



PROGETTO DI RICERCA

“TECNOLOGIE INNOVATIVE NELL'AMBITO DEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE POTABILI”

Relazione Conclusiva

A cura di:

Prof. Demetrio Pitea

Dott.ssa Serenella Sala

Dott.ssa Tiziana Casa

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	LE CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE E MICROBIOLOGICHE DELLE ACQUE DESTINATE AL CONSUMO UMANO	7
2.1	Aspetti normativi	7
2.2	Parametri chimico fisici.....	11
2.3	Parametri microbiologici.....	13
3.	I TRATTAMENTI DI POTABILIZZAZIONE.....	20
3.1	I disinfettanti per la potabilizzazione	20
3.2	Modalità di disinfezione	21
3.3	Clorazione	21
3.4	La pratica tradizionale della clorazione	22
3.5	La disinfezione di piscine e torri di raffreddamento	22
3.6	I limiti della disinfezione	23
4.	I SOTTOPRODOTTI DELLA DISINFEZIONE.....	23
4.1	Metodologie di controllo dei sottoprodotti di disinfezione	24
4.2	Gli standard per i sottoprodotti di disinfezione.....	25
4.3	Gli effetti sulla salute	26
4.4	La cancerogenicità dei prodotti di disinfezione	27
4.5	Gli effetti teratogeni	28
4.6	Prospettive per future ricerche	28
5.	I MATERIALI DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE.....	29
5.1	Metalli e loro leghe.....	30
5.2	Materiali a base di leganti idraulici, smalti porcellanati, ceramiche e vetri	33
5.3	Materie plastiche, gomme naturali e sintetiche.....	35
5.4	Considerazioni relative ai materiali.....	37
	Interazioni tra acqua e materiali.....	37
6.	LE TECNOLOGIE AMBIENTALMENTE SOSTENIBILI	41
6.1	Apparecchiature per il trattamento domestico di acque potabili	52
7.	IL PROTOCOLLO PER LA VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE	53
7.1	Analisi di un caso di studio reale - AEM Cremona	53
7.2	Proposta di protocollo per la valutazione delle tecnologie.....	54
8.	CONCLUSIONI E PROPOSTE	55
9.	DIARIO DELLE ATTIVITA'	56

1. INTRODUZIONE

L'acqua è l'alimento principale di ogni essere vivente, consumato dall'uomo con continuità e in quantità maggiore di ogni altro alimento. L'acqua viene utilizzata anche per pulire e igienizzare, contribuendo così a prevenire le malattie e ad assicurare un miglior livello di qualità della vita. Questo però è possibile fino a quando l'acqua mantiene una qualità sufficiente per poter essere definita salubre; in caso contrario, essa costituisce un formidabile fattore di diffusione delle malattie (D.lgs.31/01). La crescente produzione di rifiuti industriali e urbani ha infatti spesso portato a considerare le acque superficiali e le acque sotterranee come recettori di scarichi, talvolta inquinati da sostanze tossiche o cancerogene (quali metalli, solventi, pesticidi, oli). A titolo di esempio: 10 litri di trielina (del valore di circa 5 euro) sono in grado di inquinare 1 milione di m³ di acqua, per la cui depurazione sarà poi necessario sostenere un costo di 20 mila euro.

Per garantire ai consumatori uno standard di qualità dell'acqua, è stata elaborata a livello europeo una strategia integrata. Il principio è molto semplice:

- in primo luogo, vengono selezionati i corsi d'acqua che potranno essere usati per produrre acqua potabile, scartando quindi quelle acque che, per la presenza di massicci insediamenti produttivi o per altre pratiche, risultino eccessivamente inquinate;
- in secondo luogo, vengono dettate regole per prevenire un utilizzo, da parte dell'uomo, che non abbia precisi requisiti di qualità.

Il D.Lgs. 152/99, art. 7, 8 e allegato 2 (che sostituisce il DPR 515/82), detta quindi i criteri in base ai quali le Regioni classificano le acque superficiali utilizzabili per la potabilizzazione, scartando i corsi o quei tratti dei corsi d'acqua in cui l'inquinamento in atto è troppo elevato. La classificazione riguarda solo le acque superficiali (fiumi e laghi), in quanto sono, rispetto alle acque sotterranee, più soggette ad inquinamento e d'immediata verifica visiva del percorso. Sul fronte delle acque sotterranee, il D.Lgs. 31/01 (che sostituisce il DPR 236/88) stabilisce i requisiti di qualità che devono possedere le acque destinate al consumo umano, qualunque ne sia l'origine (sia se prelevate direttamente alla fonte, sia se distribuite da acquedotti pubblici).

Al di là degli aspetti normativi che garantiscono la salubrità, i consumatori richiedono anche che l'acqua sia "buona". Per questo motivo, la richiesta di garanzie e di alti standard qualitativi delle acque potabili è anche rafforzata dall'azione delle associazioni di consumatori. A tale proposito è interessante segnalare l'iniziativa di Altro consumo (<http://www.altroconsumo.it/asp/SmartInquiry/SmartInquiry.aspx?src=99871>) che rappresenta una sorta di test relativo al livello di gradimento dell'acqua del rubinetto da parte dei consumatori.

Diversi fattori possono influire sulla qualità delle acque (Fig 1).

In primo luogo (Punto 1. in Figura 1) le caratteristiche chimico-fisico-microbiologiche delle acque superficiali e sotterranee captate ad uso potabile: esse, infatti, possono influenzare sia gli aspetti di salubrità che quelli organolettici dell'acqua destinata al consumatore finale.

Nella 75% dei casi, in Italia, le acque captate richiedono (2.) specifici interventi di potabilizzazione attraverso trattamenti sia fisici che chimici. Questi ultimi possono influenzare significativamente le caratteristiche organolettiche delle acque e modificarne le proprietà chimiche.

Dopo il trattamento di potabilizzazione, le acque vengono distribuite attraverso le reti pubbliche (3.), venendo a contatto con diverse tipologie di materiali utilizzati sia per le tubature che per il loro raccordo. L'acqua può interagire con tali materiali provocandone la corrosione e portando in soluzione alcuni elementi (in particolare metalli), con conseguente aumento della loro concentrazione. Inoltre, le sostanze

utilizzate per la potabilizzazione, i cosiddetti Disinfection By Products (DBP), possono dare luogo a reazioni chimiche che portano alla formazione di metaboliti (4.): tali metaboliti possono influenzare la salubrità delle acque, in particolare nel caso di formazione di composti alogenati.

All'ingresso nelle singole abitazioni, l'acqua incontra altri materiali (5.) utilizzati per le reti private degli edifici e molto diversificati in base all'età degli stessi. Per ovviare ad alcuni inconvenienti connessi alla qualità delle acque, infine, gli utenti possono utilizzare dispositivi volti al miglioramento di alcune caratteristiche chimico/fisiche (6.).

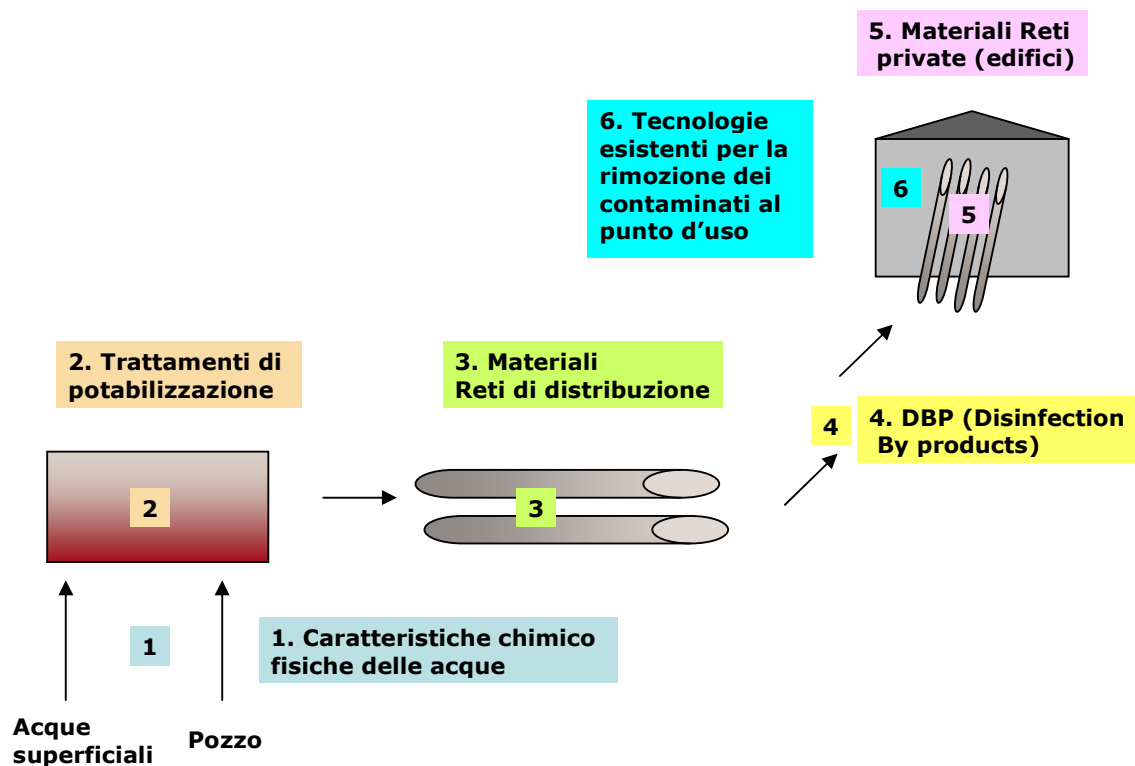


Fig.1 – Schema relativo al destino delle acque per uso potabile post captazione

In Italia, circa l'80% dell'acqua potabile deriva dall'utilizzo di acque sotterranee e circa il 20% è invece superficiale. Oltre il 90% della popolazione riceve l'acqua grazie agli acquedotti. Questi ultimi sono circa 10.000, dei quali 1.600 con bacini d'utenza superiori ai 5.000 abitanti. Ancora, oltre l'80% delle acque distribuite dagli acquedotti sul territorio nazionale viene disinfettato utilizzando come agenti cloro gassoso, ipoclorito di sodio e biossido di cloro. L'attività di controllo, eseguita con regolarità e capillarità su tutto il territorio nazionale, indica che su 3,5 milioni di analisi effettuate, oltre il 95% dei valori sono risultati conformi agli standard qualitativi previsti dalla normativa vigente. Ma la natura dei suoli, e soprattutto le contaminazioni dell'acqua, causate in vario modo dalle attività dell'uomo, possono condizionare inevitabilmente le caratteristiche originarie dell'acqua. Questo spiega perché non si possa parlare di una sola acqua potabile, ma di tante acque, a seconda del sottosuolo da cui originano, delle condizioni degli acquedotti in cui vengono raccolte e delle tubature attraverso cui arrivano fino ai rubinetti delle nostre case.

Tutto ciò rende spesso necessario un processo di potabilizzazione, cioè un trattamento che consente di assicurare, per l'acqua che ne sia priva, gli standard qualitativi necessari a tutelare la salute pubblica e richiesti per legge. Si tratta di un procedimento delicato, diverso a seconda della natura dell'acqua da trattare e che include una fase di disinfezione finale tramite mezzi chimici e fisici; in ogni caso, i

processi utilizzati devono essere realizzati minimizzando l'impatto sulla qualità dell'acqua senza compromettere il risultato finale.

I dispositivi utilizzati, che sono sottoposti a specifica regolamentazione (si veda a proposito il paragrafo 6.1), rappresentano l'elemento focus dell'analisi.

Il progetto di ricerca, infatti, si inserisce in questo contesto con due finalità (Fig. 2):

1. la valutazione dello stato delle conoscenze relativo all'interazione tra i materiali costituenti le reti e i prodotti di disinfezione e potabilizzazione al fine di far emergere eventuali criticità ed elementi per i quali è necessario uno specifico approfondimento;
2. la realizzazione di un database delle migliori pratiche e delle tecnologie più innovative nell'ambito del trattamento delle acque in relazione alle problematiche che possono insorgere sia nel passaggio dell'acqua potabile nelle condotte idriche per raggiungere il punto d'uso, sia nelle interazioni dell'acqua con gli impianti idrici domestici.

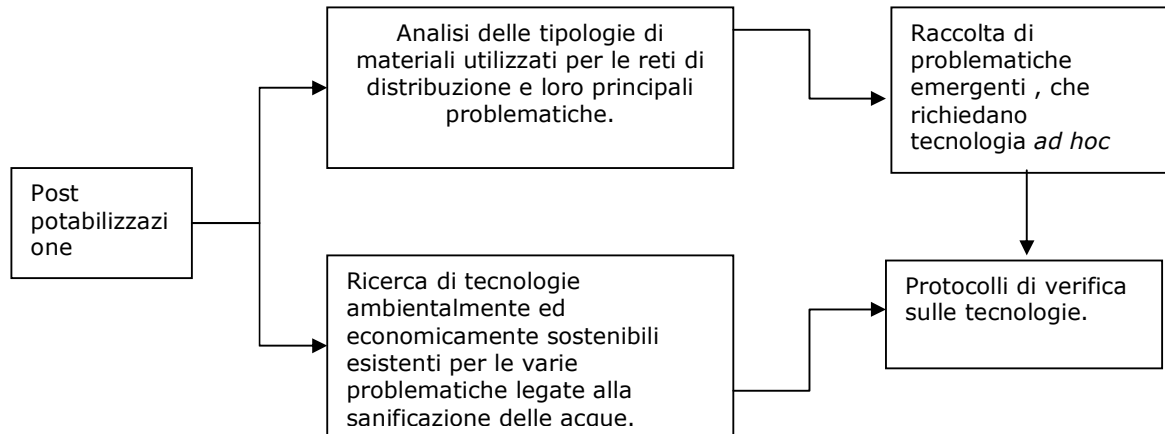


Fig. 2 – Schema delle attività di ricerca svolte

Anche se le acque di rubinetto sono acque potabili, spesso gli utenti finali denunciano un malcontento generalizzato, dovuto alla percezione di un cattivo sapore e/o odore e alla presenza di particelle (torbidità); soprattutto negli ultimi anni, è in crescita la preoccupazione relativa agli aspetti microbiologici connessi alla salubrità delle acque.

La ricerca è stata incentrata sull'analisi approfondita delle dinamiche connesse ai problemi legati alla potabilizzazione dell'acqua e all'esame di tecnologie sinergiche, semplici, economicamente, ambientalmente e socialmente sostenibili, utilizzabili al punto d'uso per rispondere ad alcune esigenze prioritarie emerse da indagini al consumo:

- abbattimento della durezza dell'acqua;
- sterilizzazione e abbattimento della carica batterica;
- rimozione delle sostanze indesiderate (metalli, metabolici ecc);
- risparmio idrico;
- comfort di utilizzo.

La ricerca è stata avviata a partire dalle seguenti considerazioni di base:

- Le acque distribuite nelle reti pubbliche sono di buona qualità sia dal punto di vista chimico che batteriologico (l'acqua distribuita è sottoposta a continui controlli).

- La tratta post-contatore è determinante per garantire la qualità e sicurezza dell'acqua al punto d'uso. È infatti proprio nella tratta finale che l'acqua può subire alterazioni chimico-fisiche e batteriologiche legate alla corrosione e migrazione di metalli, alla proliferazione batterica per stagnazione in serbatoi o in punti morti delle condutture.

2. LE CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE E MICROBIOLOGICHE DELLE ACQUE DESTINATE AL CONSUMO UMANO

Le caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche delle acque costituiscono gli elementi di valutazione preliminari per inquadrare le problematiche connesse al miglioramento della qualità delle acque potabili nel punto di consumo finale.

2.1 Aspetti normativi

La normativa nazionale attualmente in vigore per la disciplina la qualità delle acque ad uso umano al fine di proteggere la salute dagli effetti negativi della contaminazione delle acque (D.Lgs. 31/01 e D.Lgs. 27/02), recepisce le direttive europee più recenti.

Il D.Lgs. 152/99 - artt. 7, 8 e allegato 2 - (che sostituisce il DPR 515/82) detta i criteri in base ai quali le Regioni dovranno classificare le acque superficiali che potranno essere utilizzate per la potabilizzazione, scartando i corsi o quei tratti dei corsi d'acqua in cui l'inquinamento in atto è troppo elevato. La classificazione riguarda solo le acque superficiali (fiumi e laghi), in quanto sono, rispetto alle acque sotterranee, più soggette ad inquinamento e d'immediata verifica visiva del percorso.

Il D.Lgs. 31/01 (che sostituisce il DPR 236/88) stabilisce i requisiti di qualità che devono possedere le acque destinate al consumo umano, qualunque ne sia l'origine (sia se vengano prelevate direttamente alla fonte, o sia se vengano distribuite da acquedotti pubblici). Secondo tale decreto, per acque destinate al consumo umano si intendono tutte le acque che siano (art. 2) :

- destinate al consumatore (per usi domestici, tramite acquedotti o cisterne);
- utilizzate da un'impresa alimentare come ingrediente per la fabbricazione, il trattamento e la conservazione di cibi e bevande;
- distribuite da un'impresa alimentare tramite bottiglie o contenitori. In questa categoria è inclusa una nuova forma di distribuzione dell'acqua destinata al consumo umano (da non confondere con le acque minerali naturali), denominata da talune aziende come "acqua da tavola".

Ciò significa che :

- il Dlgs 31/01 allarga il concetto di potabilità non solo alle acque destinate all'alimentazione, ma anche ad usi igienici o, più in generale, domestici (pulizia, innaffiamento, ecc.), in quanto i rischi possono sussistere anche se dell'acqua non viene fatto un uso alimentare (per esempio, rischi di dermatite per contatto con sostanze contenenti nichel, rischio di tumori cutanei per contatto con idrocarburi policiclici aromatici);
- il Dlgs 31/01 regola anche le acque utilizzate nelle imprese alimentari, quando tali acque entrano a far parte o possono comunque influenzare il prodotto alimentare finale. Quindi, il titolare dell'impresa è responsabile della qualità dell'acqua impiegata nel ciclo di produzione, sia che si tratti di acqua utilizzata come materia prima, sia che si tratti semplicemente di acqua utilizzata per il lavaggio dei prodotti o dei macchinari.

Controllo

E' diffusa la convinzione che il controllo di qualità sull'acqua erogata sia unicamente o prevalentemente di competenza della struttura sanitaria (ASL). Invero tale convinzione è errata perché contrasta con precise disposizioni normative nazionali, nonché con direttive e circolari delle Regioni per richiamare l'attenzione degli enti acquedottistici sul rispetto di una così delicata funzione di controllo ai fini della garanzia della qualità dell'acqua erogata.

I controlli obbligatori che il Dlgs 31/01 prevede sono di due tipi :

- controlli esterni: sono di competenza della ASL, mirano ad accertare la qualità dell'acqua distribuita per il consumo umano onde adottare, in caso di fornitura di acqua di qualità non conforme, i provvedimenti necessari a salvaguardare la salute pubblica e, comunque, per applicare le sanzioni previste;
- controlli interni: sono controlli che l'ente gestore dell'acquedotto (o il titolare dell'azienda alimentare) è tenuto ad eseguire per verificare e garantire egli stesso le condizioni di potabilità dell'acqua che distribuisce alla popolazione (o che usa come ingrediente nel ciclo produttivo di cibi e bevande). Gli acquedotti devono dotarsi di un laboratorio interno per il controllo analitico dei parametri del ciclo della potabilizzazione (art. 7). La legge consente altresì di appoggiarsi in tutto o in parte a laboratori esterni qualificati.

La localizzazione dei punti di prelievo è specificata nell'art. 6 del D.Lgs. 31/01. I controlli periodici devono essere quindi effettuati:

- al punto di presa delle acque (alla sorgente per le acque superficiali e ai pozzi per le acque sotterranee);
- agli impianti di adduzione (pompe aspiranti, ecc);
- nei serbatoi di accumulo;
- alla rete di distribuzione;
- agli impianti di confezionamento di acqua in bottiglia o in contenitori;
- sulle acque utilizzate dalle imprese alimentari;
- sul mezzo di trasporto, quando l'acqua viene fornita tramite cisterna.

Per quanto riguarda le acque utilizzate dalle industrie alimentari, i prelievi e le relative analisi devono essere ripetute almeno una volta all'anno per ciascun punto di prelievo interessato

Obblighi

L'identificazione dei soggetti tenuti a rispettare gli obblighi derivanti dal D.Lgs. 31/01 presuppone, come visto, che la distribuzione dell'acqua a terzi derivi da un'attività organizzata, sia che essa avvenga:

- tramite consumo diretto (acqua fornita da acquedotti, cisterne mobili o imbottigliata);
- tramite consumo indiretto (acqua utilizzata per la preparazione di prodotti alimentari).

Nella Tab. 1.1 sono riassunti gli obblighi per i gestori degli acquedotti e per le imprese alimentari.

Valori limite : Concentrazione Massima Ammissibile e Valori Guida

Le analisi tossicologiche di laboratorio non riguardano (né potrebbero riguardare) tutti gli innumerevoli composti chimici esistenti (tanto più che ogni anno vengono immessi nel mercato 500 nuove sostanze chimiche, i cui effetti sulla salute dell'uomo, nella maggior parte dei casi, non sono noti).

Tab. 1.1 – Obblighi di legge per i gestori degli acquedotti e per le imprese alimentari.

Obblighi per i gestori degli ACQUEDOTTI	Obblighi per le IMPRESE ALIMENTARI
<ul style="list-style-type: none"> • Dotazione di laboratori interni per il controllo (consentito ricorrere a laboratori esterni riconosciuti) • Controlli periodici sull'acqua (campionamento ed analisi di laboratorio) • Rispetto di tutti i parametri contenuti nell'allegato I al DLgs 31/01 (conformemente ai parametri richiesti nel "controllo di routine" e nel "controllo di verifica") • Tempestiva attuazione dei provvedimenti necessari a ripristinare la qualità dell'acqua 	<ul style="list-style-type: none"> • Controllo almeno annuale sull'acqua utilizzata nel processo produttivo • Rispetto di tutti i parametri contenuti nell'allegato I al DLgs 31/01 (conformemente ai parametri richiesti nel "controllo di routine" e nel "controllo di verifica") • Garanzia di rispetto della qualità dell'acqua utilizzata in ogni punto di prelievo (specificato nell'art. 6): al punto di presa, nei serbatoi di accumulo, negli impianti di lavaggio, ecc.)

La scelta del legislatore è stata quindi quella di fissare gli standard di sicurezza per tutta quella serie di parametri che più frequentemente determinano l'inquinamento dell'acqua (riportati in allegato I al DLgs 31/01). Sono stati, pertanto, fissati dei limiti che non possono essere mai superati perché, in caso contrario, il consumo dell'acqua diventerebbe pericoloso per la salute. Le tabelle riportate in allegato I, oltre a introdurre nuovi parametri più specifici per la qualità delle acque, fissano limiti più restrittivi per i metalli valutati più tossici (piombo, nichel, arsenico).

In particolare, per una serie di parametri, nella normativa viene indicato il valore di Concentrazione Massima Ammissibile (CMA) e il valore guida (VG). I parametri considerati sono:

- parametri organolettici (odore, colore, sapore, torbidità);
- parametri chimico-fisici (tipici delle caratteristiche naturali delle acque come, per esempio, temperatura, durezza, contenuto di solfati);
- parametri concernenti sostanze indesiderabili (nitrati, ferro, ammoniaca, ecc.);
- parametri concernenti sostanze tossiche (arsenico, piombo, antiparassitari, ecc.);
- parametri microbiologici (coliformi, streptococchi fecali, ecc.).

Nell'acqua è possibile ricercare e determinare quantitativamente un grandissimo numero di elementi e composti sia inorganici che organici. Le sostanze chimiche selezionate per la definizione delle linee guida introdotte nelle normative includono quelle potenzialmente pericolose per la salute umana, quelle ritrovate con relativa frequenza nell'acqua potabile e quelle rilevate a concentrazioni relativamente alte. Si deve tuttavia evidenziare che i rischi sanitari legati alla presenza nell'acqua di sostanze chimiche tossiche sono differenti da quelli dovuti ai contaminanti microbiologici. Le sostanze chimiche che possono dar luogo a intossicazioni acute sono poche, a meno che non si verifichino contaminazioni accidentali massicce di una risorsa idrica. Sono comunque di particolare rilevanza quei contaminanti che hanno proprietà tossicologiche cumulative come, per esempio, i metalli pesanti.

Nella Tab. 1.2 sono riportati i valori di Concentrazione Massima Ammissibile (CMA) e il valore guida (VG) previsti dal D.Lgs. 31/01.

Tab. 1.2 – Valori di Concentrazione Massima Ammissibile (CMA) e valori guida (VG) fissati dal D.Lgs. 31/01

Parametri	Unità di misura	CMA	VG
pH		pH ≤ 9,5	6,5 ≤ pH ≤ 8,5
Conducibilità	µs/cm a 20°C	2500	400
Durezza	gradi francesi °F		15-50 °F
Nitrati	mg/L NO ₃	50	5
Nitriti	mg/L NO ₂	0,5	0,1
Cloruri	mg/L Cl	250	25
Fluoruri	mg/L F	1,5	
Ferro	µg/L Fe	200	50
Manganese	µg/L Mn	50	20
Ammonio	mg/L NH ₄ ⁺	0,5	0,05
Cloro residuo libero	mg/L Cl ₂	0,2	
Colore	mg/L (Pt/Co)	20	
Torpidità	mg/L SiO ₂	10	1
Alluminio	µg/L Al	200	50
Cromo VI	µg/L Cr	50	
Rame	mg/L Cu	1	0,1
Cianuro	µg/L CN	50	
Zinco	µg/L Zn	3000	100
Nichel	µg/L Ni	20	
Calcio	mg/L Ca		100
Magnesio	mg/L Mg	50	30
Sodio	mg/L Na	150	29
Solfato	mg/L SO ₄	200	25
Ossidabilità	mg/L O ₂	5	
Fosforo	µg/L P ₂ O ₅	5000	
Escherichia coli	UFC/100 mL	0	0
Enterococchi	UFC/100 mL	0	0
Coliformi totali	UFC/100 mL	0	0
Carica batterica totale a 37°C	UFC/mL		10
Carica batterica totale a 22°C	UFC/mL		100

2.2 Parametri chimico fisici

Nel D.Lgs. 31/01 si fa riferimento ad una serie di parametri chimico-fisici che devono essere monitorati nelle acque destinate al consumo umano. Di seguito si riportano alcuni aspetti fondamentali relativi a ciascun parametro.

pH

In ogni acqua sono contenute piccole quantità di ioni idrogeno (forma chimica: H^+) e ioni ossidrilici (OH^-). La reazione acida, alcalina o neutra di un'acqua dipende dalla concentrazione di ioni idrogeno. Se in un'acqua ci sono più ioni idrogeno che ioni ossidrilici, l'acqua è acida; in caso contrario è basica (detta anche alcalina); se il numero di ioni H^+ è uguale a quello degli ioni OH^- , l'acqua è neutra. Poiché la concentrazione degli ioni H^+ (e degli ioni OH^-) è espressa da numeri molto piccoli, il valore della concentrazione è convenzionalmente espresso come $pH = -\log(H^+)$. Il simbolo pH (proposto nel 1909 dal chimico danese S.P.L. Soerensen) è correlato quindi alla concentrazione degli ioni idrogeno (H^+) nella soluzione acquosa.

Un valore di $pH = 7$ indica che il numero di ioni idrogeno (H^+) è uguale a quello degli ioni ossidrilici (OH^-): una soluzione neutra ha $pH = 7$; una soluzione basica ha $pH > 7$; una soluzione acida ha $pH < 7$.

Il pH delle acque naturali è un elemento di giudizio molto importante: valori molto più bassi o più alti dell'intervallo consentito (Tab. 2) indicano un inquinamento rispettivamente da acidi o da basi forti.

Conducibilità

La conducibilità è un indicatore della quantità di ioni (e, quindi, sali) presenti e, in questo senso, indica con immediatezza il grado di mineralizzazione delle acque. La conducibilità si esprime in microsiemens per cm ($1\mu S/cm = 10^{-6} \text{ ohm}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$); fisicamente corrisponde all'inverso della resistenza offerta dall'acqua al passaggio della corrente elettrica.

Se il valore di conducibilità è alto, si tratta di un'acqua ricca di Sali; se è basso, si tratta di un'acqua povera di sali. La maggior parte delle acque ha una conducibilità compresa da 100 a 1000 $\mu S/cm$.

Durezza

La durezza dell'acqua è dovuta alla naturale presenza in essa di ioni calcio (Ca^{2+}) e magnesio (Mg^{2+}); quest'ultimo, normalmente, è presente in concentrazione minore rispetto al calcio.

La durezza è espressa in diversi modi; frequentemente, sono riportate le seguenti espressioni:

La 'Durezza totale' è la durezza propriamente detta: essa può essere espressa in gradi francesi F ($1^\circ F = 10 \text{ mg/L } CaCO_3$) o in gradi tedeschi D ($1^\circ D = 10,0 \text{ mg/L } CaO$). I valori consigliati sono compresi tra 15 e 50 $^\circ F$.

La 'Durezza temporanea' o 'durezza carbonica' è quella frazione della durezza totale che può essere allontanata dall'acqua per ebollizione prolungata: gli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} si legano agli ioni carbonato (CO_3^{2-}) e formano composti insolubili (rispettivamente, carbonato di calcio, $CaCO_3$, e carbonato di magnesio, $MgCO_3$, che precipitano. Il valore della durezza temporanea dipende anche dalla concentrazione iniziale dei bicarbonati (HCO_3^-) presenti.

La frazione di durezza residua dopo questa operazione (ebollizione) è detta 'durezza permanente' o 'durezza non carbonica' ed è dovuta alla presenza di anioni diversi dai bicarbonati: principalmente, solfati, nitrati, cloruri e fluoruri. In dipendenza dal pH e dall'alcalinità, un'acqua molto dura ($> 38^\circ F$ o $21^\circ D$) provoca deposito di incrostazioni nelle tubazioni, in particolare negli impianti di riscaldamento, e richiede nel lavaggio della biancheria un elevato consumo di detersivi; un'acqua dolce ($< 13^\circ F$ o $7^\circ D$), al contrario, è corrosiva per le tubazioni metalliche.

Sebbene un certo numero di studi epidemiologici abbia dimostrato l'esistenza di una correlazione negativa tra durezza dell'acqua potabile e malattie cardiovascolari, i dati disponibili non consentono di concludere che tale associazione sia causale. Non viene pertanto proposto alcun valore di linea guida basato su criteri di protezione della salute. Tuttavia, il grado di durezza di un'acqua può influire sulla sua accettabilità in termini di sapore. L'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) indica infatti un valore massimo di 500mg/L di ioni calcio, al fine di evitare sapori sgradevoli dell'acqua. Inoltre, l'assunzione di elevati quantitativi di calcio potrebbe acuire il quadro di calcolosi renale.

Alcalinità carbonica (CO_3^{2-}) e bicarbonica (HCO_3^-)

In generale, l'alcalinità indica l'insieme delle sostanze che reagiscono con un acido. Nelle acque naturali queste sostanze sono costituite per la massima parte da carbonati e bicarbonati. I carbonati e i bicarbonati hanno un effetto stabilizzante sul pH dell'acqua: si parla di 'potere tampone'. Carbonati, bicarbonati e biossido di carbonio, che forma l'acido carbonico, sono in equilibrio tra loro e la posizione dell'equilibrio dipendendo dal pH dell'acqua. In un'acqua con $\text{pH} = 7$, per esempio, si ha circa il 20% di biossido di carbonio e circa 80% di bicarbonati mentre i carbonati sono praticamente assenti. Con un $\text{pH} = 8,5$, nell'acqua si trovano solo bicarbonato; a $\text{pH} > 8,5$ aumenta la quota dei carbonati a sfavore dei bicarbonati. Come descritto nel paragrafo "durezza", l'alcalinità bicarbonica è collegata alla durezza carbonica. Un'acqua dura con un'alta alcalinità bicarbonica se scaldata causa molti depositi incrostanti (per esempio, negli impianti di riscaldamento).

Ammonio, Nitrati e Nitriti

Sono indicatori di contaminazione organico-fecale, in quanto derivano principalmente da processi di decomposizione del materiale organico azotato (proteine) presente in acqua; possono derivare anche dall'utilizzo di fertilizzanti. Mentre l'ammoniaca (ammonio) e i nitriti indicano una contaminazione organica più recente, i nitrati indicano una contaminazione progressiva, perché essi costituiscono l'ultimo stadio del processo di ossidazione dell'ammoniaca. Tuttavia, i nitrati possono derivare anche dalla solubilizzazione del materiale roccioso o dal dilavamento dei terreni con fertilizzanti a base di nitrato d'ammonio.

Elevate concentrazioni di nitrati possono provocare la metaemoglobinemia nei neonati (cioè impediscono al sangue di portare l'ossigeno ai tessuti). I nitrati introdotti nell'organismo si riducono a nitriti che, a contatto con le ammine ($-\text{NH}_2$), formano le nitrosammine, sospette di essere cancerogene. Il valore guida (5 mg/L) per i nitrati è stato stabilito per prevenire la metaemoglobinemia infantile.

Cloruri

I cloruri nell'acqua derivano dalla composizione dei suoli, da scarichi industriali e urbani, dall'uso dei sali utilizzati per sciogliere il ghiaccio sulle strade. In funzione dell'alcalinità o dell'acidità dell'acqua, concentrazioni eccessive di cloruri accelerano la corrosione dei metalli nelle reti di acquedotto. Concentrazioni di cloruri superiori a 250 mg/L possono causare un sapore indesiderabile all'acqua e alle bevande. Effetti avversi alla salute si possono verificare a concentrazioni uguali o superiori a 200 mg/L.

Fluoruri

La loro origine è solitamente naturale (rocce vulcaniche) ma possono anche derivare da industrie di fertilizzanti e dell'alluminio. Generalmente i livelli di fluoruri nelle acque sono inferiori a 1,5 mg/L ma, in aree ricche di minerali contenenti fluoruri, le acque sotterranee possono contenerne circa 10 mg/L.

Non hanno effetti tossici ma livelli di fluoruri superiori a 1,5 mg/L possono causare la fluorosi dentale (annerimento dello smalto dei denti). Poiché, d'altra parte, i fluoruri hanno effetti benefici nella prevenzione della carie dentaria, in alcuni Paesi vengono aggiunti artificialmente all'acqua potabile (fino a 1 mg/L).

Solfati

La presenza dei solfati nelle acque deriva da numerosi minerali, soprattutto depositi di gesso e dalle deposizioni atmosferiche.

I solfati sono uno degli anioni meno tossici; tuttavia, alte concentrazioni di solfati possono causare effetti lassativi e irritazioni gastrointestinali. In concentrazioni superiori a 250 mg/L, i solfati provocano un sapore amaro all'acqua.

Nichel

Può derivare da effluenti di acciaierie e industrie chimiche.

Può provocare la comparsa di dermatiti da contatto, patologie gastrointestinali, epatiche e renali. È genotossico e cancerogeno.

Rame

Può derivare dalla corrosione delle tubature.

Per brevi esposizioni può provocare: dolori gastrointestinali e, a lungo termine, danno a fegato e reni.

Cromo

È presente in natura nella crosta terrestre e, in piccole quantità, in organismi vegetali e animali; è presente anche nei rifiuti industriali.

È genotossico.

Cianuri

Derivano dagli scarichi delle industrie metallurgiche e dall'uso di fertilizzanti.

Possono provocare danni alla tiroide e al sistema nervoso centrale.

Ferro

È uno tra i principali componenti della crosta terrestre. Può derivare dall'uso di flocculanti e per rilascio dalle tubature.

Può provocare disturbi gastrointestinali.

Sodio

Deriva dai depositi di salgemma.

Può provocare nausea, vomito, ipertensione arteriosa, contratture muscolari.

Alluminio

Viene utilizzato come flocculante.

È tossico; può indurre la comparsa del morbo di Alzheimer.

2.3 Parametri microbiologici

Il D.Lgs. 31/01 fissa una serie di parametri microbiologici che devono essere monitorati nelle acque destinate al consumo umano. Di seguito, si riportano alcuni aspetti fondamentali relativi a ciascun parametro.

Coliformi fecali (Escherichia coli)

La loro presenza è indicatore di contaminazione recente, perché non si adattano bene all'ambiente esterno. Poiché sono facilmente controllabili con le normali tecniche di disinfezione, la loro presenza indica inefficienza del sistema di disinfezione. Alcuni ceppi patogeni sono in grado di produrre enterotossine che inducono ipersecrezione dei liquidi nell'intestino. Patologia: colite emorragica.

Ai Coliformi fecali (dei quali si prescrive l'assenza in campioni di 100 mL d'acqua) appartiene un gruppo di batteri costituito in prevalenza da *Escherichia coli*, lattosio fermentanti con idrolasi termostabili; ricade nel gruppo anche qualche specie di *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter* termotolleranti che abbia acquisito la capacità di svilupparsi a $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Coliformi termotolleranti (in precedenza definiti termostabili) possono essere presenti in effluenti industriali o nel terreno a seguito del decadimento delle piante, o, più in generale, della sostanza organica. Se essi sono presenti si consiglia di ricampionare immediatamente l'acqua da sottoporre a nuovi accertamenti. Il significato da attribuire ai Coliformi fecali in rete è quello di contaminazione in atto. Il loro rinvenimento in acque destinate al consumo umano, segnala, anche, la mancata efficienza del trattamento di clorazione.

Coliformi totali

La loro presenza è indicatore di inquinamento pregresso, poiché sono organismi facilmente adattabili all'ambiente esterno, ma non di contaminazione fecale. Inoltre sono indicatori dell'inefficienza dell'impianto o dell'inadeguatezza della rete, perché questi microrganismi possono ricomparire in rete per contaminazione secondaria o per fenomeni di ricrescita batterica, a causa della presenza di carbonio organico assimilabile.

Per Coliformi totali si intende quel gruppo di specie, appartenenti a più di un genere delle Enterobatteriacee (*Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter* e pochi altri), che provocano entro 24-48 h, alla temperatura di $35-37^\circ\text{C}$, la fermentazione del lattosio con produzione d'acido e gas in terreni idonei.

Si tratta di batteri bastoncellari, gram negativi, non sporigeni, aerobi o facoltativamente aerobi, beta-galattosidasi positivi, ossidasi negativi.

La concentrazione dei Coliformi non fecali, in quanto correlata a specie di maggiore adattabilità all'ambiente esterno e quindi capaci di una più lunga sopravvivenza, è meno necessariamente riferibile a una contaminazione fecale recente.

Nelle acque potabili, i Coliformi totali devono essere assenti nella maggior parte delle analisi (95%): si tollera una presenza limitata (solo il 5% delle analisi eseguite e non oltre il livello di 3-5 U.F.C./100 mL) in considerazione che in questo gruppo sono compresi germi ambientali, quali *Serratia* (*S. fonticola*), *Rahnella* (*R. aquatilis*), *Buttauxiella* (*B. agrestis*) accanto ai generi che si ritenevano in precedenza l'unica espressione d'inquinamento tellurico: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, anche se alcuni di loro potevano essere associati occasionalmente alle feci.

Se sono presenti Coliformi totali in assenza di quelli termotolleranti o di *E. coli* è opportuno identificarne la specie per ipotizzarne l'origine ed eseguire un'accurata ispezione sanitaria. Il loro ritrovamento, tollerabile alla fonte, non lo è più in rete. In questo ultimo caso lo potrebbe essere solo per le acque non trattate, ma unicamente se la loro comparsa fosse contenuta, sporadica e occasionale.

A seguito di due successivi ritrovamenti si dovrebbe pianificare un intervento disinfettivo o installare un impianto di potabilizzazione. Qualora anche questo non raggiungesse lo scopo, è obbligatorio varare piani per proteggere meglio la sorgente o trovare altri punti da cui derivare l'acqua.

I significati da dare alla presenza dei Coliformi totali sono dunque: superficialità ovvero contatto dell'acqua con l'ambiente esterno; contaminazione in atto; presenza di

carbonio organico assimilabile, che può indurre ricrescita di questi organismi in rete; inefficienza della disinfezione.

Enterococchi

La presenza di tali organismi in rete è indicatore dell'inefficienza di clorazione, mancanza di un sistema di pressione stabile all'interno delle tubature, tale da non consentire la penetrazione dei germi dal suolo o da fognature vicine. Gli Enterococchi resistono alla disidratazione e, quindi, la loro presenza deve essere accertata sia dopo la messa in posa di tubature che dopo le riparazioni. Sono anche indicatore di contaminazione da parte di acque superficiali e indicatore di rischio di trasmissione di malattie a circuito oro-fecale. Patologia: infezioni al tratto urinario, ascessi intraddominali, infezioni dei tessuti molli. La norma prescrive la loro assenza in un volume di 100 mL d'acqua.

Gli streptococchi fecali includono oggi due generi: Streptococcus (S.bovis, S.equinus) ed Enterococcus, cui appartengono le specie E.avium, E.coecorum, E.durans, E.faecalis, E.faecium, E.allinarum, E.hirae mundtii, presenti nelle feci animali, ma anche E.casseliflavus, E.faecalis liquefaciens, E.solitarius, E.malodoratus, diffuse sulle piante.

Gli Streptococchi fecali sensu stricto, sono quelli che possiedono l'antigene D di Lancefield, cioè quelli che un tempo erano detti Streptococcus faecalis, S.faecium, S.durans, S.bovis, S.equinus e S.salivarius. Vi appartengono diverse specie (S. faecalis, S. faecium, ecc.).Di essi si affermava che non si moltiplicano nell'ambiente, ma questa asserzione è vera solo per gli streptococchi fecali tradizionalmente definiti.

Rispetto ai Coliformi, tutti gli streptococchi fecali sono più resistenti all'ambiente esterno, alla clorazione e al disseccamento cui possono andare incontro negli aerosols aerodispersi e nel suolo.

Il significato da attribuire al ritrovamento di S.fecali in rete è: contaminazione in atto; inefficienza del trattamento di clorazione; presenza d'alternanze nell'erogazione dell'acqua, ossia mancanza di uno stato di pressione stabile all'interno della tubatura, tale da non consentire la penetrazione di questi germi dal suolo o da fognature vicine.

Inoltre, si tratta d'organismi che resistono meglio alla disidratazione: si deve perciò programmare un controllo di "routine" alla prima messa in posa di tubatura, come pure dopo le riparazioni eseguite nei tratti vecchi.

Indicano anche dilavamento del suolo e inquinamento da parte d'acque superficiali.

Clostridi solfito-riduttori

Altri indicatori di fecalizzazione e di rischio sono le spore dei Clostridi solfito-riduttori. In realtà, sarebbe più giusto identificare tra essi la specie Clostridium perfringens, poiché i solfito-riduttori sono molto diffusi nel suolo e nell'ambito idrico, specie in quello che va incontro a crisi di carenza d'ossigeno.

Per il gruppo generico dei "Clostridi solfito-riduttori", la legge italiana fissa il valore di 0 – 100 mL senza tenere conto che tra essi possono essere presenti germi ambientali. Lo stesso Cl.perfringens è contenuto nelle feci, ma è anche diffuso nell'ambiente, seppure in titoli ridotti in assenza di fecalizzazione.

La discriminante tra acque inquinate e non, si basa sulle concentrazioni. Per acque superficiali valori inferiori a 50 – 100 mL sono compatibili con situazioni di mancata contaminazione fecale, mentre tra 50 e 100 – 200 mL sono indicatori di fecalizzazione.

La loro presenza nell'acqua potabile ad indicare una contaminazione non recente (specie se non c'è associazione con il contestuale rilevamento di Coliformi e streptococchi) e, anche, deficienza dei trattamenti disinfettivi che, per eliminare le spore, devono essere più spinti.

Una volta immessi nell'ambiente, i Clostridi sopravvivono più a lungo di E.Coli, dei Coliformi termotolleranti, degli stessi streptococchi fecali. La loro presenza in acque disinfettate indica: deficienza del trattamento di potabilizzazione; inefficienza della filtrazione; possibile presenza di protozoi; contaminazione intermittente; contaminazione remota. Grazie alla loro persistenza ambientale, il loro ritrovamento, non associato alla presenza di più usuali germi indicatori d'inquinamento fecale, può fare insorgere falsi allarmi.

Carica batterica a 22°C e a 37°C

Le cariche batteriche presenti a 37° e 22°C sono indicatori di scarsa protezione di un'acqua all'origine o di contatto delle condutture con l'ambiente esterno. Batteri ambientali indicatori di scarso isolamento dell'ambiente esterno sono: Flavobacterium, Acinetobacter, Serratia, Aeromonas, Legionella, Micobacterium. La stima degli eterotrofi su PCA a 37°C, (perciò si fissa il limite a 10 UFC/mL), indica fecalizzazione, superficialità e scarsa protezione. Questi ultimi due significati valgono anche per la conta a 22°C (100 UFC/mL) che, però, addizionalmente sottolinea la presenza di sostanza organica e di biofilm in rete, oltre ad evidenziare inefficienza del sistema di sanitizzazione applicato.

La conta batterica a 37°C aumenta i sospetti d'inquinamento fecale, segnala cambiamenti indesiderabili e dovrebbe indurre ad eseguire ispezioni. La conta è impropriamente definita "totale"; in realtà è sempre limitata alle forme che conservano la capacità di riprodursi sui terreni selezionati. I tempi di crescita non tengono conto della pluralità delle forme includibili in questo parametro e del loro diverso grado di vitalità.

La conta batterica a 22°C non ha alcun significato sanitario, a meno che alcuni tra i microrganismi che la compongono non abbiano acquisito una "virulenza" legata alla resistenza agli antibiotici, ai metalli pesanti, ecc.. Metodologie analitiche consentono di ipotizzare questo pericolo attraverso la citotossicità. Sempre più diffusi sono, inoltre, microrganismi occasionalmente patogeni e sempre più numerosa è la fascia di popolazione che ha deficienti coperture immunitarie.

Una elevata concentrazione di flora microbica psicofila è indesiderabile per la preparazione d'alimenti e bevande. I germi psicofili sono particolarmente importanti nei processi di rivestimento interno delle reti, concorrono ai fenomeni di biocorrosione, possono facilitare la persistenza in rete di forme biologiche anche metazoiche a vita libera, che anche se non pericolose, sono senz'altro sgradite all'utenza.

Enterobatteri

Affinchè una specie patogena sia in grado di produrre la "patologia", ossia affinché il rischio si traduca in danno, occorre che essa sia presente nella dose giusta. Questa per Salmonella è attorno a 10 UFC (anche dopo); più contenuta è quella di Shigella (10 – 100 UFC, che, in base a questa osservazione, è ritenuto un genere in grado di segnalare il livello igienico di un acqua).

Shigella è rilevabile in campioni d'acqua di popolazioni tra le quali non serpeggino gastroenteriti d'origine diversa. E.coli enterotossici per indurre malattie in individui normali necessitano di quantità di 10 UFC.

Per *Vibrio cholerae*, sierotipo patogeno, la dose infettante è 10 UFC; per *Yersinia enterocolitica*, sierotipo patogeno, è di 10 UFC; per *Campylobacter fetus jejunii* oscilla tra 10 e 500 UFC.

Date le alte dosi necessarie perché certi patogeni batterici possano ingenerare patologie, è difficile che, nelle condizioni di trattamento attuale per le acque potabili, essi possano essere presenti nell'acqua da bere. È molto più probabile che l'acqua, essendo anche usata per la preparazione d'alimenti, possa introdurre negli alimenti le dosi necessarie perché gli alimenti possano diventare substrato per la crescita di almeno alcuni di questi microrganismi.

Pseudomonas aeruginosa

La presenza di *Pseudomonas*, che può avere significato di scarsa protezione dell'acqua e della rete dall'ambiente esterno è, tuttavia, talmente diffusa che fa parte anche delle famiglie di batteri d'acquiferi anche protetti. Ad esso, che tra l'altro ha grande capacità di ricrescita in rete e di resistenza alla clorazione grazie alla produzione di SPE (Sostanze Polimeriche Extracellulari), si guarda con apprensione perché è un germe tipicamente ambientale, ma occasionalmente patogeno. *Pseudomonas aeruginosa* si ritrova sia nelle acque clorate sia in quelle non clorate (di provenienza sotterranea, sia alla sorgente sia alla distribuzione). La concentrazione di cloro che, comunque, uccide questo microrganismo, è di 1 mg/L. Di conseguenza, esso è considerato un batterio indicatore della qualità e della efficacia del trattamento delle acque.

La sua patogenicità si estrinseca per ingestione (forme gastrointestinali rilevabili in neonati) e per contatto (infezioni di ferite o patologie degli epiteli) ma riguarda, nell'ambito di una specie, solo specifici sierotipi.

Staphylococcus aureus

La principale riserva naturale degli stafilococchi patogeni è l'uomo: il contagio può avvenire in modo diretto oppure attraverso l'ambiente, poichè sono ubiquitari e capaci di sopravvivere a lungo nell'ambiente esterno. Per quanto riguarda l'acqua potabile, la loro ricerca è importante per l'acqua utilizzata per imbottigliamento o per preparare alimenti. Nel primo caso, la presenza degli stafilococchi patogeni rivela scadenti condizioni igieniche dell'ambiente di produzione e degli impianti, nel secondo caso, la loro presenza può essere causata da contaminazione degli alimenti che possono favorire la loro riproduzione e, quindi, la produzione delle enterotossine responsabili delle tossinfezioni alimentari da stafilococchi. La mancata correlazione tra presenza di *S.aureus* e di coliformi dipenderebbe dal fatto che *Bacillus* sp., *Flavobacterium* sp., *Actinomyces* sp. e *Micrococcus* sp., possono impedire la crescita dei coliformi. La presenza di questi ultimi, infatti, può essere mascherata sia con il metodo MPN (Most Probable Number) sia con quello MF¹, specie se la CBT (carica batterica totale) è elevata. Si consiglia di indirizzare la ricerca sia nei centri rurali, dove l'acqua è prelevata da pozzi, sia, al limite, dove esistono piccoli acquedotti che erogano acque

¹ Per il calcolo della carica batterica totale si utilizzano due metodi:

– Metodo MPN: metodo del numero più probabile o dei tubi multipli (MPN). Con questo metodo, che consiste in una prova presuntiva e in una prova di conferma, viene calcolata la densità dei coliformi totali in campioni di acqua tramite una stima statistica determinata sulla base della combinazione di tubi positivi e negativi ottenuti inoculando aliquote del campione in terreno colturale liquido.

– Metodo MF: metodo della filtrazione su membrana (MF). Questo metodo permette di contare il numero delle colonie cresciute su una membrana posta su terreno colturale agarizzato.

da corpi idrici superficiali o da falde poco protette, sia dove non esistono potabilizzatori o dove la disinfezione non sia continua.

Alla notevole capacità di sopravvivere nell'ambiente esterno, si aggiunge anche quella di resistere all'azione del cloro. *S. aureus* è più resistente dei coliformi fecali. La ricerca andrebbe effettuata su volumi compresi tra 100 e 250 mL secondo la minore o maggiore opalescenza dell'acqua.

Protozoi patogeni

Tra gli indicatori di fecalizzazione occorre includere i protozoi patogeni (*Entamoeba histolitica*, *Balantidium coli*, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*, *Microsporidium*). Per i protozoi, le dosi necessarie per indurre una patologia sono molto contenute (1-10 cisti). Nei confronti di questi organismi non si sviluppa mai nessuna immunità. Per queste forme si prescrive l'assenza in grandi volumi d'acqua.

La loro presenza in rete indica contaminazione fecale. I sistemi di disinfezione (massimamente quelli con cloro) non sono efficaci nella inattivazione di cellule infettive, se non a dosi particolarmente elevate, non applicabili per controindicazioni tossicologiche e ingegneristiche (corrosione di tubature metalliche). I metodi di ricerca non sono standardizzati e risentono delle perdite che si possono realizzare nella fase di concentrazione di grandi volumi.

Elminti patogeni

Nei confronti di questi organismi non si sviluppa mai nessuna immunità. Gli elminti potenzialmente trasmessi con l'acqua destinata al consumo umano si possono distinguere in 3 gruppi.

Il primo comprende i vermi che si sviluppano in copepodi e che sono assunti dall'uomo con l'acqua che contiene l'ospite crostaceo. Vi appartengono cestodi (vermi piatti) (*Spirometra*) e nematodi (vermi tondi) (*Dracunculus*).

Nel secondo gruppo rientra una miscela di vermi piatti e tondi le cui larve penetrano attraverso la pelle e le mucose (*Schistosoma*, *Ancylostoma*).

Nel terzo gruppo rientrano *Ascaris*, *Trichuris*, *Strongyloides*, *Enterobius*, *Fasciola*, *Hymenolepis*, *Echinococcus*.

Le uova o cisti sono infettive per l'uomo. Le più diffuse elmintiasi intestinali che hanno probabilità di verificarsi in Italia sono dovute ad *Ascaris* e *Trichuris*, ma per questi vermi l'acqua potabile non è la via prevalente di diffusione.

La loro presenza in rete indica contaminazione fecale. I sistemi di disinfezione (massimamente quelli con cloro) non sono efficaci nella inattivazione delle uova d'elminti e degli elminti. I metodi di ricerca non sono standardizzati e risentono delle perdite che si possono realizzare nella fase di concentrazione di grandi volumi.

Attinomiceti

Tra gli indicatori di scarsa protezione o di contatto con l'ambiente esterno sono compresi gli attinomiceti (*Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*). Si tratta di forme transienti nell'ambiente idrico che, invece, hanno una larga diffusione nel suolo.

Miceti

I Miceti o funghi, sono organismi immobili e comprendono i lieviti e le muffe. Appartengono al regno vegetale ma sono privi di clorofilla. In genere, hanno una struttura morfologica costituita da innumerevoli filamenti di cellule dette "ife", intrecciate fra di loro e costituenti il micelio.

Le muffe d'acqua, morfologicamente più semplici, non hanno la tipica forma a micelio dei funghi ma si presentano come organismi a forma di sacco con scarse e corte ife.

3. I TRATTAMENTI DI POTABILIZZAZIONE

Nel 1854 si evidenziò per la prima volta la necessità di collegare il rischio di infezioni alla qualità microbiologica delle acque.

La disinfezione dell'acqua comporta la rimozione, disattivazione o uccisione dei microorganismi patogeni: essi sono distrutti o disattivati, con conseguente fine dello sviluppo e della riproduzione.

La sterilizzazione è un processo legato alla disinfezione: tuttavia, durante il processo di sterilizzazione, tutti i microorganismi presenti sono uccisi, sia quelli nocivi che quelli inoffensivi.

La maggiore parte dei microorganismi patogeni è rimossa per mezzo di tecniche di trattamento delle acque, come coagulazione, flocculazione, sedimentazione e filtrazione. Come fase finale dei trattamenti si usa, inoltre, aumentare la disinfezione di sicurezza dell'acqua potabile.

Esistono vari disinfettanti, che uccidono o disattivano i microorganismi patogeni: esempi di tali disinfettanti sono cloro, sostanze come perossido di idrogeno (acqua ossigenata), bromo, catalizzatori di argento-rame, oltre all'ozono e agli UV. Tutti i disinfettanti presentano vantaggi e svantaggi e possono essere usati per la disinfezione dell'acqua a seconda delle circostanze.

Circa il 75% dell'acqua erogata in Italia è sottoposta a disinfezione prima di essere distribuita.

Il cloro è stato utilizzato per la prima volta come agente disinfettante dell'acqua destinata all'uso potabile nel 1896, a Louisville (USA), in abbinamento a un trattamento di filtrazione lenta su sabbia.

Un censimento realizzato da Federgasacqua² ha fornito i seguenti dati:

- il 13% delle acque erogate non viene sottoposto ad alcun trattamento di disinfezione;
- il 45% delle acque erogate subisce un trattamento di ossidazione primaria;
- il 26% delle acque erogate subisce un trattamento di ossidazione intermedia;
- l'80% delle acque erogate subisce un trattamento di disinfezione finale;

I reagenti maggiormente impiegati per l'ossidazione primaria sono il biossido di cloro, l'ipoclorito di sodio, le radiazioni ultraviolette, l'ozono e, con minor frequenza, il cloro gassoso.

Nell'ossidazione intermedia i reagenti sono l'ipoclorito di sodio, l'ozono e il biossido di cloro.

Nella disinfezione finale l'ipoclorito di sodio è ancora il reattivo maggiormente impiegato, seguito dal biossido di cloro.

3.1 I disinfettanti per la potabilizzazione

La disinfezione può essere realizzata tramite disinfettanti fisici o chimici finalizzati anche alla rimozione degli inquinanti organici dall'acqua. I disinfettanti non dovrebbero uccidere soltanto i microorganismi, ma anche avere un effetto residuo, il che significa che dovrebbero rimanere attivi nell'acqua dopo la disinfezione. Un disinfettante dovrebbe impedire ai microorganismi patogeni di crescere nell'impianto dopo la disinfezione, causando la ricontaminazione dell'acqua.

² www.federutility.it

Per la disinfezione chimica dell'acqua si possono usare i seguenti disinfettanti:

- Cloro (Cl_2)
- Diossido di cloro (ClO_2)
- Ipoclorito (OCl^-)
- Ozono (O_3)
- Alogeni: bromo (Br_2), iodio (I_2)
- Cloruro di bromo (BrCl)
- Metalli: rame (Cu^{2+}), argento (Ag^+)
- Permanganato di potassio (KMnO_4)
- Perossido di idrogeno

È riportato che per la disinfezione fisica dell'acqua, accanto a tecnologie collaudate quali quelle basate sulla radiazione ultravioletta (UV), è possibile usare anche:

- Raggi gamma
- Ultrasuoni
- Calore

3.2 Modalità di disinfezione

L'inattivazione chimica della contaminazione microbiologica nell'acqua naturale o non trattata è solitamente una delle fasi finali per la riduzione dei microorganismi patogeni nell'acqua potabile. Combinazioni delle fasi di depurazione dell'acqua (ossidazione, coagulazione, sedimentazione, disinfezione, filtrazione) rendono l'acqua (potabile) sicura dopo la produzione.

Come misura supplementare, molti paesi applicano una seconda fase di disinfezione a conclusione del processo di depurazione per proteggere l'acqua dalla contaminazione microbiologica all'interno del sistema di distribuzione. Di solito si usa un tipo di disinfettante diverso da quello usato prima nel processo di disinfezione. La disinfezione secondaria garantisce che i batteri non si moltiplichino nell'acqua durante la distribuzione. I batteri possono rimanere nell'acqua dopo la prima fase di disinfezione o possono entrare nell'acqua durante il lavaggio dell'acqua contaminata (che può contenere batteri dell'acqua freatica in seguito a crepe nell'impianto idraulico).

La disinfezione avviene comunemente tramite distruzione della parete delle cellule dei microorganismi o cambiamenti nella permeabilità delle cellule o tramite l'attività di enzimi o protoplasma (a causa di un mutamento strutturale negli enzimi). Questi disturbi nell'attività delle cellule rendono i microorganismi incapaci di moltiplicarsi, inducendo la successiva fase letale. I disinfettanti ossidanti inoltre demoliscono la materia organica presente nell'acqua.

3.3 Clorazione

Il cloro gassoso è stato il primo reagente usato per la clorazione delle acque; in seguito sono state introdotte altre sostanze.

La scelta del reagente da impiegare dipende soprattutto da alcune caratteristiche del reagente stesso, quali il costo, il titolo in cloro e la stabilità. Il dosaggio dipende dalle condizioni in cui viene utilizzato, dalla qualità dell'acqua da trattare e dall'esigenza di mantenere un residuo di disinfettante attivo nella rete di distribuzione.

Di seguito sono riportate alcune informazioni sui reagenti e processi impiegati:

- Cloro: è un gas verde-giallo dotato di elevata reattività. È fortemente tossico per inalazione. La clorazione con cloro gassoso è la più diffusa e anche la più economica.
- Ipoclorito di sodio: è disponibile in soluzione acquosa, limpida, di colore variabile dal giallo al giallo-verdastro. Viene preparato clorando soluzioni di idrossido di sodio; il prodotto ottenuto viene immagazzinato in recipienti di plastica o di vetro protetti dal calore e dalla luce. L'ipoclorito di sodio è più costoso del cloro, ma più semplice da usare e più sicuro e, per questi motivi, è il reagente più usato.

- Biossido di cloro: è un gas giallo-verdastro, con una solubilità in acqua superiore a quella del cloro; è instabile ed esplosivo nell'aria a concentrazioni superiori al 10% in volume. Il biossido di cloro viene generato direttamente nell'acqua, da soluzioni di clorito di sodio e acido cloridrico.
- Ipoclorito di calcio: è un solido bianco disponibile in polvere, in forma granulare o in tavolette. Viene preparato dalla clorazione del latte di calce in presenza di idrossido di sodio.
- Cloruro di calcio: è disponibile in forma di polvere bianca e igroscopica. Viene preparato dalla clorazione del latte di calce.
- Acido tricloroisocianurico: è disponibile come granulato bianco.
- Dicloroisocianurato di sodio: è un solido bianco, anidro o biidrato, preparato per clorazione del cianurato disodico.
- Cloroamine: vengono prodotte direttamente sul posto dalla reazione del cloro con l'ammoniaca. Le cloroamine sono meno efficienti ma più persistenti del cloro libero, e generano minore quantità di sottoprodotti organici.

3.4 La pratica tradizionale della clorazione

Il processo di clorazione comporta, generalmente, le seguenti fasi:

- Preclorazione: aggiunta di cloro all'inizio del processo di trattamento per ossidare i composti inorganici, eliminare sapori ed odori, migliorare il processo di coagulazione del materiale sospeso e ridurre la proliferazione delle alghe nell'impianto.
- Disinfezione primaria: aggiunta di cloro allo scopo di distruggere i microrganismi patogeni.
- Clorazione al break-point: uso del cloro allo scopo di ossidare l'ammoniaca ed altre sostanze presenti nell'acqua e reattive con il cloro.
- Clorazione residua: si effettua per mantenere un residuo di cloro libero nell'acqua; in questo modo, se dovessero esserci delle ricrescite biologiche o delle contaminazioni accidentali, l'acqua resterebbe protetta.
- Superclorazione: impiego di elevate dosi di cloro per brevi tempi di contatto, seguito spesso da dechlorazione. E' una pratica che si usa in caso di trattamenti d'emergenza oppure per eliminare parassiti particolari (macroinvertebrati).

3.5 La disinfezione di piscine e torri di raffreddamento

Oltre che all'acqua potabile, la disinfezione può anche essere applicata nelle piscine e nelle torri di raffreddamento.

Le piscine contengono una grande varietà di contaminanti, che sono originati in gran parte dai bagnanti: la contaminazione è costituita anche da microorganismi. Per impedire il contagio dei bagnanti dai microorganismi patogeni, l'acqua delle piscine deve essere disinfettata: essa viene spesso ricircolata e viene depurata prima di essere restituita alla piscina. La depurazione include la disinfezione.

Le torri di raffreddamento sono usate per il raffreddamento dell'acqua di processo; dopo questa fase l'acqua può essere riutilizzata. All'interno delle torri di raffreddamento ci sono condizioni ideali per lo sviluppo e la proliferazione dei microorganismi. Lo sviluppo di biofilm è uno dei maggiori problemi nelle torri di raffreddamento, perché promuove la corrosione e ostruisce il sistema.

Un altro problema nelle torri di raffreddamento, generale per i sistemi di ventilazione, è lo sviluppo dei batteri della legionella. La diffusione di tali batteri avviene attraverso gli aerosol e può causare la legionellosi. Molti paesi dispongono ora di normative che stabiliscono che lo sviluppo dei batteri di legionella nelle torri di raffreddamento deve essere evitato tramite la disinfezione dell'acqua di raffreddamento.

3.6 I limiti della disinfezione

Il processo di disinfezione è applicato per combattere la contaminazione microbiologica che comprende: batteri, virus e cisti protozoarie.

L'efficacia del processo dipende dalle caratteristiche del disinfettante scelto, dalla tecnologia applicata e da numerose caratteristiche dell'acqua stessa (temperatura, pH, microrganismi contenuti).

I batteri coliformi totali sono utilizzati come indicatori, ovvero segnalano la possibile presenza di organismi patogeni, come ad esempio la *Salmonella typhi*.

Negli studi batteriologici si considera come obiettivo l'inattivazione del 99% degli organismi indicatori mediante un'opportuna combinazione di concentrazione del disinfettante e tempo di contatto.

Recentemente, si è scoperto che, soprattutto nelle acque superficiali, sono presenti cisti e oocisti di protozoi patogeni. Si tratta di forme di resistenza (forme di vita latente, non attiva) che questi protozoi parassiti possono formare per resistere all'ambiente esterno quando questo è ostile. Di conseguenza, resistono anche ai trattamenti di potabilizzazione convenzionali.

Le oocisti di *Cryptosporidium* causano una malattia chiamata criptosporidiosi, che è potenzialmente mortale per i soggetti immunodepressi. Si tratta di un problema sanitario emergente, in quanto pare che il trattamento con cloro e cloroammine non sia del tutto efficace per l'eliminazione di questi parassiti.

4. I SOTTOPRODOTTI DELLA DISINFEZIONE

Per preservare la qualità microbiologica dell'acqua fino all'utenza (al rubinetto), , dopo la potabilizzazione si deve mantenere una certa concentrazione di disinfettante residuo per impedire un'eventuale proliferazione batterica all'interno della rete di distribuzione dell'acqua. La pratica della clorazione ha in effetti debellato le malattie di origine batterica e virale che vengono tipicamente propagate attraverso l'acqua inquinata, come il colera, il tifo, la dissenteria.

Nonostante la sua grande utilità, la pratica della clorazione presenta anche risvolti negativi: negli ultimi decenni, si è diffusa la preoccupazione che il processo di clorazione rilasci, nell'acqua potabile, molecole potenzialmente nocive per la salute umana.

Nei primi anni settanta fu scoperto che, durante la disinfezione dell'acqua per mezzo di disinfettanti chimici, si possono formare sottoprodotti della disinfezione, composti che si formano in seguito alla clorazione delle acque (i cosiddetti Disinfection By Products, DBP). Sono stati infatti identificati numerosi composti che si formano proprio in conseguenza del dosaggio del cloro.

La presenza di disinfettante residuo nel sistema di distribuzione può incrementare la concentrazione dei DBP e di altri composti clorurati, che possono anche peggiorare le qualità organolettiche dell'acqua (sapore, odore).

Inoltre, i DBP possono favorire l'interazione tra materiali che compongono le tubature e l'acqua.

La scoperta di questi metabolici e delle loro potenziali interazioni con i materiali ha portato allo sviluppo delle ricerche sugli effetti sulla salute da essi derivanti. Oggi esistono degli standard che indicano i livelli massimi dei sottoprodotti di disinfezione nell'acqua potabile e sono stati individuati metodi che consentono di ridurre la concentrazione dei sottoprodotti di disinfezione in acqua potabile. Alla luce di queste scoperte, molti Paesi hanno fissato limiti sulla presenza nell'acqua potabile di un gruppo di composti, gli organoalogenati appartenenti al gruppo dei trihalometani, e sono state proposte norme anche su altri tipi di DBP.

I sottoprodotti originati dai processi di ossidazione e di disinfezione sono composti che si formano durante il trattamento dell'acqua come sottoprodotti della reazione tra le sostanze presenti nell'acqua da trattare e gli additivi.

La formazione di sottoprodotti dipende da alcune caratteristiche dell'acqua da trattare e del processo di trattamento:

- dose di cloro applicata;
- tempo di contatto;
- temperatura dell'acqua;
- pH dell'acqua;
- carbonio organico totale (sia come concentrazione sia come tipo di molecola);
- concentrazioni dello ione bromuro nell'acqua;
- metodi di pretrattamento.

La formazione dei DBP deve essere controllata soprattutto nei processi di potabilizzazione e distribuzione delle acque superficiali.

Sotto il termine DBP, nel caso di trattamenti di clorazione, si includono centinaia di sostanze. Esse possono essere raggruppate in tre categorie principali:

- composti che provocano potenziali effetti nocivi (composti tossici, genotossici e cancerogeni);
- composti organici che possono essere utilizzati come nutrienti, cioè che favoriscono la crescita microbica nell'acqua trattata;
- composti che conferiscono all'acqua trattata sapori e odori sgradevoli, come gli organoalogenati.

Esistono, quindi, due tipi di problemi ben diversi che derivano dal consumo dell'acqua:

- rischi acuti, associati a malattie epidemiche diffuse attraverso l'acqua;
- rischi a lungo termine, dovuti all'esposizione a sottoprodotti di disinfezione considerati mutageni (che possono cioè causare mutazioni nel DNA) in base a test tossicologici.

Va peraltro detto che la presenza di sottoprodotti nell'acqua potabile può derivare anche dall'impiego di altri ossidanti chimici utilizzati per realizzare trattamenti dell'acqua diversi dalla disinfezione.

Va infine ricordato che la presenza nell'ambiente di molecole appartenenti al gruppo dei DBP non sempre è necessariamente o solamente un risultato della disinfezione ma anche di episodi di inquinamento da composti organoclorurati leggeri (SOV).

I principali sottoprodotti di disinfezione sono raccolti nella Tab 4.1

4.1 Metodologie di controllo dei sottoprodotti di disinfezione

Il controllo della formazione di sottoprodotti di disinfezione può avvenire con diverse modalità: cambiando il punto di applicazione del disinfettante, usando un disinfettante alternativo, rimuovendo la materia organica naturale che produce i sottoprodotti di disinfezione insieme ai disinfettanti e rimuovendo i sottoprodotti di disinfezione in seguito alla disinfezione.

In generale è meglio rimuovere più materia organica possibile dall'acqua, prima di applicare la disinfezione, cosa che può agevolmente essere ottenuta con le attuali tecniche di trattamento delle acque. La coagulazione è usata per rimuovere i solidi sospesi e la torbidità. Il carbone attivo può essere usato per assorbire le sostanze organiche. Le membrane possono essere applicate per rimuovere il materiale organico dall'acqua.

Tab 4.1 - Sottoprodotti di disinfezione di vari disinfettanti

Disinfettante	Sottoprodotti di disinfezione organoalogenici	Sottoprodotti di disinfezione inorganici	Sottoprodotti di disinfezione non-alogenici
cloro (Cl ₂)/ acido ipocloroso (HOCl)	trialometani, acidi acetici alogenici, aloacetoni, cloroidrato, cloropicrina, clorofenoli, N-clorammine, alofuranoni, bromoidrine	clorati (soprattutto per applicazione di ipoclorito)	aldeidi, acidi alcanici, benzene, acidi carbossilici
Diossido di cloro (ClO ₂)		clorito, clorato	non noto
clorammine (NH ₃ Cl ecc.)	aloacetoni, ciano clorina, cloroammine organiche, clorammino acidi, cloroidrati, alochetoni	nitrito, nitrato, clorato, idrazina	aldeide, chetoni
Ozono (O ₃)	bromoformio, monobromina acido acetico, dibromina acido acetico, dibromina acetone, ciano bromina	clorato, iodato, bromato, perossido di idrogeno, acido ipobromoso, epossidi, ozonati	aldeidi, chetoni, chetoacidi, acidi carbossidilici

Per impedire la formazione dei sottoprodotti di disinfezione possono essere usati anche disinfettanti alternativi: per esempio, ozono, diossido di cloro, permanganato di potassio e clorammine. Tuttavia tutti i disinfettanti producono sottoprodotti di disinfezione anche se la ricerca sui sottoprodotti clorurati di disinfezione è più completa rispetto a quella sugli altri sottoprodotti.

Anche se il processo di disinfezione può provocare la presenza di molecole in grado di causare effetti a lungo termine sulla salute dei consumatori, non si può fare a meno della disinfezione se si vogliono prevenire rischi molto più gravi dovuti ad agenti patogeni presenti nell'acqua potabile, come spesso ribadito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità.

Riguardo alla formazione dei sottoprodotti di disinfezione, la Commissione Europea afferma che: "Il rischio diretto e immediato per la salute e per la vita provocato dalla presenza nelle acque di microrganismi patogeni rende impensabile l'abbandono del processo di disinfezione. I valori parametrici proposti per i sottoprodotti di disinfezione non possono essere pertanto così restrittivi da compromettere la possibilità del processo di disinfezione".

4.2 Gli standard per i sottoprodotti di disinfezione

Alcuni sottoprodotti di disinfezione sono considerati nocivi per la salute pubblica (cloroformio, dibromoclorometano e bromoformio sono probabilmente cancerogeni; diclorobromometano e dicloroacetone sono possibilmente cancerogeni); per questo motivo, le Istituzioni nazionali per la salute hanno stabilito gli standard per la massima concentrazione dei sottoprodotti di disinfezione nelle acque potabile.

Unione Europea

Nella direttiva europea sull'acqua potabile 98/83/EC (1998), la concentrazione massima per i trialometani è di 100 µg/L ma era, comunque, auspicato che gli Stati membri ponessero limiti inferiori.

WHO

L'Organizzazione Mondiale per la Sanità prescrive concentrazioni massime differenti per i seguenti trialometani:

- bromodichlorometano (BDCM) 60 µg/L
- bromoformio 100 µg/L
- cloroformio 200 µg/L.

USA

L'EPA si è occupata della regolamentazione dei sottoprodotti di disinfezione negli Stati Uniti dal 1979. Nel 1996, lo "Atto sull'acqua potabile sicura" è stato modificato su richiesta del Congresso con introduzione di nuovi standard per i disinfettanti ed i sottoprodotti di disinfezione. La revisione punta sulla riduzione del rischio per la salute dei sottoprodotti di disinfezione, e protegge la qualità microbiologica dell'acqua. Nel 1998, l'EPA ha formulato le "Regole sui sottoprodotti della fase 1 della disinfezione". Lo standard relativo alla concentrazione totale di trialometani è 80 µg/L e per l'acido alogenato 60 µg/L. La guida di riferimento, inoltre, stabilisce che deve essere usata la coagulazione avanzata per rimuovere la materia organica. (EPA, 2001)

4.3 Gli effetti sulla salute

Dal momento che molti sottoprodotti di disinfezione sono bio-accumulativi nei tessuti, la ricerca sugli effetti sulla salute dei sottoprodotti di disinfezione è incentrata sulle seguenti tematiche:

- Analisi di rischio per esposizione cronica ai sottoprodotti di disinfezione.
- Tossicità a sottoprodotti di disinfezione distinti e a miscele di sottoprodotti di disinfezione.

I test di laboratorio, effettuati su animali, mirano alla ricerca degli effetti dei sottoprodotti di disinfezione sulla riproduzione e, in particolare, sui difetti alla nascita e sull'aborto spontaneo. Una ricerca americana mostra che il bromodichlorometano (BDCM) e l'idrato clorale (CH) riducono la velocità e la mobilità dello sperma nei ratti da laboratorio. L'effetto di BDCM in concentrazioni basse è più forte dell'effetto del CH o di altri sottoprodotti di disinfezione che riducono la velocità dello sperma.

Cancerogenicità di una miscela di sottoprodotti di disinfezione sui ratti.

Diverse ricerche sono state effettuate sui ratti Eker, che sono sensibili agli effetti delle sostanze cancerogene renali. Sia i ratti maschi che le femmine sono stati esposti al diclorometilidrossifuranone dei sottoprodotti di disinfezione (MX), al bromato del potassio (KBrO₃), al cloroformio (CHCl₃) e al bromodichlorometano (BDCM) in acqua potabile per 4-10 mesi. Questi sottoprodotti di disinfezione sono stati scelti perché è stato dimostrato che sono cancerogeni o tossici per i reni. È emersa una relazione fra dosaggio e genesi di cancro renale. Non è stata osservata differenza nella quantità di tumori renali, uterini o alla milza fra la miscela dei sottoprodotti di disinfezione o il sottoprodotto di disinfezione con il maggiore effetto. Ciò indica che una miscela di questi sottoprodotti di disinfezione non comporta un rischio di cancro maggiore che il disinfettante con l'effetto maggiore.

Effetto di diossido di cloro, cloriti e clorati sugli animali da laboratorio

Un'indagine sui risultati di ricerche disponibili sull'esposizione acuta e di lunga durata di ratti, topi, polli a diossido del cloro, cloriti e clorati presenti in acqua potabile mostra che tutti questi animali hanno mostrato alterazione della loro cellule sanguigne. Questi effetti sono correlati alla concentrazione e avvengono soltanto a elevate concentrazioni (fino a 1 g/L) provocando una diminuzione della quantità di globuli rossi e di emoglobina. Inoltre, il diossido di cloro, la clorite e il clorato alterano il DNA di testicoli

e reni. Di conseguenza, queste sostanze potrebbero avere effetti sulla riproduzione anche se non c'è ancora evidenza della correlazione tra animali di laboratorio e uomo.

Cloroformio

Il cloroformio, un sottoprodotto di disinfezione con cloro, è uno dei trihalometani più studiati. Le ricerche tossicologiche indicano che il cloroformio danneggia fegato e causa cancro quando è direttamente applicato quotidianamente nello stomaco degli animali da laboratorio. Il fegato è danneggiato e si verifica la morte delle cellule e dello sviluppo rigenerativo cellulare. Invece, nel caso di esposizione alla stessa quantità di cloroformio ma dissolta in acqua potabile, il cancro non si sviluppa, probabilmente a causa dell'esposizione mediata attraverso l'acqua. Il fegato è in grado di scindere il cloroformio senza essere danneggiato (Larson ed altri, 1994b; Butterworth ed altri, 1998). Gli attuali standard stabiliti per il cloroformio in acqua potabile sono molto inferiori a questi valori.

4.4 La cancerogenicità dei prodotti di disinfezione

Nel 1991, l'agenzia internazionale per ricerca sul cancro (IARC) ha valutato il rischio per la salute basandosi su ricerche tossicologiche di laboratorio e su ricerche epidemiologiche sugli esseri umani. Tale studio ha indicato che è difficile trovare un rapporto fra lo sviluppo del cancro e il consumo di acqua clorata. Il rischio è contenuto e non può essere dimostrato con prove epidemiologiche. I risultati delle ricerche indicano che tutte le valutazioni di esposizione ai sottoprodotti di disinfezione erano inesatte. Inoltre, tanti altri fattori sono importanti per lo sviluppo del cancro, per esempio il fumo, il cibo, l'alcool, la condizione socio-economica e la predisposizione ereditaria. (Disinfectants and Disinfection Byproducts, WHO, 2001).

Oltre a esperimenti su animali da laboratorio (ratti e topi) esistono anche studi epidemiologici sugli effetti di esposizione degli esseri umani ai sottoprodotti di disinfezione in acqua potabile. Inizialmente è stato studiato il rapporto tra mortalità per cancro e uso di acqua potabile clorata e non-clorata. Gli studi dimostrano che l'aumento di composti clorurati nell'acqua potabile aumenta il rischio di cancro alla prostata e di cancro anale.

Alcune ricerche mostrano che esiste una correlazione positiva tra l'esposizione ai sottoprodotti di disinfezione nell'acqua potabile e il cancro umano anale o vescicale. Il 9% di tutti i casi di cancro alla prostata e il 15 % di cancro anale sono attribuiti ai sottoprodotti clorurati presenti nell'acqua potabile e ai prodotti di disinfezione.

Nel 1990, in Colorado (Stati Uniti) venne realizzata una ricerca sulla popolazione riguardante il rapporto fra la disinfezione dell'acqua potabile con cloro o clorammine e i casi di cancro alla prostata. 327 persone con il cancro alla prostata furono confrontate con 261 persone che soffrivano di un altro tipo di cancro. Sulla base di interviste e dati dell'Organizzazione della Sanità fu creato un profilo di esposizione all'acqua potabile. Questo studio ha indicato l'esistenza di una relazione fra gli anni di esposizione all'acqua potabile clorata e lo sviluppo del cancro alla prostata. Questo rischio aumenta all'aumentare degli anni di esposizione. Dopo un'esposizione di trenta anni, il rischio di cancro alla vescica era 1,8 volte maggiore rispetto ai casi di non esposizione.

Una ricerca sulla durata dell'esposizione ai sottoprodotti di disinfezione di acqua potabile e i casi di cancro alla vescica effettuata in Ontario (Canada) indica l'esistenza di un rapporto fra l'esposizione di lunga durata ai sottoprodotti di disinfezione e il rischio di cancro alla prostata. Il rischio aumenta in seguito a una esposizione di lunga durata a concentrazioni di trihalometani di 50 µg/L o maggiori. Dal 14 al 16% dei casi di cancro alla prostata possono essere attribuiti a esposizione ai sottoprodotti di disinfezione.

In Finlandia è stata realizzata una ricerca sulla relazione tra la lunghezza di esposizione a sostanze mutagene e cancerogene contenute nell'acqua potabile e il cancro. In questo studio è stata determinata l'esposizione di 732 pazienti con cancro alla prostata, 703 pazienti con cancro ai reni e altre 914 persone all'acqua potabile in base a dati sulla residenza, sulle fonti d'acqua e sui dati storici sulla qualità dell'acqua e sul trattamento delle acque. Per gli uomini c'era un rapporto fra esposizione e il

rischio di cancro renale. Per le donne questo rapporto non era significativo. Sia per gli uomini che per le donne la relazione fra l'esposizione e il cancro della vescica era significativa.

4.5 Gli effetti teratogeni

Le prove di laboratorio sugli animali indicano che l'esposizione ai sottoprodotti di disinfezione durante la gravidanza influenza la riproduzione e lo sviluppo e induce difetti e aborto spontaneo. Per gli esseri umani questi effetti sono stati studiati basandosi su dati relativi alla popolazione a partire dalla qualità dell'acqua potabile, dal trattamento delle acque e dai dati relativi alle nascite. Le concentrazioni dei sottoprodotti di disinfezione che causano gli effetti sono molte più alte rispetto alle concentrazioni che possono causare il cancro dopo esposizione cronica. In ogni caso, il numero di studi epidemiologici sull'esposizione ai sottoprodotti di disinfezione e l'influenza su difetti alla nascita e sulla riproduzione è piuttosto ridotto. Tuttavia, tali studi mostrano l'esistenza di un collegamento fra esposizione ai trihalometani e aborto spontaneo, difetti alla nascita e ritardo nello sviluppo.

In base ai dati epidemiologici disponibili è stata realizzata una ricerca sul rapporto fra i sottoprodotti di disinfezione in acqua potabile e gli effetti su riproduzione e sviluppo. Le prove epidemiologiche sul rapporto fra esposizione a sottoprodotti di disinfezione e sviluppo sono deboli: i metodi di ricerca usati sono molto differenti ed è difficile confrontare i risultati. Per quanto riguarda invece il rischio di nascita prematura, i risultati delle ricerche hanno indicato che il tasso è un po' più basso con esposizione ad acqua potabile clorata rispetto ad acqua potabile non-clorata.

I risultati di questi studi indicano che esiste probabilmente un rapporto fra l'esposizione ai sottoprodotti (clorurati) di disinfezione prima e durante la gravidanza e i difetti alla nascita. Sono stati principalmente rilevati un basso peso e uno sviluppo ridotto. Le correlazioni relative ad aborto spontaneo, difetti di nascita e la mortalità non sono molto consistenti.

4.6 Prospettive per future ricerche

La panoramica sulla ricerca epidemiologica relativa ai DBP mette in luce la necessità di approfondire ulteriormente l'analisi del rischio da essi posto, in particolare in relazione alla reale esposizione dei consumatori e alla correlazione con gli effetti ad essa riconducibili. In aggiunta ai dati di esposizione relativi ai prelievi lungo la rete previsti dalla legge, sarebbe opportuno determinare la concentrazione dei sottoprodotti di disinfezione, analizzando l'acqua che arriva al consumatore finale dal rubinetto. La composizione e la concentrazione dei sottoprodotti di disinfezione può, infatti, variare sotto l'influenza del pH, della temperatura e del tempo del contatto nella rete di distribuzione dell'acqua e può presentare delle differenze rispetto alla concentrazione e alla composizione dell'acqua subito dopo l'immissione nella rete di distribuzione. Non è ancora chiaro se tutti i sottoprodotti di disinfezione causano effetto sulla salute e se i loro effetti differiscono. Fattori disturbanti in questo tipo di valutazioni epidemiologiche sono riconducibili allo stile di vita, in primo luogo al fumo e all'esposizione ad altri inquinanti ambientali.

È necessario, comunque, sottolineare che i rischi per la salute generati dai sottoprodotti di disinfezione sono ridotti se confrontati ai rischi per la salute delle malattie portate dall'acqua. Il rischio per la salute dovuto ai microrganismi patogeni in acqua potabile è molto più alto, circa 100.000 - 1.000.000 di volte superiore al rischio di esposizione a lungo termine ai sottoprodotti di disinfezione. Inoltre, i rischi per la salute generati dai sottoprodotti di disinfezione sono molto bassi alle concentrazioni rilevate in acqua potabile. Tuttavia, questi rischi non possono essere ignorati, a causa dell'elevato numero di persone esposte ai sottoprodotti di disinfezione, molti dei quali devono ancora essere identificati.

5. I MATERIALI DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE

Per quanto riguarda i materiali relativi alle reti di distribuzione delle acque ad uso potabile, essi sono stati oggetto di specifiche norme. Le due principali, alle quali fare riferimento, sono: il D.M. 12 Dicembre 1985 "Norme tecniche relative alle tubazioni" e il più recente D.M. 6 Aprile 2004, n.174.

Il D.M. del 1985 definisce come tubazioni il complesso dei tubi, dei giunti e dei pezzi speciali costituenti l'opera di adduzione e/o di distribuzione di acque ad uso potabile, agricolo, industriale e a usi multipli, ovvero l'opera di fognatura per la raccolta delle acque reflue e il convogliamento all'impianto di trattamento e di recapito finale. Nel D.M. sono illustrate le caratteristiche e sono riportate tutte le tipologie di materiali ammessi all'utilizzo, con le loro relative prove di riferimento, le modalità di prova secondo le specifiche norme UNI e il rapporti tra condizioni di lavoro e condizioni di riferimento. Nella Tab. 5.1 è riportato l'elenco dei materiali utilizzabili.

Il D.M. 6 Aprile 2004, n.174 è il "Regolamento concernente i materiali e gli oggetti che possono essere utilizzati negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umana".

Quest'ultimo è, quindi, un regolamento specifico connesso ai dispositivi che si possono utilizzare nell'ambito delle acque potabili.

L'art.3., in particolare, sottolinea che tali materiali e oggetti, in condizioni normali, non devono alterare, nel tempo, l'acqua con essi posta a contatto e non devono conferire un carattere nocivo per la salute o modificarne sfavorevolmente le caratteristiche organolettiche, fisiche, chimiche e microbiologiche.

In particolare, nel capo secondo del D.M., è riportato l'elenco dei materiali che possono essere utilizzati a contatto con le acque destinate al consumo umano, in via esclusiva. Essi sono:

- a) i metalli, le loro leghe e i rivestimenti metallici elencati nell'allegato I del regolamento, a condizione che la loro composizione e i livelli di impurezze ammesse rispettino quanto previsto nello stesso allegato;
- b) i materiali a base di leganti idraulici, compresi quelli in cui sono contenuti costituenti organici, gli smalti porcellanati, le ceramiche e il vetro, a condizione che la loro composizione e i livelli di impurezze ammesse rispettino quanto previsto nell'allegato II del regolamento;
- c) le materie plastiche, le gomme naturali e sintetiche, a condizione che la loro composizione e i livelli di impurezze ammesse rispettino quanto previsto nell'allegato III del regolamento.

Qualora vi sia l'autorizzazione di uno Stato membro dell'Unione europea, o facente parte dell'accordo sullo Spazio economico europeo, materiali e sostanze chimiche non previste dagli allegati I, II, III del presente regolamento possono essere impiegati a condizione che sia stata effettuata una valutazione igienico-sanitaria da parte di un organismo tecnico-scientifico riconosciuto dallo Stato membro.

Tab 5.1 - D.M.LL.PP. del 12/12/1985 Norme tecniche per le tubazioni.

Materiale	Prova di riferimento
Acciaio saldato e non saldato	Prova per pressione interna o comportamento del materiale a trazione. Prova di schiacciamento o comportamento del materiale a flessione.
Ghisa grigia	Prova per pressione interna. Prova di flessione su anello o comportamento a flessione.
Ghisa a grafite sferoidale	Prova per pressione interna. Comportamento del materiale a trazione.
PVC rigido non plastificato	Prova per pressione interna T = 200°C, t = 1 h T = 600°C, t = 1 h T = 600°C, t = 1000 h
Polietilene ad alta densità	Prova per pressione interna.
Amiantocemento	Prova per pressione interna (scoppio). Prova di flessione trasversale (rottura).
Cemento armato (senza lamierino) ^a	Prova di pressione interna rottura: $p_r = p^* + 1,5$ $p^* = 3 \text{ kgf/cm}^2$ ovvero $p_r = 1.5 p^*$ ($p^* > 3 \text{ kgf/cm}^2$) Prova di flessione trasversale: fessurazione $N_f 65 D \text{ kgf/m}$, rottura $N_r 97.5 D \text{ kgf/m}$ (D diametro interno, cm)
Cemento precompresso senza lamierino (°°)	Prova per pressione interna, fessurazione: $p_{f0} \leq 1.25 p^*$ (p_{f0} pressione fessurazione a deformazioni lente esaurite)

^a p^* rappresenta il maggiore dei due valori espressi da p_n , pressione nominale e da p_c =pressione di collaudo in campo. Le norme richiamate devono intendersi riferite all'anno indicato e ai successivi aggiornamenti.

5.1 Metalli e loro leghe

I metalli, e loro leghe, che possono essere utilizzati per la produzione di manufatti destinati a venire a contatto con acque destinate al consumo umano sono riportati nell'allegato I del D.M. 6 Aprile 2004 , n.174.

Ai sensi di tale allegato, le impurezze considerate come tossiche sono quelle definite come tali nell'allegato I parte B del decreto legislativo n. 31/2001. I materiali metallici a contatto con acque destinate al consumo umano devono essere installati in base a norme di buona pratica costruttiva al fine di evitare accoppiamenti galvanici sfavorevoli. La validità della lista è di cinque anni dalla data di entrata in vigore del regolamento (fino al 2009).

I metalli e le loro leghe utilizzabili secondo l'allegato I, sono riportati nella Tab. 5.2:

Tab. 5.2 - Metalli e le loro leghe utilizzabili secondo l'allegato I del D.M. 6 Aprile 2004 , n.174

Acciaio al carbonio.	<p>Canalizzazioni in acciaio al carbonio rivestito. Tenore massimo di altri costituenti: Cromo 0,3%; Nichel 0,3%; Molibdeno 0,1%.</p> <p>Contenuto massimo impurezze: As, Sb, Cd, Pb: 0,02% per elemento. Totale massimo impurezze considerate tossiche: 0,08%.</p> <p>I rivestimenti devono rispettare le norme indicate per i vari materiali impiegati.</p>
	<p>Componenti in acciaio al carbonio rivestito.</p> <p>Tenore massimo di altri costituenti: Cromo 1%; Nichel 0,5%; Molibdeno 1%. Contenuto massimo impurezze: As, Sb, Cd e Pb: 0,02% per singolo elemento. Totale massimo impurezze considerate tossiche: 0,08%.</p> <p>I rivestimenti devono rispettare le norme indicate per i vari materiali impiegati.</p>
Ghisa	<p>Canalizzazioni in ghisa rivestita; componenti in ghisa. Tenore massimo di altri costituenti: Cromo 1%; Nichel 0,5%; Molibdeno 1%.</p> <p>Contenuto massimo impurezze: As, Sb, Cd e Pb: 0,02% per singolo elemento. I rivestimenti devono rispettare le norme indicate per i vari materiali impiegati.</p>
Acciaio al carbonio zincato	<p>Per tubazioni e componenti l'acciaio deve rispondere ai requisiti dell'acciaio al carbonio. Contenuto massimo di altri costituenti nel rivestimento di zinco: Piombo 0,5%.</p> <p>Contenuto massimo delle impurezze presenti nel rivestimento di zinco: Cadmio 0,02%; Arsenico 0,02%; Antimonio 0,01%. Totale massimo altre impurezze considerate tossiche: 0,05%.</p>
Acciaio inossidabile	<p>Possono essere utilizzati gli acciai inossidabili previsti dalla normativa sui materiali ed oggetti destinati al contatto con alimenti di cui al decreto ministeriale 21 marzo 1973 e successivi aggiornamenti qualora nella suddetta normativa non se ne vieti espressamente l'uso al contatto con acqua e rispondano alle condizioni, limitazioni e tolleranze di impiego ivi previste. Ai fini del presente regolamento gli accertamenti di idoneita' di cui all'art. 37 del decreto ministeriale 21 marzo 1973 vanno effettuati:</p> <p>Per quanto riguarda la migrazione globale, con le modalita' previste alla sezione 1 dell'allegato IIIc al presente regolamento; per quanto riguarda la migrazione specifica di Cromo e Nichel con le modalita' indicate alla sezione 2, punti 3 e 5 dell'allegato IV al decreto ministeriale 21 marzo 1973.</p> <p>In entrambi i casi la valutazione di idoneita' e' basata sulle prove riportate all'art. 37 del decreto ministeriale 21 marzo 1973, terzo capoverso</p>

Rame e leghe	<p>Tubazioni e raccordi in Rame Cu-DHP Rame maggiore o uguale a 99,90%; 0,015 minore o uguale a Fosforo minore o uguale a 0,040%. Contenuto massimo delle impurezze considerate tossiche: As, Ni, Cd, Pb per elemento 0,02%. Totale massimo delle impurezze considerate tossiche: 0,06%.</p>
Rame e leghe	<p>Accessori (pompe, contatori) in Rame Cu-ETP Rame maggiore o uguale a 99,90%. Contenuto massimo impurezze: Bi 0,0005%, Oss. 0,040%, Pb 0,005%.</p>
	<p>Accessori (pompe, contatori) in Rame Cu-OF Rame maggiore o uguale a 99,95%. Contenuto massimo impurezze: Bi 0,0005%, Pb 0,005%.</p>
	<p>Tubazioni <u>Cupronichel 90/10</u> (dissalatori, scambiatori di calore). Ni: 9-11%, Mn: 0,5-1,0%, Fe: 1,0-2,0%, Cu il resto. Contenuto massimo di impurezze considerate tossiche: Piombo 0,02%; Arsenico 0,02%; Antimonio 0,02%, per un totale massimo di 0,05%. <u>Ottoni all'alluminio</u> (tubazioni, flange).Cu: 76-79%, Al: 1,8-2,3%, As: 0,02-0,06%, Zn il resto. Contenuto massimo delle impurezze considerate tossiche: Piombo 0,05%; Nichel 0,1%;Antimonio 0,02%.</p>
	<p>Componenti in leghe di rame: <u>Ottoni</u>. (Cu: 55-64%, Pb: minore o uguale a 3,5%, Zn il resto). Contenuto massimo di impurezze: Arsenico + Antimonio 0,15%;Cadmio 0,01%;Nichel 0,3% <u>Bronzi allo stagno</u>. (Sn: 1,5-9%, Pb: minore o uguale a 4,5%, Zn: minore o uguale a 10%; Cu il resto). Contenuto massimo delle impurezze considerate tossiche:Nichel 0,6%;Arsenico + Antimonio 0,05%; per leghe da getto Arsenico + Antimonio 0,15%;Cadmio 0,01%. <u>Bronzi all'alluminio</u>. (Al: 4-12,5%, Ni: minore o uguale a 6%, Cu il resto). Tenore massimo delle impurezze considerate tossiche:Piombo 0,05%;Arsenico + Antimonio 0,05%;Cadmio 0,01%.</p>
	<p>Leghe Cupro-Nichel per impianti di dissalazione. (Ni: 9-32%, Fe: 1-2,5%, Mn: 0,5- 2,5%, il resto Cu). Tenore massimo delle impurezze considerate tossiche:Piombo 0,05%.Totale massimo di altre impurezze considerate tossiche: 0,05%.</p>
Alluminio	<p>I manufatti in alluminio devono rispondere a quanto previsto dal decreto del Presidente della Repubblica n. 777 del 23 agosto 1982 e dal decreto legislativo 108 del 25 gennaio 1992</p>

Titanio e sue leghe	Titanio. Tenore massimo di altri componenti e/o impurezze: Alluminio 0,1%; Vanadio 0,1%; Molibdeno 0,1%; Nichel 0,1%; Ferro 0,2%. Altre impurezze considerate tossiche: (As, Sb, Cd, Pd) 0,02% ciascuna; 0,08% in totale.
Titanio e sue leghe	Leghe di titanio. Tenore massimo di altri componenti: Alluminio 3,5%; Vanadio 3,0%; Molibdeno 0,4%; Nichel 0,9%; Palladio 0,25%; Rutenio 0,14%; Ferro 0,20%. Altre impurezze considerate tossiche: As, Sb, Cd, Pd: 0,02% ciascuna; 0,08% in totale
Leghe per brasatura	Le leghe per la brasatura capillare per tubi e raccordi non devono contenere Piombo, Antimonio e Cadmio in percentuale rispettivamente superiori a 0,1, 0,1 e 0,01%.

Note all'allegato I:

Il decreto ministeriale 21 marzo 1973 reca: "Disciplina igienica degli imballaggi, recipienti, utensili, destinati a venire in contatto con le sostanze alimentari o con sostanze d'uso personale". L'art. 37 del citato decreto ministeriale recita: "L'idoneità degli oggetti in acciaio inossidabile a venire in contatto con gli alimenti deve essere accertata: per quanto riguarda la migrazione globale, con le modalità indicate nella sezione 1 dell'allegato IV; per quanto riguarda la migrazione specifica del cromo e del nichel, ove richiesto, con le modalità indicate nella sezione 2, punti 3 e 5 dell'Allegato IV. Nel caso di oggetti di uso ripetuto, la determinazione della migrazione specifica viene effettuata con "tre attacchi" successivi di uguale durata, sul liquido di cessione proveniente dal terzo "attacco". Nel caso di oggetti che possono essere impiegati in contatto con qualsiasi tipo di alimenti, la valutazione di idoneità può essere basata sulle seguenti prove, in quanto ritenute più severe tra quelle previste nella sezione 1 dell'Allegato IV: per oggetti destinati a contatto prolungato a temperatura ambiente: soluzione acquosa di acido acetico al 3 per cento, per 10 giorni a 40 °C; per oggetti destinati ad uso ripetuto, di breve durata a caldo o a temperatura ambiente: soluzione acquosa di acido acetico al 3 per cento, a 100 °C per 30 minuti; tre "attacchi" successivi, con determinazione della migrazione globale e della migrazione specifica del cromo e del nichel sul liquido di cessione proveniente dal terzo "attacco". Per gli oggetti di cui al presente capo i limiti di migrazione specifica sono i seguenti: cromo (trivalente), non più di 0,1 ppm; nickel, non più di 0,1 ppm.

- La sezione 2 dell'allegato IV del citato decreto ministeriale, reca: "Determinazione della migrazione specifica".

- Il decreto del Presidente della Repubblica del 23 agosto 1982, n. 777, reca: "Attuazione della direttiva (CEE) n. 76/893 relativa ai materiali e agli oggetti destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari".

- Il decreto legislativo 25 gennaio 1992, n. 108, reca: "Attuazione della direttiva n. 89/109/CEE concernente i materiali e gli oggetti destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari".

5.2 Materiali a base di leganti idraulici, smalti porcellanati, ceramiche e vetri

I materiali a base di leganti idraulici, smalti porcellanati, ceramiche e vetri che possono essere utilizzati per la produzione di manufatti destinati a venire a contatto con acque destinate al consumo umano sono riportati nell'allegato II del D.M. 6 Aprile 2004 , n.174.

Analogamente alla lista presente nell'allegato I, la durata di validità della lista è di cinque anni dalla data di pubblicazione del regolamento.

I materiali a base di leganti idraulici, smalti porcellanati, ceramiche e vetri utilizzabili secondo l'allegato II, sono riportati nella Tab. 5.3:

Tab. 5.3 - Materiali a base di leganti idraulici, smalti porcellanati, ceramiche e vetri utilizzabili secondo l'allegato II del D.M. 6 Aprile 2004 , n.174

<p>Materiali a base di leganti idraulici</p>	<p>I prodotti e i coadiuvanti che possono essere incorporati nei cementi, nelle malte, nei calcestruzzi utilizzati per la fabbricazione dei materiali a base di leganti idraulici devono soddisfare alle seguenti prescrizioni:</p> <p>Capo I - Fibre.</p> <p><u>Fibre metalliche.</u></p> <p>Le fibre di ghisa e di acciaio devono soddisfare alle esigenze previste nell'allegato I del presente regolamento.</p> <p><u>Fibre minerali non metalliche.</u></p> <p>Sono impiegabili le fibre di vetro che rispondono ai requisiti del presente allegato, capo II.</p> <p><u>Fibre organiche.</u></p> <p>Sono impiegabili le fibre naturali cellulosiche, le fibre di poliolefina, le fibre di poliacrilonitrile, le fibre di alcool polivinilico, le fibre di poliammide e di poliestere lineare sotto riserva che rispondano alle esigenze dell'allegato III del presente regolamento.</p> <p>Capo II Aggiunte.</p> <p>Aggiunte (dose che può essere superiore al 5% in massa del cemento secco).</p> <p><u>Aggiunte minerali.</u></p> <p>In aggiunta agli additivi minerali autorizzati dalla regolamentazione relativa ai materiali ed oggetti in contatto con le sostanze alimentari possono essere introdotti nei materiali a base di leganti idraulici le aggiunte seguenti: silicati ed alluminati di calcio, di sodio, di potassio o di magnesio ad eccezione dell'amianto; argille: attapulgite, smectite, montmorillonite e caolini; silice di combustione; riempitivi (cariche) calcarei e/o silicici; allumina. È consentito l'impiego di materiali e prodotti cementizi purché l'acqua con cui vengono a contatto non sia aggressiva nei loro confronti.</p> <p><u>Aggiunte organiche.</u></p> <p>Possono essere introdotte nei materiali a base di legante idraulico, le aggiunte organiche fabbricate con dei costituenti autorizzati dalla regolamentazione relativa ai materiali ed oggetti a contatto con le sostanze alimentari. Le aggiunte introdotte nei materiali a base di leganti idraulici non devono conferire al prodotto finito un carattere nocivo per la salute</p>
<p>Smalti porcellanati, ceramiche e vetri</p>	<p>Gli smalti porcellanati devono rispondere alle norme riportate all'articolo 2, punto c del decreto legislativo n. 108 del 25 gennaio 1992. Le ceramiche devono rispondere alle norme specifiche del decreto ministeriale 4 aprile 1985 "Disciplina degli oggetti in ceramica destinati ad entrare in contatto con i prodotti alimentari". Gli oggetti in vetro devono rispondere alle disposizioni del decreto ministeriale 21 marzo 1973</p>

Note allegato II "Art. 2-bis. - 1. E' vietato produrre, detenere per vendere, porre in commercio o usare materiali e oggetti che allo stato di prodotti finiti siano destinati a venire in contatto con le sostanze alimentari o con l'acqua destinata al consumo umano, che siano: rivestiti internamente con strati vetrificati, verniciati o smaltati che, messi a contatto per 24 ore con una soluzione all'1 per cento di acido acetico, cedano piombo alla temperatura ordinaria";

5.3 Materie plastiche, gomme naturali e sintetiche

Le materie plastiche, gomme naturali e sintetiche che possono essere utilizzate negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano sono specificate nell'Allegato III del D.M. 6 Aprile 2004, n.174. La durata di validità della lista è fissata in cinque anni a decorrere dalla data di pubblicazione del regolamento.

Le disposizioni dell' allegato III concernono:

- le materie plastiche autorizzate per l'utilizzazione negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano (allegato IIIa);
- le gomme naturali e sintetiche utilizzate per la fabbricazione dei giunti e degli elementi di tenuta posti in contatto con le acque destinate al consumo umano (allegato IIIb).

L'idoneità degli oggetti destinati a venire in contatto con l'acqua, fabbricati con i suddetti materiali, è subordinata all'effettuazione del controllo della migrazione globale, della migrazione specifica, qualora indicato per i costituenti di cui al punto 1 dell'allegato IIIa e al punto 1 dell'allegato IIIb, della migrazione di coadiuvanti e della migrazione di coloranti, con le modalità riportate nell'allegato IIIc.

È ammesso l'uso dei coloranti di cui agli articoli 12 e 18 del decreto ministeriale 21 marzo 1973 e successivi aggiornamenti, qualora nella suddetta legislazione non se ne vieti espressamente l'uso in contatto con acqua.

Il controllo dell'idoneità degli oggetti deve essere effettuato sull'oggetto finito.

Quando ciò non sia possibile, le determinazioni devono essere eseguite su un provino rappresentativo del materiale che viene a contatto con l'acqua e quindi assimilabile a tutti gli effetti all'oggetto stesso, avente la stessa composizione e preparato con le stesse tecniche produttive.

Le prove dovranno essere effettuate su oggetti nuovi o su provini, previo lavaggio secondo le modalità previste in allegato IIIc. Gli oggetti o provini saranno quindi posti in contatto con acqua distillata a 40°C per 24 ore.

I risultati delle prove di cessione vengono riferiti al volume in acqua degli oggetti pieni ed espressi in mg migranti/kg di acqua; in via subordinata, e solo quando ciò non sia possibile, in mg/dm². In tale caso, il risultato verrà trasformato in mg migranti/kg di acqua moltiplicandolo per un fattore di conversione convenzionale, uguale a 6. Per quanto riguarda la migrazione globale, gli oggetti sono ritenuti idonei quando il residuo ottenuto dalla prova effettuata non sia superiore a 60 mg/kg per i costituenti di cui al punto 1 dell'allegato IIIa e non superiore a 50 mg/kg per i costituenti di cui al punto 1 dell'allegato IIIb.

Per quanto concerne la migrazione specifica, si applicano gli stessi criteri di espressione dei risultati e gli oggetti sono ritenuti idonei quando vengono rispettati i limiti specifici eventualmente indicati per le singole sostanze o gruppi di esse, di cui al punto 1 dell'allegato IIIa, e al punto 1 dell'allegato IIIb.

Le materie plastiche, gomme naturali e sintetiche utilizzabili secondo l'allegato III, sono riportati nella Tab. 5.4:

Tab. 5.4 - Materie plastiche, gomme naturali e sintetiche utilizzabili secondo l'allegato III del D.M. 6 A

<p style="text-align: center;">Materie Plastiche</p>	<p>1. Costituenti autorizzati: Le materie plastiche, comprese le verniciature, i rivestimenti, le membrane possono essere fabbricati esclusivamente a partire dai costituenti di seguito indicati. Inoltre, gli oggetti preparati a partire dai suddetti costituenti non devono cedere sostanze ritenute nocive alla salute, come taluni monomeri, composti a basso peso molecolare, intermedi, catalizzatori, dai costituenti di seguito indicati: solventi agenti emulsionanti. È vietato l'impiego di materiali di scarto o già utilizzati.</p>
	<p>1.A <u>Monomeri sostanze di partenza, additivi</u>: Possono essere utilizzati tutti i monomeri, le sostanze di partenza, gli additivi e i coloranti previsti dalla legislazione sui materiali ed oggetti in materia plastica destinati ad entrare in contatto con alimenti, di cui al decreto ministeriale 21 marzo 1973 e successivi aggiornamenti, con le condizioni, limitazioni e tolleranze di impiego ivi previste, qualora nella suddetta legislazione non se ne vieti espressamente l'uso in contatto con acqua. 1.B Inoltre possono essere utilizzati: Piombo fosfito bibasico per PVC rigido e suoi copolimeri Piombo solfato tribasico a prevalente contenuto in PVC, esente Piombo stearato bibasico da plastificanti. LMS del Pb per tutte e quattro le sostanze cumulate. Piombo stearato neutro: 0,05 ppm come somma secondo il metodo riportato in allegato III, sezione 2 n. 4, decreto ministeriale 21 marzo 1973. I limiti sono applicati fino al 25 dicembre 2003. 2. Limiti di migrazione. L'idoneità degli oggetti destinati a venire in contatto con l'acqua è subordinata all'effettuazione del controllo della migrazione globale, della migrazione specifica, qualora indicato per i singoli costituenti di cui al punto 1 del presente allegato, della migrazione di coadiuvanti, e della migrazione di coloranti con le modalità riportate in allegato IIIc.</p>
<p style="text-align: center;">Gomme naturali e sintetiche</p>	<p>1. Costituenti autorizzati. I materiali a base di gomma naturale e sintetica possono essere fabbricati esclusivamente a partire dai costituenti di seguito indicati. E' vietato l'impiego di materiali di scarto o già utilizzati. 1.A <u>Elastomeri, sostanze di partenza, additivi</u>: Possono essere utilizzati tutti gli elastomeri, le sostanze di partenza, gli additivi e i coloranti previsti dalla legislazione sui materiali ed oggetti in gomma destinati ad entrare in contatto con alimenti, di cui al decreto ministeriale 21 marzo 1973 e successivi aggiornamenti, con le condizioni, limitazioni e tolleranze di impiego ivi previste qualora nella suddetta legislazione non se ne vieti espressamente l'uso in contatto con acqua. 1.B Possono essere utilizzate inoltre le sostanze: Ossido di ferro; Acido miristico e suoi sali alcalini; Potassio idrossido; Sodio pirofosfato; Esafluorodipentametilene. 2. Limiti di migrazione. L'idoneità degli oggetti destinati a venire in contatto con l'acqua è subordinata all'effettuazione del controllo della migrazione globale, della migrazione specifica, qualora indicato per i singoli costituenti di cui al punto 1 del presente allegato, della migrazione di coadiuvanti, e della migrazione di coloranti con le modalità riportate in allegato IIIc</p>

5.4 Considerazioni relative ai materiali

Alla luce delle attuali ricerche sulle interazioni tra i materiali delle reti di distribuzione e le acque in essi trasportate si evince che, attualmente, i materiali delle reti di distribuzione pubblica non presentano rilevanti problematiche di rilascio di sostanze tossiche a seguito del passaggio delle acque stesse.

Per il trasporto dell'acqua potabile, in particolare, il materiale con il quale il tubo è realizzato deve garantire la massima sicurezza rispetto al mantenimento delle qualità dell'acqua e ai livelli di cessione di sostanze tossiche.

Nei primi cinque Paesi europei il PVC è presente, in questa applicazione, con il 25% delle nuove installazioni e garantisce la migliore efficacia nel mantenere inalterate le qualità dell'acqua anche su tempi molto lunghi.

I livelli di migrazione di residui di CVM (vinilcloruro monomero) o di additivi sono assolutamente insignificanti per quantità ed effetti e, comunque, notevolmente inferiori rispetto ai limiti di sicurezza stabiliti dalla legge italiana e dagli organismi sanitari internazionali.

Per i residui di CVM siamo nell'ordine delle parti per trilione, a fronte di una soglia massima di minore di 10 parti per bilione (< 10 ppb) stabilita dalla normativa. Per quanto riguarda gli aspetti relativi all'utilizzo degli additivi stabilizzanti a base di piombo occorre sottolineare che questi costituiscono una piccolissima parte della miscela di PVC e, durante il processo di additivazione, rimangono completamente incapsulati nella matrice polimerica.

I livelli misurati di migrazione di particelle di piombo nell'acqua potabile contenuta nelle tubature in PVC sono di 1,1 - 1,9 ppb (parti per bilione) contro un limite massimo di legge di <50 ppb.³

Il problema è invece diverso e molto rilevante per le reti private, per le quali lo stato di manutenzione dei condotti rappresenta un fattore importante per il decremento quantitativo delle acque, soprattutto negli edifici vecchi. Per le reti private, le ricerche attuali sottolineano la validità dell'installazione di tubature in rame, sia per la loro flessibilità sia per i requisiti di igienicità.

Interazioni tra acqua e materiali

Dalla valutazione dei più recenti studi relativi all'interazione tra l'acqua e i materiali che costituiscono le condotte sono emerse alcune indicazioni che permettono di orientare meglio lo sviluppo di tecnologie e le soluzioni per il miglioramento qualitativo delle acque.

Le ricerche effettuate dall'Istituto Superiore di Sanità

L'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha realizzato una banca dati nazionale sulla cessione dei metalli in reti di distribuzione di acque destinate al consumo umano. Da tale banca dati emerge che l'acqua potabile che esce dai rubinetti delle case è di buona qualità e non presenta particolari rischi sanitari per i livelli di metalli in essa contenuti. La banca dati è, a sua volta, il frutto del primo progetto nazionale, messo a punto dal Reparto di Igiene delle Acque Interne del Dipartimento di Ambiente e Prevenzione Primaria dell'ISS, per lo studio delle modifiche della qualità dell'acqua distribuita in condotte, in relazione alla tipologia dei materiali impiegati per il trasporto e alle reti di distribuzione.

La qualità dell'acqua potabile, quella che arriva fino al rubinetto delle case, è notevolmente condizionata dalla struttura e dallo stato delle reti idriche utilizzate per la distribuzione. Fino a poco tempo fa, questo problema non veniva adeguatamente preso in considerazione, tanto che le analisi sulle caratteristiche dell'acqua venivano effettuate a monte, ossia negli acquedotti. Solo di recente, con l'entrata in vigore del D.Lgs. 31/2001, che ha recepito la normativa europea del 1998, è stato stabilito che il luogo nel quale valutare i parametri di qualità dell'acqua è il punto di utilizzo finale,

³ Fonte : <http://www.pvcforum.it/>

quindi il rubinetto dell'abitazione. Dall'esame complessivo dei dati si è visto che i livelli medi di metalli riscontrati non presentano, da un punto di vista generale, un rilevante rischio sanitario. Nei pochi casi in cui per alcuni metalli, come nichel, ferro e piombo, sono state riscontrati livelli superiori a quelli massimi previsti dalla normativa recentemente introdotta, la causa delle contaminazioni sembra ascrivibile alle scarse condizioni di manutenzione delle condutture interne alle abitazioni, oltre che alle caratteristiche proprie di alcuni tipi di acqua.

Lo studio ha coinvolto 15 Gestori e 13 laboratori pubblici ed è stato realizzato effettuando 6.000 prelievi presso più di 3.800 utenze pubbliche e private, ubicate in fabbricati di diversa tipologia ed epoca di costruzione. I prelievi sono stati effettuati con diverse modalità: quella random, ossia effettuata in modo casuale, senza aspettare che l'acqua scorra per un pò' di tempo dal rubinetto, e quelle che prevedono un flusso di 5 minuti e il prelievo dopo mezz'ora o 4 ore di stagnazione.⁴

Nella Tab. 5.5 sono sintetizzate le interazioni possibili tra i parametri per l'acqua potabile previsti dal D.Lgs 31/01 e i materiali utilizzati nelle condutture.

Metalli e salute umana

Tra le varie sostanze inquinanti che hanno oggi una elevata diffusione nell'ambiente, i metalli pesanti sono gli elementi più dannosi, perché penetrano nell'organismo attraverso cibi, acqua e aria, bloccando l'attività di numerosi complessi enzimatici. Le vie di eliminazione dei metalli sono invece molto ridotte: l'eliminazione avviene principalmente per salivazione, traspirazione, allattamento. I metalli si concentrano, danneggiandoli, in particolare in alcuni organi (come cervello, fegato, reni), nel tessuto adiposo e nelle ossa. Mentre da decenni la medicina conosce e tratta l'intossicazione acuta da metalli pesanti, finora poca attenzione è stata posta all'accumulo cronico e quotidiano dei metalli, anche se in riviste anche ad alto fattore di impatto (per esempio, in Lancet) sono stati riportati i risultati di studi che documentano il danno provocato dai metalli (per esempio, è riportata una correlazione tra Alzheimer ed accumulo cronico di alluminio). Un problema è posto anche dal fatto che l'accumulo cronico di metalli pesanti è molto difficile da valutare a livello clinico, essendo i sintomi vaghi e comuni a molte altre malattie (stanchezza, irritabilità, dolori gastrici e muscolari, cefalea, nausea, ipertensione, depressione, irritabilità, tremori ecc.). Tra tutti i metalli, uno dei più pericolosi è il piombo, presente nell'atmosfera e, spesso, nell'acqua potabile trasportata in vecchie tubature. Nel corpo, il piombo interagisce con il glutathione e con il selenio bloccando i meccanismi chiave della nostra difesa antiossidante e provoca cefalea, depressione, insonnia, affaticabilità, irritabilità, ansia, debolezza, dolori muscolari, calo di peso, ipertensione, danni ai reni, infertilità nell'uomo e aborti nella donna, gotta saturnina, pigmentazione blu nerastra alla base delle gengive.

⁴ Fonte: Ufficio Stampa dell'Istituto Superiore della Sanità in collaborazione con Massimo Ottaviani, Luca Lucentini, Emanuele Ferretti - Reparto di Igiene delle Acque Interne del Dipartimento di Ambiente e connessa Prevenzione Primaria

Tab. 5.5 -Interazioni tra i parametri per l'acqua potabile previsti dal D.Lgs 31/01 e i materiali utilizzati nelle condutture

Parametro	Unità misura	Valore limite	Valore guida	M*	Principali interazioni note
pH		6 ≤ pH ≤ 9,5	6,5 ≤ pH ≤ 8,5		variazioni del pH provocano una mobilitazione dei metalli presenti nei tubi (all'aumentare dell'acidità dell'acqua aumenta la capacità di solubilizzazione dei metalli)
Conducibilità	µs/cm a 20°C	2500	400		Un elevata conducibilità è connessa ad un elevata mineralizzazione delle acque. In funzione degli ioni disciolti, si può avere una diminuzione del potere corrosivo
durezza	gradi francesi °F		15-50 °F		
colore	mg/L (Pt/Co)	20			
torbidità	mg/L SiO ₂	10	1		
nitrati	mg/L NO ₃	50	5		I nitrati introdotti nell'organismo si riducono a nitriti e a contatto con le ammine (-NH ₂) formano le nitrosammine, sospette di essere cancerogene.
nitriti	mg/L NO ₂	0,5	0,1		
cloruri	mg/L Cl	250	25		
fluoruri	mg/L F	1,5			
Ferro	µg/L Fe	200	50	³	P
manganese	µg/L Mn	50	20	³	
ammonio	mg/L NH ₄	0,5	0,05		
Cloro residuo libero	mg/L	0,2			Concentrazioni eccessive di cloruri in un'acqua in funzione dell'alcalinità o dell'acidità dell'acqua stessa accelerano la corrosione dei metalli nelle reti di acquedotto.
alluminio	µg/L Al	200	50	³	
cromo VI	µg/L Cr	50		³	
Rame	mg/L Cu	1	0,1		P
cianuro	µg/L CN	50			
Zinco	µg/L Zn	3000	100	³	
nicel	µg/L Ni	20		³	

segue Tab. 5.5

Parametro	Unit à misu ra	Valor e limite	Valore guida	M ^a	Principali interazioni note
calcio	mg/L Ca		100		
magnesio	mg/L Mg	50	30		
Sodio	mg/L Na	150	29		
solfo	mg/L SO ₄	200	25		aumento di solfati oltre 250= sapore amaro
ossidabilità	mg/L O ₂	5			
fosforo	µg/L P ₂ O ₅	5000			
sapore					sapore amaro = oltre i 500mg/L di ioni Calcio e all'aumento di solfati oltre 250 mg/L
Presenza di sostanza organica					È favorita la creazione di biofilm
Germi psicrofili					I germi psicrofili sono fondamentali nei processi di rivestimento interno delle reti, concorrono ai fenomeni di biocorrosione possono facilitare la persistenza in rete di forme biologiche anche metazoiche a vita libera, che anche se non pericolose, sono senz'altro sgradite all'utenza.

^a M* = Metallo soggetto a limiti nei materiali costituenti le reti

I giunti e le possibili interazioni con la qualità dell'acqua

Il principale materiale utilizzato per le tenute è il silicone che necessita di manutenzione e deve essere sostituito frequentemente. I giunti elastoplastici, quali per esempio il silicone, necessitano di manutenzione per diversi motivi e devono essere sostituiti a seconda del tipo di utilizzo.

I siliconi invecchiano con il passare del tempo per l'umidità dell'aria e per il calore; come conseguenza, perdono la loro elasticità facilitando la formazione di crepe nei giunti. A causa di queste crepe non è più possibile garantire una tenuta ottimale. Inoltre, nelle crepe si può accumulare dello sporco che può portare alla formazione di aspergilli per l'umidità e il calore. Un aspergillo si può formare sulla superficie per l'accumulo di sporcizia dovuta, per esempio, a polvere, residui di sapone, vapori di grasso o affini. Anche utilizzando silicone additivato di fungicidi si possono formare aspergilli per le condizioni summenzionate. Con una pulizia frequente delle superfici con detergenti dalle proprietà disinfettanti è possibile diminuire la presenza di muffa, ma non eliminarla totalmente. Per questi motivi gli utilizzatori finali dovrebbero essere informati sulla necessità di frequenti interventi di manutenzione e di pulizia e, anche, sull'importanza di una sostituzione dei componenti.

6. LE TECNOLOGIE AMBIENTALMENTE SOSTENIBILI

Per l'individuazione delle tecnologie ambientalmente sostenibili è stato impostato un database, frutto della valutazione degli aspetti di criticità nella qualità delle acque emersi dalle valutazioni preliminari (Tab 6.1) e di specifici aspetti evidenziati come critici da parte della Water B2B (risparmio idrico, comfort dell'acqua, indicatori fisici).

Tab 6.1 – Tipologia di problematiche e ambito di genesi

Durezza dell'acqua	Caratteristiche chimico-fisiche originarie
Carica batterica	Non efficace potabilizzazione Contaminazione lungo la rete di distribuzione Ristagno all'interno degli edifici
Sostanze alogenate	Metabolici connessi alla tipologia di trattamento per la potabilizzazione
Presenza di metalli	Caratteristiche chimico-fisiche originarie e rilascio di residui dai materiali delle tubature, in particolare interne agli edifici

Per ciascun tipo di problematica/campo d'azione (abbattimento della durezza dell'acqua, sterilizzazione, abbattimento della carica batterica, rimozione delle sostanze indesiderate, risparmio idrico, comfort dell'acqua, indicatori fisici) sono state individuate le migliori tecnologie già esistenti, in fase di progettazione o potenzialmente realizzabili e sono stati analizzati i punti di forza e di debolezza in base a specifici parametri.

Una seconda ricerca è stata condotta consultando la bibliografia esistente e impostando, anche in questo caso, un database. La seconda ricerca è stata incentrata sull'individuazione delle tecnologie più recenti e ritenute più all'avanguardia e sostenibili nel campo della potabilizzazione.

Per ogni tecnologia è stata condotta un'attenta analisi in collaborazione con il referente della società Water B2B, del referente scientifico del centro di ricerca, e dei ricercatori al fine di focalizzare l'attenzione sulle tecnologie ritenute più valide:

- Zeoliti: resine naturali con particolare struttura capaci di scambiare calcio e magnesio con sodio e altri elementi chimici. Si prestano quindi come materiale ottimale in grado di abbattere la durezza dell'acqua, di renderla più limpida e di assorbire gli odori. Possono intrappolare nella loro struttura cristallina piena di cavità numerosi metalli (ferro, manganese, nichel, piombo ecc). Inoltre, possono abbattere i composti organici volatili (COV) presenti nell'acqua.
- Tecnologia *Aqua hydro Physical Systems*: è una tecnica di recente realizzazione ed è considerata altamente sostenibile nella disinfezione delle acque. Capace di rimuovere batteri, microbi, alghe e funghi sfruttando la sola pressione dell'acqua e la forza sia centrifuga che centripeta che si crea all'interno dell'apparecchio.
- Acido peracertico: è capace di disattivare una gran quantità di microrganismi patogeni, virus e spore. I suoi prodotti di degradazione non sono tossici e si dissolvono facilmente in acqua.
- Argento-rame: questi due metalli sono efficaci nel disattivare i batteri della legionella e di biofilm, inoltre, hanno potere di azione lungo tutto il sistema idrico e, quindi, anche nei punti morti e nelle parti a scorrimento lento.

- Idrossido di ferro: si è visto in laboratorio che l'idrossido di ferro è capace di assorbire l'arsenico presente nell'acqua. Questa tecnologia non utilizza sostanze chimiche aggiuntive e l'arsenico viene rimosso tramite processo naturale e filtri.
- Indicatore nichel per kit fai da te: è in fase di studio la fattibilità di un sensore di nichel da poter fornire direttamente alle famiglie; questo kit permetterebbe alle famiglie di fare un controllo diretto, senza ricorrere a laboriose e costose analisi chimiche, della presenza di nichel nelle acqua di rubinetto. Questo indicatore potrebbe essere molto utile per soggetti allergici al nichel; anche se non è scientificamente provato che l'acqua possa contribuire agli effetti allergici, usando l'acqua del rubinetto contenente nichel si ha un'esposizione a questa sostanza e potrebbe essere utile sapere se l'acqua con la quale ci si lava o che si usa per cucinare contiene del nichel disciolto.

Il data base delle tecnologie è riassunto in Tab. 6.2, mentre quello della bibliografia in Tab. 6.3.

Tab. 6.2 – Database delle migliori tecnologie disponibili

Campo d'azione	Tecnologia	Punti di forza	Punti di debolezza
Abbattimento durezza (calcio e magnesio)	Addolcimento con resine a scambio ionico	Impianti relativamente poco costosi	Altera le caratteristiche dell'acqua (perché trattamento chimico)
		Tecnologia semplice	Ingombro
		Efficacia misurabile	Hanno bisogno di uno scarico
		Materiale di consumo (cloruro di sodio) di facile reperibilità e poco costo	Consumano acqua per la rigenerazione delle resine
			Gestione piuttosto impegnativa
	Zeoliti	Sono resine naturali (esistono già in natura)	Prevedono comunque la rigenerazione con cloruro di sodio
		Per la loro particolare struttura sono capaci di scambiare calcio e magnesio con il sodio o altri elementi chimici	
		Possono intrappolare nella loro struttura cristallina, piena di cavità, numerosi metalli (ferro, manganese, nichel, piombo ecc)	
		Sono diffuse in molti campi. Sono in corso studi per un loro impiego in tecnologie innovative	
		Sono chimicamente inerti e resistenti agli acidi	
		Sono capaci di abbattere i COV presenti nell'acqua	
		Attualmente vengono già usate come additivi nei detersivi per ridurre la durezza dell'acqua e nei prodotti per la depurazione delle acque di scarico.	

Abbattimento durezza (calcio e magnesio)	Campo magnetico (Acqua correct; Acquatonic; Water imp, euroacque)	Sfrutta un processo fisico e non chimico	Non si hanno notizie certe (notizie discordanti)
		Abbassa la tensione superficiale dell'acqua favorendo un minor consumo di saponi e di additivi	Non rimuove il calcio e il magnesio (può essere considerato un vantaggio visto che il calcio fa bene): quindi, sicuramente non abbassa la durezza dell'acqua
		Rimuove il calcare e gli odori	Generazione di un campo magnetico? Sì, ma probabilmente ha una intensità sufficientemente bassa da non ingenerare effetti negativi sulla salute umana
		Economico	L'efficacia del campo magnetico appare piuttosto limitata. Di conseguenza, è probabile che si debba applicare un magnete per ogni punto acqua, soprattutto nei tratti collegati ad elettrodomestici, per prevenire la formazione di calcare in questi ultimi (lavatrice, lavastoviglie)
		Facile da installare	Se le acque sono ricche in metalli e quindi sono soggetti all'effetto del campo magnetico il campo generato tenderà a deviare questi metalli. È inoltre possibile che, a seconda dell'intensità del campo, i metalli si depositino sulla superficie dei tubi (effetti di incrostazione)
		Previene la corrosione dei tubi	I tubi devono essere di un materiale tale da non schermare il campo generato
Sterilizzazione e/o abbattimento carica batterica	Sterilizzazione con lampade UV	Economia	Efficacia variabile in funzione della pulizia della lampada. Il controllo può essere effettuato solo mediante misure ex-post
		Semplicità di installazione, di funzionamento e di gestione	L'efficacia è funzione della distanza (più vicino alla lampada, maggiore efficacia)
		Poche perdite di carico	Non rimuove contaminazioni esistenti a valle della lampada compresa retro-contaminazione (a partire dal punto di prelievo verso l'impianto)

Sterilizzazione e/o abbattimento carica batterica	Ozono	Efficacia misurabile	Sicurezza
		Permanenza dell'effetto battericida	Ossidazione tubazioni e impianti
	Filtri	Efficacia misurabile	Costo elevato
		Garanzia contro il decadimento delle prestazioni (se troppo contaminato, le elevate perdite di carico non consentono il passaggio dell'acqua)	Gestione complessa (se si intasano i filtri)
			Possibilità di contaminazione dei filtri da parte di altri batteri
			Possibilità di rottura improvvisa
	Filtri per la rimozione dell'arsenico	Rimuovono l'arsenico, la torbidità e i cattivi odori	Un problema può essere costituito dalla durata del filtro
		Tecnologia semplice e poco costosa (circa 17 euro)	
		Tecnologia sostenibile (non vengono aggiunte sostanze chimiche). L'arsenico viene rimosso tramite processo naturale all'interno del filtro (http://www.downtoearth.org.in/full6.asp?foldername=20050515&filename=news&sec_id=4&sid=19)	
		85-95% arsenico rimosso	
		È stato utilizzato in Nepal con un progetto della IRC (International Water and Sanitation Centre)	

Sterilizzazione e/o abbattimento carica batterica	Anolyte or Electro Activated water	pH neutro non tossico; è biodegradabile (ambientalmente ed ecologicamente compatibile)	Consumo di acqua per la rimozione dell'analita e la rigenerazione
		Contenuto di cloro attivo pari a 300mg/L ed è una soluzione di ipoclorito di sodio, con una piccola percentuale di biossido di cloro e di ozono, che rappresentano circa il 10% del cloro attivo.	
		Combatte sia l'inquinamento attuale sia quello pregresso, in ogni punto della rete idrica (evita la formazione di biofilm)	
		Costi molto bassi (serve solo acqua e sale)	Manutenzione 4 volte l'anno
		Vengono eliminati anche batteri molto resistenti insediati nei biofilm e i batteri di plancton liberi nell'acqua	
		Non è necessario usare elevate temperature per disinfettare le legionelle: si ha, quindi, anche un risparmio energetico	
		Elimina cattivi odori e sapori	
	Acido peracetico	Disattivazione di una grande varietà di microorganismi patogeni. Inoltre, disattiva i virus e le spore.	Il pH e la temperatura influenzano l'attività dell'acido. Infatti, l'acido peracetico è più efficace se il livello di pH è pari a 7 che in un range fra 8 e 9. Invece ad una temperatura di 15°C ed un livello di pH pari a 7, è necessaria una quantità di acido peracetico 5 superiore per disattivare gli agenti patogeni presenti rispetto alle condizioni di pH pari a 7 e ad una temperatura di 35°C.
		I prodotti di degradazione dell'acido peracetico non sono tossici e possono dissolversi facilmente in acqua (CO ₂ , O ₂ , H ₂ O)	
		Ha una capacità di ossidazione maggiore rispetto al diossido di cloro e all'ipoclorito di sodio	

Sterilizzazione e/o abbattimento carica batterica	Disinfezione rame-argento	Efficace nel disattivare i batteri della legionella e biofilm	L'efficacia dipende dal pH dell'acqua (pH 9 viene rimosso solo un decimo di legionella presente)
		È efficace all'interno dell'intero sistema idrico, anche nei punti morti e nelle parti a scorrimento lento	Se le concentrazioni di solidi disciolti sono alte, precipita l'argento
		Bassa manutenzione	Qualche microrganismo può diventare resistente alla ionizzazione rame-argento
		Non è corrosivo	Costo elevato
		L'effetto non dipende dalla temperatura	Non può essere usato con superfici zincate
			Bisogna misurare il livello di rame nei rubinetti (non deve superare i 20 µg/L)
	Perossido di idrogeno e argento	Si basa sull'utilizzo di una soluzione stabile di perossido di idrogeno e ioni argento, che agiscono con effetto sinergico e sono in grado di demolire anche il biofilm.	
	Tecnologia Hydro Physical Dynamic Flow Water Treatment	E' una tecnica recente che necessita di ulteriori conferme sperimentali.	Si hanno poche notizie certe
		Efficace per la distruzione di batteri, virus, alghe, funghi	
		Sfrutta la pressione dell'acqua	
		Struttura semplice	
		È commercializzata come la soluzione più sostenibile per la disinfezione delle acque (http://www.eco-nex.com/9.html)	

Rimozione sostanze indesiderate	Filtrazione	L'acqua viene purificata per passaggio attraverso il filtro	
		Sono disponibili in diverse dimensioni, a seconda delle portate	
		Sono disponibili diversi tipi di filtro a seconda degli inquinanti da rimuovere	
	Osmosi inversa		Rimuove quasi tutti gli elementi presenti nell'acqua , acque oligominerali
Risparmio idrico	Riduzione flusso		
	Espedienti comportamentali		
Comfort (acqua da bere)	http://www.aquasana.com/product.cfm?id=1&discountcode=wfcOV	Semplice installazione	
		Costo basso	
		Riduce il Pb, i COV, i trialometani,	
		Tecnologia semplice (doppia filtrazione a carboni e micro filtrazione)	
		Visualizzazione delle percentuali di riduzione per i vari contaminati (http://www.aquasana.com/Performance+sheet.pdf)	
	Aggiunta ossigeno	Aumenta l'energia e il vigore fisico, riduce lo stress	Non si hanno evidenze scientifiche
Comfort (doccia)	http://www.aquasana.com/product.cfm?id=2&discountcode=sfcOV	Semplice installazione	
		Costo basso	
		Riduce del 90% il cloro presente nell'acqua	
		Maggiore idratazione	
		Riduce la possibilità di infezioni alle vie respiratorie dovute all'inalazione di COV	

Comfort (doccia)		Tecnologia semplice (una prima filtrazione attraverso un dispositivo di rame e zinco e una seconda filtrazione attraverso un involucro in carbonio)	
Comfort	disco anticalcare	Previene la formazione di calcare nei rubinetti	
		Il calcare depositato è facilmente rimovibile	
Indicatori fisici	hot hand	Bollino trasparente; può essere applicato in qualsiasi punto soggetto a riscaldamento	
		È invisibile fino a una certa temperatura	
		Diventa giallo ad elevate temperature	
		Previene il rischio ustioni	
	UVT meter	Controlla l'efficacia delle lampade UV	
Indicatore nichel	Si può realizzare un indicatore cromatico che può essere sia qualitativo che quantitativo		

Tab. 6.3 – Database della bibliografia di riferimento

Titolo	Autori	Rivista/Editore	Anno	Lingua	Parole chiave
Zeolite catalyst for water treatment system.	Kodama, Takashi; Arima, Yusaku		2006	E	Trattamento naturale acque, zeoliti
Filtration material with sterilization function for tap water and filtration device made from the material	Jin, Rui; Liu, Jun; Lei, Qin		2006	E	Trattamento naturale acque, filtrazione, materiali filtranti
Ion exchange with natural zeolites: an alternative for water softening?	Cinar, S.; Beler-Baykal, B.	Water science and tecnology	2005	E	Trattamento naturale acque, zeoliti, durezza acqua
Uses of zeolites for a better tapwater quality.	Balmer, W.; Bore, C.; Regis, R. C.	Association Scientifique Europeenne pour l'Eau et la Sante	2004	E	Trattamento naturale acque
Tecnologie emergenti nei Trattamenti di potabilizzazione: verso il superamento dei processi chimici tradizionali p. 116	G. Navazio, P. Albertin, P. Ragazzo, F. Babato		1994	I	Trattamento naturale acque
Hydrogen peroxide based water treatment system and method.	(PCT) International Application published under the patent cooperation treaty		2006		Trattamento acque potabili
Inorganic contaminant removal from water	Bourke, M. francis		2006		Trattamento acque potabili
An optical fiber sensor for biofilm measurement using intensity modulation and image analysis	R. Philip-Chandy, Patricia J. Scully, Piers Eldridge et ali	IEEE Journal on selected topics in quantum electronics, vol. 6, n° 5	2000		Biofilm, water,
Rimozione di ammonio mediante filtri zeolitici: tecniche di rigenerazione	A. Foschiani	Tesi di laurea in Ingegneria Chimica (padova)	1993/1994	I	Zeoliti, filtri, acque

segue Tab. 6.3

Titolo	Autori	Rivista/Editore	Anno	Lingua	Parole chiave
Possibilità di impiego di acido peracetico nei trattamenti di potabilizzazione di acque superficiali, su Acque destinate al consumo umano	P. Ragazzo, G. Navazio, A. Cavadore, F. Babato	Settimana Ambiente Italia 1996. Giornate di Studio: Acque destinate al consumo umano, Milano, Ed. GSISR	1996	I	Acido peracetico, potabilizzazione
Trattamento di deammoniazione di acque superficiali mediante doppio filtro biozeolitico, su Acque destinate al consumo umano	P. Ragazzo, W. Giacetti, N. Chiucchini, F. Babato	Settimana Ambiente Italia 1996. Giornate di Studio: Acque destinate al consumo umano, Milano, Ed. GSISR	1996		
Trattamento delle acque: rimozione di azotati mediante processi biologici	N. Chiucchini	Tesi di laurea in Ingegneria Chimica -	1994-1995		Processi biologici, trattamento acque, rimozione azotati
Process for the treatment of contaminant water based on the use of apolar zeolites having different characteristics	Vignola R, Cova U, Della Penna G, Sisto R.	esp@cenet database European Patent Office	2005		Zeoliti, naturale, contaminati, acqua
Improved materials for environmental application: surfactant-modified zeolites	Jovanovic, V.; Dondur, V.; Damjanovic, Lj.; Zakrzewska, J.; Tomasevic-Canovic, M.	Trans Tech Publications Ltd.,	2006		
Small filter comprising silver-plated copper, or brass fabric used for filtration and disinfection of tapered drinking water	Ger. Gebrauchsmust erschrift		2006		
Antibacterial composition with metal ions for water purification and pools disinfection.	Mitrokhina T V; Poljakova T S; Luchikhin L A	esp@cenet database European Patent Office	2003		Argento, rame, acqua potabile

segue Tab. 6.3

Titolo	Autori	Rivista/Editore	Anno	Lingua	Parole chiave
A water purifying system capable of preventing environment hormone, purifying and sterilizing water in an apartment house watertank or a common watertank.	Yoo, Geoung-Su	PCT Int. Appl.	2002		
Antimicrobial composition containing zeolite as carrier and production thereof	Hagiwara, Zenji; Nohara, Saburo		1985		Argento, rame, zeoliti, acqua potabile
Cu ion mineral sterilized water generator and method for using cu ion mineral sterilized water generator	Takada Fujio	esp@cenet database European Patent Office			
Procedure for the disinfection and for the prevention of the back germination of drinking and service water by using activated noble metals.	Tadelmann, Heinz W.	Ger. Offen.	2002		

6.1 Apparecchiature per il trattamento domestico di acque potabili

Il Ministero della Sanità, verificata la crescente presenza sul mercato di apparecchi propagandati e venduti quali tendenti a migliorare le caratteristiche dell'acqua, ha ritenuto opportuno emanare una normativa che ne regolasse la circolazione (D.M. 21/12/90, n. 443). Questi apparecchi innanzitutto non rendono potabile un'acqua inquinata, ma vengono utilizzati su acque già potabili al fine di migliorarne alcune caratteristiche, quali la durezza, per meglio adattarla a certi usi domestici (bucato, cottura alimenti, ecc.). Inoltre, se le apparecchiature non vengono adeguatamente installate e, soprattutto, gestite correttamente (sostituzione periodica di filtri, ecc.), potrebbero dar luogo ad inconvenienti di ordine igienico-sanitario (peggioramento dell'acqua erogata e rischi di inquinamento).

7. IL PROTOCOLLO PER LA VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE

Ai fini della valutazione delle tecnologie è stato sviluppato un protocollo di indagine *ad hoc*, frutto della collaborazione con una multiutility.

La scelta, di concerto tra il Gruppo di Ricerca e la Water B2B, è ricaduta su AEM di Cremona, perché rappresentativa di una realtà particolarmente attenta alle emergenti problematiche connesse alla qualità delle acque. Dalla lettura degli atti di un Seminario di studio di Ingegneria Sanitaria Ambientale, infatti, è emerso come l'AEM di Cremona sia attenta alle problematiche inerenti l'intero ciclo delle acque, dalla captazione alla distribuzione agli utenti finali. Fin dagli anni '80, AEM si è sempre impegnata a mantenere tecnologicamente aggiornati i propri impianti.

Si riporta di seguito il verbale dell'incontro e il protocollo sviluppato per la valutazione delle tecnologie

7.1 Analisi di un caso di studio reale - AEM Cremona

La situazione dell'acquedotto di Cremona⁵

L'acquedotto di Cremona nasce nel 1910. Il nucleo storico presenta, per la maggior parte, una tubazione di ghisa grigia con giunti in piombo. Nell'evoluzione dell'utilizzo dei materiali, le zone a fibrocemento sono state molto ridotte (100 m al massimo); in particolare, dagli anni '70 le tubazioni posate sono state di acciaio, con un rivestimento interno inizialmente bituminoso e, successivamente, costituito da diverse tipologie di resine. Attualmente, il rivestimento è in polietilene. Le prese più vecchie sono in acciaio mentre quelle più recenti in polietilene.

Grazie alla mappatura della rete effettuata negli anni, è possibile risalire alla distribuzione percentuale delle tipologie dei materiali e al numero di km della rete corrispondente al materiale.

Per quanto riguarda le reti interne, i palazzi storici del centro hanno tubature con giunti in piombo; in quelli costruiti in epoche successive è stato utilizzato acciaio o acciaio zincato e, più recentemente, polietilene.

Piuttosto recente è l'utilizzo del rame che è particolarmente interessante nelle reti interne perché facilita l'inserimento delle giunzioni e ha una maggiore malleabilità rispetto ad altri materiali.

Problematiche relative all'acquedotto di Cremona

Inizialmente, le acque venivano captate da pozzi a una profondità di 50 - 60 m. Queste acque erano particolarmente ricche in Fe e Mn e, negli anni, avevano generato una notevole patina di sedimento sulle tubazioni in ghisa. Questi sedimenti a volte si staccavano e venivano ritrovati nelle acque degli utenti.

In tempi più recenti, i pozzi per l'acqua potabile sono stati perforati a maggiori profondità; le acque sotterranee erano ricche in sostanza organica e ammoniaca e questo ha provocato la proliferazione di ferrobatteri nelle acque e la conseguente formazione di un biofilm sulle tubazioni. L'andamento della crescita del biofilm era legato alle modalità di utilizzo delle acque: durante la notte, a flusso ridotto o assente, il biofilm si riformava e al mattino, nel momento del maggior utilizzo, l'acqua si

⁵ Relazione incontro con Ing. Azzini, Responsabile reti AEM Cremona ,11 Ottobre 2006

presentava di colore marrone. Il disagio è durato per diversi mesi, nonostante i diversi interventi di spurgo in pressione delle tubature stesse.

Attualmente la distribuzione dell'acqua avviene attraverso due campi pozzi, con centrali di trattamento.

L'Arsenico è al di sotto dei 5 mg/L.

Le perdite della rete sono attorno al 10 – 15%; negli ultimi anni, il valore è influenzato dal lavaggio delle tubature necessario per la risoluzione del problema del biofilm.

7.2 Proposta di protocollo per la valutazione delle tecnologie

Il protocollo è stato sviluppato a partire dall'analisi del caso dell'acquedotto nel territorio del Comune di Cremona e sarà oggetto di ricerche successive. Il protocollo prevede di analizzare un caso reale di studio sulla rete AEM di Cremona, corredata da test con prodotti della Water B2B e con dispositivi che adottano una o più tra le tecnologie riportate nel paragrafo 6.

Si propone di avviare una campagna di ricognizione sulla qualità delle acque individuando quattro punti di valutazione per poter effettuare dei confronti su un ambito urbano circoscritto, scelto sul territorio di Cremona.

Il protocollo prevede l'acquisizione di:

- 1.a dati analitici relativi alle acque grezze emunte dal pozzo di competenza;
- 2.a dati analitici relativi alle acque post trattamento di potabilizzazione, prima dell'immissione in rete;
- 3.a dati analitici relativi ad acque prelevate in una fontanella pubblica;
- 4.a dati analitici relativi a una utenza (con e senza applicazione di dispositivi per il trattamento delle acque).

Il confronto sarà corredato da alcune informazioni di dettaglio su:

- 1.b tipologia di trattamento e sostanze utilizzate per la potabilizzazione;
- 2.b schema delle reti tra il punto di immissione in rete e la fontanella scelta, con indicazione dei materiali delle tubature pubbliche;
- 3.b tipologia di materiali delle tubazioni interne all'edificio prescelto.

L'ipotesi di applicazione coinvolge l'istituto ALA PONZONE CIMINO, Scuola tecnica per periti chimici, che tramite il Preside ha già espresso la sua disponibilità e il suo interesse alla collaborazione.

Il protocollo analitico sarà funzionale alla necessità di far emergere eventuali interazioni tra l'acqua immessa e le tubazioni (nella parte pubblica e in quella privata), confrontando la qualità delle acque nei primi 3 punti (1a, 2a, 3a) con il 4a, alla luce di 1b, 2b, 3b.

Per avviare la successiva ricerca, AEM ha già fornito, per una prima valutazione, alcuni dati relativi a 1a , 2a , 3a e 1b.

8. CONCLUSIONI E PROPOSTE

Dall'analisi delle tecnologie esaminate e dalla bibliografia, più recente, esistente si può concludere che le tecnologie ritenute più valide sono:

- le zeoliti;
- la tecnologia Aqua-hydro Physical Systems;
- l'acido peracetico;
- l'interazione argento-rame;
- l'idrossido di ferro;
- l'indicatore di nichel.

Le problematiche emerse come elementi d'interesse ma non ancora oggetto di specifiche ricerche d'indagine sono:

- le oocisti, riconducibili a situazioni di utilizzo di acque superficiali da potabilizzare;
- i biofilm, nel caso di presenza massiva di sostanza organica nelle acque.

Per valutare le tecnologie proposte è stato sviluppato un protocollo di indagine in collaborazione con l'AEM di Cremona. Questo protocollo prevede l'avvio di una serie di misurazioni su quattro punti di prelievo dell'acqua, scelti nell'ambito urbano di Cremona, al fine di valutare la qualità delle stesse. Verranno presi in esame anche i materiali delle tubature esistenti e le possibili interazioni assieme al tipo di trattamento e alle sostanze utilizzate per la potabilizzazione.

Dallo studio effettuato, si evince la necessità di proseguire le attività di ricerca avviate presso l'Università degli Studi di Milano Bicocca, in particolare coinvolgendo l'IRSA (Istituto di Ricerca sulle Acque) del CNR e l'ISS (Istituto Superiore di Sanità) al fine di testare le tecnologie selezionate, affrontare le problematiche non ancora oggetto di specifiche indagini (oocisti e biofilm) e avviare una specifica ricerca sulle relazioni tra materiali e qualità delle acque per quanto concerne le tubature interne agli edifici.

9. DIARIO DELLE ATTIVITA'

Avvio attività: 31luglio 2006

Le attività di ricerca sono state svolte in stretta collaborazione con i referenti della Water B2B proprio per rendere il più possibile sinergica e fruttuosa la collaborazione.

Le fasi principali sono state:

1. Analisi caratteristiche chimico-fisiche delle acque e potenziali interazioni con i materiali costituenti le tubazioni.
2. Analisi delle best practices e delle migliori tecnologie disponibili per il trattamento delle principali problematiche delle acque nel dopo contatore
3. Definizione di un protocollo per la valutazione di tali tecnologie.

Durante le tre fasi, le attività svolte dal Gruppo di ricerca del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio sono state più volte oggetto di incontri con l'azienda, come di seguito specificato.

01/08 (DP, SS, TC, CC) incontro preliminare per la definizione delle specifiche attività relative alle prime due fasi, con definizione concertata delle linee guida della ricerca.

15/09 (NC, TC) valutazione preliminare delle nuove tecnologie individuate e della loro applicabilità nel contesto di riferimento.

25/09 (SS, ED, NC, MD, CC) valutazione preliminare di alcuni aspetti emersi in particolare in relazione agli aspetti di sicurezza microbiologica delle acque post contatore.

10/10 (SS, NC) preparazione dell'incontro con il responsabile della rete idrica di AEM Cremona per valutare gli elementi salienti su cui impernare dall'incontro.

11/01 (SS, Ing Azzini) Incontro con referente per la gestione della rete idrica di AEM Cremona per un approfondimento degli aspetti problematici connessi al post contatore, confrontandosi con lo scenario reale di una municipalizzata. Definizione preliminare dei contenuti di un protocollo di valutazione delle tecnologie applicato ad un caso reale.

12/10 (SS, CC, MD) Valutazione dei risultati dell'incontro con AEM Cremona e dei possibili sviluppi applicativi del protocollo di valutazione delle tecnologie.

23/10 (DP, TC, SS, CC) Presentazione dei risultati relativi alle tre fasi per individuare gli elementi rilevanti emersi e per orientare le attività conclusive.

08/11 (SS) partecipazione alla fiera Ecomondo per un confronto con il panorama delle utilities presenti, al fine di dare seguito alla ricerca.

DP Prof. Demetrio Pitea

SS Dott.ssa Serenella Sala

TC Dott.ssa Tiziana Casa

NC Sig. Nicola Cascetta – Amm delegato Water B2B

CC Sig. Christian Cascetta – Responsabile operativo Water B2B

ED Ing. Emilio Di Cristofaro - Presidente Water B2B

MD Ing. Marta Di Cristofaro – Responsabile tecnologie Water B2B