

# TRATTAMENTI delle ACQUE -ACQUE GREZZE- 1° PARTE:

appunti e schemi - versione#B2 – Prof.A.Tonini – [www.andytonini.com](http://www.andytonini.com)

**INDICE:** [REQUISITI](#) – [DUREZZA](#) – [DEMINEALIZZAZIONE](#) – [APPENDICI](#) – [ESERCIZI](#) – [SCHEMI IMPIANTI](#)

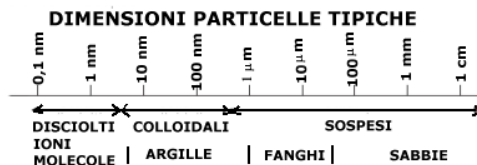
## GENERALITA':

### ■ CLASSIFICAZIONE DELLE ACQUE:

- acque di primo impiego (= a.grezze)
- acque reflue (= a.usate → alla **depurazione acque**)





| SOSTANZE PRESENTI NELLE ACQUE:   | EFFETTI DELLA LORO PRESENZA:   |
|--|--|
| sost. <b>biologiche</b> : batteri alghe funghi protozoi virus acidi umici..  | inquinamento tossicità setticità   |
| sostanze <b>sospese</b> (>0,1µm): argille silice sabbia detriti grassi oli<br>sostanze <b>disperse</b> : colloidali (0,1 ÷ 0,001 µm)   | intorbidimento, possibile sedimentazione e intasamento   |
| sostanze <b>disciolte</b> :<br><b>sali</b> inorganici – sostanze organiche;<br><b>gas</b> disciolti: O <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S CH <sub>4</sub> SO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> NOx... | inquinamento, possibili precipitazioni<br>ambiente corrosivo [a T=20°C O <sub>2</sub> = 9,17ppm]   |
| ioni alcalini Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> ...   | idrolisi, corrosione   |
| ioni Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ...   | durezza, incrostazioni   |
| ioni NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ioni PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ...<br>abbondanza di nitrati/fosfati  | inquinamento biologico, eutrofizzazione;<br><b>EUTROFIZZAZIONE</b> : causano la proliferazione di alghe a breve vita che determinano una maggiore attività batterica, muoiono, e aumenta così il consumo globale di ossigeno che provoca la morte dei pesci e fenomeni putrefattivi. [P >20 mg/m3] |
| <b>indici</b> analitici particolari: <b>BOD</b> (domanda di ossidazione bio.), <b>COD</b> (domanda di ossidazione chim.), TOC (carbonio org. tot.)   | possibile <b>inquinamento</b> organico – inorganico – batterico [vedi documento depurazione - acque3]  |



## ■ REQUISITI DI ACQUE DI PRIMO IMPIEGO secondo gli usi:

[\[INIZIO\]](#)

| TIPO DI ACQUE   | REQUISITI:   |
|---|--|
| <br><b>ACQUE PER USO POTABILE</b> | <b>batteriologicamente</b> pure (indice=assenza di coliformi,streptococchi,clostridi..) – proprietà <b>organolettiche</b> : limpide – inodori – insapori – incolori – bassa salinità (0,5 – 1 g/l) – bassa durezza (15° – 35°F) – pH 6,5 ÷ 8,5 – T=12°C. – <b>esente</b> da: NH <sub>3</sub> , nitriti NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <50ppm, fosfati H <sub>2</sub> S; [vedi <b>appendice</b> ] – esente da <b>tossici</b> : sost. organiche,solventi, pesticidi DDT atrazina...; sost. inorganiche: limiti severi per Metalli pesanti ( Pb Hg As Cr Cd Zn Sb Ni...) – esente da sospensioni ;   |
| <br><b>ACQUE INDUSTRIALI</b>      | DI <b>PROCESSO</b> (SOLVENTE)<br>DI <b>LAVAGGIO</b><br>DI <b>RAFFREDDAMENTO</b><br>PER <b>CALDAIA</b> :<br>PRODUZIONE <b>VAPORE ED ENERGIA</b><br>[requisiti più stretti]  |
|   | esenti da anioni e/o cationi nocivi a particolari processi e lavorazioni, aggressive per manufatti e recipienti;<br>limiti a sostanze <b>incrostanti</b> (Ca Mg Sali- Bicarbonati...)→intasamento;<br>limiti a sostanze <b>corrosive</b> (gas disciolti, Sali...)→corrosione;<br>assenza di sostanze biologicamente attive (vegetazione, muffe, spore...)<br>● <b>assenza SOSTANZE INCROSTANTI</b> : sali di Ca Mg bicarbonati cloruri: a caldo precipitano ↓ , sali di Fe, Silice.<br><b>INCONVENIENTI</b> : →le incrostazioni diminuiscono il rendimento termico (strati di incrostazioni=resistenza), danno problemi di sicurezza (scoppi per tubi intasati) e costi di manutenzione (pulizia).<br>● <b>assenza SOSTANZE CORROSIVE</b> : gas(→corrosione acida ossidazione fragilità caustica), sali alcalini di Na K, cloruri (→idrolisi acida basica);<br><b>INCONVENIENTI</b> : → distruzione progressiva dei manufatti.<br>Es.: corrosione caustica: OH <sup>-</sup> +Fe+H <sub>2</sub> O→H <sub>2</sub> +FeO <sub>2</sub> <sup>-</sup> →Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ↓ + OH <sup>-</sup><br>Es.: fragilità caustica: CO <sub>2</sub> +Fe+O <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O →Fe(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> solubile |

## ■ **INDICE DEI TRATTAMENTI**: rimozione delle sostanze indesiderabili e raggiungimento dei requisiti:

| 1°PARTE - ACQUE GREZZE                                      | 2°PARTE - ACQUE GREZZE                                       | 3°PARTE: APPLICAZIONI                                   | 4°PARTE: ACQUE REFLUE    |
|---|--|---|--------------------------|
| TRATTAMENTO DELLA DUREZZA<br>ADDOLCIMENTO DEMINEALIZZAZIONE | CHIARIFLOCCULAZIONE -<br>STERILIZZAZIONE - ALTRI TRATTAMENTI | IMPIANTI DI POTABILIZZAZIONE<br>DEMINEALIZZAZIONE ALTRI | DEPURAZIONE ACQUE REFLUE |

■ **1° PARTE – TRATTAMENTI ACQUE GREZZE**

**1. TRATTAMENTO DELLA DUREZZA: ADDOLCIMENTO**

acqua + terreno [+CO<sub>2</sub>] → solubilizzazione ioni, tra cui Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup> (HCO<sub>3</sub>)<sup>-</sup> ....

**DUREZZA:** dovuta alla presenza di sali di **Ca** e **Mg**; il trattamento di eliminazione della durezza viene chiamato addolcimento e si può effettuare con vari metodi; [vedi **schemi**].

**INCONVENIENTI** da durezza: **incrostazioni** [ostruzioni di tubi; scoppi caldaie e scambiatori; consumo detergenti...]; reazioni con sostanze presenti → **colorazioni**; **corrosioni** di manufatti;

► **MISURA:** mg/dm<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub> equivalente a ioni Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup> o °F (gradi francesi: 1°F=10mg/l CaCO<sub>3</sub>);

**TIPI DI DUREZZA:** - [vedi esercizi in **appendice**]

- **durezza temporanea:** esprime il quantitativo di **idrogenocarbonati** di **Ca** e **Mg**, che dopo l'ebollizione [riscaldamento] precipitano come CaCO<sub>3</sub>: Ca<sup>2+</sup>(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> → CaCO<sub>3</sub>↓ + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O;
- **durezza permanente:** esprime la quantità degli **altri sali di Ca e Mg**, nitrati, cloruri, solfati, ecc., rimasti in soluzione dopo eventuale ebollizione prolungata.
- **durezza totale:** la somma delle precedenti.

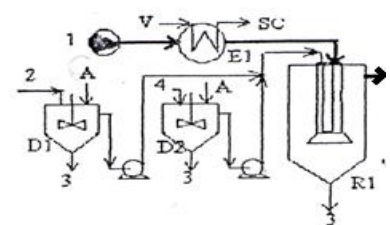
classificate in base alla loro durezza

- fino a 7 °f: molto dolci
- da 7 °f a 14 °f: dolci
- da 14 °f a 32 °f: discretamente dure
- da 32 °f a 54 °f: molto dure

1°F = 10 mg/l CaCO<sub>3</sub>



EFFETTI DI ACQUE DURE



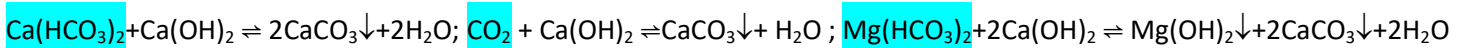
**METODI DI ADDOLCIMENTO:** •CALCE •CALCE\_SODA •FOSFATO •SCAMBIO IONICO

**1.1. METODO CALCE-SODA** – precipitazione chimica -

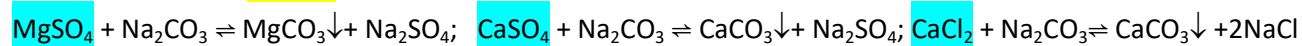
La calce e/o la soda vengono miscelati e entrano a contatto con l'acqua da trattare in un reattore a forma cilindrica con fondo tronco-conico; nell'estremità inferiore escono i fanghi.

L'acqua che esce ha circa 2÷3 °F residui. L'acqua, prima di entrare nel reattore, viene fatta passare attraverso uno scambiatore di calore, che la porta a 60°C, abbassando la viscosità, facilitando la separazione (schema).

► **REATTIVO soluz. Ca(OH)<sub>2</sub>** : elimina solo la durezza **temporanea**; trattamento iniziale, prima della Soda, per abbassarne la quantità di uso; esempi di reazioni:



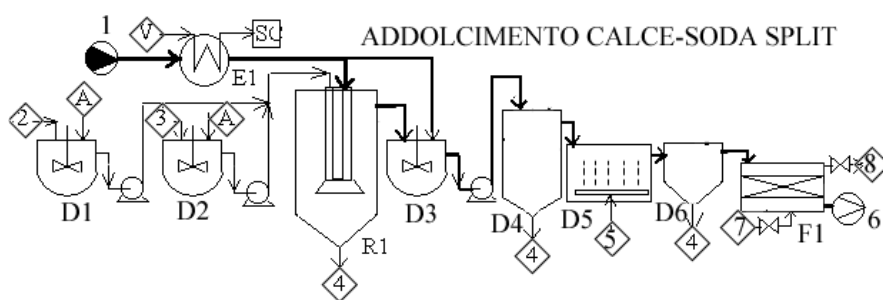
► **REATTIVO soluz. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** : elimina la durezza **anche permanente**.



N.B.: gli scarichi in uscita sono fortemente **alcalini** (pH≅10), per presenza sali di Na e eccesso di idrossido di Ca usato per precipitare il Mg, con rischi di fragilità caustica, e intasamento filtri di uscita per gli alti tempi di precipitazione dei fiocchi di Mg(OH)<sub>2</sub>. Si inserisce allora uno stadio di **RICARBONATAZIONE** con CO<sub>2</sub> fino a raggiungere un pH leggermente alcalino.

Per risparmiare reattivi si opera con **due** stadi, suddividendo l'alimentazione nella prima fase trattamento (80%alim.), e mandando ancora bicarbonati e CO<sub>2</sub> nella seconda (20%alim.), limitando la CO<sub>2</sub> aggiunta = **PROCESSO SPLIT** –

**SCHEMA DEL PROCESSO DI ADDOLCIMENTO CALCE-SODA SPLIT**



**APPARECCHIATURE:**

- D1,2,3 MISCELATORI
- R1 PRECIPITATORE
- E1 PRERISCALDATORE
- D4 SEDIMENTATORE
- D5 CARBONATATORE
- D6 SEDIMENTATORE
- F1 FILTRO A SABBIA

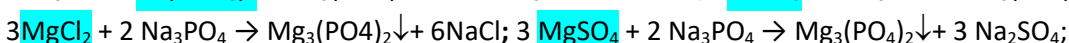
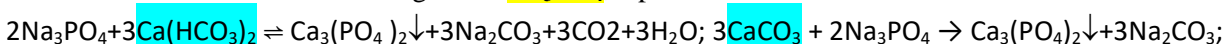
by Prof.A.Tonini

**MATERIALI:**

- 1 ACQUA GREZZA
- 2 Ca IDROSSIDO
- A ACQUA DEMINER.
- 3 Na CARBONATO
- 4 FANGHI
- 5 ANIDR.CARBONICA
- 6 ACQUA ADDOLCITA
- 7 ACQUA DI LAVAGGIO
- 8 FANGHI DI LAVAGGIO FILTRO

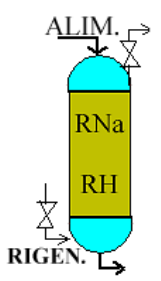
**1.2. METODO AL FOSFATO TRISODICO**

Metodo spesso usato dopo quello calce-soda, come finissaggio [elimina durezza residua], per abbassare la durezza in modo più efficace, e regolare il pH; i fosfati di calcio e magnesio sono poco solubili in acqua e pulverulenti, quindi facilmente separabili; similm. silicati e sali Fe. Come reagente il **Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**, è più costoso.



**1.3. RESINE SCAMBIATRICI DI IONI PER ADDOLCIMENTO**

E' il metodo più economico quando un'acqua ha una **bassa** concentrazione di ioni disciolti, e bassa **portata**; altrimenti si opera prima un trattamento iniziale a calce-soda. Le resine sono sostanze in grado di **scambiare** i loro ioni con quelli presenti nell'acqua. Sono usate come base resine di origine naturale o artificiale, zeoliti e permutiti, e sintetiche (polimeri polistirolici con gruppi attivi scambiatori di ioni) contenenti gruppi con ioni scambiabili. Le resine sono in forma granulare ed hanno un'elevata porosità; **agiscono** per scambio ionico reversibile; le resine con il tempo perdono la loro capacità e quando sono sature [**esaurimento**] si **rigenerano** con soluzioni opportune ripristinando il loro ione H<sup>+</sup> o Na<sup>+</sup> (o OH<sup>-</sup> quelle anioniche) e cedendo lo ione assorbito. Il trattamento con le resine deve essere preceduto da uno stadio di filtrazione.



**FATTORI** di processo:

– **tempo** di contatto opportuno acqua/resina [ $t = F_{VOL}/Vol$ ] – **temperatura** – **pH** dell'acqua trattata, in relazione alle resine impiegate – limiti di  **saturazione** e esigenza di rigenerazione (sono reazioni di scambio ionico in equilibrio).

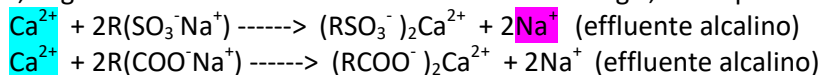
→ **Regola dell’AFFINITÀ** (p.es.: resine acide **RH**): nella scala seguente ogni **catione** legato alla resina può essere **sostituito** da quelli che lo **precedono**, a destra:  $Fe^{3+} > Al^{3+} > \dots > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ \dots \rightarrow \dots > Na^+ \gg H^+ > Li^+$

● **CICLI** di trattamento: 1)CONTATTO COL LIQ.; 2)CONTROLAVAGGIO (eliminazione solidi trascinati); 3)RIGENERAZIONE delle resine; 4)LAVAGGIO (eliminazione eccesso soluz. rigenerante); quindi nuova fase 1-

**TIPI** di **RESINE** per **ADDOLCIMENTO**:

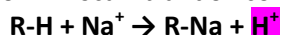
► **PERMUTITI SODICHE PNa (silicoalluminati di Na - zeoliti)**: scambiano ioni  $Na^+$  con ioni  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  - sono rigenerate con soluzioni concentrate  $Na(OH)$ :  
 $P Na^+ + Ca^{2+} \rightarrow P Ca^{2+} + Na^+$  (effluente alcalino)

► **RESINE SODICHE RNa sintetiche**: sono **copolimeri** stirene-divinilbenzene con gruppi ionici scambiatori  $Na^+$  come solfonici  $SO_3^- Na^+$  oppure  $COO^- Na^+$ , in grado di cedere ioni  $Na^+$  e bloccare ioni  $Ca^{2+}$   $Mg^{2+}$ ; usate per addolcimento:

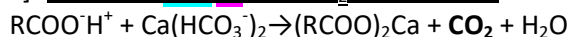
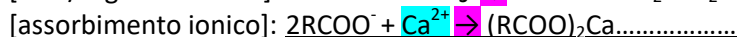
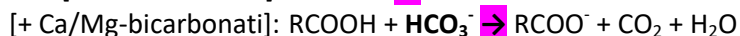


► **RESINE CATIONICHE-ACIDE R H<sup>+</sup>**; scambiano cationi; sono copolimeri stirene-divinilbenzene con gruppi ionici scambiatori, in grado di cedere ioni  $H^+$  per acquistare  $Me^{X+}$ ; nell'addolcimento sono catturati  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Sono rigenerate con soluzioni concentrate di **HCl**.

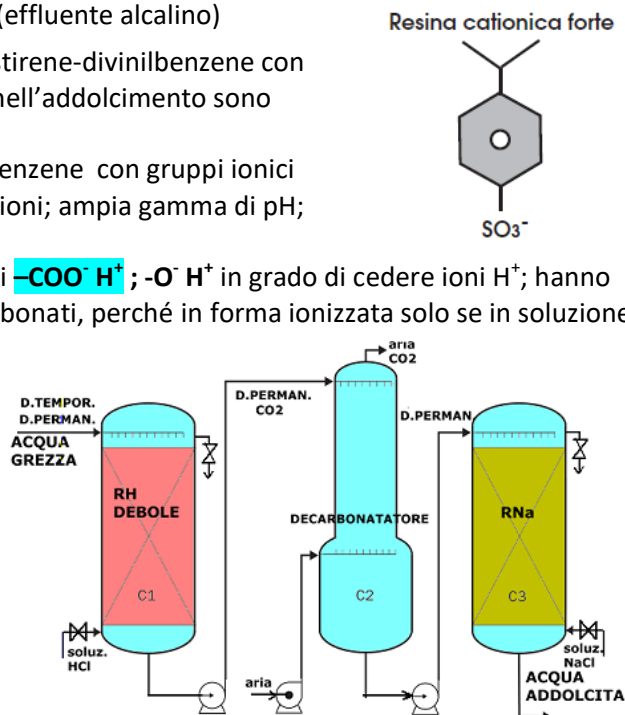
- tipo **RH ACIDA FORTE**: fortemente ionizzata, copolimeri stirene-divinilbenzene con gruppi ionici solfonici  $-(SO_3^-) H^+$  in grado di cedere ioni  $H^+$  scambiandoli con **tutti** i cationi; ampia gamma di pH;



- tipo **RH ACIDA DEBOLE**: struttura a polimeri metacrilici con gruppi ionici  $-COO^- H^+$ ;  $-O^- H^+$  in grado di cedere ioni  $H^+$ ; hanno basso grado di dissociazione; scambiano ioni  $H^+$  con i cationi legati a bicarbonati, perché in forma ionizzata solo se in soluzione sono presenti ioni  $HCO_3^-$ :



N.B.: questi processi sono in grado di rimuovere quasi completamente la durezza, ma usando resine RNa si liberano ioni  $Na^+$  e si rischia il fenomeno della fragilità caustica nei manufatti. Per evitare questo si addolcisce l'acqua con l'impianto che fa uso di una resina RH acida debole ed una RNa a scambio sodico, poste in **parallelo**, e mescolando gli effluenti; oppure **in serie** con **RH debole + decarbonatazione + RNa**, specie in presenza di acque bicarbonatiche.



[N.B.: per il calcolo della **DUREZZA** vedi esercizi in **appendice** – vedi corso **Analisi Chimiche**]

## 2. TRATTAMENTI DI **DEMINERALIZZAZIONE**:

[INIZIO]

= **ELIMINAZIONE** di **tutti** i **CATIONI** ed **ANIONI**- **metodi**: ●con **RESINE** ●**OSMOSI INVERSA**

●**ELETTRODIALISI** ●**EVAPORAZIONE MULTIFLASH** -

### 2.1. **METODO CON RESINE SCAMBIATRICI DI IONI**

► Le resine **CATIONICHE-ACIDE RH** sintetiche, descritte in precedenza, sono copolimeri stirene-divinilbenzene con aggiunta di gruppi scambiatori di ioni, solfonici  $(SO_3^-) H^+$  [**forti**], polimeri metacrilici con  $-COO^- H^+$ ;  $-O^- H^+$  [**deboli**].

► **RESINE ANIONICHE-BASICHE ROH** si ottengono per inserimento sulla macromolecola di gruppi a carattere basico: gruppi **ammonio IV°** per le resine forti e gruppi **amminici** per quelle deboli.

- tipo **ROH ANIONICHE DEBOLI**, sono portatrici di gruppi basici deboli, copolimeri dello stirene con gruppi **amminici**:  $-NH_2$ ;  $-NHR$ ;  $-NR_2$ ;  $Ar-R_2N^+$ ;  $R-NH_3(OH)$ ; con un grado di ionizzazione dipendente dal pH, (in range di pH ristretti), aumentano la loro capacità di scambio in ambiente acido, riescono a scambiare gli anioni forti, non quelli deboli  $HCO_3^-$  e  $SiO_3^{2-}$ .



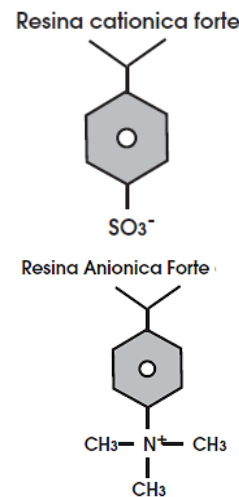
- tipo **ROH ANIONICHE FORTI**: sono del tipo sali **idrati di ammonio IV°**, anche in forma cloruro, e vengono fortemente ionizzate grazie a gruppi basici forti quali l'anione  $(OH^-)$ : es R.basiche forti

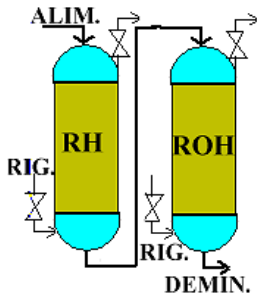
**$R-N^+(CH_3)_3OH$** ; sono utilizzate in ampio range di pH; possono scambiare anioni forti e deboli (bicarbonati, silicati,...).



→Le resine anioniche si rigenerano con soluzioni concentrate di **NaOH**.

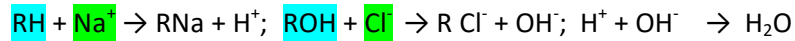
→**Regola dell’AFFINITÀ** (resine basiche **ROH**): nella scala seguente ogni **anione** legato alla resina può essere sostituito da quelli che lo **precedono**, a destra:  $SO_4^{2-} > NO_3^- > \dots > PO_4^{3-} > I^- > Cl^- > HCO_3^- > F^- > \dots \rightarrow \dots > OH^-$





ESEMPIO TRATTAMENTO SEMPLIFICATO:

acqua contenente  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$  trattata con resine RH e ROH:



N.B.: →le resine sono un trattamento ottimale quando il contenuto di solidi disciolti non supera i **350 ppm**.

ESEMPI DI REAZIONI CON RESINE:

| RESINE                          | DEMINERALIZZAZIONE  | ADDOLCIMENTO   |
|---------------------------------|---|--|
| <b>RH</b><br>cationiche deboli: | $\text{R-COOH} + \text{Na}^+ \leftrightarrow \text{R-COONa} + \text{H}^+$<br>$\text{ReCOO}^-\text{H}^+ + \text{Ca}^{2+}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow (\text{ReCOO})_2\text{Ca} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $2\text{R-COONa} + \text{Ca}^{2+} \leftrightarrow (\text{RCOO})_2\text{Ca} + 2\text{Na}^+$           |
| <b>RH</b><br>cationiche forti:  | $\text{R-SO}_3\text{H} + \text{Na}^+ \leftrightarrow \text{R-SO}_3\text{Na} + \text{H}^+$   | $2\text{R-SO}_3\text{Na} + \text{Ca}^{2+} \leftrightarrow (\text{R-SO}_3)_2\text{Ca} + 2\text{Na}^+$ |
| <b>ROH</b><br>anioniche deboli: | $\text{RNH}_3\text{OH} + \text{Cl}^- \leftrightarrow \text{RNH}_3\text{Cl} + \text{OH}^-$ ; $2\text{RNH}_3\text{Cl} + \text{SO}_4^{2-} \leftrightarrow (\text{RNH}_3)_2\text{SO}_4 + 2\text{Cl}^-$                |  |
| <b>ROH</b><br>anioniche forti:  | $\text{RR}_3'\text{N}^+\text{OH}^- + \text{Cl}^- \leftrightarrow \text{RR}_3'\text{NCl} + \text{OH}^-$  |  |

SCHEMA IMPIANTO DI **DEMINERALIZZAZIONE** costituito da 5 colonne:

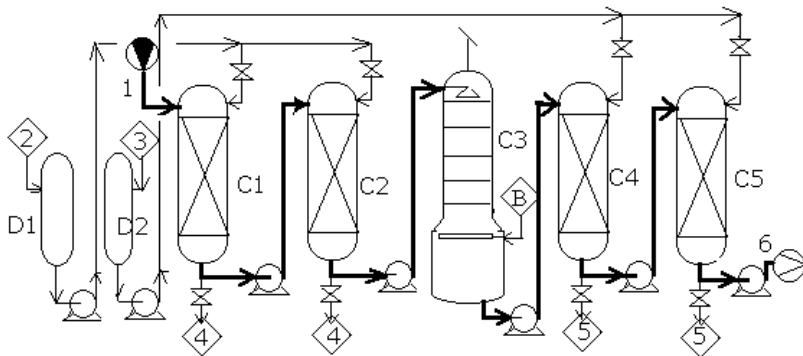
C<sub>1</sub> **RH resina acida debole**: elimina i cationi equivalenti a bicarbonato; es.:  $\text{Ca}^{2+}(\text{HCO}_3)^-$

C<sub>2</sub> **RH resina acida forte**: elimina tutti gli altri cationi, deboli e forti; es.:  $\text{Na}^+$

C<sub>3</sub> **torre di decarbonatazione**: elimina per strippaggio (degasazione) con aria la  $\text{CO}_2$  che si forma in precedenza, e quando si trattano acque fortemente bicarbonatiche con resine cationiche:  $\text{RH} + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{RCa} + [\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}]$

C<sub>4</sub> **ROH resina basica debole**: elimina tutti gli anioni forti; es.:  $\text{Cl}^-$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$ ,...

C<sub>5</sub> **ROH resina basica forte**: elimina tutti gli anioni deboli e forti compreso i silicati; es.:  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SiO}_3^{2-}$ .



APPARECCHIATURE:

- D1 SERBATOIO SOLUZ. ACIDA RIGENERANTE
- D2 SERBATOIO SOLUZ. BASICA RIGENERANTE
- C1 RESINA ACIDA DEBOLE
- C2 RESINA ACIDA FORTE
- C3 COLONNA DI DECARBONATAZIONE
- C4 RESINA BASICA DEBOLE
- C5 RESINA BASICA FORTE

by Prof.A.Tonini

MATERIALI:

- 1 ACQUA GREZZA (O ADDOLCITA)
- 2 SOLUZ.AC.CLORIDRICO
- 3 SOLUZ. SODA CAUSTICA
- 4 USCITA ACQUE ACIDE DI RIGENERAZIONE
- 5 USCITA ACQUE BASICHE DI RIGENERAZIONE
- B ARIA IN PRESSIONE
- 6 ACQUA DEMINERALIZZATA

## ALTRI TRATTAMENTI DI DEMINERALIZZAZIONE:

### 2.2. OSMOSI INVERSA

**OSMOSI**: [vedi anche docum. diagrammi di fase e proprietà colligative-4 chimica]

fenomeni di *diffusione del soluto tra solvente*  $\leftrightarrow$  *soluzione*, con soluzione e solvente separati da una membrana che è **permeabile** alle particelle del solvente, e a quelle del soluto: dopo un certo tempo si raggiunge l'equilibrio nei due ambienti;

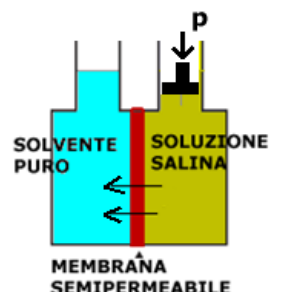
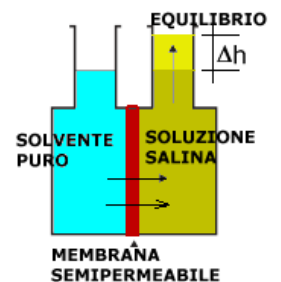
se la membrana è **semipermeabile**, permette solo il passaggio di **solvente**, non di soluto [le particelle del soluto tendono ancora ad occupare il massimo volume possibile, ma non possono più diffondere dalla soluzione concentrata al solvente]: si ha flusso di solvente verso la soluzione, e nei 2 ambienti si instaura una differenza di pressione:

$$\text{dislivello } \Delta h = \Pi / \gamma; \quad \text{press.osmotica } \Pi = \gamma \cdot \Delta h; \quad [\Pi = Pa; \gamma = \text{N/m}^3];$$

[l'osmosi è proprietà colligativa= dipende da n°particelle soluto, aumenta con la sua concentrazione].

#### OSMOSI INVERSA:

se applichiamo una pressione **p** superiore di quella osmotica, l'acqua tenderà a passare da soluzione concentrata a quella meno concentrata. Le membrane usate sono a base di poliammidi aromatiche. Siccome dopo un certo tempo le membrane perdono la loro capacità, a questo trattamento si fa precedere uno stadio di filtrazione e uno di clorazione.



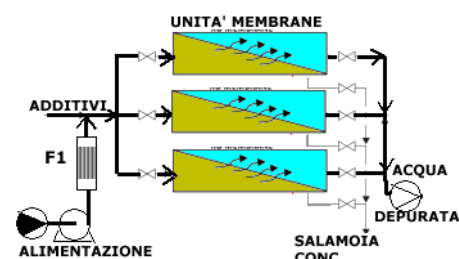


**TECNOLOGIA DI IMPIEGO:** si usa per acque con una salinità elevata (da 500 a 50000 ppm). Si ottengono efficienze del 95 % nella rimozione di solidi disciolti, e quasi del 100 % nella rimozione di batteri, virus ecc.; necessaria resistenza meccanica ( $p \gg$ ), chimica, campo di pH ottimale; previa filtrazione per rimozione solidi sospesi; previa sterilizzazione per eliminazione carica batterica.

**membrane semipermeabili:** naturali, come ad esempio le pareti delle cellule viventi vegetali e animali; artificiali, p.es. porcellana porosa nei cui pori è stata provocata la precipitazione di rame esacianoferrato(III); sintetiche: CA-cellulosa acetato; PA-poliammide; PSU-polisulfone.

**apparecchiature:** - a fibre capillari; - a film avvolte a spirale; - a tubi ceramica [vedi apparecchiature in [appendice](#)]

**manutenzione:** depurazione (elim.solidi sospesi – aggiunta agenti antideposizione); sterilizzazione; eventuale sostituzione;



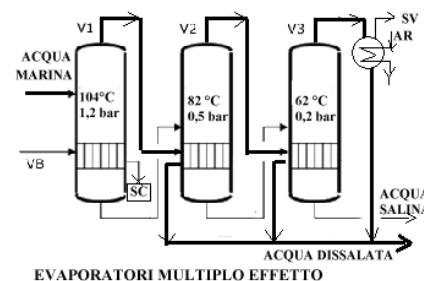
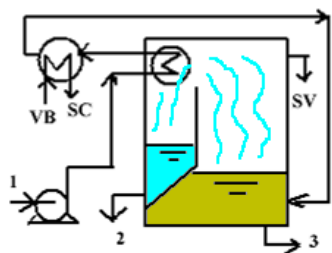
### 2.3. Evaporazione MULTIPLO EFFETTO-MULTIFLASH

In grandi stabilimenti dove si ha una grande disponibilità di vapore, il trattamento migliore è quello di evaporare l'acqua salina (marina).

Uno dei sistemi utilizzati è quello della **EVAPORAZIONE A MULTIPLO EFFETTO**, che consiste in un numero di uno-tre evaporatori posti in serie. Nel primo l'acqua viene portata all'ebollizione utilizzando vapore ad alta pressione, il vapore prodotto cede il calore di condensazione nell'evaporatore successivo, che viene alimentato con la

soluzione uscente dal primo. La minore pressione di esercizio consente una ulteriore evaporazione. Il processo si ripete e consente di ottenere acqua ad elevata purezza.

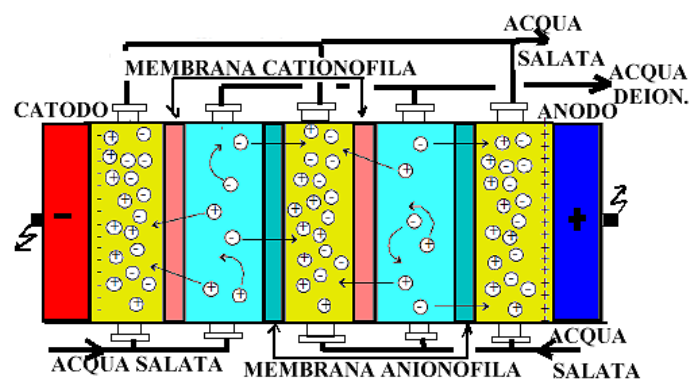
Un sistema più economico è l'**EVAPORAZIONE MULTIFLASH**: la soluzione (1), preriscaldata nel condensatore, quindi riscaldata in pressione, passa in una camera posta a bassa pressione, cosa che provoca la vaporizzazione di parti di liquido, che condensate vengono raccolte e costituiscono l'acqua demineralizzata (2); la soluzione concentrata (3) passa ad eventuale altra camera, processo a stadi, a pressione inferiore per ulteriore evaporazione.



### 2.4. ELETTRODIALISI

Trova applicazione nella rimozione di solidi in acque mediamente salmastre (sino a 5000 ppm). L'acqua da trattare attraversa una serie di celle provviste di elettrodi a cui è applicata una differenza di potenziale. Gli ioni con una certa carica migreranno verso l'elettrodo di carica opposta. La cella è ripartita in settori delimitati da membrane ionoselettive (PTFE cationofile e anionofile) che consentono il passaggio agli ioni positivi o a quelli negativi. Gli ioni negativi migreranno verso l'elettrodo positivo o negativo attraversando una membrana, la stessa cosa accadrà per gli ioni positivi. Alla fine verranno a crearsi delle zone prive di ioni (acqua deionizzata).

[INIZIO]



## APPENDICI

### A1 – presenza di nitrati-nitriti nelle acque:

la presenza di ammoniaca, nitriti e nitrati (possono essere anche di origine minerale, da attività zootecniche o da concimi sintetici) è indice di inquinamento batterico [decomposizione batterica], in quanto le acque sono venute a contatto con materiale organico in putrefazione: i nitriti, da demolizione ossidativa di ammoniaca/ammonio, e i nitrati, dalla fase massima di ossidazione dei composti azotati.

La presenza di nitrati nelle acque sotterranee, in assenza di nitriti e ammoniaca, non ha, di per sé, significato di inquinamento, se non eventualmente da apporti in superficie.

**VALORI LIMITE ACQUE PER USO UMANO:**

[http://www.arpa.veneto.it/acqua/docs/interne/potabili/valori\\_limite.pdf](http://www.arpa.veneto.it/acqua/docs/interne/potabili/valori_limite.pdf)

**LINEE GUIDA** sui dispositivi di trattamento delle acque destinate al consumo umano ai sensi del d.m. 7 febbraio 2012, n. 25:

[http://www.salute.gov.it/imgs/c\\_17\\_publicazioni\\_1946\\_allegato.pdf](http://www.salute.gov.it/imgs/c_17_publicazioni_1946_allegato.pdf)

[INIZIO]

**A2 – ESERCIZI – DUREZZA – [INIZIO DOCUM]**

N.B.: DEF. 1°F = acqua con contenuto Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> equivalente a soluzione acquosa con 10mg/dm<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub>;

**ES.1- DATI:** campione ACQUA V=100 cc; Ca<sup>2+</sup>=15mg [M.M.40g/mol]; Mg<sup>2+</sup>=5mg [24,3g/mol];  
determinare la durezza dell'acqua.

**Soluzione:** [N.B.:una mole Ca<sup>2+</sup> ovv. 1 mole Mg<sup>2+</sup> equivale a ≡ 1 mole CaCO<sub>3</sub>]  
calcolo concentrazioni da mg/100cc a mg/dm<sup>3</sup>: →Ca<sup>2+</sup>= 150mg/dm<sup>3</sup>; →Mg<sup>2+</sup>= 50mg/dm<sup>3</sup>;

■ **1° METODO** di calcolo [in moli]: [CaCO<sub>3</sub> M.M.100g/mol; 1°F= 10mg/dm<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub>];

in 1 dm<sup>3</sup>: n<sub>Ca</sub>=150mg/40 = 3,75mmol; n<sub>Mg</sub>=50mg/24,3=2,06mmol;

n<sub>CaCO<sub>3</sub>equiv.</sub>= n<sub>Ca</sub>+ n<sub>Mg</sub>=5,81mmol<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>= 5,81x100 = 581mg<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>; →da cui durezza = 581/10 = 58,1°F.

■ **2° METODO** di calcolo:

a- calcolo massa equivalente =M.M./carica ione: →colonna (3)

[N.B.: per elettroliti il milliequivalente è la millesima parte del peso atomico di uno ione, espresso in grammi, diviso per il numero di cariche

| IONI              | 1) concentraz. in mg/dm <sup>3</sup> | 2) Massa Molare M.M. mg/mmol | 3) Massa equival mg/meq | 4) mequiv/dm <sup>3</sup> = (1) / (3) | 5) mg CaCO <sub>3</sub> equiv/dm <sup>3</sup> = (4) x (*) |
|-------------------|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| Ca <sup>2+</sup>  | 150                                  | 40                           | 40/2 = 20               | 7,5                                   | 375   |
| Mg <sup>2+</sup>  | 50                                   | 24,3                         | 24,3/2 = 12,15          | 4,12                                  | 206   |
| CaCO <sub>3</sub> |                                      | 100                          | (*)100/2 = 50           |                                       | totale= 581   |

elettriche presenti nello ione stesso; in tal modo 1 meq contiene sempre lo stesso numero di ioni, indipendentemente dalla sostanza; la loro concentrazione è indicata in milliequivalenti/litro (meq/dm<sup>3</sup>);]

a- calcolo mequivalenti/dm<sup>3</sup> = conc.(1)/massa eq.(3) = [mg/dm<sup>3</sup>]/[mg/meq] = mequiv/dm<sup>3</sup>; →colonna (4)

b- calcolo CaCO<sub>3</sub> equival.mg/dm<sup>3</sup>, equivalente agli ioni durezza presenti nell'acqua; →colonna (5)

c- calcolo durezza: [1°F= 10mg/dm<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub>]; → durezza = 581/10 =58,1°F.

**ES.2- DATI:** campione ACQUA seguente [vedi tab. conc. mg/dm<sup>3</sup> di Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>];  
determinare: durezza temporanea permanente calcica magnesiacca;

**soluzione:**

■ **1° METODO** di calcolo [in moli]: [CaCO<sub>3</sub> M.M.100g/mol]; [1°F= 10mg/dm<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub>];

in 1dm<sup>3</sup>:n<sub>Ca</sub>=60/40=1,5mmol;n<sub>Mg</sub>=15/24,3=0,62mmol; n<sub>CaCO<sub>3</sub>equiv.</sub>= n<sub>Ca</sub>+ n<sub>Mg</sub>=2,12mmol<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>=2,12x100=212mg<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>;

n<sub>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></sub>=120/61=1,97mmol; m<sub>CaCO<sub>3</sub>equiv.</sub>=1,97x100/2=98,5mg;

da cui durezza totale= 212/10=21,2°F; temporanea=98,5/10=9,85°F.

■ **2° METODO** di calcolo:

a- calcolo mequivalenti/dm<sup>3</sup> = conc./massa eq. = [mg/dm<sup>3</sup>]/[mg/meq] = mequiv/dm<sup>3</sup>; →colonna (4)

b- calcolo CaCO<sub>3</sub> equival.

mg/dm<sup>3</sup>; →colonna (5)

c- calcolo durezza

→durezza calcica:150/10= 15°F;

→durezza magnesiacca:

61,5/10=6,15°F;

→durezza totale = 150+61,5=

211,5mg/dm<sup>3</sup> ≡ 21,15°F;

→ durezza temporanea [CaCO<sub>3</sub> equival. a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]=98,5 mg/dm<sup>3</sup>≡9,85°F;

→ durezza permanente: totale – temporanea = 113 mg/dm<sup>3</sup>.

N.B.: in base ai calcoli e ai risultati precedenti risulta che nell'acqua 1°F = 10 mgCaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> equivale a:

(\*\*) ► 4 mgCa<sup>2+</sup>/dm<sup>3</sup>; 2,43 mgMg<sup>2+</sup>/dm<sup>3</sup>; 12,18 mgHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/dm<sup>3</sup>; [conformi a 0,2 meq/dm<sup>3</sup>,e 10mgCaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>]

**ES.3° – DATI:** campione ACQUA contenente: Ca<sup>2+</sup>=30mg/dm<sup>3</sup> [M.M.40g/mol]; Mg<sup>2+</sup>=6mg/dm<sup>3</sup> [24,3g/mol];det. durezza.

**soluzione:** [in 1dm<sup>3</sup> - M.M. g/mol= mg/mmol]

■ **1° METODO** di calcolo [in moli]: [CaCO<sub>3</sub> M.M.100g/mol]; [1°F= 10mg/dm<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub>];

in 1 dm<sup>3</sup>: n<sub>Ca</sub>=30mg/40 = 0,75mmol; n<sub>Mg</sub>=6mg/24,3=0,25mmol; n<sub>CaCO<sub>3</sub>equiv.</sub>= n<sub>Ca</sub>+ n<sub>Mg</sub>=1mmol<sub>CaCO<sub>3</sub></sub> = 1x100 = 100mg<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>;

da cui durezza = 100/10 = 10°F.

■ **2° METODO**

a- calcolo

mequivalenti/dm<sup>3</sup> =

conc./massa eq. =

[mg/dm<sup>3</sup>]/[mg/meq];

→colonna (4)

b- calcolo CaCO<sub>3</sub> equival. mg/dm<sup>3</sup>; →colonna (5) -

c- calcolo durezza: →durezza = 99,5/10 ≅ 10°

| ioni              | 1) concent. mg/dm <sup>3</sup> | 2) massa molare M.M.mg/mmol | 3) massa equival mg/meq | 4) mequiv/dm <sup>3</sup> =(1) / (3) | 5) mg CaCO <sub>3</sub> equiv/dm <sup>3</sup> = (4) x (*) |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|
| Ca <sup>2+</sup>  | 30                             | 40                          | 40/2 = 20               | 1,5                                  | 75  |
| Mg <sup>2+</sup>  | 6                              | 24,3                        | 24,3/2 = 12,15          | 0,49                                 | 24,5  |
| CaCO <sub>3</sub> |                                | 100                         | 100/2 = 50(*)           |                                      | totale= 99,5  |



**Es.4° – DATI: ACQUA MINERALE contenente  $Ca^{2+}=86,10\text{ mg/dm}^3$ ;  $Mg^{2+}=12,80\text{ mg/dm}^3$ ;  $HCO_3^- =286,7\text{ mg/dm}^3$ ; determinare la durezza.**



**soluzione:**

■ **1° METODO** di calcolo [in moli]:  $[CaCO_3 \text{ M.M.}100\text{g/mol}]$

in 1 dm<sup>3</sup>:  $n_{Ca} = 86,1/40 = 2,15\text{ mmol}$ ;  $n_{Mg} = 12,8/24,3 = 0,53\text{ mmol}$ ;  $n_{CaCO_3 \text{ equiv.}} = n_{Ca} + n_{Mg} = 2,68\text{ mmol}$ ;  $n_{CaCO_3} = 2,68 \times 100 = 268\text{ mg}_{CaCO_3}$ ;

$n_{HCO_3^-} = 286,7/61 = 4,7\text{ mmol}$ ;  $m_{CaCO_3 \text{ equiv.}} = 4,7 \times 100/2 = 235\text{ mg}$ ; da cui durezza totale =  $268/10 = 26,8^\circ F$ ; tempor. =  $235/10 = 23,5^\circ F$ .

■ **2° METODO**

a- calcolo **mequivalenti/dm<sup>3</sup>** = conc./massa eq. =  $[mg/dm^3]/[mg/meq] = \text{mequiv/dm}^3$ ; → colonna (4)

b- calcolo **CaCO<sub>3</sub> equival. mg/dm<sup>3</sup>**;

→ colonna (5)

c – calcolo durezza:

→ durezza calcica:

$215/10 = 21,5^\circ F$ ;

→ durezza magnesiaca:  $55/10 = 5,5^\circ F$ ;

→ **durezza totale = 215+55 = 270 mg/dm<sup>3</sup>  $\equiv 27^\circ F$  → durezza temporanea  $[CaCO_3 \text{ equivalente a } HCO_3^-] = 235\text{ mg/dm}^3 \equiv 23,5^\circ F$ ;**

→ **durezza permanente: totale – temporanea = 35 mg/dm<sup>3</sup>.** [stesso risultato si ottiene dai valori di (\*\*)]

| ioni                          | 1) concentr. mg/dm <sup>3</sup> | 2) massa molare M.M. mg/mmol | 3) massa equival mg/meq | 4) mequiv/dm <sup>3</sup> = (1) / (3) | 5) mg CaCO <sub>3</sub> equiv/dm <sup>3</sup> = (4) x (*) |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| Ca <sup>2+</sup>              | 86,1                            | 40                           | 40/2 = 20               | 4,3                                   | 215   |
| Mg <sup>2+</sup>              | 12,8                            | 24,3                         | 24,3/2 = 12,15          | 1,1                                   | 55  |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 286,7                           | 61                           | 61/1 = 61               | 4,7                                   | 235   |
| CaCO <sub>3</sub>             |                                 | 100                          | 100/2 = 50(*)           |                                       |   |

**Es.5° – DATI: ACQUA contenente  $Ca^{2+}=40\text{ mg/dm}^3$ ;  $Mg^{2+}=72\text{ mg/dm}^3$ ;  $HCO_3^- =122\text{ mg/dm}^3$ ; determinare la durezza.**

**Soluzione:**

■ **1° METODO** di calcolo [in moli]:  $[CaCO_3 \text{ M.M.}100\text{g/mol}]$

in 1 dm<sup>3</sup>:  $n_{Ca} = 40/40 = 1\text{ mmol}$ ;  $n_{Mg} = 72/24,3 = 2,96\text{ mmol}$ ;  $n_{CaCO_3 \text{ equiv.}} = n_{Ca} + n_{Mg} = 3,96\text{ mmol}$ ;  $n_{CaCO_3} = 3,96 \times 100 = 396\text{ mg}_{CaCO_3}$ ;

$n_{HCO_3^-} = 122/61 = 2\text{ mmol}$ ;  $m_{CaCO_3 \text{ equiv.}} = 2 \times 100/2 = 100\text{ mg}$ ; da cui durezza totale =  $396/10 = 39,6^\circ F$ ; tempor. =  $100/10 = 10^\circ F$ .

■ **2° METODO** a- calcolo **mequivalenti/dm<sup>3</sup>** = conc./massa eq. =  $[mg/dm^3]/[mg/meq] = \text{mequiv/dm}^3$ ; → colonna (4)

b- calcolo **CaCO<sub>3</sub> equival. mg/dm<sup>3</sup>**;

→ colonna (5)

c – calcolo durezza

[1°F = 10mg/dm<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub>]

→ durezza calcica:

$100/10 = 10^\circ F$ ; → durezza magnesiaca:  $296,5/10 = 29,7^\circ F$ ; → **durezza totale = 100+296,5 = 396,5 mg/dm<sup>3</sup>  $\equiv 39,7^\circ F$ ;**

→ **durezza temporanea  $[CaCO_3 \text{ equiv. } HCO_3^-] = 100\text{ mg/dm}^3 \equiv 10^\circ F$ ; → durezza permanente: totale – temporanea = 296,5 mg/dm<sup>3</sup>  $\equiv 29,7^\circ F$ .** [stesso risultato si ottiene dai valori di (\*\*)]

| ioni                          | 1) concentr. mg/dm <sup>3</sup> | 2) massa molare M.M. mg/mmol | 3) massa equival mg/meq | 4) mequiv/dm <sup>3</sup> = (1) / (3) | 5) mg CaCO <sub>3</sub> equiv/dm <sup>3</sup> = (4) x (*) |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| Ca <sup>2+</sup>              | 40                              | 40                           | 40/2 = 20               | 2                                     | 100   |
| Mg <sup>2+</sup>              | 72                              | 24,3                         | 24,3/2 = 12,15          | 5,93                                  | 296,5   |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 122                             | 61                           | 61/1 = 61               | 2                                     | 100   |
| CaCO <sub>3</sub>             |                                 | 100                          | 100/2 = 50(*)           |                                       |   |

**Es.6° – DATI: nota la DUREZZA di campione di ACQUA = 36°F, e dopo riscaldamento = 24°F, determinare concentrazione di ioni HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> bicarbonato.**

**Soluzione:** N.B.: durezza totale = 36°F; permanente (dopo riscaldam) = 24°F;  $[CaCO_3 \text{ M.M.}100\text{mg/mmol}; HNO_3^- \text{ M.M.}61\text{mg/mmol}]$

→ **temporanea** = 36-24 = 12°F [da ioni HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]; **CaCO<sub>3</sub> equival.** = 12°F x 10mg/dm<sup>3</sup> = **120mg/dm<sup>3</sup>**;

per riscaldamento:  $Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 \downarrow + CO_2 + H_2O$ ; **rapporto HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/CaCO<sub>3</sub> = 2/1**; massa equival CaCO<sub>3</sub> =  $100/2 = 50\text{ mg/meq}$ ;

■ **1° METODO** [moli/dm<sup>3</sup>]:  $n_{CaCO_3 \text{ equiv.}} = 120\text{ mg}/(100/2) = n_{HCO_3^-} = 2,4\text{ mmol}$ ;  $m_{HCO_3^-} = 2,4 \times 61 = 146,4\text{ mg/dm}^3 = \text{conc } HCO_3^- \text{ nell'acqua!}$

■ **2° METODO**: conc. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>:  $120/50 = 2,4\text{ meq/dm}^3$ ; [massa equival mg/meq = 61];  $2,4 \times 61 = 146,4\text{ mg/dm}^3 = \text{conc. } HCO_3^- \text{ nell'acqua!}$

**Es.7° – DATI: campione di V=100 m<sup>3</sup> ACQUA con durezza temporanea = 40°F; si deve ridurre a durezza = 5°F per trattamento con calce Ca(OH)<sub>2</sub>; determinare la quantità di calce.**

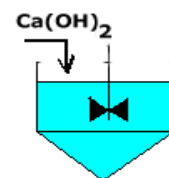
**Soluzione:**  $[CaCO_3 \text{ M.M.} = 100\text{ mg/mmol}; Ca(OH)_2 \text{ M.M.} = 74,1\text{ mg/mmol}]$ ;

abbattim. durezza **temporanea**:  $Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3 \downarrow + 2H_2O$ ; per 1 mole Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> → 1 mole Ca(OH)<sub>2</sub>;

durezza da **rimuovere**: 40-5 = 35°F  $\equiv 350\text{ mg}_{CaCO_3}/\text{dm}^3$ ; per 1dm<sup>3</sup>:  $350\text{ mg}_{CaCO_3}/100 = 3,5\text{ mmol}_{CaCO_3} \equiv 3,5\text{ mmol}_{Ca(OH)_2}$ ;

→  $m_{Ca(OH)_2}/\text{dm}^3 = 3,5[\text{mmol}_{Ca(OH)_2}/\text{dm}^3] \times 74,1[\text{M.M. mg/mmol}] = 259,35\text{ mg}_{Ca(OH)_2}/\text{dm}^3, [ \equiv \text{g/m}^3 ]$ ;

per V = 100m<sup>3</sup>: → **quantità calce = 259,35 x 100 = 25935g = 25,94kg Ca(OH)<sub>2</sub>.**



**Es.8° – DATI: campione di V=100m<sup>3</sup> ACQUA ha durezza permanente = 80°F; determinare la soda Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> necessaria a ridurre la durezza permanente a 10°F.**

**Soluzione:**  $[M.M. CaCO_3 = 100; Na_2CO_3 = 106\text{ mg/mmol}; 1^\circ F = 10\text{ mg/dm}^3 CaCO_3]$

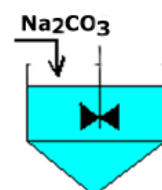
durezza permanente; quantità da abbattere: 80-10 = 70°F;

per 1 dm<sup>3</sup>: 70°F = 700 mequiv<sub>CaCO<sub>3</sub></sub> = 700/100 = 7 mmolequiv<sub>CaCO<sub>3</sub></sub> =  $n_{Ca} + n_{Mg}$  mmol;

**reazioni:**  $CaCl_2 \text{ } CaSO_4 \text{ } MgCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 \text{ } MgCO_3 \text{ } Na_2SO_4 \text{ } 2NaCl$ ; rapporto in moli = 1 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/1 sali Ca Mg;

quindi:  $n_{Na_2CO_3} = n_{Ca} + n_{Mg} = 7\text{ mmol}$ ;  $m_{Na_2CO_3} = 7 \times 106 = 742\text{ mg} = 0,742\text{ g/dm}^3 = \text{kg/m}^3 \text{ soda da aggiungere}$ ;

per 100 m<sup>3</sup>:  $m_{Na_2CO_3} = 100 \times 0,742 = 74,2\text{ kg}$ .



Es.9 – ACQUA MINERALE – durezza – [vedi preced. valori (\*\*)]

A.ROCCHETTA:  $Ca^{2+}=57,4\text{mg/dm}^3$ ;  $Mg^{2+}=3,23\text{mg/dm}^3$ ; durezza **totale** =  $57,4/4 + 3,23/2,43 = 15,7^\circ F$ ; [residuo fisso= $174\text{mg/dm}^3$ ]

A.LEVISSIMA:  $Ca^{2+}=20,4\text{mg/dm}^3$ ;  $Mg^{2+}=1,8\text{mg/dm}^3$ ; durezza **totale** =  $20,4/4 + 1,8/2,43 = 5,84^\circ F$ ; [residuo fisso= $80\text{mg/dm}^3$ ]

A.ULIVETO:  $Ca^{2+}=173\text{mg/dm}^3$ ;  $Mg^{2+}=25\text{mg/dm}^3$ ; durezza **totale** =  $173/4 + 25/2,43 = 53,54^\circ F$ ; [residuo fisso= $745\text{mg/dm}^3$ ]

A3 – ESERCIZI - PRESSONE OSMOTICA –

Es.1 – acqua di mare –

ACQUA DI MARE ( $\gamma_{H2O} = 9800 \text{ N/m}^3$ ) a  $T=15^\circ C$  [288K], sali completam.dissociati, soluz.diluite. DATI: vedi tab.;

determinare la **pressione osmotica**.

soluzione: [R = 8,32 J/mol·K; T=288K];

press.osmotica totale  $\Pi_{tot} = [\sum c_i \cdot x_i] R T$  [Pa];

concentrazioni **c** = mol/dm<sup>3</sup> = (g/P.M.)/dm<sup>3</sup>: vedi tab.;

$\sum c_i \cdot x_i = 1,113 \text{ mol/dm}^3 = 1,113 \text{ kmol/m}^3$ ;

$\Pi_{tot} = 8,32[\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}] \times 288 \times [1,113 \text{ kmol/m}^3]=2667 \text{ kPa}$ .

Battente idrostatico per pressione osmotica:

$\Pi = \Delta h \cdot \gamma$ ;  $\rightarrow \Delta h = \Pi/\gamma = Pa/(N/m^3) = 2667000/9800 = 272,13 \text{ m}$ ;

| VALORI / DATI:            | NaCl  | NaBr  | MgSO <sub>4</sub> | KCl   | MgCl <sub>2</sub> |
|---------------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------------------|
| conc.g/dm <sup>3</sup> →  | 27    | 0,52  | 3,72              | 0,47  | 3,29              |
| M.M.g/mole                | 58,4  | 102,9 | 120,4             | 74,5  | 95,2              |
| conc. mol/dm <sup>3</sup> | 0,462 | 0,005 | 0,031             | 0,006 | 0,035             |
| fattore i                 | 2     | 2     | 2                 | 2     | 3                 |

Es.2 – soluzione salina –

SOLUZIONE SALINA ( $\gamma_{H2O} = 9800 \text{ N/m}^3$ ) a  $T=25^\circ C$  [298K], contiene 27,30 g/L di NaCl e 3,8 g/L di MgCl<sub>2</sub>; determinare la **pressione osmotica**.

soluzione: [R = 8,32 J/mol·K; T=288K];

press.osmotica totale  $\Pi_{tot} = [\sum c_i \cdot x_i] R T$  [Pa];

concentrazioni **c** = mol/dm<sup>3</sup> = (g/P.M.)/dm<sup>3</sup>: vedi tab.;

$\sum c_i \cdot x_i = 1,054 \text{ mol/dm}^3 = 1,054 \text{ kmol/m}^3$ ;

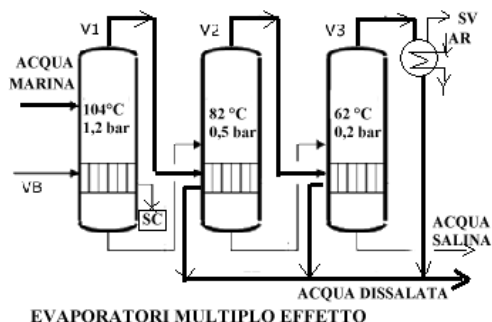
$\Pi_{tot} = 8,32[\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}] \times 298 \times [1,054 \text{ kmol/m}^3]=2613 \text{ kPa}$  [26,13bar];

Battente idrostatico per pressione osmotica:  $\Pi = \Delta h \cdot \gamma$ ;  $\rightarrow \Delta h = \Pi/\gamma = Pa/(N/m^3) = 2613000/9800 = 267 \text{ m}$ ;

| VALORI / DATI:            | NaCl  | MgCl <sub>2</sub> |
|---------------------------|-------|-------------------|
| conc.g/dm <sup>3</sup> →  | 27,3  | 3,8               |
| M.M.g/mole                | 58,4  | 95,2              |
| conc. mol/dm <sup>3</sup> | 0,467 | 0,04              |
| fattore i                 | 2     | 3                 |

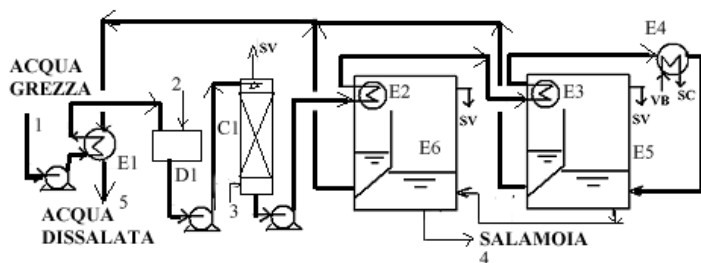
[INIZIO]

A4 – ALTRI SCHEMI DI IMPIANTI - [INIZIO DOCUM]



DISSALAZIONE ACQUA MARINA CON **EVAPORATORI A MULTIPLO EFFETTO**

by Prof.A.Tonini



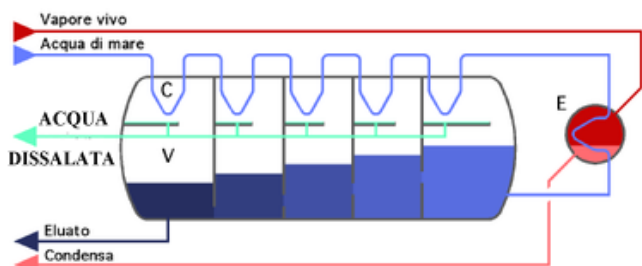
DISSALAZIONE ACQUA MARINA CON **EVAPORATORI MULTIFLASH** – LEGENDA:

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 1 ACQUA GREZZA            | E1 SCAMBIATORE            |
| 2 SOSTANZE DISINCROSTANTI | D1 SERBATOIO MISCOLAMENTO |
| 3 VAPORE DI STRIPPAGGIO   | C1 COLONNA DEGASAGGIO     |
| 4 SALAMOIA CONCENTRATA    | E2,3 CONDENSATORI         |
| 5 ACQUA DISSALATA         | E4 PRERISCALDATORE        |
|                           | E5,6 EVAPORATORI FLASH    |

by Prof.A.Tonini

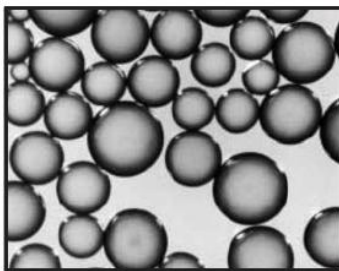
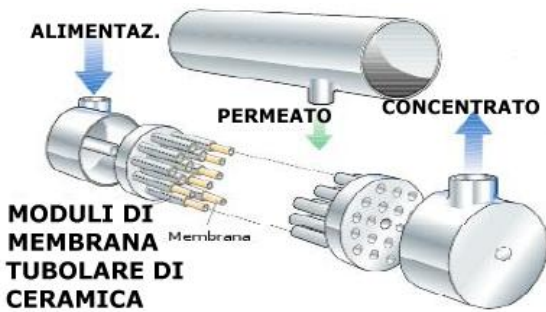
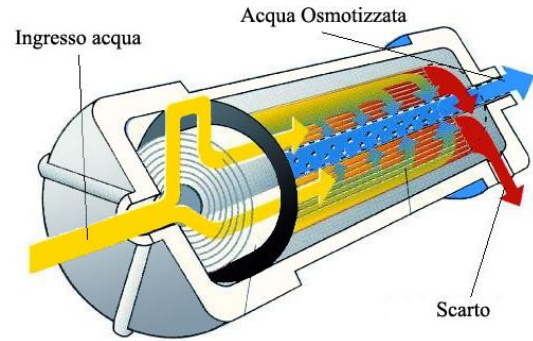
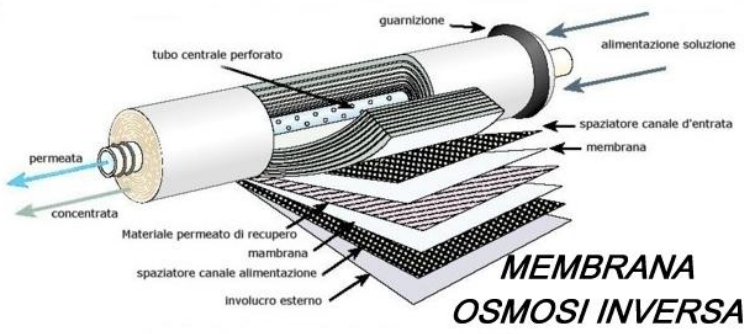
MULTIFLASH - processo a stadi:

il riscaldamento dell'acqua **grezza** alimentata all'impianto avviene solo nello scambiatore **E** fuori dall'evaporatore; un ulteriore recupero di calore avviene nei condensatori **C**, disposti uno per ogni sezione evaporante **V**; ogni camera **V** è tenuta ad una ben definita pressione di lavoro, decrescente con la temperatura dell'acqua grezza; si ottiene così in ogni camera l'evaporazione dell'acqua, ed il condensato viene raccolto come **acqua dissalata**; lo scarto è costituito da acqua di mare ad alta concentrazione salina o eluato (5% o più).



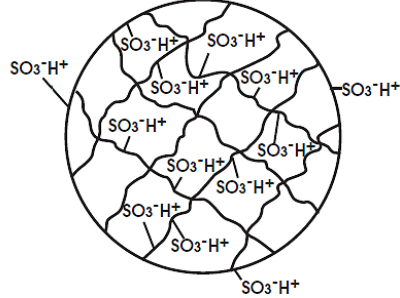


**A5 - APPARECCHIATURE:**



Perline di resina a scambio ionico DOWEX

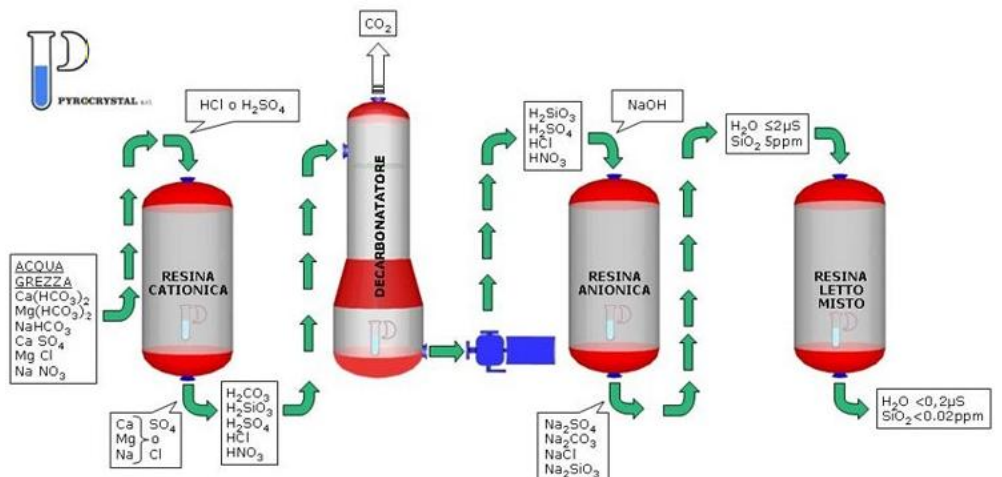
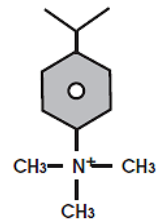
Schema Resina Cationica,



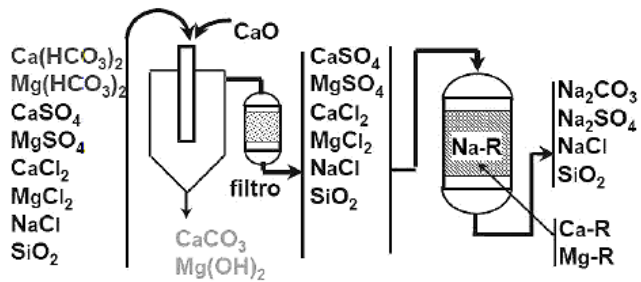
Resina cationica forte



Resina Anionica Forte



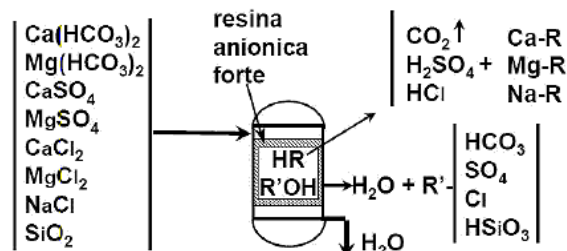
## impianto di decarbonatazione e addolcimento a scambio ionico



durezza residua complessiva:  $< 2 G_f$   
(limite per caldaie fino a 20 bar)

LAICA

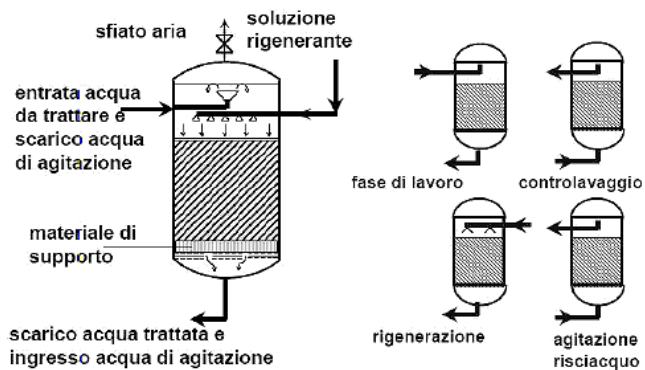
## impianto di demineralizzazione a letto misto (con desilicizzazione)



in impianti termoelettrici a vapore,  $SiO_2 < 0.05 \text{ ppm}$

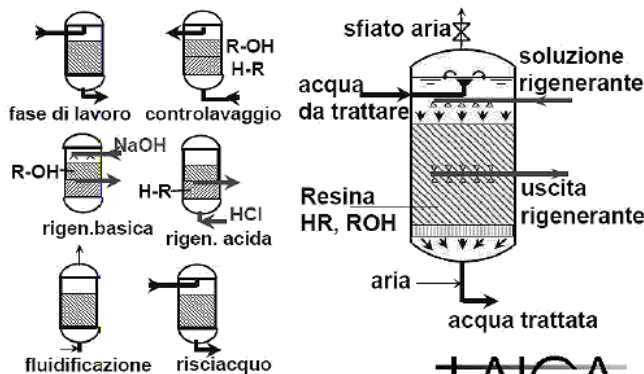
LAICA

## colonna di scambio ionico



LAICA

## Funzionamento colonna di scambio ionico a letto misto



LAICA

[INIZIO]