

Come trattare le acque per emodialisi

Diego Brancaccio

*Servizio di Nefrologia e Dialisi
Ospedale San Paolo, Milano*

Argilla, sabbia, residui ferrosi, microorganismi, pirogeni, sostanze organiche e sali inorganici possono essere ospiti abituali dell'acqua di rete; ciò è già sufficiente per convincerci della necessità di trattare l'acqua da impiegare per scopi dialitici. Ma c'è di più: esiste oggi la tendenza sempre maggiore all'impiego indiscriminato di concimi agricoli, così come sono stati spesso riportati gli effetti nefandi degli scarichi industriali o dei detersivi domestici che hanno reso precario l'ecosistema in generale e le falde acquifere in particolare. Inoltre nell'area Europea numerose autorità municipali hanno pensato che l'aggiunta di sali di alluminio possa rendere più limpida e gradevole l'acqua potabile ed hanno delegato pertanto questa procedura alla discrezione di "chimici dell'acqua". Anche se l'acqua di falda, opportunamente filtrata, può essere adatta per scopi domestici, è però chiaro che siamo ben lungi dal livello di qualità che l'acqua deve avere per un trattamento dialitico adeguato.

Va inoltre fatta una ulteriore considerazione, che consolida la nostra convinzione a trattare l'acqua di rete: mentre un soggetto normale è esposto a circa 14 litri di acqua per settimana, i soggetti in emodialisi o in emofiltrazione sono invece esposti a 400 e 100-200 litri rispettivamente; in aggiunta è da sottolineare come nei soggetti in emofiltrazione non vi sia alcuna barriera protettiva; essi devono quindi essere trattati utilizzando soluzioni di qualità "infusionale".

Rimane infine da considerare che ogni falda acquifera non è stabile nel tempo; il variare delle stagioni e delle piogge può infatti portare a consistenti variazioni de-

TABELLA I

	Esposizione settimanale	Meccanismo protettivo
Soggetto normale	14 litri	Barriera gastrointestinale
Paziente in emodialisi	350-400 litri	Membrana dializzante
Paziente in emofiltrazione	100-200 litri	Nessuno

gli elementi presenti nell'acqua di rete, anche nell'arco di settimane o persino giorni.

È dunque chiaro che il paziente in dialisi non potrà essere trattato con una soluzione la cui qualità dell'acqua sia quella per cuocere spaghetti. Vediamo quindi come affrontare il problema, analizzando i motivi e i costi delle varie opzioni.

Filtrazione

La filtrazione viene di solito usata per rimuovere grosse particelle contenute nell'acqua di rete (> 1 micron). Il meccanismo è semplice: si tratta di far passare l'acqua in filtri progressivi realizzati da pacchi di fibre o matrici porose, così come mostra la Figura 1.

Questi filtri sono indispensabili: essi sono in grado di evitare che grosse particelle raggiungano le costose apparecchiature disposte più a valle. Eccone i difetti: **a)** in condizioni di sovrappressione oppure di invecchiamento essi possono fessurarsi, lasciando passare macroparticelle, oppure possono intasarsi creando quindi iperpensioni a monte. Può essere quindi importante leggere la pressione dell'acqua a monte e a valle dei filtri; **b)** il filtro può ospitare colonie batteriche rendendo possibili batteriemie o, quanto meno, reazioni pirogene. Per evitare ciò può essere utile la disinfezione dell'acqua, ma la sostituzione periodica dei filtri è ancora il suggerimento mi-

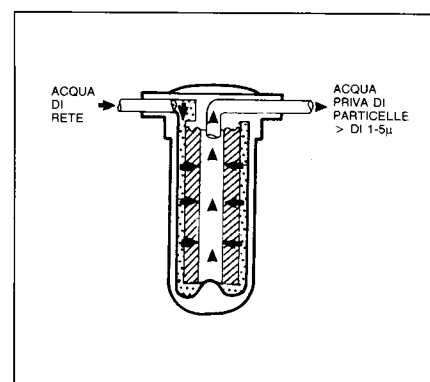


Fig. 1 - Filtrazione.

gliore.

Dove è meglio inserire i filtri? Di solito nei punti cruciali del circuito: ad esempio come prima barriera dell'acqua di rete, dopo il filtro a carbone (sempre!) e, comunque, prima dell'impianto di osmosi inversa o prima dell'ingresso del preparatore per dialisi.

Addolcimento

È noto che calcio e magnesio sono presenti abbondantemente nell'acqua di rete e sono responsabili della precipitazione calcarea sul bordo della pentola o della chiusura dei tubi dello scaldabagno. Dializzare i pazienti aggiungendo concentrato direttamente all'acqua di rete vuol dire provocare la "sindrome dell'acqua dura" poiché il bagno può raggiungere persino concentrazioni di calcio di 15-20 mg% e il paziente, in poche ore, può sviluppare ipercalcemia con nausea, vomito e, a volte, perfora-

zione acuta dello stomaco.

I vantaggi dell'addolcimento sono la sua semplicità d'uso e ciò spiega perché ha avuto un largo impiego negli anni '70 per il trattamento dell'acqua a domicilio.

L'impiego dell'addolcitore, più recentemente, è stato rivalutato non tanto per il suo impiego isolato, quanto perché è in grado di svolgere un efficace pretrattamento e quindi essere combinato con l'impianto di osmosi inversa evitandone il rapido invecchiamento o le rotture delle membrane.

Lo scopo di questo tipo di impianti è dunque quello di rimuovere ioni Ca^{++} , Mg^{++} ed altri ioni a carica positiva quali il ferro ed il manganese; essi vengono assorbiti sulla superficie di microsferi in scambio con ioni Na^+ . Quando la colonna non ha più Na^+ da cedere — poiché esaurita — non sarà più in grado di catturare calcio e magnesio e l'impianto dovrà essere rigenerato. Esso, di solito, ha una struttura assai semplice: le resine vengono inserite in strutture a colonna, come descritto in Figura 2, e l'acqua viene fatta circolare secondo un percorso forzato, possibilmente senza creare all'interno della colonna delle vie preferenziali.

Il buon funzionamento della colonna può essere controllato misurando in laboratorio la concentrazione del calcio all'uscita della colonna oppure usando uno dei semplici Kit colorimetrici che riescono a discriminare la presenza di concentrazioni superiori a 1 mg/litro.

Rimane da chiedersi quale sia il rapporto rischio beneficio di un tale trattamento delle acque, così popolare nei paesi anglosassoni: l'addolcitore è certamente l'impianto più semplice da usare ed è stato spesso preferito alla colonna di deionizzazione in caso di

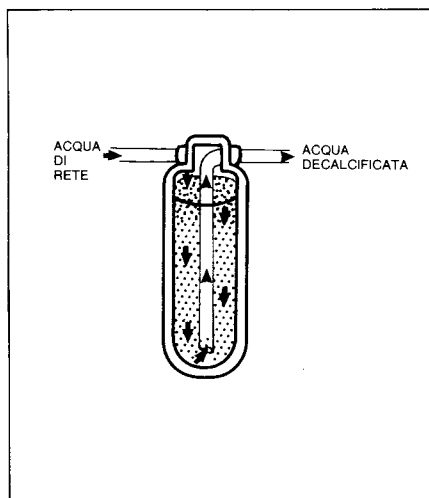


Fig. 2 - Addolcitore.

dialisi domiciliare. Esso infatti può consentire, con colonne di una certa dimensione l'esecuzione di 15-20 emodialisi e la sua rigenerazione può avvenire con 1.000 lire di comune sale da cucina.

Malgrado i bassi costi di esercizio e la sua maneggevolezza il decalcificatore non ha avuto successo in Italia se non — in parte — in pazienti in emodialisi domiciliare. I motivi di questo scarso successo sono soprattutto legati al fatto che sappiamo che numerose sostanze, presenti di solito nell'acqua grezza e potenzialmente patogene, non vengono rimosse. L'addolcitore non rappresenta quindi un mezzo affidabile per la rimozione completa dei soluti presenti nell'acqua di rete. Inoltre questi impianti si prestano facilmente ad inquinamento batterico, specie se l'impianto viene lasciato inattivo anche per brevi periodi o se sono presenti circuiti a fondo cieco con possibile stagnazione di acqua. Risulta infine ovvio che è indispensabile che ogni rigenerazione avvenga al di fuori della seduta dialitica per evitare disastrose immissioni di NaCl al paziente attraverso il bagno di dialisi.

L'Addolcitore è in grado di proteggere il paziente da possibili ed abnormi concentrazioni di alluminio?
È certamente importante raccogliere alcune idee su questo problema: l'alluminio si trova di solito in basse concentrazioni nelle acque profonde, ma livelli per lo più elevati sono osservabili nelle acque di superficie. Le ormai famigerate piogge acide sono in grado di aumentare il contenuto "naturale" di alluminio nelle falde acquifere; infatti gli effetti negativi delle piogge acide vengono ridotti dalla capacità tampone di fattori geologici dell'area di precipitazione; questi sono rappresentati dalla natura stessa del materiale roccioso — in termini di minerali basici e metalli tossici solubili in ambiente acido — e dallo spessore, consistenza e contenuto minerale ed organico del suolo. L'acidificazione prodotta dalle piogge abbassa il pH del suolo e delle acque e rende solubile l'alluminio ed altri metalli: il tutto porta alla morte di foreste e pesci. Ma torniamo al problema della dialisi: anche le acque di rubinetto possono contenere alluminio per effetto delle piogge acide, ma il rischio per la dialisi può essere ancora più consistente se viene aggiunto alluminio che è ben noto per essere in grado di chiarificare le acque (effetto flocculante) e renderle inoltre più gradevoli al palato.

In Inghilterra i sali di alluminio vengono aggiunti, a discrezione dell'operatore, alle falde acquifere e ciò spiega le enormi variazioni stagionali o, addirittura, giornaliere. Nel Regno Unito i nefrologi hanno usato, negli anni settanta, quasi esclusivamente addolcitori per trattare l'acqua di rete: ciò dunque spiega perché l'Inghilterra sia stata la patria dell'intossicazione da alluminio.

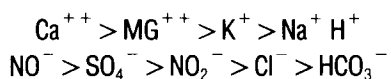
Deionizzazione

Rappresenta oggi in Italia, il mezzo più accettato per il trattamento delle acque per scopi dialitici. Esso consente la rimozione di ogni sostanza in forma ionica, con un meccanismo di scambio tra ioni dello stesso segno.

L'impianto è di solito costituito da 3 colonne, contenenti resine, una cationica, una anionica ed una a letto misto; la loro funzione è, rispettivamente, quella di catturare ioni positivi in scambio con ioni H^+ , ioni negativi in scambio con OH^- e, nel letto misto, nuovamente ricombinare H^+ e OH^- generando acqua e riequilibrandone il pH.

Lo schema di questo impianto è presentato in Figura 3.

Dal punto di vista qualitativo, è da sottolineare che questo impianto produce acqua ad alto grado di purezza e che le colonne sono in grado di rimuovere ioni positivi e negativi, secondo la seguente scala di priorità:



È inoltre da sottolineare come la deionizzazione sia in grado di rimuovere quasi completamente anche numerosi elementi traccia — alluminio incluso — e questo può aver contribuito alla bassa incidenza di encefalopatia dialitica in Italia, dove tali impianti vengono largamente usati, per l'emodialisi ospedaliera, sin dall'esordio del programma nazionale per il trattamento dei cronici.

La qualità dell'impianto viene misurata valutando la resistività dell'acqua in uscita (N.B.: poiché la conducibilità dell'acqua è dovuta alla presenza di soluti in forma

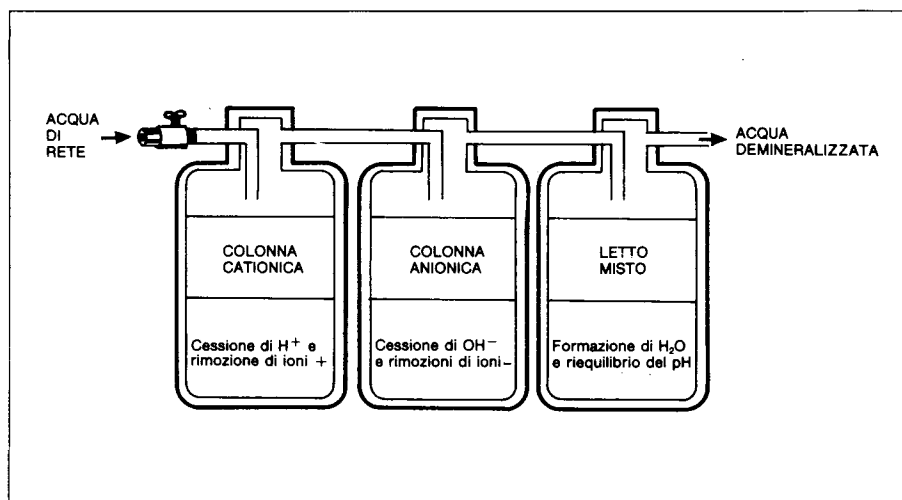


Fig. 3 - Deionizzatore.

ionica, l'acqua trattata sarà tanto più pura quanto più bassa sarà la sua conducibilità od alta la sua resistività). È quindi cruciale, per questi impianti, che il monitor della conducibilità sia sempre inserito ed efficiente.

La rigenerazione di questi impianti può dare tuttavia numerosi problemi perché va eseguita con acido cloridrico e soda caustica i cui vapori possono essere dannosi all'ambiente oltre che per l'incolumità dell'operatore.

Sono stati inoltre descritti incidenti dovuti all'esaurimento delle singole colonne (nel caso in cui non sia presente il letto misto e non sia inserito il conducimetro) o, più spesso, danni legati all'esaurimento del letto misto e all'erogazione, quindi, di acqua a grande acidità. Questo tipo di inconvenienti non sono tuttavia controllabili dal conducimetro, poiché la quantità di sali nell'acqua trattata è assai bassa; sono stati riportati danni da eccessivo rilascio di rame con sindromi emolitiche anche acute e danni legati all'inattivazione della eparina, con inaspettata coagulazione del circuito, a causa del basso pH del bagno.

Osmosi inversa

Questo metodo è certamente il più idoneo per il trattamento delle acque da impiegare per scopi dialitici poiché rimuove composti inorganici ed organici in soluzione, batteri, pirogeni e particelle. L'osmosi inversa è realizzata mediante un processo basato su una separazione su membrana che rimuove sostanze al di sopra di un certo peso molecolare (> 200 dalton), a cui si accompagna la rimozione del 90-98% degli ioni monovalenti e del 90-95% di quelli divalenti.

Per meglio capire il principio fisico su cui è basata l'osmosi inversa è bene riferirsi ad un modello fisico in cui 2 camere contenenti due soluzioni a diverse concentrazioni sono separate da una membrana semipermeabile: in questo caso è logico aspettarsi un passaggio di acqua verso la soluzione a più alto contenuto di soluti, a meno che non venga creata una pressione idrostatica uguale e contraria tale da bloccare questo passaggio; questa pressione viene denominata pressione osmotica. Se noi applichiamo una pressione idro-

statica superiore alla pressione osmotica, produrremo un passaggio di acqua dalla soluzione più concentrata verso quella meno concentrata: questo processo è chiamato osmosi inversa.

Risulta quindi chiaro che il cuore di queste apparecchiature è rappresentato dalle membrane semipermeabili, che possono essere realizzate in cellulosa, poliamine aromatiche, polifurani. Esse sono costruite in configurazioni a piastra, tubulare o a capillare e generalmente la geometria di queste apparecchiature tiene conto del possibile rapido decadimento filtratorio delle membrane o della fragilità delle stesse. Le apparecchiature per osmosi inversa sono soggette a rapido deterioramento se non viene adeguatamente pretrattata l'acqua di rete.

Poiché calcio, magnesio, ferro e manganese sono infatti presenti ad alta concentrazione nell'acqua grezza, essi sono in grado di annullare rapidamente le proprietà filtranti delle membrane impiegate nelle apparecchiature per osmosi inversa. In aggiunta anche il pH dell'acqua può rendere inattive le membrane di cellulose, per valori di $\text{pH} > 8$, così come dannosi ai fini operativi sono i processi di degradazione batterica. Tutto ciò serve per evidenziare due elementi:

- 1 - l'osmosi inversa è il metodo di prima scelta, poiché in grado di produrre acqua pura e quasi totalmente priva di contaminanti;
- 2 - è indispensabile che l'impianto di osmosi inversa sia preceduto da filtri, dechloratore ed addolcitore per ovviare al rapido invecchiamento delle membrane. In conclusione, il trattamento delle acque deve essere affidato ad un sistema complesso costituito da una serie appropriata di elementi per poter ottenere il miglior risultato.

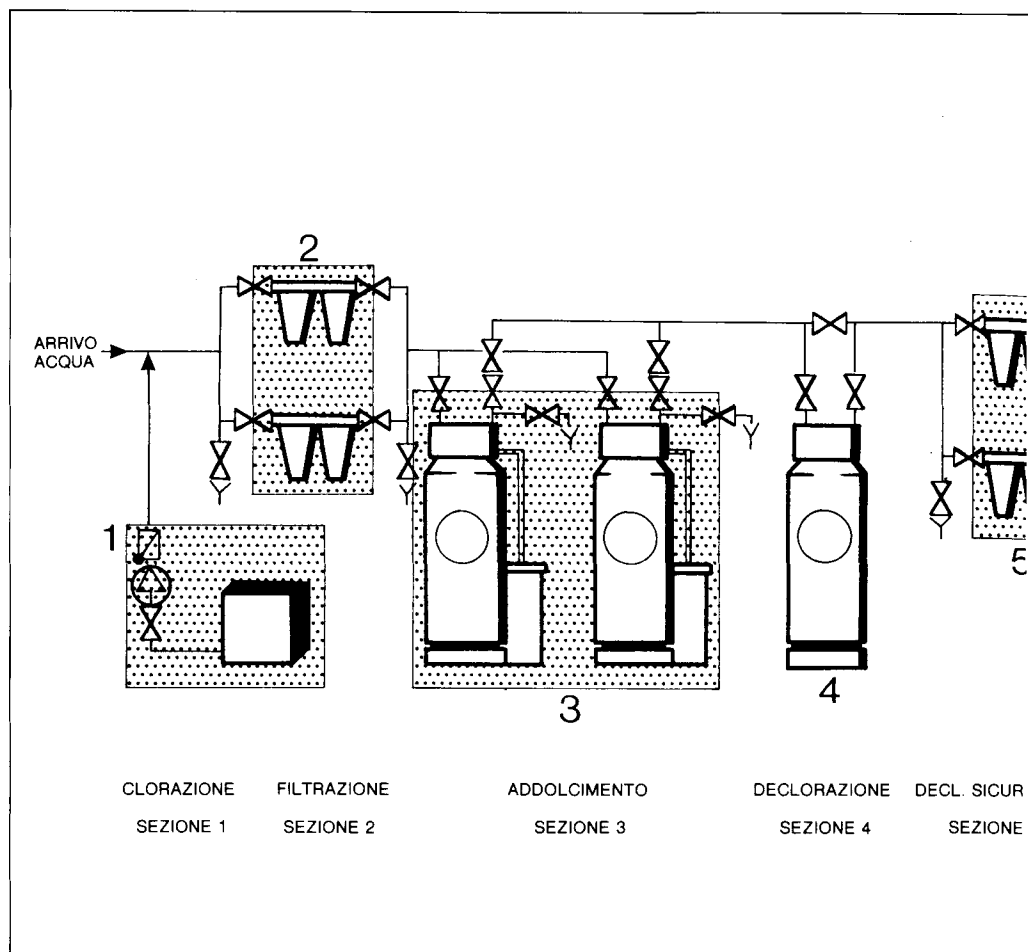
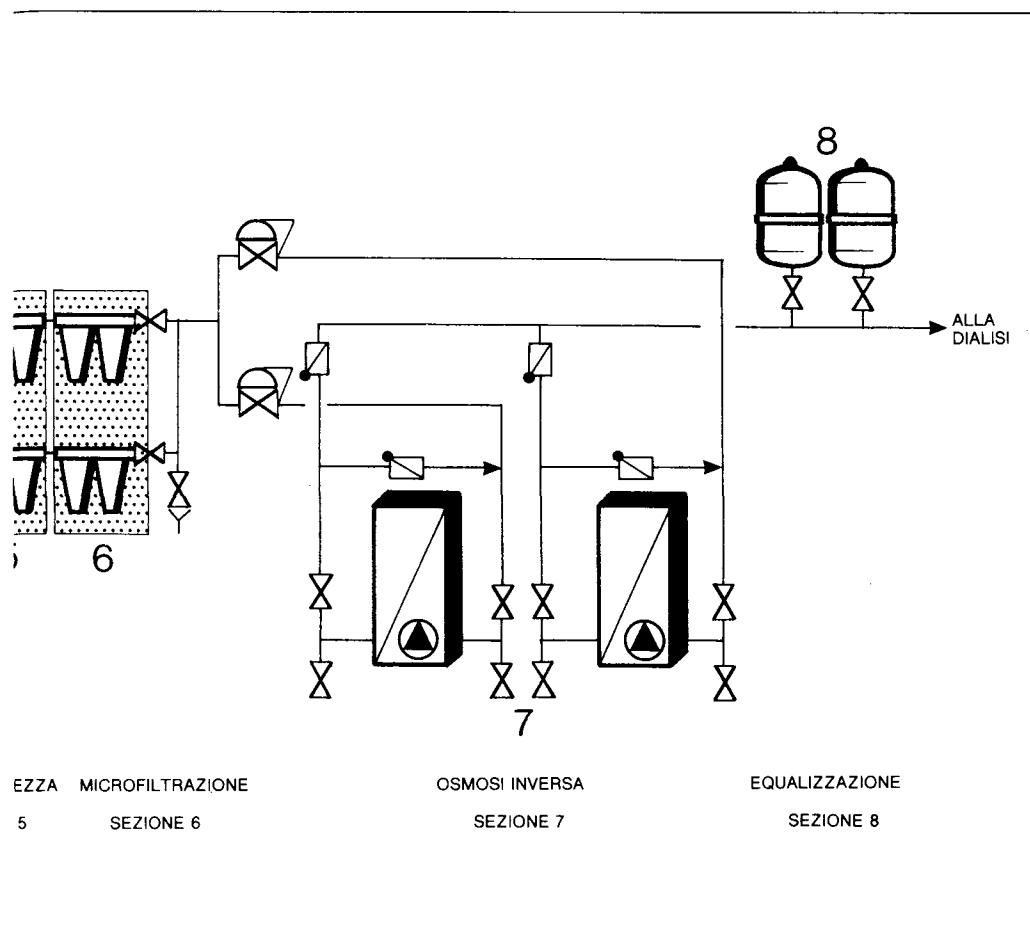


Fig. 4 - Schema di un possibile impianto ottimale.

I falsi problemi dell'acqua nell'emodialisi

Come già è stato detto, nelle primissime applicazioni dell'emodialisi veniva usata la comune acqua del rubinetto e solo successivamente è stato introdotto l'addolcimento con resine e scambio ionico (ancora oggi abbastanza diffuso). L'uso di queste acque non ha mai comportato problemi particolarmente gravi legati alla comune composizione salina dell'acqua (se non con acque particolarmente dure o ricche di potassio), anche perché la concentrazione dei sali di un'acqua potabile non è tale da alterare significativamente la molarità complessiva della soluzione

dializzante che per di più può essere comunque corretta con diversi rapporti di diluizione acqua/soluzione concentrata di emodialisi. Questa considerazione, beninteso, non è finalizzata a dimostrare l'inutilità di trattamenti più sofisticati, ma piuttosto a dimostrare che né calcio, né magnesio, né sodio, né altri ioni comunemente presenti nell'acqua potabile in quantità moderata possono di per sé essere considerati come fonte di rischio. La loro eliminazione, in termini pratici, produce un'acqua con caratteristiche più costanti e rende più agevole la preparazione della soluzione di dialisi. Il problema più importante, in rapporto all'acqua è piuttosto quello della presenza di contaminanti che, pure



tollerati nell'acqua da bere, possono diventare molto pericolosi nella dialisi. La scelta di un trattamento dell'acqua non può quindi prescindere da queste considerazioni e da una puntuale conoscenza delle caratteristiche originali dell'acqua.

Riportare perciò il problema della qualità dell'acqua trattata ad un *semplice controllo di conducibilità* o di resistività può essere pericolosamente fuorviante se non si conosce il significato reale di questo parametro ed il suo limite di applicazione. Basta infatti avere a mente le più frequenti cause di inquinamento dell'acqua potabile in tempi recenti (atrazina, bentazone, ecc...) per comprendere come un resistivimetro possa fare ben poco

per salvaguardare da rischi.

Analogamente ben diverse devono essere le preoccupazioni qualora l'acqua di rete provenga da un trattamento di acqua superficiale (come a Torino, a Firenze, a Ravenna, ecc...) o piuttosto da falde sotterranee.

Mentre nel primo caso infatti l'impiego di sali di alluminio come coagulanti-flocculanti è normale, nel secondo caso invece questo pericolosissimo elemento è di solito assente.

Ancora una volta non è quindi una resistività di 1 o 2 milioni di Ohm-cm che può garantire la rimozione dell'alluminio a meno di 0,01 mg/l né, ancora, questi valori possono indicare a quale livello di concentrazione si trovano le so-

stanze organiche, i composti organoalogenati (tipo trielina, percloroetilene o trialometani), le cloroamine e via dicendo.

Per studiare quindi un sistema sicuro per il trattamento dell'acqua in dialisi è perciò di vitale importanza conoscerne il comportamento in presenza di ogni tipo di inquinante, pregi e difetti sistematici od occasionali, le barriere di sicurezza che possono essere attuate nella generalità dei casi o per specifiche situazioni di emergenza.

Progettiamo dunque un moderno impianto

Alla luce di quanto siamo venuti dicendo in queste pagine, è chiaro che l'OSMOSI INVERSA rappresenta, al momento attuale, il cuore dell'impianto che desideriamo costruire.

L'obbiettivo è quello di avere sì un'elevata capacità di rimozione di ioni perseguibile anche con un deionizzatore — ma soprattutto è quello di rimuovere i possibili quanto imprevedibili contaminanti.

Per raggiungere questo obiettivo dobbiamo avere larghe garanzie di bontà delle acque trattate e facilità di impiego delle apparecchiature. In favore dell'osmosi inversa, sta — ad esempio — il fatto che non è richiesto l'impiego di acido e soda per la rigenerazione il che, in termini pratici, vuol dire che con l'osmosi inversa non è più necessario indossare guanti, maschere, tute antiacido, e cambiare ogni anno serramenti metallici arrugginiti.

Con questi ultimi commenti, possiamo disegnare il progetto segnando la sequenza degli apparecchi:

Sezione 1 - Cloratore

È noto che l'acqua di rete è, di solito, addizionata a cloro; è tuttavia prudente inserire un cloratore per aumentare la capacità battericida dell'acqua. Inoltre se l'acqua contiene ferro od ammoniaca la presenza di Cl^- induce la loro ossidazione e ne rende più facile il blocco nel comparto della filtrazione.

Sezione 2 - Filtrazione

Per particelle con diametro $> 20 \mu$. Può essere indispensabile questo primo setaccio, al fine di tutelare l'integrità delle strutture a valle.

Sezione 3 - Addolcitore

Doppio impianto. È indispensabile pretrattare l'acqua che sarà avviata alla Sezione 7 dove opera l'osmosi inversa, al fine di conservare a lungo l'integrità delle membrane. L'impianto dovrà essere sempre duplice ed usato a settimane alterne.

Sezione 4 - Declorazione

Serve per togliere il cloro aggiunto in Sezione 1. La colonna è costituita da carbone attivato il cui esaurimento è lento purché, ad esempio non vi sia un imprevisto carico di atrazine nell'acqua di rete.

Sezione 5 - Declorazione di sicurezza

Sezione 6 - Microfiltrazione per particelle di diametro $> 5 \mu$

Sezione 7 - Osmosi inversa

(2 apparecchi da impiegare a settimane alterne). La pressione di distribuzione dell'acqua nei vari

distretti dell'impianto è sostenuta da quella dell'acqua di rete fino alla Sezione 7. Da questo punto il processo di osmosi richiede una pompa che porti la pressione a 14 Atm per ottenere una filtrazione efficiente. A valle della Osmosi Inversa la pressione è di nuovo a 2 atmosfere e qui si installa la 1ª stazione di misura di conducibilità.

Sezione 8 - Equalizzazione

2 serbatoi da 20 litri sono in grado di affrontare le richieste improvvise di acqua, come avviene con reni artificiali ad erogazione discontinua del bagno. Una seconda stazione di controllo di conducibilità viene inserita in sala dialisi e collegata con allarmi acustici e visivi.

Infine una considerazione: l'acqua di alta purezza prodotta dall'impianto non contiene cloro e quindi è potenzialmente inquinabile. Non è dunque prudente stoccarla né sarebbe opportuno distribuirla in linea cieca perché si avrebbe una perdita di acqua ed un possibile inquinamento dei tratti stagnanti. È dunque più strategico realizzare la distribuzione con circuito ad anello in cui l'acqua trattata, dopo l'ultimo dializzatore ritorna nella centrale idrica a monte dell'impianto di osmosi inversa. Questa soluzione è certamente più conveniente dal punto di vista biologico e rappresenta un ulteriore passo per la conquista del concetto di biocompatibilità dell'acqua per dialisi.

1. Keshaviah P, Luehmann D. The importance of water treatment in hemodialysis and hemofiltration. Proc. EDTA-ERA 1984; 21: 111-31
2. Renal Disease and Detoxification Committee. American National Standard for hemodialysis System. Arlington V.A. Association for the Advancement of Medical Instrumentation 1982.
3. Brancaccio D. Dialisi e qualità dell'acqua. In: Dialisi Alluminio e Demenza. Wichtig Editore 1982; 1-4