vasche in calcestruzzo armato percorse dal liquame e da solidi grossolani sedimentabili (ghiaia) ad una velocità tale da provocare la decantazione dei materiali solidi trascinati in sospensione.

La disoleazione delle acque consiste nella eliminazione di sostanze oleose, caratterizzate da un minore peso specifico di quello dell'acqua, e che risalgono e stazionano in superficie per galleggiamento. La rimozione delle sostanze oleose e grasse si effettua periodicamente mediante un sistema raschiante della superficie del refluo.

### I trattamenti fisici

#### Flottazione

La flottazione è collocata a valle della chiariflocculazione (trattamento chimico realizzato nel primario e terziario che produce solidi di maggiori dimensioni). La flottazione consiste nella separazione e raccolta di materiale sulla superficie di un liquido. Tale separazione si ottiene con

bolle di aria o di gas molto piccole che inglobano le particelle da eliminare e le portano in superficie. Con l'ausilio della flottazione ad aria disciolta, il problema della scarsa sedimentabilità dei flocchi è superata. Le bolle hanno un diametro generalmente compreso fra i 50 e gli 80 micron e si attaccano direttamente ai flocchi, modificandone la gravità specifica, con pronta risalita alla superficie. Nella flottazione viene impiegata aria a 4,5 atm e si ha formazione di finissime bollicine d'aria, le quali si portano lentamente verso l'alto, trascinando con sé i flocchi sospesi ottenuti nella chiariflocculazione. Aria e solidi si raccolgono in superficie in forma di densa schiuma, che è quindi raccolta da un raschiatore.



### *Sedimentazione*

La sedimentazione (chiamata anche chiarificazione) è l'ultimo stadio della chiariflocculazione ed è anche collocata a valle del trattamento biologico per eliminare i fanghi attivi. Questo trattamento si basa sul principio della precipitazione nelle vasche dove si ha la decantazione dei solidi sospesi. Le vasche sono profonde al massimo 180 cm per evitare che condizioni meteo ambientali possano causare il rimescolamento delle acque, le vasche vengono

dimensionate per garantire un tempo di permanenza del liquame compreso fra 1 e 3 ore.

### *Filtrazione meccanica*

La filtrazione è localizzata: 1) dopo la sedimentazione primaria a valle della chiariflocculazione, 2) dopo la sedimentazione secondaria a valle del trattamento biologico e 3) a valle di un trattamento ossidativo per eliminare ferro e manganese. Una volta eliminate le particelle sospese più grossolane, l'acqua può andare al processo di filtrazione. In questo paragrafo si parlerà solo della filtrazione meccanica, che consiste nell'eliminazione di solidi sospesi, di colloidali e di torbidità, con quarzite ed antracite e nell'eliminazione di sostanze organiche su carbonio attivo. Esistono altri tipi di filtrazione non fisica come: la filtrazione biologica (con fermenti adsorbiti sul filtro), la filtrazione a scambio ionico, la filtrazione con membrane (osmosi inversa, nanofiltrazione, ultrafiltrazione e microfiltrazione), la filtrazione catalitica per trasformare sostanze solubili a base di  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$  in solidi, la filtrazione per adsorbimento chimico (eliminazione As e Se) e la filtrazione di fanghi. Nella filtrazione meccanica si eliminano solidi sospesi, colloidali e torbidità che rimangono nei pori e sulla superficie dei mezzi filtranti. I filtri sono a base di quarzite, antracite, sabbia quarzifera, antracite seguita da filtri a quarzite e sabbia quarzifera, quarzite seguita da filtri a carbonio attivo.

### *Filtri a quarzite e carbonio attivo*

La quarzite è quarzo macinato al 98% di silice, la sabbia quarzifera è costituita da 85% di silice, l'antracite è a base per il 90% di carbonio (per eliminare alghe e fonti di torbidità). Con la filtrazione meccanica si rimuovono dall'acqua eventuali particelle di materiale sedimentabile o in sospensione sfuggite ai precedenti trattamenti, in particolare serve per eliminare solidi sospesi. Ci può essere anche una filtrazione come trattamento finale per acque potabili e per acque primarie (con sabbia e carbonio). Nella letteratura tecnica usano la parola carbone attivo non solo nella filtrazione ma anche nell'adsorbimento fisico. I filtri funzionano facendo attraversare l'acqua sul filtro seguendo un flusso dall'alto verso il basso, pulendo l'acqua dei detriti, trattenuti progressivamente dai pori. Questi detriti però, con il passare del tempo, tendono a diventare un ostacolo al passaggio dell'acqua, rendendo così il processo di filtrazione

meno efficace. Periodicamente è infatti necessaria un'operazione di controlavaggio del filtro. I filtri meccanici a base di sabbia quarzifera, quarzite ed antracite sono purificati per controlavaggio, usando flussi d'aria+acqua direzionati verso l'alto, per fluidificare il letto



filtrante, allontanando tra loro i granuli e favorendo l'asportazione dei solidi sospesi trattenuti. Il controlavaggio è fondamentale per il corretto funzionamento del filtro e rappresenta circa la metà dell'intero costo di impianto.

La filtrazione con quarzite o a sabbia quarzifera è utilizzata per l'eliminazione di solidi, mentre la filtrazione con quarzite ed antracite o solo antracite è utilizzata per l'eliminazione di solidi e torbidità e sostanze organiche.

L'eccezionale azione filtrante dell'antracite è dovuta alla forma irregolare dei grani che costituiscono dei vuoti intergranulari, consentendo di ottenere alte velocità di filtrazione con basse perdite di pressione e permettendo a elevate quantità d'impurità di depositarsi. La sovrapposizione di diversi strati d'antracite con differente granulometria, permette di trattenere, su ognuno dei diversi strati, le materie solide che si possono presentare con diverse dimensioni. I filtri a quarzite o ad sabbia quarzifera sono realizzati da materiale filtrante a granulometria differenziata disponendo la granulometria minore nella parte alta del letto; inoltre per migliorare ulteriormente la capacità di filtrazione può essere inserito uno strato superiore di antracite che rimuove le particelle più grosse introducendo 20% di antracite e 80% di quarzite.

Nei filtri a quarzite ed a carbonio attivo, la prima filtrazione è su quarzite (o sabbia) e antracite che rimuovono dall'acqua eventuali particelle di materiale sedimentabile o in sospensione sfuggite ai precedenti trattamenti. La seconda filtrazione è per adsorbimento su carbonio attivo che elimina le sostanze organiche residue, quali idrocarburi, le sostanze organiche non biodegradabili ed anche fosfati e ioni inorganici.

### *Adsorbimento fisico*

L'adsorbimento fisico è in genere il primo trattamento del terziario dopo i trattamenti biologici. L'adsorbimento fisico viene realizzato su carbonio attivo (usano la parola carbone attivo) di



sostanze organiche non ioniche, ma solubili in acqua e loro successiva rimozione. Vi sono, comunque altri tipi di adsorbimento che non sono fisici e sono i seguenti: c'è un adsorbimento elettrostatico chiamato scambio ionico; c'è un adsorbimento chimico per interazione con idrossidi chiamato chiariflocculazione; c'è un adsorbimento chimico su allumina e su zeoliti. Il carbonio attivo è praticamente l'unico adsorbente fisico utilizzato ed è

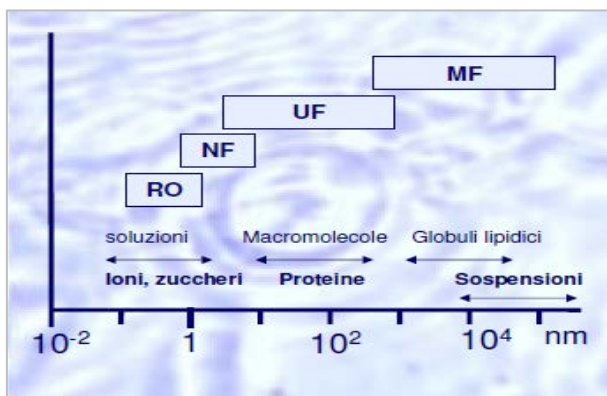
carbonio puro ottenuto da fossili o da sostanze naturali con un'area superficiale di 500-1.500 m<sup>2</sup>/g (ossia molto poroso) ed è utilizzato: 1) come granuli di carbonio attivo (Gac) (Granular Active Carbon) (0,4-2,5 mm) in colonne di adsorbimento a valle di un trattamento biologico; 2)

come granuli di carbonio attivo (GAC), insieme a quarzite come filtro decolorante e per eliminare sostanze organiche; 3) come polvere di carbonio attivo (PAC) (Powdered activated carbon) disperso in soluzione acquosa sotto agitazione e poi soggetto a sedimentazione (non riattivabile). Il processo di adsorbimento avviene nelle seguenti fasi: macro-trasporto ossia movimento di materiale organico attraverso il sistema di macropori del carbonio attivo (pori >50 nm); micro-trasporto ossia movimento di materiale organico attraverso il sistema di micropori (<2 nm) e mesopori (2-5 nm) del carbone attivo; adsorbimento ossia attaccamento fisico di materiale organico sulla superficie del carbonio attivo nei suoi mesopori e micropori. L'adsorbimento su carbonio attivo viene utilizzato per le seguenti depurazioni: per l'eliminazione dei composti tossici; per abbassare il C.O.D. (sostanze organiche non biodegradabili); per abbattere i colori e gli odori; per evitare la formazione di schiume; per favorire il condizionamento dei fanghi negli impianti di trattamento biologico; nei trattamenti di decolorazione e deozonizzazione; nella filtrazione delle acque di piscine e acquari.

La presenza di torbidità o di solidi in sospensione nelle acque da trattare riduce la capacità di adsorbimento del carbonio, in quanto provoca una parziale occlusione della struttura porosa, diminuendo la superficie disponibile per l'adsorbimento. È necessario inviare al trattamento su carbonio attivo un'acqua di scarico preventivamente chiarificata e, se è necessario, filtrata. Il carbonio in polvere viene eliminato con i fanghi, mentre il carbonio in granuli viene rigenerato. Il carbonio esaurito può essere rigenerato secondo le seguenti tecniche: lavaggio con solvente, lavaggio acido o alcalino, rigenerazione a vapore e rigenerazione termica. La tecnica quasi universalmente adottata è quella della rigenerazione termica, condotta ad una temperatura di 900-930 °C, in atmosfera a basso contenuto di ossigeno. In tali condizioni si ha la completa combustione o vaporizzazione delle sostanze organiche, con una minima combustione del carbonio (se ne perde 10%). I vantaggi dell'adsorbimento fisico su carbonio attivo sono che permette la rimozione di composti refrattari al trattamento biologico e anche il recupero dei composti organici, mentre lo svantaggio sono i costi energetici nella rigenerazione.

### Processi a membrana

I processi fisici a membrana sono collocati sia nel primario che nel terziario e sono alternativi ad altri trattamenti fisici ed ad altri chimici. La filtrazione con membrana è alternativa alla flocculazione, all'adsorbimento (filtri a sabbia e a filtri a carbonio attivo), a scambiatori ionici, ad estrazione con solventi e alla distillazione. I processi di purificazione a membrana sono utilizzati per la rimozione di solidi sospesi, colloidi, oli in emulsione, batteri e sali disciolti. Il



processo di filtrazione a membrana (detto anche a filtrazione tangenziale a membrana) consiste nel separare l'acqua in due flussi, acqua permeata e soluzione acquosa concentrata (che contiene particelle in sospensione o sali concentrati). Una membrana costituisce una barriera fisica che fa passare una o più specie ed impedisce e rallenta quella di altre.

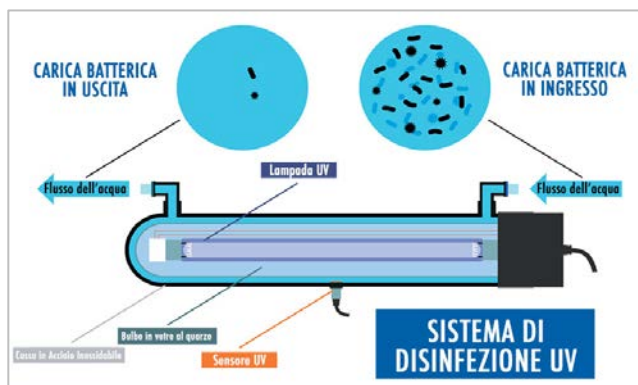
*Utilizzo delle membrane in funzione delle dimensioni delle sostanze da eliminare*

La scelta di installare una o più tipologie di membrana dipende: dalla qualità del fluido da filtrare, dalla composizione chimica del fluido in ingresso e dalla qualità dell'acqua che si vuole ottenere. Le tipologie di purificazione con membrane sono le seguenti: microfiltrazione (MF), ossia separazione di colloidali, solidi sospesi, microrganismi, e richiede pressioni molto basse <2 bar e separa sulla base delle dimensioni delle sostanze da eliminare; ultrafiltrazione (UF), ossia separazione di macromolecole con diverso peso molecolare e richiede basse pressioni <10 bar e separa sulle dimensioni delle sostanze da eliminare; nanofiltrazione (NF) ossia separazione di molecole, zuccheri, sali e richiede pressione alta <20 bar e separa sulle dimensioni, ma anche sull'affinità chimica delle sostanze con le membrane; osmosi inversa (RO) ossia separazioni di ioni e richiede alta pressione fino a 100 bar e separa sulle dimensioni e sull'affinità chimica delle sostanze chimiche con le membrane. Ci sono altri processi a membrana che non sono solo fisici come: reattori a membrane MBR con depurazione biologica e contemporanea separazione dei fanghi attivi; dialisi (D) ed elettrodialisi.

Il vantaggio principale degli impianti a membrane è che non risulta necessario aggiungere ulteriori agenti chimici per separare i composti inquinanti dalle acque, ed in quanto le membrane agiscono come dei filtri, il consumo energetico può essere contenuto. Il processo a microfiltrazione utilizza membrane con una dimensione dei pori di 0,1-10 µm e queste membrane rimuovono tutti i batteri. La micro-filtrazione viene applicata per la rimozione di particelle solide in sospensione presenti in acque di pozzo o in acque reflue pre-trattate (ad esempio in impianti di tipo chimico-fisico). Gli impianti di microfiltrazione spesso vengono utilizzati come pretrattamento per gli impianti ad osmosi inversa, di nanofiltrazione e per gli impianti di ultrafiltrazione. Gli impianti di ultrafiltrazione con membrane ceramiche (allumina o carburo di silicio) sono prevalentemente utilizzate per separare composti a peso molecolare medio-alto. Il vantaggio delle membrane ceramiche è di resistere a svariate tipologie di inquinanti e di poter essere lavate con differenti prodotti chimici e ad elevate temperature. Gli impianti di nanofiltrazione si distinguono dagli impianti ad osmosi inversa per la tipologia di membrana installata. La nanofiltrazione è principalmente applicata per la rimozione delle sostanze organiche (coloranti, nitrati ecc.) e degli ioni multivalenti. Le membrane di nanofiltrazione possono anche essere utilizzate per la filtrazione di soluzioni acquose con la finalità di recuperare fluidi di processo separando le sostanze di scarto. Altre applicazioni sono a valle di acque reflue pre-trattate con impianti chimico-fisico o evaporatori. Il processo ad osmosi inversa non consiste semplicemente in un ostacolo fisico (determinato dalle dimensioni dei pori della membrana) al passaggio delle molecole, ma sfrutta la diversa affinità chimica delle specie con la membrana, permettendo, infatti, il passaggio delle molecole idrofile, cioè chimicamente simili all'acqua con un'efficienza del 98%. Le membrane usate nell'osmosi inversa sono generalmente fatte in poliammide e vengono solitamente utilizzate: per la produzione di acqua demineralizzata, per la desalinizzazione di acque salmastre e per il trattamento di acque reflue al fine di riciclare le acque depurate.

### *Disinfettanti UV*

La disinfezione è la rimozione ed uccisione di microrganismi patogeni (virus, batteri, protozoi) ed è l'ultimo stadio di un trattamento depurativo di acque, a meno che serva dopo un ulteriore trattamento di dechlorazione. I disinfettanti utilizzati sono: chimici, fisici (UV), naturali (filtrazione lenta su sabbia, fitodepurazione e lagunaggio). Lo svantaggio dell'utilizzo dell'UV è che è reso inattivo dalla presenza di torbidità, mentre il vantaggio è che tutti gli altri disinfettanti producono sottoprodotti ad eccezione dei raggi UV. La disinfezione con raggi UV neutralizza istantaneamente microrganismi che passano attraverso lampade a raggi ultravioletti immerse nell'effluente ed è una tecnologia che è aumentata considerevolmente negli ultimi decenni. Nei



nuovi impianti di trattamento delle acque reflue costruiti in tutto il mondo, i raggi UV sono sempre più spesso selezionati per la disinfezione a causa della riduzione, sia dei costi di investimento che dei costi di gestione a lungo termine. Inoltre gli UV sono un disinfettante efficace per i protozoi cloro resistenti, come *Cryptosporidium* e *Giardia*.

### Bibliografia

- [1] [www.simamspa.it/it/trattamento-acque/www.culligan.it/la-depurazione-delle-acque-reflue/](http://www.simamspa.it/it/trattamento-acque/www.culligan.it/la-depurazione-delle-acque-reflue/)
- [2] [www.stacque.com/impianti/depurazione-acque-reflue/impianti-chimico-fisici;](http://www.stacque.com/impianti/depurazione-acque-reflue/impianti-chimico-fisici;)
- [3] [www.nuoveenergie.com/it/impianti/trattamento-delle-acque](http://www.nuoveenergie.com/it/impianti/trattamento-delle-acque)
- [4] <http://guardiacivica.it/sito/documenti/acquereflue.pdf>
- [5] [www.simpec.it/](http://www.simpec.it/)
- [6] [www.carboplant.it](http://www.carboplant.it)
- [7] [www.simamspa.it/](http://www.simamspa.it/)
- [8] [www.sapere.it/sapere/strumenti/studiasfacile/chimica/La-chimica-del-carbonio/Chimica-e-ambiente/Depurazione-delle-acque.html](http://www.sapere.it/sapere/strumenti/studiasfacile/chimica/La-chimica-del-carbonio/Chimica-e-ambiente/Depurazione-delle-acque.html)
- [9] <http://ambiente.provincia.bz.it/acqua/%20funzionamento-impianto-depurazione.asp>
- [10] [www.isprambiente.gov.it/it/temi/acque-interne-e-marino-costiere/la-depurazione-delle-acque-reflue](http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/acque-interne-e-marino-costiere/la-depurazione-delle-acque-reflue)
- [11] [www.isprambiente.gov.it/it/temi/acque-interne-e-marino-costiere/la-depurazione-delle-acque-reflue](http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/acque-interne-e-marino-costiere/la-depurazione-delle-acque-reflue)
- [12] [www.saitaimpianti.com/evaporatori-sottovuoto/](http://www.saitaimpianti.com/evaporatori-sottovuoto/)
- [13] [http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/info/pdf/waterguide\\_it.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/info/pdf/waterguide_it.pdf)