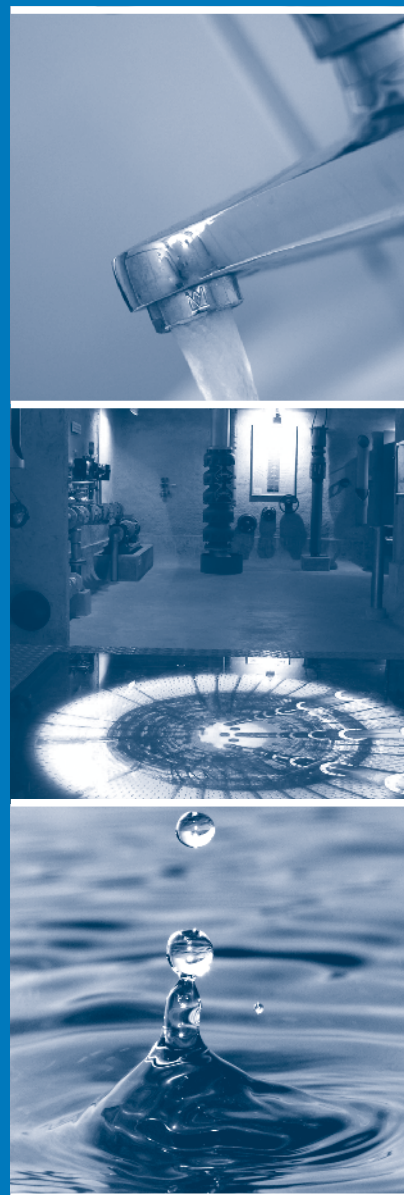


# Procedimenti riconosciuti di preparazione dell'acqua potabile



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'interno DFI  
Ufficio federale della sanità pubblica UFSP



# Procedimenti riconosciuti di preparazione dell'acqua potabile

## Indice

<b>1. Premessa</b>	<b>2</b>
<b>2. Introduzione</b>	<b>3</b>
Valutazione delle fonti di pericolo nel bacino imbrifero	3
Importanza della qualità dell'acqua grezza	3
Analisi dei dati disponibili	7
Campagna di misurazione	7
Descrizione chimico-fisica e microbiologica dell'acqua grezza	8
Fabbisogno e disponibilità d'acqua	8
Test di laboratorio e impianti di preparazione pilota	8
<b>3. Microrganismi</b>	<b>10</b>
Introduzione	10
Batteri	10
Virus	12
Protozoi	14
Confronto dei procedimenti	15
<b>4. Costituenti dell'acqua</b>	<b>17</b>
Introduzione	17
Costituenti principali e secondari	17
Composti organici naturali e sintetici	25
<b>5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile</b>	<b>34</b>
Introduzione	34
Pretrattamento	36
Filtrazione	41
Disinfezione/ossidazione	50
Altri procedimenti di preparazione dell'acqua potabile	68
Combinazione di procedimenti	72
<b>6. Metodi di sorveglianza</b>	<b>75</b>
Cloro	75
Biossido di cloro	75
Conducibilità	76
Ozono	76
Particelle	76
pH	77
Ossigeno	77
Adsorbimento e trasmissione di UV	77
Torbidità	78
<b>7. Criteri per l'introduzione di nuovi procedimenti</b>	<b>79</b>
Sostanze in tracce	81
Microrganismi	84
<b>8. Basi legali</b>	<b>86</b>
1. Legislazione sull'acqua potabile in Svizzera	86
1.1 Requisiti per l'acqua potabile	87
1.2 Requisiti per la produzione di acqua potabile	87
1.3 Requisiti per l'acqua potabile in situazioni d'emergenza	87
2. Estratti della legislazione sull'approvvigionamento di acqua potabile	87
<b>9. Glossario</b>	<b>95</b>
<b>10. Bibliografia</b>	<b>100</b>
<b>11. Note</b>	<b>104</b>

# 1. Premessa

L'acqua potabile deve rispondere a esigenze qualitative molto rigide. L'acqua grezza che proviene dal sottosuolo o da corsi e bacini di superficie non è sempre in grado di soddisfare tali requisiti microbiologici e chimici, perciò deve essere sottoposta a trattamento prima del consumo. Tuttavia, scegliere il procedimento di preparazione più adatto spesso non è facile per i responsabili dell'approvvigionamento idrico, gli studi ingegneristici di consulenza e i Cantoni, perché i metodi disponibili sono numerosi e ognuno ha i propri vantaggi e svantaggi. Nella pratica, quindi, capita regolarmente che malgrado l'impiego di procedimenti per potabilizzare l'acqua si assista al superamento dei valori di tolleranza nella rete idrica, in particolare per quel che riguarda i microrganismi.

Il presente aiuto all'esecuzione descrive i procedimenti più appropriati per eliminare determinate sostanze chimiche, classi di sostanze e microrganismi, oltre alle condizioni che deve soddisfare la qualità dell'acqua grezza affinché un procedimento specifico possa essere impiegato efficacemente, e alle modalità di sorveglianza di un impianto di preparazione dell'acqua potabile. Il suo scopo quindi è aiutare a migliorare la pianificazione di nuovi impianti, a verificare l'idoneità all'esercizio di quelli esistenti e a ottimizzare le procedure di controllo autonomo in base ai rischi specifici dell'impianto. Questa pubblicazione è destinata alle aziende di approvvigionamento idrico, agli studi di ingegneria e ai servizi cantonali competenti.

L'opuscolo è stato elaborato sotto la direzione dell'UFSP in stretta collaborazione con esperti di preparazione dell'acqua potabile dell'IFADPA. Confidiamo che questo aiuto all'esecuzione funga da guida di riferimento per migliorare ulteriormente la qualità delle nostre acque potabili e armonizzare le procedure di esecuzione nei Cantoni.

Ufficio federale della sanità pubblica  
Michael Beer

## 2. Introduzione

Lo scopo principale dell'approvvigionamento idrico, ossia fornire un'acqua potabile di elevata qualità, pone esigenze elevate alla pianificazione e gestione degli impianti idrici. La valutazione dei procedimenti più adatti di trattamento delle acque sotterranee o superficiali per renderle potabili richiede conoscenze approfondite degli influssi sul bacino imbrifero di captazione, dell'origine e delle caratteristiche dell'acqua grezza e del fabbisogno d'acqua. Per creare una solida base decisionale devono essere analizzati i dati già esistenti e all'occorrenza rilevati nuovi dati specifici. Con le informazioni appropriate è possibile determinare i tassi di riduzione delle sostanze e dei microrganismi e delineare chiaramente i requisiti per una preparazione ideale. Solo una formulazione chiara degli obiettivi consente di scegliere i procedimenti e i metodi di preparazione. Nei paragrafi seguenti sono descritti brevemente i fattori da considerare nella scelta dei procedimenti appropriati.

### **Valutazione delle fonti di pericolo nel bacino imbrifero**

Una prima condizione per adeguare al meglio un impianto di preparazione dell'acqua potabile alla qualità dell'acqua grezza è delimitare il bacino imbrifero di captazione con metodi idrogeologici. La procedura da seguire è descritta in dettaglio nelle guide pratiche dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM).

Vanno considerati possibili fonti di pericolo tutti i fattori presenti nel bacino imbrifero che possono incidere sulla qualità e la quantità dell'acqua grezza, e quindi anche sul tipo di preparazione. Si tratta di possibili fonti di inquinamento, come siti contaminati, acque di

scarico, traffico, industria e agricoltura. L'entità dell'influsso di queste fonti sulla qualità dell'acqua grezza dipende essenzialmente dall'origine dell'acqua.

### **Importanza della qualità dell'acqua grezza**

In Svizzera l'acqua grezza utilizzata per la preparazione di acqua potabile proviene da acquiferi sotterranei o da acque superficiali, per cui presenta composizioni e caratteristiche molto differenti. Può contenere microrganismi indesiderati e patogeni, sostanze (in)organiche in forma di particelle o disciolte, sostanze innocue per la salute o composti chimici tossici, che devono essere rimossi, trasformati o inattivati. Determinanti per il trattamento sono la composizione e le caratteristiche dell'acqua grezza utilizzata. Conoscendo la provenienza dell'acqua grezza si possono già formulare le prime considerazioni sulla mole della preparazione e sulla scelta dei procedimenti. Dall'assenza di trattamento, come nel caso di acque sotterranee di elevata qualità, si può passare a una semplice disinfezione per giungere a complessi trattamenti in più stadi di acque superficiali o di acque sotterranee esposte a influssi superficiali.

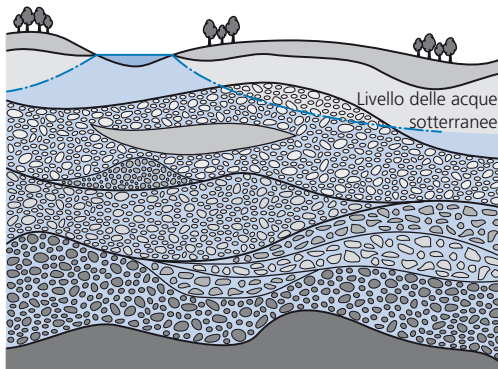
### **Acque sotterranee in materiale sciolto**

Le formazioni acquifere in materiale sciolto sono composte di depositi di pietrisco di varia origine (depositi fluviali, morene glaciali, detriti di frane, ecc.) e presentano una composizione minerale variabile. Sono caratterizzate da elevata porosità, grande capacità di immagazzinamento d'acqua e bassa velocità di scorrimento.

*L'acqua grezza presenta enormi differenze di composizione*

*Elevata porosità, grande capacità di immagazzinamento, bassa velocità di scorrimento*

## 2. Introduzione



**Figura 1: Formazione acquifera in materiale sciolto. Tipiche condizioni eterogenee di porosità, velocità di scorrimento e composizione minerale**

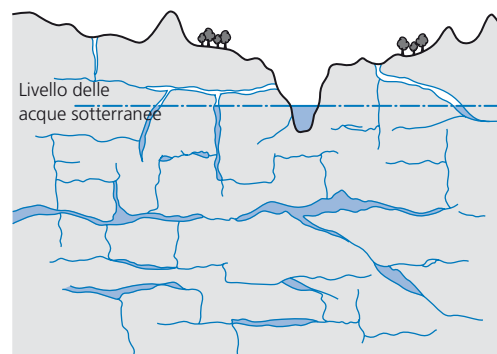
Nelle acque sotterranee in materiale sciolto possono prevalere condizioni ossidanti o riducenti; anche il pH dipende in larga misura dalle circostanze e dalla composizione minerale del pietrisco. Gli acquiferi in materiale sciolto sono ricoperti molto spesso da uno strato più o meno importante di suolo biologicamente attivo. Perciò presentano un'elevata capacità di adsorbimento, di ritenzione e di scomposizione delle sostanze chimiche. Il forte effetto di filtrazione e i tempi di permanenza dell'acqua relativamente lunghi rispetto alle altre formazioni acquifere provvedono a ridurre al minimo la torbidità (solitamente < 2 NTU), a mantenere una qualità chimica costante (pH, temperatura, carico di sostanze chimiche, ecc.) e a tenere basso il carico microbiologico. Gli acquiferi in materiale sciolto sono protetti relativamente bene dagli influssi esterni, ma un eventuale inquinamento può persistere a lungo ed è risanabile solo con grande sforzo. Spesso le formazioni acquifere in materiale sciolto sono situate in zone con intenso sfruttamento agricolo, quindi possono essere contaminate da elevate concentrazioni di nitrati e pesticidi. Un'ulteriore minaccia è rappresentata dalla presenza di canalizzazioni, cisterne, acque di infiltrazione (acque di scarico delle strade, inquinanti atmosferici, sale antigelo, ecc.) e siti contaminati.

Una particolarità degli acquiferi in materiale sciolto è la captazione delle acque sotterranee in prossimità di corsi d'acqua. In caso di piena, possono essere captate elevate quantità di acqua recente di fiume, che ha un tempo di permanenza molto ridotto (da ore a giorni) e che può contenere sostanze nocive e microrganismi. Perciò, nella valutazione della qualità delle acque sotterranee e di quella potabile bisogna assolutamente tenere conto dei recenti influssi meteorologici, cosa che però avviene raramente di routine nella maggior parte degli impianti di approvvigionamento idrico. Per descrivere il sistema non è sufficiente prelevare un solo campione per ogni piena. È opportuno invece controllare il comportamento del sistema attraverso una serie di prelievi – all'occorrenza ogni paio d'ore – e l'analisi di diversi parametri

### **Acque sotterranee in roccia fessurata e in roccia carsica**

Gli acquiferi in rocce fessurate e carsiche sono caratterizzati da una rete tridimensionale di crepe, fessure, fratture e caverne. Il sistema di scorrimento è tipicamente duale, con estese zone in cui le acque sotterranee scorrono lentamente (tempo di permanenza di diverse settimane) caratterizzate da una buona funzione depurativa. Accanto a queste zone ce ne sono altre relativamente

*Sistema di scorrimento duale*



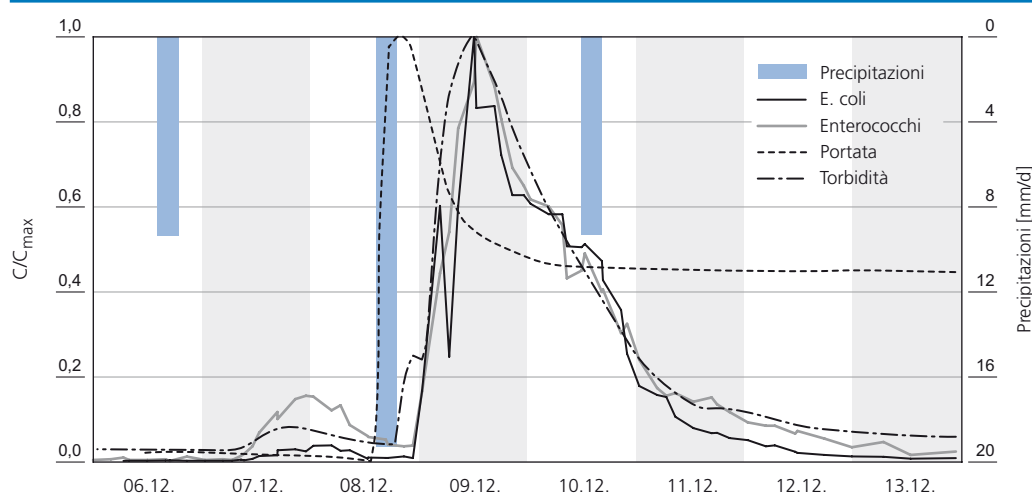
**Figura 2: Acquifero carsico con sistema di scorrimento duale (lento nelle crepe sottili, rapido nelle grandi spaccature e cavità)**

più piccole, in cui l'acqua scorre rapidamente e viene filtrata poco. Nei periodi secchi sono soprattutto le zone di scorrimento lento che determinano il deflusso d'acqua, mentre quando piove o durante il disgelo primaverile la qualità dell'acqua dipende primariamente dalle zone di scorrimento rapido.

A ciò va aggiunto che nei sistemi carsici e in rocce fessurate l'infiltrazione attraverso il suolo è scarsa e talvolta persino assente. Quindi, questi sistemi dispongono di una minima capacità di adsorbimento e di ritenzione, in cui spesso l'unica forma di riduzione delle concentrazioni degli inquinanti è la diluizione. Di solito in questi sistemi predominano condizioni aerobiche. A causa della mancanza di un effetto filtrante, il carico microbiologico proveniente dall'agricoltura, dagli animali selvatici o da acque di scarico è generalmente più elevato rispetto agli acquiferi in materiale sciolto. Gli inquinanti provenienti da discariche e dalle attività agricole e forestali (pesticidi, fertilizzanti, oli minerali, ecc.) si immettono e si diffondono rapidamente nel sistema. Gli acquiferi in roccia carsica sono contraddistinti da una rapida reazione agli eventi meteo-

rologici (innalzamento repentino delle acque, carichi solidi elevati, aumento rapido della torbidità, aumento generale del carico di microrganismi, NOM, ecc.). La velocità di scorrimento può raggiungere diverse centinaia di metri fino a qualche chilometro al giorno. Di conseguenza, la qualità dell'acqua è bassa. Come mostra la figura 3, il carico inquinante effettivo delle sorgenti carsiche può essere determinato solo attraverso misurazioni collegate agli eventi meteorologici.

Contrariamente agli acquiferi carsici, gli acquiferi in rocce fessurate sono costituiti soprattutto da rocce cristalline (più raramente da calcari, calcari marnosi e scisti calcarei non carsificati). Ciò influisce in particolare sulla composizione minerale dell'acqua (meno calcarea, pH di norma lievemente acido). La capacità autodepurante e le velocità di scorrimento sono estremamente variabili e dipendono dalle dimensioni delle fessure. A seconda del grado di fessurazione, la qualità delle acque sotterranee può corrispondere a quella di un acquifero carsico molto sviluppato o a quella di un acquifero in materiale sciolto.



**Figura 3: Reazione di una sorgente carsica agli eventi pluviali. Oltre alla portata, anche la torbidità e, come si nota, il carico di E. coli ed enterococchi sono strettamente associati ai singoli eventi pluviali. La persistenza del carico di microrganismi inoltre dimostra che l'effetto filtrante del sottosuolo è relativamente debole.**

## 2. Introduzione

### Acque superficiali

La qualità dell'acqua grezza proveniente da acque superficiali dipende in forte misura da fattori stagionali (crescita di alghe e plancton, ecc.) e dagli eventi meteorologici. A causa della mancanza di filtrazione e degli esigui meccanismi di adsorbimento (interazione acqua-

sedimento), le sostanze solide e quelle disciolte si diffondono molto rapidamente e determinano grandi variazioni della qualità. Il carico microbiologico è generalmente molto elevato. I pericoli sono costituiti dal ruscellamento di terreni sfruttati a scopo agricolo o forestale (fertilizzanti, pesticidi, concimi di fatto-

Qualità molto variabile

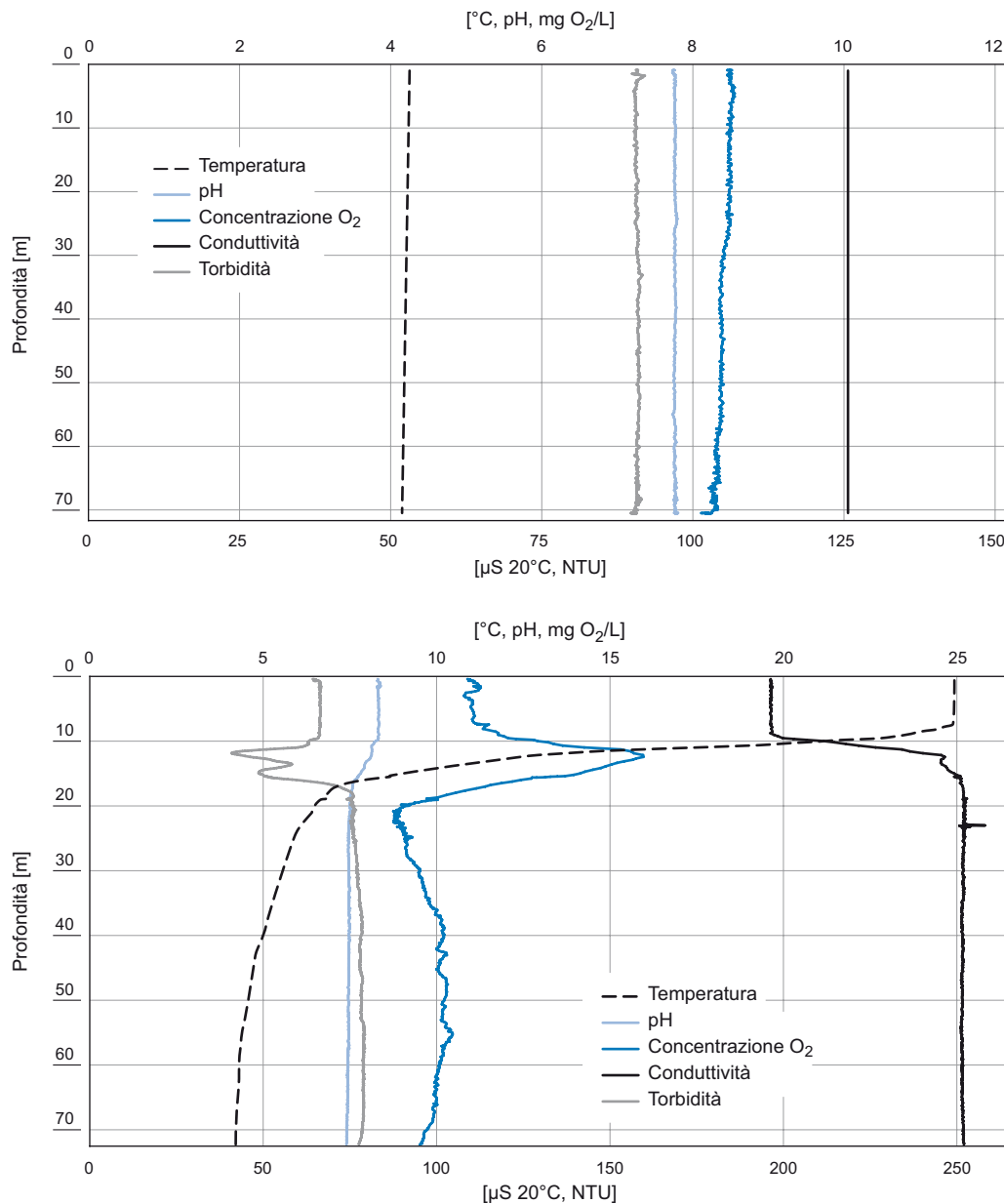


Figura 4: Tipico profilo di profondità di un lago in inverno durante il processo di scambio dei fluidi in primavera o in autunno (grafico in alto) e durante la stratificazione termica estiva (grafico in basso). Le condizioni a grandi profondità (in questo caso > 25 m) rimangono relativamente costanti malgrado le forti oscillazioni stagionali alla superficie.

ria), l'immissione di acque di scarico, la deposizione di inquinanti atmosferici ed eventuali sinistri.

L'acqua di lago di solito viene captata in profondità, sotto l'epilimnio estivo (generalmente a più di 30 m di profondità), dove le oscillazioni stagionali e gli eventi meteorologici hanno un impatto molto debole, garantendo delle condizioni dell'acqua grezza (parametri chimici e fisici) più costanti. Alterazioni della qualità possono verificarsi soprattutto in primavera e in autunno, quando cambia la circolazione lacustre, e in seguito alla moltiplicazione delle alghe.

L'acqua di fiume è molto esposta agli influssi esterni e gli inquinanti vengono trasportati rapidamente a valle. Inoltre, la portata del deflusso, ossia la disponibilità d'acqua, è soggetta a forti variazioni. Per questi motivi in Svizzera le acque di fiume non vengono utilizzate direttamente per la preparazione di acqua potabile. Sono captate solo come filtrato dalla riva oppure usate dopo un trattamento preliminare per arricchire artificialmente le acque sotterranee.

Per descrivere la qualità dell'acqua grezza nella situazione specifica di un sistema di approvvigionamento idrico, devono essere esaminati i dati idrogeologici disponibili e i risultati delle analisi, ed eventualmente vanno condotte nuove campagne di misurazione per procedere all'interpretazione dell'insieme dei dati.

### **Analisi dei dati disponibili**

Il primo passo di una procedura d'esame è sempre l'analisi e la verifica dei dati già presenti. Bisogna raccogliere e interpretare tutte le informazioni sulle condizioni idrogeologiche, la composizione chimica e microbiologica dell'acqua, la disponibilità e il fabbisogno

d'acqua, le caratteristiche meteorologiche del bacino imbrifero, ecc. È utile soprattutto analizzare lunghi periodi, nonché gli eventi pluviali e di piena, per individuare fluttuazioni, tendenze o la comparsa di nuove sostanze. Di solito i dati delle misurazioni di routine (2-6 all'anno) non sono sufficienti per una valutazione approfondita, ma possono già fornire qualche indizio su eventuali caratteristiche o problemi. Di norma si raccolgono più dati soprattutto in occasione della ristrutturazione di un impianto esistente, per cui è utile andare alla ricerca di queste informazioni.

### **Campagna di misurazione**

Per valutare la situazione nel suo insieme è necessaria un'accurata campagna di misurazione, in cui sia rilevato il maggior numero possibile di parametri, in modo continuo (torbidità, temperatura, conduttività elettrica, ecc.) o a scadenze ravvicinate (microrganismi, inquinanti organici, ecc.). Gli intervalli tra le misurazioni devono essere adeguati alla frequenza di variazione della qualità dell'acqua. Per esempio, per rilevare i picchi di carico negli acquiferi carsici o nelle captazioni in prossimità di corsi d'acqua può darsi che sia necessario eseguire prelievi più volte al giorno. D'altro canto, un punto di captazione di acque sotterranee ben protette in materiale sciolto talvolta può richiedere solo un prelievo alla settimana. Sono soprattutto le fluttuazioni e la comparsa di eventi estremi i fattori decisivi per la posa e il dimensionamento di un impianto di preparazione dell'acqua potabile. Oltre alle fluttuazioni a breve termine, vanno misurate anche le variazioni stagionali, per esempio del fabbisogno d'acqua o del carico di inquinanti organici (es. pesticidi). Quindi il periodo di misurazione deve protrarsi perlomeno per un anno.

*Misurare i parametri in modo continuo*

*Analisi dei dati disponibili*

## 2. Introduzione

### **Descrizione chimicofisica e microbiologica dell'acqua grezza**

La caratterizzazione dell'acqua grezza comprende da un lato i parametri chimicofisici di base come la temperatura, il pH o la conduttività, dall'altro tutta la sua composizione chimica e microbiologica. I costituenti indesiderati determinano i trattamenti necessari, ma nello stesso tempo anche gli altri costituenti influiscono sui singoli procedimenti e metodi. Per esempio, alcune sostanze (come il carbonio organico assimilabile (AOC)) possono costituire un substrato alimentare per l'eventuale ricrescita di microrganismi nella rete dell'acqua potabile. Inoltre, un'eccessiva torbidità riduce l'efficacia della disinfezione chimica e con raggi UV. Un tenore elevato di materiale organico naturale (NOM) accelera la degradazione degli ossidanti chimici e aumenta la formazione di sottoprodotti indesiderati (es. i trialometani (THM)). Di conseguenza, l'efficacia dei disinfettanti si riduce e occorrono quantità maggiori di prodotti chimici. Il NOM inoltre entra in concorrenza con il carbone attivo per l'adsorbimento di sostanze in tracce.

I dati devono essere elaborati in forma di diagrammi, per illustrare graficamente ed interpretare lo sviluppo cronologico e le eventuali relazioni tra i vari parametri.

*Caratterizzazione dell'acqua grezza*

### **Fabbisogno e disponibilità d'acqua**

Oltre alla qualità, anche la quantità d'acqua è un fattore importante nella pianificazione di un impianto di preparazione dell'acqua potabile. Quindi, sia il fabbisogno che la disponibilità d'acqua sono fondamentali. Anche in questo caso i parametri da tenere in considerazione sono soprattutto le fluttuazioni e i valori estremi. Per esempio, i livelli minimi delle acque sotterranee o le portate massime delle sorgenti determinano la quantità massima d'acqua a disposizione. Inoltre bisogna tenere in debito conto anche il fabbisogno addizionale generato dai trattamenti stessi, una filtrazione rapida o mediante membrana può richiedere per la depurazione fino al 15 per cento della quantità d'acqua.

*Livelli delle acque sotterranee o portate delle sorgenti*

### **Test di laboratorio e impianti di preparazione pilota**

Dopo una prima valutazione del procedimento è utile metterlo alla prova, inizialmente in laboratorio e in seguito in un impianto pilota. Ciò vale in modo particolare per i procedimenti complessi e a più stadi. Test di laboratorio approfonditi forniscono informazioni preziose sugli effetti di un trattamento di un'acqua grezza specifica. Tuttavia, i risultati degli esperimenti in scala ridotta e in condizioni di laboratorio non possono essere sempre rapportati direttamente alle dimensioni di un grande impianto. Un impianto pilota presenta il vantaggio di poter testare un procedimento o una serie di procedimenti in condizioni reali (acqua grezza, dimensioni, ecc). Utilizzando un impianto pilota per un tempo sufficientemente lungo, poi, è possibile studiare ulteriori fattori come i processi di rodaggio e di invecchiamento dell'impianto. L'installazione pilota deve essere progettata in modo che i parametri specifici come i tempi di permanenza e

*Impianto pilota per procedimenti complessi e a più stadi*

di contatto o i dosaggi degli additivi corrispondano a quelli dell'impianto reale, per ottenere informazioni cruciali e per poter affrontare per tempo gli eventuali problemi prima della sua edificazione.

#### *Condizioni marginali*

Spesso i procedimenti di pre- e post-trattamento pongono ulteriori condizioni marginali (soprattutto nella ristrutturazione di impianti esistenti) di cui bisogna tenere conto. Inoltre, per la scelta di un procedimento possono essere decisivi altri fattori come il fabbisogno di risorse umane e la qualifica necessaria del personale, lo smaltimento dei residui del trattamento, l'uso di prodotti chimici o l'entità e il costo dei necessari accertamenti preliminari.

Nei capitoli seguenti sono descritti i componenti che si possono trovare nell'acqua grezza, compresi i microrganismi, e i metodi e procedimenti per trattarli nella maniera più efficace. Quest'elenco è pensato per fungere da base per una valutazione sommaria e da supporto al processo decisionale. In tutti i casi non si può rinunciare a un accertamento dettagliato e legato alla situazione specifica dell'idoneità di un procedimento.

# 3. Microrganismi

## Introduzione

La contaminazione microbiologica dell'acqua potabile e i problemi ad essa correlati sono stati il principale motore dello sviluppo e dell'introduzione dei primi procedimenti di preparazione dell'acqua potabile. La contaminazione microbica è una grave minaccia alla salute degli esseri umani.

La valutazione del carico microbiologico dell'acqua grezza e di quella potabile si basa su germi indicatori, ossia sul principio che la ricerca di pochi microrganismi rappresentativi fornisca informazioni attendibili sul carico totale e sul potenziale rischio per la salute delle persone. I germi indicatori devono condividere caratteristiche simili (presenza, diffusione, resistenza ambientale, sensibilità alla disinfezione, ecc.) con gli organismi patogeni e devono essere facilmente individuabili.

Nelle pagine seguenti sono descritti schematicamente i microrganismi più comuni e importanti sotto il profilo igienico in Svizzera, suddivisi in batteri, virus e protozoi. L'elenco non è esaustivo, ma riporta i germi che possono fungere da indicatori o per cui esistono disposizioni legali nel nostro Paese. La varietà di patogeni trasmissibili con l'acqua è enorme, tuttavia la loro presenza è associata con elevata probabilità a quella dei germi descritti in queste pagine. L'ordinanza del DFI sui requisiti igienici (ORI) prescrive i seguenti valori di tolleranza:

**Tabella 1: Valori di tolleranza fissati dall'ORI per microrganismi nell'acqua potabile non trattata e trattata (stato 1° aprile 2007). I valori di tolleranza per E. coli e per gli enterococchi sono identici per entrambi i tipi d'acqua.**

	<b>Valore di tolleranza</b>
<i>E. coli</i>	nr/100 ml
Germi aerobi mesofili punto di captazione	100/ml
Germi aerobi mesofili dopo il trattamento	20/ml
Germi aerobi mesofili rete di distribuzione	300/ml
<i>Enterococchi</i>	nr/100 ml
nr: non rilevabili	

## Batteri

### Germi aerobi mesofili

Il parametro generale germi aerobi mesofili (GAM) comprende tutti i microrganismi di origine naturale e antropica (batteri, lieviti, funghi) che crescono su un substrato nutritivo non specifico in condizioni standard (30°C, ossigeno atmosferico, 72 ore). Si tratta di un indicatore generale del carico di microrganismi nell'acqua grezza e potabile. L'ORI prescrive un valore di tolleranza relativo all'acqua potabile trattata di 20 germi/ml. A causa della successiva ricrescita, nella rete di distribuzione viene tollerato un aumento del valore fino ad un massimo di 300 germi/ml. I GAM sono solo una piccola porzione del numero totale di microrganismi nell'acqua, che secondo le misurazioni mediante citometria a flusso è fino a 1000 volte superiore. Inoltre, tra le quantità di germi misurate con entrambi i metodi si riscontra una correlazione molto debole o persino assente. Di conseguenza, i GAM sono solo limitatamente adatti alla valutazione dell'efficacia disinfettante di un impianto.

*Germi indicatori*

Ospiti: bovini,  
pecore, maiali,  
volatili e selvag-  
gina

### **Campylobacter**

I *Campylobacter* sono batteri gram-negativi a forma di bastoncino. Possiedono un flagello, sono larghi 0,2-0,5 µm e lunghi 0,5-5 µm e sono trasmissibili dall'animale all'uomo (batteri zoonotici). Gli ospiti più comuni sono bovini, pecore, maiali, volatili e animali selvatici. Negli animali l'infezione è solitamente asintomatica e quindi passa inosservata. Nell'uomo i *Campylobacter* si insediano nella mucosa intestinale e provocano diarree infiammatorie (enterite), probabilmente a seguito della produzione di enterotossine. Il responsabile del 90 per cento circa dei casi di malattia è il *Campylobacter jejuni*, resistente a parecchi antibiotici. Il contagio avviene prevalentemente attraverso il consumo di derrate alimentari di origine animale, in particolare la carne di volatili e i latticini (intossicazione alimentare). I *Campylobacter* sono frequenti nelle acque superficiali svizzere e possono essere riscontrati anche nell'acqua grezza di sorgenti carsiche dopo gli eventi pluviali. Questi batteri sono capaci di sopravvivere nell'acqua per qualche settimana (in forma di bastoncini coltivabili) o qualche mese (in forma coccoide). Tuttavia, i *Campylobacter* non possono riprodursi al di fuori dall'ospite. L'individuazione di questi germi è molto impegnativa e richiede tempo.

### **Clostridi**

I clostridi sono batteri anaerobi gram-positivi capaci di muoversi attivamente (flagellati) e che formano endospore resistenti a una grande varietà di influssi ambientali. Hanno forma di bastoncino, sono larghi circa 1 µm e lunghi 3-8 µm. La maggior parte di questi organismi ubiquitari (presenti soprattutto nel suolo e nel tratto digerente di uomini e animali) non è patogena, vale a dire che

è innocua per l'essere umano e spesso è perfino utile per scopi biotecnologici. Solo poche specie costituiscono una minaccia per l'uomo a causa delle loro tossine. I clostridi sono gli agenti responsabili della cancrena gassosa, di enteriti, del tetano e del botulismo. Possono essere sfruttati come indicatori della presenza di materiale fecale e sono stati proposti, analogamente alle spore di *B. subtilis*, come germi indicatori dell'inattivazione di *Cryptosporidium*, *Giardia* o di spore batteriche, in virtù delle loro spore molto resistenti.

### **Enterococchi**

Gli enterococchi sono batteri lattacidi gram-positivi, anaerobi facoltativi, solitamente raggruppati in coppie o in brevi catenelle. Sono presenti nell'ambiente, nell'apparato digerente umano e animale, nelle derrate alimentari (latticini, insaccati) e sono particolarmente resistenti al calore. In ambito alimentare (acqua potabile e derrate alimentari), gli enterococchi sono utilizzati come indicatori fecali. A causa della loro scarsa resistenza non sono adatti per valutare l'efficacia disinfettante. Possono avere effetti patologici sull'uomo, in particolare sui soggetti con sistema immunitario indebolito. Gli enterococchi possono causare in rari casi infezioni quali sepsi (infezione del sangue), endocardite (infiammazione della membrana che riveste le cavità cardiache) o infezioni delle vie urinarie. Desti particolare preoccupazione la loro crescente resistenza agli antibiotici. L'ORL prescrive che gli enterococchi non debbano essere rilevabili in 100 ml di acqua potabile (valore di tolleranza).

### **Escherichia coli**

*E. coli* è un batterio gram-negativo, anaerobio facoltativo, presente in natura nel tratto digerente degli esseri umani

Nell'ambiente,  
nel sistema  
digerente di  
uomini e animali  
e nelle derrate  
alimentari

Batteri della  
flora intestinale  
umana

### 3. Microrganismi

e degli animali. È uno dei batteri più comuni della flora intestinale umana; alcuni ceppi però possono essere patogeni fuori dell'intestino. In condizioni idonee E. coli sopravvive a lungo, ma è molto poco resistente ai disinfettanti. Può provocare infezioni delle vie urinarie, meningite neonatale e altre infezioni. Assumono crescente importanza i ceppi che producono verotossina (VTEC, sinonimi STEC, EHEC), che possono essere assunti con alimenti di origine animale e causare infezioni gravate da serie complicazioni (colite emorragica, sindrome emolitico-uremica). Nell'acqua potabile l'E. coli è il principale indicatore di contaminazione fecale dell'acqua grezza, tuttavia è troppo poco resistente per valutare l'efficacia dei prodotti disinfettanti. L'ORI prescrive che l'E. coli non debba essere rilevabile in 100 ml di acqua potabile trattata (valore di tolleranza); lo stesso vale per l'acqua potabile nella rete di distribuzione.

#### Salmonelle

Le salmonelle sono batteri gram-negativi, anaerobi facoltativi, lunghi 2-5 µm e larghi 0,8-1,5 µm, strettamente imparentati al genere Escherichia. Le salmonelle provocano zoonosi (gastroenterite, tifo), trasmesse molto frequentemente con gli alimenti. Soprattutto i gruppi a rischio come i neonati e lattanti, gli anziani e le persone immunocompromesse possono sviluppare infezioni gravi. Al di fuori del corpo umano o animale le salmonelle possono sopravvivere per settimane. I raggi UV, il calore e i disinfettanti chimici riducono la sopravvivenza di questi organismi.

*Trasmesse con gli alimenti*

#### Shigelle

Le shigelle sono batteri a bastoncello gram-negativi, prevalentemente aerobi, lunghi 1-6 µm e larghi 0,3-1 µm, individuati finora solo negli esseri umani e nei primati. La trasmissione avviene prevalentemente attraverso acqua o alimenti contaminati, nonché per via fecale-orale. Tutte le specie conosciute provocano la shigellosi (dissenteria batterica). L'infezione aggredisce la mucosa intestinale, provocando crampi dolorosi. I soggetti più colpiti sono i bambini, gli anziani e le persone immunocompromesse. Inoltre, alcune specie producono la tossina shiga, che può causare gravi intossicazioni. Siccome le shigelle muoiono rapidamente fuori del tratto digerente, la loro presenza nell'acqua potabile indica una contaminazione molto recente. Questi batteri dimostrano una crescente resistenza agli antibiotici.

*Individuati solo nell'essere umano*

#### Vibrio cholerae

Il V. cholerae è un batterio flagellato gram-negativo, anaerobio facoltativo; è il responsabile principale del colera. Il vibrione si riproduce molto rapidamente nell'intestino tenue, dove produce una potente enterotossina. Se non viene trattato, il colera è mortale nel 50 per cento dei casi. La trasmissione avviene principalmente per via orale, in condizioni igieniche precarie (acqua e alimenti contaminati). L'habitat naturale del V. cholerae sono le acque costiere, le acque superficiali e gli animali marini (soprattutto i molluschi).

*Habitat naturale: acque superficiali*

#### Virus

##### Adenovirus

Gli adenovirus patogeni umani fanno parte dei virus privi di involucro, per cui godono di un'elevata stabilità verso gli influssi ambientali fisici e chimici, e

quindi di una lunga capacità di sopravvivenza al di fuori del corpo dell'ospite. Questi virus hanno dimensioni di 70-90 nm. La trasmissione avviene per contatto diretto (es. infezione da goccioline), per via fecale-orale e in parte attraverso l'acqua contaminata. Gli adenovirus provocano malattie delle vie respiratorie come raffreddori, bronchiti o persino polmoniti. Inoltre possono dar luogo a infezioni della gola, degli occhi e del tratto gastrointestinale.

### **Enterovirus**

Gli enterovirus comprendono i poliovirus, i coxsackievirus e gli echovirus. Sono virus animali di dimensioni molto piccole, raggiungendo al massimo i 20-30 nm. Gli enterovirus sono caratterizzati da un'elevata persistenza in varie condizioni ambientali (elevata resistenza agli acidi, ecc.) e restano infettivi per lunghi periodi anche al di fuori dell'ospite. L'unico serbatoio conosciuto degli enterovirus è l'uomo. Il contagio avviene prevalentemente attraverso il contatto diretto (goccioline), per via fecale-orale o consumando derrate alimentari infette. Il quadro clinico delle infezioni da enterovirus è molto ampio, andando sintomi influenzali a meningite, encefalite, epatite, polmonite fino a lesioni del sistema nervoso centrale (poliomielite). Gli enterovirus sono spesso individuati nelle acque di scarico, nelle acque sotterranee e in fiumi e laghi. Le concentrazioni maggiori si rilevano soprattutto in estate e in autunno.

### **Norovirus (virus Norwalk, virus Norwalk-like)**

I norovirus (in precedenza chiamati virus Norwalk-like) sono virus a RNA privi di involucro e grandi 25-40 nm. Grazie alla mancanza di involucro, i norovirus

sono resistenti agli influssi ambientali. I tre genogruppi patogeni (chiamati norovirus umani), trovano nell'uomo il loro unico serbatoio virale. Un'infezione da norovirus si manifesta tipicamente con una gastroenterite. Sono tra i responsabili più frequenti delle infezioni gastrointestinali di origine non batterica. La trasmissione avviene solitamente per via fecale-orale attraverso derrate alimentari, acqua e aerosol: appena 10-100 particelle virali sono sufficienti per generare un'infezione (elevata infettività). Nell'ambiente i norovirus possono essere rilevati nelle acque di scarico depurate, nelle acque di superficie e in parte anche nell'acqua di sorgenti carsiche. Si osserva una prevalenza stagionale nei mesi invernali.

### **Rotavirus**

I rotavirus sono virus a RNA privi di involucro grandi circa 50-70 nm. Sono contraddistinti da una straordinaria resistenza agli influssi esterni, specialmente alla disinfezione con raggi UV o cloro, e nell'acqua restano infettivi per settimane. I rotavirus sono molto diffusi nel regno animale e hanno una considerevole importanza economica nell'allevamento (soprattutto bovino). L'infezione nell'uomo provoca vomito, febbre e diarrea. La trasmissione avviene prevalentemente per via fecale-orale o attraverso derrate alimentari o acqua potabile contaminate. Per generare un'infezione sono sufficienti poche particelle virali. In particolare nei bambini, negli anziani e nelle persone immunocompromesse il decorso dell'infezione può essere grave. In Svizzera si riscontrano spesso rotavirus nelle acque di scarico depurate, nelle acque superficiali e anche in quelle sotterranee.

*10-100 particelle sono sufficienti per un'infezione*

*Resistenti alla disinfezione con UV o cloro*

*Elevata persistenza nell'ambiente*

### 3. Microrganismi

#### Protozoi

##### **Cryptosporidium**

Il criptosporidio è un parassita e diffuso in tutto il mondo che misura 4-6  $\mu\text{m}$ .

La specie più importante per l'uomo è il *Cryptosporidium parvum*. Si tratta di germi zoonotici, i cui ospiti principali sono i bovini e altri vertebrati. Vengono trasmessi nelle loro forme di resistenza, chiamate oocisti (~3  $\mu\text{m}$ ), prevalentemente attraverso acqua contaminata o contatto diretto per via fecale-orale.

L'infezione da criptosporidio provoca febbre lieve, capogiri, coliche addominali e diarrea. Una dose di 10 oocisti è già sufficiente per generare un'infezione in un adulto sano. In particolare le persone immunocompromesse possono sviluppare pericolose dissenterie croniche. Le oocisti sono molto resistenti nell'ambiente esterno e sopravvivono nell'acqua per mesi. In Svizzera talvolta si riscontrano nelle acque superficiali, in quelle sotterranee e nell'acqua di sorgenti carsiche. La grande resistenza delle oocisti alla disinfezione chimica costituisce un grande problema nella preparazione dell'acqua potabile. Tuttavia alcuni metodi come i procedimenti di separazione (filtrazione mediante membrana) e la disinfezione a raggi UV si sono dimostrati efficaci.

##### **Giardia**

La *Giardia* è un parassita patogeno facoltativo che appartiene al gruppo dei protozoi flagellati. Nel suo sviluppo percorre due stadi: lo stadio di riproduzione (forma vegetativa, trofozoite, 11-19  $\mu\text{m}$ ) e quello di resistenza (forma quiescente, cisti, 10-15  $\mu\text{m}$ ). La specie più rilevante per l'essere umano è la *G. lamblia* (o *G. intestinalis*, *G. duodenalis*). La gamma di organismi ospiti è ampia e comprende vertebrati come ruminanti, gatti, cani, cavalli, suini, roditori, ecc.,

nonché l'essere umano. L'infettività è molto alta, già qualche cisti (da 1 a 10) è sufficiente per scatenare un'infezione. Il principale mezzo di trasmissione è l'acqua contaminata (bevuta o usata per fare il bagno), a cui si aggiunge la via fecale-orale, per esempio con l'assunzione di cibi.

I trofozoiti aderiscono alle cellule della mucosa dell'intestino tenue, provocano un'infiammazione e ne compromettono la funzione. Di conseguenza insorgono disturbi come diarrea, flatulenza, febbre lieve e nei casi più gravi anche segni di malnutrizione. Le coriacee cisti di *Giardia* possono sopravvivere per mesi nelle acque superficiali e per settimane nei terreni umidi. In Svizzera le cisti si riscontrano regolarmente nelle acque superficiali. Per eliminare la *Giardia* si sono dimostrati efficaci i procedimenti mediante membrana (ultrafiltrazione, nanofiltrazione) e la disinfezione con ozono e raggi UV.

Acqua contaminata dalle oocisti

Gamma degli ospiti

## Confronto dei procedimenti

Nelle tabelle seguenti viene confrontata l'efficacia dei procedimenti di preparazione descritti in questo documento in merito alla separazione o all'inattivazione dei microrganismi discussi in questo capitolo.

**Tabella 2: Procedimenti di separazione dei microrganismi. La valutazione dell'efficacia di separazione si basa sulle dimensioni dei singoli organismi. È tuttavia imprescindibile un accertamento dettagliato per ogni caso specifico.**

Batteri	Separazione							
	SED	FR	FLS	CA	MF <sup>Δ</sup>	UF	NF	RO
Germi aerobi mesofili	-	+*	+	+/-	+	++	++	++
<i>Campylobacter</i>	-	+*	+	+/-	+	++	++	++
Clostridi	-	+*	+	+/-	+	++	++	++
<i>Enterococchi</i>	-	+*	+	+/-	+	++	++	++
<i>Escherichia coli</i>	-	+*	+	+/-	+	++	++	++
<i>Salmonelle</i>	-	+*	+	+/-	+	++	++	++
<i>Shigelle</i>	-	+*	+	+/-	+	++	++	++
<i>Vibrio Cholerae</i>	-	+*	+	+/-	+	++	++	++

### Virus

Adenovirus	-	+/-*	+	-	-	++	++	++
Enterovirus	-	+/-*	+	-	-	++	++	++
Norovirus	-	+/-*	+	-	-	++	++	++
Rotavirus	-	+/-*	+	-	-	++	++	++

### Protozoi

<i>Cryptosporidium</i>	-	+*	+	+/-	+	++	++	++
<i>Giardia</i>	-	+*	+	+/-	+	++	++	++

SED : sedimentazione	++ : molto adatto
FR : filtrazione rapida	+ : adatto
LSF : filtrazione lenta su sabbia	+/- : limitatamente adatto
AK : carbone attivo	- : inadatto
MF : microfiltrazione	
UF : ultrafiltrazione	* : con flocculanti
NF : nanofiltrazione	Δ : dipendente dalla dimensione dei pori
RO : osmosi inversa	

### 3. Microrganismi

Valore c\*t

L'efficacia d'inattivazione viene indicata nella tabella 3 con il valore c\*t, ossia il prodotto della concentrazione efficace di disinfettante c per il tempo d'azione t. Il tipico tempo d'azione su un microrganismo in un impianto di preparazione dell'acqua potabile è di 5 - 10 minuti. Le concentrazioni di disinfettante immes-

so devono essere adattate ai tempi di contatto.

Analogamente ai valori c\*t, l'efficacia d'inattivazione nell'ambito della disinfezione UV viene indicata mediante la dose UV, ossia il prodotto dell'irradiamento per il tempo.

**Tabella 3: Procedimenti per l'inattivazione di microrganismi a confronto, espressi con i valori c\*t [mg\*min/l] e la dose UV [J/m<sup>2</sup>]. A questi va applicata un'inattivazione del 99 per cento dei detti microrganismi. Fattori come torbidità o altri costituenti dell'acqua possono avere un influsso determinante sull'efficacia disinfettante. I dati si riferiscono a un valore pH neutro e a una temperatura di 5°C. I valori vanno considerati come operativi. In assenza di valori c\*t o di quelli riferiti alla dose, (++) significa molto adatto all'inattivazione mentre invece (-) significa inadatto.**

Microrganismi	Inattivazione (valori c*t, dose UV o idoneità d'inattivazione)			
	Cloro	Biossido di cloro	Ozono	UV
<b>Batteri</b>				
Germi aerobi mesofili	0.08	0.13	0.02	++
<i>Campylobacter jejuni</i>	++	++	++	34
Enterococchi	++	++	++	++
<i>Escherichia coli</i>	0.03 - 0.05	0.04 - 0.08	0.01 - 0.02	30 - 80
Salmonelle	++	++	++	20 - 120
Shigelle	++	++	++	12 - 49
<i>Vibrio cholerae</i>	++	++	++	14
<b>Virus</b>				
Adenovirus	0.7 - 2.5			450 - 1050
Enterovirus	1.1 - 4.0	6.7 - 12.8	0.1 - 0.8	70 - 180
Norovirus	+/-	++	++	+
Rotavirus	0.01 - 0.05	0.2 - 2.1	0.01 - 0.06	150 - 190
<b>Protozoi</b>				
<i>Oocisti di Cryptosporidium</i>	510 - 7200	40 - 120	5 - 10	< 10 - 58
<i>Cisti di Giardia</i>	12 - 630	7.2 - 42	0.3 - 2.0	< 20 - 100

## 4. Costituenti dell'acqua

### Introduzione

Oltre alle molecole d'acqua, le acque naturali contengono anche un miscuglio variegato di sostanze, che giungono alle acque superficiali o sotterranee attraverso processi naturali di dissoluzione o biologici. La composizione è molto variabile, a seconda dell'origine dell'acqua. Alcune di queste sostanze, come l'arsenico, possono raggiungere già allo stato naturale concentrazioni potenzialmente pericolose per gli esseri umani. Molte altre invece entrano nel ciclo dell'acqua solo a causa delle attività umane: si tratta da una parte di sostanze presenti in natura (es. il sale da cucina), le cui concentrazioni sono nettamente incrementate dall'uomo, dall'altra di sostanze sintetiche (es. pesticidi, MTBE, ecc.) di origine esclusivamente umana. Molte di queste sostanze possono avere conseguenze negative sulla nostra salute. Per alcune sostanze indesiderate la legislazione sulle derrate alimentari prevede valori limite e di tolleranza. L'obiettivo ultimo è evitare la loro immissione, ma nel caso in cui siano presenti nell'acqua grezza occorre adottare i procedimenti adatti per la loro eliminazione o trasformazione. Un fattore importante nella scelta dei metodi di preparazione è l'eventuale formazione di sottoprodotti, che vanno evitati o mantenuti inferiori alle concentrazioni massime consentite. Nell'ordinanza del Dipartimento federale dell'interno sulle sostanze estranee e sui componenti presenti negli alimenti (OSoE), i valori limite e di tolleranza sono definiti come segue (articolo 2, capoversi 3, 4):

- «Il valore limite è la concentrazione massima che, se superata, rende l'alimento inadatto all'alimentazione umana.»

- «Il valore di tolleranza è la concentrazione massima che, se superata, rende contaminato l'alimento o ne diminuisce il valore.»

In questo capitolo vengono brevemente descritti i principali costituenti dell'acqua, con una spiegazione della loro rilevanza. Seguono alla fine due tabelle che mostrano come si comportano queste sostanze nei procedimenti di preparazione più usati.

### Costituenti principali e secondari

I costituenti principali e secondari presenti nell'acqua grezza sono ioni, molecole, parametri generali e gas disciolti. A questi vanno aggiunti i disinfettanti o i riducenti provenienti dai procedimenti di preparazione dell'acqua potabile e i sottoprodotti delle reazioni.

### Alluminio

L'alluminio è il metallo più diffuso nella crosta terrestre, ma in natura non è mai presente in forma pura, bensì sotto forma di alluminosilicati o ossidi (come la bauxite). Se il suolo è acido l'alluminio diventa mobile e può infiltrarsi per dilavamento nelle acque sotterranee. Per gli esseri umani questo metallo non è un elemento essenziale e a dosi elevate può interferire con il metabolismo, in particolare può compromettere l'assimilazione di altri metalli come il magnesio e il ferro. L'alluminio (Al(III)) è utilizzato spesso nel trattamento dell'acqua come flocculante, quindi nell'acqua potabile potrebbero verificarsi aumenti indesiderati della concentrazione di questo elemento.

L'OSoE prescrive un valore di tolleranza di 0,2 mg/l nell'acqua potabile. Nel MSDA è indicato un valore empirico relativo all'acqua grezza inferiore a 0,05 mg/l.

(Al(III)):  
flocculante

Valori limite e  
di tolleranza

## 4. Costituenti dell'acqua

*Processi di dissoluzione negli acquiferi*

### Arsenico

L'arsenico è un semimetallo, presente in natura sotto forma di solfuri o di arsenato legato a (idr)ossidi di ferro(III). Il tenore di arsenico nell'acqua grezza dipende prevalentemente dai processi di dissoluzione negli acquiferi. L'esposizione cronica a questa sostanza compromette i processi di riparazione, metabolismo e trasporto cellulare. I danni si manifestano sulla pelle e nei vasi sanguigni, nonché sotto forma di tumori. Il valore limite per l'arsenico nell'acqua potabile è di 50 µg/l (OSoE). Nell'UE la concentrazione massima ammessa è 10 µg/l. La concentrazione media di arsenico in Svizzera è circa 2 µg/l, tuttavia sono stati misurati valori massimi dell'ordine di 100 µg/l. Indagini recenti dell'UFSP hanno evidenziato che l'adeguamento del valore limite alle norme europee potrebbe creare qualche problema ad alcuni acquedotti dell'arco alpino (Vallese, Ticino, Grigioni).

### Bario

Il metallo alcalino-terroso bario è presente in natura prevalentemente sotto forma di barite ( $\text{BaSO}_4$ ), ma può anche sostituire il calcio e il potassio in molti minerali. Tutti i composti di bario idrosolubili sono tossici. Nel corpo quest'elemento agisce sui muscoli (crampi, disturbi del ritmo cardiaco) e sul sistema nervoso centrale (paralisi). Il bario presente nell'acqua grezza è generalmente di origine geogena, ma può essere immesso nell'ambiente anche attraverso le acque di scarico (industria della ceramica e del vetro, fluidi di perforazione, fuochi d'artificio, ecc.). In Svizzera si rileva molto spesso in tracce, la concentrazione media nelle acque sotterranee è circa 35-40 µg/l, mentre le concentrazioni massime misurate si avvicinano a 750-800 µg/l. Nel nostro Paese non sono stati fissati valori limite di bario, il valore operativo stabilito dall'OMS è di 0,7 mg/l.

### Piombo

Il piombo, un metallo pesante, in natura si presenta soprattutto sotto forma di solfuro ( $\text{PbS}$ , galena). Il piombo è classificato come pericoloso per l'ambiente e tossico. Specialmente i composti solubili del piombo sono contraddistinti da una tossicità molto elevata. Il piombo si accumula nel corpo, in particolare nelle ossa. L'assunzione regolare di quantità relativamente piccole di questo metallo può provocare un calo della produzione di sangue, tossicità renale e soprattutto danni allo sviluppo del sistema nervoso. La presenza di piombo nell'acqua potabile è soprattutto un problema di tubature e rubinetteria, le concentrazioni nell'acqua grezza di solito sono irrilevanti. L'OSoE fissa un valore limite per il piombo di 0,01 mg/l nell'acqua del rubinetto dopo averla lasciata scorrere per cinque minuti. Il valore empirico riportato dal MSDA è meno di 0,001 mg/l.

### Boro

Il boro è un semimetallo presente in natura solo in composti ossigenati. Ad elevate concentrazioni è classificato come nocivo; provoca nausea, vomito o disturbi circolatori. È contraddistinto da elevata mobilità e basso potenziale di trasformazione, per cui la sua probabilità di diffusione è relativamente alta. Il boro proviene prevalentemente dalle acque di scarico ed è riscontrabile in basse concentrazioni nella maggior parte delle acque sotterranee e superficiali svizzere. Nell'OSoE non sono menzionate concentrazioni massime, le raccomandazioni dell'OMS riportano un valore operativo di 0,5 mg/l.

*Il boro proviene prevalentemente dalle acque di scarico*

### Bromo (bromuro, bromato)

Il bromo fa parte degli elementi alogeni, in natura si presenta soprattutto sotto forma di sali di bromuro (bromuro di potassio). Nella preparazione dell'acqua potabile si forma bromato per ozonizzazione dell'acqua grezza contenente

bromuro. È una reazione indesiderata perché il bromato è potenzialmente cancerogeno ed è difficile da eliminare, perciò la sua formazione deve essere limitata attraverso un'ossidazione controllata. Il valore di tolleranza in Svizzera per il bromato proveniente dalla preparazione dell'acqua potabile è di 0,01 mg/l. Nella preparazione dell'acqua potabile (clorazione) si formano anche composti bromorganici. Nell'OSoE sono menzionati in particolare i tre trialommetani bromodichlorometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ : 0,015 mg/l), dibromochlorometano ( $\text{CHClBr}_2$ : 0,1 mg/l) e tribromometano ( $\text{CHBr}_3$ : 0,1 mg/l).

### **Cadmio**

Il cadmio è un metallo pesante classificato come molto tossico e potenzialmente molto pericoloso per l'ambiente. Non riveste alcuna funzione nel corpo umano. In caso di assunzione regolare di piccole quantità di cadmio per via orale possono insorgere disturbi del metabolismo minerale e in particolare danni ai reni. La presenza di cadmio nell'ambiente è dovuta principalmente all'industria metallurgica (produzione di zinco, piombo e rame). Tuttavia esso è presente anche in pesticidi e può contaminare i fertilizzanti minerali contenenti fosfato. Diversamente da altri metalli pesanti, il cadmio presenta un'elevata mobilità. Per questo motivo l'OSoE stabilisce un valore limite di 5 µg/l, mentre il valore empirico riportato dal MSDA è inferiore a 0,5 µg/l. Nelle acque potabili svizzere il cadmio ha una rilevanza minima.

### **Calcio**

Il calcio si presenta soprattutto sotto forma di carbonati e di solfati (es. gesso) o in forma disciolta come catione bivalente ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Il calcio è un elemento essenziale per l'uomo e ha un ruolo

fondamentale nella formazione di ossa e denti. È il catione predominante nell'acqua grezza, determina la durezza dell'acqua e proviene dal dilavamento di minerali contenenti calcio.

Da concentrazioni superiori a 200 mg/l inizia ad alterare il gusto dell'acqua. Per il calcio non sono prescritte concentrazioni massime in Svizzera, né sono indicate dall'OMS.

### **Cloro (cloruro, clorato, clorito)**

Il cloro appartiene al gruppo degli alogeni. A causa della sua reattività, nell'ambiente è presente in prevalenza sotto forma di anione (cloruro,  $\text{Cl}^-$ ). I cloruri sono sali estremamente solubili, non tossici ed essenziali per l'uomo. L'origine del cloruro nell'acqua grezza è solitamente geogena, ma le concentrazioni possono innalzarsi anche in seguito a fenomeni di ruscellamento (sale antigelo, ecc.), immissione diretta o infiltrazione di acque di scarico e a causa di processi industriali. Il MSDA riporta un valore empirico per il cloruro in acqua grezza non inquinata inferiore a 20 mg/l. Da 200 mg/l ha un sapore percepibile, perciò l'OMS propone un valore operativo di 250 mg/l.

Il cloro è utilizzato anche come disinfettante nella preparazione dell'acqua potabile, come gas o in forma disciolta (ipoclorito). Un'alternativa è il biossido di cloro, che si scompone/reagisce in clorito e clorato: queste due sostanze sono considerate emotossiche. Il valore di tolleranza fissato dall'OSoE per clorito e clorato provenienti dalla preparazione dell'acqua potabile è di 0,2 mg/l per entrambi, mentre il valore di tolleranza per il cloro libero è di soli 0,1 mg/l. I limiti alla concentrazione di clorito e clorato comportano un dosaggio massimo di biossido di cloro di 0,4 mg/l.

## 4. Costituenti dell'acqua

### Cromo

Il cromo si presenta spesso negli stati di ossidazione +III e +VI. La forma esavalente (Cr(VI)) è considerata estremamente tossica e cancerogena ed è molto solubile in acqua. La forma trivalente, al contrario, è quasi insolubile in acqua ed è prevalentemente legata a particelle. Le fonti principali di cromo sono l'industria siderurgica (es. impianti di galvanizzazione) e le concerie. Attraverso le loro acque di scarico il cromo riesce spesso a raggiungere le acque superficiali, ma vi perviene anche per infiltrazione e da siti contaminati. In Svizzera questo elemento talvolta è rilevabile anche nelle acque sotterranee. Il valore limite per il cromo esavalente è di 20 µg/l (OSoE), mentre il MSDA riporta un valore empirico inferiore a 1 µg/l.

### Cianuro

I cianuri sono sali e altri composti dell'acido cianidrico (HCN). Molti di questi composti sono caratterizzati da un'elevata tossicità, causata dalla degradazione in acido cianidrico, che è un potente inibitore degli enzimi della respirazione cellulare. In natura i cianuri sono molto frequenti nel regno vegetale (noccioli di albicocche e ciliege, manioca, le euforbiacee in generale, ecc.). Elevate concentrazioni nell'acqua sono segno di un inquinamento industriale (soprattutto attività mineraria). In Svizzera vige un valore limite di 0,05 mg/l per l'acido cianidrico (HCN). Nelle «Istruzioni pratiche per la protezione delle acque sotterranee» è riportato un valore indicatore di < 0,025 mg/l.

### DOC

DOC (dissolved organic carbon) è un parametro generale per il carbonio organico disciolto totale. «Disciolto» significa che vengono rilevate sostanze e particelle in soluzione di dimensioni inferiori a 0,45 µm. La concentrazione di DOC è un indicatore del materiale organico

naturale (NOM); ne fanno parte sostanze come acidi umici e fulvici, grassi, proteine, carboidrati e innumerevoli composti organici di struttura chimica ignota. In genere si tratta di prodotti di degradazione e scorie metaboliche. Il tenore di NOM, misurato attraverso il carbonio organico disciolto, determina anche il colore dell'acqua. Fonti di elevate concentrazioni di DOC sono i terreni paludosi, le zone umide, le foreste, grandi formazioni di alghe, ecc. Una frazione del DOC, chiamata AOC (carbonio organico assimilabile), funge da principale nutrimento dei microrganismi presenti nell'acqua e influisce quindi direttamente sulla stabilità microbiologica dell'acqua potabile trattata. Secondo il MSDA, una concentrazione di DOC inferiore a 1 mg/l non costituisce un inquinamento dell'acqua potabile. Spesso invece del DOC viene ancora misurato il parametro FCO, ossia il consumo di permanganato di potassio (KMnO<sub>4</sub>), che secondo il MSDA non deve superare 3 mg/l nell'acqua non inquinata. Nelle «Istruzioni pratiche per la protezione delle acque sotterranee», l'acqua grezza per l'uso potabile o previsto a tale scopo deve contenere un tenore di DOC inferiore a 2 mg/l.

### Ferro

Il ferro bivalente (Fe(II)), contrariamente al ferro(III), è ben solubile in acqua. Fe(II) è presente esclusivamente nell'acqua ridotta, provoca un'alterazione del sapore e, a contatto con l'ossigeno, anche del colore dell'acqua potabile. Inoltre può precipitare nell'impianto e nella rete di tubature. In Svizzera, le concentrazioni medie di ferro totale nelle acque sotterranee oscillano attorno ai 35-40 µg/l. Tuttavia, se le acque sotterranee sono in stato di riduzione, la concentrazione può salire fino a diversi milligrammi al litro. Il valore di tolleranza dell'OSoE per il ferro nell'acqua potabile è di 0,3 mg/l.

*Parametro generale per il carbonio organico disciolto*

### **Fluoro**

Il fluoro si presenta nell'ambiente soprattutto sotto forma di fluoruri, sali riscontrabili in molte acque in piccole concentrazioni. Sebbene il fluoro sia un elemento essenziale, elevate concentrazioni di fluoruri possono provocare disturbi alle ossa e ai denti (fluorosi) e compromettere alcuni processi enzimatici. L'OSoE fissa un valore di tolleranza per il fluoruro di 1,5 mg/l.

### **Idrazina**

L'idrazina ( $N_2H_4$ ), un composto dell'azoto, è tossica, potenzialmente cancerogena ed è estremamente tossica per gli organismi presenti nell'acqua. L'idrazina viene utilizzata prevalentemente nell'industria come carburante e fornitore di energia (aeronautica e voli spaziali, industria chimica, ecc.). L'assunzione orale di grandi quantità di questa sostanza (tossicità acuta) provoca nell'uomo vomito, crampi, disturbi della coscienza fino allo svenimento. L'idrazina reagisce rapidamente e talvolta in modo violento con molti agenti ossidanti. Il valore limite indicato nell'OSoE è di 5 µg/l

### **Potassio**

Il potassio è presente in natura come catione monovalente ( $K^+$ ) in vari composti. Per l'uomo è un metallo essenziale perché ha un ruolo fondamentale nella regolazione del potenziale elettrico della membrana. Nell'acqua grezza non inquinata il potassio proviene prevalentemente dall'erosione di miche, feldspati o sali di potassio, tuttavia le sue concentrazioni di solito sono basse. L'uso di fertilizzanti e il percolato da discariche sono causa di immissioni antropiche. Al momento in Svizzera la legislazione non prevede concentrazioni massime di potassio.

### **Rame**

Il rame è un metallo pesante e un oligoelemento essenziale nel metabolismo umano, con una tossicità acuta abbastanza bassa. Manifestazioni di intossicazione cronica a causa di un'eccessiva assunzione compaiono solo quando viene oltrepassata la capacità di eliminazione epatica: possono insorgere epatite, cirrosi epatica e anemia. Lattanti e bambini piccoli sono particolarmente sensibili ad un eccesso di rame, perché il fegato raggiunge la piena efficienza di eliminazione di questo metallo solo dopo i primi anni di vita.

Sono state osservate cirrosi epatiche nella prima infanzia con il consumo di acqua potabile particolarmente ricca di rame (>10 mg/l). La forma più stabile in acqua è Cu(II). In condizioni normali il rame non costituisce un problema nell'acqua grezza. Una concentrazione elevata solitamente indica la presenza di un sito contaminato nel bacino imbrifero. Nella rete di distribuzione la concentrazione può significativamente aumentare in determinate circostanze (acqua stagnante, condutture in rame, pH basso, ecc.). Da circa 2,5 mg/l di Cu l'acqua inizia ad avere un sapore amaro. In media nelle acque sotterranee svizzere si rilevano circa 4 µg/l, con concentrazioni massime intorno a 500 µg/l. Il valore di tolleranza per il rame in Svizzera è di 1,5 mg/l.

### **Magnesio**

In natura il magnesio è presente prevalentemente sotto forma di minerali (carbonati, silicati, cloruri, solfati) o disciolto come  $Mg^{2+}$ . Dopo il calcio, il magnesio è il secondo componente della durezza dell'acqua. È un metallo essenziale per la vita, ma concentrazioni elevate possono causare diarrea e un sapore alterato dell'acqua potabile. Né l'OSoE né l'OMS fissano concentrazioni massime per il magnesio.

*Una concentrazione elevata segnala un sito contaminato*

## 4. Costituenti dell'acqua

### Manganese

Il manganese è un elemento essenziale per l'essere umano e nell'ambiente si trova molto frequentemente insieme al ferro. La forma ridotta (Mn(II)) è solubile in acqua, per cui il manganese si ritrova prevalentemente nelle acque sotterranee ridotte. A contatto con l'ossigeno atmosferico, Mn(II) si ossida in Mn(IV), che forma precipitati neri e si deposita. Nella preparazione dell'acqua potabile, il manganese è usato sotto forma di permanganato di potassio (KMnO<sub>4</sub>) come potente ossidante. In Svizzera tuttavia l'uso di KMnO<sub>4</sub> è autorizzato solo per la demanganizzazione. Il manganese è caratterizzato da una tossicità acuta minima, tuttavia l'assunzione cronica di elevate concentrazioni può avere effetti negativi sul sistema nervoso (crampi muscolari, psicosi, ecc.). Le concentrazioni medie di manganese nelle acque sotterranee sono molto basse, ma sono stati misurati picchi superiori a 800 µg/l. Il valore di tolleranza dell'OSoE per il manganese nell'acqua potabile è di 0,05 mg/l.

### Sodio

Il sodio fa parte dei metalli alcalini e si presenta in diversi sali come catione Na<sup>+</sup>, estremamente solubile in acqua. Allo stato naturale la concentrazione di sodio è tendenzialmente bassa nell'acqua grezza, tuttavia vi sono numerose immissioni antropiche nelle acque sotterranee e superficiali (sale antigelo, acque di scarico residenziali e industriali, percolato da discariche, ecc.). Nella preparazione dell'acqua potabile la concentrazione di sodio può essere aumentata considerevolmente soprattutto dallo scambio ionico. A partire da concentrazioni di circa 200 mg/l può essere percepibile sotto il profilo organolettico. L'OSoE non stabilisce valori per il sodio, il MSDA riporta un valore empirico inferiore a 20 mg/l, la direttiva dell'UE sull'acqua potabile fissa una concentrazione massima di 200 mg/l.

### Nichelio

Il nichelio è un oligoelemento appartenente ai metalli pesanti. Grandi quantità di sali di nichelio assunte per via orale possono danneggiare i reni, la milza, i polmoni e il midollo osseo. Le persone sensibilizzate che sviluppano una dermatite allergica da contatto possono manifestare eczemi dopo l'assunzione orale di nichelio. In natura il nichelio è prevalentemente bivalente ed è presente in minerali metalliferi misti sotto forma di solfuri o arseniuri. Solo alcuni composti, come il cloruro o il carbonato di nichelio, sono solubili in acqua. Le immissioni antropiche di nichelio sono causate perlopiù da fonti diffuse come processi di combustione, industria metallurgica o galvanica e fertilizzanti contenenti fosfati. Le sostanze organiche adsorbono bene il nichelio. Nell'acqua potabile l'eccesso di nichelio è soprattutto un problema di tubature e rubinetteria. L'OSoE non definisce concentrazioni massime per il nichelio, l'UE nella sua direttiva sull'acqua potabile riporta 0,02 mg/l, l'OMS 0,07 mg/l.

### Fosfato

I fosfati sono i sali dell'acido fosforico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Sono presenti in natura prevalentemente sotto forma di minerali di fosfato o in legami organici e la loro mobilità nel suolo è limitata. Il fosfato è una sostanza nutritiva fondamentale per l'uomo ed è cruciale per la formazione del DNA e delle ossa, inoltre ricopre un ruolo centrale nel metabolismo energetico. Di norma la concentrazione naturale dei fosfati nelle acque sotterranee e di sorgente è inferiore a 0,01 mg P/l, tenori più elevati sono segno di infiltrazione di acque superficiali o di inquinamento da acque di scarico o fertilizzanti. L'OSoE definisce un valore di tolleranza per i fosfati di 1 mg/l nell'acqua potabile calda (addizionata di anticorrosivi),

calcolato come fosforo. Il MSDA raccomanda un valore inferiore a 0,05 mg/l nell'acqua grezza.

### **Mercurio**

Il mercurio è l'unico metallo che in condizioni normali si presenta in forma liquida. Può essere immesso nell'ambiente da processi come la combustione di carbone, la produzione di cemento, la fabbricazione di cloro o la purificazione dell'oro. Per l'uomo costituiscono un problema sia i vapori di mercurio, sia il mercurio liquido e i suoi sali assorbiti attraverso l'acqua potabile e l'alimentazione. Particolarmente importanti sono i suoi composti organici, come il metilmercurio, che possono essere prodotti da alcuni batteri nelle acque inquinate. Il metilmercurio è nettamente più tossico del mercurio inorganico perché è facilmente assorbito dal tratto gastrointestinale, possiede un'emivita più lunga e attraversa facilmente sia la barriera emato-encefalica che quella placentare. Il metilmercurio è tossico per il sistema nervoso, in particolare durante lo sviluppo del cervello (deficit mentali e motori nei neonati). Il valore limite nell'acqua potabile è di 1 µg/l, sia per l'OSoE che per le raccomandazioni sull'acqua potabile dell'OMS.

### **Zolfo (solfato, solfuro)**

Lo zolfo è un elemento essenziale per l'uomo e si ritrova spesso in aminoacidi ed enzimi. Nell'ambiente è molto comune nei minerali solforosi (come la pirite) e nei solfati (come il gesso).

Il solfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) si mescola per via naturale all'acqua grezza attraverso la dissoluzione di minerali di solfato, l'ossidazione di minerali solforosi e la degradazione della biomassa. Le fonti antropiche di solfato sono i fertilizzanti, l'apporto atmosferico (piogge acide), le

acque di scarico e il percolato da discariche. L'OSoE non stabilisce concentrazioni massime per il solfato nell'acqua potabile. Il MSDA però indica un valore di 10-50 mg/l nell'acqua potabile non inquinata da fonti antropiche e superiore a 200 mg/l nelle acque inquinate. Questo valore si basa sulla limitazione dell'azione corrosiva del solfato. Nell'OPAc l'esigenza applicabile alle acque sotterranee è fissata a 40 mg/l di solfato.

Il solfuro si forma in condizioni anaerobiche per la riduzione del solfato in acido solfidrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Ha un forte impatto olfattivo (sentore di uova marce). L'OSoE prescrive che il solfuro non debba essere reperibile organoletticamente nell'acqua potabile, ma non vengono menzionati valori di concentrazione.

### **Selenio**

Il semimetallo selenio è un oligoelemento essenziale, ma a dosi elevate viene classificato come tossico. In acqua sono solubili solo alcuni composti di selenio, come l'acido selenico. Le intossicazioni sono rare e provocano vomito, mal di stomaco o difficoltà respiratorie. Il valore limite di cui nell'OSoE è fissato a 0,01 mg/l, analogamente al valore dell'OMS.

### **Silicio**

Anche il silicio è un semimetallo ed è il secondo elemento più frequente della Terra. Si ritrova in molti minerali, nell'acqua è presente prevalentemente sotto forma di acido silicico ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ). I composti di silicio sono molto poco solubili. L'acido silicico contenuto nell'acqua è classificato come non nocivo per l'uomo. Le concentrazioni naturali di silicio possono essere arricchite da immissioni antropiche come percolato da discariche o provenienti dall'industria metallurgica, chimica ed elettronica. Né l'OSoE né le raccomandazioni dell'OMS

*Il solfato è corrosivo*

#### 4. Costituenti dell'acqua

indicano valori massimi per il silicio. L'OSoE fissa valori di tolleranza solo per i silicati aggiunti.

##### **Azoto (ammonio/ammoniaca, nitrato, nitrito)**

Nei sistemi acquatici sono importanti soprattutto i composti ammonio/ammoniaca, nitrato e nitrito.

L'ammonio e l'ammoniaca presenti nell'ambiente provengono da processi metabolici naturali, dall'agricoltura e da processi chimici. Il tenore naturale nelle acque sotterranee ossidate è tendenzialmente basso (dell'ordine dei microgrammi per litro), mentre se le acque sono in stato ridotto può crescere sensibilmente (milligrammi per litro). Concentrazioni elevate di ammonio/ammoniaca possono indicare un potenziale inquinamento da acque di scarico o da attività agricole. L'ammonio ha poca rilevanza tossica nell'acqua potabile, gli effetti nocivi si manifestano solo a dosi superiori a 200 mg/kg di peso corporeo. Tuttavia, la concentrazione di ammonio può diventare importante nella preparazione dell'acqua potabile quando si procede a clorazione, perché si formano clorammine che presentano un'efficacia disinfettante nettamente minore. Con un rapporto di massa cloro:ammonio pari a 6 va completamente perso il potere disinfettante. Aspetti critici sono anche l'alterazione del sapore e la formazione di nitrito. L'OSoE definisce un valore di tolleranza per l'ammonio di 0,1 mg/l per ogni tipo di acqua potabile, ad eccezione di quella ridotta (0,5 mg/l). Il nitrato viene riscontrato in concentrazioni spesso considerevoli ( $\geq 10$  mg/l) nell'acqua grezza (da acque sotterranee o superficiali) in regioni a sfruttamento agricolo e densamente popolate, mentre nell'ambiente sono presenti allo stato naturale solo concentrazioni minime di nitrito.

Le fonti di immissione principali sono processi biologici, fertilizzanti e acque di scarico residenziali e industriali. Un tenore elevato di nitrato quindi testimonia solitamente un influsso umano. Il nitrito viene prodotto soprattutto in condizioni anaerobiche dalla riduzione microbiologica del nitrato, sia nei sistemi ambientali che in via endogena. Anche la nitrificazione nella rete di distribuzione conduce alla formazione di  $\text{NO}_2^-$ : il nitrito è tossico e può causare metaemoglobinemia soprattutto nei bambini. Inoltre si presume che il nitrito partecipi alla formazione delle nitrosammine cancerogene, anche se non è ancora stata chiarita la rilevanza di questa reazione. L'OSoE definisce un valore di tolleranza per il nitrato di 40 mg/l, per il nitrito di 0,1 mg/l.

##### **Zinco**

Lo zinco è un metallo che fa parte degli oligoelementi essenziali per l'uomo, ma è anche classificato come pericoloso per l'ambiente. Sebbene il carico naturale sia solitamente basso, a causa di processi di dissoluzione possono accumularsi concentrazioni decisamente più elevate nelle tubature (tubi zincati). I valori medi in Svizzera si aggirano intorno a 30  $\mu\text{g/l}$ , con concentrazioni massime misurate a circa 4,5 mg/l. Il valore di tolleranza OSoE è fissato a 5 mg/l.

## Composti organici naturali e sintetici

Nell'acqua potabile possono giungere sostanze organiche sia da processi naturali (processi metabolici, biodegradazione, ecc.), sia a causa di interventi antropici (acque di scarico, industria, processi di combustione, ecc.). L'estrema varietà dei composti organici rende impossibile l'analisi di ogni singola sostanza, per cui quasi sempre, con poche eccezioni, vengono rilevati gruppi interi di sostanze.

### Acrilamide

L'acrilamide nell'acqua potabile proviene principalmente dall'uso di poliacrilamidi come agenti flocculanti. È considerata potenzialmente cancerogena. I procedimenti convenzionali di preparazione dell'acqua potabile non riescono ad eliminare l'acrilamide dall'acqua. Di conseguenza la concentrazione va controllata attraverso il contenuto nel flocculante e il dosaggio di quest'ultimo. L'OSoE non fissa concentrazioni massime per l'acrilamide nell'acqua potabile, l'OMS indica un valore indicativo di 0,5 µg/l.

### Alogeni organici adsorbibili (AOX)

AOX è un parametro generale per i composti organici contenenti cloro, bromo e iodio adsorbibili dal carbone attivo. Questo parametro è un indicatore, seppur limitato, del carico di composti alogeni organici in un campione, ma non dice nulla sulla rilevanza tossicologica di tale carico. Infatti comprende sia composti praticamente innocui sia veleni molto tossici (diossine, furani, PCB, DDT). Gli AOX tossici spesso

sono cancerogeni, poco biodegradabili e tendono ad accumularsi nell'organismo in virtù della loro facilità di adsorbimento (bioaccumulo). Le immissioni antropiche sono imputabili in prevalenza ad acque di scarico industriali e siti contaminati, nonché all'uso di pesticidi a base di alogeni. L'OPAc fissa un'esigenza relativa all'acqua grezza per gli AOX di 0,01 mg/l, calcolati in generale e indicati in equivalenti di cloro.

### Acido etilendiamminotetraacetico/ acido nitrilotriacetico (EDTA/NTA)

L'EDTA è uno dei chelanti più comuni (detersivi, derrate alimentari, cosmetici, pulizia industriale, industria della carta, ecc.) e viene immesso nell'ambiente praticamente solo attraverso le acque di scarico. In condizioni ambientali normali l'EDTA è poco degradabile e a pH neutro non viene adsorbito dalle superfici dei minerali (elevata mobilità nelle acque sotterranee). La sua tossicità per l'uomo è minima e deriva dalla formazione di complessi con metalli essenziali come lo zinco. L'OSoE prescrive un valore di tolleranza di 0,005 µg/l e un valore limite di 0,2 mg/l. Anche l'NTA è un potente chelante che forma complessi stabili con i metalloni in soluzione acquosa. Questa sostanza viene talvolta utilizzata nei detersivi per addolcire l'acqua e in genere è facilmente degradabile, il che però comporta un'indesiderata mobilizzazione di metalli pesanti. Nelle acque l'NTA è spesso presente sotto forma di complessi con calcio o ferro. Si sospetta che sia un possibile cancerogeno indiretto. L'OSoE riporta un valore di tolleranza di 3 µg/l e un valore limite di 0,2 mg/l.

*Agente chelante*

*Flocculanti*

## 4. Costituenti dell'acqua

### Idrocarburi alogenati volatili (VOX)

Nei VOX si distinguono le sostanze prodotte durante la preparazione dell'acqua potabile (es. i THM) da quelle provenienti dall'industria (es. PER, cloruro di vinile o triclorometano). L'OSoE fissa un valore di tolleranza per la somma di tutti i VOX di 0,02 mg cloro/l provenienti dalla preparazione, e di 8 µg/l provenienti da contaminazioni ambientali. I trihalometani (THM) vengono generati prevalentemente dalla clorazione e la loro produzione aumenta se l'acqua grezza contiene bromuro o ioduro.

Questi composti sono considerati cancerogeni potenziali. Per i quattro THM contenenti cloro e bromo vigono i seguenti valori limite: triclorometano ( $\text{CHCl}_3$ ): 0,04 mg/l, bromodichlorometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ): 0,015 mg/l, dibromoclorometano ( $\text{CHClBr}_2$ ): 0,1 mg/l, tribromometano ( $\text{CHBr}_3$ ): 0,1 mg/l.

Il tetracloroetilene (PER) fa parte degli idrocarburi clorurati volatili (VCHC) ed è impiegato principalmente nei processi di sgrassatura e pulizia. Il PER non è combustibile, ha una densità maggiore dell'acqua (DNAPL) e la sua biodegradazione è molto lenta. A causa delle grandi quantità utilizzate nell'industria e nell'artigianato, il PER è uno dei principali inquinanti delle acque sotterranee. La degradazione riduttiva del PER avviene attraverso la catena tricloretilene (TRI) – dicloretilene – cloruro di vinile – etilene/etano. Come il PER, anche i prodotti intermedi clorurati sono tossici e considerati cancerogeni potenziali: il più tossico è il cloruro di vinile, caratterizzato da estrema volatilità. L'OSoE stabilisce

le seguenti valori limite per queste sostanze: PER 0,04 mg/l, tricloretilene 0,07 mg/l e 1,1-dicloretilene 0,03 mg/l. L'OSoE contempla valori limite anche per altri VOX di uso industriale, segnatamente: 1,2-dicloroetano (3 µg/l), 1,1-dicloretilene (0,03 mg/l), 1,2-dicloretilene (0,05 mg/l), diclorometano (0,02 mg/l), tetraclorometano (2 µg/l) e tricloro-1,1,1-etano (2 mg/l).

### Agenti tensioattivi

Gli agenti tensioattivi sono composti organici (es. tensidi) con un polo idrofilo (idrosolubile) e uno idrofobo (idrorepellente). Esistono tensioattivi naturali (come la lecitina) e sintetici. La loro caratteristica è quella di arricchirsi sulle interfacce chimiche per aumentare la tensione superficiale. L'OSoE fissa a 0,1 mg/l il valore di tolleranza per la somma degli agenti tensioattivi.

### Idrocarburi

Gli idrocarburi comprendono tutti i composti costituiti unicamente da carbonio e idrogeno. Gli atomi C possono avere una struttura a catena (es. alcani, alcheni, alchini) o ad anello (es. composti aromatici). Gli idrocarburi si ritrovano in prevalenza nel gas naturale, nel petrolio e nel carbone. In genere sono insolubili in acqua. Alcuni idrocarburi sono notoriamente nocivi per la salute e cancerogeni (come gli idrocarburi policiclici aromatici IPA). L'OSoE prescrive valori di tolleranza generali: per gli idrocarburi idrosolubili 1 µg/l, per quelli poco solubili 20 µg/l.

*MTBE: soglia organolettica da 2 a 50 µg/l*

### **Metil-ter-butil etere (MTBE)**

Il MTBE è un liquido incolore, molto volatile, solubile in acqua ed è contraddistinto da una soglia organolettica bassa, da 2 a 50 µg/l. Viene impiegato principalmente come sostituto del piombo tetraetile nei carburanti (antidetonante). Presenta una scarsa tossicità acuta, ma è potenzialmente cancerogeno. Nell'aria viene scomposto nell'arco di qualche giorno, mentre l'emivita nelle acque sotterranee può prolungarsi fino a diversi anni (poco biodegradabile). Questo problema viene accentuato dalla sua eccellente solubilità in acqua e dall'elevata mobilità nel suolo. Il MTBE può essere un reperto frequente nelle acque sotterranee a causa delle perdite da cisterne e condutture e in parte anche per deposizione atmosferica. In Svizzera finora esiste solo un valore indicatore di 2 µg/l, riportato nelle «Istruzioni pratiche per la protezione delle acque sotterranee». L'OMS prescrive una concentrazione massima di 10 µg/l.

### **Idrocarburi aromatici policiclici (IPA)**

Gli IPA sono composti organici perlopiù neutri e apolari, composti da due o più anelli benzenici concatenati. Sono poco solubili in acqua e la loro volatilità è inversamente proporzionale alla grandezza della molecola. Quasi tutti gli IPA sono cancerogeni e tossici. Sono generati da processi incompleti di combustione e pervengono al suolo e all'acqua per deposizione atmosferica. L'OSoE stabilisce un valore di tolleranza per la somma degli IPA di 0,2 µg/l. Tale som-

ma comprende le sostanze benzo(a)pirene, fluorantene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(ghi)perilene e indeno(1,2,3-cd)pirene. L'OPAc fissa un'esigenza applicabile all'acqua grezza di 0,1 µg/l per ogni singola sostanza.

### **Fenoli**

Al gruppo dei fenoli appartengono i composti costituiti da un anello aromatico e uno o più gruppi idrossilici (-OH). Noti fenoli sono l'acido salicilico, l'adrenalina, i tannini e molti aromi (es. la vanillina o l'aldeide cinnamica). Molti fenoli sono poco idrosolubili e scarsamente biodegradabili. Sono classificati come molto pericolosi per le acque e possono comprometterne il sapore già a concentrazioni molto basse. L'OSoE fissa due valori diversi per i fenoli, un valore di tolleranza di 5 µg/l per sostanza e in più un valore di tolleranza per i fenoli asportabili con il vapore acqueo di 10 µg/l, calcolato come fenolo. Nella preparazione dell'acqua potabile inoltre rivestono un ruolo importante i clorofenoli – prodotti dalla clorazione di acqua grezza contenente fenoli – che rendono l'acqua organoletticamente imbevibile. Anche il pentaclorofenolo (PCP), impiegato nella lavorazione dei tessuti e del legno, si distingue per la sua scarsa biodegradabilità ed estrema tossicità. L'OMS classifica il PCP come cancerogeno potenziale. Per questo motivo il MSDA riporta un valore empirico separato per i clorofenoli inferiore a 1 µg/l.

*Nella preparazione dell'acqua potabile i clorofenoli svolgono un ruolo importante*

## 4. Costituenti dell'acqua

### Idrocarburi aromatici policiclici (IPA)

Gli IPA sono composti organici perlopiù neutri e apolari, composti da due o più anelli benzenici concatenati. Sono poco solubili in acqua e la loro volatilità è inversamente proporzionale alla grandezza della molecola. Quasi tutti gli IPA sono cancerogeni e tossici. Sono generati da processi incompleti di combustione e pervengono al suolo e all'acqua per deposizione atmosferica. L'OSoE stabilisce un valore di tolleranza per la somma degli IPA di 0,2 µg/l, mentre l'OPAc fissa un'esigenza applicabile all'acqua grezza di 0,1 µg/l per ogni singola sostanza.

### Idrocarburi policiclici

Parametro generale menzionato nell'OSoE che comprende le sostanze benzo(a)pirene, fluorantene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(ghi)perilene e indeno(1,2,3-cd)pirene). Il valore limite per la somma di queste sostanze è di 0,2 µg/l.

### Pesticidi

Il termine pesticidi comprende una moltitudine di composti chimici dalle proprietà assai diverse, impiegati per proteggere le piante o combattere i parassiti. La legislazione non fa riferimento a sostanze singole, ma fissa nell'OSoE un valore di tolleranza per tutti i pesticidi e i relativi metaboliti, prodotti di degradazione e di reazione, ossia 0,1 µg per sostanza e 0,5 µg/l per la somma di tutti i pesticidi organici. A seconda del bersaglio specifico, i pesticidi possono essere suddivisi in:

### Acaricidi

Prodotti contro acari e aracnidi, impiegati soprattutto in campo agricolo nella frutticoltura e nella viticoltura.

### Alghicidi

Prodotti contro le alghe. Spesso contengono gli stessi principi attivi degli erbicidi (per esempio l'atrazina o il diuron). Gli alghicidi vengono utilizzati nelle aree residenziali per proteggere la vernice o i materiali isolanti delle facciate. Può anche avvenire un'immissione diretta nelle acque superficiali attraverso l'uso di vernici protettive per barche.

### Battericidi

Prodotti contro i batteri. Sostanzialmente sono antibiotici e disinfettanti.

### Fungicidi

Prodotti contro funghi e agenti patogeni di origine fungina. Alcune classi di principi attivi, come i triazololi o i benzimidazololi, sono molto solubili in acqua e possono costituire un pericolo per le acque sotterranee e superficiali.

### Erbicidi

Prodotti contro piante infestanti e malerbe. La loro azione si basa su differenti meccanismi, come un effetto da ormone della crescita, l'inibizione della fotosintesi o della germinazione. Le singole sostanze presentano caratteristiche chimiche molto differenti e di conseguenza hanno comportamenti molto differenti nell'ambiente. Classi di sostanze appartenenti agli erbicidi sono gli anilidi (molto tossici), i sulfonati (persistenti e solubili in acqua) e le triazine (scarsamente adsorbibili, frequenti nelle acque sotterranee svizzere).

### Insetticidi

Prodotti per combattere gli insetti e i loro stadi di sviluppo. Gli insetticidi possono essere suddivisi in tossici per ingestione, per contatto e per inalazione e solitamente agiscono come neurotossine. Le classi più note sono i carbamati (tossici, persistenti nell'ambiente per settimane),

*Alghicidi*

*Battericidi*

*Fungicidi*

*Erbicidi*

*Insetticidi*

*I pesticidi comprendono una moltitudine di composti chimici*

*Acaricidi*

### Molluschicidi

gli organofosfati (facilmente degradabili, molto tossici), o i piretroidi (elevata tossicità per i pesci).

### Molluschicidi

Prodotti contro le lumache. Spesso contengono solfato d'alluminio o di ferro.

### Nematocidi

Prodotti contro i vermi cilindrici (nematodi) e altri parassiti che vivono nel terreno. I principi attivi impiegati sono gassosi o ben solubili in acqua.

### Nematocidi

Altri prodotti contro virus, viroidi, roditori, inibitori della crescita, ecc.

**Tabella 4: Pesticidi (compresi i prodotti di degradazione) più frequentemente riscontrati in Svizzera e concentrazioni rilevabili nelle acque sotterranee e superficiali**

Gruppo di sostanze		Concentrazioni CH [µg/L]			Frequenza CH		
		Acque sotterranee	Acque superficiali	Acqua potabile	Acque sotterranee (NAQUA)	Acque superficiali	
					[%]	n campioni	[%]
Alaclor	Anilidi	< 0.005 - 0.05	< 0.01 - 0.03	-	0.4	270	-
Acido aminometilfosfonico (AMPA)	Metabolita glifosate	< 0.05	-	< 0.04	-	-	-
Atrazina	Triazine	< 0.002 - 0.97	< 0.009 - 1.5	< 0.007 - 0.12	33.0	1114	22.0
Bentazone	-	< 0.01 - 0.06	< 0.01 - 0.64	-	13.0	15	2.0
Clorotoluron	Feniluree	< 0.002 - 0.199	-	-	0.4	510	-
Cianazina	Triazine	< 0.001 - 0.138	-	-	4.0	421	-
Desetilatrazina	Metabolita atrazina	< 0.002 - 1.17	< 0.001 - 0.3	< 0.005 - 0.22	39.7	1114	12.0
Desetilterbutilazina	Metabolita terbutilazina	< 0.005 - 0.013	-	-	68.8	32	-
Desi-sopropilatrazina	Metabolita atrazina	< 0.005 - 0.147	-	< 0.02	7.2	1101	-
Diuron	Feniluree	< 0.001 - 0.57	< 0.001 - 1.1	-	1.1	981	1.0
Glifosate	-	-	-	< 0.03	-	-	-
Isoproturon	Feniluree	< 0.001 - 0.38	< 0.04 - 10.0	-	0.4	970	12.0
Mecoprop (MCP)	Acidi fenossicarbossilici	< 0.01	< 0.001 - 3.9	-	0	15	33.0
Metolaclor	Anilidi	< 0.002 - 0.16	< 0.001 - 1.3	-	2.4	595	3.0
Metolaclor ESA/OXA	Metabolita Metolaclor	< 0.002 - 0.48/0.15	-	-	47/18	-	-
Simazina	Triazine	< 0.002 - 0.128	< 0.001 - 0.6	-	18.0	1114	2.0
Sulcotrione	Trichetoni	< 0.05	-	-	0	217	-
Terbutilazina	Triazine	< 0.001 - 0.13	< 0.001 - 1.2	-	2.9	1114	1.0
Concentrazioni nelle acque sotterranee (NAQUA):		2002 - 2003, 2006					
Frequenza nelle acque sotterranee (NAQUA):		2003					
Concentrazioni nelle acque superficiali (AG, ZH):		1999 - 2003					
Frequenza nelle acque superficiali (AG, ZH):		1999 - 2003					
Concentrazioni nell'acqua potabile (AG, BE, SH, TG, ZH):		2005 - 2007					

#### 4. Costituenti dell'acqua

Nelle tabelle 5 e 6 viene valutata l'efficacia dei procedimenti convenzionali di preparazione dell'acqua potabile in termini di separazione, rispettivamente trasformazione ossidativa dei costituenti dell'acqua.

**Tabella 5 : Costituenti dell'acqua e procedimenti per la loro separazione**

		Separazione								
<b>Costituenti principali e secondari</b>		SED	FR	LSF	CA	MF	UF	NF	RO	SI
Arsenico		-	++*	++*	-	+/-*	+	++*	++*	++
Piombo	Nell'acqua grezza generalmente irrilevante (problema di tubature e rubinetteria)									
Bromo		-	-	-	-	-	-	-	++	-
<i>bromuro</i>	Ridurre al minimo la formazione durante la preparazione									
<i>bromato</i>										
Cadmio		+/-*	++*	++*	-	-	-	-	+	++
Calcio		-	-	-	-	-	-	+	++	++
Cloro		-	-	-	-	-	-	-	++	+
<i>cloruro</i>	Ridurre al minimo la formazione durante la preparazione									
<i>clorato</i>										
Cromo		-	-	-	-	-	-	-	+	++
Cianuro		-	-	-	-	-	-	-	+	-
DOC		-	+/-#	+#	++ <sup>s</sup>	-	-	+	++	-
Ferro		+/- <sup>Δ</sup>	+ <sup>Δ</sup>	++ <sup>Δ</sup>	-	+ <sup>Δ</sup>	+ <sup>Δ</sup>	+ <sup>Δ</sup>	++	+/-
Fluoro		-	-	-	+	-	-	+/-	+	+
Idrazina		-	-	-	-	-	-	-	+/-	-
Rame	Nell'acqua grezza generalmente irrilevante (problema di tubature e rubinetteria)									
Magnesio		-	-	-	-	-	-	+	++	++
Manganese		+/- <sup>Δ</sup>	+ <sup>Δ</sup>	+ <sup>Δ</sup>	-	+ <sup>Δ</sup>	+ <sup>Δ</sup>	+/- <sup>Δ</sup>	+	+
Nichelio	Nell'acqua grezza generalmente irrilevante (problema di tubature e rubinetteria)									
Mercurio		-	-	-	+/-	-	-	+/-	++	-
Zolfo		-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>solfuri</i>	Ridurre al minimo la formazione durante la preparazione									
<i>solfati</i>										
Silicio		-	-	-	-	-	-	-	++	-
Azoto		-	+/-	+ <sup>o</sup>	+ <sup>o</sup>	-	-	-	++	+
<i>ammonio</i>	Ridurre al minimo la formazione durante la preparazione									
<i>nitrato</i>										
<i>nitrito</i>										
Zinco	Nell'acqua grezza generalmente irrilevante (problema di tubature e rubinetteria)									

**Tabella 5 (continuazione): Costituenti dell'acqua e procedimenti per la loro separazione**

Composti organici Costituenti principali e secondari	Separazione								
	SED	FR	LSF	CA	MF	UF	NF	RO	SI
Acrilamide	-	-	-	-	-	-	-	+	-
AOX	-	-	-	++ <sup>§</sup>	-	-	-	++	-
EDTA/NTA	-	-	-	-	-	-	-	++	-
VOX									
<i>tribromometano</i>	-	-	-	+/-	-	-	-	++	-
<i>bromodiclorometano</i>	-	-	-	+/-	-	-	+	++	-
<i>dibromoclorometano</i>	-	-	-	+/-	-	-	+	++	-
<i>cloroformio</i>	-	-	-	+/-	-	-	+	++	-
<i>tetracloretilene</i>	-	-	-	+	-	-	+	++	-
<i>tricloretilene</i>	-	-	-	+	-	-	+	++	-
<i>dicloretilene</i>	-	-	-	+	-	-	+	++	-
Agenti tensioattivi	-	-	-	-	-	-	++	++	-
MTBE	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Benzene	-	-	-	++	-	-	+	++	+
Fenoli	-	-	-	++	-	-	+	++	+
IPA	-	-	-	++	-	-	+	++	+
Pesticidi	Forte dipendenza dalle proprietà della sostanza, quali idrosolubilità, polarità, ecc.								
Farmaci	Forte dipendenza dalle proprietà della sostanza, quali idrosolubilità, polarità, ecc.								
SED	: sedimentazione		++ : molto adatto						
FR	: filtrazione rapida		+ : adatto						
FLS	: filtrazione lenta su sabbia		+/- : limitatamente adatto						
CA	: carbone attivo		- : inadatto						
MF	: microfiltrazione		# : parte biodegradabile						
UF	: ultrafiltrazione		§ : adsorbito da carbone attivo fresco						
NF	: nanofiltrazione		* : con flocculazione/precipitazione						
RO	: osmosi inversa		° : biologicamente attivo						
SI	: scambio ionico		Δ : con ossidazione						

## 4. Costituenti dell'acqua

**Tabella 6: Costituenti dell'acqua e procedimenti per la loro trasformazione ossidativa**

Costituenti principali					
Trasformazione ossidativa e secondari	Cloro	ClO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	UV	AOP
Arsenico (III)	++	+	++	-	++
Piombo	Nell'acqua grezza generalmente irrilevante (problema di tubature e rubinetteria)				
Bromo <i>bromuro</i> <i>bromato</i>	+	-	+	-	++
	Ridurre al minimo la formazione durante la prep.				
Cadmio	-	-	-	-	-
Calcio	-	-	-	-	-
Cloro <i>cloruro</i> <i>clorato</i> <i>clorito</i>	-	-	-	-	-
	Ridurre al minimo la formazione durante la prep.				
	+	-	++	-	++
Cromo (VI)	-	-	-	-	-
Cianuro	++	+	++	-	++
DOC	+	+	++	-	++
Ferro (II)	++	++	++	-	++
Fluoro <i>fluoruro</i>	-	-	-	-	-
Idrazina	+	*	++	-	++
Rame	Problema di tubature e rubinetteria				
Magnesio	-	-	-	-	-
Manganese	+/-°	++	++	-	++
Nichelio	Problema di tubature e rubinetteria				
Mercurio	-	-	-	-	-
Zolfo <i>solfo</i> <i>solfato</i>	++	++	++	-	++
	-	-	-	-	-
Silicio	-	-	-	-	-
Azoto <i>ammonio</i> <i>nitrato</i> <i>nitrito</i>	++	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
	++	+	++	-	++
Zinco	Problema di tubature e rubinetteria				

**Tabella 6: Costituenti dell'acqua e procedimenti per la loro trasformazione ossidativa**

<b>Composti organici</b> <b>Trasformazione ossidativa</b> <b>e secondari</b>	<b>Trasformazione ossidativa</b>				
	Cloro	ClO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	UV	AOP
Acrilamide	-	-	-	-	-
AOX					
EDTA/NTA	Dipendente dall'agente chelato				
VOX					
<i>tribromometano</i>	-	-	-	-	+/-
<i>bromodichlorometano</i>	-	-	-	-	+/-
<i>dibromoclorometano</i>	-	-	-	-	+/-
<i>cloroformio</i>	-	-	-	-	+/-
<i>tetracloroetilene</i>	-	-	-	-	+/-
<i>tricloroetilene</i>	-	-	+/-	-	+
<i>dicloroetilene</i>	-	-	+	-	++
Agenti tensioattivi					
MTBE	-	-	-	-	+
Benzene	-	-	+/-	-	++
Fenoli	+	++	++	+/-	++
IPA	+/-	*	+	*	++
Pesticidi	Forte dipendenza dalle proprietà della sostanza, da - a ++				
Farmaci	Forte dipendenza dalle proprietà della sostanza, da - a ++				
++	: molto adatto				
+	: adatto				
+/-	: limitatamente adatto				
-	: inadatto				
*	: nessun dato disponibile				
°	: solo alla superficie (eterogeneo)				

# 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

## Introduzione

La valutazione dell'acqua grezza in termini di origine, costituenti e qualità (esami preliminari) definisce, insieme ai requisiti legali per il prodotto acqua potabile (OSoE, ORI, ecc.), le condizioni che deve rispettare un impianto di preparazione dell'acqua potabile.

I singoli procedimenti dell'impianto sottostanno a loro volta a specifiche condizioni marginali che devono essere rispettate affinché sia garantito un funzionamento ineccepibile. Tutti questi aspetti devono confluire nella valutazione di procedimenti singoli o concatenati, per giungere a una valutazione complessiva che consenta di progettare nuovi impianti o sequenze di procedimenti, oppure adattare e far adempiere ai nuovi requisiti quelli già esistenti.

I procedimenti di preparazione dell'acqua potabile possono essere suddivisi secondo la loro funzione in pretrattamento, filtrazione, disinfezione/ossidazione e trattamento ulteriore dell'acqua grezza. In queste pagine viene presentata una scheda riassuntiva di ogni procedimento utilizzato.

La tabella 7 riassume i procedimenti descritti in questo capitolo e attualmente autorizzati in Svizzera per preparare l'acqua potabile.

**Tabella 7: Impiego dei procedimenti di preparazione dell'acqua potabile. Vengono mostrati i processi influenzati dai singoli procedimenti, ma senza fornire una valutazione dell'efficienza sul campo. Si intende solo presentare la scelta dei procedimenti possibili, mentre per valutare l'idoneità al trattamento di una particolare acqua grezza sono indispensabili informazioni più dettagliate.**

(°: per esempio in combinazione con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

<b>Impiego dei procedimenti</b>	Rimozione di particelle	Rimozione di sostanze disciolte	Rimozione di microrganismi biodegradazione	Biodegradazione	Adsorbimento sostanze disciolte	Disinfezione	Ossidazione	Coagulazione	Rimozione di componenti durezza	Eliminazione del nitrato	Desalinizzazione	Correzione del pH	<b>Grandezza dell'approvvigionamento (++ grande, + medio, - piccolo)</b>
Flocculazione/precipitazione	x	x	x					x					-/+ / ++
Sedimentazione	x												+ / ++
Filtrazione lenta su sabbia	x	x	x	x									+ / ++
Filtrazione rapida	x		x	x									- / + / ++
Filtrazione su membrana	x	x	x						x	x	x		- / + / ++
Clorazione						x	x						- / + / ++
Biossido di cloro						x	x						+ / ++
Ozonizzazione						x	x	x					+ / ++
Procedimenti UV						x	x <sup>o</sup>						- / + / ++
Carbone attivo	x			x	x								- / + / ++
Scambio ionico		x			x				x	x	x		- / +
Deacidif./addolcimento		x							x			x	- / + / ++
Ossidazione avanzata							x						- / + / ++

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

### Pretrattamento

Un'acqua grezza molto impura o di qualità molto variabile richiede spesso un trattamento preliminare per creare le condizioni necessarie al buon funzionamento della catena di preparazione. Questo pretrattamento consiste essenzialmente nella separazione delle grandi particelle in sospensione e nella riduzione della quantità di alcune sostanze disciolte.

### Procedimento: flocculazione e precipitazione

#### **Impiego: coagulazione di particelle e precipitazione di sostanze disciolte o colloidali**

La flocculazione aiuta a eliminare particelle colloidali finemente distribuite e difficili da rimuovere. Queste ultime vengono riunite in agglomerati più grandi, che possono essere rimossi più efficacemente mediante sedimentazione, flottazione o filtrazione. Per questioni tecniche, gli impianti generalmente sono combinati e integrano flocculazione e sedimentazione o flocculazione-filtrazione. Attraverso la flocculazione e la successiva separazione dei fiocchi possono essere preparate acque grezze dell'ordine di 5 – 200 NTU. Con l'aiuto di prodotti chimici, solitamente sali di Fe(III) e Al(III), vengono neutralizzate le forze repulsive (cariche superficiali negative) e le particelle si coagulano in ammassi più voluminosi e fiocchi. I dosaggi tipici dei sali di ferro ed alluminio variano tra 0,6 e 12 mg/l. L'aggiunta di flocculanti (es. polimeri organici come la poliacrilamide o prodotti a base di amidi) favorisce la formazione di grandi fiocchi, accelerando la successiva rimozione delle particelle. Nei fiocchi vengono intrappolati anche microrganismi e alghe. Il dosaggio dei flocculanti

in genere varia tra 0,1 e 1 mg/l. L'impiego di questi agenti permette di ridurre considerevolmente la dose dei coagulanti (40-60%). Inoltre, l'aggiunta di altri prodotti chimici come ossidanti, liscive, ecc., può indurre la precipitazione di determinati costituenti disciolti nell'acqua (es. per l'addolcimento, la deferrizzazione o la demanganizzazione). Decisivi per il successo della flocculazione sono le modalità di immissione e miscelazione dei prodotti chimici e la turbolenza nel reattore. Immettendo coagulanti in un reattore ad elevata turbolenza si generano microfocchi. Dopo la microflocculazione, riducendo la turbolenza si induce la formazione di macrofocchi con l'aggiunta di flocculanti, accelerando così la rimozione delle particelle. Rispettando un intervallo di almeno 30 secondi tra i due processi si impedisce un eccessivo consumo di polimeri.

### Problemi

Il processo di flocculazione dipende fortemente dal dosaggio, dalle condizioni di miscelazione e dal tempo di reazione. Forti fluttuazioni della qualità dell'acqua grezza (acque superficiali o sotterranee in roccia carsica o fessurata) causano problemi di dosaggio di coagulanti e flocculanti. Il dosaggio preciso per una flocculazione ottimale deve essere determinato in laboratorio (Jar test) o mediante prove sul campo nell'impianto. Un dosaggio troppo basso risulta in una flocculazione insufficiente, un dosaggio eccessivo riduce il potere flocculante. L'impiego di coagulanti chimici è sempre legato all'immissione di sostanze indesiderate (ferro, alluminio, poliacrilamide, ecc.), che devono essere ridotte a un minimo (valore di tolleranza) già durante il processo di flocculazione o in stadi di preparazione successivi.

Concentrazioni elevate di flocculanti possono essere rimosse con l'ulteriore aggiunta di coagulanti, in una procedura chiamata flocculazione secondaria, prima di una successiva filtrazione. In linea di principio, tuttavia, va scelto l'agente coagulante o flocculante che consente di raggiungere gli obiettivi di preparazione con la dose minima. Nella pianificazione bisogna tenere conto anche dell'immagazzinamento, della disidratazione e dell'eliminazione dei residui del trattamento (fanghi). Se nell'acqua sono ancora presenti agenti ossidanti quando si immettono flocculanti, si accentua la degradazione e la formazione di sottoprodotti.

### Reattore

Il dosaggio e la miscelazione di flocculanti si svolge in un reattore separato ben miscelato. Il tempo di permanenza dell'acqua è solitamente di pochi minuti.

In questo reattore avviene la microfloculazione. Per l'adsorbimento più rapido e omogeneo possibile del flocculante sono necessarie condizioni di flusso turbolento.

Il flocculaggio viene solitamente iniettato nella condotta affluente perpendicolarmente al flusso (velocità di scorrimento  $\geq 0,5$  m/s). Cercando di diluire al massimo la soluzione di flocculante (~ 0,1 Vol. %) se ne favorisce la distribuzione rapida e omogenea nell'acqua. La susseguente macrofloculazione

richiede una turbolenza molto bassa, altrimenti i fiocchi appena formati sarebbero distrutti dalle eccessive forze tangenziali.

Se l'immissione avviene a monte di filtri, la funzione di reattore viene assunta dalla colonna d'acqua sopra il filtro e dal flusso turbolento nel mezzo filtrante. Questa cosiddetta flocculo-filtrazione tuttavia è adatta solo ad acque grezze con concentrazioni basse di inquinanti colloidali disciolti.

### Possibili trattamenti preliminari e successivi

La flocculazione di solito è uno dei primi processi di preparazione dell'acqua potabile in presenza di acqua grezza con elevato contenuto di solidi (acque superficiali). Per separare gli aggregati prodotti (fiocchi e prodotti di precipitazione) si ricorre a sedimentazione o filtrazione. Queste combinazioni di processi non sono sufficienti da sole per produrre un'acqua potabile di qualità elevata. Tuttavia, se l'acqua grezza parte da un elevato tenore di materiale solido vengono create le condizioni per gli ulteriori procedimenti di preparazione (filtrazione mediante sabbia, procedimenti su membrana, disinfezione, ecc.). Una preozonizzazione può aiutare il processo di flocculazione e ridurre o persino evitare l'impiego di prodotti chimici.

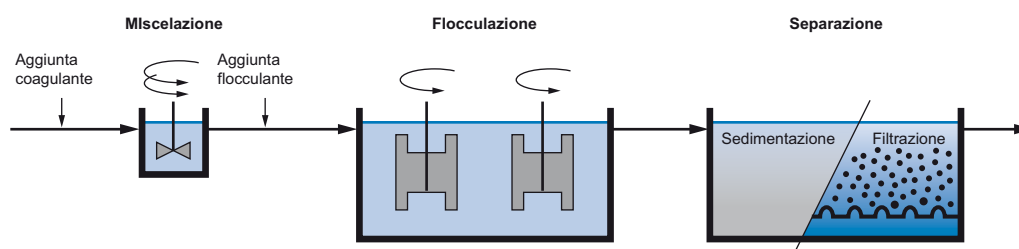


Figura 5: Schema di un impianto di flocculazione con successiva rimozione delle particelle (sedimentazione, filtrazione)

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

### **Valori limite e di tolleranza**

L'impiego di coagulanti, per esempio sali di Fe(III) e Al(III), impone la misura delle concentrazioni residue nel filtrato. L'OSoE prescrive un valore di tolleranza per il ferro totale di 0,3 mg Fe/l e per l'alluminio di 0,2 mg Al/l. Se si utilizzano poliacrilamidi come flocculanti bisogna fare in modo che la concentrazione residua di acrilamide monomero sia mantenuta al livello più basso possibile. L'UFSP considera l'acrilamide un cancerogeno probabile. In Svizzera per ora non sono state definite concentrazioni massime di acrilamide nell'acqua potabile. Le raccomandazioni dell'OMS riportano un valore di 0,5 µg/l, mentre l'EU ha fissato una concentrazione massima consentita di 0,1 µg/l. Tuttavia questi valori si collocano al livello della soglia di rilevazione e devono pertanto essere interpretati con cautela. Per una rilevazione più attendibile va determinato il tenore di acrilamide monomero nel concentrato (soluzione immessa) e calcolarne la diluizione nell'acqua preparata.

### **Valutazione e controllo del procedimento**

Il dosaggio del coagulante o del flocculante è proporzionale al flusso volumetrico dell'acqua, che di conseguenza deve essere determinato in modo continuo. Va sorvegliata anche la concentrazione nella soluzione del dosatore. Se per la flocculazione si usano sali metallici, a intervalli regolari (es. ogni mese) vanno misurate le concentrazioni residue di queste sostanze per poter adattarne il dosaggio. Lo stesso vale per l'uso di flocculanti come le poliacrilamidi. La misurazione del coefficiente di assorbimento spettrale a 254 nm (SAC254) fornisce indicazioni sul potere di eliminazione del NOM e quindi è anche indice della capacità depurativa di questo procedimento.

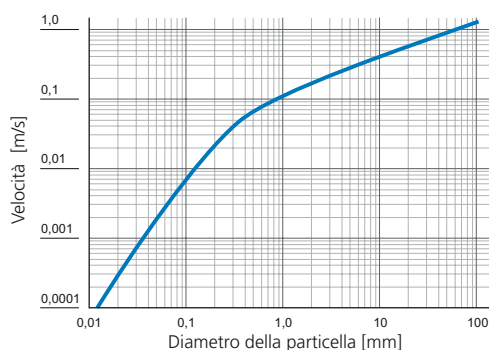
### **Prodotti e misure precauzionali**

Generalmente vengono impiegati coagulanti inorganici, spesso in combinazione con polimeri organici (flocculanti). I coagulanti inorganici più comuni (flocculanti primari) sono sali idrolizzabili di ferro e alluminio, disponibili sotto forma di solfati, cloruri, idrossicloruri, idrossisolfati o miscele di questi composti. Le soluzioni di questi sali sono molto acide (pH 2-3) e riducono la capacità tampone ed eventualmente il pH dell'acqua. Alla fine del processo gli anioni rimangono nell'acqua preparata. I flocculanti organici sono essenzialmente polimeri polielettrolitici idrosolubili (anionici, cationici o non ionici). Il loro effetto si basa su un adsorbimento irreversibile all'interfase solido-liquido. Per questo motivo è necessario che la loro distribuzione avvenga nel modo più rapido e omogeneo possibile. I flocculanti organici sono immagazzinati in forma di polvere o granuli e all'occorrenza disciolti a lotti in acqua preparata non disinfettata. Le soluzioni di polimeri hanno una stabilità limitata (perdita dell'efficacia) e sono esposte al rischio di contaminazione microbica (soprattutto i prodotti a base di amidi). Perciò possono essere conservate per una settimana al massimo. Peraltro richiedono anche un certo tempo di maturazione, dipendente dal prodotto, per raggiungere la massima efficacia: tale tempo è indicato dal fabbricante e di solito è dell'ordine di qualche ora.

## Procedimento: sedimentazione

### Impiego: eliminazione di corpi solidi

La sedimentazione ha lo scopo di rimuovere completamente le sostanze particellari sfruttando la forza di gravità. Si tratta di un procedimento tecnicamente semplice, che non richiede grandi quantità di energia. Tuttavia, il suo impiego è limitato all'acqua grezza con elevato tenore di materiale solido e a particelle con buone proprietà di deposizione (densità elevata, cfr. figura 6).



**Figura 6: Velocità di sedimentazione in funzione del diametro delle particelle (densità delle particelle 2650 kg/m<sup>3</sup>)**

È evidente la forte diminuzione della velocità di sedimentazione nelle particelle di diametro inferiore a 0,1 mm. La sedimentazione è perciò tendenzialmente inadatta a sospensioni molto fini. I parametri decisivi in questo procedimento sono la distribuzione delle velocità di deposizione delle particelle e la geometria del reattore. Il processo di sedimentazione può essere migliorato da un lato modificando le caratteristiche delle particelle (impiego di flocculanti), dall'altro aumentando la superficie o riducendo il percorso di sedimentazione (es. separatore lamellare). Il tempo di permanenza medio dell'acqua in un

bacino di sedimentazione è tipicamente di qualche ora. In virtù dell'elevata qualità dell'acqua grezza in Svizzera, la sedimentazione riveste un'importanza marginale nella preparazione dell'acqua potabile, ma può essere cruciale per il trattamento dell'acqua di lavaggio dei filtri.

### Problemi

Le sospensioni presenti nel ciclo di trattamento dell'acqua contengono particelle di forme, dimensioni e densità diverse. Tutti questi parametri sono sconosciuti e impediscono di fare previsioni attendibili sull'efficienza della sedimentazione. Le proprietà di deposizione possono essere determinate solo sperimentalmente e sotto forma di parametro generale. Ciò richiede che vengano replicate esattamente le condizioni marginali (costituenti dell'acqua, flocculanti, flussi, ecc.) dell'impianto. In questo tipo di esperimenti vengono rilevate tutte le caratteristiche delle particelle, come la distribuzione delle dimensioni o la densità. Gli impianti di sedimentazione richiedono grandi spazi, il che può diventare problematico in aree edificate o in impianti idrici di piccole dimensioni.

### Reattore

Nei bacini di sedimentazione si cerca di ottenere il flusso più laminare possibile. I singoli pacchetti d'acqua devono avere possibilmente gli stessi tempi di permanenza nel reattore. Il parametro per il dimensionamento del bacino di sedimentazione è il cosiddetto carico idraulico superficiale  $CIS_p = Q/A$ , dove  $Q$  indica la portata e  $A$  la superficie di sedimentazione (lunghezza  $L$  per larghezza  $B$  del bacino). La condizione affinché una particella con velocità di sedimentazione  $v$

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

raggiunga il fondo è che  $CIS_p$  sia uguale o inferiore a  $v$ . Le usuali velocità di sedimentazione si situano attorno a 0,5 m/h senza l'impiego di coagulanti e flocculanti, per raggiungere 5-10 m/h con l'impiego degli stessi. Data la velocità di sedimentazione, quindi, è possibile calcolare le dimensioni teoriche minime del bacino di sedimentazione. Nella pratica però le condizioni di flusso non sono mai ideali e per il dimensionamento non è possibile scegliere liberamente il rapporto tra lunghezza e larghezza del bacino. Le condizioni idrauliche devono favorire la deposizione meno turbolenta possibile. Inoltre vanno evitati flussi in cortocircuito con un proporzionamento corretto del bacino (scorrimento stabile, assenza di risospensione, collocazione dell'entrata e dell'uscita, ecc.).

### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

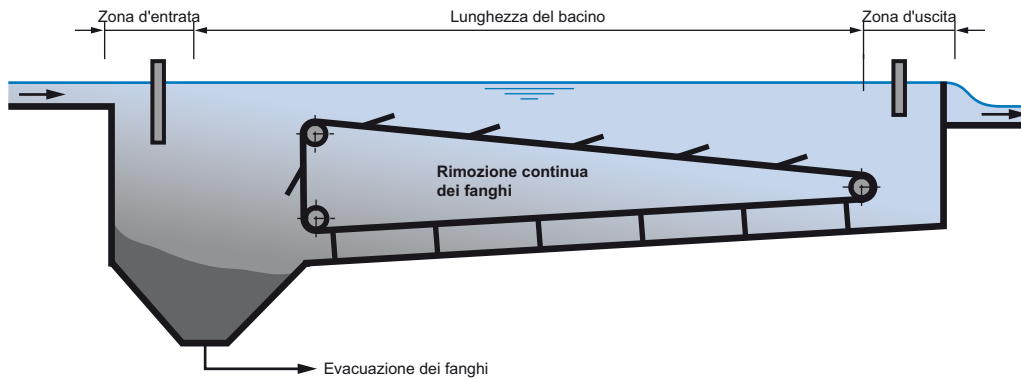
Molto spesso la sedimentazione viene combinata con flocculazione/precipitazione, con cui si mira a modificare le proprietà di sedimentazione delle particelle in modo che la separazione sia rapida e più minuziosa. Tuttavia la sola sedimentazione non è sufficiente per produrre un'acqua potabile di elevata qualità. La concentrazione residua di sostanze in sospensione è ancora troppo elevata e non consente di eseguire una disinfezione sicura. Quindi, con questo procedimento vengono solo create le condizioni ideali (torbidità/concentrazione di particelle minima e molto costante) per l'ulteriore eliminazione di particelle e torbidità (filtrazione, procedimenti su membrana).

### **Sorveglianza/controllo del procedimento**

Per sorvegliare l'efficienza della sedimentazione si può ricorrere alla misura della torbidità, che dà indicazioni sul processo di separazione delle sostanze particellari. In generale questa misurazione è sufficiente, perché in ogni caso seguono altri procedimenti di preparazione. Se il processo è integrato da flocculazione, dopo la sedimentazione vanno misurate le concentrazioni residue di coagulanti e flocculanti (alluminio, ferro, poliacrilamide, ecc.) e all'occorrenza adeguati i dosaggi.

### **Prodotti e misure precauzionali**

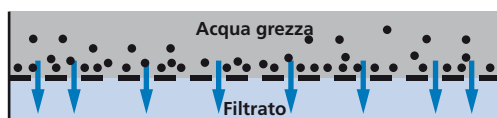
Tradizionalmente, i bacini di sedimentazione sono costruiti in forma di vasche quadrangolari con scorrimento nel senso della lunghezza o in forma di vasche circolari. Queste ultime possono essere dotate di entrata centrale o periferica, al loro interno i fanghi vengono rimossi in modo continuo. Se si desidera associare una flocculazione si ricorre a reattori combinati di flocculazione/sedimentazione, che di solito sono dotati di una zona di miscelazione turbolenta e una di deposizione con flusso più laminare. Per migliorare l'efficienza della sedimentazione convenzionale nei bacini vengono montati degli elementi interni per accorciare i percorsi di sedimentazione e aumentare sensibilmente il carico idraulico potenziale. Tali separatori a piastre o lamellari generalmente operano con una configurazione in controcorrente (acqua-fango). Invece di un'installazione lamellare è possibile ricorrere anche a cosiddetti «filtri a ghiaia», che sfruttano lo stesso meccanismo di sedimentazione. I filtri a ghiaia sono lavati dall'alto verso il basso utilizzando acqua a velocità elevata.



**Figura 7:** Schema di un bacino di sedimentazione in cui l'acqua scorre nel senso della lunghezza, con zona d'entrata e di uscita, dispositivo per la rimozione dei fanghi e imbuto di raccolta ed evacuazione dei fanghi

### Filtrazione

Nel processo di preparazione dell'acqua potabile, la filtrazione serve a separare i corpi solidi. Il prodotto finale si definisce filtrato o nei filtri a membrana permeato. L'azionamento degli impianti di filtrazione è discontinuo, vale a dire che i singoli filtri vengono periodicamente disattivati per rimuovere i solidi accumulati e quindi preservare l'efficacia del filtro. I parametri che definiscono il potere depurante di un filtro sono di norma la differenza di pressione, la qualità del filtrato (opacità, numero di particelle) e il tempo di esercizio. Se la differenza di pressione supera valori utili e/o economicamente accettabili si rende necessaria la pulizia del filtro. Lo stesso vale quando la qualità del filtrato diventa insufficiente. I procedimenti di filtrazione possono essere suddivisi in base al loro meccanismo di separazione in filtrazione superficiale e di profondità.



**Figura 8:** Schema della filtrazione superficiale. Le particelle vengono trattenute su una superficie formando un filtro torta.

### Filtrazione superficiale

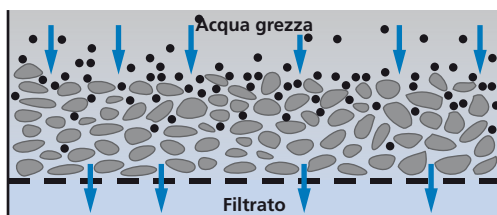
Nella filtrazione superficiale i corpi solidi vengono separati da uno strato filtrante che forma una superficie sottile. I meccanismi di separazione in gioco sono prevalentemente di natura fisica. In virtù della grandezza predefinita dei pori, i filtri superficiali presentano una soglia di separazione relativamente netta. La perdita di pressione aumenta esponenzialmente con l'accumulo di particelle solide. Esempi di filtri superficiali sono i microsetacci o i filtri in tela. Una forma speciale di filtrazione superficiale sono i procedimenti su membrana, suddivisi in base alla grandezza dei pori in micro-, ultra-, nanofiltrazione e osmosi inversa.

### Filtrazione di profondità

Nei filtri di profondità i costituenti solidi vengono trattenuti da una matrice porosa tridimensionale, in cui rivestono un ruolo importante sia processi fisici che chimici. Ne sono un esempio i filtri rapidi, i filtri lenti a sabbia o quelli a carbone attivo. Essenzialmente sono tre gli elementi che determinano l'efficacia di separazione dei corpi solidi: le proprietà delle particelle (dimensioni, forma,

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

chimica superficiale), del liquido in cui sono immerse (sostanze disciolte, adsorbimento, ecc.) e del filtro (porosità, velocità di filtrazione, grandezza, forma, ecc.). La separazione interessa le particelle di tutte le classi granulometriche e comprende due fasi, una di trasporto e una di deposizione.



**Figura 9: Schema della filtrazione di profondità. Le particelle entrano nella matrice filtrante e vengono tratteneute mediante processi chimici e fisici.**

L'aumento di concentrazione nel filtrato in funzione dell'accumulo di particelle nel filtro è chiamato curva di rottura. Se il filtro di profondità è costruito correttamente, la perdita di pressione aumenta quasi linearmente.

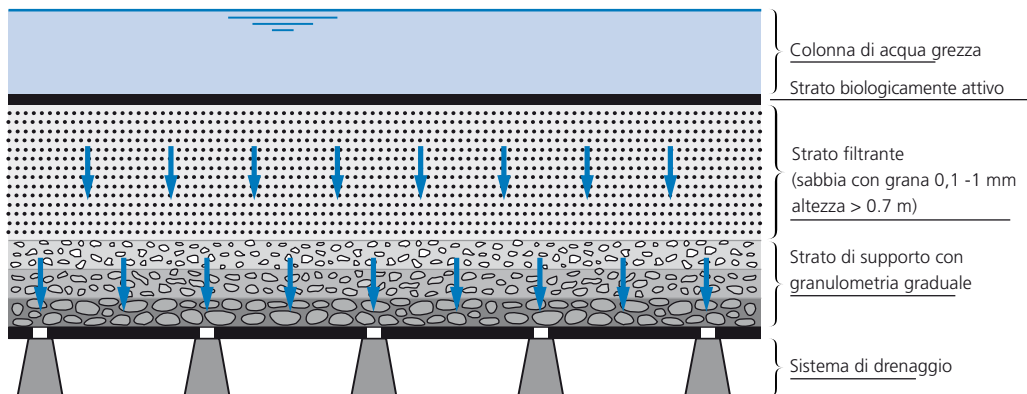
### **Procedimento: filtrazione lenta mediante sabbia**

#### **Impiego: rimozione di particelle, ad- assorbimento di sostanze particel- lari, biodegradazione**

La filtrazione lenta mediante sabbia è un procedimento per l'ampia rimozione delle particelle grazie all'attraversamento di uno strato di sabbia fine (~0.1 - 1 mm) a velocità comprese tra 0,06 e 0,3 m/h (generalmente 0,1 - 0,2 m/h).

Spesso viene impiegato come ultimo stadio di preparazione prima dei procedimenti volti a proteggere la rete idrica. Grazie ai lunghi tempi di permanenza nel filtro di 5 - 10 ore (il filtro è spesso 0,7 - 1,2 m), a seconda del materiale filtrante agiscono simultaneamente meccanismi di setacciatura, filtrazione e ad-/assorbimento di particelle e inqui-

nanti disciolti. Contemporaneamente avviene l'annientamento di microrganismi patogeni (carenza di sostanze nutritive, temperatura, predazione, ecc.) e si instaura un'attività biologica, con sostanziale degradazione delle sostanze biologiche assimilabili disciolte (AOC). Particolarmente importante è la cosiddetta «schmutzdecke» (letteralmente «manto di sporco»), uno strato di particelle spesso qualche centimetro che si deposita sopra il materiale filtrante. La schmutzdecke è biologicamente attiva e vi avvengono processi di filtrazione, nitrificazione e mineralizzazione delle sostanze organiche. Questa peculiarità unita ai lunghi tempi di filtrazione e alla granulometria fine consente a un filtro a sabbia di raggiungere un elevato potere depurante. La semplicità di struttura e funzionamento dei filtri lenti a sabbia (assenza di parti mobili e di prodotti chimici, scorrimento naturale per gravità) li rende particolarmente interessanti per piccoli approvvigionamenti idrici e per gli acquedotti a lago. Per contro, richiedono un grande spazio. Per un funzionamento ottimale la torbidità non deve superare 10 NTU e/o il tenore di corpi solidi 10 mg TSS/l (meglio se non supera 3 mg TSS/l), all'occorrenza l'acqua va trattata preliminarmente (es. con sedimentazione o filtrazione rapida). Anche un prefiltro in feltro o una preozonizzazione possono migliorare nettamente l'efficienza e il funzionamento del filtro. La filtrazione lenta mediante sabbia è in grado di ridurre il numero totale di microrganismi di 3 o 4 ordini di grandezza. Lo strato superiore del filtro, la cosiddetta schmutzdecke, deve essere periodicamente asportato. La piena efficacia (biologica) viene raggiunta solo dopo un periodo di rigenerazione di qualche settimana, a condizione di una sufficiente ossigenazione dell'acqua grezza. Quanto più a lungo resta in esercizio un filtro, tanto maggiore può diventare il suo potere depurante.



**Figura 10: Struttura di un filtro lento a sabbia. La schmutzdecke compie una depurazione biologica e trasforma sostanze. Il sottostante strato di sabbia fine filtra l'acqua per via chimico-fisica.**

### **Problemi**

A causa della piccola portata e dei lunghi tempi di rigenerazione dopo il lavaggio, il sistema richiede una grande superficie, pari a circa  $0,3 \text{ m}^2$  per metro cubo di acqua preparata e giorno. Costituenti dell'acqua come alghe, ferro, manganese o componenti responsabili della durezza possono formare incrostazioni, depositi di ocra o calcare, aumentando la resistenza del filtro e generando cortocircuiti idraulici. Il filtro non è in grado di rimuovere tutti i germi dall'acqua grezza. Inoltre, in caso di funzionamento continuo possono verificarsi fughe nel filtrato di organismi della fauna presente nei pori della sabbia, come funghi, protozoi, vermi, ecc., che in alcune circostanze possono richiedere una disinfezione a valle. Temperature basse ( $4^\circ\text{C}$ ) e velocità di filtrazione superiori a  $0,3 \text{ m/h}$  possono accelerare la fuga di microrganismi attraverso il filtro. I bacini aperti o illuminati favoriscono l'attività biologica nell'acqua che ristagna sopra il filtro (soprattutto crescita di alghe). Da una parte ciò favorisce gli auspicati processi di trasformazione e biodegradazione, dall'altra un'eccessiva crescita della biomassa comporta il rapido intasamento dello strato

superiore del filtro. Inoltre, le alghe provocano un'(iper)saturazione di ossigeno, che può formare bolle di gas nelle zone di depressione del filtro e ostruirlo completamente. Peraltro, grande biomassa significa anche elevata biodegradazione nella schmutzdecke, con il rischio di consumare tutto l'ossigeno e causare un'indesiderata anaerobicità nel filtro. Le conseguenze delle condizioni anaerobiche sono fuga di batteri nel filtrato, ridissoluzione di ferro e manganese e comparsa di problemi di odore e sapore. I tempi di esercizio di un filtro variano tipicamente da 3 a 24 mesi, ma con un pretrattamento intenso possono estendersi a diversi anni. Se i tempi risultano più brevi è bene procedere al pretrattamento dell'acqua.

### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

Le misure contro l'ostruzione dei filtri e la crescita eccessiva di alghe comprendono essenzialmente un pretrattamento a base di sedimentazione o con filtri rapidi, l'impiego di prefiltri (feltri sintetici) e la copertura/oscuramento degli impianti di filtrazione. I filtri a ghiaia costituiscono per esempio un pretrattamento molto semplice e particolar-

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

mente adatto alle acque con un tenore elevato o molto variabile di particelle sospese. La preozonizzazione è in grado di ossidare una parte del materiale organico naturale (NOM) e di trasformarlo in sostanze biodegradabili. Anche il materiale organico solido viene parzialmente ossidato, favorendo la coagulazione delle particelle, mentre ferro e manganese sono ossidati completamente. In più l'ozono aiuta a decolorare l'acqua e inattiva le alghe (vedi ozonizzazione). In casi isolati viene inserito uno strato intermedio di carbone attivo per proteggere da inquinamenti imprevisti (carichi d'urto). Questa protezione tuttavia resta attiva solo per pochi mesi.

### **Valutazione e controllo del procedimento**

Per il controllo del procedimento è necessario misurare di continuo la torbidità (< 1 NTU ai sensi dell'OSoE), che segnala eventuali fughe attraverso il filtro. Questo accertamento sommario può essere integrato da un'analisi delle particelle per caratterizzare meglio i costituenti del filtrato. Si tratta di una misurazione più dettagliata che presenta il vantaggio di fornire informazioni sul numero e la distribuzione granulometrica delle particelle, dati a loro volta indicativi del carico microbico del filtrato. Per valutare l'ambiente e l'attività biologica del filtro può essere eseguita una misurazione dell'ossigeno. Il fattore che impone la rimozione della schmutzdecke (1-3 cm) con successiva rigenerazione del filtro (ripristino della piena attività biologica) è il superamento della resistenza massima del filtro, che deve essere monitorata in modo continuo. La resistenza massima è determinata dalla costruzione del filtro (altezza della colonna d'acqua grezza) e varia

da 1 a 2 metri di colonna d'acqua. In base alle nuove conoscenze, si consiglia di controllare regolarmente anche i parametri microbiologici (ad esempio, secondo l'ORI: E. coli, enterococchi e germi aerobi mesofili).

### **Prodotti e misure precauzionali**

I filtri lenti a sabbia sono generalmente collocati in bacini aperti di cemento che a seconda delle esigenze possono essere coperti. A causa del loro grande fabbisogno di superficie, oggi vengono costruiti solo per acquedotti di piccole dimensioni. Come materiale filtrante si usa prevalentemente sabbia di quarzo con granelli di 0,1 – 0,4 mm e col minor coefficiente di uniformità possibile ( $U < 5$ , meglio  $U < 3$ ). Per evitare che la sabbia filtrante finisca nel sistema di drenaggio è necessario predisporre uno strato di supporto con una granulometria graduale accuratamente studiata.

### **Procedimento: filtrazione rapida**

#### **Impiego: rimozione delle particelle**

La filtrazione rapida è adatta in particolare alla depurazione preliminare intensiva di acque grezze molto torbide o con tenore di particelle relativamente elevato (carichi d'urto fino a 50 mg TSS/l). Si ottiene una riduzione delle particelle dell'80 - 90 per cento circa. Vengono rimosse particelle inorganiche e organiche, microrganismi e sostanze nocive legate a particelle. Le particelle separabili hanno dimensioni maggiori di 1  $\mu\text{m}$ . Inoltre in un filtro può avvenire una biodegradazione parziale di sostanze organiche, per esempio dell'AOC. La filtrazione rapida non è mai impiegata da sola, ma solo in combinazione con altri metodi (es. disinfezione, sedimentazione, filtrazione lenta mediante

sabbia o procedimenti su membrana). A seconda della qualità dell'acqua grezza e delle esigenze di depurazione, si utilizzano filtri mono- o multistrato con diversi materiali; la velocità di filtrazione è tipicamente compresa tra 6 e 20 m/h (da 15 m/h solo se il filtro è a pressione). Nei filtri bistrato e multistrato gli strati superiori presentano una porosità superiore rispetto agli strati inferiori. In alto avviene la rimozione delle particelle più grandi, mentre gli strati inferiori si occupano della filtrazione fine. Si tratta di una filtrazione di profondità, quindi hanno un ruolo importante sia processi fisici che chimici. Con l'aggiunta di piccole dosi di coagulanti può essere aumentato notevolmente il potere di filtrazione. La combinazione di filtro bistrato e coagulante consente di ridurre il carico batterico di 1 – 1,5 ordini di grandezza e i protozoi di 2 ordini di grandezza.

### **Problemi**

Se l'acqua grezza è molto impura, i frequenti controlavaggi del filtro producono grandi quantità di acqua di lavaggio fangosa e di primo filtrato (prodotto nel periodo di rigenerazione dopo il controlavaggio). Le concentrazioni molto elevate di NOM o microrganismi nell'acqua di lavaggio spesso richiedono un trattamento separato. Il fabbisogno di acqua per il controlavaggio e per il primo filtrato non deve superare il 5 per cento del filtrato. La rimozione di colloidali stabili è spesso insufficiente se non vengono aggiunti coagulanti. Se il controlavaggio è incompleto o inadeguato al filtro possono avvenire spostamenti degli strati filtranti e di supporto, con un impatto considerevole sull'efficacia. I flussi di parete (vie di scorrimento preferenziali) possono essere contrastati con apposite misure strutturali, come il montaggio di elementi interni.

L'impiantistica di un filtro rapido è molto complessa, oltre ai filtri veri e propri (numerose unità filtranti in parallelo) sono necessarie vasche per l'acqua di lavaggio e per i fanghi e bombole di aria compressa per l'aria di lavaggio.

### **Valori limite e di tolleranza**

Con la filtrazione rapida si mira a raggiungere una torbidità nel filtrato inferiore a 0,2 NTU. Il discorso sui valori di tolleranza per costituenti dell'acqua diventa rilevante soprattutto quando questo procedimento è associato a flocculazione. Se si aggiungono sali di ferro e/o alluminio in funzione di coagulanti, vanno rispettati i valori prescritti dall'OSoE, ossia 0,3 mg di Fe/l e 0,2 mg di Al/l.

### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

Se la torbidità dell'acqua grezza è minore di 5 NTU, i requisiti relativi alla torbidità riescono generalmente a essere soddisfatti con un solo stadio di filtrazione. Tuttavia, un'ampia rimozione delle particelle igienicamente rilevanti molto spesso è ottenibile solo associando una flocculazione (aggiunta di sali di Fe(III) e Al(III), eventualmente anche di polielettroliti). Un tenore di particelle solide costantemente superiore a 30 mg TSS/l richiede un pretrattamento – come flocculazione-sedimentazione, microfiltrazione, flottazione o filtrazione mediante ghiaia – che consente di prolungare il tempo d'esercizio del filtro rapido e di ridurre la frequenza dei controlavaggi e di conseguenza anche lo spreco di filtrato. Una preozonizzazione in generale favorisce la filtrazione perché provoca microfloculazione, tuttavia va tenuto presente che un dosaggio eccessivo di ozono può avere l'effetto opposto. La filtrazione rapida in teoria può essere seguita da ogni altro

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

procedimento (ossidazione, filtrazione mediante carbone attivo, filtrazione lenta mediante sabbia, disinfezione, ecc.) utile a preparare ulteriormente l'acqua (rimozione di sostanze in tracce, disinfezione, biostabilizzazione, ecc.).

### **Valutazione e controllo del procedimento**

L'efficacia della filtrazione rapida viene controllata mediante la misura continua della torbidità. I controlavaggi di regola sono effettuati a scadenze fisse per arginare un'eccessiva attività biologica, la formazione di incrostazioni e la perdita di pressione. Se l'azionamento è regolato dalla resistenza del filtro, quando viene raggiunto il valore massimo tecnicamente ed economicamente accettabile (nei filtri aperti 1 - 2 m di colonna d'acqua, nei filtri a pressione 4 - 6 m di colonna d'acqua) si avvia automaticamente il lavaggio. Il controlavaggio deve avvenire prima di eventuali fughe dal filtro. Anche i flussi volumetrici, dell'acqua grezza o del filtrato, forniscono indicazioni sul funzionamento del filtro. La valutazione visiva del controlavaggio consente di individuare problemi di funzionamento dell'impianto (es. ugelli di controlavaggio difettosi) e di controllare le condizioni del materiale filtrante (es. presenza di incrostazioni). Inoltre, durante il lavaggio va osservata la superficie dell'acqua alla ricerca di irregolarità (es. fuoriuscita irregolare di aria, eccessiva espansione del letto filtrante). Il controlavaggio viene effettuato con sola acqua o con una combinazione acqua/aria. L'aria allenta ulteriormente il materiale di filtrazione consentendo di rimuovere con più facilità sporcizia e aderenze.

### **Prodotti e misure precauzionali**

Esiste una grande varietà di materiali filtranti, tra cui sabbia di quarzo, pomice, basalto, antracite, ardesia espansa e argilla espansa, carbone attivo, calcite e dolomite. Oggi nei filtri monostrato viene impiegata prevalentemente sabbia quarzifera, in quelli multistrato una combinazione di sabbia quarzifera, pomice e/o antracite. La scelta dei materiali deve basarsi in modo specifico sulla qualità dell'acqua grezza e sul potere di filtrazione atteso. La stabilità strutturale del filtro è assicurata dalla differenza di densità dei materiali, il cui coefficiente di uniformità non deve superare 1,5. Per il controlavaggio è preferibile utilizzare il filtrato dello stesso filtro, per non alterare le condizioni di reazione nel letto filtrante (pH, potenziale redox, concentrazione di disinfettante, ecc.) ed evitare reazioni indesiderate (precipitazione, ecc.). Generalmente l'acqua di lavaggio non viene riutilizzata ma evacuata attraverso un impianto di depurazione delle acque di scarico.

### **Procedimento: filtrazione mediante membrana**

#### **Impiego: rimozione di inquinanti particellari e disciolti**

La filtrazione su membrana è adatta all'ampia rimozione di costituenti dell'acqua particellari e persino disciolti; spesso viene impiegata come procedimento di depurazione avanzata. In virtù della grandezza definita dei pori, i filtri a membrana sono caratterizzati da netti criteri di separazione e possono essere scelti in base alle esigenze specifiche:

- microfiltrazione (MF): grandezza dei pori 0,1 – 10 µm (MWCO > 500 kDa), eliminazione di particelle > 0,1 µm con pressioni transmembrana di 0,5 – 3 bar, scarsa riduzione di DOC e riduzione parziale dei microrganismi (batteri, virus, protozoi).
- ultrafiltrazione (UF): grandezza dei pori 0,001 – 0,01 µm (MWCO 1 – 500 kDa), eliminazione di macromolecole (composti organici macromolecolari), virus, protozoi, e batteri con pressioni transmembrana di 1 – 8 bar e riduzione parziale di DOC.
- nanofiltrazione (NF): grandezza dei pori 0,0005 – 0,007 µm (MWCO 100 -1000 Da), eliminazione di molecole (sostanze organiche) e in parte di ioni (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) con pressioni transmembrana di 5 - 12 bar, può essere impiegata per addolcire l'acqua e per eliminare solfato e nitrato (> 95 %), DOC e microinquinanti.
- osmosi inversa (RO): grandezza dei pori < 0,001 µm (MWCO < 100 Da), eliminazione di ioni (es. desalinizzazione dell'acqua di mare, riciclaggio dell'acqua) con pressioni di esercizio massime di 30 - 100 bar (a seconda della pressione osmotica).

Le singole membrane vengono raggruppate in moduli. I costituenti dell'acqua trattenuti formano depositi sulle membrane (fouling, scaling) che aumentano la pressione transmembrana e richiedono lavaggi regolari quando superano i valori massimi, definiti dal produttore in base alle proprietà del materiale. Inoltre, le membrane devono essere sottoposte regolarmente a pulizia chimica con cloro, acidi, liscivie, acqua ossigenata o detersivi. Solo la manutenzione regolare consente di mantenere a lungo una permeabilità costante della membrana.

### Problemi

Un elevato tenore di corpi solidi nell'acqua grezza favorisce l'ostruzione del filtro, con un aumento della frequenza dei lavaggi e del consumo di energia, nonché un maggior spreco di filtrato. Una frequenza che in caso di acqua grezza ricca di materiale intorbidente può arrivare a 4 controlavaggi all'ora richiede grandi quantità di acqua di lavaggio, fino al 5 - 15 per cento del filtrato totale: circostanza preoccupante soprattutto quando la disponibilità d'acqua è ristretta (portata variabile della corrente,

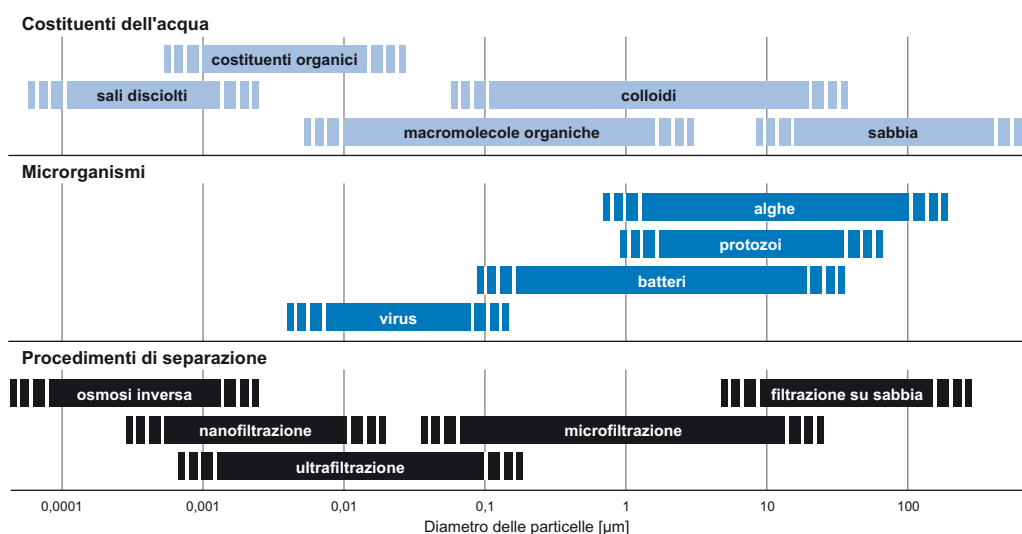


Figura 11: Rapporto tra grandezza delle particelle e procedimenti di separazione. Le divisioni non sono nette ma presentano zone di sovrapposizione

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

livelli dell'acqua bassi, ecc.). Un carico organico elevato (NOM), misurato in DOC, favorisce il fouling. Determinante è soprattutto il tenore dei polisaccaridi e delle sostanze umiche. Un AOC elevato presenta il rischio che si formi un biofilm e quindi biofouling, che a sua volta blocca i pori e aumenta la resistenza del filtro. Il biofouling può essere limitato intensificando la frequenza della pulizia chimica o aggiungendo del disinfettante all'acqua di lavaggio. Il materiale della membrana, a seconda delle sue caratteristiche, può essere danneggiato dall'impiego di agenti ossidanti. Se le membrane sono lavate con soluzioni contenenti cloro, è possibile che si formino trialometani (THM) e composti organici del cloro adsorbibili (AOX), un problema da considerare nell'eliminazione dei fanghi di lavaggio. Altre possibilità per arginare fouling e biofouling sono ridurre il carico idraulico superficiale o aggiungere carbone attivo in polvere a monte del filtro (processo Cristal).

### **Valori limite e di tolleranza**

In Svizzera vige un valore di tolleranza di 1 NTU per la torbidità dell'acqua potabile, che ogni tipo di filtro a membrana consente facilmente di rispettare. E. coli ed enterococchi secondo l'ORI non devono essere rilevabili in 100 ml d'acqua preparata, mentre il numero di germi aerobi mesofili deve essere inferiore a 20/ml. Anche in questo caso, se i filtri a membrana sono intatti questi valori vengono ampiamente rispettati.

### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

A seconda della qualità dell'acqua grezza, il pretrattamento può essere intenso, minimo o persino superfluo. La qualità dell'acqua determina anche la portata del sistema e la frequenza dei controlavaggi. Un carico solido costantemente elevato può richiedere un pretrattamento. Gli stadi che precedono ultrafiltrazione, nanofiltrazione e osmosi inversa hanno essenzialmente lo scopo di rimuovere il materiale intorbidente (flocculazione, filtrazione) e impedire precipitazioni sulla membrana (correzione del pH). La microfiltrazione non viene utilizzata nella preparazione dell'acqua potabile. Per trattenere completamente microrganismi e virus si possono collocare ultra- e nanofiltrazione come ultimo procedimento. Tuttavia, se l'acqua preparata contiene troppo AOC vi è il rischio di una ricrescita microbica: in questi casi può essere utile integrare una protezione della rete idrica per garantire la qualità igienica nelle tubature. L'aggiunta di carbone attivo in polvere (PAC) prima della filtrazione su membrana è in grado di ridurre il tenore di DOC e circoscrivere parzialmente il fouling, oltre a favorire l'eliminazione delle sostanze in traccia. Gli svantaggi dell'uso di PAC sono i costi di esercizio più elevati e lo scarso potere di rimozione dei polisaccaridi, che contribuiscono alla formazione di fouling. L'aggiunta di coagulanti consente – a seconda della composizione dell'acqua grezza – di prolungare i tempi di esercizio e ottimizzare efficacia ed efficienza del controlavaggio. Questi vantaggi sono ottenibili anche con la preozonizzazione e conseguente microfloculazione, però è doveroso tener presente che in genere le membrane polimeriche non sono resistenti all'ozono e che quindi l'acqua deve essere priva di residui di questa molecola.

### **Valutazione e controllo del procedimento**

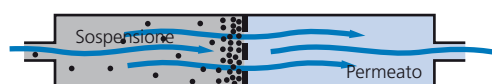
La misura della torbidità è un indicatore limitato del funzionamento di un impianto a membrana. I valori di torbidità sono infatti generalmente così bassi che solo la misurazione delle particelle e l'analisi dei parametri igienici sanno dare informazioni sull'integrità delle membrane. Il controlavaggio viene effettuato a intervalli regolari. Per ulteriore sicurezza si misura di continuo anche la differenza di pressione attraverso la membrana.

#### *Test di integrità delle membrane*

Per controllare l'integrità della membrana esistono diversi metodi oltre alla misurazione delle particelle. Il test di mantenimento della pressione, detto anche test di diffusione, consiste nel creare una sovrappressione d'aria da un lato della membrana e misurarne la diminuzione in un tempo prestabilito, tenendo conto della diffusione dell'aria attraverso la membrana. All'inizio questo test viene eseguito su moduli interi, se sorge un sospetto è ripetuto su singoli elementi. Per individuare difetti di membrane a fibra cava si utilizza il test delle bolle; da un lato della membrana viene posta acqua e dall'altro aria in sovrappressione. La perdita di piccole bollicine d'aria indica la presenza di una fibra cava difettosa che può essere sostituita. Più sensibile del test di mantenimento della pressione è il test di spostamento dell'acqua, in cui dal lato del permeato si crea una sovrappressione d'aria e dall'altro si misura il volume di acqua grezza spostata.

### **Prodotti e misure precauzionali**

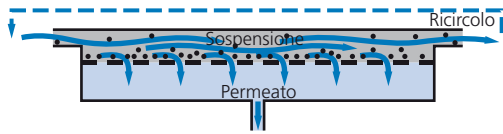
Per determinare esattamente il dimensionamento (materiale, grandezza dei pori, area della membrana, pressioni delle pompe, ecc.) e i parametri di esercizio (modo d'esercizio, frequenza dei lavaggi, impiego di disinfettanti, fabbisogno di acqua di lavaggio, ecc.), vanno eseguite prove approfondite e mirate all'impiego specifico, in cui devono essere considerate le condizioni più sfavorevoli di composizione dell'acqua grezza. La scelta può cadere su diverse varianti di membrane, a seconda di ciò che consente di raggiungere più efficacemente gli obiettivi predefiniti. Per forma, si distinguono membrane tubolari (fibre cave, capillari) e piane. Le fibre cave vengono riunite in fasci, mentre le membrane piane sono strutturate in elementi a cuscino o a spirale. Sono possibili due tipi di funzionamento: il modo a canale cieco (dead end) o in flusso tangenziale (cross flow). Nel sistema dead end l'acqua grezza scorre perpendicolarmente alla membrana, ossia viene premuta attraverso la stessa. È il funzionamento privilegiato negli impianti di acquedotto perché richiede poca energia.



**Figura 12: Schema della filtrazione dead end. Tutta l'acqua grezza attraversa la membrana e le particelle si depositano sulla superficie.**

Nel modo cross flow invece l'acqua grezza scorre parallelamente alla membrana e la attraversa solo in parte per produrre il filtrato. Il cross flow è vantaggioso soprattutto in condizioni di elevata torbidità dell'acqua grezza. Lo scorrimento lungo la membrana contribuisce a rimuovere in modo continuo parte dei depositi accumulati.

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile



**Figura 13: Schema della filtrazione cross flow.**  
L'acqua scorre parallelamente alla membrana e viene premea/aspirata solo in parte attraverso la stessa. Le particelle sono parzialmente asportate.

Inoltre si distingue tra filtrazione in aspirazione o in pressione, secondo che l'acqua grezza scorra dall'esterno all'interno delle fibre cave (aspirata) o dall'interno all'esterno (premea). Le membrane sono fabbricate in polimeri organici come derivati della cellulosa, polietere solfone, ecc., oppure in materiale inorganico come la ceramica. È assolutamente tassativo prestare attenzione alle informazioni del fabbricante su proprietà del materiale, resistenza alla pressione e agli agenti ossidanti per evitare danni alla membrana e garantire il funzionamento corretto.

### Disinfezione/ossidazione

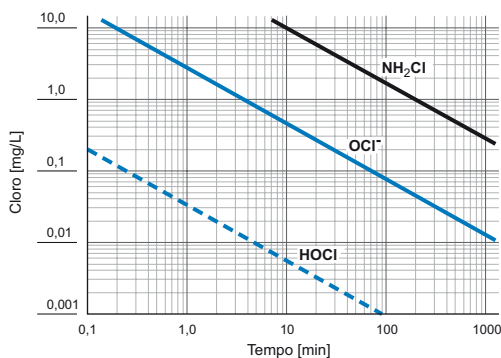
Nella preparazione dell'acqua potabile, i procedimenti e le sostanze usate per disinfettare di solito trasformano anche i costituenti dell'acqua; non è possibile considerare questi due effetti in modo disgiunto. Per preparare l'acqua potabile possono essere impiegati solo procedimenti e sostanze espressamente autorizzati per questo scopo. In Svizzera questi mezzi sono elencati nella lettera informativa numero 109 del luglio 2005 dell'UFSP e comprendono il cloro ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$ ), il biossido di cloro ( $\text{ClO}_2$ ), l'acqua ossigenata ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), l'ozono ( $\text{O}_3$ ), il permanganato di potassio ( $\text{KMnO}_4$ ) e i raggi UV. L'igienizzazione dell'acqua potabile è generalmente suddivisa in disinfezione chimica ( $\text{O}_2$ ,  $\text{ClO}$ , ecc.) e

disinfezione fisica con UV. Un'alternativa è l'igienizzazione per mezzo di procedimenti di separazione (es. ultra- e nanofiltrazione).

### Disinfezione

La disinfezione è definita come l'uccisione di microrganismi patogeni (batteri, virus, protozoi) senza separarli fisicamente, allo scopo di prevenire malattie trasmissibili con l'acqua potabile. Un aspetto sempre più importante è l'eliminazione delle forme di resistenza come spore o oocisti. Nella preparazione dell'acqua potabile, la disinfezione è il procedimento più frequente, più importante e talvolta anche l'unico impiegato. I mezzi utilizzati possono essere agenti ossidanti chimici (come l'ozono, il cloro o il biossido di cloro) o i raggi UV. Per garantire un'uccisione o un'inattivazione efficiente, tutti i disinfettanti devono agire direttamente a contatto con i microrganismi. Ciò significa che i germi aderenti a particelle o a colloidii oppure immersi in un biofilm sono particolarmente ben protetti dall'azione dei disinfettanti. Quindi, la condizione principale per una disinfezione sicura dell'acqua grezza è l'assenza più totale possibile di torbidità e particelle ( $< 1$  NTU). La torbidità non equivale alla trasmissione della luce. Un'acqua con un'elevata trasmissione può ancora contenere una quantità rilevante di corpi solidi, quindi non garantisce automaticamente una disinfezione sicura. L'efficacia del disinfettante dipende inoltre dalla resistenza del microrganismo, dalla concentrazione efficace e dal tempo d'azione sul microrganismo. Per valutare l'efficacia dei disinfettanti oggi si ricorre al concetto  $c \cdot t$ . Il valore  $c \cdot t$  è il prodotto della con-

centrazione di disinfettante nell'acqua  $c$  e del tempo d'azione  $t$ . Nella letteratura specialistica sono riportati i valori  $c \cdot t$  in  $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{l}$  relativi a un tasso di riduzione predefinito (es. 99 %) di un determinato microrganismo da parte di un determinato disinfettante. I valori  $c \cdot t$  ottenuti in laboratorio tuttavia vanno applicati con prudenza alla situazione reale, perché gli organismi presenti nell'ambiente manifestano molto spesso una sensibilità diversa ai disinfettanti, perlopiù una resistenza maggiore. Altri fattori che incidono sull'efficacia della disinfezione sono parametri qualitativi generali dell'acqua come il pH, la temperatura, i costituenti inorganici e il DOC. In particolare i processi di disinfezione si dimostrano fortemente dipendenti dalla temperatura. Il pH è determinante per la speciazione degli agenti ossidanti nell'acqua, in particolare del cloro, perché nell'intervallo di pH rilevante per l'acqua potabile sono presenti sia una specie attiva (HOCl) che una inattiva (OCl<sup>-</sup>).



**Figura 14: Efficacia disinfettante di varie specie di cloro (acido ipocloroso HOCl, ipoclorito OCl<sup>-</sup>, monochloramina NH<sub>2</sub>Cl) relativa all'inattivazione del 99 per cento di *E. Coli***

Il materiale organico naturale reagisce con gli ossidanti chimici e ne riduce la concentrazione efficace nell'acqua. Anche alcune sostanze inorganiche come

Fe(II), Mn(II) o il solfato possono accelerare la scomposizione quindi causare un esaurimento prematuro del disinfettante. Il comportamento degradativo dell'acqua sottoposta a preparazione è un fattore che va tenuto presente quando si determina la concentrazione efficace del disinfettante. Quindi è bene eseguire dei test con la corrispondente acqua grezza. Nella pratica, per monitorare e regolare adeguatamente il dosaggio si definisce una concentrazione residua minima in uscita (alla fine del tempo di reazione) del reattore.

Fondamentali per la disinfezione sono anche il posizionamento e l'idraulica della miscelazione e del reattore, al fine di assicurare il necessario tempo di reazione. La miscelazione del disinfettante deve essere rapida ed omogenea. Dopo la miscelazione, ogni pacchetto di acqua deve permanere per lo stesso tempo nel reattore. I reattori convenzionali di solito sono composti di numerose camere (serie di reattori completamente miscelati). In teoria, però, il metodo ideale per raggiungere tempi di permanenza omogenei è un reattore a plug flow («reattore a flusso a pistone»), in cui il trasporto dei pacchetti d'acqua avviene in un flusso laminare senza che si mescolino. Nella situazione reale il flusso a pistone rappresenta un ideale a cui avvicinarsi il più possibile. I test negli impianti pilota consentono di ottimizzare l'idraulica del reattore; con l'aiuto di elementi interni è possibile migliorarne le proprietà ed evitare cortocircuiti idraulici. Per una valutazione esaustiva della qualità igienica dell'acqua grezza sono indispensabili analisi microbiologiche, che devono essere programmate nel lungo termine (> 1 anno) e tenere conto anche delle condizioni atmosferiche più sfavorevoli. I disinfettanti a base di cloro sono contraddistinti dalla capacità di

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

mantenere il loro effetto nell'acqua per lunghi periodi. La funzione di protezione della rete quindi può essere assunta solo dal cloro o dal biossido di cloro.

### Ossidazione

Nella preparazione dell'acqua potabile, l'ossidazione serve a mineralizzare o trasformare costituenti dell'acqua organici e inorganici, in modo che possano essere rimossi, biodegradati o che perdano la loro tossicità. Tuttavia, la complessità e varietà di composizione dell'acqua grezza comporta sempre la formazione di sottoprodotti di reazione. Essi possono essere sostanze innocue che non compromettono la qualità dell'acqua potabile, ma anche prodotti da ritenere persino più problematici delle sostanze di partenza, come i trihalometani (THM) formati mediante clorazione e l'ossidazione del bromuro in bromato durante l'ozonizzazione. Gli eventuali sottoprodotti devono essere presi in considerazione nella scelta del procedimento adatto. In tutte le reazioni ossidative ha un ruolo centrale la cinetica, che determina la velocità di una reazione e quindi la rapidità di consumo di un agente ossidante o disinfettante. La riduzione della concentrazione dell'ossidante generalmente può essere descritta come una reazione di pseudo primo ordine. Con ossidanti selettivi, come l'ozono, il cloro o il biossido di cloro, le velocità di reazione dipendono fortemente dalla sostanza che subisce l'ossidazione (co-reagente). Da questi parametri e dalla composizione dell'acqua grezza derivano i necessari tempi di permanenza e di contatto nel reattore. Nell'ossidazione avanzata (AOP) vengono impiegati radicali OH prodotti dall'ossidazione primaria per ossidare sostanze in tracce che non reagiscono, o reagiscono solo in parte, con altri agenti ossidanti.

### Procedimento: clorazione

#### Impiego: disinfezione, ossidazione

##### Disinfezione

La clorazione è adatta all'inattivazione di virus e batteri allo stato vegetativo: i valori  $c \cdot t$  sono generalmente inferiori a  $1 \text{ mg} \cdot \text{min}/\text{l}$ . Per contro, il cloro è inadatto all'inattivazione di spore batteriche e protozoi (es. cisti di *Giardia lamblia*, oocisti di *Cryptosporidium parvum*). Per queste forme e microrganismi risultano più efficaci l'ozonizzazione, la disinfezione UV o una filtrazione (mediante membrana). La torbidità dell'acqua deve essere inferiore a 1 NTU per fare in modo che i microrganismi non si aggregino a particelle sottraendosi all'azione del disinfettante.

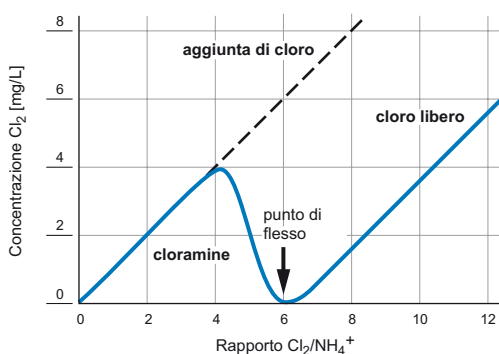
##### Ossidazione chimica

##### Sostanze inorganiche

Il cloro è adatto all'ossidazione di specie inorganiche ridotte come ferro(II), nitrito, solfito, solfato, ecc. In soluzione omogenea il manganese(II) viene ossidato solo lentamente. In questo caso si deve procedere a ossidazione eterogenea in un filtro rivestito di ossido di manganese(IV). Oltre a questi effetti attesi, il cloro ossida anche il bromuro e lo ioduro generando eventualmente sottoprodotti bromati e iodati. Inoltre reagisce rapidamente con l'ammonio formando clorammine, che hanno un potere disinfettante molto inferiore rispetto al cloro. Perciò l'acqua dovrebbe contenere la minima concentrazione possibile di ammonio prima della clorazione, il che fortunatamente costituisce la norma nelle acque grezze svizzere. Con un rapporto di massa cloro:ammonio ( $\text{Cl}_2:\text{NH}_4$ ) pari a 6 può andare completamente perso l'effetto ossidante.

### Sostanze organiche

Il cloro è inadatto all'ossidazione di sostanze organiche in tracce, poiché si formano prodotti clorati che spesso risultano più problematici sotto il profilo tossicologico delle sostanze di partenza. Talvolta possono insorgere anche problemi di sapore e odore (es. clorazione di fenoli).



**Figura 15: Formazione di cloramine in rapporto alla concentrazione di ammonio. Con un rapporto di massa pari a 6 si perde quasi completamente l'effetto disinfettante.**

### Problemi

L'uso del cloro per disinfettare e ossidare è sempre legato a reazioni indesiderate con il materiale organico naturale (NOM). Ciò comporta da una parte un consumo più rapido del cloro, dall'altra la formazione di numerosi prodotti contenenti cloro e bromo, in parte potenzialmente tossici. Se la concentrazione di DOC supera 2  $\text{mg/l}$  la clorazione può quindi diventare problematica.

In Svizzera come indicatore della formazione di tali prodotti si usa la somma dei trihalometani clorati e bromati (THM: cloroformio  $\text{CHCl}_3$ ). Nelle acque contenenti iodio, che costituiscono un'eccezione in Svizzera, possono formarsi

anche sottoprodotti iodati. Nella forma di immagazzinamento del cloro (candeggina), il tenore di cloro attivo diminuisce in dipendenza della concentrazione di cloro e della temperatura.

### Valori limite e di tolleranza

In Svizzera vige un valore di tolleranza per il cloro libero nell'acqua potabile di 0,1  $\text{mg/l}$ , fissato soprattutto per motivi organolettici, in quanto il sapore di cloro nell'acqua potabile è tendenzialmente sgradito dai consumatori del nostro Paese. Alcuni individui possono percepire il cloro anche a concentrazioni inferiori a questo limite. In Svizzera, per la somma degli idrocarburi alogenati volatili (THM) prodotti dalla clorazione è fissato un valore di tolleranza pari a 0,02  $\text{mg/l}$  di cloro. Per i quattro THM contenenti cloro e bromo vigono i seguenti valori limite: cloroformio ( $\text{CHCl}_3$ ): 0,04  $\text{mg/l}$ , bromodichlorometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ): 0,015  $\text{mg/l}$ , dibromoclorometano ( $\text{CHClBr}_2$ ): 0,1  $\text{mg/l}$ , tribromometano ( $\text{CHBr}_3$ ): 0,1  $\text{mg/l}$ .

### Valutazione e controllo del procedimento

Per valutare il procedimento deve essere misurata continuamente la concentrazione di cloro mediante sensori elettrochimici. Il campo di misura e la calibrazione di questi strumenti sono fattori decisivi per la riuscita del processo e per garantire la qualità dell'acqua fornita. Il limite di quantificazione della maggior parte degli apparecchi disponibili in commercio è dell'ordine di 0,05  $\text{mg/l}$ . Vengono indicati anche valori di misura più bassi, ma non in modo quantitativo. La calibrazione deve essere effettuata a intervalli regolari seguendo

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

le indicazioni del fabbricante. A concentrazioni molto basse non è possibile calibrare gli apparecchi perché il limite di quantificazione dei metodi fotometrici utilizzati si attesta intorno a 0,05 mg/l. Per la fotometria si utilizza prevalentemente il metodo DPD, disponibile in commercio come kit di misurazione.

### **Prodotti e misure precauzionali**

Il cloro può essere aggiunto all'acqua potabile in varie forme: come gas ( $\text{Cl}_2$ ), in forma disciolta (nella candeggina come ipoclorito,  $\text{OCl}^-$ ) o in forma solida come cloruro di calce ( $\text{CaClOCl}$ ). Con il cloro gassoso vanno prese le necessarie misure precauzionali per evitare una fuga di gas, perché è molto aggressivo e corrosivo. Il personale deve essere istruito alla manipolazione di cloro gassoso e gli impianti devono rispettare le prescrizioni di sicurezza. La SUVA indica un valore MAC per il cloro gassoso di 1,5 mg/m<sup>3</sup>. L'uso di cloro non è particolarmente adatto agli acquedotti di piccole dimensioni a causa della sua difficile manipolazione. Se ciò nonostante si decide di adottare questo metodo di disinfezione, si raccomanda di preferire la candeggina perché è facile da immagazzinare e dosare. Il cloruro di calce è poco adatto alla somministrazione continua, ma può essere impiegato per esempio per disinfettare serbatoi. Un'altra opzione è la produzione elettrolitica in situ, ossia la fabbricazione di cloro mediante elettrolisi a partire da una soluzione salina.

### **Procedimento: biossido di cloro ( $\text{ClO}_2$ )**

#### **Impiego: disinfezione, ossidazione**

Il biossido di cloro si presta sia ad un'efficace disinfezione, sia all'ossidazione selettiva di costituenti dell'acqua. In Svizzera si ricorre spesso al biossido di cloro in sostituzione del cloro ( $\text{Cl}_2$ ) come ultimo disinfettante prima dell'immis-

sione in serbatoi o nella rete di distribuzione. Il biossido di cloro viene aggiunto all'acqua solitamente sotto forma di soluzione acquosa. Nell'acqua grezza (specialmente di superficie) contenente elevate concentrazioni di NOM il biossido di cloro è degradato relativamente in fretta. A partire da una concentrazione di circa 0,05 mg/l il biossido di cloro è organoletticamente percepibile. Contrariamente al cloro, la speciazione e reattività del biossido di cloro non dipendono dal pH; a valori elevati o molto bassi di pH si osservano unicamente reazioni di disproporzione.

### *Disinfezione*

Il biossido di cloro presenta buone proprietà disinfettanti. È efficace contro molti microrganismi presenti nell'acqua (batteri e virus), mentre è solo parzialmente efficace nell'uccisione di protozoi (es. oocisti di *Cryptosporidium*). Il potere disinfettante del biossido di cloro, definito dal parametro  $c \cdot t$  (concentrazione per tempo medio di reazione), a pari concentrazione è superiore a quello del cloro. Il dosaggio necessario è determinato prevalentemente dal comportamento degradativo dell'acqua. Per una disinfezione sicura occorre assolutamente mantenere una torbidità inferiore a 1 NTU nell'acqua grezza. Infine, in virtù della sua lunga durata d'azione, il biossido di cloro è particolarmente adatto alla protezione della rete di distribuzione dell'acqua potabile.

### *Ossidazione chimica*

#### *Sostanze inorganiche*

Ferro(II) e manganese(II) sono efficacemente ossidati e trasformati in composti poco solubili, facili da separare mediante una successiva filtrazione. Il biossido di cloro non ossida il bromuro, quindi non forma bromato né altri composti bromorganici. Nei confronti

del cloro, il biossido di cloro presenta il vantaggio di non reagire con l'ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) e quindi di non consumarsi in acqua contenente  $\text{NH}_4^+$ .

#### *Sostanze organiche*

Di norma il biossido di cloro ossida sostanze organiche mediante una reazione di trasferimento di elettroni. Il radicale organico formato reagisce quindi con un'altra molecola di biossido di cloro o con altri costituenti dell'acqua. Il biossido di cloro è adatto all'ossidazione selettiva di precursori di sostanze che danno odore o sapore all'acqua (es. ossidazione di composti fenolici). Contrariamente al cloro, non vengono formati trialometani (THM). Inoltre gli acidi umici e fulvici sono efficacemente decolorati.

#### *Matrice*

A seconda della composizione dell'acqua, il biossido di cloro può favorire la flocculazione delle sostanze intorbidenti e aiutare la successiva filtrazione.

#### **Problemi**

Il biossido di cloro è un gas tossico che di solito viene prodotto direttamente nell'impianto. A partire da una concentrazione di 10 Vol. % il gas è esplosivo: questo pericolo va tenuto presente soprattutto con soluzioni acquose più concentrate di 8 g/l. Anche le soluzioni di clorito possono dare fuoco a sostanze organiche infiammabili. Agli usuali valori di pH che si riscontrano nella preparazione dell'acqua potabile, il biossido di cloro reagisce trasformandosi prevalentemente in clorito (un'emotossina) e solo parzialmente in clorato, sostanze entrambe indesiderate nell'acqua potabile. Per mantenere le concentrazioni di clorito e clorato inferiori al valore di tolleranza, può essere immessa una concentrazione massima di  $\text{ClO}_2$  pari a 0,4 mg/l. A par-

te da concentrazioni di 0,05 - 0,1 mg/l il biossido di cloro presenta un odore sgradevole e penetrante. L'ossidazione di composti fenolici e sostanze umiche può provocare una colorazione secondaria giallastra dell'acqua (formazione di chinoni e loro sottoprodotti). Ciò avviene soprattutto quando l'acqua grezza è ricca di sostanze umiche e si manifesta quando l'ossidazione è incompleta. Il problema può essere risolto adeguando il dosaggio o ricorrendo a un'eventuale preossidazione. Altri sottoprodotti che si formano dalla reazione con i NOM sono composti ossigenati come aldeidi e chetoni, che possono provocare un aumento dell'AOC.

#### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

Il pretrattamento può includere, a seconda della composizione dell'acqua grezza, tutti i procedimenti di preparazione dell'acqua potabile. Una preossidazione (clorazione, ozonizzazione) aumenta considerevolmente la durata d'azione del biossido di cloro. Se si utilizza l'ozono come disinfettante primario senza successiva filtrazione va tenuto presente che a contatto con l'ozono il biossido di cloro e il clorito vengono ossidati in clorato. Se il biossido di cloro attraversa un filtro a carbone attivo viene ridotto in clorito. In condizioni aerobiche, nel filtro a carbone attivo non avviene alcuna trasformazione del clorato o del clorito.

#### **Valori limite e di tolleranza**

Per motivi organolettici, in Svizzera è fissato nell'OSoE un valore di tolleranza di 0,05 mg/l per il biossido di cloro nell'acqua potabile. Inoltre, per clorato ( $\text{ClO}_3^-$ ) e clorito ( $\text{ClO}_2^-$ ) provenienti dalla preparazione dell'acqua potabile è stato fissato un valore di tolleranza, valido per entrambi, di 0,2 mg/l.

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

### **Valutazione e controllo del procedimento**

Per dosare correttamente le soluzioni di biossido di cloro deve essere misurato continuamente il flusso volumetrico dell'acqua. Anche le concentrazioni di biossido di cloro e di cloro vanno determinate in modo continuo nell'acqua preparata per mezzo di sensori elettrochimici. Così è possibile verificare da un lato il rispetto del valore di tolleranza, dall'altro che il dosaggio di biossido di cloro sia adeguato. L'acqua grezza che presenta una torbidità superiore a 1 NTU deve essere pretrattata prima della disinfezione.

### **Prodotti e misure precauzionali**

I prodotti chimici necessari alla produzione di biossido di cloro sono sostanze destinate a uso professionale pericolose, per cui bisogna osservare le rispettive norme di sicurezza. Normalmente il biossido di cloro viene prodotto in situ partendo dal clorito di sodio. I metodi di produzione sono sostanzialmente due. Nel processo clorito/cloro il clorito viene ossidato dal cloro in biossido di cloro. Se al clorito e al cloro si aggiunge anche acido, si parla di processo a tre componenti. Nel processo clorito/acido, a pH basso il clorito disproporziona a biossido di cloro e cloruro (Cl<sup>-</sup>). Se si impiega l'acido cloridrico (HCl), quest'ultimo non deve venire a contatto diretto con la soluzione di clorito di sodio per il rischio di esplosione. I recipienti di riserva di soluzione di biossido di cloro devono essere sempre dotati di aperture di aerazione e disaerazione. Il biossido di cloro gassoso ha un valore MAC di 0,3 mg/m<sup>3</sup>.

### **Procedimento: ozonizzazione**

#### **Impiego: disinfezione, ossidazione**

L'ozono è particolarmente adatto alla preossidazione e/o alla disinfezione primaria dopo un pretrattamento di eliminazione delle particelle e della torbidità. Generalmente l'ozono non può essere

impiegato come unico procedimento di preparazione, ma va combinato a filtrazione rapida o lenta mediante sabbia o a un procedimento con carbone attivo. L'ozono è tendenzialmente poco solubile in acqua, in più si rivela relativamente instabile e si scompone formando radicali OH, utilizzabili in modo mirato per l'ossidazione avanzata (AOP). Dato il tempo d'azione relativamente breve, l'ozono non è adatto a proteggere la rete di distribuzione.

### **Disinfezione**

L'ozono è un disinfettante efficace contro batteri, virus (poliovirus, rotavirus, ecc.) e in parte pure anche contro i protozoi (Giardia, Cryptosporidium, ecc.), anche se l'effetto sui criptosporidi si manifesta solo a valori c\*t sufficientemente elevati, dove bisogna tenere conto delle concentrazioni massime di ozono (valore di tolleranza 0,05 mg O<sub>3</sub>/l). Un eventuale eccesso di ozono può essere rimosso con il carbone attivo. Condizione essenziale per una disinfezione efficiente ed efficace è un'acqua praticamente priva di torbidità (< 1 NTU). Per giudicare il potere disinfettante si ricorre al valore c\*t (prodotto della concentrazione c per il tempo medio di reazione t).

### **Ossidazione chimica**

#### **Sostanze inorganiche**

L'ossidazione delle sostanze inorganiche avviene in due modi, direttamente mediante O<sub>3</sub> (selettiva) o indirettamente attraverso radicali OH di formazione secondaria (non selettiva). Costituenti inorganici come ferro, manganese, cianuro, solfuro o arsenico sono ossidati direttamente e rapidamente dall'ozono. L'ossidazione del solfuro in solfato elimina il suo odore sgradevole di uova marce. Se l'acqua grezza contiene bromuro, dalla sua ossidazione si forma acido ipobromico (HOBr/BrO<sup>-</sup>), che in parte reagisce ulteriormente per forma-

re sostanze indesiderate come bromato e composti bromorganici. Siccome in Svizzera le concentrazioni abituali di bromuro nell'acqua si limitano a 10 – 20 µg/l, se l'ozono viene impiegato a regola d'arte non bisogna temere una produzione eccessiva di bromato. In linea generale, se la concentrazione di bromuro nell'acqua grezza è inferiore a 50 µg/l, con un'ozonizzazione ben gestita non dovrebbero esserci problemi nel rispettare il valore di tolleranza di 10 µg/l per il bromato.

#### *Sostanze organiche*

L'ozono reagisce con il materiale organico naturale disciolto (NOM), misurato in DOC, in un processo di ossidazione parziale che comporta la formazione di prodotti di reazione polari a bassa massa molecolare. Questi prodotti di ossidazione (es. aldeidi, chetoni, acidi organici, ecc.) sono più biodegradabili delle sostanze di partenza (il cosiddetto AOC), ma la loro ritenzione nei filtri a carbone attivo è minore. Una riduzione effettiva dell'AOC si raggiunge solo con procedimenti di preparazione biologici (es. carbone attivo biologico, filtrazione lenta mediante sabbia, ecc.), perciò l'ozonizzazione non deve essere inserita quale ultimo stadio di trattamento. Inoltre l'ozono è adatto alla decolorazione dell'acqua e alla rimozione di sostanze che danno odore e sapore. L'ozonizzazione presenta il vantaggio di una formazione minima di sottoprodotti. Inoltre, nella successiva clorazione (per proteggere la rete di distribuzione) si formano quantità inferiori di composti clororganici rispetto all'impiego diretto di cloro.

#### *Matrice*

Un tenore elevato di NOM accelera la degradazione spontanea dell'ozono. Per contro, concentrazioni elevate di  $\text{HCO}_3^-$  (acque sotterranee e di sorgente dure) lo stabilizzano. Una dose bassa di ozono

(0,2 - 0,5 mg  $\text{O}_3$ /mg DOC) favorisce la microfloculazione. Quest'effetto può essere sfruttato per aumentare l'efficacia di una filtrazione o sedimentazione. Se invece il dosaggio dell'ozono è troppo elevato (0,5 - 2,0 mg  $\text{O}_3$ /mg DOC) può verificarsi l'effetto opposto. La dose ottimale di ozono va determinata mediante prove.

#### **Problemi**

L'ozono è un gas tossico ed esplosivo a concentrazioni elevate (> 9,5 Vol. %). La sua stabilità in acqua dipende fortemente dal pH, dal tenore di DOC e dall'alcalinità, il che rende problematica la ricerca del dosaggio adeguato quando si mescolano acque grezze di diversa origine (es. lago e sorgente) o quando la qualità dell'acqua è molto variabile (es. sorgenti carsiche). Per questi motivi il dosaggio viene regolato in base alla concentrazione residua di ozono all'uscita del reattore. La produzione di ozono richiede un'energia di 12-18 kWh/kg  $\text{O}_3$  se prodotto a partire dall'aria e di circa 6-10 kWh/kg a partire dall'ossigeno. Nella produzione partendo dall'aria, da  $\text{N}_2$  si formano ossidi di azoto che a contatto con l'acqua si trasformano in acido nitrico ( $\text{HNO}_3$ ). Per ridurre la formazione di  $\text{HNO}_3$  (che corrode il sistema), l'aria destinata alla produzione di ozono deve essere essiccata e gli ossidi di azoto come pure i resti di ozono nell'aria di scarico devono essere eliminati.

#### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

L'ozonizzazione viene collocata solitamente all'inizio (preozonizzazione) o a metà della preparazione (ozonizzazione intermedia). La preozonizzazione serve alla disinfezione e alla microfloculazione. La presenza di sostanze della matrice durante la preozonizzazione comporta la completa degradazione spontanea di  $\text{O}_3$ , un effetto atteso che consente di aumentare l'efficacia dei successivi passaggi di disinfezione

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

chimica. Inoltre, la reazione con il NOM genera prodotti di ossidazione biodegradabili che possono essere eliminati mediante filtrazione biologica (riduzione dell'AOC). Se l'acqua grezza contiene particelle intorbidanti, per una disinfezione controllata esse devono essere preliminarmente separate (flocculazione / sedimentazione, filtrazione, ecc.). Per eliminare un'eccessiva quantità di ozono residuo l'acqua dopo l'ozonizzazione scorre attraverso filtri a carbone attivo che riconvertono l'ozono in ossigeno.

### **Valori limite e di tolleranza**

Il valore di tolleranza dell'OSoE per l'ozono nell'acqua potabile è fissato a 0,05 mg/l. La reazione di ozono e radicali OH con il bromuro può formare bromato, sostanza indesiderata con un valore di tolleranza di 0,01 mg/l. La produzione di ozono a partire dall'aria genera acido nitrico, che disciolto in acqua aumenta la concentrazione di nitrato. Se l'acqua grezza già contiene un tenore elevato di nitrato bisogna assicurarsi di non superare il valore di tolleranza per il nitrato, pari a 40 mg NO<sub>3</sub>-/l.

### **Valutazione e controllo del procedimento**

Per regolare e sorvegliare l'impianto di ozonizzazione è necessario misurare continuamente la concentrazione di ozono disciolto mediante sensori amperometrici. La concentrazione residua di ozono all'uscita del reattore deve essere sufficientemente alta per garantire l'efficacia della disinfezione. Per esempio, per l'inattivazione dei criptosporidi la concentrazione in uscita deve far risalire a un valore  $c \cdot t$  pari a 5-10 min\*mg/l (rilevamento di 1 mg O<sub>3</sub>/l alla fine di un reattore con tempo di percorrenza di 10 min). Per misurare l'ozono in campioni d'acqua si applicano anche metodi fotometrici (es. metodo indigo), sfruttati anche per calibrare i sensori fotometrici.

### **Prodotti e misure precauzionali**

L'ozono viene prodotto in situ mediante scariche a barriera dielettrica in gas contenenti ossigeno, come l'aria essiccata o l'ossigeno puro. Il sistema di immissione è importante per l'efficacia dell'ozonizzazione. Vengono utilizzati iniettori, diffusori o miscelatori statici. L'ozono residuo nell'aria di scarico deve essere eliminato con l'aiuto di catalizzatori o con un trattamento termico. L'ozono gassoso può provocare esplosioni se entra in contatto con materiale organico (es. carbone attivo, grassi, gomma, ecc.) La SUVA indica un valore MAC di 0,2 mg/m<sup>3</sup> per l'ozono. A causa dei costi di produzione relativamente elevati e della manipolazione complessa, l'ozonizzazione è adatta soprattutto a impianti di potabilizzazione di grandi dimensioni.

### **Procedimento: raggi ultravioletti (UV)**

#### **Impiego: disinfezione, ossidazione**

Il trattamento con raggi UV è principalmente un procedimento di disinfezione, ma a seconda del dosaggio può anche indurre una degradazione selettiva di alcune sostanze in tracce. Inoltre, in combinazione con l'acqua ossigenata (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) i raggi UV possono essere utilizzati per l'ossidazione di costituenti dell'acqua. Se la composizione dell'acqua grezza lo consente, la disinfezione UV può persino costituire il solo procedimento di preparazione dell'acqua potabile (es. in caso di elevata qualità delle acque sotterranee o di sorgente). L'effetto si basa sul danneggiamento del materiale genetico cellulare (DNA e RNA), con conseguente compromissione del metabolismo e incapacità delle cellule a dividersi. La dose irradiata è bassa, quindi la trasformazione fotochimica del NOM si può ritenere irrilevante.

Il valore determinante per l'efficacia disinfettante è la dose UV. Per la disinfezione UV nell'ambito dell'approvvigionamento idrico, la SSIGA ha fissato la dose minima di UV a 400 J/m<sup>2</sup>. L'efficacia disinfettante è definita da quattro parametri: dal flusso delle acque (o anche tempo d'esposizione), dalle condizioni idrauliche nella camera d'irradiazione, dalla trasmissione UV dell'acqua da sottoporre a irradiazione e dall'irradiazione stessa, espresso in W/m<sup>2</sup> da un sensore UV standardizzato nella camera d'irradiazione. L'irradiazione è a sua volta influenzata dal potere irradiante dell'impianto, dall'età dell'emettitore, dall'eventuale deposito creatosi sul tubo di protezione e dalla trasmissione UV dell'acqua da irradiare.

### **Problemi**

Condizione indispensabile per una disinfezione efficace è la possibilità dei raggi UV di agire direttamente sui microrganismi. Se sono inglobati o aggregati a particelle, questi ultimi restano più o meno al riparo dalla radiazione UV (oscuramento). È quindi necessario che la torbidità sia molto bassa (< 1 NTU). Nella pratica però è stato osservato che negli impianti UV a irradiazione elevata (> 400 J/m<sup>2</sup>) non sempre viene respinta l'acqua grezza relativamente torbida, perché i sensori UV che monitorano il processo rilevano valori sufficienti di trasmissione. Di conseguenza nell'acqua potabile possono passare microrganismi viventi protetti all'interno di particelle. Perciò, in linea di principio, ma soprattutto se le condizioni dell'acqua grezza sono molto variabili (es. acqua da acquiferi carsici), si raccomanda di collocare un misuratore della torbidità

prima dell'impianto di disinfezione UV. L'invecchiamento degli emettitori e l'accumulo di depositi sui tubi di protezione provoca una costante perdita di potere irradiante, perciò è necessario procedere a regolare pulizia e sostituzione delle parti usurate. In presenza di elevate concentrazioni di nitrato nell'acqua grezza e utilizzando lunghezze d'onda inferiori a 235 nm si forma nitrito, un'emotossina indesiderata nell'acqua potabile. Questo problema può essere risolto con l'uso di appropriati tubi protettivi (che schermano i raggi con lunghezza d'onda inferiore a 235 nm).

### **Reattore**

L'idraulica del reattore è fondamentale nei procedimenti UV. Gli emettitori sono contenuti in tubi protettivi in vetro di quarzo e possono essere disposti parallelamente o perpendicolarmente alla direzione di scorrimento. L'acqua e i suoi costituenti assorbono maggiormente i raggi UV rispetto alla luce visibile, perciò gli emettitori devono essere sistemati molto vicini l'uno all'altro. I raggi penetrano solo pochi centimetri nell'acqua (al massimo 0,5 m), quindi l'idraulica (turbolenza, prevenzione di cortocircuiti, ecc.) deve essere concepita in modo che i tempi di permanenza siano sufficienti e ogni organismo giunga a distanza utile da un emettitore. Generalmente la geometria del reattore è indicata dal fabbricante. Il fabbricante deve anche verificare l'efficienza dell'impianto mediante esame biosimetrico. Per la certificazione degli impianti UV esistono due prescrizioni d'esame riconosciute dalla SSIGA, la norma austriaca M5873 e quella tedesca (DVGW) W294.

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

La necessità di eliminare torbidità e particelle prima della disinfezione dipende dal loro tenore nell'acqua. Se la torbidità si mantiene inferiore a 1 NTU e il carico microbiologico è basso (condizioni che si verificano di solito nelle acque sotterranee e di sorgente) non occorre nessun pretrattamento. In linea generale le acque di superficie necessitano sempre di una rimozione di particelle e torbidità, ottenibile con qualsiasi procedimento di separazione dei solidi come la filtrazione rapida, la filtrazione lenta mediante sabbia o i procedimenti su membrana.

### **Valori limite e di tolleranza**

In caso di concentrazioni elevate di nitrato nell'acqua grezza (alla soglia del valore di tolleranza) bisogna sorvegliare anche la concentrazione di nitrito. L'OSoE fissa un valore di tolleranza per il nitrito nell'acqua potabile di 0,1 mg  $\text{NO}_2^-/\text{l}$ , per il nitrato di 40 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ . Il valore di tolleranza per le particelle in sospensione (torbidità) è di 1,0 NTU.

### **Valutazione e controllo del procedimento**

L'efficacia disinfettante di un impianto viene controllata da un servizio di verifica qualificato che, grazie a un esame biosimetrico, determina i parametri flusso massimo, trasmissione e dose di UV. Tale esame fa parte delle procedure di autorizzazione. Secondo la SSIGA l'impianto deve dimostrare una sufficiente irradiazione ambientale (fluenza), pari ad almeno 400 J/m<sup>2</sup> e controllata indirettamente in continuo con rilevatori UV sensibili all'irradiazione minima. Negli apparecchi a più emettitori spesso è impossibile sorvegliare ogni singolo emettitore con un sensore, per cui il funzionamento viene controllato

attraverso l'assorbimento di energia. Inoltre vanno registrati tempo di esercizio e numero di attivazioni. La durata di accensione delle lampade influisce sulla diminuzione del potere irradiante soprattutto negli emettitori a bassa pressione. La durata utile di un emettitore a bassa pressione è tipicamente compresa tra le 4000 e le 10 000 ore, quella di un emettitore a media pressione si aggira intorno a 10 000 ore (per la descrizione dei tipi di emettitori cfr. sezione «Prodotti e misure precauzionali»). Il tempo di permanenza minimo nel reattore viene controllato dalla regolazione del flusso. Tuttavia, negli impianti più vecchi talvolta non esiste una regolazione del flusso minimo. Inoltre alcuni impianti sono sprovvisti del monitoraggio automatico della torbidità: l'acqua potabile può risultare inquinata, soprattutto se proviene da sorgenti con portata o torbidità molto variabili.

### **Esame biosimetrico**

L'esame biosimetrico è basato sulla misura in laboratorio della sensibilità di spore di *Bacillus subtilis* a dosi specifiche di raggi UV (tempo\*irradiazione). Viene impiegato per rilevare o verificare il potere di irradiazione degli impianti. A monte dell'impianto vengono immerse in modo costante spore di *B. subtilis* alla concentrazione di circa  $3 \times 10^3/\text{ml}$ . Raggiunta la completa miscelazione e in condizioni di flusso costanti, a valle dell'impianto vengono in seguito prelevati almeno 5 campioni a distanza di un minuto l'uno dall'altro. I campioni vengono messi in coltura in piastre a contatto e incubati a 37°C per 24 ore. Dal calcolo della riduzione delle spore attive di *B. subtilis* ( $\lg(N/N_0)$ ) e con l'aiuto della curva di inattivazione UV si può risalire alla fluenza equivalente di riduzione (dose irradiata) nel reattore.

Questi calcoli valgono sempre per una specifica combinazione di flusso (tempo di permanenza) e trasmissione. I risultati del test possono essere rinforzati modificando le condizioni d'esame, in due modi: da una parte riducendo la trasmissione dell'acqua con l'aggiunta di ligninsolfonato e regolando gli emettitori al 100 per cento di potenza (emissione elevata – assorbimento elevato); dall'altra mantenendo la trasmissione naturale e riducendo la potenza della lampada al 70 per cento o meno (emissione ridotta - assorbimento ridotto). La variante più conservativa determina l'esito della valutazione.

### **Prodotti e misure precauzionali**

Per disinfettare l'acqua potabile si impiegano lampade a bassa o media pressione. Gli emettitori a media pressione emettono raggi con lunghezze d'onda di 200 – 300 nm e richiedono una quantità relativamente elevata di energia, pari a 100 W per centimetro di lunghezza del tubo. La temperatura della parete del tubo è di circa 900°C. Il loro vantaggio è l'estrema densità di potenza e la regolazione semplice e veloce. Le lampade a media pressione sono adatte soprattutto agli impianti con grandi portate d'acqua. Gli emettitori a bassa pressione invece emettono raggi a 253,7 nm e necessitano solo di 0,5 - 3 W/cm con temperature d'esercizio di 50 - 90°C. L'impianto di irradiazione UV deve essere tarato in funzione della composizione dell'acqua. Il decadimento della potenza di irradiazione va controllato per sostituire tempestivamente gli emettitori esausti. In linea di principio tutti gli emettitori dovrebbero avere la stessa durata di esercizio. Tener presente che quando vengono accesi raggiungono il pieno regime solo dopo 3-6 minuti (media pressione) o 15-30 minuti

(bassa pressione). La pianificazione di un impianto UV deve comprendere anche una soluzione per lo smaltimento degli emettitori vecchi o difettosi, che contengono grandi quantità di mercurio liquido o legato.

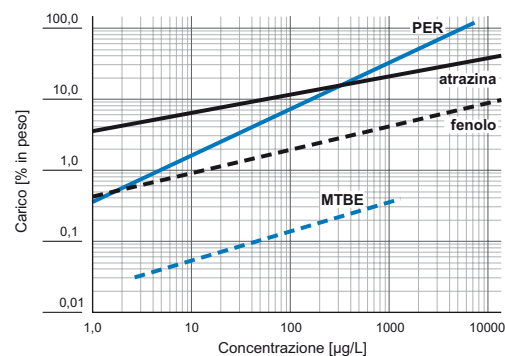
### **Trattamento avanzato**

Alcuni inquinanti contenuti nell'acqua grezza non riescono ad essere rimossi da filtrazione e ossidazione e necessitano di un ulteriore trattamento. Il trattamento avanzato è sempre mirato e deve essere concepito in funzione di sostanze o parametri specifici. Procedimenti avanzati sono necessari soprattutto per la preparazione di acque grezze con forte inquinamento di origine antropica, al fine di raggiungere gli obiettivi qualitativi. I procedimenti descritti in seguito solitamente non vengono impiegati da soli ma vanno considerati anelli di una catena di preparazione a più stadi.

### **Procedimento: carbone attivo**

#### **Impiego: adsorbimento, filtrazione**

Il carbone attivo è impiegato prevalentemente per l'eliminazione di sostanze organiche disciolte in tracce (es. pesticidi, aromi e sostanze odorose, idrocarburi clorati, ecc.) e protegge da inquinamenti improvvisi. Il suo impiego è mirato all'eliminazione di sostanze in tracce poco o non degradabili.



**Figura 16: Isoterme di adsorbimento di alcune sostanze organiche da parte di carbone attivo fresco non caricato senza adsorbimento concomitante da parte di NOM**

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

In generale il carbone attivo adsorbe meglio i composti non polari o debolmente polari, i composti poco idrosolubili e quelli con elevato coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua ( $k_{ow}$ ). Viene impiegato anche per eliminare le concentrazioni residue degli agenti ossidanti e disinfettanti, inoltre ospita microrganismi che fungono da biodegradanti delle sostanze organiche. Per raggiungere una depurazione biologica attiva occorre un rodaggio di 3 fino a 9 mesi. L'attività biologica nel carbone attivo scompone le sostanze organiche assimilabili (AOC), un effetto atteso perché consuma le sostanze nutritive e riduce il potenziale di ricrescita microbica nella rete di distribuzione. Inizialmente (con carbone attivo fresco) vengono raggiunti tassi di eliminazione del NOM fino al 90 per cento, ma questi valori calano rapidamente e dopo 3 - 6 mesi oscillano intorno al 30 per cento per un adsorbitor singolo (biodegradazione). Se il carbone attivo è impiegato per l'adsorbimento di sostanze in tracce, la durata di esercizio abituale del filtro va da qualche mese a un anno. Responsabili di questi tempi relativamente brevi sono soprattutto l'occupazione competitiva dei siti di adsorbimento e l'ostruzione dei pori da parte del NOM. Le sostanze filtrabili si accumulano nel letto di carbone attivo, accentuando la perdita di pressione e con essa il rischio di fuga di particelle. Perciò i filtri vanno regolarmente lavati, di solito da più volte alla settimana (torbidità elevata) a una volta al mese (torbidità bassa). Il carbone attivo si presenta sotto forma di granelli di 1 - 3 mm, disposti in un letto stabile o fluido. Alternativamente si può aggiungere carbone attivo in polvere (PAC), che va successivamente rimosso mediante sedimentazione o filtrazione su membrana (Cristal process). L'impiego di carbone attivo in polvere è particolarmente indicato se il pro-

blema da risolvere è di breve durata o compare periodicamente (es. presenza stagionale di sostanze che danno odore o sapore all'acqua). A condizione di una sufficiente riserva di potere di adsorbimento, il carbone attivo garantisce una qualità dell'acqua costante anche in caso di oscillazioni delle concentrazioni in entrata.

### **Problemi**

Un elevato tenore di materiale organico naturale (NOM) in entrata riduce considerevolmente il potere di adsorbire gli inquinanti organici, poiché il NOM e le sostanze da rimuovere entrano in competizione per occupare i siti di adsorbimento del carbone attivo. Questo problema può essere in parte risolto scegliendo un tipo appropriato di carbone attivo. Il carbone attivo ha un potere adsorbente limitato e quando la sua superficie è completamente occupata (potere di adsorbimento esaurito) deve essere rigenerato. I filtri vanno svuotati e il carbone viene riattivato in speciali forni presso il fabbricante. Nella riattivazione va perso circa il 10 per cento del materiale, che deve essere rimpiazzato da carbone fresco. Il meccanismo di funzionamento degli adsorbitori a letto fluido e i frequenti lavaggi dei filtri a letto stabile comportano un'usura significativa dei granelli di carbone attivo, con conseguente perdita costante di materiale unita alla possibile contaminazione del filtrato. Il comportamento adsorbente in un'acqua specifica, in particolare l'adsorbimento competitivo di miscugli di sostanze (tossiche), non può essere previsto nei dettagli, perciò sono necessarie approfondite prove preliminari in impianti pilota. Solo così è possibile determinare il potere di adsorbimento delle singole sostanze nell'acqua grezza e adeguare l'impianto alle esigenze specifiche.

### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

Per l'uso economicamente accettabile di un impianto di adsorbimento a carbone attivo è preferibile ridurre preliminarmente le particelle e parte del materiale organico. La preozonizzazione ossida parte del NOM in AOC. Se si impiega il PAC occorre procedere alla sua successiva separazione mediante sedimentazione o, variante più moderna, filtrazione su membrana. Spesso il carbone attivo viene inserito come materiale filtrante nei filtri di profondità. Se è seguito da filtrazione lenta o su membrana, intensifica l'abbattimento del tenore di DOC e microrganismi. L'attività biologica del carbone attivo può contaminare l'acqua potabile (in particolare con *Pseudomonas*), per cui è utile collocare a valle una disinfezione o filtrazione mediante membrana (ultra- o nanofiltrazione, osmosi inversa).

### **Valutazione e controllo del procedimento**

Per monitorare il carico di sostanze nocive nel carbone attivo si misurano le concentrazioni di determinati parametri (es. pesticidi, idrocarburi, cianotossine, ecc.) nell'acqua grezza e nel filtrato. Al superamento di una concentrazione massima prestabilita il carbone attivo deve essere rigenerato. Il lento aumento della concentrazione nel filtrato viene definito curva di rottura ed è indice della saturazione del carbone attivo. Il controlavaggio si rende necessario quando la perdita di pressione nel letto filtrante, a causa del deposito di sostanze filtrabili, diventa eccessiva. La frequenza dei controlavaggi varia molto a seconda della composizione dell'acqua grezza, da quotidianamente a una volta al mese. L'eliminazione del NOM viene monitorata mediante misurazione dell'assorbimento UV ( $SAC_{254}$ ).

### **Prodotti e misure precauzionali**

Il carbone attivo è un materiale poroso composto da lamelle di grafite disposte in modo disordinato che formano un'elevatissima superficie interna (600 – 1500 m<sup>2</sup>/g di carbone attivo). La materia prima grezza può essere carbon fossile, torba, gusci di noce di cocco o legno sottoposto a trattamento termico in condizioni anossiche. I diversi prodotti presentano caratteristiche molto differenti e devono essere scelti in funzione dell'acqua grezza specifica. Per esempio la rimozione di sostanze ad alto peso molecolare richiede un sistema con una percentuale elevata di pori grandi. Dati precisi sull'efficacia di eliminazione possono essere ricavati solo da impianti pilota in cui vengono simulate nel modo più fedele possibile le condizioni dell'impianto effettivo (tipo d'impianto, composizione dell'acqua grezza, ecc.). Gli usuali tempi di contatto nei filtri a carbone attivo variano da 5 a 20 minuti. Nei filtri con attività biologica bisogna tener conto della fuga di microrganismi, quindi di una possibile ricrescita microbica nell'acqua potabile. Per via della sua elevata reattività, l'ozono gassoso a contatto con il carbone attivo secco può generare una reazione violenta e persino esplosiva. Tuttavia, se si rispettano le prescrizioni tecniche di sicurezza, l'ozono può essere tranquillamente impiegato nella catena di preparazione.

### **Procedimento: scambio ionico**

#### **Impiego: addolcimento, desalinizzazione, eliminazione di NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e metalli pesanti**

Lo scambio di ioni è un procedimento praticamente inutilizzato negli impianti di preparazione dell'acqua potabile in Svizzera, ma trova uso soprattutto

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

nelle economie domestiche. Serve prevalentemente per ridurre la durezza dell'acqua e separare il nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e le sostanze umiche. L'addolcimento dell'acqua si basa sull'eliminazione di  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  attraverso lo scambio con ioni di sodio ( $\text{Na}^+$ ). Gli ioni scambiati ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , ecc.) restano nell'acqua preparata. Nello scambiatore ionico il processo è circoscritto alla cosiddetta zona di scambio, in cui si forma un fronte di lavoro. Lo spessore dello strato di resina deve essere superiore alla zona di scambio per evitare l'immediato esaurimento. La portata viene solitamente espressa in volumi di letto di resina («bed volume»,  $\text{BV} = 1\text{m}^3$  di liquido/ $\text{m}^3$  di resina). I valori abituali variano da 20 a 40  $\text{BV/h}$  (~10 - 30  $\text{m/h}$ ). Una volta esaurito il potere di scambio, lo scambiatore ionico deve essere rigenerato con l'aiuto di diverse sostanze, tra cui le più usate sono il cloruro di sodio ( $\text{NaCl}$ ), l'acido cloridrico ( $\text{HCl}$ ) o solforico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e la soda caustica ( $\text{NaOH}$ ). La quantità di rigeneratore richiesta corrisponde a 1,5 - 5 volte la capacità dello scambiatore. Lo scambio ionico può modificare significativamente il volume del letto filtrante (fino al 30 %).

### **Problemi**

La rigenerazione al 100 per cento di uno scambiatore di ioni non è conveniente sotto il profilo economico. Il guadagno in termini di capacità diventa sempre più esiguo in proporzione alla quantità di rigeneratore impiegato. Di conseguenza nella resina vengono sempre lasciati residui di ioni scambiati. L'uso di resine rigenerate è sempre associato a fuga di ioni nell'acqua depurata, per il mancato scambio o per ridissoluzione degli ioni già scambiati. L'entità di tale fuga è cor-

relata alla concentrazione degli ioni da scambiare nell'acqua grezza. Il solfato compete con l'adsorbimento del nitrato e ne riduce lo scambio. Nello scambiatore di ioni può comparire attività biologica, con conseguente incremento dei microrganismi e alterazione del sapore dell'acqua. Inoltre, in condizioni anaerobiche può formarsi nitrito. La soluzione risultante dalla rigenerazione deve essere smaltita separatamente, il che comporta un ulteriore consumo d'acqua. Nel processo di addolcimento gli ioni di calcio e magnesio vengono rimpiazzati dal sodio (es. la rimozione di 1  $\text{mM}$  di  $\text{Ca}^{2+}$  aggiunge 2  $\text{mM}$  di  $\text{Na}^+$  (~ 40  $\text{mg/L}$ ). L'effetto di concentrazioni elevate di sodio sull'organismo è dibattuto, tuttavia si ritiene che vi sia un'associazione con l'ipertensione arteriosa e le malattie renali. Concentrazioni superiori a 200  $\text{mg/l}$  alterano il sapore dell'acqua.

### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

L'acqua che attraversa lo scambiatore di ioni deve essere priva di sospensioni e precipitati. L'acqua grezza deve essere trattata secondo la sua composizione (flocculazione, precipitazione, filtrazione). Gli scambiatori di ioni sono posti normalmente alla fine della catena di preparazione. Lo scambio ionico non migliora i parametri igienici, ma se si instaura un'attività biologica l'acqua potabile può essere contaminata da germi. Quindi, se si fa uso di uno scambiatore ionico in una centrale di preparazione dell'acqua potabile, nella catena va successivamente inserita una disinfezione sicura (con protezione della rete di distribuzione).



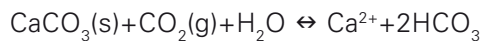
## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

serie uno scambiatore cationico (forma  $H^+$ ) e uno anionico (forma  $OH^-$ ), oppure si ricorre ai cosiddetti scambiatori ionici a letto misto, in cui le due resine sono completamente miscelate nello stesso letto.

### **Procedimento: deacidificazione addolcimento/decarbonizzazione**

#### ***Impiego: regolazione dell'equilibrio tra calcare e acido carbonico***

Nella preparazione dell'acqua potabile, i procedimenti di deacidificazione, addolcimento e decarbonizzazione servono a regolare l'equilibrio calcare/acido carbonico:



In presenza di anidride carbonica disciolta, nell'acqua il calcare si scompone in calcio e idrogenocarbonato. Un eccesso di acidi nell'acqua ha effetti corrosivi sull'impianto e sulla rete di distribuzione. La durata degli impianti si riduce, le condutture in acciaio zincato o in rame possono corrodarsi o rilasciare metalli pesanti nell'acqua potabile. L'obiettivo è ottenere una lieve sovrasaturazione del calcare a pH neutro per formare un sottile strato protettivo nella rete di condutture. Un'eccessiva acidità dell'acqua grezza può essere eliminata in vari modi:

- filtrazione attraverso carbonato di calcio o materiale dolomitico per dissolvere il calcare (consumando acido) e bilanciare il pH, ripristinando l'equilibrio;
- espulsione dell'anidride carbonica mediante aerazione dell'acqua grezza;

- deacidificazione mediante aggiunta di carbonato di sodio (soda,  $NaCO_3$ ) o idrossidi ( $NaOH$ ,  $Ca(OH)_2$ ) con susseguente innalzamento del pH (spostamento dell'equilibrio acido-base da acido a neutro).

Se per contro l'acqua è sovrasatura di  $Ca^{2+}$  e  $CO_3^{2-}$  il calcare tende a precipitare e incrostare o ostruire le tubature. La durezza si può ridurre generalmente nei modi seguenti:

- scambio di  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  mediante resina scambiatrice di ioni;
- precipitazione degli ioni di calcio con rimozione di minerali dall'acqua superando il punto di saturazione del calcare, mediante l'aggiunta di carbonato di sodio ( $Na_2CO_3$ ), calce viva ( $CaO$ ,  $Ca(OH)_2$ ) o soda caustica ( $NaOH$ );
- rimozione di sostanze come  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ , mediante nanofiltrazione e osmosi inversa (procedimenti su membrana).

L'addolcimento dell'acqua oggi riveste scarsa importanza nella preparazione dell'acqua potabile. In Svizzera non viene utilizzato in alcun impianto centrale di potabilizzazione, mentre trova impiego nelle economie domestiche e nella preparazione dell'acqua industriale (sistemi ad acqua fredda o calda, ecc.).

### **Problemi**

La deacidificazione di un'acqua grezza molto acida per mezzo di carbonato di sodio o soda caustica può provocare un forte aumento della concentrazione di sodio, il che è sconsigliabile per motivi di salute. L'impiego di latte di calce ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) evita l'innalzamento del livello di sodio, ma l'effetto collaterale di una deacidificazione con latte di calce o mediante filtrazione su materiali dolomitici o calcici è l'indurimento dell'acqua (immissione di  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{HCO}_3^-$ ). Può essere problematico anche il mescolamento di acque di diversa origine e costituzione salina, in questo caso si rimedia compensando le concentrazioni di alcuni costituenti dell'acqua.

### **Possibili trattamenti preliminari e successivi**

In genere la deacidificazione e l'addolcimento fanno parte di una preparazione dell'acqua potabile a più stadi. Si collocano solitamente dopo la rimozione delle particelle, necessaria in particolare per lo scambio ionico e i procedimenti su membrana. All'addolcimento mediante precipitazione deve seguire in ogni caso una filtrazione per rimuovere i prodotti di precipitazione: quest'operazione permette solo piccole oscillazioni della portata. Normalmente vengono aggiunti coagulanti per accelerare la deposizione dei precipitati e favorirne la separazione. In alternativa si può ricorrere alla sabbia di quarzo (granulometria da 0,5 a 1 mm) che funge da mezzo di contatto (deposito di calcare sulla superficie). Fatta eccezione per la nanofiltrazione e l'osmosi inversa che rimuovono efficacemente i germi, gli altri processi di deacidificazione, addolcimento e decarbonizzazione non hanno alcun influsso sui parametri igienici.

Perciò è sempre necessario procedere a un'efficace disinfezione. Eventualmente dopo l'addolcimento può occorrere una correzione del pH con l'aggiunta di acido.

### **Valori limite e di tolleranza**

Il pH dell'acqua potabile preparata deve corrispondere al pH in equilibrio. Il MSDA menziona per il pH un intervallo empirico tra 6,8 e 8,2. Il valore empirico per il calcio è di massimo 200 mg/l (soglia organolettica), per il sodio < 20 mg/l.

### **Valutazione e controllo del procedimento**

Il processo di deacidificazione è regolato attraverso il valore del pH, che deve essere continuamente monitorato. L'addolcimento può essere controllato misurando la concentrazione di  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

### **Avvertenze e misure precauzionali**

La riduzione della durezza dell'acqua si suddivide sostanzialmente in rimozione di calcio e magnesio (addolcimento) e rimozione di idrogenocarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ; decarbonizzazione). I procedimenti adottati allo scopo sono: scambio con ioni  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  o  $\text{OH}^-$ ; addolcimento mediante membrana, decarbonizzazione fisica, decarbonizzazione lenta, decarbonizzazione rapida e deacidificazione-decarbonizzazione. Spesso addolcimento e decarbonizzazione vengono effettuati solo su parte dell'acqua corrente, che poi viene miscelata con la parte non trattata per regolare durezza e contenuto salino dell'acqua potabile. La filtrazione attraverso materiali alcalini può essere usata anche per indurire il permeato di filtri a membrana e riarricchire l'acqua di sali minerali desiderati.

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

### Altri procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

Di seguito vengono brevemente descritti alcuni procedimenti speciali: pur utilizzati con meno frequenza nella preparazione dell'acqua potabile, non è possibile accomunarli in una descrizione generale e per ciascuno di essi è richiesto un accurato adattamento alle condizioni specifiche.

#### **Procedimento: ossidazione avanzata** **Impiego: ossidazione di sostanze in tracce**

Con ossidazione avanzata («Advanced Oxidation Processes», AOP) si definisce l'ossidazione con l'aiuto di radicali OH derivati dall'ossidazione primaria. Comprende processi come le combinazioni ozono/acqua ossigenata, UV/ozono e UV/acqua ossigenata. I radicali OH sono molto poco selettivi: NOM, idrogenocarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) hanno una spiccata tendenza a catturare i radicali OH attivi diminuendo la concentrazione nell'acqua. I radicali OH ossidano sostanze in tracce (pesticidi, farmaci, ecc.) che reagiscono solo in parte o non reagiscono con altri agenti ossidanti. L'ossidazione avanzata tuttavia comporta anche la formazione di sottoprodotti della reazione con i costituenti della matrice. Sono quindi indispensabili ulteriori stadi di trattamento, come una filtrazione (su carbone attivo, rapida, lenta mediante sabbia) per ridurre l'AOC, rimuovere i sottoprodotti (es.  $\text{NO}_2^-$ ) ed eliminare gli agenti ossidanti ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ).

#### **Procedimento: nitrificazione**

##### **Impiego: riduzione della concentrazione di ammonio e ammoniaca**

Ammonio e ammoniaca presenti nell'acqua grezza hanno un'origine prevalentemente agricola. Nel processo microbiologico chiamato nitrificazione, i batteri ossidano i composti di ammonio in nitrati. Un passaggio intermedio della reazione è la formazione di nitrito. La nitrificazione richiede una sufficiente concentrazione di ossigeno. Nella preparazione dell'acqua potabile spesso viene introdotta una semplice aerazione a cascata per fornire ossigeno alla flora batterica. L'ammonio si trasforma in nitrato anche in seguito a ossidazione chimica. Particolarmente importante è la reazione con il cloro e conseguente formazione di clorammine, le quali hanno un'efficacia disinfettante molto inferiore al cloro (punto di flesso della curva di clorazione). L'ammoniaca può essere rimossa anche mediante strippaggio, ossia il trasferimento dalla fase disciolta in acqua alla fase gassosa mediante impiego di aria o vapore. Siccome il processo di nitrificazione richiede grande spazio, il procedimento è adatto soprattutto ad acquedotti di grandi dimensioni. Negli impianti di scala inferiore l'ammonio può essere rimosso anche con l'aiuto di nanofiltrazione, elettrodialisi o scambio ionico.

**Procedimento: denitrificazione****Impiego: riduzione della concentrazione di nitrato**

Come la nitrificazione, anche la riduzione del nitrato ad azoto elementare (denitrificazione) è un processo batterico, che però in questo caso avviene in condizioni anaerobiche.

Nel reattore di denitrificazione i microrganismi crescono su una base che funge contemporaneamente da fonte di carbonio organico (pacciami, paglia, granulato di polimeri organici, ecc.), o su supporti inerti (sabbia, argilla espansa, pomice, polistirolo, ecc.) addizionati di substrato (materiale organico,  $H_2$ , ecc.). Il supporto può essere stabile o a letto fluido. Nei reattori a letto stabile si forma biomassa che deve essere rimossa con lavaggi regolari. Eventuali altri substrati ( $PO_4^{3-}$ ,  $Fe^{2+}$ , ecc.) vengono immessi in forma liquida o gassosa nell'acqua grezza a monte del reattore. Nel reattore dapprima avviene una deossigenazione, seguita dalla denitrificazione. Una volta biodegradato il nitrato, si procede ad aerazione (aria,  $O_2$ ). La denitrificazione richiede un'impiantistica complessa quindi si presta agli acquedotti di grandi dimensioni, mentre negli impianti più piccoli è meglio ripiegare sullo scambio ionico o su procedimenti mediante membrana (nanofiltrazione e osmosi inversa) per rimuovere il nitrato.

**Procedimento: elettrodialisi****Impiego: desalinizzazione, riduzione della concentrazione di nitrato e ammonio**

L'elettrodialisi è un procedimento su membrana che consiste in una separazione elettrochimica. Sotto l'influsso di un potenziale elettrico, gli ioni vengono trasportati attraverso una membrana semipermeabile dalla soluzione grezza (diluata) a una soluzione a concentrazione più elevata (concentrata). Nel caso ideale la membrana lascia passare solo un tipo di ione (es.  $NO_3^-$ ). Per l'elettrodialisi è necessario che siano rimossi i solidi di diametro maggiore di  $10 \mu m$ , quindi si impongono pretrattamenti di flocculazione/precipitazione, filtrazione o trattamento con carbone attivo. L'elettrodialisi viene utilizzata su larga scala soprattutto nella preparazione dell'acqua marina/acqua salmastra (compresa l'estrazione del sale) e nel trattamento delle acque di scarico industriali, in cui spesso ricopre la funzione di pretrattamento a monte dello scambio ionico.

**Procedimento: deferrizzazione/demanganizzazione****Impiego: rimozione di ferro e/o manganese**

Il ferro e il manganese possono immettersi nell'acqua, generalmente sotterranea, in seguito alla dissoluzione di (idr)ossidi di ferro e manganese in condizioni prive di ossigeno e riducenti. La rimozione di ferro e manganese dall'acqua

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

potabile viene chiamata deferrizzazione e demanganizzazione. In generale il ferro e il manganese, di norma presenti nelle loro forme idrosolubili bivalenti, devono essere rimossi con una combinazione di ossidazione e precipitazione/filtrazione. Le opzioni sono le seguenti:

- ossidazione chimica dopo la captazione dell'acqua e successiva separazione degli ossidi metallici mediante sedimentazione/filtrazione.
- ossidazione biologica dopo la captazione dell'acqua e successiva separazione degli ossidi metallici mediante sedimentazione/filtrazione.
- procedimento in situ: ossidazione di Fe(II) e Mn(II) e separazione degli ossidi metallici nel sottosuolo prima della captazione.

I procedimenti eseguiti dopo la captazione richiedono le consuete installazioni di preparazione. In caso di ossidazione chimica, prima vanno dosati gli ossidanti (per il ferro: ossigeno, cloro, ozono, permanganato di potassio; per il manganese: (cloro), ozono, permanganato

di potassio) e in seguito va separato il precipitato mediante sedimentazione/filtrazione. Per l'ossidazione biologica si aggiunge ossigeno atmosferico: il ferro e il manganese solitamente sono ossidati in due filtri separati con biomassa stabile. Oltre alle ingenti installazioni, vi è il problema dello smaltimento degli ossidi metallici precipitati. Nei procedimenti in situ viene pompata acqua arricchita di ossigeno atmosferico nel sottosuolo, dove si fanno precipitare gli (idr)ossidi di ferro e manganese. Dato che gli (idr)ossidi metallici si depositano su superfici di sabbia e ghiaia già esistenti, il rischio di ostruzione è minimo. Nei confronti degli impianti convenzionali, questa variante comporta installazioni in superficie relativamente modeste e l'assenza di fanghi da smaltire. Un ulteriore vantaggio dei procedimenti in situ è l'impossibilità di ostruire i pozzi di prelievo, poiché il ferro e il manganese sono già stati separati prima del pozzo.

**Tabella 8: Controllo dei procedimenti**

	Procedimento	Parametro	Concentrazione massima		Misurazione	Frequenza dei controlli
			Acqua grezza	Acqua potabile		
<b>Flocc./ precipitazione</b>	dosaggio coagulante/flocculante	concentrazione coagulante/flocculante	-	0.3 mg Fe/L 0.2 mg Al/L 0.5 µg acrilamide//L	misura della concentrazione	settimanale fino a mensile
	sep. di particelle	Torbidità	5 - 200 NTU	< 1 NTU	misura della torbidità	in continuo
<b>Sedimentazione</b>	sep. di particelle	Torbidità	-	< 1 NTU	misura della torbidità	in continuo
<b>Filtrazione lenta mediante sabbia</b>	sep. di particelle	Torbidità	< 10 NTU	< 1 NTU	misura della torbidità	in continuo
<b>Filtrazione rapida</b>	sep. di particelle	Torbidità	< 30 NTU	< 1 NTU	misura della torbidità	in continuo
<b>Filtrazione mediante membrana</b>	sep. di particelle	numero di particelle	-	< 1 NTU	analisi delle particelle	in continuo
	sep. di particelle	sovra- o depressione	-	-	test di integrità: test manten. pressione	annuale
	separazione di microrganismi (UF, NF)	microrganismi (es. <i>E.coli</i> , GAM, <i>enterococch</i> )	-	GAM: 20/mL <i>E.Coli</i> : nn/100 mL EC: nn/100 mL	esami microbiologici	settimanale - mensile
<b>Clorazione</b>	dosaggio del cloro nel reattore	conc. residua Cl all'uscita del reattore	-	0.1 mg/L	misura elettrochimica concentrazione	in continuo
	biossido di cloro	concentrazione residua all'uscita del reattore	-	0.05 mg/L	misura della concentrazione	in continuo
	ossidazione	concentrazione di clorato e clorito in uscita	0.4 mg/L	0.05 mg/L	misura elettroch. della concentrazione	in continuo
<b>Ozonizzazione</b>	dosaggio di ozono	conc. residua di O <sub>3</sub> - all'uscita del reattore	-	0.05 mg/L	misura elettroch. della concentrazione	in continuo
	ossidazione	concentrazione di bromuro e bromato	< 50 µg Br/L	10 µg BrO <sub>3</sub> /L	misura della concentrazione	settimanale - mensile
<b>Procedimenti UV</b>	inattivazione	torbidità/trasmisione in entrata	1 NTU	-	misura della torbidità e della trasmissione	in continuo
	potere disinfettante insufficiente	irradiazione ambientale/fluena nel reattore	-	-	sensori UV (almeno 400 J/m <sup>2</sup> )	in continuo
<b>Carbone attivo</b>	adsorbimento	concentrazione della sostanza tossica in uscita	-	secondo la sostanza	misura della concentrazione	settimanale
<b>Scambio ionico</b>	scambio ionico	concentrazione in uscita	-	secondo la sostanza	determinazione della concentrazione della sostanza problematica	settimanale
<b>Deacidificazione addolcimento</b>	regolazione dell'equilibrio	valore pH in uscita	-	6.8 - 8.2	misura del pH	in continuo

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

### Combinazione di procedimenti

Se l'acqua sotterranea o di sorgente è di elevata qualità spesso non occorre alcun procedimento di potabilizzazione, oppure è sufficiente una disinfezione e/o protezione della rete idrica per produrre un'acqua potabile ineccepibile. Se però si tratta di sorgenti carsiche (elevata torbidità, qualità disomogenea, ecc.) o di acque sotterranee ridotte (elevate concentrazioni di Fe(II) o Mn(II)) possono essere necessari ulteriori stadi di preparazione. Infine, per la potabilizzazione di acque superficiali è indispensabile una combinazione di procedimenti a più stadi e adeguata alle esigenze specifiche.

A titolo illustrativo vengono presentate alcune varianti di procedimenti concatenati, basate su impianti esistenti. L'elenco non è esaustivo, poiché le catene di preparazione devono essere sempre concepite e dimensionate in funzione delle condizioni particolari.

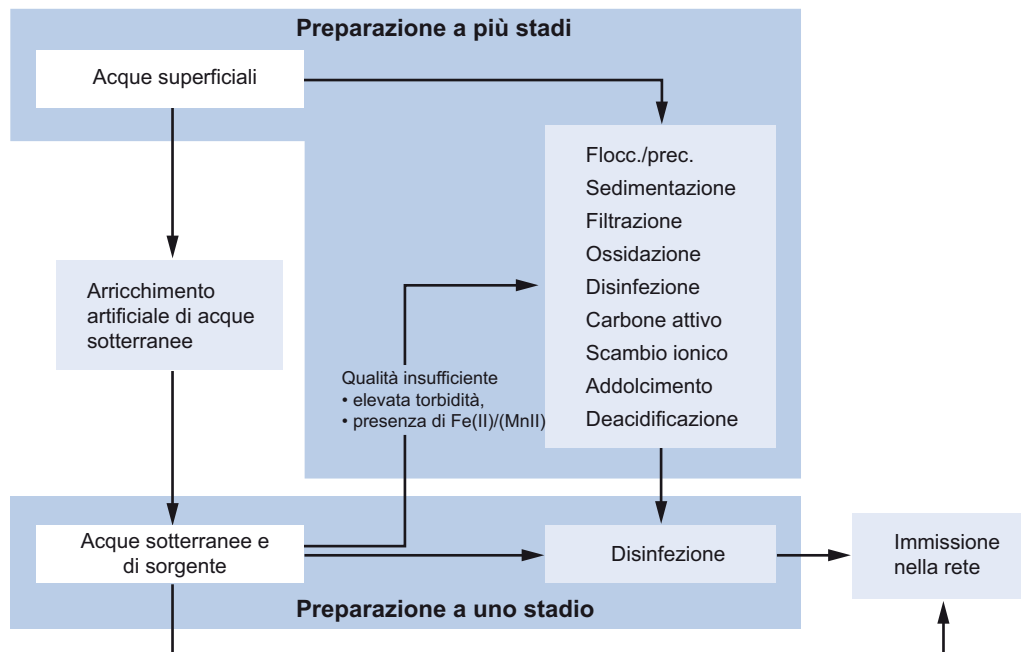


Figura 18: Schema dei metodi di preparazione per acque sotterranee, di sorgente e superficiali

### Preparazione a uno stadio

La preparazione a uno stadio consiste unicamente nella disinfezione con metodi chimici o fisici, per garantire il rispetto dei requisiti igienici.

Di regola trova uso nelle acque di sorgente o sotterranee. Le condizioni per una disinfezione sicura sono una torbidità bassa (disinfezione UV) e un tenore basso di materiale organico (disinfezione chimica).

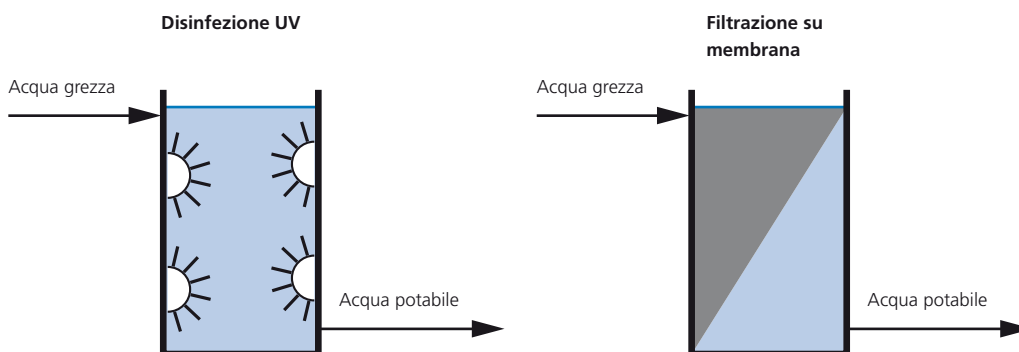


Figura 19: Opzioni di preparazione a uno stadio: disinfezione UV, filtrazione mediante membrana

### Preparazione classica a più stadi (acqua di lago)

La preparazione classica a più stadi si applica all'acqua grezza impura e solitamente si compone di una fase di filtrazione per rimuovere le particelle e di una di ossidazione/disinfezione; può essere integrata da ulteriori procedimenti a seconda della costituzione dell'acqua grezza. Struttura e sequenza dei procedimenti possono essere molto differenti, di solito sono il frutto di ampliamenti progressivi e dell'integrazione di nuovi procedimenti in impianti già esistenti.

Come esempio riportiamo la struttura schematica dell'acquedotto a lago Lengg dell'Azienda dell'acqua potabile di Zurigo. L'acqua del lago viene captata a circa 30 metri di profondità e disinfettata con ozono. Dopo la correzione del pH passa attraverso un filtro rapido, cui seguono un'ozonizzazione intermedia e una filtrazione mediante carbone attivo. Da ultimo l'acqua percola lentamente attraverso un filtro a sabbia per l'ulteriore stabilizzazione biologica.

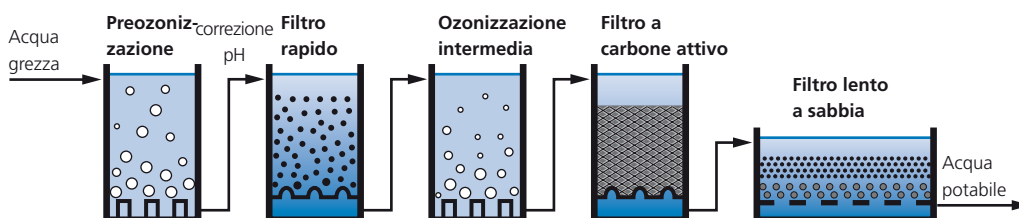


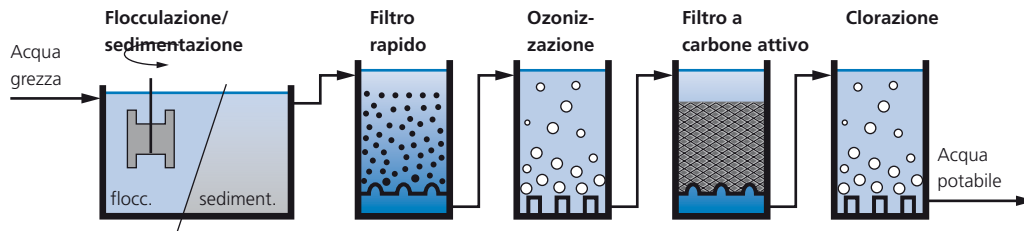
Figura 20: Schema semplificato della catena dei procedimenti di preparazione nell'acquedotto a lago Lengg di Zurigo

## 5. Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile

### **Preparazione classica a più stadi (sorgenti carsiche)**

Come nella preparazione delle acque superficiali, anche con le sorgenti carsiche bisogna tenere conto della variabilità relativamente alta della qualità dell'acqua.

Di conseguenza un impianto di potabilizzazione deve comprendere più stadi per separare particelle e sostanze, trasformare le sostanze tossiche e disinfettare l'acqua.

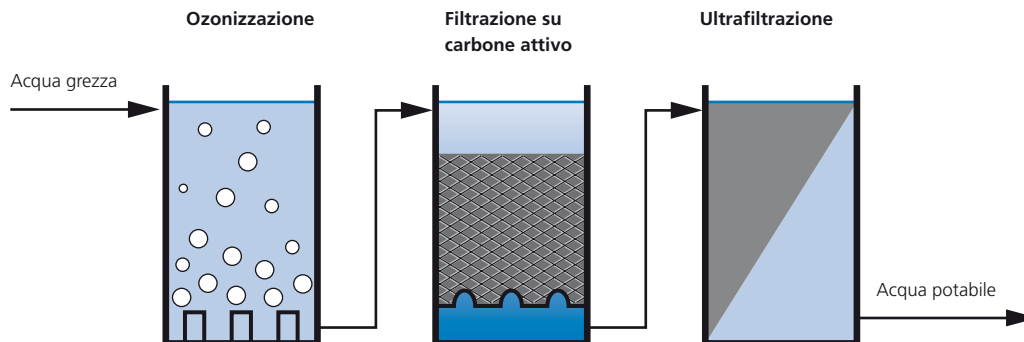


**Figura 21: Schema semplificato dell'impianto di preparazione dell'acqua potabile di Röschenz, BL (acqua di sorgente carsica)**

### **Preparazione moderna a più stadi (acqua di lago)**

Nella preparazione a più stadi di tipo moderno di solito il numero di procedimenti è ridotto e l'impianto è frutto di un progetto integrale impostato sull'uso di procedimenti moderni come la filtrazione mediante membrana.

Ne è un esempio l'acquedotto a lago di Männedorf (ZH). Tutto l'impianto è di nuova costruzione e comprende solo ozonizzazione, filtrazione mediante carbone attivo e filtrazione finale mediante membrana (ultrafiltrazione).



**Figura 22: Schema semplificato dell'impianto di preparazione dell'acqua potabile di Männedorf, ZH (acqua di lago)**

## 6. Metodi di sorveglianza

### Metodi di sorveglianza

Procedimenti di misurazione e controllo per sorvegliare il processo di preparazione dell'acqua potabile.

### Cloro

#### Fotometria (metodo DPD)

Il metodo DPD è un procedimento colorimetrico per misurare la concentrazione di agenti ossidanti liberi. La dietil-p-fenilendiammina (DPD) si ossida in presenza di cloro libero, tingendo l'acqua di un colore da rosa a rosso intenso. Misurando fotometricamente la colorazione (legge di Beer-Lambert) e con l'aiuto di una curva di taratura è possibile determinare la concentrazione effettiva di cloro.

Questo metodo presenta il vantaggio di poter rilevare concentrazioni molto basse dell'ossidante. Nei procedimenti di preparazione a più stadi bisogna però tener presente che la DPD reagisce anche con il biossido di cloro e l'ozono. La fascia di concentrazione di  $Cl_2$  rilevante nella preparazione dell'acqua potabile va da 0,02 a 1 mg/l. La soglia di rilevazione si situa intorno a 0,05 mg  $Cl_2$ /l. Se il tenore di cloro supera 4 mg  $Cl_2$ /l il campione deve essere diluito. La calibrazione viene effettuata con soluzioni standardizzate di permanganato di potassio o cloro isocianurato.

#### Amperometria

Il principio dell'amperometria si basa sulla misurazione della corrente elettrolitica all'elettrodo di lavoro in presenza di un potenziale elettrochimico costante nel tempo. Il valore misurato è proporzionale alla concentrazione del cloro convertito e dipende in fortissima misura da altri parametri dell'acqua, come il pH, il flusso o la temperatura. Spesso le sonde di misurazione sono dotate anche di sensori di pH e temperatura per

correggere l'influsso di questi parametri. La misurazione può essere resa più selettiva mediante l'impiego di elettrodi rivestiti da una membrana semipermeabile, così solo le sostanze desiderate possono diffondere attraverso la membrana ed essere ridotte dal catodo, inoltre viene eliminata la dipendenza dal pH. La calibrazione è effettuata mediante fotometria (es. con il metodo DPD). La membrana e la soluzione di elettroliti vanno sostituiti regolarmente (secondo le prescrizioni del fabbricante).

### Biossido di cloro

#### Fotometria (metodi DPD e TMB)

Come il cloro, anche il biossido di cloro può essere determinato con il metodo DPD (v. cloro). In più, per concentrazioni molto piccole si può ricorrere anche al metodo TMB (tetrametilbenzidina), una sostanza ossidata dal biossido di cloro che produce una colorazione gialla misurabile a 440 nm. Questo metodo non è selettivo: la reazione non avviene solo con il biossido di cloro quindi i campioni devono essere privi di residui di altri ossidanti.

#### Amperometria

Il principio è lo stesso che con il cloro. Di norma per il biossido di cloro si utilizzano catodi d'oro e anodi d'argento e una membrana separa l'ambiente che contiene elettrodi ed elettrolita dall'ambiente circostante. L'effetto della temperatura viene corretto con l'uso di sensori termici integrati. Il metodo presenta sensibilità crociata al cloro e all'ozono. La soglia di rilevazione si aggira intorno a 0,01-0,02 mg/l in un campo di misura che va usualmente da 0 a 2 mg/l.

## 6. Metodi di sorveglianza

### Conduttività

La conduttività dell'acqua è determinata dal contenuto di ioni liberi. Si misura il flusso di corrente (resistenza) tra due elettrodi (anodo e catodo) immersi completamente nella soluzione acquosa. La conduttività è definita come il valore reciproco della resistenza specifica tra i due elettrodi. La misurazione dipende dalla temperatura, quindi è sempre integrato un sensore termico per consentire la conversione nel valore di conduttività a 25°C (funzione di compensazione della temperatura). A concentrazioni molto elevate o molto basse non è più garantita la linearità della curva di misurazione, il che pone problemi di esattezza dei valori rilevati. Questi problemi sono prevenibili scegliendo adeguatamente materiali e apparecchi per la fascia di conduttività attesa. Per ridurre gli effetti di polarizzazione si applica corrente alternata. La calibrazione viene effettuata mediante soluzioni standard normate con conduttività nota. È importante calibrare nella stessa fascia dei valori di misura attesi.

### Ozono

#### Fotometria (metodo indigo)

Il metodo indigo si basa sulla rapida decolorazione dell'indaco trisolfonato in presenza di ozono. La reazione avviene in una soluzione acquosa acida per evitare la degradazione dell'ozono ed è stechiometrica. Il grado di decolorazione viene misurato con un fotometro tarato a 600 nm (legge di Beer-Lambert) e convertito in concentrazione di ozono. Viene eseguita una misurazione di riferimento con un campione nullo: la differenza tra le due misurazioni dà la concentrazione di ozono presente nell'acqua. I reagenti sono aggiunti al campione direttamente prima del prelievo e la misurazione deve avvenire entro

4 ore dal prelievo. L'influsso del cloro residuo può essere ridotto con l'aggiunta di acido malonico. Attenzione ad altre sostanze che ostacolano la misurazione, come gli ossidi di manganese e il bromo.

### Amperometria

Il principio è lo stesso che con il cloro. Normalmente si usa un catodo di platino. L'elettrodo può essere aperto o immerso in un ambiente elettrolitico protetto da una membrana (elettrodo di Clark). La calibrazione del punto zero viene effettuata con acqua priva di ozono.

### Particelle

#### In continuo

Il principio della misurazione di particelle in continuo si basa sulla determinazione dell'attenuazione della luce da parte di singole particelle. Un raggio di luce ben delimitato (per esempio, un raggio laser) attraversa un capillare in cui scorre l'acqua. Il fotorilevatore posto di fronte alla sorgente di luce misura l'assorbimento da parte delle particelle che scorrono insieme all'acqua. Il segnale rilevato dipende dal tipo e dalla forma delle particelle, quindi è possibile calcolare la loro concentrazione in dipendenza da grandezza, superficie o volume. Per il calcolo, ad ogni particella viene assegnato il diametro equivalente di una sfera che assorbe la stessa quantità di luce. La soglia di rilevazione minima si situa a un diametro di 1-3  $\mu\text{m}$ , nella preparazione dell'acqua potabile le dimensioni normalmente variano da 1 a 100  $\mu\text{m}$ . Problemi possono essere causati da una concentrazione di particelle troppo elevata, da particolari proprietà ottiche delle stesse (struttura, trasparenza, forma) o da oscillazioni della velocità di scorrimento.

### **In discontinuo**

Nuovi metodi come la citometria a flusso funzionano secondo lo stesso principio dei metodi in continuo, in più consentono l'identificazione di cellule vive e/o morte poiché queste ultime possono essere marcate in vari punti (parete cellulare, DNA, RNA) e isolate singolarmente. La marcatura delle cellule tuttavia non è un processo eseguibile in modo continuo. Un altro metodo discontinuo è la microscopia convenzionale, che permette di analizzare qualitativamente singole particelle e microrganismi.

### **Valore pH**

La misurazione del pH è un processo potenziometrico che si serve di due elettrodi protetti da una membrana di vetro. Lo scambio di ioni H<sup>+</sup> sulla membrana genera una differenza di potenziale. Il piaccametro deve essere tarato per temperature basse e soluzioni scarsamente tamponate. Per la misurazione del pH i campioni non devono subire alterazioni della temperatura né la perdita di gas disciolti (CO<sub>2</sub>). La temperatura va misurata separatamente e utilizzata per correggere i valori pH misurati. La calibrazione viene effettuata per mezzo di soluzioni tampone con pH noto e deve avvenire in conformità alle indicazioni del fabbricante, di solito a scadenze ravvicinate di 3 mesi o più.

### **Ossigeno**

#### **Amperometria**

Il principio è lo stesso che con il cloro. La determinazione elettrochimica dell'ossigeno si basa sulla polarizzazione di un catodo di platino (elettrodo di Clark). La precisione di misura può essere minata da concentrazioni elevate di CO<sub>2</sub> (spostamento del pH nella soluzione elettrolitica) o di acido solfidrico (H<sub>2</sub>S). Il campo di misura è compreso di norma tra 0 e 20 mg/l.

### **Titrimetria (metodo di Winkler)**

Dapprima l'ossigeno viene stabilizzato mediante reazione rapida con l'idrossido di manganese(II) per formare idrossidi di manganese(III e IV). Questi ultimi vengono disciolti con l'aggiunta di acido e fatti reagire con ioduro: la reazione rilascia iodio in quantità equivalente all'ossigeno. La concentrazione di iodio viene quindi determinata mediante titolazione con una soluzione di tiosolfato. Durante il prelievo è importante evitare la perdita di gas e l'aerazione dei campioni.

### **Sistemi di misura ottici (LDO)**

Oggi trova sempre più impiego il procedimento LDO (Luminescent Dissolved Oxygen). Il sensore LDO è formato da uno strato otticamente attivo contenente molecole sensibili all'ossigeno. Un LED emette impulsi di luce blu che attivano la superficie luminescente del sensore, il quale reagisce immediatamente controemettendo impulsi di luce rossa, rilevati da un fotodiodo. Si misura anche il tempo di transizione alla fase di riposo. La durata e l'intensità del segnale di luce rossa è inversamente proporzionale alla concentrazione di ossigeno (mg O<sub>2</sub>/l).

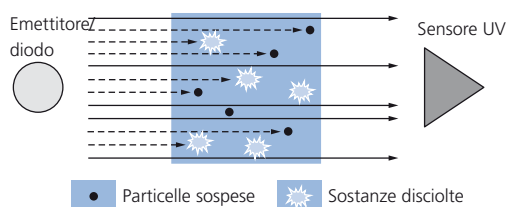
### **Adsorbimento e trasmissione di UV**

Con l'adsorbimento viene misurata la perdita di energia dei raggi di luce durante l'attraversamento di uno strato liquido. L'assorbimento e/o la dispersione sono causati da particelle e costituenti organici disciolti nell'acqua. La misurazione avviene in continuo per mezzo di fotometri dotati di sorgente UV, finestrella di misurazione e sensori UV. La sorgente di luce e il sensore sono disposti l'uno di fronte all'altra. Si misura

## 6. Metodi di sorveglianza

il coefficiente di adsorbimento/riduzione spettrale, solitamente alla lunghezza d'onda di 254 nm ( $SAC_{254}$ ); a questo valore sono correlati, quindi è possibile calcolarli, parametri come DOC o FCO. Le sostanze umiche in particolare hanno un grande influsso sull'assorbimento a causa dell'elevata proporzione di gruppi aromatici. La misurazione della trasmissione si basa sullo stesso principio, ma in questo caso viene rilevata l'energia irradiata che supera lo strato liquido senza essere stata dispersa né assorbita: è molto importante soprattutto per la sorveglianza degli impianti UV.

1) Mentre il valore  $SSK_{254}$  comprende la dispersione di particelle non disciolte e l'assorbimento, il  $SAK_{254}$  è il valore misurato dopo la filtrazione del campione e indica quindi unicamente l'assorbimento attraverso sostanze disciolte.  
2) Diversamente dai valori  $SAK_{254}$  e  $SSK_{254}$ , la trasmissione UV dipende dallo spessore dello strato di fluido irradiato.

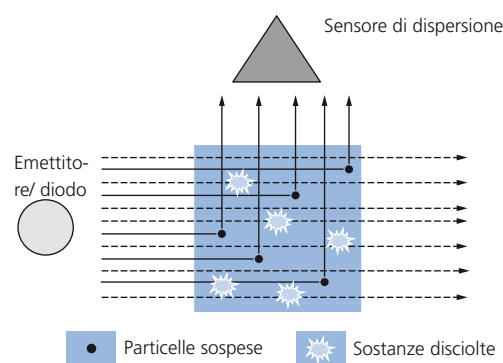


**Figura 23: Misura della trasmissione: viene rilevata l'energia irradiata che attraversa il campione d'acqua senza essere dispersa né assorbita**

### Torbidità

La torbidità di un mezzo indica quanta energia irradiata viene dispersa dalle particelle. Il principio di misura si basa sulla determinazione dell'intensità della luce dispersa. Quando un fascio di luce incontra una particella, in parte viene deviato. L'entità di questa dispersione dipende dalle caratteristiche della particella (forma, colore, grandezza). Essen-

zialmente il valore della torbidità è determinato dalle particelle comprese tra 0,1 e 1  $\mu\text{m}$ , mentre corpuscoli di altre dimensioni hanno un influsso minore sulla dispersione. Il turbidimetro emette luce nella banda dell'infrarosso vicino (lunghezza d'onda di 860 nm). L'intensità della dispersione viene misurata con un angolo di  $90^\circ$  dalla sorgente di luce e il risultato convertito in FNU. La US-EPA descrive le stesse condizioni di misura ma utilizza l'unità NTU. Se le norme sono rispettate (lunghezza d'onda, angolo di misurazione, ecc.), i valori sono equiparabili, quindi vale:  $NTU = FNU = FTU = TE/F 90^\circ = JTU$ . La calibrazione viene effettuata con standard di formazina normati, disponibili in commercio o preparabili in proprio alla bisogna, e deve avvenire a una torbidità predefinita di 400 NTU. La precisione del turbidimetro secondo il MSDA deve essere di 0,02 NTU in condizioni di bassa torbidità ( $< 1$  NTU). L'impiego di luce a 550 nm in acqua con torbidità bassa causa una maggiore dispersione, quindi misurazioni più stabili. Il valore massimo di torbidità misurabile in genere è determinato dal modello di turbidimetro usato. In presenza di valori molto elevati può essere utile diluire l'acqua.



**Figura 24: Misura della torbidità: rilevamento dei raggi dispersi a  $90^\circ$**

## 7. Criteri per l'introduzione di nuovi procedimenti

L'acqua potabile è di enorme importanza in Svizzera. Tuttavia, data la molteplicità degli usi e delle attività sul nostro territorio (densità della popolazione, industria, agricoltura, mobilità, insediamenti, ecc.), la qualità dell'acqua grezza è sottoposta a forti sollecitazioni. Per continuare a soddisfare i requisiti per un'acqua potabile impeccabile è indispensabile un continuo adattamento alle mutevoli condizioni (come la comparsa di nuove sostanze inquinanti). Ciò implica non solo adeguare gli impianti esistenti, ma anche verificare nuovi procedimenti e sostanze ausiliarie per la preparazione dell'acqua potabile. In linea di principio, il trattamento di acque superficiali, di sorgente e di falda in materiale sciolto deve alterare il meno possibile le proprietà dell'acqua e ricorrere al minimo di additivi. In Svizzera l'acqua potabile sottostà alla legislazione sulle derrate alimentari. L'autorizzazione all'introduzione di nuovi procedimenti per la preparazione dell'acqua potabile è disciplinata dall'ordinanza del DFI concernente l'acqua potabile, l'acqua sorgiva e l'acqua minerale (RS 817.022.102). L'articolo 6 capoverso 5 recita testualmente:

*«I procedimenti per la preparazione e la disinfezione dell'acqua potabile necessitano di un'autorizzazione dell'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP).»*

La procedura di autorizzazione deve garantire che siano utilizzati solo sostanze e procedimenti efficaci e sicuri e che non ci siano effetti negativi sulla salute dei consumatori. Le sostanze chimiche devono superare dapprima la procedura d'autorizzazione prevista dal diritto in

materia di prodotti chimici e solo con un'autorizzazione dell'UFSP possono essere destinate ad altri usi come la preparazione dell'acqua potabile.

La procedura di autorizzazione richiede una documentazione esaustiva per consentire l'esame e la valutazione della domanda. Il richiedente deve fornire le prove scientifiche documentate dell'efficacia nei confronti della sostanza o del microrganismo in questione e dell'assenza di rischi legati all'utilizzo per la preparazione dell'acqua potabile. Fornire prove scientifiche significa che:

- la verifica deve essere eseguita da un servizio di verifica riconosciuto (laboratorio, organizzazione, ecc.) e l'effetto deve essere confermato da un servizio indipendente;
- la verifica deve essere effettuata seguendo procedimenti e metodi analitici riconosciuti, le cui fonti devono essere divulgate, e gli esperimenti devono essere descritti in modo che possano essere riprodotti da un servizio indipendente;
- le basi della verifica (leggi, norme, ecc.) devono essere pubblicate in forma generalmente accessibile dagli specialisti del settore. Le basi sulle quali poggia la verifica devono essere chiare;
- i procedimenti devono poter essere eseguiti dimostrando la stessa efficacia da specialisti indipendenti con l'aiuto delle informazioni fornite;
- gli esperimenti devono essere riproducibili in condizioni reali nei sistemi di approvvigionamento dell'acqua potabile. È importante tenere conto sia della composizione dell'acqua grezza che del dimensionamento dell'impianto (idraulica, tempi di permanenza, ecc.).

## 7. Criteri per l'introduzione di nuovi procedimenti

Alberi decisionali con l'elenco degli aspetti da chiarire (liste di controllo) aiutano a formulare un giudizio sull'effettiva

idoneità di un nuovo procedimento e facilitano la raccolta della documentazione necessaria.

### Lista di controllo 1: Requisiti generali

	Requisito	Contenuto del requisito	Soddisfatto
<b>Informazioni generali</b>	Richiedente	Nome e recapito completo del richiedente	<input type="checkbox"/>
	Persona di contatto	Nome e recapito completo della persona di contatto	<input type="checkbox"/>
	Impianto	Designazione univoca dell'impianto: acquedotto, recapito, dati tecnici	<input type="checkbox"/>
	Scopo	Scopo d'impiego, ampliamento di impianto esistente o nuova costruzione	<input type="checkbox"/>
<b>Informazione di prodotto</b>	Denominazione commerciale	Designazione univoca per identificare il prodotto: nome del prodotto	<input type="checkbox"/>
	Scopo d'impiego	Tipo di trattamento per il quale si impiega il procedimento: separazione di sostanze, trasformazione di sostanze, disinfezione	<input type="checkbox"/>
	Sviluppatore	Nome e recapito completo dello sviluppatore	<input type="checkbox"/>
	Fabbricante	Nome e recapito completo del fabbricante	<input type="checkbox"/>
	Contatto	Nome e recapito completo della persona di contatto	<input type="checkbox"/>
	Certificazione / registrazione	Genere di certificazione, numero di registrazione, numero di autorizzazione	<input type="checkbox"/>
	Documentazione tecnica	Descrizione dettagliata dell'impianto, istruzioni per l'uso del procedimento	<input type="checkbox"/>

## Sostanze in tracce



Figura 25: Albero decisionale per classificare nuovi procedimenti per il trattamento di sostanze in tracce. Nella relativa lista di controllo sono elencate le informazioni necessarie per presentare la domanda di autorizzazione.

## 7. Criteri per l'introduzione di nuovi procedimenti

### Lista di controllo 2: Trattamento di sostanze in tracce

	<b>Requisito Contenuto della Soddis</b>	<b>Contenuto della documentazione</b>	<b>Soddis- fatto</b>
<b>Risorsa d'acqua</b>	Base per la decisione: composizione chimica dell'acqua grezza	Risultati degli esami chimici (programma di misurazione)	<input type="checkbox"/>
	Esame delle alternative	Analisi di risorse d'acqua o possibilità di approvvigionamento alternative	<input type="checkbox"/>
<b>Preparazione</b>	Descrizione delle sostanze problematiche	Quali sono le sostanze indesiderate e in che concentrazione sono presenti	<input type="checkbox"/>
	Valutazione del tipo di procedimento	Basi del processo decisionale, descrizione del tipo di procedimento: separazione, trasformazione, altri procedimenti	<input type="checkbox"/>
<b>Separazione</b>	Meccanismo	Definizione del meccanismo di separazione: adsorbimento, tecnica a membrana, altri procedimenti	<input type="checkbox"/>
	Sostanze impiegate	Descrizione, proprietà chimiche e fisiche	<input type="checkbox"/>
	Problemi	Sostanze problematiche, meccanismi potenzialmente dannosi come corrosione, leaching, fouling, attività biologica	<input type="checkbox"/>
	Limitazioni	Requisiti per l'acqua grezza, sostanze in competizione, criteri e limitazioni d'impiego	<input type="checkbox"/>
	Matrice	Effetti di componenti della matrice sul procedimento (adsorbimento competitivo, fouling, ecc.)	<input type="checkbox"/>

Lista di controllo 2 (continuazione): Trattamento di sostanze in tracce

	Requisito	Contenuto della documentazione	Soddisfatto
<b>Trasformazione</b>	Parametri finali	Definizione delle sostanze e dei parametri finali, dimostrazione dell' idoneità del procedimento a raggiungere i parametri finali	<input type="checkbox"/>
	Reazione	Descrizione della trasformazione (chimica, fisica, biologica), meccanismi di reazione, concentrazioni delle sostanze impiegate	<input type="checkbox"/>
	Sostanze impiegate	Descrizione delle sostanze impiegate con valutazione della tollerabilità dell'acqua potabile, tossicità, effetti generali sulla salute	<input type="checkbox"/>
	Sottoprodotti	Formazione di prodotti di reazione indesiderati	<input type="checkbox"/>
	Matrice	Reazione con componenti della matrice, effetti sulla stabilità degli agenti ossidanti	<input type="checkbox"/>
	Limitazioni	Requisiti per l'acqua grezza, sostanze in competizione, criteri e limitazioni d'impiego	<input type="checkbox"/>
<b>Altri procedimenti</b>	Tipo di procedimento	Descrizione dettagliata dell'intero procedimento, inclusi scopo d'impiego, meccanismi d'azione, sottoprodotti e prodotti di scarto	<input type="checkbox"/>

**Per la procedura di autorizzazione vanno studiati aspetti specifici legati al procedimento**

## 7. Criteri per l'introduzione di nuovi procedimenti

### Microrganismi

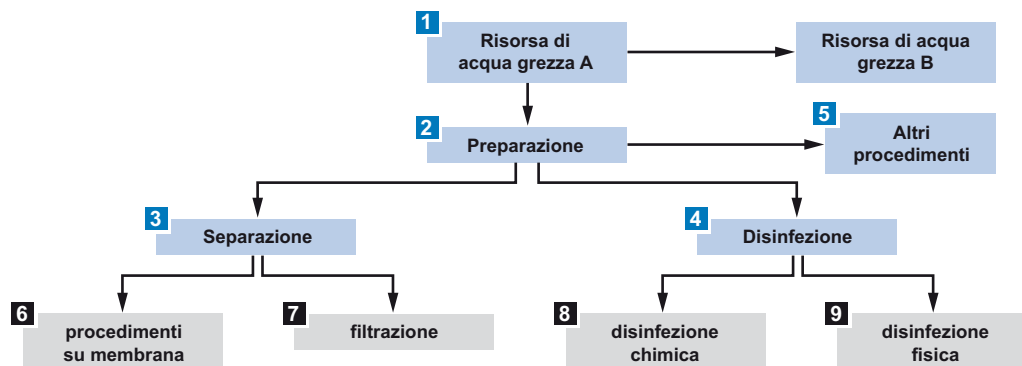


Figura 27: Albero decisionale per classificare nuovi procedimenti per il trattamento di microrganismi. Nella relativa lista di controllo sono elencate le informazioni necessarie per presentare la domanda di autorizzazione.

**Lista di controllo 3: Trattamento di microrganismi**

	<b>Requisito</b>	<b>Contenuto della documentazione</b>	<b>Soddisfatto</b>
<b>Risorsa d'acqua</b>	Base per la decisione: composizione microbiologica dell'acqua grezza	Risultati degli esami microbiologici (programma di misurazione)	<input type="checkbox"/>
	Esame delle alternative	Analisi di risorse d'acqua o possibilità di approvvigionamento alternative	<input type="checkbox"/>
<b>Preparazione</b>	Descrizione degli organismi problematici	Quali microrganismi sono indesiderati e in che concentrazione sono presenti	<input type="checkbox"/>
	Valutazione del tipo di procedimento	Basi del processo decisionale, descrizione del tipo di procedimento: separazione, disinfezione, altri procedimenti	<input type="checkbox"/>
<b>Separazione</b>	Meccanismo	Definizione del meccanismo di separazione: tecnica a membrana, filtrazione	<input type="checkbox"/>
	Sostanze impiegate	Descrizione, proprietà chimiche e fisiche	<input type="checkbox"/>
	Problemi	Ritenzione incompleta, fuga di microrganismi	<input type="checkbox"/>
	Matrice	Effetti dei componenti della matrice sul procedimento (fouling...)	<input type="checkbox"/>
<b>Disinfezione</b>	Meccanismo d'azione	Disinfezione chimica o fisica	<input type="checkbox"/>
	Modo d'inattivazione	Siti d'attacco su/nei microrganismi, effetto sui microrganismi	<input type="checkbox"/>
	Sostanze impiegate	Descrizione delle sostanze impiegate con valutazione della tollerabilità dell'acqua potabile, tossicità, effetti generali sulla salute	<input type="checkbox"/>
	Sottoprodotti	Formazione di sottoprodotti attesi e indesiderati	<input type="checkbox"/>
	Matrice	Reazione con componenti della matrice, stabilità del disinfettante, protezione dei microrganismi	<input type="checkbox"/>
	Limitazioni	Requisiti per l'acqua grezza, sostanze in competizione, criteri e limitazioni d'impiego	<input type="checkbox"/>
<b>Altri procedimenti</b>	Tipo di procedimento	Descrizione dettagliata dell'intero procedimento, inclusi scopo d'impiego, meccanismi d'azione, sottoprodotti e prodotti di scarto	<input type="checkbox"/>

**Per la procedura di autorizzazione vanno studiati aspetti specifici legati al procedimento**

# 8. Basi legali

## 1. Legislazione sull'acqua potabile in Svizzera

L'acqua potabile è la derrata alimentare più importante. Quindi anch'essa è

soggetta alle prescrizioni generali e specifiche della legislazione sulle derrate alimentari.

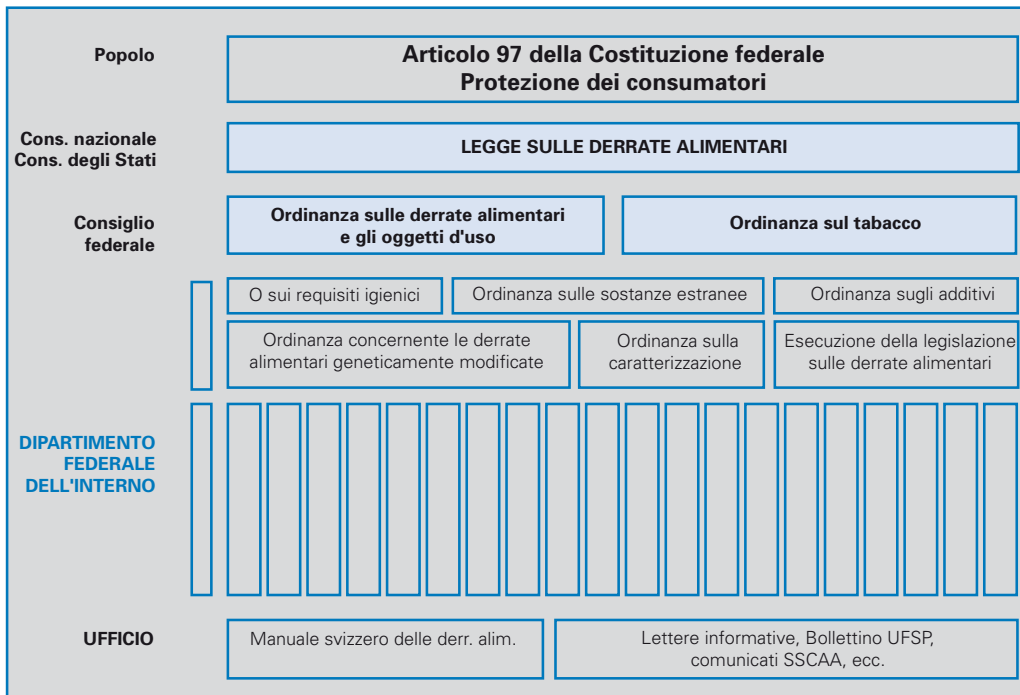


Figura 27: Struttura della legislazione sulle derrate alimentari in vigore dal 2005

### 1.1 Requisiti per l'acqua potabile

L'acqua potabile è l'acqua che, lasciata naturale o dopo essere stata trattata, è destinata a essere bevuta, a cucinare, a preparare cibi e ad altri usi domestici, in particolare l'igiene personale, nonché a pulire oggetti che entrano in contatto con derrate alimentari. L'acqua potabile è impiegata anche nelle aziende alimentari per la fabbricazione, il trattamento e la conservazione di derrate alimentari destinate al consumo umano. L'acqua potabile deve essere pura e atta al consumo. Questo requisito è considerato soddisfatto se nel luogo in cui è dispo-

nibile all'uso rispetta le prescrizioni legali sui parametri microbiologici, chimici e fisici. L'acqua potabile deve essere ineccepibile dal punto di vista dell'aspetto, dell'odore e del gusto. Non deve contenere microrganismi, parassiti e sostanze di qualsiasi tipo in numero o concentrazione tali da costituire un potenziale pericolo per la salute umana. La responsabilità della qualità ricade sull'azienda di approvvigionamento idrico fino all'allacciamento domestico (contatore dell'acqua) e da quel punto sul gestore dell'installazione o sul proprietario dell'immobile.

## 1.2 Requisiti per la produzione di acqua potabile

La produzione di acqua potabile è un processo continuo. Contrariamente a quanto accade con altre derrate alimentari, le partite che non soddisfano determinati parametri o altre condizioni prestabilite non possono essere ritirate. L'acqua potabile è un alimento essenziale che deve assolutamente essere disponibile ogni giorno in quantità elevate. Inoltre, si distingue da altre derrate alimentari sia per la necessità di essere prodotta a livello regionale a partire da risorse naturali, dato che il trasporto su lunghe distanze delle quantità occorrenti è complicato, sia per il fatto che le risorse naturali di origine sono potenzialmente minacciate da influssi ambientali, dall'inquinamento e dal molteplice sfruttamento.

Fattori che possono avere un peso sulla qualità dell'acqua potabile sono:

- protezione delle risorse naturali dall'inquinamento;
- utilizzo sostenibile dell'acqua potabile;
- stato strutturale e tecnico degli impianti;
- misure tecniche di preparazione dell'acqua;
- pulizia dell'impianto (aspetto igienico);
- formazione dei fontanieri;
- senso di responsabilità di tutti i servizi competenti.

## 1.3 Requisiti per l'acqua potabile in situazioni d'emergenza

L'acqua distribuita in situazioni d'emergenza attraverso reti di distribuzione provvisorie, serbatoi di riserva e veicoli per il ritiro diretto da parte della popolazione normalmente soddisfa i requisiti valevoli per l'acqua potabile. In caso di dubbio o su ordine dell'ufficio responsabile, l'acqua distribuita deve essere ulteriormente decontaminata mediante disinfezione o bollitura.

## 2. Estratti dalla legislazione sull'approvvigionamento di acqua potabile

### 2.1 Legge sulle derrate alimentari (LDerr) del 9 ottobre 1992, RS 817.0 (stato 1° aprile 2008)

#### Art. 23 Controllo autonomo

<sup>1</sup> Chiunque fabbrica, tratta, distribuisce, importa od esporta derrate alimentari, additivi e oggetti d'uso deve provvedere, nel quadro della sua attività, affinché le merci siano conformi alle esigenze legali. Deve analizzarle o farle analizzare secondo le regole di una buona pratica di fabbricazione.

<sup>2</sup> Il controllo ufficiale non libera dall'obbligo del controllo autonomo.

## 8. Basi legali

<sup>2bis</sup> Chi constata che derrate alimentari od oggetti d'uso da lui importati, fabbricati, trasformati, trattati o distribuiti possono mettere in pericolo la salute deve assicurarsi che i consumatori non ne subiscano alcun pregiudizio. Qualora le derrate alimentari o gli oggetti d'uso non siano più sotto il controllo diretto dell'interessato, quest'ultimo deve informare senza indugio la competente autorità d'esecuzione e collaborare con essa.

<sup>3</sup> Il Consiglio federale stabilisce a quali condizioni è possibile, nel singolo caso, rinunciare ad un'analisi.

<sup>5</sup> Il Consiglio federale può disciplinare la documentazione del controllo autonomo.

### 2.2 Ordinanza del 23 novembre 2005 sulle derrate alimentari e gli oggetti d'uso (ODerr), RS 817.02 (stato 1° aprile 2008)

#### Art. 3 Responsabile

<sup>1</sup> Per ogni azienda alimentare occorre designare una persona che, oltre alla direzione dell'impresa, assuma la responsabilità ultima per la sicurezza dei prodotti (responsabile).

<sup>2</sup> Se non è designato un responsabile, la direzione dell'impresa è responsabile per la sicurezza dei prodotti dell'azienda alimentare.

#### Art. 12 Obbligo di notificazione

<sup>1</sup> Chiunque fabbrica, trasforma, tratta, deposita, trasporta, consegna, importa o esporta derrate alimentari è tenuto a notificare la sua attività alla competente autorità cantonale di esecuzione.

<sup>2</sup> È fatta salva la consegna occasionale in ambito circoscritto a bazar, feste scolastiche e simili.

<sup>3</sup> Vanno notificati parimenti cambiamenti importanti o la chiusura dell'attività.

#### Art. 47 Igiene

<sup>1</sup> Il responsabile deve provvedere affinché:

- a. le derrate alimentari e gli oggetti d'uso non siano modificati sfavorevolmente da microrganismi, sostanze estranee o in altro modo;
- b. una derrata alimentare, considerata la sua destinazione, sia idonea al consumo umano.

<sup>2</sup> Deve adottare tutte le misure e i provvedimenti necessari per premunirsi nei confronti dei pericoli per gli esseri umani.

<sup>3</sup> I recipienti, gli apparecchi, gli strumenti, i materiali da imballaggio, i mezzi di trasporto ecc. utilizzati per il trattamento di derrate alimentari nonché gli spazi destinati alla fabbricazione, alla conservazione e alla vendita di derrate alimentari devono essere mantenuti puliti e in buono stato.

## Capitolo 5: Controlli

### Sezione 1: Controllo autonomo

#### Art. 49 Principio

<sup>1</sup> Il responsabile provvede, nell'ambito delle sue attività a tutti i livelli di produzione, trasformazione e distribuzione, affinché le derrate alimentari e gli oggetti d'uso siano conformi alle esigenze legali, in particolare in relazione alla protezione della salute, alla protezione da inganni e all'igiene nell'utilizzazione di derrate alimentari e oggetti d'uso.

<sup>2</sup> Per adempiere le esigenze di cui al capoverso 1, il responsabile è tenuto ad effettuare un controllo autonomo.

<sup>3</sup> Strumenti importanti del controllo autonomo sono in particolare:

- la garanzia di buone prassi procedurali (buona prassi igienica, buona prassi di fabbricazione);
- l'applicazione di procedimenti basati sui principi del sistema HACCP (art. 51);
- la rintracciabilità;
- la campionatura e l'analisi di derrate alimentari e oggetti d'uso.

#### **Art. 50 Rintracciabilità**

<sup>1</sup> Le derrate alimentari, gli animali da reddito destinati alla produzione di derrate alimentari, nonché tutte le sostanze suscettibili di essere trasformate in derrate alimentari devono poter essere rintracciabili in tutte le fasi della produzione, della trasformazione e della distribuzione. È fatto salvo l'articolo 5 dell'ordinanza del 23 novembre 2005 concernente la produzione primaria.

<sup>2</sup> Chiunque commerci prodotti di cui al capoverso 1 deve essere in grado di indicare alle competenti autorità cantonali d'esecuzione:

- da chi ha acquistato i prodotti; e
- a chi li ha forniti; è fatta salva la consegna diretta ai consumatori.

#### **Art. 51 Hazard Analysis and Critical Control Points (sistema HACCP)**

<sup>1</sup> Chiunque fabbrica, trasforma, tratta, deposita, trasporta o consegna derrate alimentari deve mettere a punto e applicare uno o più procedimenti, fondati sui principi del sistema HACCP, di sorveglianza permanente sui pericoli specifici di natura biologica, chimica e fisica. È fatto salvo l'articolo 53.

<sup>2</sup> Un tale procedimento deve comprendere le seguenti fasi:

- identificare e valutare i pericoli che devono essere evitati, eliminati o ridotti a un livello accettabile («hazard analysis» HA);
- determinare i punti critici di controllo nelle fasi di trattamento in cui si rende necessario porre sotto controllo un pericolo, ossia evitarlo, eliminarlo o ridurlo a un livello accettabile («critical control point(s)» CCP; punti critici di controllo);
- stabilire valori indicativi di riferimento nelle fasi di trattamento menzionate per distinguere i valori accettabili da quelli inaccettabili al fine di evitare, eliminare o ridurre i pericoli identificati;
- stabilire e applicare un sistema efficiente di sorveglianza dei punti critici di controllo;
- stabilire correttivi per il caso in cui la sorveglianza indichi che un punto critico di controllo non funziona più in modo corretto;
- stabilire una procedura per verificare se le prescrizioni di cui alle lettere a–e sono rispettate; le verifiche devono essere effettuate regolarmente, in ogni caso ogni qualvolta una modifica del processo di produzione potrebbe pregiudicare la sicurezza della derrata alimentare fabbricata;

## 8. Basi legali

g. predisporre documenti e registrazioni, con i quali possa essere comprovato che le prescrizioni di cui alle lettere a-f sono rispettate; i documenti e le registrazioni devono essere adeguati alla natura e alle dimensioni dell'impresa; devono essere costantemente aggiornati e conservati per un periodo adeguato.

<sup>3</sup> Il sistema HACCP va applicato in una forma adeguata al rischio per la sicurezza e al volume della produzione.

<sup>4</sup> Per aziende di commercio al dettaglio, il DFI può ridurre in modo adeguato i requisiti.

### **Art. 52 Linee direttive per una buona prassi procedurale**

<sup>1</sup> L'economia alimentare può elaborare linee direttive per una buona prassi procedurale basata sui principi del sistema HACCP. Esse devono essere approvate dall'UFSP.

<sup>2</sup> Le linee direttive devono:

- a. essere atte a eseguire correttamente le disposizioni della presente sezione e le altre disposizioni in materia d'igiene delle derrate alimentari;
- b. tener conto del pertinente codice procedurale del Codex Alimentarius; e
- c. essere concordate con le cerchie interessate.

### **Art. 53 Prova della buona prassi procedurale**

Il responsabile deve poter provare alla competente autorità cantonale d'esecuzione che:

- a. è stato applicato un procedimento conforme al sistema HACCP; o
- b. qualora esistano linee direttive approvate dall'UFSP per una buona prassi procedurale: si è proceduto secondo queste linee direttive per una buona prassi procedurale.

### **Art. 54 Consegna di derrate alimentari o oggetti d'uso pericolosi per la salute**

<sup>1</sup> Se il responsabile constata o ha motivo di ritenere che le derrate alimentari o gli oggetti d'uso importati, fabbricati, trasformati, trattati o consegnati dall'azienda hanno messo o possono mettere in pericolo la salute, e non si trovano più sotto il diretto controllo dell'azienda, deve informare senza indugio:

- a. le competenti autorità cantonali d'esecuzione;
- b. adottare le misure necessarie per ritirare dal mercato i prodotti interessati (ritiro);
- c. richiamare i prodotti (richiamo) e informare i consumatori in maniera efficace e accurata del motivo del richiamo, nel caso in cui i prodotti potrebbero già essere arrivati ai consumatori.

<sup>2</sup> Se il responsabile constata o ha motivo di ritenere che il manifestarsi di malattie provocate dal consumo di alimenti ha un nesso con la propria azienda alimentare, deve provvedere a conservare campioni delle derrate alimentari sospette o ceppi degli agenti patogeni isolati e se necessario metterli a disposizione delle autorità di esecuzione.

<sup>3</sup> Il responsabile deve collaborare con le autorità d'esecuzione.

**2.3 Ordinanza del DFI del 23 novembre 2005 concernente l'acqua potabile, l'acqua sorgiva e l'acqua minerale, RS 817.022.102 (stato 27 dicembre 2005)**

**Sezione 2: Acqua potabile**

**Art. 2 Definizione**

L'acqua potabile è l'acqua che, lasciata naturale o dopo essere stata trattata, è destinata a essere bevuta, a cucinare, a preparare cibi e a pulire oggetti che entrano in contatto con derrate alimentari.

**Art. 3 Requisiti**

<sup>1</sup> L'acqua potabile dev'essere atta al consumo dal punto di vista microbiologico, chimico e fisico.

<sup>2</sup> È atta al consumo l'acqua potabile che, nel luogo in cui è a disposizione per essere utilizzata:

- a. soddisfa i requisiti igienici e microbiologici per l'acqua potabile stabiliti nell'ordinanza del DFI del 23 novembre 2005 sui requisiti igienici;
- b. non supera i valori limite e di tolleranza per l'acqua potabile stabiliti nell'ordinanza del 26 giugno 1995 sulle sostanze estranee e sui componenti; e
- c. è ineccepibile dal punto di vista del gusto, dell'odore e dell'aspetto.

**Art. 4 Caratterizzazione**

Sui recipienti di acqua potabile consegnati ai consumatori non possono figurare:

- a. allusioni a luoghi o nomi di sorgenti nonché disegni, raffigurazioni o designazioni che possano dare adito a confusioni con un'acqua minerale naturale o con un'acqua sorgiva;
- b. allusioni pubblicitarie concernenti la salute.

**Art. 5 Informazioni**

Chi consegna ai consumatori acqua potabile attraverso un acquedotto, è tenuto a informarli almeno una volta all'anno in modo circostanziato sulla qualità dell'acqua potabile.

**Art. 6 Impianti, mezzi e procedimenti per l'acqua potabile**

<sup>1</sup> Un impianto di acquedotto è un impianto di captazione, trattamento, adduzione, accumulazione o distribuzione di acqua potabile, che è fornita a terzi.

<sup>2</sup> Chi intende costruire o modificare un impianto di acquedotto lo deve preventivamente notificare alla competente autorità esecutiva cantonale.

<sup>3</sup> Gli impianti, gli apparecchi e le installazioni per l'approvvigionamento dell'acqua devono essere costruiti, ampliati o modificati secondo le regole riconosciute della tecnica. Il proprietario è obbligato a farli regolarmente sorvegliare e sottoporre a manutenzione da parte di persone appositamente istruite.

## 8. Basi legali

<sup>4</sup> Gli impianti, gli apparecchi, le installazioni e i procedimenti per la preparazione dell'acqua potabile possono essere utilizzati soltanto se l'acqua potabile con essi trattata soddisfa sempre i requisiti di cui all'articolo 3.

<sup>5</sup> I procedimenti per la preparazione e la disinfezione dell'acqua potabile necessitano di un'autorizzazione dell'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP).

### **2.4 Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti (OSoE) del 26 giugno 1995, RS 817.021.23 (stato 1° aprile 2008)**

#### **Art. 1 Principio**

Le sostanze estranee e i componenti (sostanze) possono essere presenti negli o sugli alimenti solo in quantità innocue per la salute e se tecnicamente indispensabili.

#### **Art. 2 Concentrazione massima, valori di tolleranza e valori limite**

<sup>1</sup> È considerata concentrazione massima la concentrazione di una sostanza, come pure dei suoi prodotti derivati aventi un'importanza tossicologica, che può essere presente in o su un alimento.

<sup>2</sup> La concentrazione massima di una sostanza viene indicata come valore di tolleranza o come valore limite.

<sup>3</sup> Il valore di tolleranza è la concentrazione massima che, se superata, rende contaminato l'alimento o ne diminuisce il valore.

<sup>4</sup> Il valore limite è la concentrazione massima che, se superata, rende l'alimento inadatto all'alimentazione umana.

<sup>5</sup> In casi giustificati si fissano per una sostanza sia un valore di tolleranza sia un valore limite.

<sup>6</sup> I valori di tolleranza e i valori limite sono stabiliti nelle liste allegate alla presente ordinanza.

### **2.5 Ordinanza del DFI del 23 novembre 2005 sui requisiti igienici, RS 817.024.1 (stato 1° aprile 2008)**

#### **Art. 5 Criteri microbiologici, valori limite e valori di tolleranza per i microrganismi**

<sup>1</sup> Un criterio microbiologico è un criterio che stabilisce l'accettabilità di un prodotto, di una partita di derrate alimentari, di un processo o di un oggetto d'uso in base all'assenza, alla presenza o al numero di microrganismi o in base alla quantità delle relative tossine, per unità stabilita. Si distingue tra:

- a. criterio di sicurezza delle derrate alimentari, e
- b. criterio di igiene del processo.

<sup>2</sup> Un criterio di sicurezza delle derrate alimentari e degli oggetti d'uso stabilisce l'accettabilità di un prodotto immesso sul mercato.

<sup>3</sup> Un criterio di igiene del processo definisce l'accettabilità del processo di fabbricazione. In caso di superamento di tale criterio occorre adottare misure correttive volte a garantire l'igiene del processo. I criteri di igiene non si applicano ai prodotti immessi sul mercato.

<sup>4</sup> I criteri microbiologici sono espressi mediante valori limite e valori di tolleranza.

<sup>5</sup> Un valore limite definisce il numero di microrganismi superato il quale un prodotto è ritenuto pericoloso per la salute.

<sup>6</sup> Un valore di tolleranza definisce il numero di microrganismi che, in base all'esperienza, non deve essere superato qualora le materie prime siano state scelte accuratamente, sia stata rispettata la buona prassi di fabbricazione e il prodotto sia stato conservato adeguatamente. I prodotti, i cui valori di tolleranza sono stati superati, sono considerati di qualità inferiore.

#### **Art. 6 Metodi di analisi**

<sup>1</sup> L'analisi microbiologica dei campioni deve essere effettuata in base ai metodi microbiologici di riferimento del Manuale svizzero delle derrate alimentari..

<sup>2</sup> Sono ammessi altri metodi di analisi purché siano convalidati con il metodo di riferimento conformemente ai protocolli riconosciuti a livello internazionale e giungano a conclusioni paragonabili a quelle dei metodi di riferimento.

#### **Art. 17 Rifornimento idrico**

<sup>1</sup> Nelle aziende che trattano derrate alimentari, l'acqua potabile deve essere disponibile in quantità sufficiente, secondo l'ordinanza del DFI del 23 novembre 2005 concernente l'acqua potabile, l'acqua sorgiva e l'acqua minerale.

<sup>2</sup> Quando si deve garantire che le derrate alimentari non siano contaminate, si utilizza sempre acqua potabile.

<sup>3</sup> L'acqua impiegata per trasformare una derrata o come suo ingrediente non deve presentare rischi di ordine microbiologico, chimico o fisico per la derrata alimentare in questione e deve soddisfare i requisiti stabiliti per l'acqua potabile.

<sup>4</sup> Il ghiaccio che entra in contatto con le derrate alimentari o che potrebbe contaminarle deve essere fabbricato con acqua potabile. Esso deve essere fabbricato, trattato e immagazzinato in modo da escludere ogni possibile contaminazione.

<sup>5</sup> Il vapore che entra direttamente in contatto con le derrate alimentari non deve contenere alcuna sostanza che presenti un pericolo per la salute né contaminare le derrate alimentari.

<sup>6</sup> L'acqua non potabile utilizzata per spegnere incendi, produrre vapore, refrigerare o altri scopi analoghi deve scorrere in condotte separate debitamente segnalate. Le condotte di acqua non potabile non devono essere raccordate a quelle di acqua potabile e deve essere esclusa qualsiasi possibilità di riflusso.

Le liste nell'allegato di quest'ordinanza riportano i valori massimi specifici relativi all'acqua potabile.

## 8. Basi legali

### 2.6 Ulteriori leggi e ordinanze concernenti la qualità dell'acqua potabile (selezione)

#### ***Derrate alimentari***

Ordinanza del DFI del 23 novembre 2005 sui materiali e gli oggetti (ODerr; RS 817.023.21)

#### ***Protezione delle acque***

Legge del 24 gennaio 1991 sulla protezione delle acque (LPAc), RS 814.20  
Ordinanza del 28 ottobre 1998 sulla protezione delle acque (OPAc; RS 814.201)

#### ***Lotta contro le malattie***

Legge del 18 dicembre 1970 sulle epidemie (LEpi; RS 818.101)

#### ***Situazioni di emergenza***

Ordinanza del 20 novembre 1991 sulla garanzia dell'approvvigionamento con acqua potabile in situazioni di emergenza (OAAE; RS 531.32)

### 2.7 Manuale svizzero delle derrate alimentari

Manuale svizzero delle derrate alimentari, capitolo 27A «Acqua potabile», edizione 1985 (versione 2000)

Il Manuale svizzero delle derrate alimentari descrive e consiglia i metodi adatti all'analisi dell'acqua potabile, fornisce linee guida per la valutazione dei risultati delle analisi e riporta i valori empirici di parametri chimici e fisici riscontrati in acque potabili scarsamente o non inquinate per via antropica o naturale.

## 9. Glossario

**acqua grezza:** acqua sotterranea o superficiale prima di qualsiasi procedimento di potabilizzazione

**acqua potabile:** secondo l'ordinanza del DFI concernente l'acqua potabile, l'acqua sorgiva e l'acqua minerale (RS 817.022.102), «acqua che, lasciata naturale o dopo essere stata trattata, è destinata a essere bevuta, a cucinare, a preparare cibi e a pulire oggetti che entrano in contatto con derrate alimentari»

**acqua sotterranea:** acqua che riempie ininterrottamente le cavità naturali del sottosuolo. Si muove esclusivamente per effetto della gravità

**AOC (Assimilable Organic Carbon):** carbonio organico assimilabile

**AOP (Advanced Oxidation Processes):** ossidazione avanzata, mediante radicali OH prodotti dall'ossidazione primaria

**BDOC (Biodegradable Dissolved Organic Carbon):** carbonio organico disciolto biodegradabile

**biodosimetria, esame biosimetrico:** procedimento sperimentale per determinare l'efficacia degli apparecchi di disinfezione UV mediante l'uso di microrganismi (*B. subtilis*) con sensibilità nota agli UV

**biofouling:** ostruzione di una membrana causata da depositi di origine microbica sulla sua superficie (v. anche «fouling»)

**Biostabilizzazione:** misure quali la riduzione delle sostanze nutritive e la scomposizione di sostanze organiche assimilabili (AOC) nell'ambito della preparazione dell'acqua potabile, allo scopo di minimizzare la ricrescita batterica durante la distribuzione dell'acqua. La stabilità biologica dell'acqua potabile dipende in particolare dalla concentrazione di sostanze nutritive e disinfettanti come anche dalla temperatura dell'acqua.

**BTEX:** parametro generale che include i quattro idrocarburi aromatici monociclici benzene, toluolo, etilbenzene e xilolo.

**capside:** struttura proteica complessa dei virus che avvolge il genoma virale

**cisti:** forma di resistenza di diverse specie di protozoi

**Cloro libero:** nella definizione di cloro libero sono compresi il composto del cloro  $Cl_2$ , l'acido ipocloroso (HOCl) e l'anione dell'acido ipocloroso (anione ipoclorito, OCl<sup>-</sup>). Per legami del cloro s'intendono i legami tra cloro e azoto, le clorammine, che dispongono di un'efficacia disinfettante minore rispetto al cloro libero. Il cloro è la somma del cloro libero e dei legami di cloro.

## 9. Glossario

**coefficiente di uniformità:** quoziente tra il diametro delle particelle corrispondenti a un passaggio del 60 per cento e quello delle particelle corrispondenti a un passaggio del 10 per cento (determinato in base alla curva granulometrica):  $C = d_{60}/d_{10}$

**Dalton (Da):** unità di misura della massa atomica, 1 Dalton equivale esattamente a 1/12 della massa dell'isotopo del carbonio  $^{12}\text{C}$ ;  $1 \text{ Da} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

**denitrificazione:** reazione di riduzione del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) in azoto elementare ( $\text{N}_2$ )

**DFI:** Dipartimento federale dell'interno

**discontinuità (in discontinuo):** qualità di un processo che non è costantemente in esercizio, con interruzioni

**disproporzione:** (o dismutazione) reazione chimica di ossidoriduzione in cui un unico elemento funge contemporaneamente da agente ossidante e riducente, vale a dire che prima della reazione si trova in uno stadio di ossidazione intermedio e in seguito si ritrova in parte in uno stadio più ossidato e in parte in uno più ridotto.

**DNAPL (Dense Non Aqueous Phase Liquids):** fase liquida di sostanze organiche insolubili in acqua con densità superiore a 1 kg/l

**DOC (Dissolved Organic Carbon):** l'insieme del carbonio organico disciolto di origine naturale o antropica

**Dose UV:** la dose UV (in  $\text{J}/\text{m}^2$ ) è il prodotto dell'irradiazione (in  $\text{W}/\text{m}^2$ ) per il tempo e rappresenta il valore determinante per la definizione dell'efficacia disinfettante degli impianti UV

**DPD:** dietil-p-fenilendiammina

**EHEC:** Escherichia coli enteroemorragica

**endogeno:** in medicina si definiscono endogeni sostanze, malattie o agenti patogeni che hanno origine all'interno del corpo umano

**enterite:** infiammazione dell'intestino tenue

**FCO:** fabbisogno chimico di ossigeno, quantità di ossigeno consumata per l'ossidazione delle sostanze ossidabili (organiche e inorganiche)

**fecale-orale:** via di trasmissione di microrganismi espulsi con le feci che tornano al corpo tramite ingestione orale (derrate alimentari, acqua potabile)

**FNU (Formazine Nephelometric Unit):** nella preparazione dell'acqua, unità di misura della dispersione della luce a  $90^\circ$  e 880 nm secondo DIN EN ISO 7027 (conversione v. NTU)

**fouling:** riduzione della permeabilità di membrane all'acqua a causa di depositi sulla superficie e/o nei pori

**GAM:** germi aerobi mesofili

**gastroenterite:** infiammazione di stomaco e intestini

**IFADPA:** Istituto federale per l'approvvigionamento, la depurazione e la protezione delle acque

**Ione:** atomo o molecola con carica elettrica positiva o negativa

**Jar test:** metodo di laboratorio per determinare il potere flocculante in un becher con agitatore

**LDerr:** legge federale sulle derrate alimentari e gli oggetti d'uso (RS 817.0)

**leaching:** perdita di sostanze da un corpo solido per dissoluzione in un liquido

**letto fluido:** massa sciolta di particelle fini fluttuanti in una corrente (di gas o liquido)

**letto stabile:** carica di particelle solide immobili durante il processo (es. filtrazione)

**lisi:** morte di una cellula per danneggiamento o dissoluzione della membrana cellulare esterna con conseguente rilascio del contenuto cellulare

**LPac:** legge federale sulla protezione delle acque (RS 814.20)

**MAC (Maximum Acceptable Concentration):** concentrazione massima ammissibile sul posto di lavoro di una sostanza nociva per la salute

**microsetaccio:** reticolo di acciaio o tessuto con pori di 0,016-0,05 mm. Il controllo continuo ne assicura il funzionamento senza ostruzioni

**MSDA (Manuale svizzero delle derrate alimentari):** raccolta ufficiale di raccomandazioni in parte vincolanti sui metodi di analisi e valutazione di derrate alimentari, additivi e oggetti d'uso

**MWCO (Molecular Weight Cut-Off):** soglia di separazione nei procedimenti su membrana in base al peso molecolare della sostanza, indicata in Dalton (Da)

**NAQUA:** Rete nazionale di osservazione della qualità delle acque sotterranee

**nitrificazione:** ossidazione biologica dell'ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) in nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

**NOM (Natural Organic Matter):** materiale organico naturale, come gli acidi umici, ecc.

**NTU:** Nephelometric Turbidity Unit: nella preparazione dell'acqua, unità di misura della dispersione della luce a  $90^\circ$  secondo le norme US-EPA. Le diverse unità sono equiparabili se le misurazioni vengono effettuate secondo il metodo US-EPA:  $\text{NTU} = \text{FNU} = \text{FTU} = \text{TE/F } 90^\circ = \text{JTU}$

## 9. Glossario

**ODerr:** ordinanza sulle derrate alimentari e gli oggetti d'uso (RS 817.02)

**OMS:** Organizzazione mondiale della sanità, organizzazione speciale delle Nazioni Unite (ONU)

**oocisti:** stadio resistente all'ambiente di diverse specie di protozoi

**OPAc:** ordinanza sulla protezione delle acque (RS 814.201)

**organolettico:** che stimola gli organi di senso (es. olfatto e gusto)

**ORI:** ordinanza del DFI sui requisiti igienici (RS 817.024.1)

**OSoE:** ordinanza del DFI sulle sostanze estranee e sui componenti presenti negli alimenti (RS 817.021.23)

**PAC (Powdered Activated Carbon):** carbone attivo in polvere

**patogeno:** che causa malattie

**permeato:** nella tecnologia delle membrane, il liquido che ha attraversato la membrana ed è stato depurato da alcuni costituenti

**persistente:** difficile da rimuovere con mezzi fisici, chimici o biologici

**predazione:** processo in cui un predatore (cacciatore) consuma un altro organismo o parti di esso

**preparazione:** trattamento di un'acqua grezza affinché soddisfi i requisiti legali per l'uso come acqua potabile

**pressione transmembrana:** differenziale di pressione che agisce sulla membrana (differenza tra la pressione media prima della membrana (lato della sospensione) e dopo la membrana (lato del permeato))

**ricrescita microbica:** crescita di microrganismi nell'acqua potabile trattata (serbatoi, rete di tubature, ecc.)

**scaling:** ostruzione della membrana in seguito a cristallizzazione/precipitazione di costituenti dell'acqua

**speciazione:** distribuzione di una sostanza, sotto l'influsso delle condizioni ambientali, tra le diverse forme chimiche (specie) in cui può manifestarsi

**spore:** forme di resistenza molto tenaci di alcune specie di batteri

**SSIGA:** Società svizzera dell'industria del gas e delle acque (DVGW: omologa tedesca, ÖVGW: omologa austriaca)

**STEC:** Escherichia coli produttore di tossina shiga

**SUVA:** Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni

**THM:** trialometani, metani trihalogenati potenzialmente cancerogeni

**TMB:** tetrametilbenzidina

**Trasmissione:** percentuale dell'irradiazione globale di una lunghezza d'onda specifica che penetra attraverso un fluido. Quanto più bassa è la trasmissione, tanto minore è la permeazione del fluido. La trasmissione dipende dallo spessore dello strato del fluido: con l'aumento dello spessore diminuisce la trasmissione. Spesso il valore della trasmissione UV indicato si riferisce, generalmente, alla trasmissione con una lunghezza d'onda di 254 nm

**TSS** (Total Suspended Solids): l'insieme di tutti i costituenti dell'acqua in sospensione

**UFAM:** Ufficio federale dell'ambiente

**UFSP:** Ufficio federale della sanità pubblica

**US-EPA** (United States Environmental Protection Agency): agenzia di protezione dell'ambiente degli Stati Uniti d'America

**valore c\*t:** parametro del potere disinfettante dei disinfettanti chimici (prodotto della concentrazione efficace «c» per il tempo di contatto «t»)

**valore di tolleranza:** secondo l'articolo 2 capoverso 3 OSoE, «concentrazione massima che, se superata, rende contaminato l'alimento o ne diminuisce il valore»

**valore limite:** secondo l'articolo 2 capoverso 4 OSoE, «concentrazione massima che, se superata, rende l'alimento inadatto all'alimentazione umana»

**VTEC:** Escherichia coli produttore di verotossina

**zoonosi** (zoonotico): infezione o malattia trasmissibile dall'animale all'uomo e dall'uomo all'animale

# 10. Bibliografia

## Introduzione

**UFAFP (2004):** Istruzioni pratiche per la protezione delle acque sotterranee, Ambiente – Esecuzione, Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, Berna

**UFAEG (2005):** Hydrologie: Grundwasser unter der Lupe, Aquaterra 2

**Gujer W.** (2002): Siedlungswasserwirtschaft, 2.Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York

**OMS** (2004): Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed.

## Microrganismi

**Auckenthaler A., Huggenberger P.** (2003): Pathogene Mikroorganismen im Grund- und Trinkwasser, Birkhäuser Verlag, Basel Boston Berlin

**Botzenhard K.** (1994): Die Beherrschung mikrobiologischer Belastungen bei der Oberflächenwasseraufbereitung nach der SWTR (USA), GWF Wasser/Abwasser 135: 201 - 206

**Cook K.L., Bolster C.H.** (2006): Survival of *Campylobacter jejuni* and *Escherichia coli* in groundwater during prolonged starvation at low temperatures, Journal of Applied Microbiology 103: 573 - 583

**LeChevallier M.W., Au K.-K.** (2004): Water treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water, World Health Organization

**Mamane H., Shemer H., Linden K.G.** (2007): Inactivation of *E. coli*, *B. subtilis* spores, and MS2, T4 and T7 phage using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation, Journal of Hazardous Materials 146: 479 - 486

**Moreno Y., Piqueres P., Alonso J.L., Jiménez A., González A., Ferrús M.A.** (2007): Survival and viability of *Helicobacter pylori* after inoculation into chlorinated drinking water, Water Research 41: 3490 - 3496

**Schoenen D.** (1996): Die hygienisch-mikrobiologische Beurteilung von Trinkwasser, GWF Wasser/Abwasser 137: 72 - 82

**Snozzi M.** (1999): Prüfung und Zertifizierung von UV-Anlagen, Gas Wasser Abwasser, 5/99

**Suslov T.V.** (2001): Water disinfection: A practical approach to calculating dose values for preharvest and postharvest applications, Agriculture and natural resources, Publication 7256

**Thurston-Enriquez J.A., Haas C.N., Jacangelo J., Gerba C.P.** (2003): Chlorine Inactivation of Adenovirus Type 40 and Feline Calicivirus, Applied and Environmental Microbiology, Vol. 69, No. 7: 3979 - 3985

**OMS** (2004): Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed.

### **Costituenti dell'acqua**

**UFAPP** (2004): Istruzioni pratiche per la protezione delle acque sotterranee, Ambiente – Esecuzione, Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, Berna

**UFAPP, UFAEG** (2004): NAQUA - Grundwasserqualität in der Schweiz 2002/2003, Bern

**Chaabane H.** (2005): Influence of soil properties on the adsorption-desorption of sulcotrine and its hydrolysis metabolites on various soils, Journal of agricultural and food chemistry 53: 4091 - 4095

**Berné F., Richard Y.** (1991): Water Treatment Handbook, Vol. 1 & 2, 6th Edition, Lavoisier Publishing, Paris

**Schmidt C. K.** (2005): Datenbank zum Verhalten organischer Spurenstoffe bei der Uferfiltration; DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe

**von Gunten U.** (2000): Bromat im Trinkwasser: Ein Problem in der Schweiz?; Gas Wasser Abwasser 10: 705 - 710

**OMS** (2004): Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed.

### **Procedimenti di preparazione dell'acqua potabile**

**Berné F., Richard Y.** (1991): Water Treatment Handbook, Vol. 1 & 2, 6th Edition, Lavoisier Publishing, Paris

**Bolto B. Gregory J.** (2007): Organic Polyelectrolytes in water treatment, Water Research 41: 2301 - 2324

**Botzenhard K.** (1994): Die Beherrschung mikrobiologischer Belastungen bei der Oberflächenwasseraufbereitung nach der SWTR (USA), GWF Wasser/Abwasser 135: 201 - 206

**Conradin F.** (1999): Wasserversorgungs- und Abwassertechnik, 6. Ausgabe, Band 2, Vulkan-Verlag, Essen

**Damakouka I.** (2007): Application of HACCP principles in drinking water treatment, Desalination 210: 138 - 145

## 10. Bibliografia

- Gujer W.** (2002): Siedlungswasserwirtschaft, 2. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York
- Jerman D.** (2006): Interplay of different NOM fouling mechanisms during ultrafiltration for drinking water production, *Water Research* 41: 1713 - 1722
- Masschelein W. J.** (1979): Chlorine Dioxide: Chemistry and Environmental Impact of Oxychlorine Compounds, Ann Arbor Science Publishers Inc, Ann Arbor, Michigan
- Pianta R., Boller M., Janex M.-L., Chappaz A., Birou B., Ponce R., Walther J.-L.** (1998): Micro- and ultrafiltration of karstic spring water, *Desalination* 117: 61 - 71
- Rosenfeldt, E.J., Linden K.G., Canonica S., von Gunten U.** (2006): Comparison of the efficiency of OH radical formation during ozonation and the advanced oxidation processes  $O_3/H_2O_2$  and  $UV/H_2O_2$ , *Water Research* 40: 3695 - 3704
- Schmidt C. K.** (2005): Datenbank zum Verhalten organischer Spurenstoffe bei der Uferfiltration; DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe
- Spellman F. R.** (2000): The Drinking Water Handbook, Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster
- SUVA** (2009): Grenzwerte am Arbeitsplatz 2009; auf WHO-Internetseite erhältlich
- Uhl W.** (2000): Simultane biotische und abiotische Prozesse in Aktivkohlefiltern der Trinkwasseraufbereitung; TU-Berlin Universitätsbibliothek, Berlin
- von Gunten U.** (2003): Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation, *Water Research* 37: 1443 - 1467
- Wang G.-S. et al.** (2007): Cancer risk assessment from trihalomethanes in drinking water, *Science of the Total Environment* 387: 86 - 95
- OMS** (2004): Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations. 3rd ed.

### Metodi di sorveglianza

- Damikouka I., Katsiri A., Tzia C.** (2007): Application of HACCP principles in drinking water treatment, *Desalination* 210: 138 - 145
- Lumpp R.** (1993): Entwicklung eines optisch-chemischen Sensors zur kontinuierlichen Nitratbestimmung in Trink- und Grundwasser, Dissertation, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
- Meissner H.** (1955): Über die Chlorbestimmung im Wasserwerksbetrieb und die Eichmethode zur Bestimmung kleiner Chlormengen auf elektrometrischem Wege, Dissertation, TH Karlsruhe, Karlsruhe

**Roeske W.** (1999): Betriebsmessgeräte zur Kontrolle der Wassergüte, Teil 1, bbr Wasser und Rohrbau 12/1999

**Roeske W.** (2000): Betriebsmessgeräte zur Kontrolle der Wassergüte, Teil 2, bbr Wasser und Rohrbau 1/2000

**Schoenen D.** (1996): Die hygienisch-mikrobiologische Beurteilung von Trinkwasser, GWF Wasser/Abwasser 137: 72 - 82

**Snozzi M.** (1999): Prüfung und Zertifizierung von UV-Anlagen, Gas Wasser Abwasser, 5/99

**SVGW** (2005): W1 Richtlinie für die Qualitätsüberwachung in der Trinkwasserversorgung, Società svizzera dell'industria del gas e delle acque, Zurigo

### **Criteria per l'introduzione di nuovi procedimenti e sostanze**

**DVGW** (2007): Geschäftsordnung zur DVGW-Zertifizierung von Produkten

**Snozzi M.** (1999): Prüfung und Zertifizierung von UV-Anlagen, Gas Wasser Abwasser, 5/99

**SVGW** (2005): W1 Richtlinie für die Qualitätsüberwachung in der Trinkwasserversorgung, Società svizzera dell'industria del gas e delle acque, Zurigo

# 11. Nota

## **Valenza giuridica di questa pubblicazione**

La presente pubblicazione è uno strumento di aiuto all'esecuzione proposto dall'UFSP in veste di autorità di vigilanza sull'acqua potabile. È destinato in primo luogo alle aziende di approvvigionamento idrico, agli studi ingegneristici di consulenza e ai Cantoni e dà concretezza in particolare all'articolo 6 dell'ordinanza sull'acqua potabile. Questa pubblicazione contribuisce in buona misura ad assicurare l'uguaglianza giuridica e la certezza del diritto. Facendo uso di questo testo, le autorità esecutive possono partire dal presupposto di applicare in modo conforme il diritto federale. Soluzioni alternative non sono escluse, purché, in ossequio alla prassi giudiziaria, ne venga dimostrata la conformità al diritto federale.



## **Sigla editoriale**

© Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP)  
Editore: Ufficio federale della sanità pubblica  
Data di pubblicazione: agosto 2010

Per ulteriori informazioni:

UFSP, Protezione dei consumatori, Divisione sicurezza delle derrate alimentari, 3003 Berna  
Telefono +41 (0)31 322 95 86, telefax +41 (0)31 322 95 74  
E-mail: pierre.studer@bag.admin.ch, www.bag.admin.ch

Questa pubblicazione è disponibile anche in tedesco e in francese

Direzione di progetto: Adrian Auckenthaler, UFSP; Urs von Gunten, IFADPA  
Elaborazione del progetto: Matthias Sturzenegger, IFADPA con la collaborazione di Markus Boller, Thomas Egli, Wouter Pronk, Pierre Studer

Layout: Silversign, visuelle Kommunikation, Berna  
Illustrazione: Silversign, visuelle Kommunikation, Berna  
Fotografie: Fotolia

Numero di pubblicazione UFSP: VS 08.10 1200 d 400 f 100i 40EXT1011

Distribuzione:  
UFCL, Distribuzione pubblicazioni, CH-3003 Berna  
www.pubblicazionifederali.admin.ch  
Numero d'ordinazione: 311.150.i

Stampato su carta sbiancata senza cloro