

Il rene artificiale: aspetti ingegneristici

Gianni Frigato
Miren s.r.l. Mirandola

La categoria delle apparecchiature per emodialisi comprende, allo stato attuale della tecnica, una svariata gamma di macchine che si presentano all'operatore sotto apparenze molto diverse ma che in realtà hanno molti punti in comune.

Per vari motivi purtroppo non si è ancora potuti arrivare ad una forma di standardizzazione analoga a quella delle automobili, che pur lasciando ampio spazio alla produzione di diversi modelli, obbliga tuttavia i costruttori a mettere gli organi fondamentali, come il volante o il freno, sempre nella stessa posizione e con analoghe modalità di manovra.

D'altronde poiché lo scopo delle apparecchiature è sempre lo stesso gli organi fondamentali sono molto simili tra loro.

Scopo di questa breve esposizione è di far conoscere all'operatore i principali aspetti tecnici delle apparecchiature così come per l'esame della patente automobilistica vengono forniti alcuni ragguagli

sulla costruzione dell'automobile intendendosi che un normale guidatore, anche se non deve occuparsi di costruire o riparare automobili, possa meglio rendersi conto del mezzo che sta usando evitando manovre inutili o pericolose.

Struttura generale di un'apparecchiatura per emodialisi

In una seduta di emodialisi l'operatore percepisce immediatamente le tre parti principali del sistema (Fig. 1).

a) Il dializzatore all'interno del quale scorrono contemporaneamente il sangue del paziente e un particolare liquido (il liquido di dialisi)

b) La macchina che provvede a controllare le caratteristiche del liquido, a metterlo in movimento nonché a prelevare il sangue del paziente per poi restituirlo

c) I vari tubi di collegamento tra le

parti precedenti.

Il dializzatore è l'elemento principale del sistema ed è l'organo da cui dipende principalmente la buona riuscita del trattamento.

I fenomeni che governano lo scambio di sostanze attraverso la membrana non sono qui esaminati.

La macchina deve gestire la seduta in modo sicuro e per questo dipende in modo notevole dall'operatore.

Una cattiva gestione può compromettere il risultato finale del trattamento oltre che essere causa di incidenti, guasti ecc.

La macchina a sua volta è divisa in due parti principali:

- 1** - La parte idraulica che prepara e controlla il liquido di dialisi.
- 2** - La parte ematica che controlla il circuito extracorporeo del sangue.

In alcune macchine queste due parti sono anche fisicamente separate o realizzate in più parti, in altre sono riunite in un unico conte-

nitore ma in ogni caso all'interno dispongono ognuna dei propri sistemi di controllo ecc.

Le tubazioni di collegamento tra la macchina, il dializzatore e il paziente non sono qui prese in considerazione se non per quanto attiene direttamente la macchina.

La parte idraulica

Questa parte della macchina controlla le seguenti operazioni (Fig. 2):

- a) Adatta l'alimentazione idrica alle esigenze della macchina
- b) Riscalda l'acqua
- c) La degasa
- d) Preleva dal proprio contenitore il concentrato nelle proporzioni volute

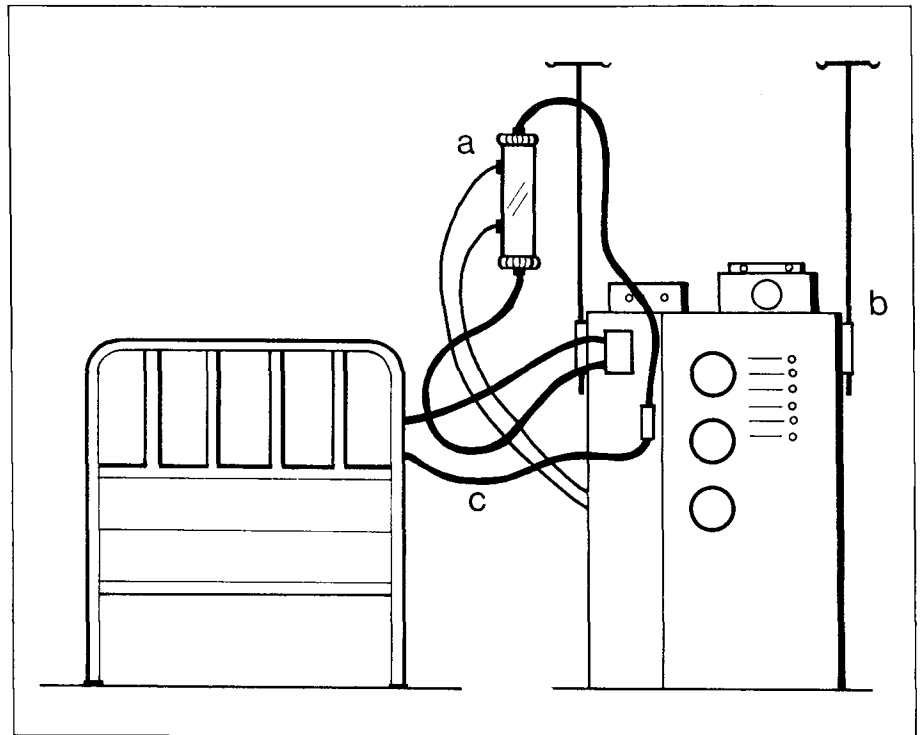


Fig. 1 - Struttura generale di una apparecchiatura per emodialisi.

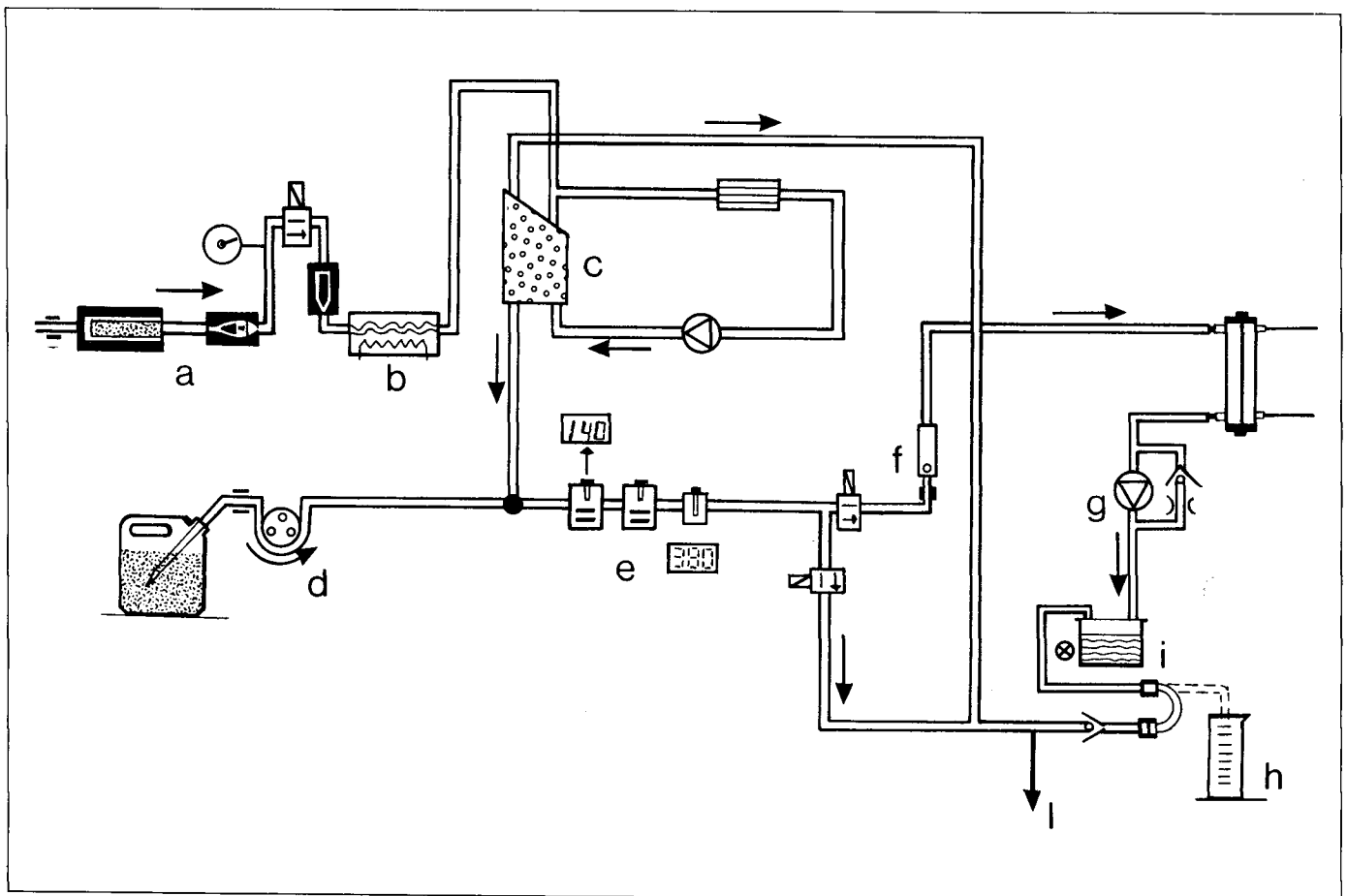


Fig. 2 - Parte idraulica.

- e) Controlla che il liquido preparato sia idoneo inviandolo al dializzatore o allo scarico
- f) Regola la quantità di flusso di dialisi
- g) Riprende il liquido dal dializzatore in modo tale che si crei una pressione di aspirazione in grado di portar via acqua dal sangue
- h) Controlla che la quantità d'acqua prelevata dal sangue sia quella voluta
- i) Controlla che non vi siano perdite di sangue
- l) Invia il liquido inquinato allo scarico.

Nei prossimi paragrafi esamineremo i mezzi tecnici più frequentemente adottati per eseguire le predette operazioni.

L'alimentazione idrica

Questo aspetto delle apparecchiature per emodialisi è spesso sottovalutato.

Tutti i costruttori prescrivono che la loro macchina debba essere collegata ad una rete idrica (rubinetto) con determinate caratteristiche di temperatura e pressione ma soprattutto di purezza "medicale".

A parte le analisi chimiche che non competono all'operatore bisogna tener presente che la presenza di impurità nell'acqua di ingresso, anche occasionale, può facilmente provocare dei guasti per ostruzione di condotti o di pompe.

Un operatore attento può verificare da sé la situazione con la prova del cotone (Fig. 3).

Usando un imbuto con posto sul fondo uno spesso strato di co-

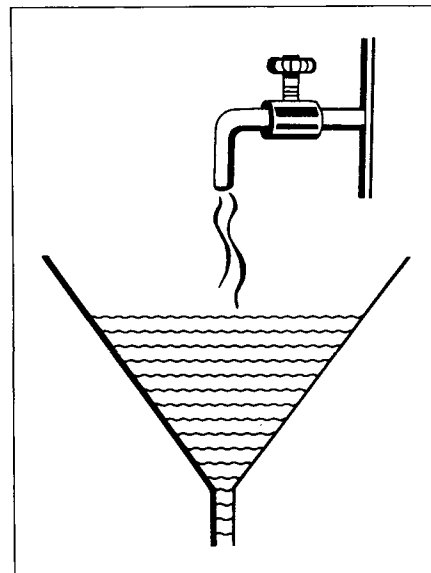


Fig. 3 - Prova del cotone.

tone idrofilo e facendo scorrere almeno 10 litri d'acqua è possibile verificare immediatamente se vi sono impurità pericolose a livello

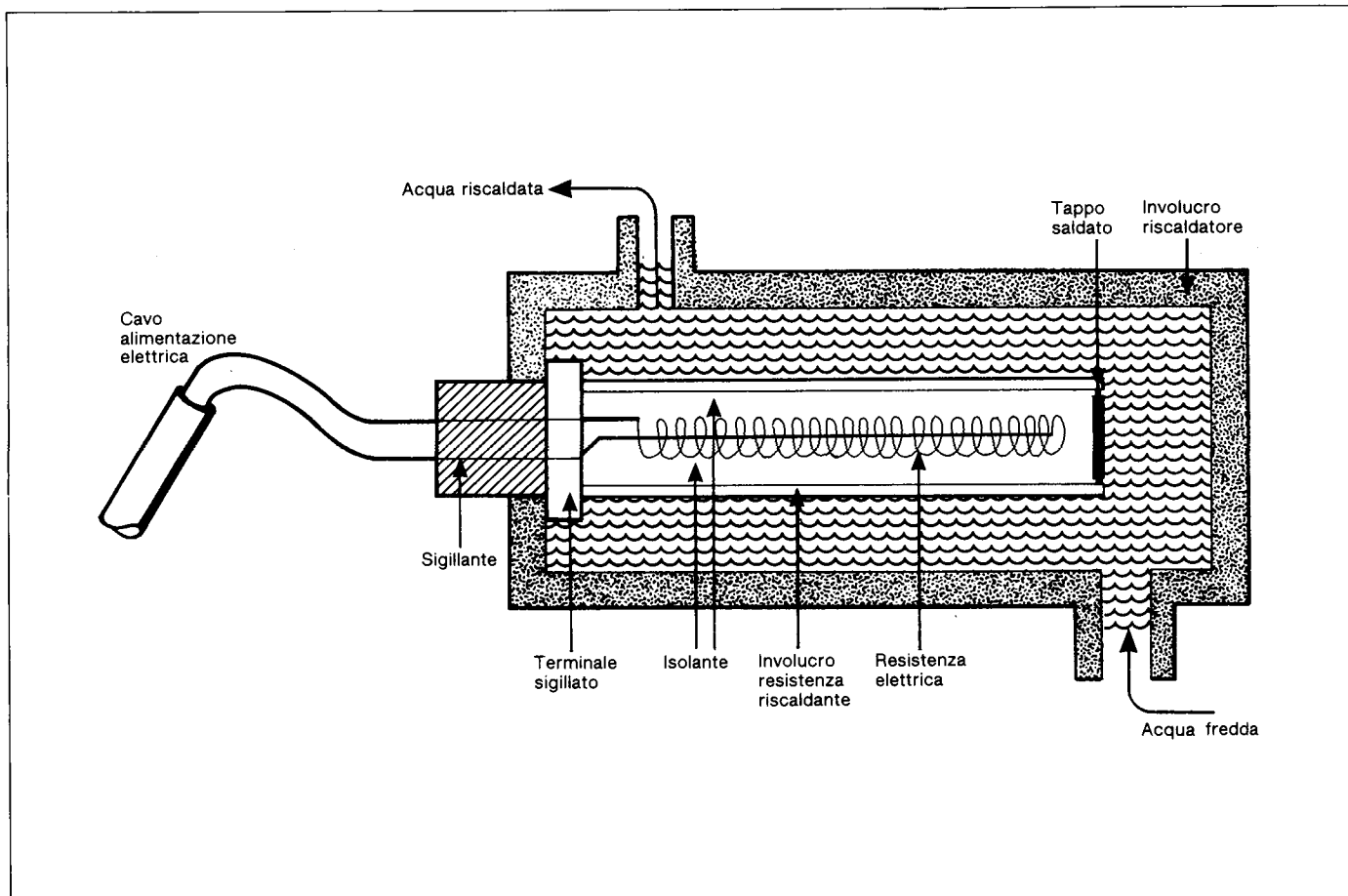


Fig. 4 - Riscaldatore.

meccanico.

Va da sé che dopo i 10 litri d'acqua il cotone deve essere assolutamente pulito.

Il riscaldatore

Come regola generale il riscaldatore è costituito da un cilindro riscaldato elettricamente e contenuto in un adatto involucro dove scorre l'acqua o il liquido di dialisi o direttamente immerso in un canestro (Fig. 4).

All'interno di questo cilindro su di un supporto ceramico è avvolto un filo elettrico come quelli delle stufe o degli asciugacapelli.

Tra il filo e l'involucro esterno è presente un materiale isolante.

L'involucro esterno è poi saldato su un raccordo di connessione e chiuso all'estremità.

Il materiale di isolamento normalmente utilizzato è fortemente igroscopico e se la tenuta non è perfetta assorbe acqua diventando conduttivo.

Altra causa di guasto è il non perfetto allineamento dei due cilindri che dopo una serie continua di accensioni e spegnimenti con conseguente dilatazione e contrazione finiscono per toccarsi. Entrambi i fenomeni si verificano in tutte le resistenze riscaldanti e provocano prima o dopo l'intervento dell'interruttore differenziale di protezione.

Vicino al corpo riscaldante è posto un elemento sensibile alla temperatura che tramite un relé (generalmente elettronico) provvede ad attivare la resistenza fino a che l'acqua raggiunge la temperatura voluta (Fig. 5).

Il degasatore

L'acqua contiene normalmente 30

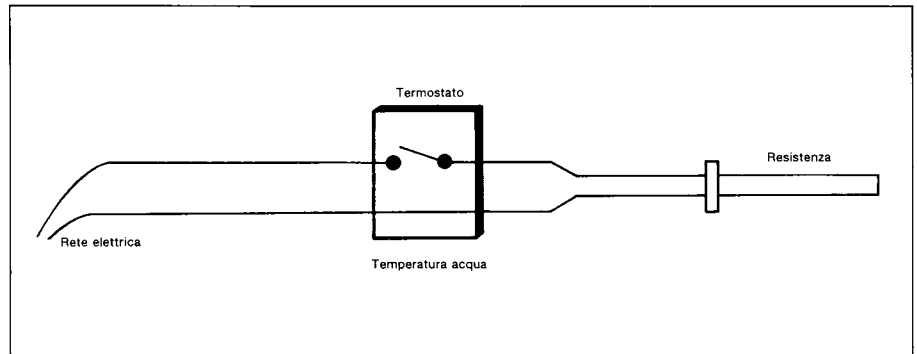


Fig. 5

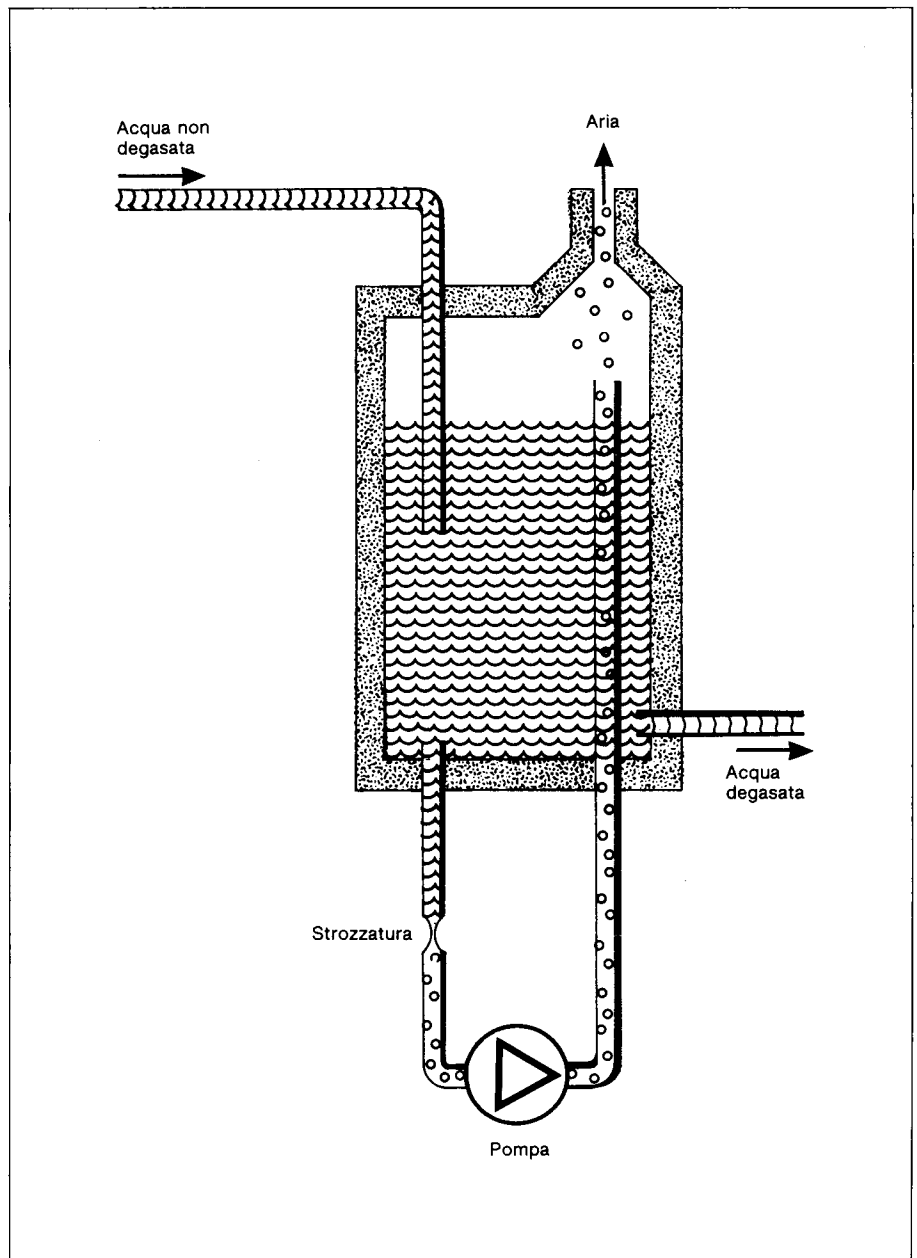


Fig. 6 - Degasatore.

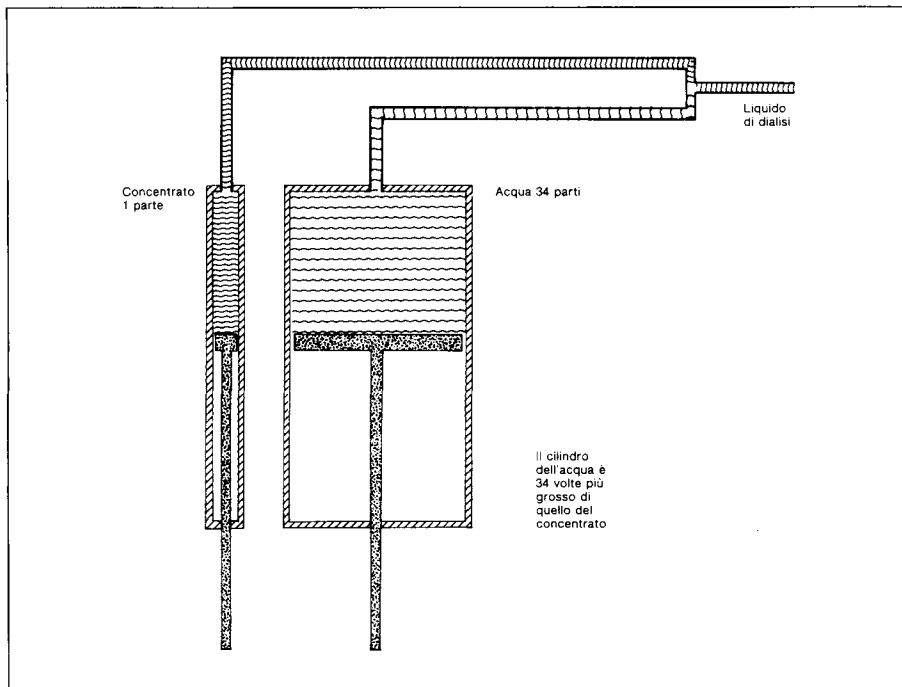


Fig. 7 - Sistemi volumetrici.

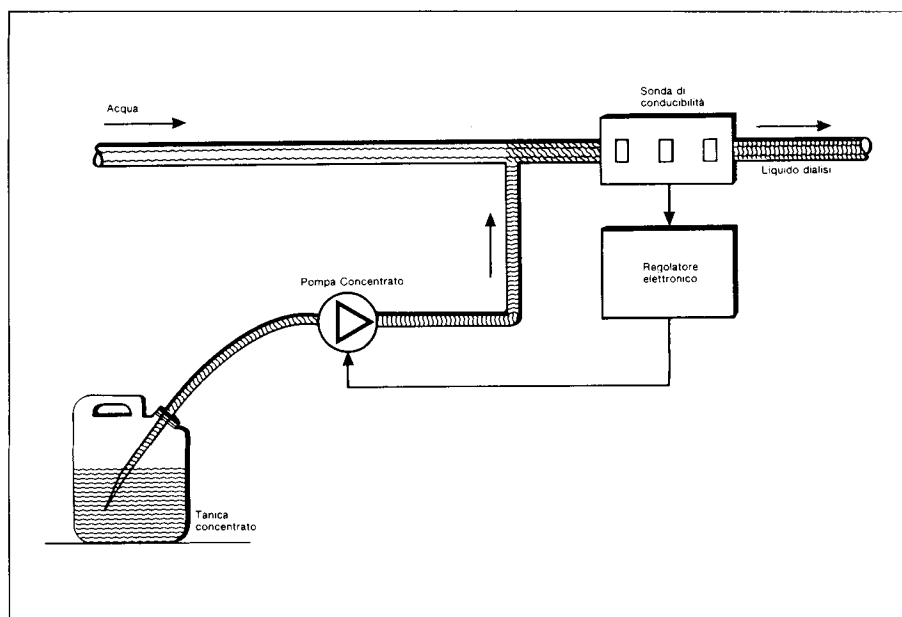


Fig. 8 - Sistemi conducimetrici.

ml di aria per ogni litro. Quest'aria si libera sotto forma di bolle quando l'acqua viene riscaldata e posta a pressione negativa.

Queste bolle si attaccano alla membrana del dializzatore e ne riducono le prestazioni.

Inoltre passano nel sangue con

pericolo per il paziente.

Per ridurre almeno in parte questi inconvenienti l'acqua viene degasata sottoponendola a una forte pressione negativa prima di miscelarla col concentrato (Fig. 6).

Una pompa preleva l'acqua attraverso una strozzatura in modo

che si formi una forte pressione negativa che libera l'aria.

Una volta separata l'aria tornerrebbe a sciogliersi nell'acqua ma questo richiede molto tempo per cui prima che ciò avvenga viene fatta uscire attraverso un opportuno sfiato.

Il miscelatore proporzionale

Questa parte della macchina è la più importante e delicata sia per le possibilità di guasto che per le eventuali conseguenze sul paziente.

I miscelatori proporzionali si dividono grosso modo in due categorie ognuna con i suoi pregi e difetti.

a) I sistemi volumetrici (Fig. 7).

Questi sistemi sono costituiti da due pompe volumetriche (generalmente a pistoni) nel rapporto stabilito dal produttore del concentrato.

Ad ogni colpo della pompa vengono mandati avanti due volumi uno di acqua e l'altro di concentrato.

Il sistema è intrinsecamente sicuro ma la preparazione non può essere più precisa della precisione dei concentrati.

Se si usa concentrato molto diverso la preparazione risultante è molto diversa e la cosa viene rilevata dagli organi di allarme solo se lo scostamento è veramente eccessivo.

Questi sistemi sono generalmente in grado di evitare l'uso accidentale di soluzioni disinfettanti al posto dei concentrati.

Se si usa acqua addolcita questo sistema non riesce a tener conto del sodio presente nell'acqua e prepara un bagno troppo arricchito.

La regolazione della concentrazione del bagno è molto difficoltosa.

sa (praticamente è necessario regolare la corsa del pistone del concentrato con artifici meccanici).

b) I sistemi conducimetrici (Fig. 8).

In questi sistemi l'acqua va per conto suo e una pompa separata regola la quantità di concentrato da aggiungere all'acqua regolandosi con la lettura di una cella particolare (cella di conducibilità) in grado di misurare la quantità di elettroliti presente nel bagno e accelerando o rallentando la pompa di conseguenza (Fig. 9).

La sonda di conducibilità è costituita da due o tre elettrodi di grafite o platino o acciaio inox.

Nelle sonde a tre elettrodi i due esterni sono collegati tra di loro con lo scopo di schermare l'elettrodo interno da influenze esterne.

Uno speciale apparecchio detto conducimetro applica agli elettrodi un potenziale elettrico di poche centinaia di mV.

Poiché la soluzione contiene degli elettroliti in forma ionica, cioè delle molecole cariche di elettricità, questi ultimi si muovono verso uno dei due elettrodi a seconda della loro carica.

Le molecole cariche positivamente come il sodio (Na^+) vanno verso il catodo e per questo si chiamano cationi mentre quelle cariche negativamente come il cloro (Cl^-) vanno verso l'anodo e per questo si chiamano anioni.

Un misuratore di corrente elettrica conta le cariche che arrivano sugli elettrodi e ne deduce di conseguenza il numero complessivo presente nella soluzione (concentrazione).

È di per sé evidente che il sistema non riconosce il tipo di ioni che arrivano sugli elettrodi ma solo il numero complessivo delle cariche elettriche.

Questi sistemi sono molto preci-

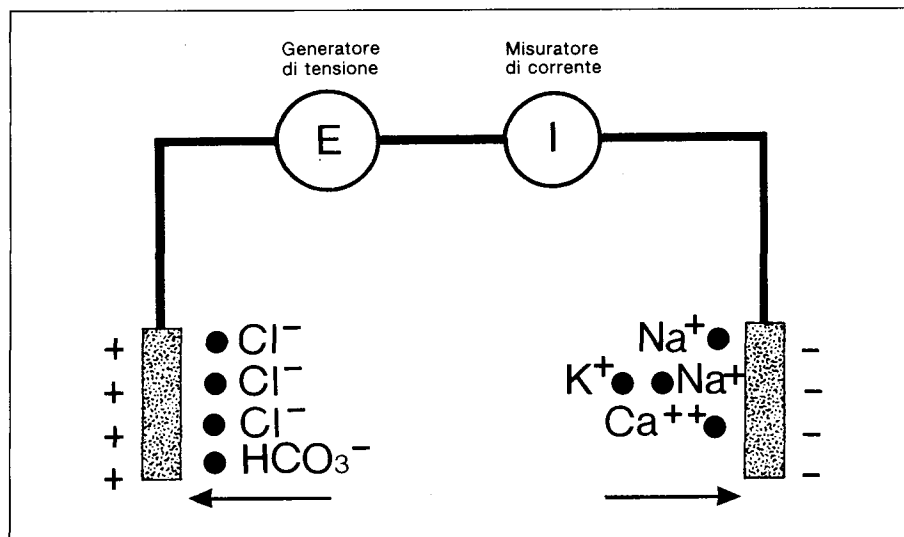


Fig. 9

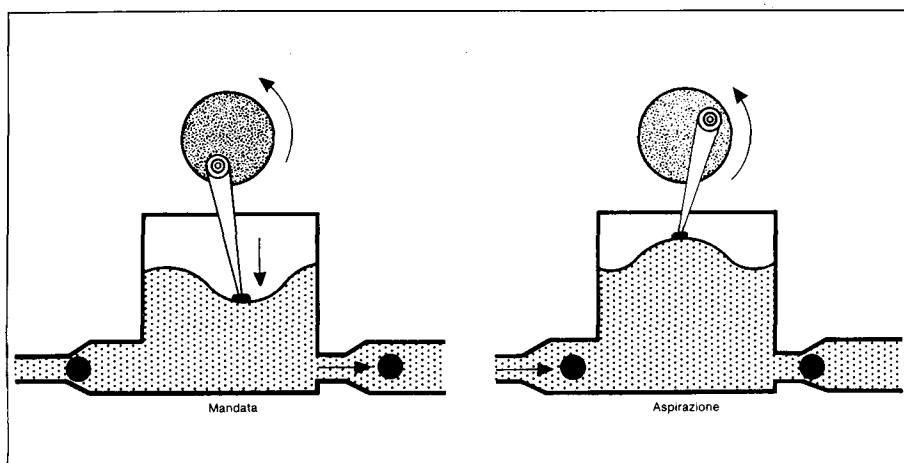


Fig. 10 - Pompa del concentrato.

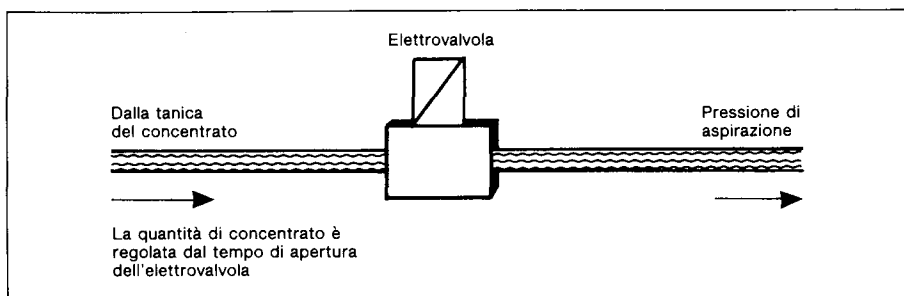


Fig. 11 - Elettrovalvola.

si alle seguenti condizioni:

a - Che il concentrato o i concentrati siano quelli prescritti

b - Che le sonde siano mantenute perfettamente pulite poiché se gli elettrodi "si sporcano" il misurato-

re di corrente ne misura meno di quelli che effettivamente arrivano.

È quindi importantissimo che dopo la dialisi l'operatore esegua IMMEDIATAMENTE le procedure di lavaggio prescritte.

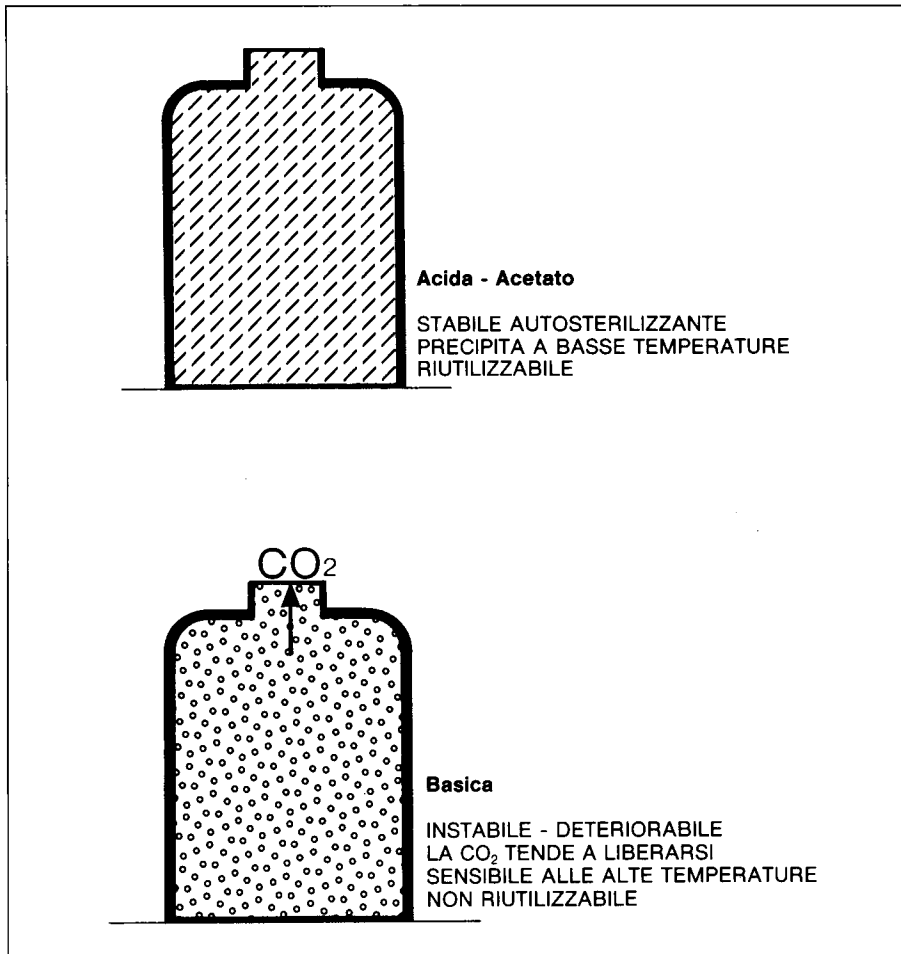


Fig. 12 - Concentrati.

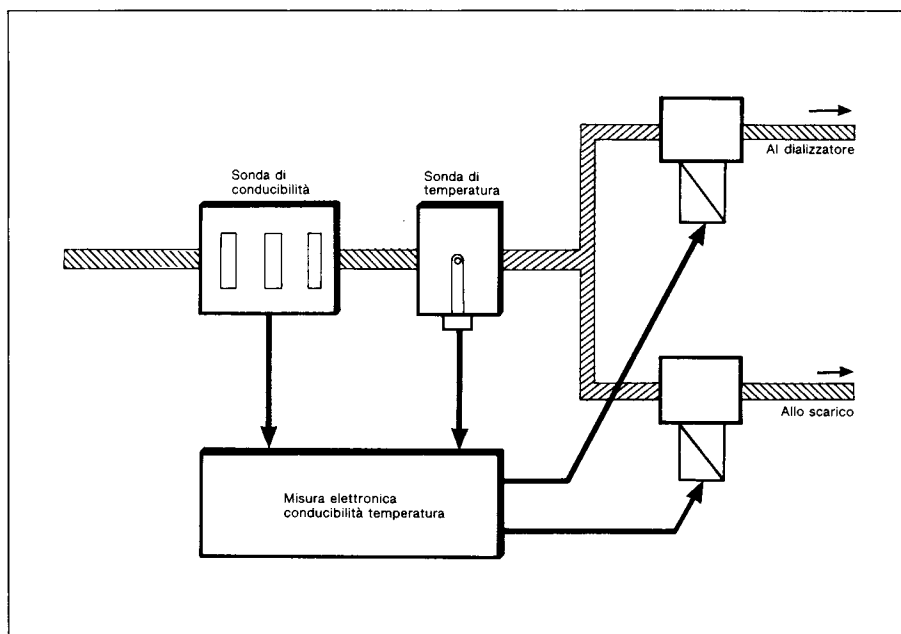


Fig. 13 - Controllo del bagno.

L'uso di disinfettanti o disincrostanti come l'ipoclorito o l'acido acetico deve essere limitato al tempo stabilito e seguito da un immediato lavaggio.

Il sistema consente una precisione molto maggiore di quello volumetrico, può variare facilmente la concentrazione del bagno e compensare il sodio contenuto nell'acqua addolcita.

La pompa del concentrato è generalmente di due tipi (Fig. 10):

- Pompe peristaltiche analoghe a quelle del sangue
- Pompe a membrana

Sono costituite da una membrana posta entro un involucro e mossa da un alberino generalmente montato su un biellismo.

All'ingresso e all'uscita sono montate due valvole di non ritorno che lasciano passare il liquido in una sola direzione.

Quando l'alberino spinge la membrana il liquido viene spinto verso la sua destinazione e quando tira la membrana il liquido viene aspirato dalla tanica.

Alcuni sistemi utilizzano una pressione negativa interna al sistema e regolano la portata del concentrato aprendo per tempi più o meno lunghi una elettrovalvola di immissione (Fig. 11).

Una nota particolare va riservata alle taniche del concentrato. Vi sono tre tipi principali di concentrato:

- Concentrato per dialisi acetato
- Concentrato acido per dialisi con bicarbonato
- Concentrato basico per dialisi con bicarbonato

I primi due tipi di concentrato sono molto stabili e praticamente autosterilizzanti poiché eventuali microorganismi che riescano a penetrarvi o muoiono o comunque non riescono a svilupparsi.

Qualche attenzione va posta so-

lo quando questi concentrati restino per molto tempo a basse temperature.

In questi casi si formano delle precipitazioni che però vengono agevolmente eliminate semplicemente portando la tanica in reparto qualche ora prima dell'uso e agitandola fortemente prima di aprirla.

Aprendo la tanica bisogna far attenzione a non lasciare una grossa apertura scoperta per evitare l'introduzione accidentale di sporcizia o altro.

Con le dovute attenzioni è anche possibile recuperare il contenuto non utilizzato in una seduta per la seduta successiva. Completamente diverso è il caso del concentrato basico.

1 - Il concentrato non è autosterilizzante e se alcuni microrganismi riescono a penetrarvi possono agevolmente svilupparsi.

2 - Il concentrato contiene una forte dose di CO² in soluzione. Questi concentrati sono perciò molto sensibili alle alte temperature, non possono essere utilizzati per più delle 4-5 ore del trattamento e non devono mai essere recuperati (Fig. 12).

Il controllo del bagno

Un sistema di controllo provvede a verificare la concentrazione e la temperatura del bagno prima di inviarlo al dializzatore (Fig. 13).

A seconda del risultato viene aperta una delle due valvole. Come elemento di controllo della concentrazione viene universalmente adottata una sonda di conducibilità mentre per la temperatura viene generalmente adottato il termistor.

Il termistor è costituito da una sferetta di materiale resistivo. A questa sferetta vengono saldati

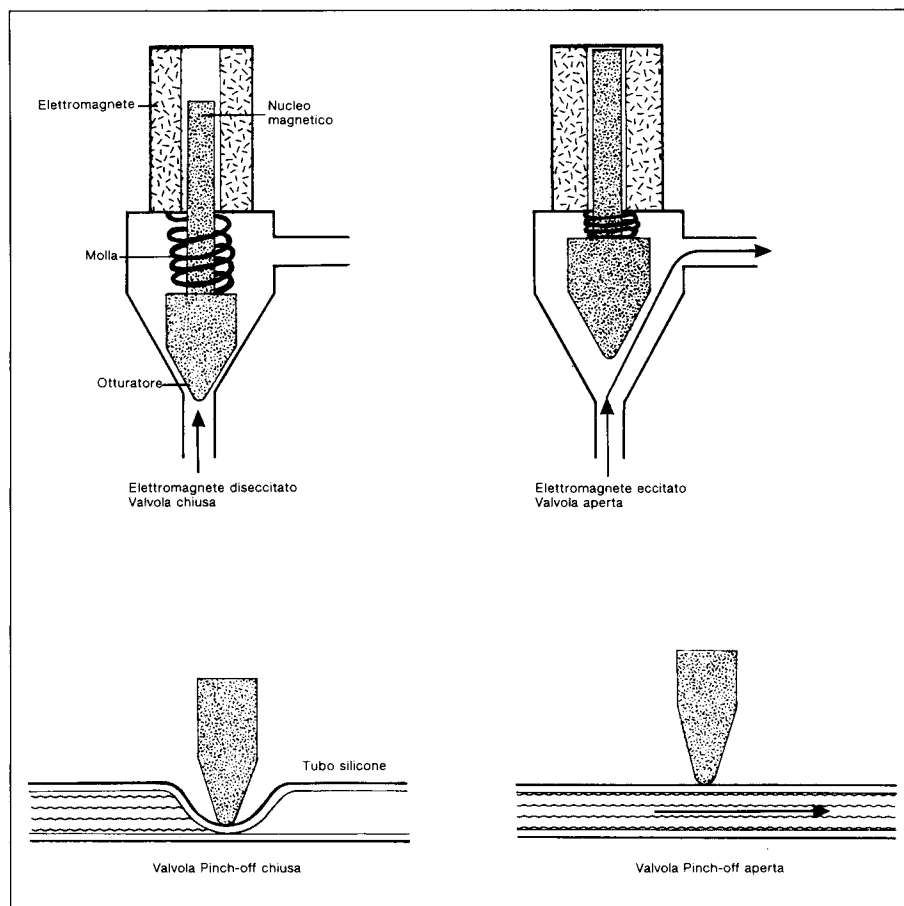


Fig. 14

due fili e uno strumento elettrico misura la resistenza della sferetta.

Poiché questa resistenza varia con la temperatura lo strumento è in grado di misurare la temperatura del bagno.

Una elettrovalvola è costituita da un otturatore conico che viene spinto da una molla in una sede conica bloccando il passaggio.

Un elettromagnete meccanicamente collegato all'otturatore quando eccitato vince la forza della molla e sposta l'otturatore lasciando passare il liquido.

Queste elettrovalvole sono sensibili allo sporco e ai depositi che infilandosi tra l'otturatore e la sua sede lasciano passare il liquido anche se l'elettrovalvola è chiusa (trafilamento).

Vengono anche usate le cosiddette

pinch-off nelle quali la molla antagonista dell'elettromagnete schiaccia direttamente un tubo. Queste valvole sono molto più insensibili allo sporco ma sopportano pressioni minori (Fig. 14).

Il flussimetro

Per un miglior controllo della dialisi l'operatore deve poter vedere e controllare il flusso del liquido.

Per questo scopo le macchine sono generalmente provviste di un flussimetro dove si può vedere il flusso e di un eventuale organo di regolazione.

Quest'ultimo può mancare nelle macchine che lavorano a flusso costante (Fig. 15).

Il flussimetro è generalmente

costituito da un corpo trasparente dove è ricavata una sede in forma di cono allungato e all'interno della quale è alloggiato un piccolo cono di acciaio.

Il flusso che passa provoca l'innalzamento del cono interno in misura tanto maggiore quanto più alto è il flusso.

Una scala graduata sul corpo consente di stimare la portata. Il dispositivo è abbastanza grossolano ed è affetto soprattutto dalla eventuale presenza di bolle d'aria che fanno "galleggiare" il cono interno falsando l'indicazione.

Il controllo dell'ultrafiltrato

Durante la seduta dialitica il paziente deve perdere l'eccesso d'acqua accumulata nell'interdialisi.

Per ottenere ciò il liquido di dialisi viene portato ad una pressione inferiore a quella del sangue che circola nel compartimento ematico del dializzatore.

Tale pressione è all'incirca pari a quella che la pompa sangue deve esercitare per vincere le resistenze del dializzatore stesso e dell'ago di rientro.

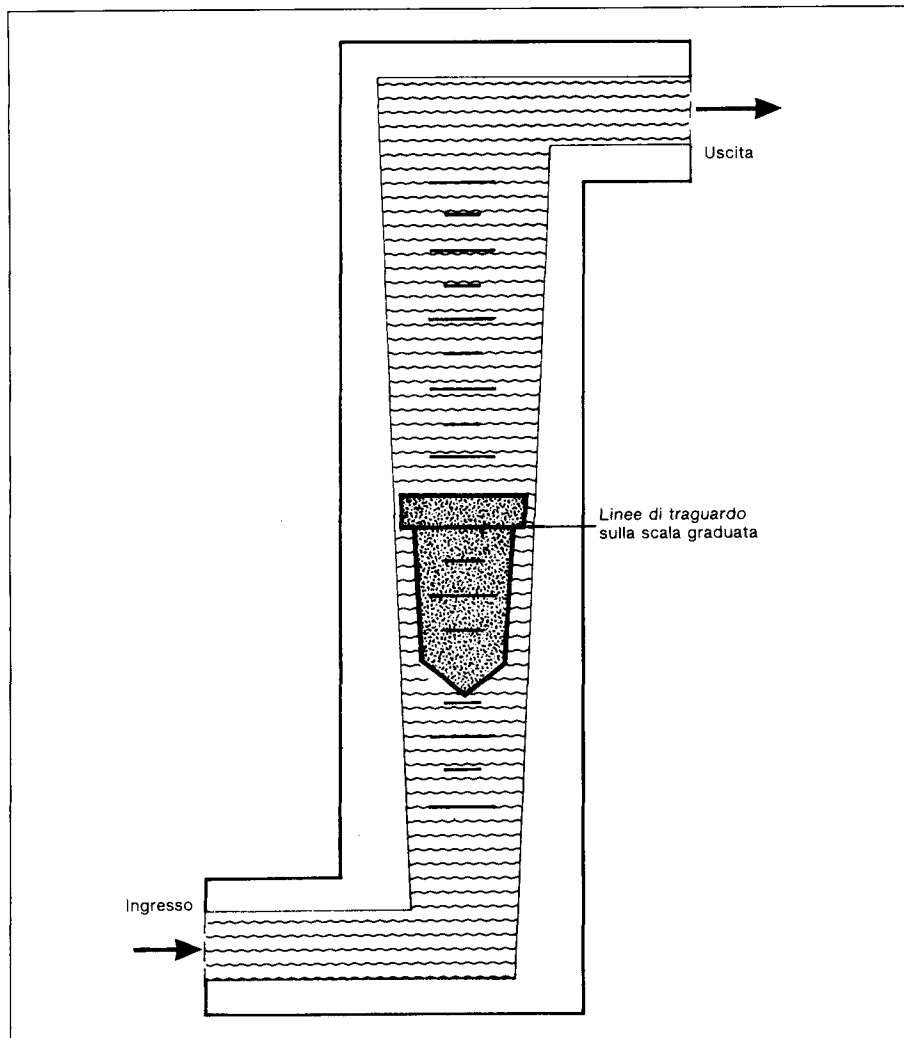


Fig. 15 - Flussimetro.

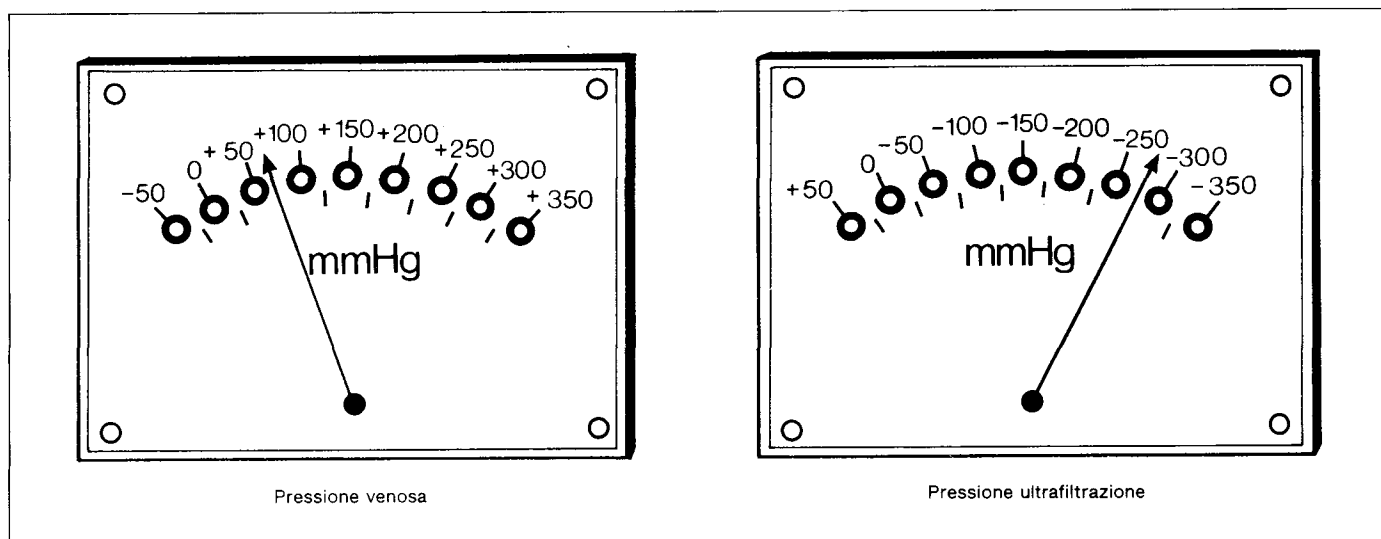


Fig. 16 - Controllo manuale dell'ultra filtrato.

Più la differenza di pressione tra il sangue e il liquido di dialisi (detta pressione di transmembrana) è elevata e tanto maggiore è la perdita d'acqua del paziente.

Bisogna ricordare che il liquido di dialisi posto a pressioni molto negative si libera dei gas contenuti in eccesso provocando praticamente l'embolia del dializzatore che riduce in modo sostanziale il suo rendimento.

Con la dialisi al bicarbonato viene inoltre a liberarsi l'anidride carbonica necessaria alla stabilità del bagno con conseguente variazione del pH e del bicarbonato.

Per quanto possibile vanno quindi evitate pressioni negative superiori a -250 mmHg.

Il controllo della perdita di peso del paziente può essere ottenuto in modo manuale o in modo automatico dalle macchine che dispongono del cosiddetto controllo di ultrafiltrazione.

a) Il controllo manuale dell'ultrafiltrato.

Nelle macchine più vecchie per ottenere il calo del paziente l'operatore dispone di due strumenti da utilizzare assieme alle caratteristiche del dializzatore impiegato per la seduta (Fig. 16).

Uno è la pressione positiva del sangue letta sul manometro di venosa posto sulla vaschetta della linea di ritorno al paziente e l'altro è il manometro di pressione negativa posto sul liquido di dialisi all'uscita del dializzatore.

La somma (in realtà si tratta di una differenza) tra le letture dei due manometri fornisce una valutazione grossolana della cosiddetta pressione di transmembrana (TMP).

Si tenga presente che a parità di lettura dei due manometri la reale pressione di transmembrana aumenta con l'aumentare del flusso

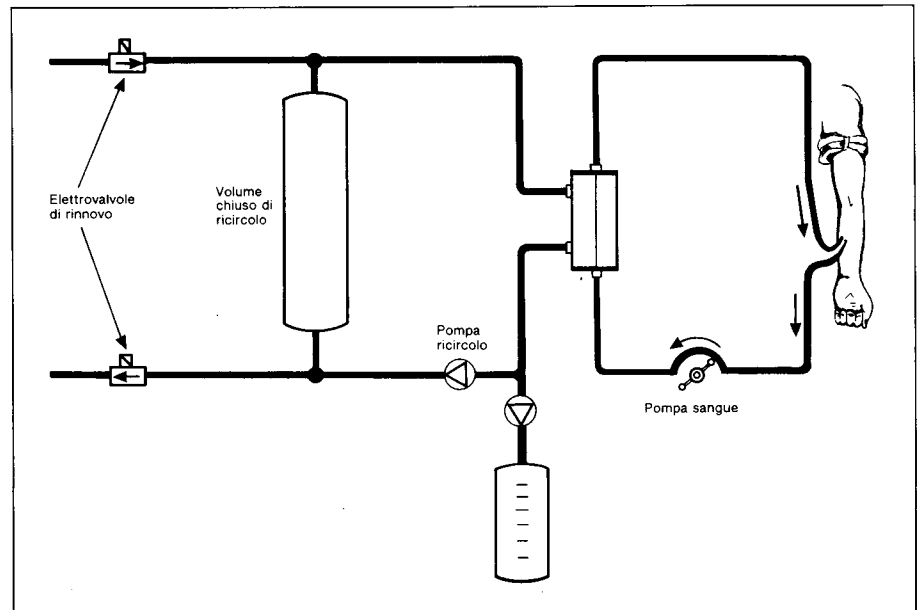


Fig. 17 - Sistemi con parziale ricircolo e tecniche volumetriche.

sangue e con l'altezza a cui è posto il dializzatore.

La pressione di transmembrana provoca un passaggio di tipo convettivo dell'acqua che in una certa quantità passa dal sangue al liquido di dialisi portandosi dietro tutti i suoi soluti.

Se la permeabilità della membrana è molto elevata e la pressione del sangue è alta può accadere che la quantità di ultrafiltrato che si ottiene senza applicare pressioni negative (la cosiddetta ultrafiltrazione spontanea) sia già molto più alta di quanto richiesto dal paziente.

In questo caso anziché una pressione negativa bisogna applicare sul liquido di dialisi una pressione positiva che contrasti, anziché aiutare, la pressione del sangue.

Fino a 80-100 mmHg non ci sono problemi ma se si va oltre accade che sulla membrana si creano due zone distinte.

Nella prima la pressione del sangue cede acqua e soluti al liquido di dialisi e nella seconda avviene il contrario.

Questo fenomeno è detto filtrazione inversa o backfiltration.

Poiché il liquido di dialisi normalmente non è né sterile né apirogeno la cosa non è per niente simpatica e nessuno può prevederne gli effetti.

Solo le macchine più evolute dispongono di un allarme per questa situazione per cui normalmente sta alla responsabilità dell'operatore evitare di superare con la pressione negativa che si volta in positiva la pressione del sangue.

Per ottenere il voluto calo l'operatore deve controllare sulle caratteristiche del dializzatore il coefficiente di ultrafiltrazione.

Questo coefficiente è espresso in ml/h/mmHg cioè in millilitri per ora per millimetro di mercurio.

In pratica se questo coefficiente è 5 e la somma delle due letture degli strumenti è 200 il paziente calerà di $5 \times 200 = 1000$ ml/h cioè di un kg all'ora.

Va da sé che questo sistema richiede un controllo almeno ogni mezz'ora del calo effettivo in modo da poter correggere le deviazio-

ni rispetto al valore voluto.

Se il coefficiente del dializzatore è molto alto (> 10) la manovra diventa molto difficoltosa e l'operatore dovrebbe controllare la pressione praticamente in continuo.

Il sistema è semplice e sicuro ma si può usare solo con i dializzatori tradizionali in cuprophan o simili e comunque necessita di un continuo controllo.

b) Il controllo automatico dell'ultrafiltrato

Poiché il controllo automatico della quantità di liquido persa dal paziente è fondamentale per un buon andamento della seduta dialitica ed è praticamente indispensabile quando si utilizzino dializzatori ad alta permeabilità, i costruttori di apparecchiature si sono dati molto da fare per trovare una soddisfacente soluzione.

In definitiva i sistemi effettivamente utilizzati possono essere divisi in due categorie principali:

- Con parziale ricircolo
- Senza ricircolo

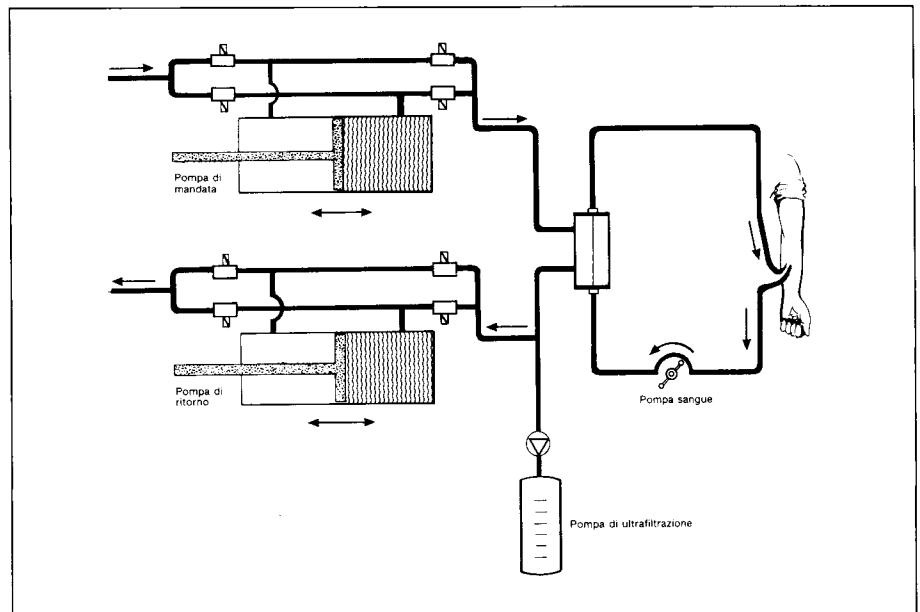


Fig. 18 - Sistemi senza ricircolo e tecniche volumetriche.

Nei sistemi con parziale ricircolo il liquido di dialisi forma un volume chiuso dal quale viene prelevato il flusso del liquido di dialisi fresco e nel quale viene riversato il liquido di dialisi esausto che porta con sé la quantità d'acqua sottratta al paziente (ultrafiltrato).

Questo volume viene poi rinnovato a intervalli regolari ma si ha inevitabilmente una contaminazione tra il flusso d'ingresso e quello in uscita con varie e a volte spiacevoli conseguenze. Nei sistemi senza ricircolo i due flussi vengono mantenuti rigorosamente separati.

Come tecniche di misura e controllo vengono utilizzate le tecniche volumetriche e gravimetriche per entrambe le categorie mentre le tecniche tachimetriche vengono usate nei soli sistemi senza ricircolo.

Sistemi con parziale ricircolo e tecniche volumetriche (Fig. 17).

In questo sistema il liquido di dialisi è contenuto in un volume rigido che viene periodicamente rinnovato tramite le elettrovalvole con liquido fresco preparato a parte. Una pompa provvede a mandarlo al dializzatore all'uscita del quale il liquido torna nel volume di partenza. Poiché il volume è rigido non vi può essere passaggio di acqua dal sangue al liquido di dialisi a meno che una seconda

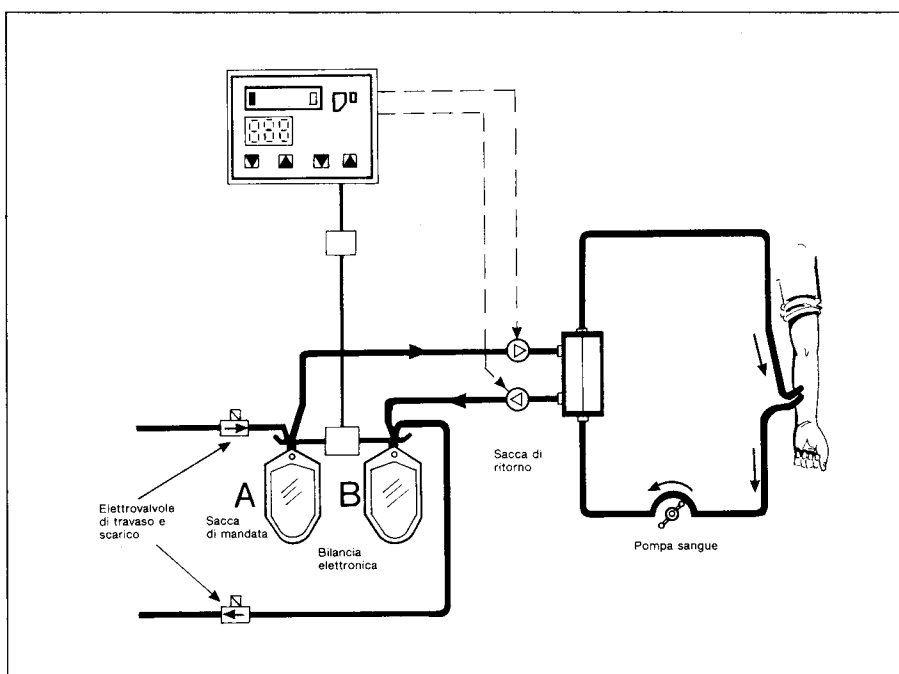


Fig. 19 - Sistemi senza ricircolo e tecniche gravimetriche.

pompa non provveda a prelevarlo.

Per lo stesso motivo la quantità di liquido prelevata dalla pompa dell'ultrafiltrato equivale esattamente alla quantità di liquido ceduta dal sangue.

Sistemi senza ricircolo e tecniche volumetriche (Fig. 18).

In questi sistemi esistono due pompe rigorosamente volumetriche (generalmente a pistone), una che invia il liquido al dializzatore e una che lo preleva.

Un sistema di elettrovalvole provvede alla direzione corretta del flusso ad ogni istante.

Analogamente al primo caso, poiché le due pompe sono identiche, i due flussi risultano altresì identici e di conseguenza l'ultrafiltrazione è nulla a meno che una terza pompa non provveda ad estrarre una certa quantità di liquido che, per quanto detto, corrisponde all'ultrafiltrato.

Sistemi senza ricircolo e tecniche gravimetriche (Fig. 19).

Il sistema è costituito da due contenitori gravanti su di un sistema di pesatura. Una pompa preleva il liquido dal primo contenitore e lo invia al dializzatore mentre una seconda pompa lo prende dal dializzatore e lo invia nel secondo contenitore. Il sistema di pesatura controlla continuamente le variazioni di peso dovute all'ultrafiltrato e regola di conseguenza la velocità della pompa per ottenere il valore voluto.

Quando il primo contenitore è vuoto e il secondo è pieno un sistema di travaso provvede a ripristinare la situazione iniziale riempiendo il primo contenitore e vuotando il secondo tramite le elettrovalvole e le pompe di travaso e scarico.

Durante la fase di misura la

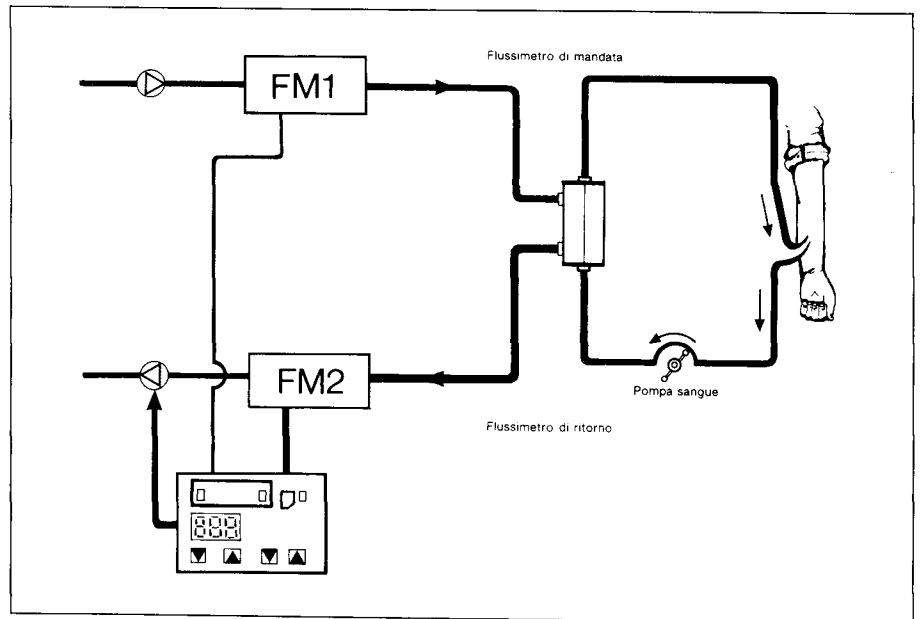


Fig. 20 - Tecniche tachimetriche.

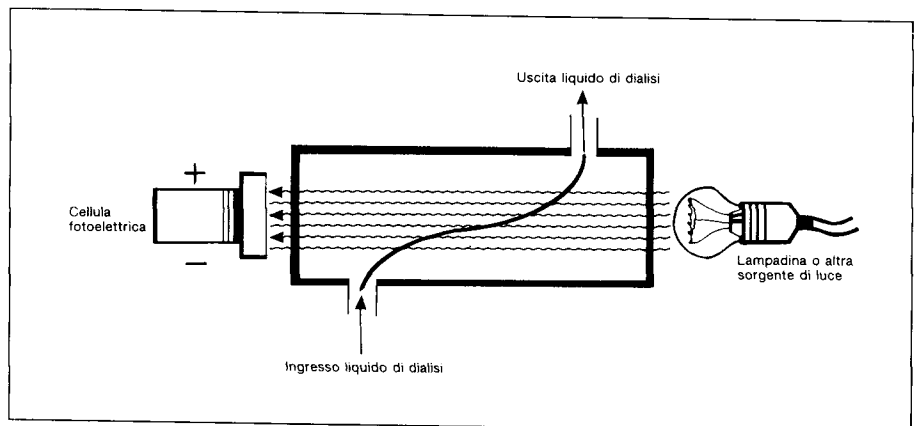


Fig. 21 - Rilevatore di perdite ematiche.

pressione a monte e a valle delle due elettrovalvole di travaso viene azzerata eliminando il rischio di trafilamento delle elettrovalvole.

Tecniche tachimetriche (Fig. 20)

Queste tecniche sono le più intuitive e consistono semplicemente nel disporre all'ingresso e all'uscita del dializzatore due flussimetri di precisione del tipo normalmente impiegato nelle misure industriali.

La differenza tra le due misurazioni consente di ricavare il valore del flusso dell'ultrafiltrato.

Il sistema può agevolmente essere raddoppiato in modo da avere un controllo incrociato di sicurezza.

Il rilevatore di perdite ematiche

Nei dializzatori moderni la rottura della membrana è un fatto raro.

Poiché però questa evenienza è

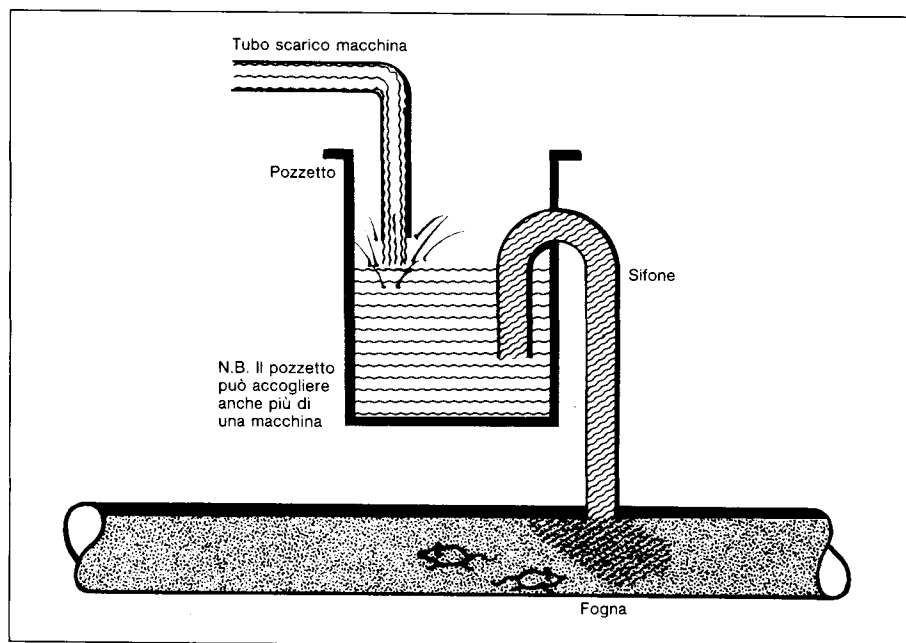


Fig. 22 - Lo scarico in fogna.

molto grave, nella linea che porta fuori il liquido di dialisi dal dializzatore, è disposto un sensore in grado di rilevare le eventuali perdite ematiche (Fig. 21).

Il sensore è costituito da una sorgente luminosa che invia la propria luce su di una cellula fotoelettrica.

La presenza del sangue nel liquido di dialisi provoca un abbassamento della luce ricevuta dalla fotocellula con conseguente allarme e arresto della pompa sangue.

Lo scarico in fogna

Anche questo è un problema poco conosciuto ma importante.

Tutte le macchine per emodialisi devono avere lo scarico cosiddetto a pelo libero.

Questo significa che il tubo di scarico alla sua estremità NON deve essere collegato ad alcuna tubazione ma deve riversare liberamente in un pozzetto predisposto.

In mancanza di questa precauzione possono aversi inquinamenti di ritorno durante la fase di fermo

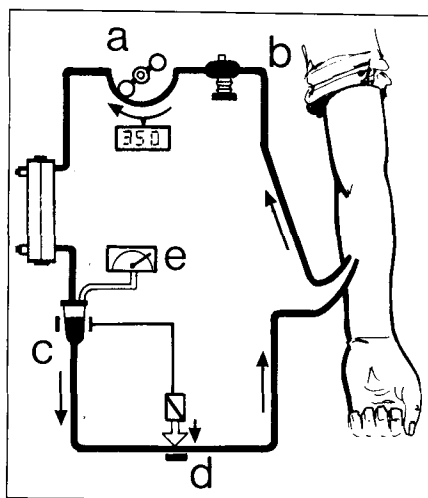


Fig. 23 - Circuito ematico.

macchina e inoltre possono aversi anomalie di comportamento dovute a pressioni allo scarico non previste dal costruttore (Fig. 22).

Il circuito ematico

Questa parte della macchina controlla le seguenti operazioni (Fig. 23):

a) Preleva il sangue dal circolo del paziente e lo invia al dializzatore

b) Controlla che l'ago sia posizionato correttamente nel vaso di accesso

c) Controlla che il sangue che ritorna al paziente sia privo d'aria

d) Se c'è aria occlude la linea di rientro

e) Controlla la pressione di rientro per evitare che la stessa assuma valori pericolosi.

La pompa sangue

Come pompa del sangue viene universalmente adottata la pompa peristaltica nata nell'industria chimica per il pompaggio di liquidi che non potevano entrare in contatto con l'aria (Fig. 24).

La pompa peristaltica è costituita da uno statore circolare su cui appoggiano uno o più tubi elastici.

Un rotore dotato di rulli schiaccia i tubi contro lo statore e contemporaneamente ruota.

La portata della pompa, essenziale per l'operatore, viene rilevata contando il numero di giri al minuto nell'ipotesi che la pompa sia veramente volumetrica ovvero che la sua portata dipenda solo dal numero dei giri.

Ma il fatto è che la pompa peristaltica è, come si dice, una buona volumetrica in mandata e una pessima volumetrica in aspirazione.

Questo significa che la mandata della pompa si mantiene indipendentemente dal fatto che a valle vi siano delle strozzature (fino al punto da far scoppiare i tubi) mentre l'aspirazione del liquido avviene solo per l'elasticità del tubo (Fig. 25).

In altre parole se l'aspirazione della pompa è posta sotto il recipiente da cui proviene il liquido o comunque aspira libera da un recipiente posto alla stessa altezza, la portata dipende solo dal numero dei giri; se la pompa invece deve

aspirare da una considerevole altezza o attraverso la strozzatura di un ago il tubo di ingresso si contrae fino a collabire e la portata si riduce fino ad annullarsi.

Il fenomeno dipende dall'elasticità del tubo e dal rapporto tra i suoi diametri.

Se il tubo è grosso, con pareti sottili e molto morbido, la portata è alterata anche da una piccola strozzatura mentre se il tubo è piccolo con pareti spesse e molto elastico, la pompa riesce a pompare anche se l'ingresso è molto strozzato.

Nel caso specifico dell'emodialisi le cosiddette pompe bitubo sono le uniche in grado di pompare effettivamente grossi volumi di sangue anche attraverso aghi sottili mentre le cosiddette monotubo sono molto più sensibili al fenomeno.

L'operatore dovrebbe quindi verificare sempre la reale portata della pompa a seconda dell'ago usato in modo da potersi regolare di conseguenza.

Da tener presente anche che le pompe bitubo realizzano grosse portate creando pressioni negative notevoli a valle dell'ago di aspirazione provocando indirettamente la presenza di aria (schiuma) nel sangue.

Il sensore di pressione fistola

Se l'ago tocca sulla parete della fistola l'ingresso della pompa sangue si strozza e, per quanto visto, il flusso cessa.

Per evitare danni alla fistola e soprattutto per evitare di sospendere la depurazione all'ingresso della pompa è previsto un sensore di pressione di due tipi fondamentali.:

a) *Salvafistola a polmoncino* (Fig. 26).

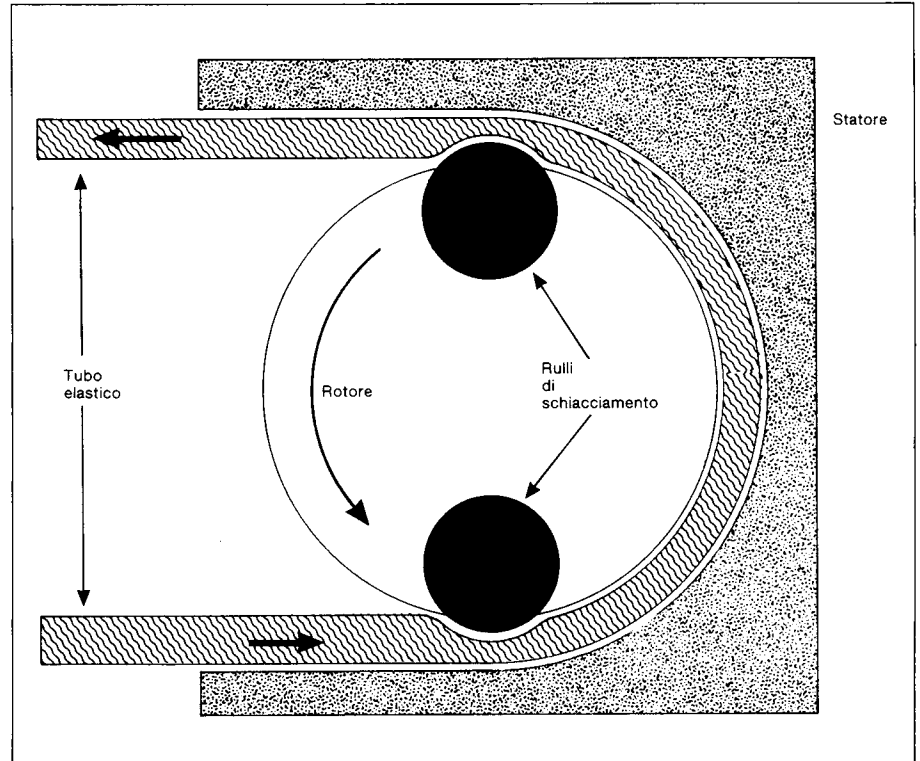


Fig. 24 - Pompa sangue (peristaltica).

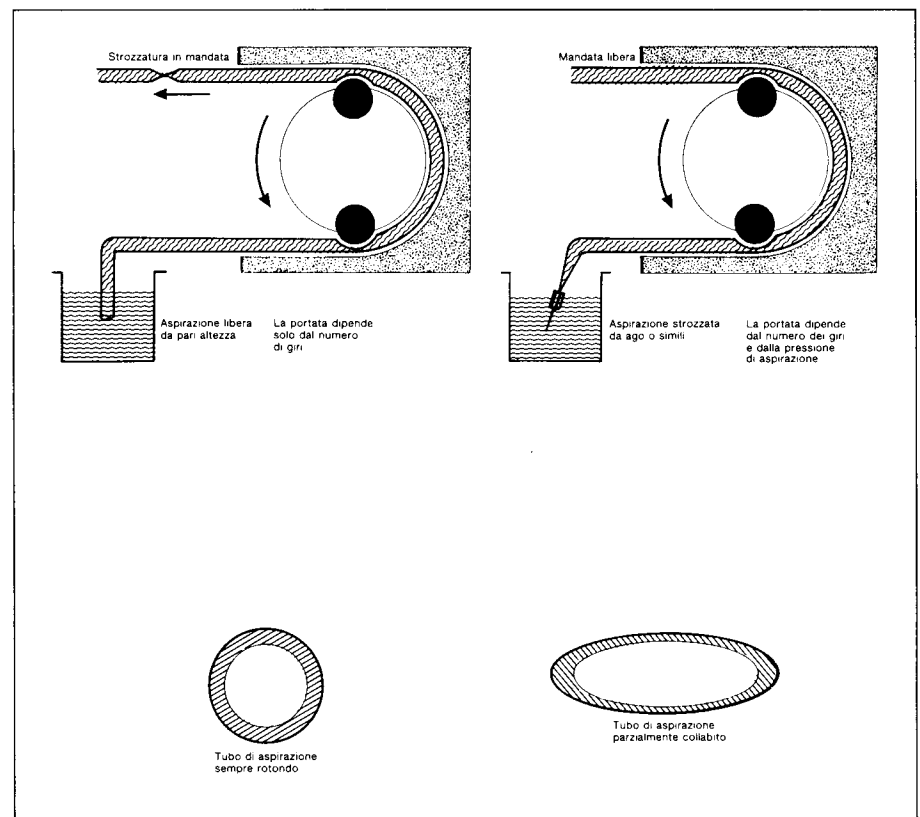


Fig. 25

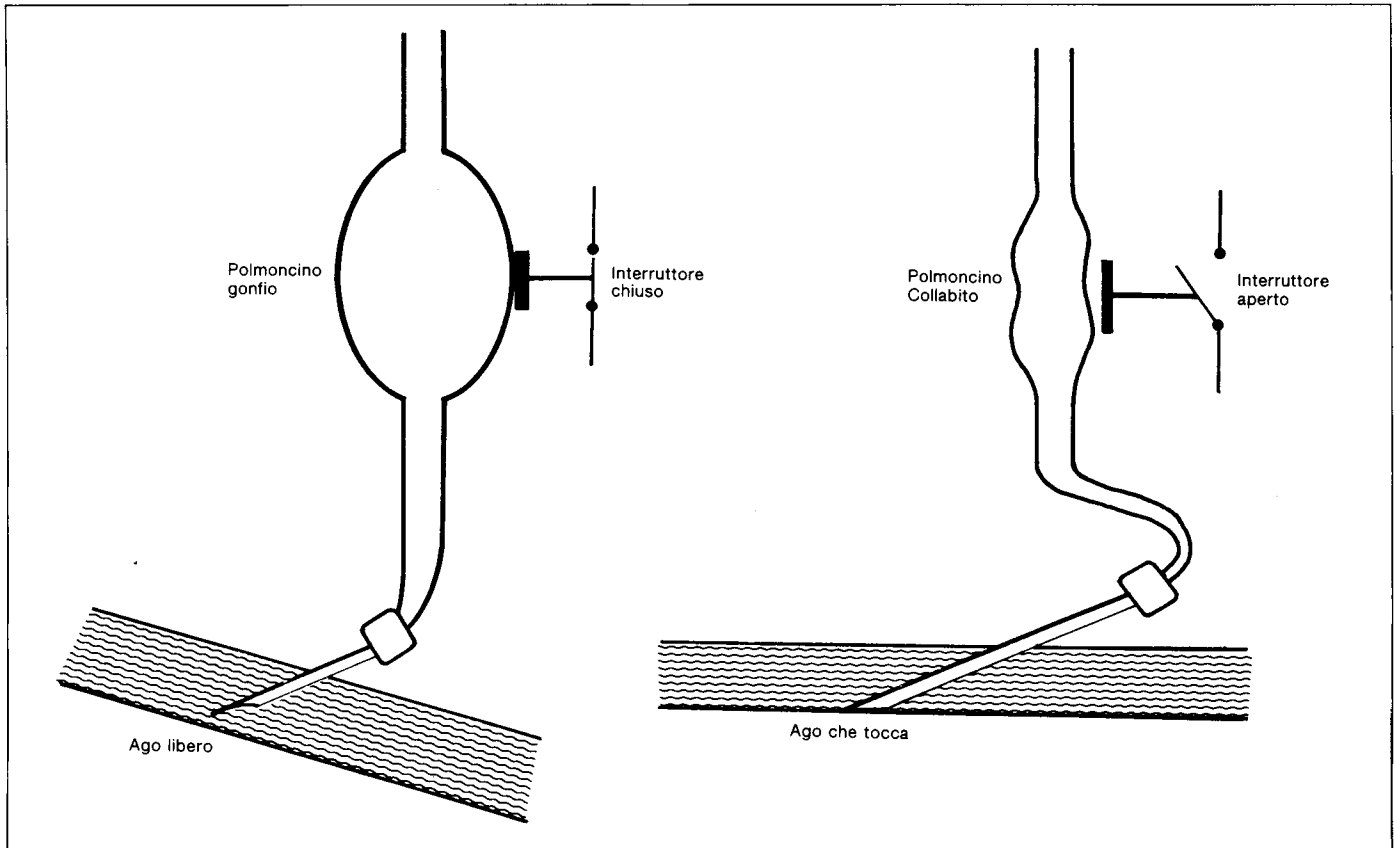


Fig. 26 - Salvafistole e polmoncino.

È costituito da un polmoncino elastico stretto tra due pareti che, in condizioni normali, spinge su un opportuno interruttore. Se l'ago collabisce il polmoncino si restringe e l'interruttore viene rilasciato provocando un allarme.

È un sistema estremamente grossolano e assai poco affidabile.

È influenzato dalla temperatura e dall'elasticità delle pareti. Può funzionare solo se viene utilizzato sempre lo stesso polmoncino.

In ogni caso può solo bloccare la pompa sangue con conseguente andamento a strappi.

b) Salvafistola a manometro (o manometro di arteriosa) (Fig. 27)

Questo sistema è molto più valido ed è costituito da un manometro che misura la pressione dell'aspirazione.

Questo consente di intervenire in modo più corretto rallentando la pompa anziché fermarla e se-

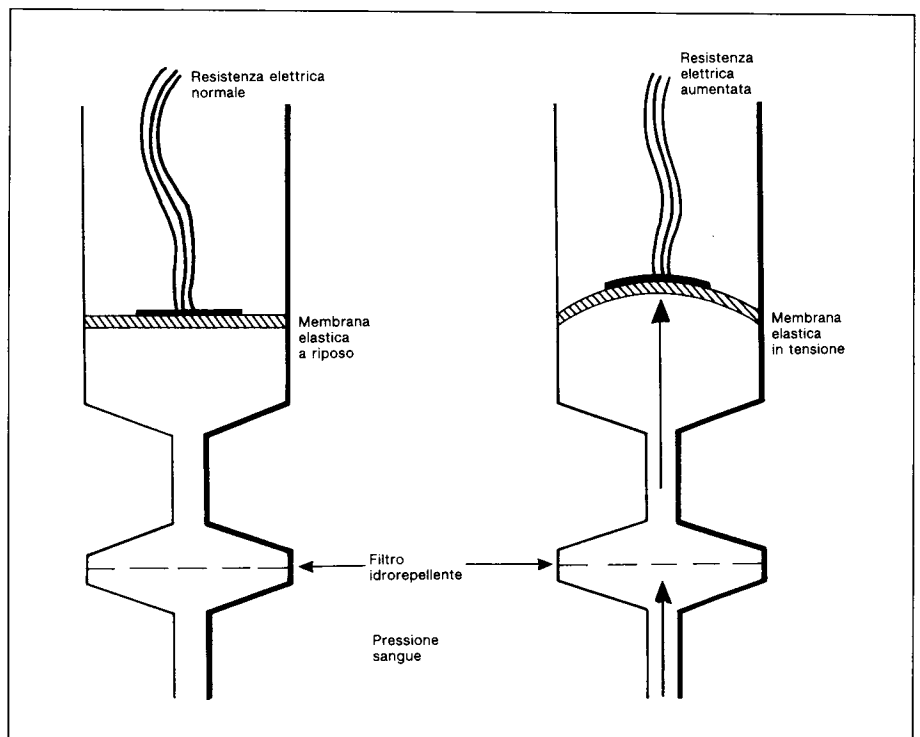


Fig. 27 - Salvafistole a manometro.

gnalando all'operatore che il flusso reale si sta riducendo rispetto a quanto indicato.

Il manometro è generalmente costituito da un trasduttore di pressione di tipo elettronico.

Questo trasduttore è costituito da una membrana elastica su cui sono incollate o depositate delle particolari resistenze elettriche.

Sotto la pressione del fluido la membrana si deforma allungandosi (o accorciandosi in caso di pressioni negative).

Questo provoca di conseguenza l'allungamento delle resistenze incollate sulla membrana e il loro aumento di valore.

Questa variazione, amplificata da un amplificatore elettronico, viene utilizzata per rilevare la pressione del fluido in modo da poterla visualizzare ed eventualmente far intervenire degli allarmi.

La membrana utilizzata non sopporta in genere di entrare a contatto con il sangue per cui il trasduttore è protetto da una membrana idrofoba che lascia passare l'aria ma non il sangue. È ovvio che se il sangue arriva a toccare la

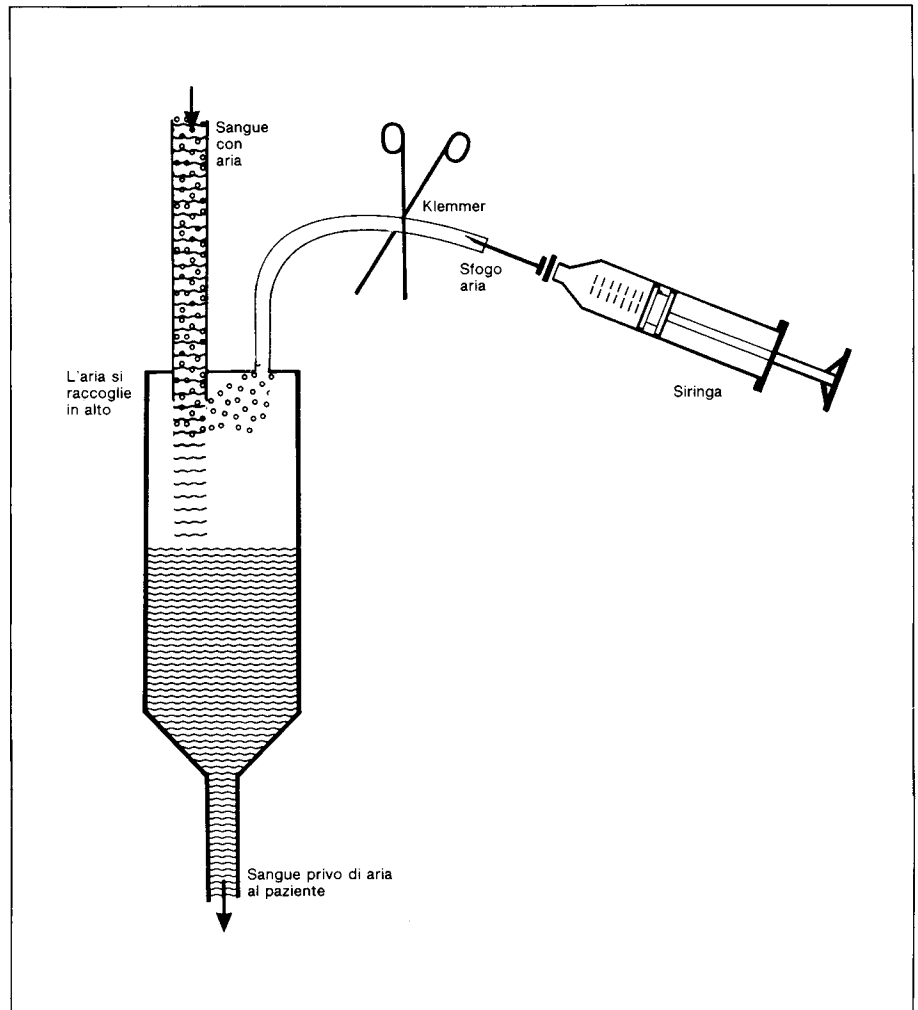


Fig. 28 - Rilevatore d'aria.

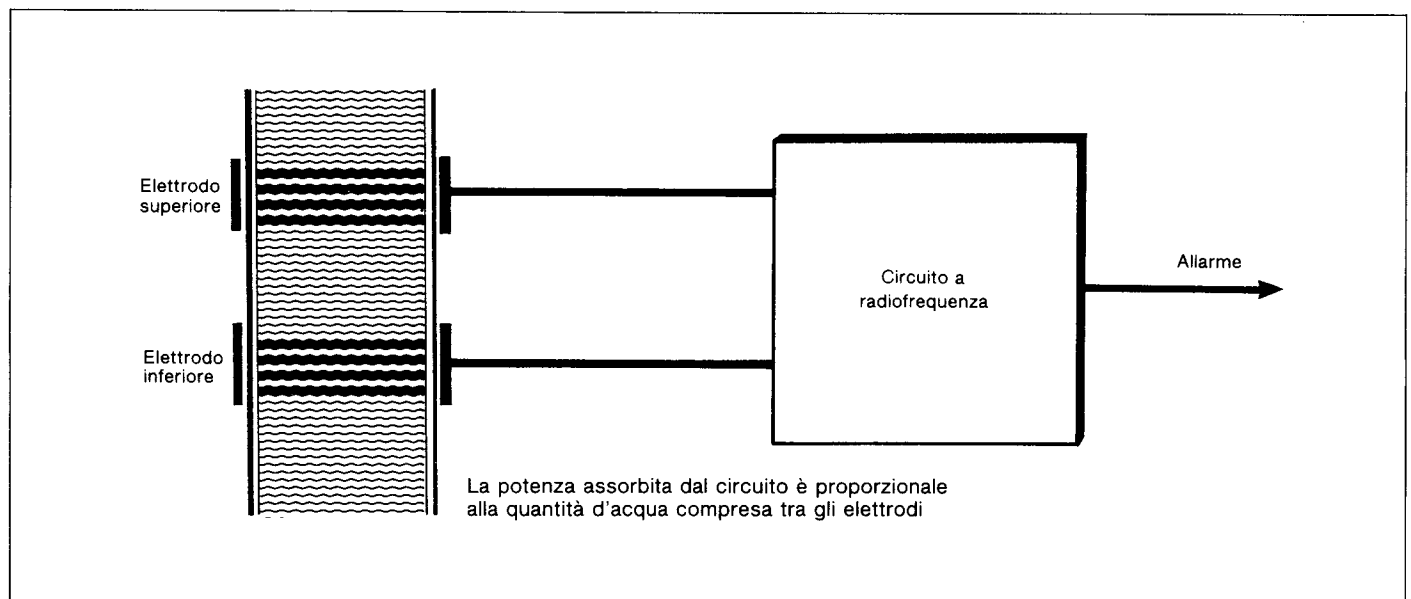


Fig. 29 - Sensori di tipo capacitiva.

membrana di protezione, il trasduttore non riesce più a funzionare. Bisogna quindi porre la massima attenzione per evitare questa evenienza.

Il rilevatore d'aria

Nonostante tutte le precauzioni può succedere che nel sangue si formi dell'aria con un fenomeno analogo anche se non voluto a quello che succede nel degasatore.

Per evitare che l'aria torni in circolo con grave pericolo per il paziente il sangue, prima di rientrare nella fistola, passa per una camera di gocciolamento dove l'aria si separa in modo da poter essere spurgata con una siringa o altri mezzi (Fig. 28).

Premesso che il controllo visivo di questa situazione resta sempre importante, la macchina è provvista di un sensore che avverte l'operatore quando il contenuto d'aria nella vaschetta è eccessivo.

Questi sensori sono fondamentalmente di due tipi.

a) Sensori di tipo capacitivo

Questi sensori appoggiano alla vaschetta due elettrodi che costituiscono le due armature di un condensatore (Fig. 29).

Quando un condensatore viene disposto in un circuito elettronico particolare lo stesso assorbe dal circuito una potenza proporzionale alla quantità d'acqua contenuta tra le sue armature.

Questo consente al circuito di sapere quant'è la quantità d'acqua contenuta nella vaschetta e di generare un allarme quando questa è al di sotto di un certo livello.

Il sistema è abbastanza sicuro e si adatta a vaschette di dimensioni leggermente diverse purché ci si ricordi di regolarlo e controllarlo all'inizio di ogni trattamento e soprattutto di non picchiare con le

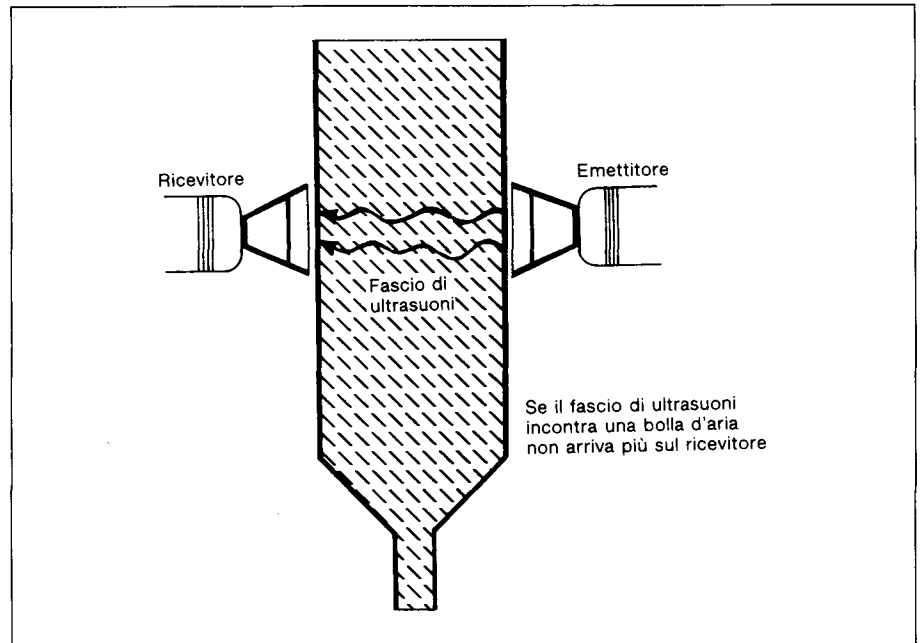


Fig. 30 - Sensore di tipo a ultrasuoni.

pinze sui suoi elettrodi.

b) Sensori di tipo a ultrasuoni

Questi sensori sono costituiti in modo analogo al rilevatore di perdite ematiche solo che invece di un raggio luminoso viene usato un raggio di ultrasuoni (Fig. 30).

Un emettitore di ultrasuoni invia il raggio attraverso la vaschetta dove, dal lato opposto, è posto un ricevitore.

Se la vaschetta è piena di sangue il suono si propaga normalmente e arriva al ricevitore ma se sul suo cammino c'è una bolla d'aria si interrompe e il ricevitore genera un allarme.

Questi sistemi sono molto sicuri ma tendono a dare allarme anche in condizioni normali.

Basta infatti una piccola bolla o una non perfetta aderenza della vaschetta all'emettitore/ricevitore o addirittura il materiale della vaschetta di tipo diverso per provocare un allarme.

Per funzionare correttamente bisogna quindi usare rigorosamente la vaschetta originale e disporla

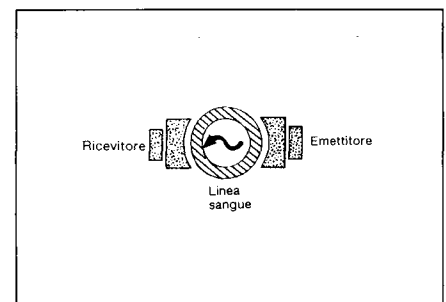


Fig. 31

con attenzione nella sua sede.

I sistemi a ultrasuoni sono anche usati direttamente sulla linea anziché sulla vaschetta ed in contemporanea anche sulla vaschetta (Fig. 31).

Il funzionamento è analogo ma in questo caso il sistema genera un allarme quando passano un certo numero di bolle di una certa dimensione in un certo tempo.

L'elettropinza

Quando i sensori posti sulla vaschetta o sulla linea danno allarme, la linea di ritorno viene chiusa

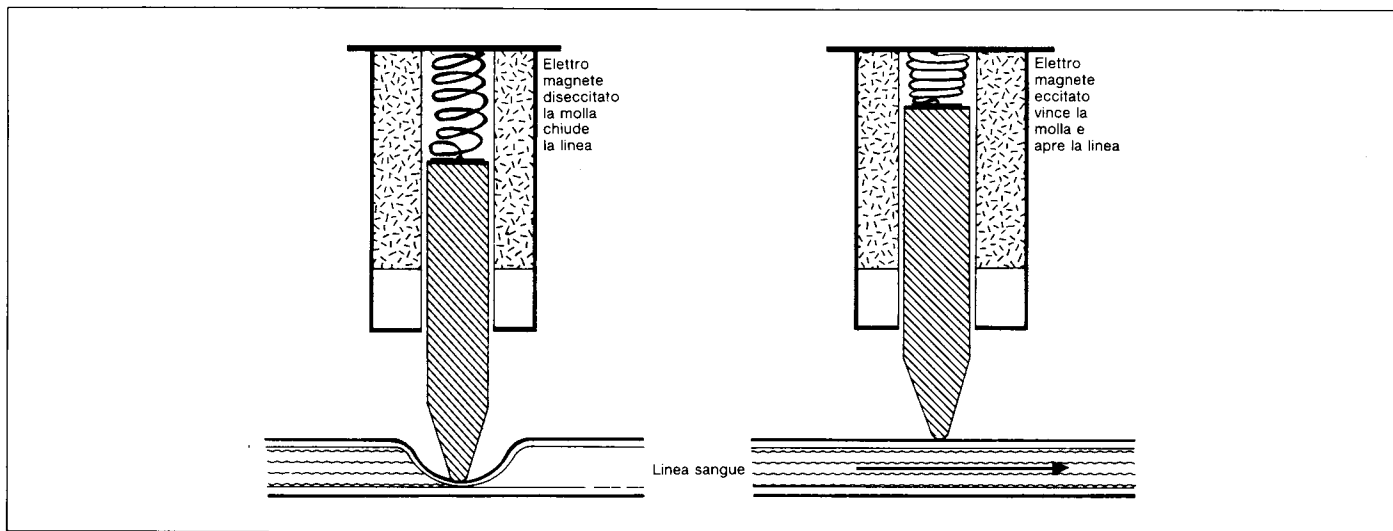


Fig. 32 - Elettropinza.

da una pinza elettromeccanica (Fig. 32).

Come organo di chiusura viene utilizzato un elettromagnete.

Il funzionamento è analogo a quello delle elettrovalvole pinch-off.

Il manometro di venosa

La pressione nella vaschetta viene rilevata da un manometro identico a quello per la pressione arteriosa (Fig. 33).

In questo caso però i limiti di al-

larne anziché fissi sono regolabili dall'operatore.

Dopo aver fatto partire l'apparecchio e regolata la pompa sangue al flusso desiderato, nella vaschetta si viene a stabilire una certa pressione che può essere utilizzata assieme a quella di negativa per calcolare approssimativamente la perdita di peso del paziente.

Poiché durante il trattamento questa pressione può variare, anche in modo notevole, l'operatore deve fissare due limiti, sopra e sotto il valore normale, al di là dei

quali il manometro provoca un allarme arrestando la pompa.

Conclusione

Da quanto esposto appare che le apparecchiature per emodialisi non presentano particolari difficoltà di comprensione o manovra.

Data l'importanza della loro funzione vanno manovrate con attenzione evitando operazioni brusche e sconsiderate.

Il punto più delicato è rappresentato dalla loro esigenza di essere mantenute sempre perfettamente pulite (sia dentro che fuori) sia per ovvi motivi di igiene che di affidabilità.

Eeguire sempre con attenzione le operazioni di fine e inizio dialisi ed evitare di gocciolare fisiologica o altri liquidi sulla macchina.

Manovrare gli interruttori con le mani e mai con le pinze sangue o altri arnesi metallici.

Per la pulizia evitare di usare solventi e comunque attenersi a quanto stabilito dal costruttore.

Poche attenzioni sono sufficienti ad evitare pericolosi inconvenienti.

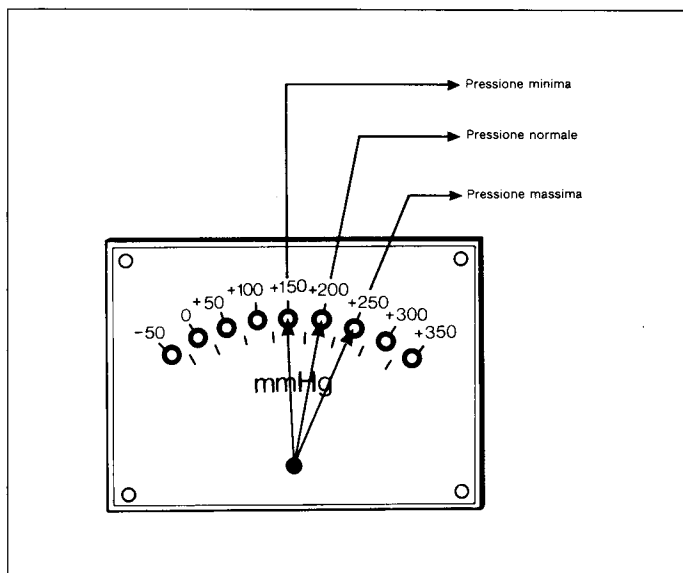


Fig. 33 - Manometro di venosa.