



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101990900147457
Data Deposito	30/10/1990
Data Pubblicazione	30/04/1992

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	02	B		
Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	01	D		

Titolo

PROCEDIMENTO PER LA DEPURAZIONE DELL'ACQUA MEDIANTE UNA COMBINAZIONE DI UNITA' DI SEPARAZIONE A MEMBRANE E RELATIVO IMPIANTO



IONICS ITALBA S.p.A.,

con sede a Milano

30 OTT. 1990

DESCRIZIONE

21920A/90

Il presente trovato riguarda, in generale, il trattamento delle acque e, più in particolare, la produzione di acqua dissalata pura o ultrapura con l'impiego di una combinazione di processi basati sull'uso di membrane e cioè, nella combinazione più semplice, di almeno un processo di elettrodialisi e di un processo di osmosi inversa. Inoltre il ritrovato ha per oggetto una tecnica di depurazione secondo la quale la corrente di rifiuto in uscita dalla unità di osmosi inversa viene sfruttata riciclandola nella unità di elettrodialisi, invece di scaricarla in fognatura come previsto normalmente dai metodi di vecchia concezione.

Rientra pure nell'ambito del trovato un impianto per la realizzazione di detto procedimento.

Gli ultimi progressi tecnologici hanno reso praticamente indispensabile la disponibilità di acqua pura o ultrapura per numerose applicazioni industriali e scientifiche, come pure nel campo della produzione di energia. Sebbene i sistemi di depurazione di concezione precedente siano già in grado di fornire acqua con caratteristiche tali da soddisfare in buona parte la normativa attuale, tali metodi vanno soggetti a notevoli svantaggi. In particolare, un metodo noto che prevede l'uso di mezzi e/o cartucce filtranti, seguito da un processo di osmosi inversa (R.O) e da un trattamento di scambio ionico con letto doppio o misto rigenerato sul posto, comporta i seguenti aspetti negativi: (a) necessità di frequente lavaggio in controcorrente dei mezzi filtranti, ovvero di frequente so-

stituzione delle cartucce filtranti, (b) proliferazione batterica nei mezzi filtranti; (c) necessità di trattamento chimico e di smaltimento dei rifiuti in seguito alla rigenerazione sul posto delle resine scambiatrici di ioni; e, più importante ancora, (d) necessità di immissione di prodotti chimici per acidificare e/o pretrattare in altro modo l'acqua prima di sottoporla all'osmosi inversa. Un precedente metodo di trattamento dell'acqua con l'impiego di unità mobili contenenti esclusivamente colonne di scambio ionico è descritto nei brevetti U.S.A: n. 4.280.912, 3.766.060, 4.188.291, 4.332.685 e altri. Un altro metodo di trattamento noto prevede l'uso dell'elettrodialisi prima dello scambio ionico, con purificazione finale dell'acqua risultante mediante unità di ultrafiltrazione a fibre cave (cfr. Zmolek, C.R., "Ultrapure water for Integrated Circuits Processing", in Industrial Water Engineering, dicembre 1977). Tuttavia, nessuno dei metodi sopra accennati ha per oggetto il metodo di trattamento qui descritto, articolato in una elettrodialisi seguita da osmosi inversa, in combinazione con uno specifico sistema di recupero atto a garantire un miglioramento senza precedenti al processo globale. Nella nuova configurazione, la corrente salina di rifiuto che effluisce dall'unità di osmosi inversa viene preservata facendola rifluire nelle camere di arricchimento in sali, di diluizione e/o degli elettrodi che compongono l'unità di elettrodialisi, anziché scaricarla in fognatura.

Lo scopo della presente invenzione consiste pertanto nel realizzare un sistema di trattamento delle acque in grado di fornire economicamente acqua depurata per lunghi periodi senza che il processo comporti frequenti lavaggi in controcorrente, cambi di filtri, aggiunte di reattivi, per-

dite eccessive di acqua allo scarico o altre operazioni di manutenzione.

Altro scopo dell'invenzione è quella di offrire un processo in grado di separare le sostanze organiche e di ottenere un'acqua biologicamente pura, caratterizzata da una resistenza elettrica specifica dell'ordine di 17-18 megaohm/cm a 25°C.

Ulteriore scopo del presente trovato è quello di realizzare un impianto di depurazione dell'acqua comprendente una combinazione o una serie di singoli elementi raccordati a una condotta d'acqua o ad altro sistema di approvvigionamento idrico allo scopo di trattare l'acqua per depurarla, riducendo allo stesso tempo le perdite da scarico in fognatura. Secondo il trovato detto impianto consta almeno di due sistemi di trattamento a membrane, cioè elettrodialisi (ED, anche nelle varianti a inversione "EDR" e a scompartimenti riempiti "EDI") e osmosi inversa (RO), anche sotto forma di nanofiltrazione ("NF"), posti in serie con mezzi che consentono di utilizzare la corrente salina di rifiuto della RO come corrente di alimento per l'unità di elettrodialisi. (Si ricorda che a volte la RO viene chiamata iperfiltrazione ovvero, in sigla, IF). Il complesso può essere integrato con altri elementi per realizzare le caratteristiche desiderate dell'acqua finale - per esempio: sistema di ultrafiltrazione, sistema di filtrazione cross-flow, letti di scambio ionico, generatore di ozono e/o sorgente di raggi ultravioletti (UV) per la distruzione dei microorganismi al momento dell'uso del prodotto. L'impianto di depurazione di cui sopra può essere, all'occorrenza, facilmente montato in un container o in un semirimorchio in modo da poterlo trasferire comodamente presso la sede dell'utente. Una volta allacciato alle prese di energia elet-

trica, acqua di alimento, acqua di rifiuto e acqua depurata, il complesso può erogare un'acqua trattata conforme alle richieste di qualsiasi cliente o utilizzatore.

I vantaggi dell'invenzione sono sintetizzabili nei seguenti termini:

a) L'unità o elemento di ultrafiltrazione o di filtrazione cross-flow (a correnti incrociate) assicura un pretrattamento più efficace rispetto ai comuni filtri a mezzi filtranti sciolti o in cartuccia. In considerazione delle dimensioni minime dei pori delle membrane UF (da 0,002 a 0,02 micron), l'ultrafiltrazione è senz'altro preferibile e vale non soltanto a separare le particelle in sospensione, ma anche a ridurre il tasso batterico dell'acqua trattata. Questi sono i vantaggi specifici di cui si viene a beneficiare quando, in sede di pretrattamento a monte dei processi a membrane, si ricorre alla UF o alla filtrazione cross-flow anziché ai filtri con mezzi filtranti sciolti e/o in cartuccia. I mezzi filtranti sciolti possono migrare, disintegrarsi o favorire una rigogliosa proliferazione di specie microbiologiche. D'altro canto i filtri a elemento filtrante avvolto possono scaricare per effetto di sovrappressioni momentanee, venire by-passati in seguito a errori di montaggio o essere resi inefficaci in seguito al passaggio di solidi liberatisi durante le operazioni di cambio degli elementi filtranti.

b) L'unità o elemento di elettrodialisi, oltre ad abbassare il tasso dei solidi disciolti totali (SDT), può anche ridurre il pH dell'acqua, cioè aumentarne l'acidità (si considera preferenziale un campo di pH da 4 a 6,8) ed eliminare così la necessità di addizioni acide dall'esterno prima di avviare l'acqua al trattamento di osmosi inversa. Nel complesso

di depurazione, l'unità di elettrodialisi funge da demineralizzatore primario.

Durante il trattamento di desalinazione mediante elettrodialisi, possono formarsi dei "film di polarizzazione" contro le superfici interne delle membrane che delimitano gli scompartimenti demineralizzatori, in presenza di densità di corrente relativamente alte in rapporto alla salinità dell'acqua da demineralizzare. Di solito questo fenomeno si manifesta quando l'acqua in trattamento presenta un tasso ridotto di solidi disciolti totali e la densità di corrente applicata è tale da esaurire gli ioni contenuti negli strati di acqua posti a diretto contatto con le superfici delle membrane; in tal modo la corrente somministrata successivamente viene trasportata dagli ioni di idrogeno e ossidrile formatisi nello strato impoverito in seguito alla decomposizione delle molecole di acqua. Di regola questa separazione dell'acqua è molto più intensa in corrispondenza delle membrane anioniche, ragione per cui gli ioni ossidrilici depositati sulle stesse, a carica negativa, attraversano facilmente le membrane stesse per raggiungere gli scompartimenti concentratori adiacenti. Per contro, gli ioni idrogeno così generati, a carica positiva, non possono attraversare la membrana anionica e quindi tendono ad accumularsi nello scompartimento demineralizzatore, dando luogo pertanto a una acidificazione della corrente di acqua a valle. Questa acidificazione "naturale" viene sfruttata in un modo originale dalla presente invenzione, nel senso che non è più prevista alcuna addizione di acido di fonte esterna prima del successivo trattamento di osmosi inversa del prodotto parzialmente demineralizzato. Gli effetti della polarizzazione sono esa-

minati a fondo in un articolo intitolato "Limiting Current in Membrane Cells" apparso su Industrial & Engineering Chemistry, vol. 49, p.780, aprile 1957.

I vantaggi della ED come sistema di pretrattamento per la RO sono i seguenti.

1) La corrente di acqua affluente agli scompartimenti concentratori, degli elettrodi e/o demineralizzatori della unità ED può essere ottenuta almeno in parte dalla corrente salina di rifiuto dell'unità (RO). Sfruttando in questo modo originale la corrente di rifiuto, anzichè scaricarla in fognatura, si conserva nel processo l'acqua, insieme agli ioni di idrogeno.

2) Il bicarbonato e la durezza possono essere eliminati senza dover ricorrere ad aggiunte chimiche. L'indice di Langelier dell'acqua in uscita da una unità ED è generalmente inferiore a quello dell'acqua influente e spesso assume segno negativo. Perciò l'acqua prodotta dall'unità ED può essere quasi sempre alimentata all'unità RO senza le usuali addizioni chimiche.

3) Il pretrattamento ED a monte della RO rende superflua la inclusione di un degassificatore, con la necessità connessa di un ripompaggio e il rischio di una contaminazione.

4) Il rendimento di un'unità ED non risente in misura apprezzabile della bassa temperatura, anche se può risulterne ridotta la percentuale di demineralizzazione. Generalmente la RO reagisce in modo opposto ad un abbassamento di temperatura, cioè si ha un minore rendimento idraulico, mentre il tasso di rifiuto resta sostanzialmente invariato. Quindi una

combinazione dei due processi garantisce un migliore mantenimento globale dei termini qualitativi e quantitativi in caso di variazioni di temperatura.

Fra l'altro, l'osmosi inversa (RO) riduce il tasso di minerali (TDS) dell'acqua, e volendo può essere eseguita con un trattamento finale mediante scambio ionico, allo scopo di ottenere dell'acqua extrapura. Poiché l'acqua risultante (permeato) derivante dal trattamento RO può presentare un bassissimo contenuto di sali disciolti (ioni), un ulteriore trattamento con resine scambiatrici di ioni può essere proseguito per tempi assai lunghi prima che le resine debbano essere rigenerate. Ciò rende possibile l'impiego di cartucce o serbatoi di scambio ionico portatili al posto degli scambiatori ionici con rigenerazione sul posto previste dalle soluzioni precedenti. Si eliminano così le necessità di difficili e dispendiosi trattamenti chimici sul posto. Inoltre i problemi connessi allo smaltimento della corrente di rifiuto concentrata all'uscita della unità RO vengono ridotti o eliminati sfruttando la corrente stessa come alimento per gli scompartimenti concentratori, demineralizzatori e/o degli elettrodi nelle unità ED. Per una descrizione più particolareggiata della nuova combinazione di apparati per elettrodialisi/osmosi inversa con l'impiego di un condotto per far rifluire all'unità ED la corrente di rifiuto concentrata della RO si rimanda al paragrafo seguente, con riferimento alla figura 2.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del presente trovato appariranno più chiaramente dalla seguente descrizione fatta con riferimento alle allegate tavole di disegno, date a solo titolo indicativo, nelle quali:

la figura 1 rappresenta un diagramma di flusso della combinazione di elementi comprendente un impianto di depurazione preferenziale, oggetto del trovato, mentre

la figura 2 costituisce una rappresentazione schematica dettagliata, in sezione trasversale, della combinazione di elettrodialisi e di osmosi inversa nell'impianto di depurazione preferenziale di cui alla figura precedente.

Nella figura 1, una sorgente di acqua 1 appare raccordata a un dispositivo prefiltrante facoltativo 2 scelto fra un filtro a cartuccia o mezzo filtrante sciolto convenzionale con una carica di carbone attivo, carbone attivo argentato, resine di scambio anionico macroreticolari per assorbimento di sostanze organiche, resine di scambio anionico "scavenger" (tipo di resine Ambersorb della Rohm & Haas) aventi lo scopo di intercettare le eventuali particelle sospese relativamente grosse. Va detto che il prefiltro (al pari di alcuni altri elementi del sistema) può essere modificato secondo necessità o completamente eliminato. Se è previsto l'uso di prefiltri, è opportuno che vengano impiegati a coppie e raccordati in modo da consentire la circolazione dell'acqua in serie, in parallelo o in unità singole. Naturalmente i vari tubi rigidi e flessibili opzionali (ad esempio per la circolazione in serie o in parallelo, il riciclaggio, l'alimentazione e lo spurgo, ecc.) che possono essere installati per aumentare la flessibilità del sistema non sono illustrati nè descritti in questa sede, trattandosi di soluzioni già largamente note agli specialisti del ramo. E neppure, per la stessa ragione, sono illustrati i vari componenti comunemente usati negli impianti di trattamento delle ac-

que, come serbatoi di attesa, misuratori di conducibilità elettrica, strumenti di misura, indicatori di portata, registratori, pompe, valvole, misuratori, ecc. Successivamente, l'acqua sottoposta a prefiltrazione facoltativa viene convogliata sotto pressione alla unità di ultrafiltrazione 3, con membrane aventi pori di diametro compreso fra 0,002 e 0,02 micron, per la separazione delle particelle colloidali e delle sostanze organiche residue, oppure a una unità di filtrazione cross-flow (FCF) (a correnti incrociate). La costituzione e il funzionamento delle unità UF e FCF sono ben noti nel settore. Un tipo di UF con avvolgimento a spirale può essere facilmente reperito rivolgendosi alla Osmonics Inc. di Minnetonka, Minnesota/USA. In questa sede e nel seguito, il termine "ultrafiltrazione" o "UF" s'intende comprensivo anche del concetto di "filtrazione cross-flow" ovvero "FCF". Il passo successivo nel trattamento consiste nella demineralizzazione primaria mediante una o più unità di elettrodialisi 4, che provvedono a rimuovere la parte principale degli elettroliti a basso peso molecolare dalla corrente di alimento 15 immessa negli scompartimenti demineralizzatori della o delle unità di elettrodialisi. (Un sistema di ED o EDI con caratteristiche adeguate, commercializzato con il marchio Aquamite, può essere fornito dalla Ionics Inc. di Watertown, Mass./USA. Il sistema utilizza delle batterie o pacchi di membrane, formate alternativamente da membrane "anioniche" e membrane "cationiche" che delimitano gli scompartimenti in cui circola il liquido: L'unità ED/EDI provvedono a separare le impurezze ionizzate in soluzione. L'unità EDR con inversione, può mantenere una qualità costante di prodotto mediante l'inversione della polarità della corrente elettrica attraverso la batte-

ria, come descritto particolareggiatamente nel brevetto USA n° 4.381.232 (D. Brown). L'acqua 12 in uscita dalle batterie ED/EDR non soltanto presenterà un tenore minerale notevolmente ridotto, ma per effetto di una corrente elettrica quasi-polarizzante manifesta pure un marcato incremento di acidità. Questa acidità (preferibilmente nel campo di pH da 4 a 6,8) costituisce una caratteristica favorevole per un'acqua contenente durezza calcarea che debba essere trattata mediante RO (5). E il ricorso alla elettrodialisi elimina la necessità di un'adduzione acida minerale di fonte esterna alla corrente di acqua di alimento. L'acqua acidificata vale a prevenire o attenuare l'imbrattamento delle membrane RO, sì da consentire il funzionamento continuativo del sistema. Inoltre il trattamento mediante RO permette di separare i residui di colloidi, batteri ed elettroliti, nonché certe sostanze organiche disciolte nell'acqua così trattata. Dei filtri RO adatti sono disponibili in scala commerciale presso numerosi fornitori. La corrente di rifiuto saline 13 in uscita dall'unità RO 5 viene fatta rifluire, come soluzione di alimento, agli scompartimenti concentratori, demineralizzatori e/o degli elettrodi nella o nelle unità di elettrodialisi, attraverso il condotto 13. Il permeato (prodotto) 14 risultante dal processo di RO può essere sottoposto a ulteriore depurazione tramite una resina di scambio ionico (IE) a letto doppio o misto 6, la quale provoca la separazione degli altri minerali disciolti. Il letto misto può essere formato da una resina anionica del tipo Amberlite 410 e da una resina cationica del tipo Amberlite 1R-120 (entrambe di produzione Rohm & Haas), ma si possono usare con successo anche altre resine a letto misto. Il letto o i letti di scambio ionico provve-



deranno a eliminare gli ioni indesiderabili rimasti ancora nell'acqua trattata mediante RO, con un processo di cui gli specialisti del settore sono largamente a conoscenza. Le resine scambiatrici di ioni saranno preferibilmente non rigenerate sul posto, bensì sostituite con elementi aventi cariche di resine fresche.

Successivamente l'acqua, depauperata di tutto, praticamente, il suo contenuto di solidi disciolti, viene fatta passare entro una sorgente di raggi ultravioletti o di ozono (O_3) 7 per uccidere tutti o quasi i microrganismi viventi. Una lunghezza d'onda di circa 2537 Angstrom varrà a distruggere efficacemente quasi tutti gli organismi viventi che possono essere rimasti nell'acqua. Un sistema di disinfezione UV di produzione U.V. Technology Inc. (California) è stato trovato perfettamente rispondente allo scopo. Naturalmente, come facilmente comprenderanno gli specialisti del ramo, la quantità richiesta di radiazione ultravioletta e/o di ozono dipenderà sostanzialmente dalla portata del sistema e da altri fattori. A questo punto l'acqua è già sufficientemente pura per la maggior parte delle applicazioni. Volendo, però, la depurazione può essere resa ancora più spinta con l'impiego facoltativo di uno o più letti misti di ultradepurazione a resina 8 contenenti una resina adsorbente addizionale e un filtro finale microporoso a cartuccia 9 a pori extrafini. E' opportuno che l'acqua così trattata venga fatta passare poi attraverso un misuratore di conducibilità elettrica 10 indicante la resistenza elettrica dell'acqua trattata così da assicurarne la purezza richiesta in corrispondenza del punto d'uso 11.

Un letto di carbone attivo o, meglio, di carbone attivo argentato

può essere usato per la separazione del carbonio organico in sostituzione o in aggiunta al letto misto (8). Tale carbone attivo può essere vantaggiosamente integrato dal modulo RO di cui al brevetto USA n° 4.735.717. In aggiunta al misuratore di conducibilità elettrica si possono usare degli analizzatori di carbonio totale o di carbonio organico totale e/o dei contatori di particelle o batteri.

La figura 2 rappresenta schematicamente una sorgente di acqua 1 ammessa come influente 3 negli scompartimenti demineralizzatori 15 di una unità di elettrodialisi (ED) 4 di figura 1, eventualmente sotto forma di unità di elettrodialisi ad inversione (EDR) o di unità di elettrodialisi a celle occupate (EDI).

Una unità o batteria di elettrodialisi 4 (figura 2) consta delle camere degli elettrodi 6 ubicate alle due estremità della batteria e contenenti rispettivamente gli elettrodi 7 e 8. Nella parte intermedia fra i due elettrodi si trovano diversi scompartimenti, alternativamente demineralizzatori (diluitori) 15 e concentratori (9), delimitati da membrane permeabili alternativamente ai cationi e agli anioni. Tali membrane delimitano gli scompartimenti di circolazione (nessuno dei quali appare integralmente rappresentato nella figura in questione).

Per separare fra di loro le membrane in modo da formare degli scompartimenti alternativamente demineralizzatori e concentratori si possono utilizzare degli spaziatori a percorso tortuoso del tipo descritto nei brevetti USA n° 2.708.657 e 2.891.889, ovvero degli spaziatori a rete. La combinazione formata da una membrana di scambio anionico, una membrana di scambio cationico, uno scompartimento demineralizzatore e uno scomparti-



mento concentratore costituisce una coppia di celle. Fra una coppia di elettrodi si possono raggruppare coppie di celle in qualsiasi numero, così da formare una batteria di demineralizzazione che in una configurazione tipica comprende 100 coppie di celle o più. Sistemi del genere sono descritti più particolareggiatamente nei brevetti USA n° 2.694.680, 2.752.306, 2.848.403, 2.891.899, 3.003.940, 3.341.441 e 3.412.006. La fabbricazione e le proprietà delle membrane selettive del tipo impiegato nei sistemi di elettrodialisi sono discusse a fondo nei brevetti USA n° Re. 24.865, 2.730.768, 2.702.272, 2.731.411 e molti altri. Per effetto del potenziale elettrico che si trasmette attraverso la batteria, i cationi di sodio, calcio, magnesio e altri (a carica positiva) migrano attraverso le membrane cationiche e finiscono nella corrente di rifiuto o di concentrato (salamoia) 10. Allo stesso modo, le particelle a carica negativa di cloruro, solfato, nitrato, bicarbonato e altri anioni finiscono nella corrente di scarico 10 passando per le membrane anioniche. Benché gli ioni succitati costituiscano generalmente il gruppo principale dei sali indesiderabili, anche altre sostanze ioniche a basso peso molecolare vengono o possono essere separate analogamente. Nel funzionamento della batteria, inoltre, una corrente di elettroliti 22 circola in contatto con l'elettrodo 7 e una corrente simile circola in contatto con l'elettrodo 6. Nel processo EDR (elettrodialisi con inversione), la polarità elettrica viene invertita periodicamente con una tecnica largamente nota fra gli specialisti del ramo. Ne risulta un'inversione nella direzione di movimento degli ioni, con un effetto di "lavaggio elettrico" sugli ioni incrostanti e di altre particelle cariche che possono depositar-



si sulle superfici delle membrane. C'è anche la possibilità che gli scompartimenti demineralizzatori della batteria 4/ED, oppure sia gli scompartimenti demineralizzatori che quelli concentratori, possano essere riempiti in buona parte di sfere, fibre, tessuti, fogli espansi ecc. di scambio ionico, come già largamente noto nel settore. Nella presente descrizione queste batterie ED riempite, con i relativi sistemi e processi, sono chiamati rispettivamente batterie, sistemi e processi EDR. Laddove qui e nelle rivendicazioni si parla di "elettrodialisi" o "ED", ci si intende riferire anche alle varianti elettrodialisi con inversione o EDR ed elettrodialisi a celle riempite o EDI. L'acqua parzialmente demineralizzata che si raccoglie nell'effluente 13 viene ora immessa ad alta pressione dalla pompa 16, come corrente di alimento, in una unità di osmosi inversa 5. Quest'ultima consta di una membrana di osmosi inversa 17, di un condotto effluente 18 per il permeato e di un condotto effluente 19 per la salamoia di rifiuto o soluzione di scarto. Nella linea 19 si può incorporare una valvola riduttrice di pressione 20 per ridurre la pressione della corrente di soluzione concentrata in uscita dall'unità RO. Almeno una parte della corrente di salamoia di rifiuto 19 (ma preferibilmente tutta questa corrente) viene convogliata, tramite il condotto 27, all'anello di ricircolo della salamoia 21, per essere fatta rifluire, mediante una pompa di ricircolo 24, negli scompartimenti di elettrodo 6 attraverso un condotto di ammissione 22, o negli scompartimenti concentratori 9 attraverso il condotto di ammissione 23. Una parte della salamoia in ricircolo 21 può essere scaricata nel condotto 29 attraverso la valvola di spurgo 25. Alternativamente, o in aggiunta, almeno una parte della corrente di

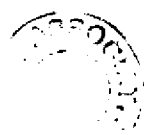
salamoia di rifiuto 19 viene convogliata, tramite il condotto 28, negli scompartimenti demineralizzatori 15 tramite il condotto di ammissione 3.

Le modalità di utilizzo prescelte della corrente di salamoia 19 dipendono dai dettagli del funzionamento del sistema. Per esempio, se la sorgente di acqua da trattare 1 contiene X ppm di TDS e la corrente di salamoia 19 ha una concentrazione sensibilmente superiore a X, è opportuno che la corrente 19 vada ad aggiungersi alla corrente 21. D'altro canto, se la corrente 19 presenta una concentrazione sensibilmente inferiore a X, può essere opportuno aggiungerla alla corrente 3.

Laddove qui e nelle rivendicazioni si parla di "osmosi inversa" o "RO", ci si intende riferire anche alle varianti iperfiltrazione (IF) e nanofiltrazione (NF).

Una parte importantissima della presente invenzione è costituita dallo sfruttamento della corrente di salamoia di rifiuto della osmosi inversa 19 come corrente di alimento per l'anello di ricircolo della corrente salina concentrata dell'elettrodialisi 21, al posto dello scarico diretto in fognatura tramite il condotto 26. Ne risulta un sistema di demineralizzazione più efficiente ed affidabile, caratterizzato da un rendimento aumentato in termini di produzione di acqua depurata.

Il sistema rappresentato in figura 2, una volta incorporato nel sistema il cui diagramma di flusso è illustrato in figura 1, produce dell'acqua ultrapura (oltre 17 megaohm/cm) partendo da una corrente leggermente salina come l'acqua di conduttura (v. esempi), ma può anche essere utilizzato, nella forma illustrata a grandi linee in figura 2, per trattare un'acqua salmastra o dell'acqua di mare in modo da ottenerne un'ac-



qua con tasso di salinità ridotto.

Il processo e il sistema oggetto dell'invenzione sono illustrati ancora meglio dai seguenti esempi in contrapposizione. L'esempio 1 illustra un sistema di trattamento delle acque in cui la corrente di salamoia di rifiuto dell'osmosi inversa viene scaricata in fognatura, come si fa normalmente con i metodi di vecchia concezione. L'esempio 2 illustra per conto il processo e il sistema migliorati in cui, conforme alla presente invenzione, la corrente di salamoia di rifiuto dell'osmosi inversa non viene persa, bensì conservata e fatta rifluire alla unità/batteria di elettrodialisi.

Esempio 1

L'acqua di conduttura da trattare si immette nel sistema di depurazione passando per una valvola di intercettazione e una valvola regolatrice di pressione. l'acqua presenta pH 8,1, temperatura 17,5°C e conducibilità elettrica 500 micro siemens/cm, tali valori corrispondono a circa 300 ppm di sali disciolti. L'acqua viene pressurizzata mediante una pompa e fatta affluire in una unità di ultrafiltrazione del tipo con avvolgimento a spirale incorporante delle membrane polisolfoniche aventi un livello di taglio di circa 50.000 dalton in termini di peso molecolare. Il permeato del sistema di ultrafiltrazione (UF), pari a circa 31,9 m³/h, fa da influente per una unità di elettrodialisi con inversione Aquamite X (prod. Ionics, Inc., Watertown, Massachusetts/USA) di questi, circa 28,4 m³/h affluiscono agli scompartimenti demineralizzatori (dissalatori) e, quanto al resto, 3,4 m³/h negli scompartimenti concentratori come reintegro di salamoia e 0,34 m³/h negli scompartimenti degli elettrodi. Il com-



plesso Aquamite X consta di tre batterie a membrana in serie, usa membrane scambiatrici di ioni misuranti 18" x 40" x 0,020" e ogni batteria consta di 500 coppie di scompartimenti demineralizzatori e concentratori. Sul totale di 27,2 m³/h di acqua depurata in uscita dall'unità EDR, 0,6 m³/h vengono scaricati in fognatura (o riversati nella salamoia e negli scompartimenti degli elettrodi) in quanto non in linea con la normativa. Quindi il rendimento netto dell'unità viene ad essere di 26,7 m³/h di prodotto per il successivo trattamento mediante RO. L'effluente dell'unità EDR presenta una conducibilità elettrica di circa 60 micro siemens/cm (corrispondente a circa 335 ppm di sali disciolti) e un'acidità aumentata (pH 5,5-5,8). L'effluente degli scompartimenti concentratori viene riciclato come corrente di alimento per gli stessi scompartimenti; contemporaneamente dall'anello di ricircolo della salamoia si fanno defluire 4,3 m³/h di salamoia, o soluzione concentrata, per lo scarico in fognatura. La stessa fine fanno anche 0,34 m³/h di effluente degli scompartimenti degli elettrodi. Durante il funzionamento elettrico dell'unità EDR parte dell'acqua (circa 0,9 m³/h) si trasferisce (come acqua di idratazione) attraverso le membrane insieme agli ioni dagli scompartimenti demineralizzatori a quelli concentratori. La corrente di prodotto acidificato demineralizzato che risulta dal trattamento EDR viene poi convogliata a pressione nell'unità di osmosi inversa, del tipo a fibre cave con membrane di triacetato di cellulosa. Le unità di osmosi inversa avevano membrane con pori di circa 0,0005 micron e sono state fornite dalla Dow Chemical Co. di Midland, Michigan/USA. Il permeato dell'unità RO corrisponde a circa 22,7 m³/h, con una conducibilità elettrica pari a circa



2,0 micro siemens/cm (circa 1 ppm di TDS) e una temperatura di 19,4°C. La corrente di rifiuto della RO (3,97 m³/h) presenta una conducibilità elettrica di circa 65 µS/cm e viene scaricata in fognatura. L'acqua risultante viene sottoposta a ulteriore trattamento con il passaggio attraverso due banchi di cilindri di scambio ionico in serie, ogni banco consta di otto cilindri con alimentazione in parallelo. Ciascun cilindro contiene 100 litri di resine di scambio ionico miste, e precisamente 60 litri di resine anioniche A 101D nella forma OH⁻ e 40 litri di resina cationica C 20 H nella forma H⁺. Tali resine sono fornite dalla Rohm & Haas Co. L'effluente totale (22,7 m³/h) del trattamento a scambio ionico ha un pH praticamente neutro e una resistenza finale di 17,8 megaohm/cm. Di preferenza viene sottoposto a radiazione ultravioletta per distruggere quasi tutti gli organismi viventi prima dello scarico e dell'uso finale da parte del cliente. L'impianto di trattamento UV è facilmente disponibile; un tipo che può essere fornito dalla Aquafine Corp. di Valencia, California/USA si dimostra senz'altro all'altezza di questa applicazione.

Tutto ciò per sommi capi. Come si vede, partendo da 31,9 m³/h di permeato UF si ottengono 22,7 m³/h di acqua depurata come prodotto finale, con un rendimento in acqua relativamente basso del 71,2%.

Esempio 2

In questo secondo esempio, si è sfruttato l'aspetto dell'invenzione consistente nell'utilizzare la corrente di salamoia di rifiuto della RO come corrente di alimento per gli scompartimenti concentratori e per gli scompartimenti degli elettrodi nelle unità EDR, ottenendo un sensibile miglioramento del rendimento in acqua (80,6%, con una riduzione di un

terzo della perdita per scarico diretto). Nella fattispecie, si è partiti da $28,1 \text{ m}^3/\text{h}$ di permeato UF come corrente di alimento per gli scomparti demineralizzatori. Il permeato UF non è stato immesso direttamente negli scomparti concentratori o negli scomparti degli elettrodi, come nel caso precedente. I $3,97 \text{ m}^3/\text{h}$ di soluzione di rifiuto a $65 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$ della RO, che nell'esempio 1 venivano scaricati in fognatura, vengono qui usati per $3,63 \text{ m}^3/\text{h}$ come corrente di alimento per l'anello di ricircolo della salamoia e per $0,34 \text{ m}^3/\text{h}$ come alimento per gli scompartimenti degli elettrodi. Il prodotto finale in uscita dall'unità RO risultava di $22,7 \text{ m}^3/\text{h}$, portata corrispondente a un ricupero di acqua dell'80,6% sui $28,1 \text{ m}^3/\text{h}$ di volume iniziale di acqua trattata.

Oppure, in alternativa, il rifiuto della RO viene alimentato negli scompartimenti demineralizzatori della batteria ED, in sostituzione di $3,47 \text{ m}^3$ di alimento. Il prodotto fuori tolleranza è stato accumulato e spurgato nell'anello di ricircolo salmoia/elettrodi in sostituzione di $0,57 \text{ m}^3/\text{h}$ di acqua di alimento. Il rendimento in acqua depurata è stato di circa l'81,4% e l'assorbimento di energia nelle batterie ED è risultato inferiore di circa il 3,5%.

In conclusione, il processo e l'impianto preferiti di cui alla presente invenzione si basano su una combinazione delle seguenti fasi di trattamento in serie:

(a) ultrafiltrazione o filtrazione cross-flow per il pretrattamento dell'acqua di alimento, allo scopo di renderla idonea ai trattamenti successivi; (b) elettrodialisi dell'acqua prefiltrata per ridurne notevolmente la salinità e aumentarne la acidità (per esempio da pH a pH 6,8) così da



prepararla alla fase RO; (c) osmosi inversa per ridurre ulteriormente la salinità utilizzando contemporaneamente la corrente di rifiuto della salamoia per rialimentarla alle unità ED, seguita preferibilmente dalle seguenti fasi di trattamento supplementari; (d) scambio ionico (preferibilmente con unità portatili) per far diminuire ancora di più il tasso di impurezze minerali; (e) trattamento di disinfezione all'ultravioletto o mediante ozono per distruggere i batteri.

Ciascuna per conto suo, le singole fasi di trattamento incluse nella presente invenzione (ultrafiltrazione/filtrazione cross-flow, elettrodialisi e osmosi inversa) sono note agli specialisti del ramo. Si è visto però che in seguito alla combinazione ED + RO (integrata dalla soluzione originale consistente nel riciclare come sopra descritto la corrente di soluzione concentrata in uscita dall'unità RO) si produce una sinergia, cioè i benefici del processo globale crescono in misura inaspettata e quindi il processo medesimo viene ad essere estremamente utile (specialmente come sistema di trattamento delle acque installato su unità mobili) quando si tratta di ottenere acqua dissalata e/o ultrapura senza dover aggiungere sostanze chimiche di fonte esterna all'acqua prima della fase di osmosi inversa; inoltre si risparmia preziosa acqua di alimento e si riduce il volume degli scarichi da smaltire.

La descrizione che precede vuole illustrare le forme rappresentative e preferenziali della presente invenzione. Nelle rivendicazioni brevettuali accluse, laddove i vari elementi del metodo e dell'impianto sono richiamati genericamente si deve intendere che tali richiami coprono gli elementi corrispondenti precedentemente descritti, con i relativi equi-

valenti. Resta inteso che le rivendicazioni coprono e definiscono l'invenzione sia genericamente che specificatamente, in quanto la descrizione ha carattere illustrativo e l'invenzione deve essere accordata all'intera portata delle rivendicazioni stesse.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di depurazione dell'acqua, caratterizzato dal fatto che impiega una unità di elettrodialisi in combinazione con una unità di osmosi inversa, detta unità di elettrodialisi prevedendo una o più coppie di scompartimenti demineralizzatori e concentratori delimitati da membrane permeabili rispettivamente agli anioni ed ai cationi, i quali scompartimenti sono disposti fra una coppia di scompartimenti di elettrodo, disposti a loro volta alle estremità, essendo inoltre previsto il passaggio di un'acqua di alimento negli scompartimenti demineralizzatori mentre una corrente elettrica continua viene applicata fra la suddetta coppia di elettrodi, così da ridurre il tasso salino della soluzione di alimento provocando il passaggio di sale dagli scompartimenti demineralizzatori agli scompartimenti concentratori, a cui è fatta seguire la separazione dall'unità di elettrodialisi dell'effluente parzialmente dissalato e il suo passaggio, sotto pressione, all'entrata di una unità a membrane che sfrutta il principio della osmosi inversa, da una uscita della quale si preleva un liquido permeato già notevolmente dissalato che è passato attraverso la membrana di osmosi inversa, mentre da un'altra uscita della stessa si ritira un liquido di rifiuto concentrato che non è passato attraverso la membrana di osmosi inversa e, quindi, almeno una parte di quest'ultimo liquido viene riciclato come corrente di alimento per l'uni-

valenti. Resta inteso che le rivendicazioni coprono e definiscono l'invenzione sia genericamente che specificatamente, in quanto la descrizione ha carattere illustrativo e l'invenzione deve essere accordata all'intera portata delle rivendicazioni stesse.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di depurazione dell'acqua, caratterizzato dal fatto che impiega una unità di elettrodialisi in combinazione con una unità di osmosi inversa, detta unità di elettrodialisi prevedendo una o più coppie di scompartimenti demineralizzatori e concentratori delimitati da membrane permeabili rispettivamente agli anioni ed ai cationi, i quali scompartimenti sono disposti fra una coppia di scompartimenti di elettrodo, disposti a loro volta alle estremità, essendo inoltre previsto il passaggio di un'acqua di alimento negli scompartimenti demineralizzatori mentre una corrente elettrica continua viene applicata fra la suddetta coppia di elettrodi, così da ridurre il tasso salino della soluzione di alimento provocando il passaggio di sale dagli scompartimenti demineralizzatori agli scompartimenti concentratori, a cui è fatta seguire la separazione dall'unità di elettrodialisi dell'effluente parzialmente dissalato e il suo passaggio, sotto pressione, all'entrata di una unità a membrane che sfrutta il principio della osmosi inversa, da una uscita della quale si preleva un liquido permeato già notevolmente dissalato che è passato attraverso la membrana di osmosi inversa, mentre da un'altra uscita della stessa si ritira un liquido di rifiuto concentrato che non è passato attraverso la membrana di osmosi inversa e, quindi, almeno una parte di quest'ultimo liquido viene riciclato come corrente di alimento per l'uni-



tà di elettrodialisi predetta.

2. Procedimento di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il liquido di rifiuto salino viene riciclato continuamente in un sistema ad anello comprendente gli scompartimenti concentratori dell'unità di elettrodialisi, con il contemporaneo prelievo o spurgo dall'unità di elettrodialisi di una parte di detta salamoia ricircolante.

3. Procedimento di cui alla rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che la salamoia ricircolante in questione viene convogliata come influente ad almeno uno degli scompartimenti degli elettrodi.

4. Procedimento di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'acqua viene sottoposta a ultrafiltrazione o filtrazione cross-flow prima di passare alla fase di elettrodialisi.

5. Procedimento di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il trattamento di elettrodialisi avviene in condizioni praticamente polarizzanti allo scopo di acidificare il prodotto parzialmente dissalato in uscita dagli scompartimenti demineralizzatori dell'unità di elettrodialisi.

6. Procedimento di cui alla rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che il prodotto parzialmente dissalato viene acidificato mediante elettrodialisi fino a un pH compreso fra circa 4 e circa 6,8.

7. Procedimento di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che successivamente alla fase di osmosi inversa il permeato viene sottoposto a ulteriore trattamento mediante scambio ionico per separarne tutti o quasi tutti gli ioni residui in soluzione.

8. Procedimento di cui alla rivendicazione 7, caratterizzato dal

fatto che l'acqua prodotta mediante il trattamento a scambio ionico viene sottoposta a sterilizzazione esponendola a ozono in concentrazione adeguata o a raggi ultravioletti di adeguata intensità allo scopo di distruggerne i contaminanti biologici.

9. Procedimento di cui alla rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che l'acqua prodotta mediante il trattamento a scambio ionico viene sottoposta a trattamento di ultradepurazione finale allo scopo di ottenere come prodotto un'acqua avente una resistenza elettrica superiore a circa 17 megaohm/cm alla temperatura di 25°C.

10. Procedimento di cui alle rivendicazioni da 1 a 9, caratterizzato dal fatto che è realizzato entro un contenitore trasportabile.

11. Procedimento di cui alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la polarità della corrente continua viene invertita a intervalli regolari, con la contemporanea commutazione della circolazione di soluzioni in direzione degli scompartimenti demineralizzatori e degli scompartimenti concentratori.

12. Impianto per la separazione dei sali disciolti da una soluzione acquosa, caratterizzato dal fatto che il complesso comprende una unità di elettrodialisi a più scompartimenti in combinazione con una unità a osmosi inversa, detta unità di elettrodialisi comprendendo una molteplicità di scompartimenti, di cui i due terminali sono gli scompartimenti degli elettrodi, tra detti scompartimenti degli elettrodi essendo disposti alternativamente degli scompartimenti demineralizzatori e degli scompartimenti concentratori, delimitati, del pari alternativamente, da membrane permeabili ai cationi e membrane permeabili agli anioni, essendo inoltre

previsti dei dispositivi di immissione per l'ammissione della soluzione influente negli scompartimenti demineralizzatori, concentratori e degli elettrodi, e dei dispositivi di emissione per il prelievo di una soluzione affluente dagli stessi scompartimenti, nonchè dei dispositivi per il passaggio di una corrente continua attraverso le membrane e gli scompartimenti suddetti, e dei dispositivi per la pressurizzazione di almeno una parte della soluzione in uscita dagli scompartimenti demineralizzatori, detta unità di osmosi inversa disponendo di dispositivi di ammissione per ricevere l'effluente così pressurizzato degli scompartimenti di demineralizzazione suddetti, dei dispositivi di emissione per il prelievo del permeato della membrana di osmosi inversa e dei dispositivi di emissione per la separazione della corrente di rifiuto pressurizzata, ed ulteriori dispositivi per il riciclaggio di almeno una parte di tale corrente di rifiuto come parte della corrente di alimento di detta unità di elettrodialisi.

13. Impianto di cui alla rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che sono previsti dei dispositivi per convogliare almeno una parte della corrente di rifiuto agli scompartimenti degli elettrodi nell'unità di elettrodialisi, come influente di alimento.

14. Impianto di cui alla rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che sono previsti dei dispositivi per ricircolare la soluzione attraverso gli scompartimenti concentratori, nonchè dispositivi per il prelievo di una parte della soluzione stessa per lo scarico in fognatura.

15. Impianto di cui alla rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che detta soluzione acquosa viene sottoposta a trattamento con dispositi-

vi di ultrafiltrazione disposti a monte della unità di elettrodialisi.

16. Impianto di cui alla rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che sono previsti dei dispositivi atti a far funzionare l'unità di elettrodialisi in condizioni praticamente polarizzanti.

17. Impianto di cui alla rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che a valle dell'unità di osmosi inversa, e in serie con i relativi dispositivi di emissione per il prelievo del permeato, è installato un sistema di scambio ionico a letto misto.

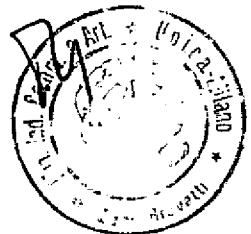
18. Impianto di cui alla rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che dopo l'unità di osmosi inversa e in serie con i relativi dispositivi di emissione per il prelievo del permeato è installato un sistema di sterilizzazione.

19. Impianto di cui alla rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che lo stesso è disposto in un contenitore trasportabile.

20. Impianto di cui alla rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che sono previsti dei dispositivi atti a invertire la polarità della corrente continua a intervalli regolari.

Il Mandatario:

- Dr. Ing. Guido MODIANO -



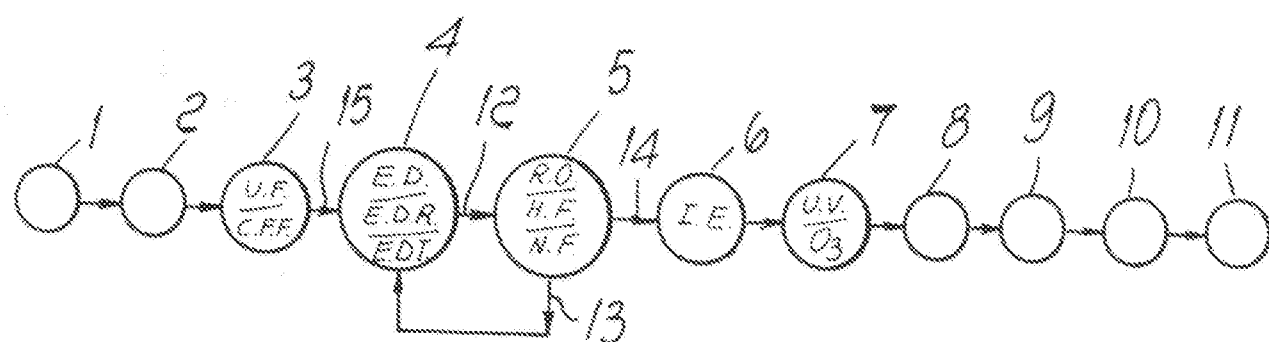


Fig. 1

219 20 A/90

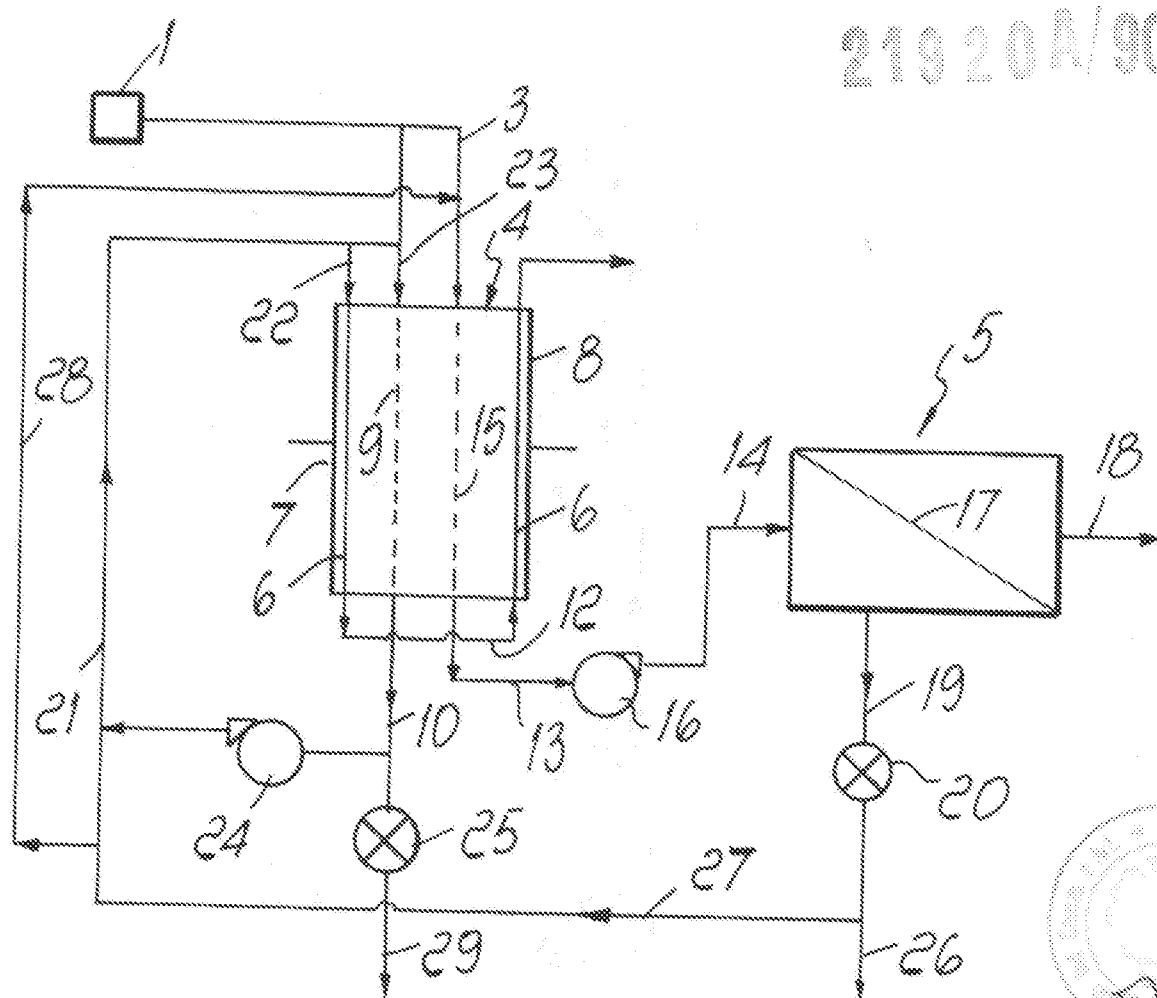


Fig. 2