

Le acque di alimento caldaie vapore

Elementi base per un corretto trattamento (prima parte)

L'acqua dichiarata igienicamente bevibile può essere considerata sufficientemente pura per l'alimentazione della caldaia vapore?

Possiamo affermare che l'acqua è l'elemento di base più importante esistente sulla terra: non soltanto rende possibili e mantiene le varie forme di vita, ma è anche utilizzata come mezzo di comunicazione e trasporto, è comunemente impiegata come solvente e permette la produzione e l'immagazzinaggio dell'energia sotto forme variamente diversificate.

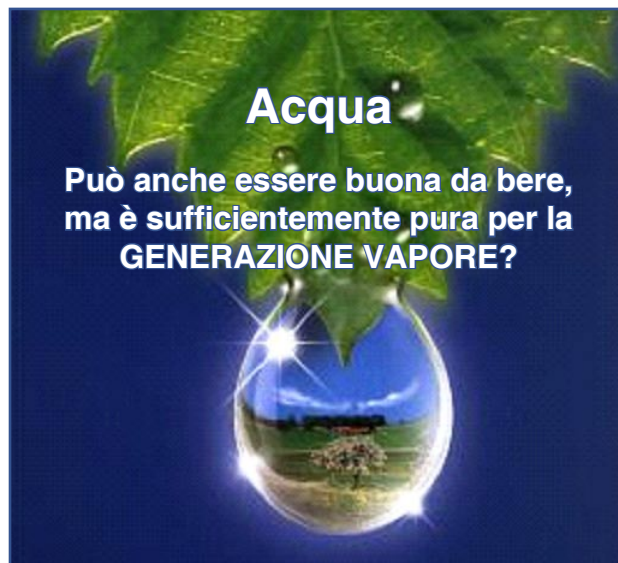
L'acqua che definiamo pura è insapore, inodore e incolore ma il suo stato di purezza è virtualmente impossibile in natura in quanto, alla raccolta, qualsiasi sia la provenienza, contiene sempre impurità variamente differenziate per tipo e quantità.

Una ottima acqua da bere non può necessariamente essere considerata una buona acqua di alimento per le caldaie vapore. I minerali nelle acque naturali e/o potabili sono assorbiti e metabolizzati dal nostro corpo mentre la caldaia, malgrado sia una massa di metallo resistente alle sollecitazioni, è certamente molto più sensibile alle impurità contenute dal liquido che non lo stomaco umano; anzi il nostro corpo necessita, per il suo regolare funzionamento di sali quali il calcio ed il magnesio. Gli stessi sali invece, se lasciati inalterati, incrosterebbero molto rapidamente la caldaia danneggiandola in modo grave.

Le impurità

Circa il 97% delle riserve d'acqua disponibili sulla terra sono costituite dai mari e dagli oceani, una parte significativa è inoltre rappresentata dai ghiacciai delle zone polari ma soltanto lo 0,65% è disponibile per le necessità umane.

Questa parte sarebbe esaurita in un tempo molto limitato se non fosse per il tipico ciclo evaporativo attivato dall'energia radiante del sole.



A seguito dell'evaporazione l'acqua viene convertita in masse nuvolose che vengono parzialmente condensate durante il loro tragitto e conseguentemente l'acqua prodotta torna sulla terra sotto forma di precipitazioni (Fig. 2).

Malgrado il processo di evaporazione effettui una drastica depurazione del contenuto presente ed anche trascurando l'apporto dato dal pulviscolo atmosferico, l'acqua che riprecipita sulla terra non può essere considerata pura perché ha una spiccata proprietà di dissolvere parte dei gas che attraversa. Ossigeno, idrogeno ed anidride carbonica sono i soluti più comuni cui, per attraversamento di atmosfere in zone industriali, si aggiungono biossidi di zolfo che a contatto con l'acqua generano acido solforico.

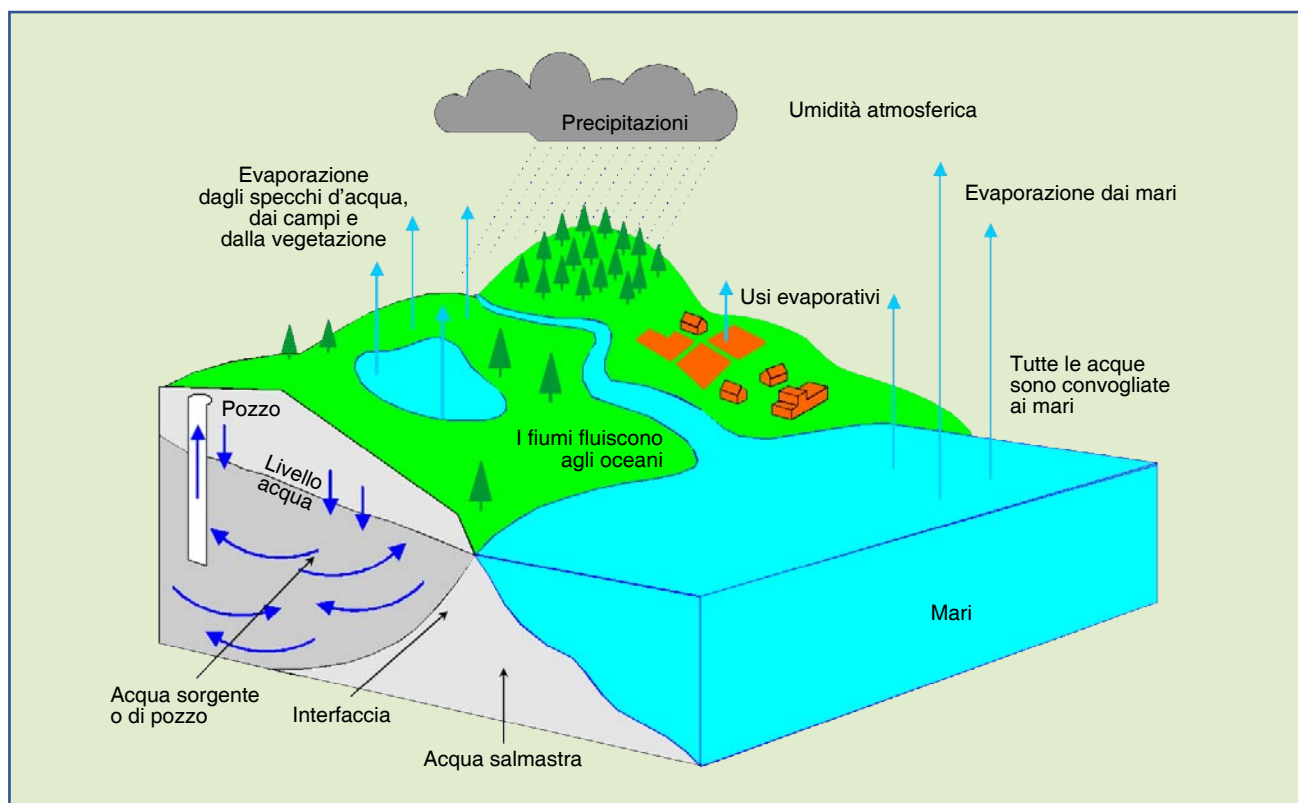


Fig. 2 - Tipico ciclo idrico

In aggiunta i temporali producono anche ozono ed acido nitrico parimenti assorbiti dalle piogge. Caricata di questi elementi l'acqua effettua il proprio percorso terreno; percola attraverso i vari strati geologici o scorre in superficie, raccogliendo e/o dissolvendo altre impurità e minerali solubili. Possiamo quindi ben comprendere come tutte le acque di raccolta contengano un gran numero di impurità che possono creare problemi sia formando depositi isolanti sulle superfici di scambio termico, alterando il trasferimento del calore e creando pericolosi surriscaldamenti localizzati, sia causando corrosioni ed attacchi acidi sulle superfici metalliche. Le impurità più comuni rilevabili nell'acqua non trattata possono essere classificate come segue:

- **Particelle sospese:**
Sabbia, argilla, particelle galleggianti, in sospensione o sedimentanti, sostanze organiche. Questi elementi in caldaia formano sedimenti e fanghi per cui impongono una accurata filtrazione preventiva delle acque impiegate.
- **Colloidi:**
Idrati metallici, solfuri, detersivi, gelatine. Composti che possono disturbare e danneggiare i dispositivi di depurazione.
- **Soluti dissociati e non:**
Gas quali azoto, ossigeno, idrogeno, anidride carbonica, ammoniaca, acido solfidrico; sostanze in forma ionica quali calcio, magnesio, sodio e potassio sotto forma di carbonati, bicarbonati, cloruri, solfati, nitrati e silicati.
- **Organismi viventi:**
Muffe, funghi, alghe, batteri.

Principali sali disciolti			
Denominazione	Simbolo	Nome comune	Effetto
Carbonato di Calcio	CaCO ₃	Gesso, Calcare	Incrostazioni tenere
Bicarbonato di Calcio	Ca(HCO ₃) ₂		Incrostazioni tenere + CO ₂
Cloruro di Calcio	CaCl ₂		Corrosione
Solfato di Calcio	CaSO ₄	Gesso idrato, Calcina	Incrostazioni dure
Carbonato di Magnesio	MgCO ₃		Incrostazioni tenere
Bicarbonato di Magnesio	Mg(HCO ₃) ₂	Sale amaro	Incrostazioni, corrosione
Cloruro di Magnesio	MgCl ₂		Corrosione
Solfato di Magnesio	MgSO ₄	Magnesite	Corrosione
Carbonato di Sodio	Na ₂ CO ₃	Soda da bucato	Alcalinità
Bicarbonato di Sodio	NaHCO ₃	Soda da cucina	Proiezioni, schiume
Cloruro di Sodio	NaCl	Sale comune	Elettrolisi
Solfato di Sodio	Na ₂ SO ₄		Alcalinità
Idrato di Sodio	NaOH	Soda caustica	Alcalinità, fragilità
Biossido di Silicio	SiO ₂	Silice	Incrostazioni dure
La loro presenza è determinata mediante misura della concentrazione			

Fig. 3

Le prime due categorie che in caldaia formerebbero fanghi indesiderati sono pericolose anche per i sistemi di depurazione perché li possono danneggiare e rendere inefficienti: alterano il funzionamento degli impianti a resina, avvelenano le resine fissandosi in modo irreversibile ed ostruiscono le membrane impedendo la permeazione. Devono quindi essere trattati preventivamente mediante procedimento di filtrazione.

I soluti costituiscono invece l'obiettivo ed il fine del sistema di depurazione che naturalmente dovrà essere dimensionato in base al carico salino ed al volume di acqua da trattare.

Nel caso che il trattamento di depurazione sia effettuato mediante impianto ad osmosi, una particolare attenzione andrà dedicata ai carbonati e bicarbonati di calcio e magnesio perché potrebbero precipitare come conseguenza che durante il processo tutta la salinità si concentra in una parte dell'acqua in trattamento; occorre evitare il fenomeno che bloccherebbe l'impianto di trattamento a causa dell'intasamento delle membrane.

La categoria degli organismi viventi deve essere attentamente controllata allo scopo di impedire il moltiplicarsi e la formazione di colonie ed ammassi che inglobano le resine impedendo lo scambio degli ioni. Il pericolo esiste anche per l'osmosi inversa a causa della possibile formazione di biofilm che tolgono permeabilità e ostruiscono le membrane.

Immediatamente dopo il trattamento dei sali pericolosi per la caldaia occorrerà procedere ad un sistema di degasazione per eliminare gli incondensabili ancora in soluzione.

I sali normalmente oggetto del trattamento sono elencati nella tabella di Fig. 3 di seguito riportata unitamente ai problemi provocati.

Il livello della presenza salina viene valutato mediante la determinazione del valore di concentrazione definito in:

Parti per milione (ppm):

- 1 kg di sale in 1.000 t di acqua ovvero
- 1 mg di sale in 1 litro di acqua

Tutte le impurità espresse in mg/l di Carbonato di Calcio Equivalente					
Zona	Durezza alcalina (temporanea)	Durezza non-alcalina (permanente)	Durezza totale	Sali di non durezza	Totale solidi disciolti (TDS)
Leeds	12	10	22	24	46
York	156	92	248	62	310
Birmingham	28	72	100	130	230
London	180	192	372	50	422

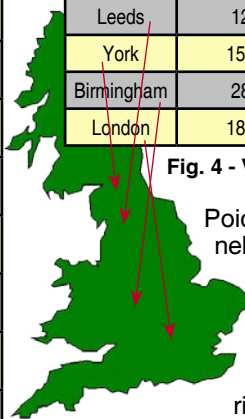


Fig. 4 - Variabilità regionale della qualità dell'acqua

Poiché la composizione dei sali contenuti nelle acque è molto variabile da zona a zona anche in zone ristrette e limitrofe, Fig. 4 e tabella relativa, e può influenzare sensibilmente le caratteristiche richieste al sistema di depurazione e la relativa potenzialità, è necessario prevedere e ripetere regolarmente una serie di analisi da eseguire sulle:

- **acque gregge**, per comprendere il tipo di trattamento depurativo più consono alle esigenze del sistema da servire;
- **acque depurate**, per verificare l'efficacia del sistema adottato, la sua funzionalità e l'idoneità della conduzione effettuata;

- **acque di caldaia**, per controllare l'efficienza di conduzione della centrale termica.

Le analisi che vengono in genere predisposte in modo preventivo ed in seguito per guidare e controllare la conduzione della centrale termica sono le seguenti:

- 1) Presenza di solidi sospesi, torbidità,
- 2) Salinità o Conduttività elettrica,
- 3) pH (riscontro immediato del valore di acidità / alcalinità),
- 4) Durezza totale,
- 5) Alcalinità:
P = indice alcalino apparente (relativo a Carbonati e Idrati)
M = indice alcalino completo (relativo a Carbonati Bicarbonati e Idrati)
- 6) Determinazioni dei Cloruri (quando si utilizza un'acqua di integrazione addolcita),
- 7) Rilevazione di Ferro, Manganese, Silice,
- 8) Rilevazione di gas disciolti (Ossigeno, Idrogeno, Anidride Carbonica).

Nelle centrali termiche di media potenzialità e pressione ci si limita alle analisi proposte ai primi 5 punti riservando i successivi ai casi di elevata potenzialità, pressione e temperatura.

La Salinità o **TDS (Total Dissolved Solids)** è un parametro molto importante per la conduzione della caldaia perché con l'evaporazione la concentrazione dei sali presenti in caldaia aumenta come funzione del processo evaporativo e del reintegro effettuato sulle acque di alimento: il livello di concentrazione deve essere attentamente mantenuto entro termini dettati sia dai parametri di generazione, pressione, temperatura, potenzialità, sia dalla conformazione e caratteristiche costruttive della caldaia utilizzata.

Disattenzione ed errori di conduzione in questo campo ed insufficienza degli spurghi necessari e prescritti, portano a problemi seri quali l'incrostazione delle superfici di scambio termico della caldaia con il conseguente surriscaldamento e danneggiamento delle parti interessate. Si definisce come Salinità Totale dell'acqua o TDS la somma di tutti gli elementi che nell'acqua sono in soluzione od in sospensione comprendendovi tutti i sali classificati come:

- Sali di Durezza, sottoclassificati in:
 - Durezza temporanea, carbonati e bicarbonati di calcio e magnesio
 - Durezza permanente, solfati e cloruri di calcio e magnesio e silice
- Sali non incrostanti o non titolabili come durezza: carbonati, bicarbonati, solfati, cloruri ed idrati di sodio nonché bicarbonato di ferro.

I sali di durezza sono di gran lunga i più temibili e dannosi per la caldaia e le acque, in base al loro contenuto, si definiscono acque "Dure" o "Dolci". Le acque dure contengono un eccesso di sali di durezza che hanno elevata tendenza a separarsi ed a precipitare formando incrostazioni dure ed isolanti alla trasmissione termica mentre nelle acque dolci questa categoria di sali ha una presenza minima od è inesistente. La differenza di comportamento è facilmente rilevata dalla

reazione con soluzioni a base di sapone: è necessario titolare una maggiore quantità di sapone per generare schiuma in presenza di acqua dura.

Abbiamo visto che la durezza è causata praticamente dalla presenza dei sali di calcio e magnesio che sono anche tra i più temuti dalla caldaia e costituiscono la causa principale del verificarsi di eventi incrostanti; vediamo l'evoluzione.

Durezza temporanea od alcalina - Il calcare o carbonato di calcio, costituente fondamentale di buona parte delle rocce e largamente presente nei vari strati geologici, non è solubile in acqua per cui, al suo stato naturale, non dovrebbe essere presente nelle acque di raccolta. Abbiamo d'altra parte detto che l'acqua è un ottimo solvente di parte dei gas che incontra tra i quali anche il biossido di carbonio od anidride carbonica. L'anidride carbonica reagisce con l'acqua formando acido carbonico, vedere Fig. 5, che a sua volta, come illustrato nella stessa figura, si combina con il carbonato di calcio trasformandolo in bicarbonato di calcio. Il medesimo fenomeno si verifica anche con il carbonato di magnesio per cui entrambi i bicarbonati, che sono facilmente solubili in acqua, si trovano in essa diluiti costituendo i componenti della durezza temporanea.

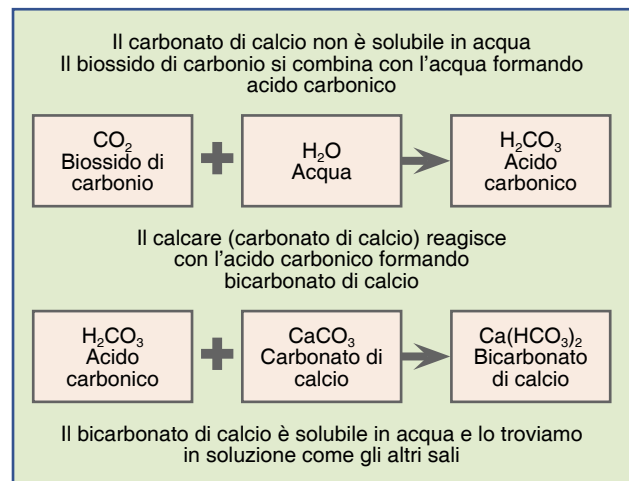


Fig. 5 - Durezza temporanea o alcalina

Quando si applica calore alle acque dure, sia il bicarbonato di calcio che quello di magnesio si scompongono, come indicato a Fig.6, liberando biossido di carbonio e ricostituendo i carbonati di calcio e magnesio che, a causa della loro insolubilità, precipitano ed aderiscono alle pareti riscaldate formando le temute incrostazioni scarsamente permeabili al calore.

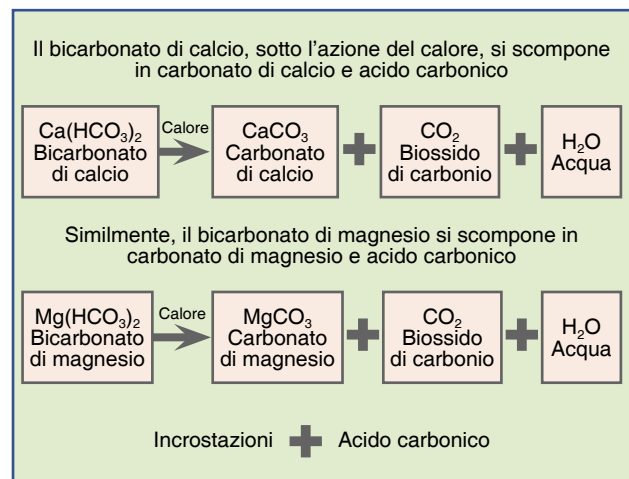


Fig. 6 - Durezza temporanea o alcalina

Il risultato finale per la caldaia interessata saranno incrostazioni sulle pareti calde di scambio termico con conseguente riduzione della trasmissione del calore e forte surriscaldamento dei fasci tubieri esposti alla fiamma ed ai gas ad alta temperatura; in aggiunta si avranno corrosioni generalizzate causate dall'anidride carbonica e dall'acido carbonico formato per affinità con l'acqua.

Durezza permanente o non-alcalina - E' costituita ancora da sali di calcio e magnesio ma questa volta sono i solfati ed i cloruri di calcio e magnesio (Fig.7) che a causa della riduzione della loro solubilità in acqua dovuta all'aumento di temperatura, precipitano formando depositi ed incrostazioni difficili da rimuovere ed eliminare e favorendo la corrosione.

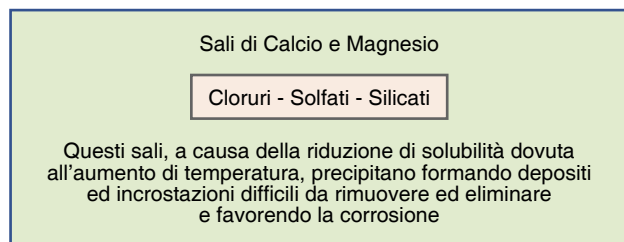


Fig. 7 - Durezza permanente o non-alcalina

La presenza di silice nelle acque di caldaia peggiora ulteriormente la situazione perché, oltre a formare incrostazioni particolarmente dure e difficili da togliere forma reazioni con i sali di calcio e magnesio formando silicati caratterizzati da bassa conducibilità che oppongono quindi un alto grado isolante alla trasmissione del calore fino a danneggiare gravemente i fasci tubieri di scambio termico.

I solfati di calcio e magnesio e soprattutto i cloruri di calcio e magnesio alle temperature e pressioni medio alte sono particolarmente temibili a causa della loro tendenza a scindersi generando acido solforico e più frequentemente acido cloridrico dando luogo a profonde ed estese corrosioni nelle zone più calde e sotto le incrostazioni in atto.

La somma tra i valori di Durezza temporanea ed i valori di Durezza permanente indica il livello della Durezza totale contenuta nell'acqua in esame.

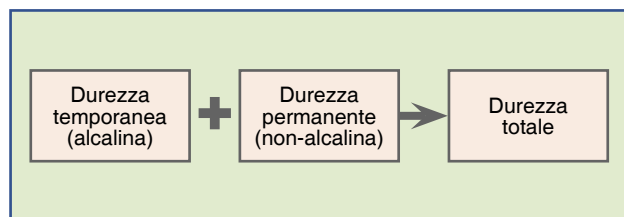


Fig. 8 - Durezza totale

Sali di non durezza - Oltre ai sali di durezza totale, nelle acque sono contenuti anche altri sali definiti di "non durezza" o solubili che non formano depositi ed incrostazioni a patto che se ne controlli e se ne limiti la concentrazione.

Esempio tipico sono i sali di sodio la cui solubilità in acqua è elevata e che, pur trasformandosi in presenza di calore, rimangono in soluzione a patto che se ne impedisca una eccessiva concentrazione con opportuni e continui spurghi di caldaia limitando di conseguenza la concentrazione salina che diversamente tenderebbe ad aumentare proporzionalmente alla generazione del vapore.

La trasformazione di questi sali però provoca condizioni per il verificarsi di attacchi corrosivi, infatti i sali subiscono trasformazioni chimiche (Fig. 9) innescate e facilitate dal calore.

Infatti il bicarbonato di sodio, secondo una reazione già vista per il calcio e magnesio, sotto l'effetto catalizzante del calore si scompone in carbonato di sodio, biossido di carbonio ed acqua.

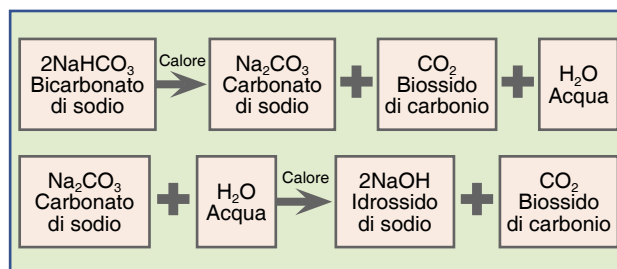


Fig. 9 - Sali solubili di "non durezza" non formano depositi purché non se ne permettano alte concentrazioni ma nelle trasformazioni si ha sviluppo di CO₂

Questa volta il carbonato è caratterizzato però da una alta solubilità e, purché la sua concentrazione sia mantenuta entro certi limiti, rimane in sospensione senza generare scaglie o depositi incrostanti ma certamente l'anidride carbonica e la conseguente formazione del corrispondente acido carbonico provocherà probabili problemi di corrosione nei circuiti di caldaia e di distribuzione del vapore.

Il totale dei sali presenti in soluzione nell'acqua formato dalla somma dei sali di Durezza Totale e dei sali di Non Durezza costituisce il Totale dei Solidi Disciolti e rappresenta il valore del "TDS" che, all'interno della caldaia, deve essere attentamente controllato e limitato mediante spurghi frequenti o meglio continuamente dosati.

Un metodo per determinare il livello di presenza di una impurità nei campioni di acqua è l'esprimerla nell'equivalente ammontare di carbonato di calcio sapendo che il peso molecolare del CaCO₃ è pari a 100.

Questo facilita i confronti: è come trasformare le diverse monete quali dollaro, sterlina, lira, franco, in una comunitaria come l'euro applicando il relativo tasso di conversione.

Quando i sali vengono dissolti dall'acqua formano particelle caricate elettricamente denominate Ioni che vengono sottoclassificati in Cationi ed Anioni in funzione della loro carica positiva o negativa.

Gli elementi metallici (calcio, magnesio, sodio, ecc.) sono cationi e portano cariche elettriche positive.

Gli anioni sono di origine non metallica e caratterizzati da cariche negative, bicarbonati, carbonati, cloruri, solfati, ecc.

Il valore del pH - La misura del pH ha un importante peso sia nei processi di depurazione che nella conduzione della caldaia. Il valore del pH ci dà una immediata lettura del grado di acidità o di alcalinità della soluzione andando a determinare la presenza prevalente degli ioni di idrogeno libero (H⁺) in una data soluzione rispetto gli ossidrili (OH⁻) liberi. La formula relativa alla determinazione del numero indicativo del pH è riportata a Fig. 10 unitamente ad una chiave di lettura tabulare.

Valore pH	Concentrazione ioni idrogeno H ⁺	Concentrazione ioni ossidrili OH ⁻	Natura
0	10 ⁰	10 ⁻¹⁴	Acida
7	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	Neutra
14	10 ⁻¹⁴	10 ⁰	Alcalina

Temperatura di riferimento = 25°C

$$pH = \log \frac{1}{[H_3O^+]}$$

Fig. 10 - Scala dei valori di pH

Nell'intervallo pH = 0÷7 si hanno "Ioni di Idrogeno" in proporzione inversa al numero indicativo e nel campo pH = 7÷14, zona alcalina, il numero degli "Ossidrilioni OH⁻" sarà maggiore con l'aumento del numero indicativo.

Il diagramma di Fig.11 fornisce una visione dell'intero spettro coperto. Si tenga presente che, per essere confrontabili, le misure devono essere effettuate alla temperatura di riferimento di 25°C in quanto la temperatura dell'acqua crea una variazione della dissociazione e delle letture.

Sulla parte destra del diagramma sono indicati i riferimenti dei livelli di neutralità a temperature diverse dai 25°C di riferimento.

I campioni in prelievo dalle caldaie devono essere opportunamente raffreddati con appositi dispositivi durante l'operazione di prelievo per evitare la rievaporazione e la conseguente concentrazione dei contenuti.

Al pH dell'acqua di caldaia o delle condense si danno le seguenti interpretazioni:

- pH = 0÷4,3 zona degli acidi liberi, decisamente acida e corrodente;
- pH = 4,3÷8,3 zona neutra; la leggera acidità può essere peggiorata dalla presenza di anidride carbonica
- pH = 8,3÷13 zona alcalina; quella di sicurezza è intorno a pH 9,5;
- pH = 13÷14 zona altamente alcalina, tale da provocare corrosioni.

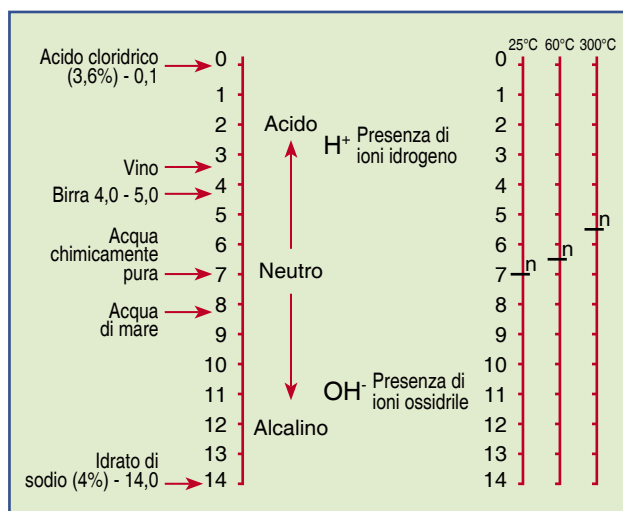


Fig. 11 - Scala di acidità - pH

L'anidride carbonica come tale (o trasformata in acido carbonico), l'idrogeno e l'ossigeno abbassano il pH dell'acqua.

L'alcalinità aumenta con la concentrazione degli Alcali in modo più o meno rilevante a seconda dell'acqua immessa in caldaia, quindi quella a forte durezza carbonatica (o temporanea), cioè la presenza di Calcio e di Magnesio, elementi alcalino-terrosi, e di Sodio e Potassio, alcali forti tali da ionizzarsi facilmente in soluzioni acquose, daranno un ambiente fortemente basico.

Il pH dell'acqua da trattare ha rilevanza per gli impianti a membrane (osmosi) che richiedono un corretto equilibrio tra il pH, la durezza e l'alcalinità, per evitare precipitazioni calcaree sulle membrane.

All'interno della caldaia il pH è ancora più importante perché i pH troppo bassi causano corrosioni generalizzate per aggressione acida, mentre quelli troppo alti causano corrosione nei punti di tensione del metallo (stress corrosion).

La forma più nota di questo tipo di corrosione Alcalina è la cosiddetta fragilità caustica che può causare rotture anche in tempi molto brevi o addirittura scoppi.

La gestione del pH dell'acqua di caldaia è uno dei punti fondamentali di una corretta conduzione e richiede un buon equilibrio tra il condizionamento chimico e la gestione degli spurghi.

Scopi del trattamento - L'acqua di caldaia viene opportunamente trattata con il preciso intento di:

1. Evitare la formazione di depositi in tutti i circuiti dedicati all'acqua;
2. Minimizzare le corrosioni in caldaia, nel sistema di distribuzione vapore ed in quello di ritorno condense;
3. Minimizzare la produzione di schiume e trascinalti dell'acqua di caldaia nel vapore assicurando la miglior qualità del vapore.

I risultati ottenibili assicureranno:

- Lunga vita di lavoro;
- Massima efficienza ed ottimo rendimento termico;
- Funzionamento sicuro e privo di rischi;
- Manutenzione ridotta al minimo.

La qualità dell'acqua di alimento sarà adeguata al tipo di caldaia servito ed ai suoi parametri di pressione e temperatura di generazione assicurando:

1. **Assenza di depositi, incrostazioni, scaglie e fanghi;** abbiamo visto che altrimenti, in presenza di durezza, si generano depositi ed incrostazioni sulle superfici di scambio con conseguente riduzione dei coefficienti di scambio, dell'efficienza termica ed il moltiplicarsi degli interventi di pulizia e disincrostazione. In queste condizioni i fasci tubieri, non più sufficientemente raffreddati, si surriscaldano fino a creare uno stress metallico difficilmente sopportabile dalla struttura e danneggiamenti molto seri con perdite di liquido e pericolo per la sicurezza.

2. **Assenza di processi corrosivi;** se l'acqua contiene in soluzione, od in essa si generano a causa di reazioni chimiche, gas quali ossigeno, anidride carbonica, idrogeno, si ha l'insorgere di fenomeni corrosivi e di attacco sulle superfici della caldaia, sulle tubazioni in genere e sulle apparecchiature ad esse connesse. Inoltre quando il pH dell'acqua non è regolato e mantenuto all'interno del giusto intervallo si hanno grossi problemi sia per il superamento dei valori ammessi sia per livelli troppo bassi.

Con soluzioni acide si rischiano attacchi corrosivi generalizzati su tutte le superfici metalliche, mentre con soluzioni eccessivamente alcaline si generano altri inconvenienti quali ad esempio la presenza di schiume la cui indesiderabilità è motivata nel successivo paragrafo.

Il pH in caldaia dovrebbe essere mantenuto in un intervallo tra 8,5 e 10,5 in funzione della pressione di lavoro, del tipo di caldaia, della natura dei sali presenti, e dei condizionanti impiegati. Valori di alcalinità più elevati devono essere assolutamente evitati per non incorrere nei pericolosi fenomeni di attacco alcalino denominato anche "fragilità caustica" che attacca profondamente ed in modo veloce i metalli in corrispondenza di punti soggetti a tensioni interne.

L'ambiente più favorevole a questo tipo di fenomeno è la presenza di concentrazioni di soda caustica (idrossido di sodio).

3. Produzione di vapore di ottima qualità; se i solidi disciolti in caldaia non sono attentamente controllati e gestiti nei loro equilibri, si possono facilmente verificare trascinamenti liquidi nel vapore.

Si distinguono due diversi tipi di presenza d'acqua all'uscita della caldaia: le proiezioni liquide e le schiume (Fig. 12a e b). La presenza di proiezioni liquide nel vapore prodotto sono in genere causate dal modo di operare sulla caldaia:

- Livello di regolazione troppo alto;
- Utilizzo della caldaia a pressione molto inferiore alle sue condizioni di calcolo (bollo), cosa che aumenta notevolmente il volume delle bolle che scoppiano con maggiori proiezioni liquide e che aumenta sensibilmente la velocità di sviluppo del vapore;
- Carichi di prelievo vapore troppo elevati e variazioni di portata improvvise.

La seconda causa di trascinamento liquido sono le schiume che si formano in caldaia durante l'ebollizione e queste sono dovute a condizioni chimiche non ottimali per il processo: parte delle bolle si mantengono troppo piccole, non scoppiano liberando il vapore contenuto ma vengono trascinate verso la distribuzione portandosi il proprio carico di umidità e di sali concentrati dall'ebollizione contenuti dall'acqua di caldaia.

I trascinamenti di liquido e sali nella rete di distribuzione ed utilizzo del vapore porta inquinamento, depositi sulle varie apparecchiature di utilizzo e controllo ed attacchi corrosivi: scambiatori di calore, valvole di regolazione, scaricatori di condensa e funzionalità impiantistico produttiva ne fanno le spese.

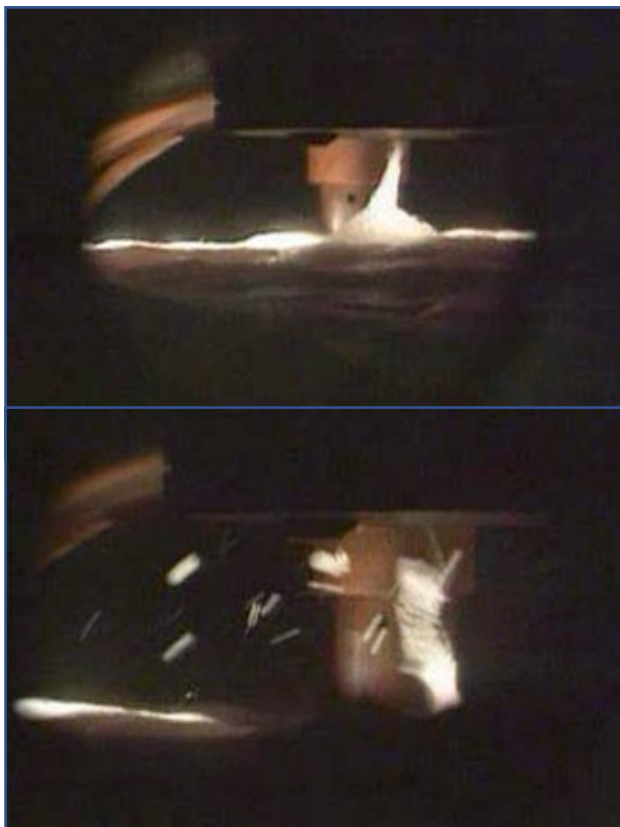


Fig. 12a - Trascinamenti liquidi delle acque di caldaia

4. Sicurezza di esercizio; il grave pericolo del surriscaldamento del fasciame di caldaia dovuto alle incrostazioni e quello dovuto ai processi corrosivi di diversa natura causati dai gas presenti è chiaramente comprensibile. In aggiunta la formazione di schiume, di scaglie e fanghi può creare condizioni di malfunzionamento e di rischio anche sull'impianto di utilizzo.

Acqua di alimento ed acqua di reintegro

Con la generazione del vapore, l'evaporazione dell'acqua di caldaia rende necessario il reintegro continuo mediante pompaggio in caldaia di nuova "Acqua di alimento".

D'altra parte il vapore prelevato e distribuito viene utilizzato dalle varie apparecchiature di processo assorbendo calore e dando luogo al processo di condensazione.

A meno che il processo non sia fonte di qualche improbabile forma di contaminazione, le condense prodotte sono acque calde di ottima qualità, ideali per l'alimentazione della caldaia ed è pressoché indispensabile, anzi imperativo, visto ormai il costo dei combustibili, ritornarle scrupolosamente in centrale termica per il loro riutilizzo.

In ogni caso è praticamente impossibile ottenere il ritorno totale delle condense dall'impianto di stabilimento perché ci possono essere utilizzi per iniezioni dirette o consumi per rievaporazione ed in ogni caso altri scarichi con perdita di acqua depurata, quali ad esempio gli spurghi di caldaia per la regolazione del TDS e gli scarichi di fondo per le defangazioni.

Per rimpiazzare tali consumi una certa quantità di nuova acqua deve sempre essere aggiunta ad integrazione delle condense di ritorno per sopperire alle necessità di centrale.

Quindi una nuova quantità di acqua greggia dovrà essere sottoposta a trattamento ed aggiunta sotto la denominazione di "Acqua di reintegro" al pozzo di raccolta delle condense posto a servizio delle caldaie (schema di Fig. 13).

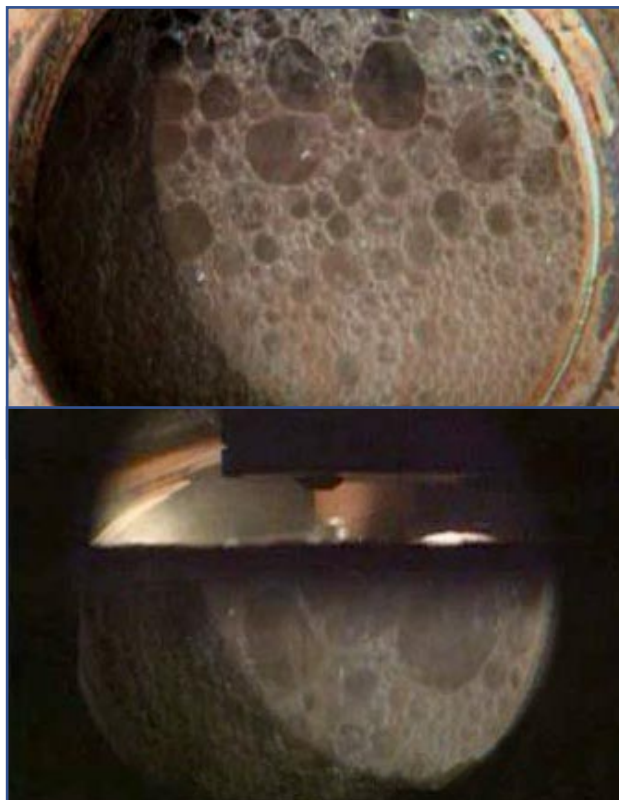


Fig. 12b - Formazione di schiume e trascinamenti da parte del vapore

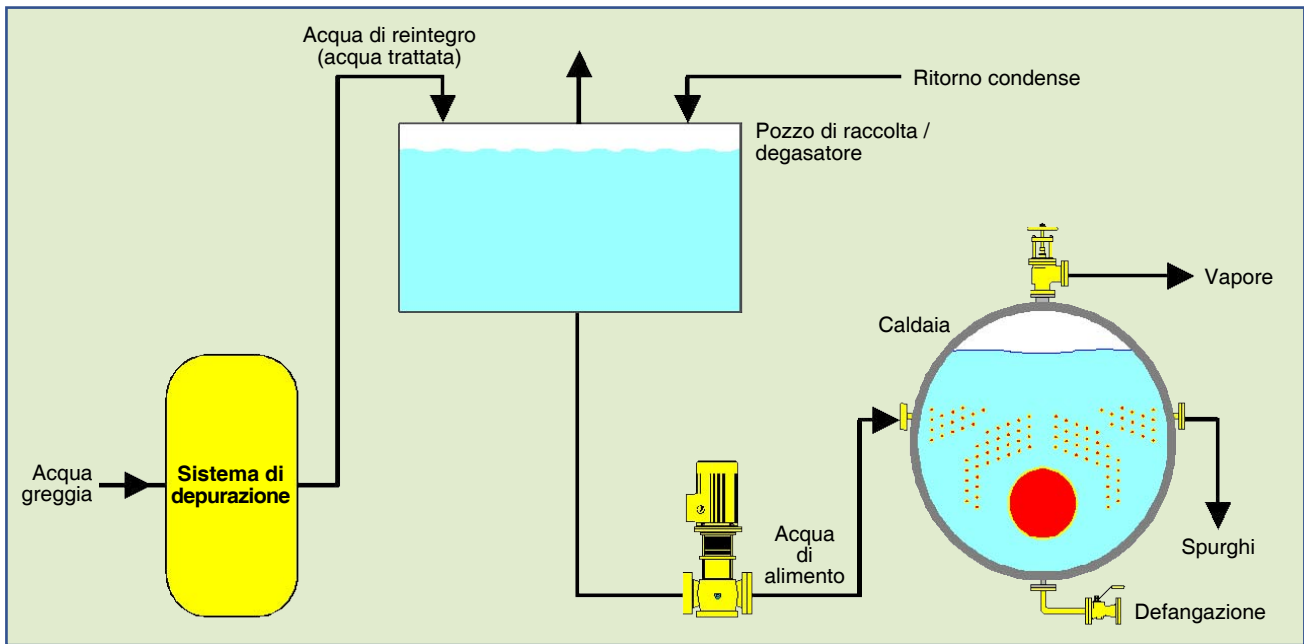


Fig. 13 - Acqua di reintegro - Ritorno condense - Acqua di alimento caldaia

Il trattamento fisico-chimico cui deve essere sottoposta l'acqua di alimento dipende da un certo numero di fattori tra i quali:

- La durezza dell'acqua di reintegro e le impurità in essa contenute;
- La quantità delle condense ritornate in centrale per il riutilizzo e la sua qualità in termini di pH, di contenuto TDS, e durezza;
- Il tipo di caldaia, conformazione e caratteristiche costruttive, e condizioni operative;
- Uso a cui è destinato il vapore sull'impianto (industriale in apparecchiature di scambio termico, alimentare, sanitario, farmaceutico, ecc.).

La decisione sul tipo di trattamento chimico riguardante il condizionamento finale e l'equilibrio chimico da mantenere il caldaia è una decisione molto delicata e spesso impone considerazioni da affidare a specialisti competenti ed esperti specifici che conoscano a fondo la problematica di centrale, ma che sappiano anche interpretare e comprendere le specifiche e le necessità della tecnologia produttiva dei cicli per cui verrà utilizzato il vapore. Avendo effettuato una carrellata ed una disanima volta a mettere in luce i vari fenomeni e le necessità che impongono l'attento trattamento delle acque di alimento delle caldaie per la generazione di vapore, spostiamo ora l'attenzione sulle varie forme di trattamento per ottenere una adeguata filtrazione, un corretto trattamento di depurazione ed una necessaria degasazione prima di immettere in caldaia le acque da evaporare.

Filtrazione

Gli impianti di filtrazione vengono normalmente previsti per proteggere e preservare i sistemi di depurazione che altrimenti avrebbero vita breve od addirittura non potrebbero funzionare.

- Filtri a Sabbia

Sono filtri in pressione caricati con uno strato di sabbia di altezza non inferiore ad un metro sotto il quale si trova generalmente uno strato, o più strati, di graniglia di supporto che serve per la distribuzione dell'acqua e per evitare la fuoriuscita della sabbia dal filtro; spesso

la sabbia è disposta con granulometrie differenziate decrescenti dal basso verso l'alto in modo che invertendo il flusso di attraversamento si procede alla pulizia periodica del filtro avviando al progressivo intasamento; spesso per facilitare l'operazione si inietta un adeguato flusso di aria che tende a distanziare i granelli durante il lavaggio, Fig. 14.

Questi filtri devono operare a velocità molto ridotte, non superiori a 5 m/h e garantiscono una finezza del filtrato sull'ordine dei 10÷20 micrometri (μm) raggiungendo 3÷5 micrometri (μm) quando si predisponga un'operazione di preventiva flocculazione.

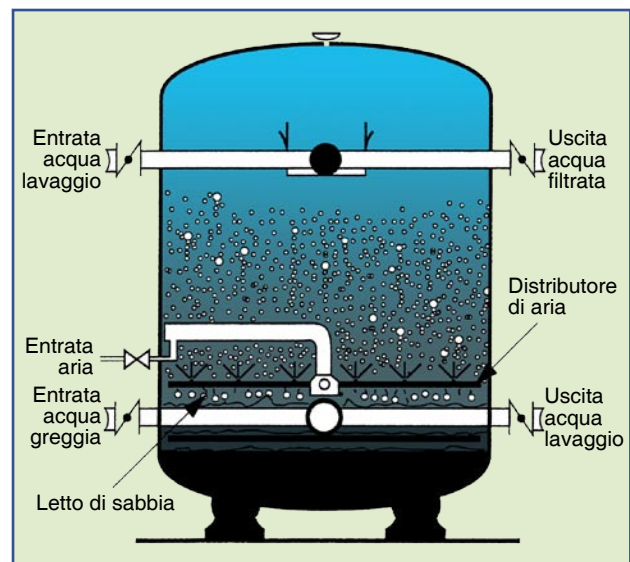


Fig. 14 - Schema di filtro a sabbia multistrato

- Filtri a Graniglia

La carica di questi filtri è costituita da una serie di graniglie, in genere di quarzo, a granulometria decrescente dal basso verso l'alto.

Gli strati a granulometria maggiore fungono da supporto per quelli a granulometria minore e contemporaneamente da dreno, favorendo una distribuzione ideale dell'acqua e facilitando la pulizia in controcorrente.

Questo tipo di filtro viene normalmente utilizzato con una flocculazione in linea o in bacino a monte del filtro stesso: la flocculazione consente di eliminare particelle

di piccolo diametro e sostanze colloidali e, dato che i flocculi trattenuti dal filtro riducono la luce del passaggio tra i granuli, aumenta l'efficacia filtrante con l'aumento dell'intasamento del filtro.

Questo sistema presenta 2 limitazioni fondamentali: la velocità di filtrazione non può essere in nessun caso superiore a 20÷25 m/h, inoltre il lavaggio riduce l'efficacia filtrante, che viene recuperata solo dopo un certo periodo di funzionamento, mentre immediatamente dopo ogni lavaggio la qualità del filtrato è decisamente scadente.

- Filtri Multistrato ad Effetto Catalitico

Il concetto del filtro multistrato nasce da un'evoluzione del filtro a graniglia, ma lo strato filtrante superiore è costituito da materiale diverso come peso specifico e composizione, antracite, carbone attivo, sfere di acciaio al carbonio o ferro dolce, spesso dotato di attività catalitica mirata in funzione della composizione e presenza dei materiali da separare.

Ciò consente di accelerare la velocità di attraversamento del filtro che può raggiungere i 40÷50 m/h.

Contemporaneamente si risolve il problema del peggioramento del filtrato, dopo ogni lavaggio accennato per i filtri a graniglia, poiché già durante la fase di chiarificazione che segue ogni lavaggio, il filtro raggiunge la sua piena efficienza con una finezza di filtrazione che si aggira sull'ordine di 0,1 micrometri.

Questi apparecchi trattengono quindi impurezze a livello batterico e, in effetti, all'uscita si può verificare una drastica diminuzione del numero di colonie batteriche, diminuzione che il più delle volte raggiunge il 90% e questo è molto importante quando si usa questo filtro come pretrattamento della Osmosi inversa.

- Filtri Deferrizzatori e Demanganizzatori

Quando il problema è quello della presenza di Ferro e/o Manganese, si utilizzano filtri speciali a monte dei quali si dosano ossidanti che trasformano, sia il Ferro che il Manganese, dalla forma ionica in una forma insolubile e quindi filtrabile.

I filtri che si utilizzano sono i seguenti:

- Filtri Deferrizzatori

Sono costruttivamente identici ai filtri a graniglia o ai filtri multistrato.

Il Ferro nell'acqua è presente principalmente sotto forma di Ioni di Ferro bivalente, per cui si aggiungono ossidanti che trasformano il Ferro bivalente in Ferro trivalente (Ossido di Ferro), il quale si trasforma subito in Idrato Ferrico insolubile, in forma di flocculi che vengono trattenuti dal filtro.

Gli ossidanti normalmente impiegati a questo scopo sono Aria, Pergammato di Potassio, Cloruro e Ozono.

I sistemi moderni in genere escludono l'Aria che impone tempi decisamente lunghi, mentre gli altri 3 ossidanti sono in uso normalmente e, di volta in volta, viene preferito quello più idoneo in funzione della composizione dell'acqua e delle esigenze relative all'acqua trattata.

La velocità di attraversamento del filtro varia in funzione della quantità di ferro da trattenere, ma in linea di massima le velocità per i filtri a graniglia sono tra 2 e 15 m/h, mentre le velocità per i filtri multistrato sono tra 10 e 40 m/h.

- Filtri Demanganizzatori

Il problema del Manganese è identico a quello del Ferro e i sistemi di ossidazione e di filtrazione sono gli stessi. Dato però che il Manganese è assai più difficile da ossidare del Ferro, le velocità di filtrazione vengono notevolmente ridotte.

Se poi, come capita, vi è presenza contemporanea di Ferro e Manganese, è necessario, nel dimensionamento, ridurre ancora la velocità e alcune volte

ricorrere ad una filtrazione in 2 stadi successivi, con due filtri montati in serie.

L'acqua, una volta sottoposta all'idonea operazione di filtrazione, può ora essere avviata al sistema di depurazione prescelto senza tema che possa causare problemi funzionali di alcun genere.

Differenziazione dei trattamenti di depurazione

- La tecnica del trattamento adottato può variare sostanzialmente in relazione ai contenuti salini dell'acqua e deve essere comunque finalizzata alle necessità imposte dal tipo di caldaia ed alle specifiche tecniche previste per la qualità del vapore in funzione dell'impiego per cui è destinato.

I sistemi più diffusi e largamente impiegati sono tuttora procedimenti chimici basati sullo scambio di ioni cui si affiancano con presenza in espansione trattamenti basati sul principio dell'osmosi inversa che si va diffondendo, malgrado il costo relativamente elevato, grazie alla sua flessibilità e alla semplicità e facilità di conduzione.

I procedimenti a scambio di ioni sono i più largamente diffusi e forniscono risultati differenziati in funzione della loro composizione e del modo di operare: il livello più basso esegue soltanto una semplice conversione dei sali a bassa solubilità con sali decisamente più solubili permettendone una maggiore concentrazione in caldaia senza arrivare al pericolo di superare la soglia di separazione e precipitazione: il valore del carico salino nell'acqua non diminuisce a seguito del trattamento ma rimane invariato.

Questo sistema, pur avendo un costo di investimento relativamente modesto, impone poi in esercizio una serie di spurghi di portata sensibile che innalzano in modo non trascurabile il costo di conduzione; il metodo inoltre è accettabile esclusivamente per caldaie di modeste prestazioni: caldaie a tubi di fumo di bassa potenzialità e pressione medio-bassa.

In applicazioni più importanti e volendo ottenere una maggiore affidabilità, occorre invece eliminare completamente almeno i carbonati ed i bicarbonati di calcio e magnesio che costituiscono la durezza temporanea, accettando poi di convertire i sali di durezza permanente, cloruri di calcio e magnesio, in sali a maggiore solubilità. Costituisce questo un metodo intermedio per costi ma anche per risultati e spettro applicativo di impiego.

Il livello più elevato tra i procedimenti a scambio di ioni è chiaramente il più costoso ma è decisamente completo e della massima affidabilità e sicurezza per la caldaia. Tutti i sali contenuti vengono eliminati con totale abbattimento del carico salino (TDS).

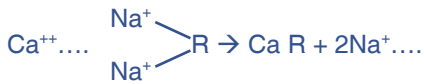
Esaminiamo ora in dettaglio i tre procedimenti per comprendere chiaramente come operano e quali siano i risultati assicurati. Il procedimento a scambio di ioni prevede che l'acqua da depurare sia fatta passare attraverso serbatoi contenenti letti formati da resine sintetiche caratterizzate da cariche elettriche positive o negative di forza attrattiva più o meno elevata. Caratteristica di queste resine è la proprietà di scambiare gli ioni di cui sono caricate con quelli dei sali in soluzione nell'acqua in modo da ottenere a fine trattamento un'acqua con caratteristiche più adatte al servizio cui sono destinate.

Dopo un certo periodo di attività le resine si esauriscono avendo ormai scambiato e quindi perso la quasi totalità degli ioni iniziali di cui erano cariche. Occorrerà quindi avviare un procedimento di rigenerazione mediante soluzioni saline oppure mediante acidi od alcali in funzione del tipo di processo che si sta effettuando.

Vediamo i tre diversi casi più comunemente usati, come agiscono ed i risultati che si ottengono.

Addolcimento o Decalcificazione - Fare riferimento alla Fig. 15. Questo è il sistema più elementare e semplice e dà anche, come conseguenza e come puntualizzato, un risultato modesto.

Il letto di resine, che in questo processo sono di tipo **Cationico Forte** in ciclo sodico, viene inizialmente attivato o caricato effettuando un lavaggio con una soluzione di acqua al 10-12% di cloruro di sodio (normale sale da cucina). Il procedimento ottiene un arricchimento da parte delle resine dello ione sodio (Na^+) fino a saturazione. Quando durante il ciclo di addolcimento l'acqua da trattare viene pompata attraverso il letto di resine, gli ioni di calcio (Ca^{++}) e magnesio (Mg^{++}) contenuti nei sali di durezza totale ed aventi carica superiore, scalzano il sodio dalle resine lasciando l'acqua ricca dei sali di sodio così formati. La reazione tipica è la seguente:



Come indicato in Fig. 15 quindi i sali di durezza temporanea, bicarbonati di calcio e magnesio, ed i sali di durezza permanente, solfati e cloruri di calcio e magnesio, vengono trasformati nei rispettivi sali di sodio a più elevato tasso di solubilità. In caldaia verranno immessi bicarbonati, solfati e cloruri di sodio; i silicati ed eventuali altri sali passano inalterati. Come già evidenziato a Fig. 9 occorre anche tenere presente che, sotto l'effetto del riscaldamento, il bicarbonato di sodio si trasforma in carbonato liberando anidride carbonica; il carbonato forma poi con l'acqua l'idrossido di sodio liberando ancora CO_2 .

L'anidride carbonica genera, sia direttamente che combinandosi con l'acqua e generando acido carbonico, eventi corrosivi. I sali di sodio si concentrano ed aumentano inoltre il pH di caldaia tendendo anche a creare schiume: ragioni per cui sarà necessario effettuare una elevata percentuale di spurghi.

Nella Fig. 15 viene evidenziato che la durezza totale viene scambiata con sali di sodio e che il contenuto totale dei solidi disciolti (TDS) non cambia: tutto quello che è stato fatto è la sostituzione di sali potenzialmente dannosi con sali più solubili e che non precipiteranno facilmente a patto che non ne si permetta una alta concentrazione.

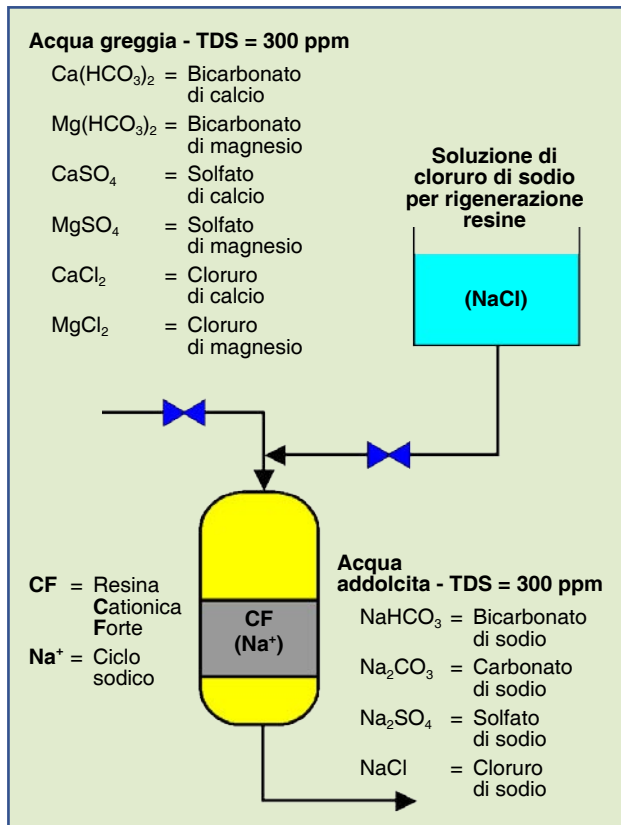


Fig. 15 - Schema di impianto di addolcimento

Poiché non c'è variazione del livello del TDS non è nemmeno rilevabile a mezzo dell'aumento della conduttività il punto di esaurimento delle resine. La rigenerazione dovrà essere quindi attivata a tempo od in base alla totalizzazione della portata.

Il sistema di addolcimento è decisamente poco costoso sia come investimento che come conduzione ma deve essere utilizzato con le limitazioni più sopra citate ed in quegli impianti in cui il ritorno delle condense dall'impianto sia superiore ad almeno il 60% rispetto la quantità di vapore generato in modo che sia sufficientemente limitato l'apporto di acque con sensibile carico salino che porterebbero i problemi di attacco acido e degli spurghi a livelli non accettabili.

Decarbonatazione ed addolcimento - Fare riferimento alla Fig. 16. Questo sistema presenta una funzionalità più elevata del precedente ed assicura una buona riduzione del carico salino totale eliminando completamente i sali di durezza temporanea e convertendo la durezza permanente in sali di sodio a maggiore solubilità.

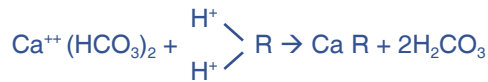
Il sistema è composto da unità plurime disposte in serie sul flusso dell'acqua da trattare. Del sistema esistono numerose varianti di cui descriviamo la più diffusa.

La prima colonna che è quella che svolge la funzione di decarbonatazione utilizza un letto di resine **Cationiche Deboli** in ciclo acido.

Le resine vengono attivate effettuando un lavaggio a base di acido cloridrico; il procedimento ottiene un arricchimento da parte delle resine con lo ione H^+ fino a saturazione.

Le resine sono ora in grado di scambiare il Calcio (Ca^{++}) ed il Magnesio (Mg^{++}) contenuti nei sali di durezza temporanea ed il Sodio (Na^+) dei carbonati e bicarbonati con l'idrogeno (H^+) dalle resine lasciando l'acqua ricca di acido carbonico formatosi per la sostituzione avvenuta. I carbonati ed i bicarbonati di Ca, Mg e Na vengono quindi trasformati in Acido Carbonico.

La reazione tipica è la seguente:



L'Acido Carbonico, che è instabile, si decompone poi secondo la reazione:



e dà origine alla formazione di acqua e di Anidride Carbonica. Per questo motivo l'acqua in uscita dal Decarbonatore, che è sempre acida, viene fatta passare in una torre di degasazione, dove, su un letto di anelli di Rasching, che serve per la suddivisione dell'acqua in strato sottile, si immette aria in contro corrente, in modo di strappare l'eccesso di Anidride Carbonica presente.

In questo modo l'acqua, dopo il trattamento di degasazione risulta essere quasi totalmente priva di Anidride Carbonica ed il suo pH dovrebbe essere neutro; in realtà vari effetti causano sempre una certa acidità dell'acqua in uscita; per questa ragione, immediatamente a valle dello stripping vengono effettuate correzioni mediante iniezione di Idrato Sodico.

Ad integrazione di queste fasi di norma si prevede poi una colonna di addolcimento, in modo da trasformare anche i sali di durezza permanente, solfati e cloruri di Ca e Mg, che non sono stati interessati dal trattamento precedente, nei corrispettivi sali di sodio.

La colonna finale quindi è perfettamente identica a quella che abbiamo esaminato per il trattamento di addolcimento e la reazione tipica è la seguente:



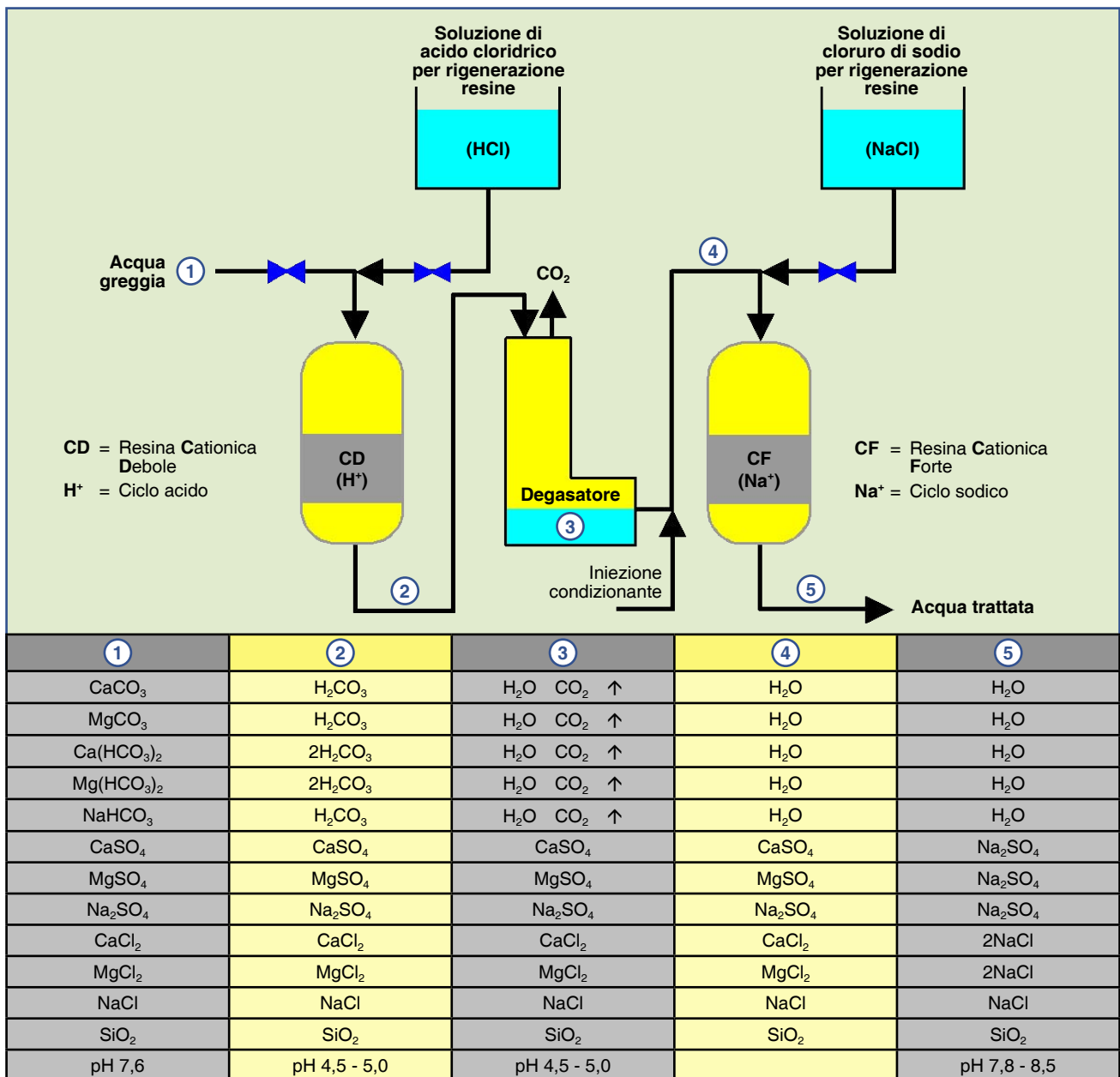


Fig. 16 - Schema di impianto di decarbonazione ed addolcimento

Il flusso ed il tipo di sali presenti nei vari tratti d'impianto distinti da numeri identificativi sono rappresentati dalla corrispondente sezione della tabella di Fig. 16.

La Fig. 17 evidenzia invece la modifica e la drastica riduzione di concentrazione salina ottenuta dal processo.

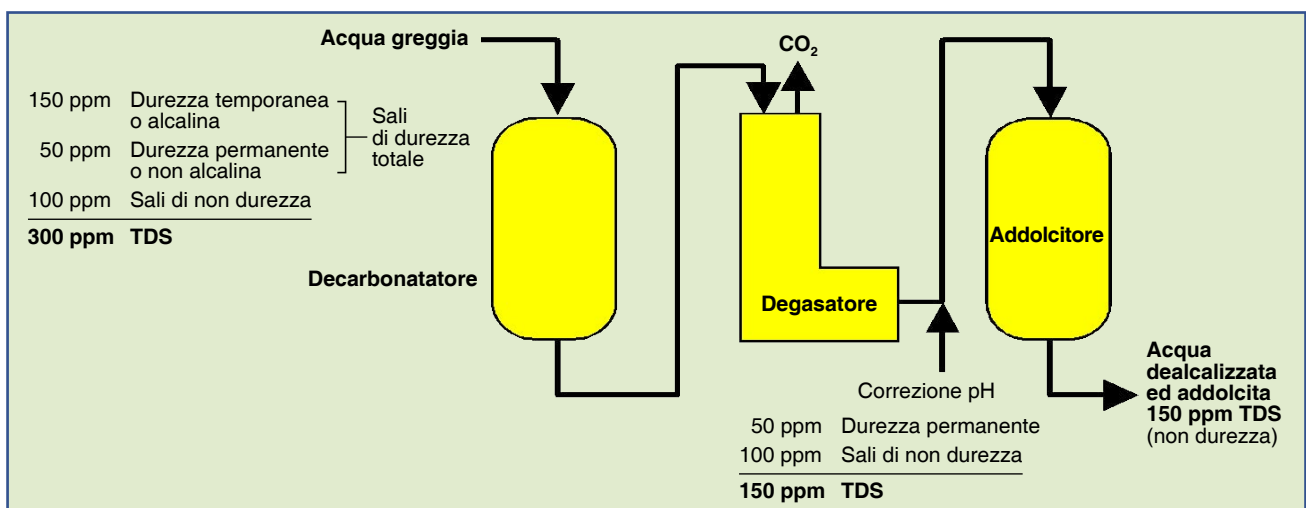


Fig. 17 - Riduzione della concentrazione salina operata dalla decarbonazione

In sintesi, questo tipo di trattamento ha eliminato una parte dei sali presenti, e precisamente i Bicarbonati, trasformandoli in Anidride Carbonica che viene asportata dall'acqua in modo fisico-meccanico, mentre trasforma i restanti sali in sali non incrostanti (durezza residua $0,1 \div 0,2^\circ\text{F}$).

In caldaia verranno immessi Solfati e Cloruri di Sodio ed i Silicati che passano inalterati.

Dopo il trattamento ci si trova ad avere a che fare con un'acqua scarsamente mineralizzata e di conseguenza aggressiva; per questa ragione, prima dell'immissione negli impianti di utilizzazione, occorre controllare ed eventualmente correggere il pH e neutralizzare l'aggressività dell'acqua con il dosaggio di adatti condizionanti chimici.

Demineralizzazione - Fare riferimento alla Fig. 18.

La demineralizzazione prevede tramite due scambi ionici successivi, la trasformazione di tutti i sali presenti in acqua costituendo il trattamento più completo, adatto ad

ogni tipo di caldaia, incluse quelle ad alta pressione ed a temperature elevate delle centrali per la produzione di energia elettrica o di cogenerazione.

Lo schema classico più diffuso di demineralizzazione, nella sua conformazione fisica, è molto simile al precedente visto per la decarbonatazione, ma il principio chimico operativo è sostanzialmente diverso.

Anche in questo caso sono presenti due colonne a scambio ionico intervallate dalla torre di stripping.

La prima colonna utilizza un letto di resine Cationiche Forti in ciclo acido.

Le resine vengono attivate effettuando un lavaggio a base di acido cloridrico; il procedimento ottiene un arricchimento da parte delle resine con lo ione H^+ fino a saturazione.

Le resine sono ora in grado di scambiare il Calcio (Ca^{++}) il Magnesio (Mg^{++}) il Sodio (Na^+) e la Silice di tutti i sali presenti con l'idrogeno (H^+) generando i corrispondenti acidi: carbonico, solforico, cloridrico e silicico.

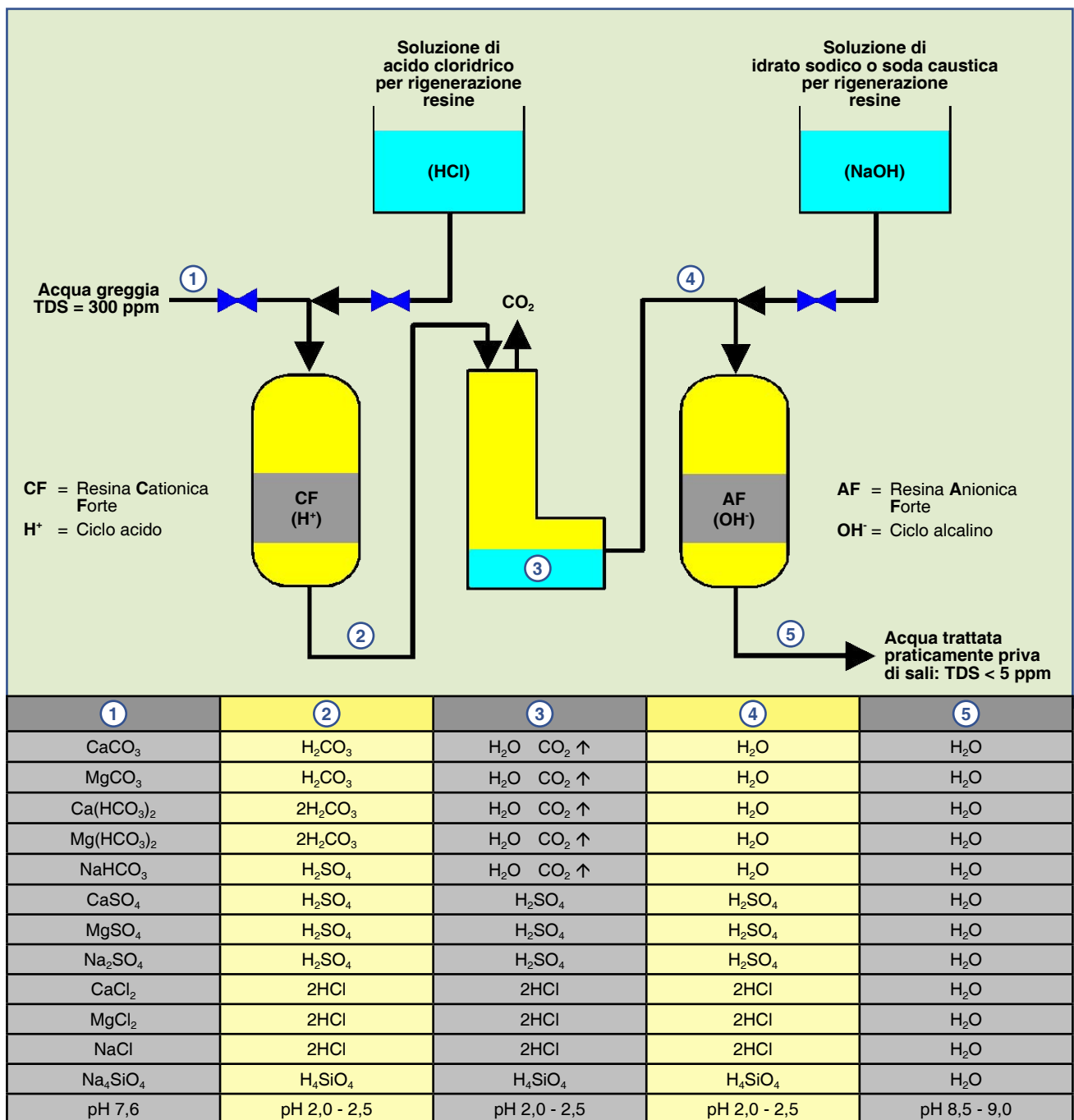
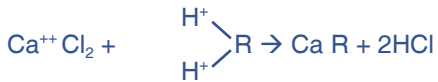
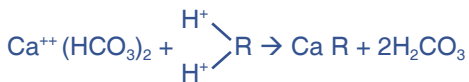


Fig. 18 - Schema di impianto di demineralizzazione

Le reazioni tipiche sono le seguenti:



L'acido carbonico, poiché instabile si scinde in acqua ed anidride carbonica.

Il flusso raggiunge la torre di strippaggio e degasazione dove viene separato ed eliminato il biossido di carbonio; l'acqua con i restanti acidi raggiunge la seconda torre di scambio ionico per il completamento della depurazione.

In questa colonna le resine sono di tipo Anionico Forte e vengono rigenerate effettuando un lavaggio a base di idrato sodico o soda caustica; il procedimento ottiene un arricchimento delle resine con l'anione OH⁻.

Lo scambio che avviene sulle resine tra il Cloro, lo Zolfo, la Silice e l'anione OH⁻ trasforma gli acidi in acqua pura completamente priva di sali.

La reazione tipica è la seguente:



L'acqua in uscita è neutra o spesso leggermente acida e deve essere alcalinizzata e trattata con dosaggio di neutralizzanti chimici per ridurre l'aggressività.

Impianti ad osmosi inversa - E' questo un sistema di depurazione alternativo semplice, efficiente, sicuro e di facile conduzione che si sta progressivamente diffondendo con ottimi risultati in campi molto differenziati fino a coprire le necessità e le vincolanti specifiche dell'ospedaliero, della biotecnologia, del farmaceutico e dell'industria elettronica.

migrare attraverso la membrana. Quando sarà raggiunto l'equilibrio si vedrà quindi che nel comparto in cui era contenuta la soluzione a salinità più elevata il livello del liquido è salito, mentre è sceso quello della soluzione pura.

Il valore della pressione idrostatica di equilibrio è denominato "pressione osmotica" ed è un parametro caratteristico delle due soluzioni.

Spendiamo due parole sulla definizione di pressione osmotica.

Si può definire come la pressione che si deve esercitare su una soluzione per impedire il passaggio in essa di solventi quando soluzione e solvente siano separati da una membrana semipermeante.

La formula per determinare la pressione osmotica è la seguente:

$$P_o = R \cdot T \cdot C$$

dove:

"Po" è la pressione osmotica, espressa in millimetri di Hg,

"R" una costante,

"T" la temperatura assoluta,

"C" la concentrazione di soluto in grammi su 100 g d'acqua.

La costante R è risultata uguale a quella della legge generale dei gas ($P \cdot V = R \cdot T$) e la formula indicata può applicarsi alle soluzioni diluite, per cui si può dire che le soluzioni diluite obbediscono a una legge parallela a quella dei gas perfetti.

Nelle soluzioni molto diluite può infatti ritenersi che le molecole siano praticamente indipendenti tra loro, così come in un gas perfetto.

Il fenomeno dell'osmosi è reversibile, infatti basta applicare alla soluzione più concentrata una pressione superiore alla sua pressione osmotica per annullare la sua tendenza naturale a far migrare l'acqua pura verso l'acqua salata ed addirittura a invertire il senso di questo flusso, Fig. 20: in questo modo partendo dall'acqua salata si può produrre acqua pura e questo è il fenomeno dell'osmosi inversa che si applica nei processi di depurazione delle acque.

(continuazione al prossimo numero)

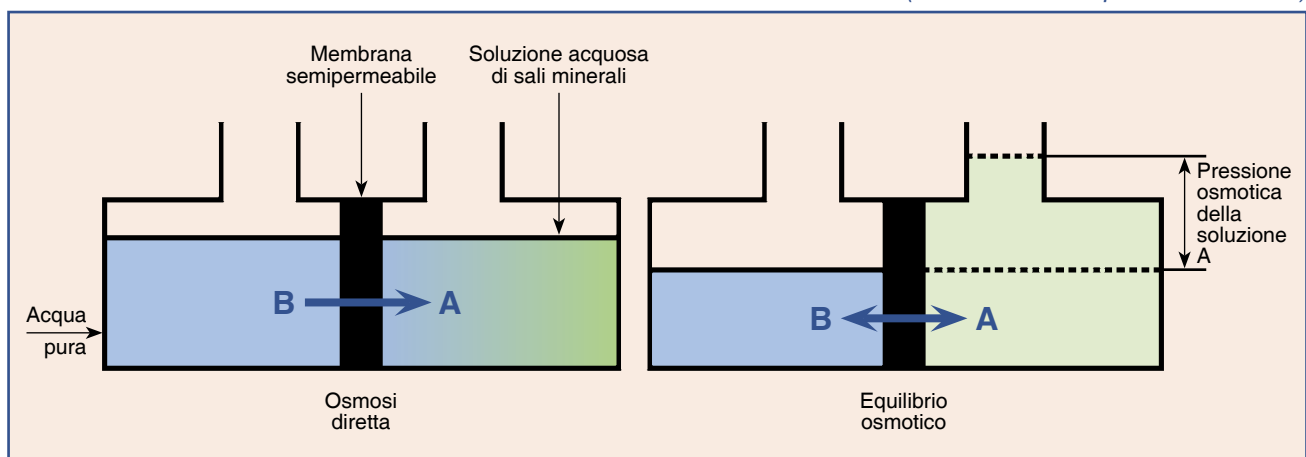


Fig. 19 - Fenomeno dell'osmosi naturale o diretta

Il principio operativo è ispirato alla legge dell'osmosi molto diffusa in natura: quando tra due soluzioni a concentrazione salina diversa si interpone una membrana semipermeabile, un elemento cioè che lascia diffondere l'acqua con difficoltà minore rispetto alle sostanze che in essa sono contenute, vedremo che l'acqua pura diffonde attraverso la membrana e va a diluire la soluzione più concentrata, Fig.19.

Questo fenomeno di diffusione procede spontaneamente fino a raggiungere un equilibrio allorquando la differenza di pressione generata dalla variazione di livello delle due soluzioni compensa la tendenza naturale dell'acqua a

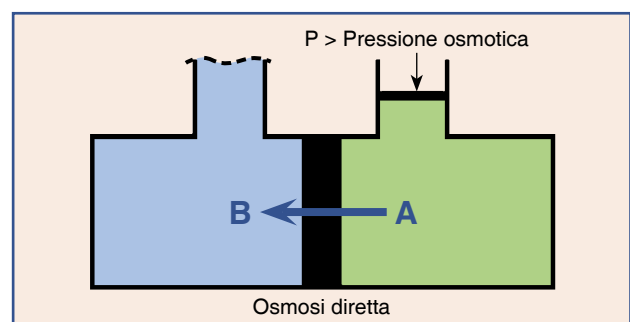


Fig. 20 - Fenomeno dell'osmosi inversa

Le acque di alimento caldaie vapore

Elementi base per un corretto trattamento *(seconda parte)*

(segue dal numero precedente)

Un impianto ad osmosi inversa è essenzialmente costituito da una o più membrane semipermeabili inserite in recipienti idonei a sopportare la pressione operativa dell'impianto e da un sistema di innalzamento della pressione per far passare l'acqua attraverso le membrane.

Il cuore dell'impianto ad osmosi è quindi costituito dalla membrana che è un sottilissimo diaframma costituente la barriera semipermeabile, utilizzata per separare l'acqua dai sali; questa membrana può essere realizzata con materiali diversi ed in forme disparate, spesso dettate dall'impiego specifico.

Poiché devono essere adeguatamente supportate, contenute e difese dalla alta pressione cui vengono sottoposte, vengono opportunamente inserite in moduli con modalità e conformazioni diverse.

Si hanno così moduli a membrane piane, moduli tubolari o moduli a filamenti porosi od a fibre cave.

I moduli che più facilmente sono impiegati negli impianti di centrale e termici in genere sono quelli a spirale con membrane a base poliammidica e a film composito, il cui principio operativo è chiaramente illustrato dai disegni schematici di fig. 21 e 22.

Come si vede la configurazione della membrana è a moduli a spirale che vengono costruiti sovrapponendo a sandwich: dreno del concentrato, membrana più supporto, dreno del permeato ed arrotolandoli su di un collettore centrale costituito da un tubo forato.

L'acqua in pressione circola assialmente lungo la membrana, mentre il permeato, raccolto dal suo dreno, segue la spirale con flusso in quadratura verso il collettore centrale ove si raccoglie; il concentrato si raccoglie sul fondo del recipiente in pressione in cui è contenuto il modulo e da lì avviato allo scarico od al ricircolo.

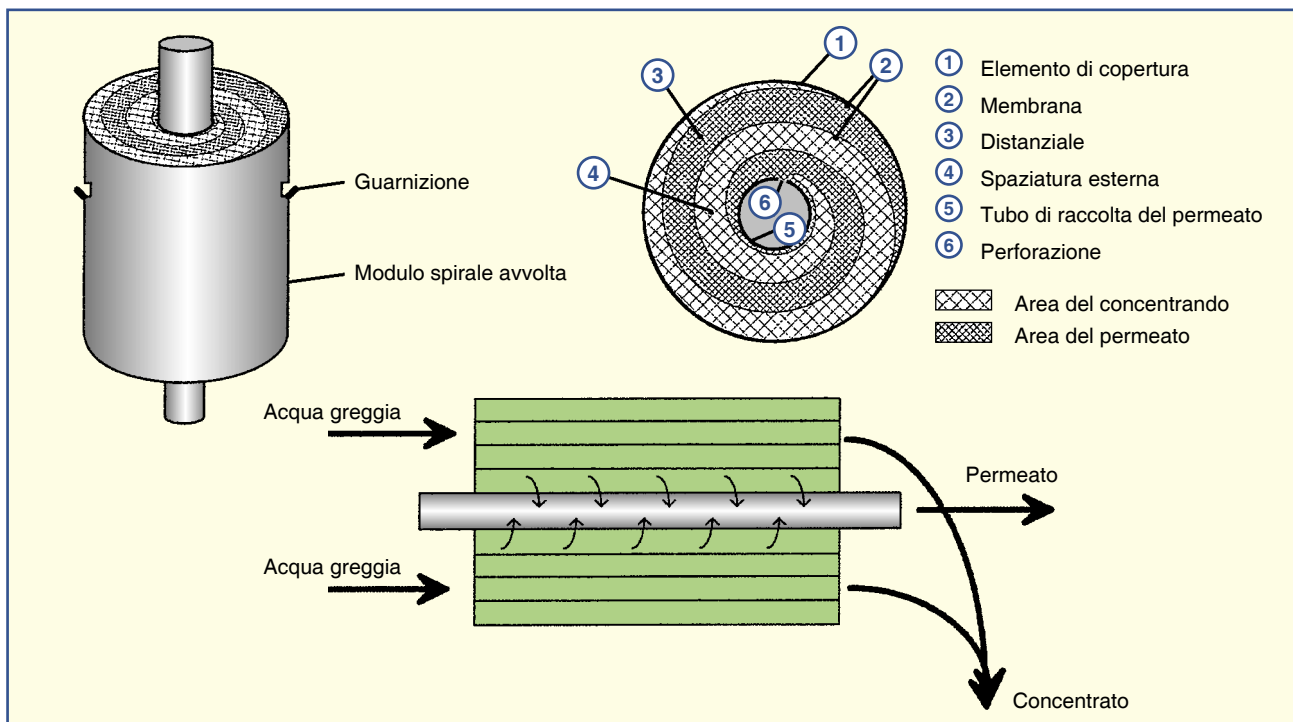


Fig. 21 - Sezione di una membrana composta avvolta

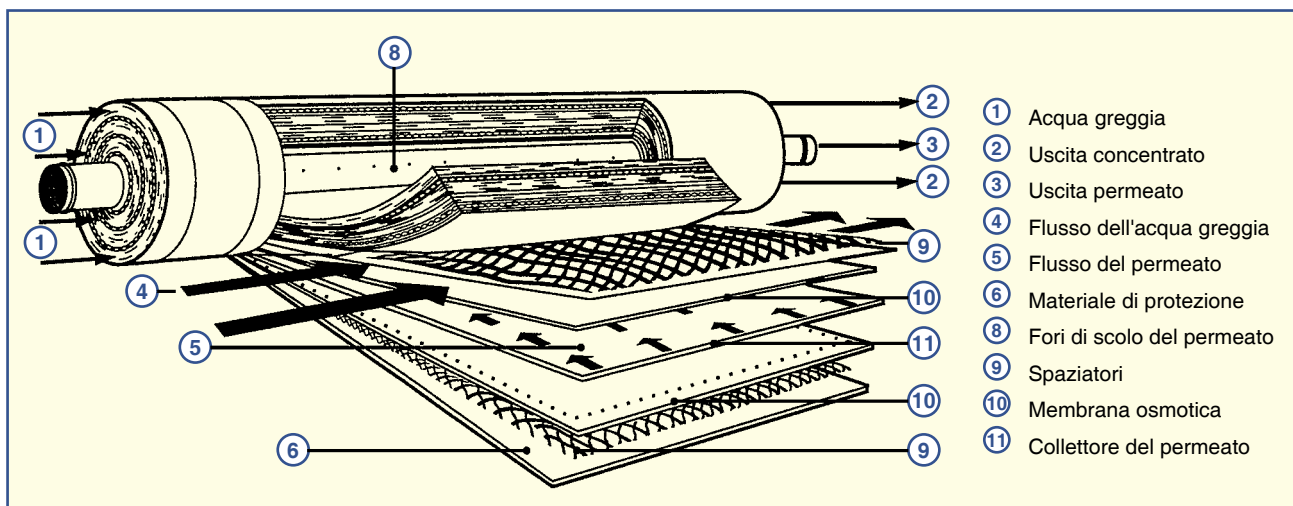


Fig. 22 - Alternanza del materiale protettivo, degli spaziatori, dei collettori e delle membrane osmotiche; flussi di percorrenza

La pompa eleva la pressione intorno ai 20 bar negli impianti ad acqua dolce, dai 20 a 40 bar in quelli ad acqua salmastra e, in quelli per acqua di mare, tra i 40 e i 60/70 bar. Questo è normalmente ottenuto a mezzo di pompe a giranti multiple, quando la pressione lo consente, ed a pistone per le pressioni più elevate.

L'impianto normalmente prevede anche sistemi di sicurezza (pressostato, elettrovalvola) a monte della pompa per proteggerla. Importante è l'installazione a monte di un filtro da 5 micrometri, il cui scopo è quello di proteggere le membrane dall'ingresso di impurità anche molto piccole.

Si effettua inoltre un dosaggio di prodotti chimici per evitare, sul lato a monte, la precipitazione dei sali di durezza che intaserebbero le membrane.

La pompa ad alta pressione spinge l'acqua sulle membrane che sono inserite in un contenitore a forma di tubo resistente alla pressione, fig. 23, e parte di essa viene permeata mentre la restante esce dal modulo come concentrato; poiché ha ancora una pressione residua sufficientemente elevata ed un tenore salino che ne consente un ulteriore sfruttamento, in molti impianti il concentrato entra in un sistema di ricircolo che ne riconduce una parte a monte della pompa, mentre un'altra parte viene scaricata per evitare concentrazioni saline eccessive.

Due misuratori di flusso, l'uno montato sul concentrato per controllare che la quantità di acqua necessaria venga scaricata, e l'altro installato sul permeato per controllare che la produzione sia quella desiderata, consentono una più facile gestione del sistema.

L'impianto ad osmosi inversa quindi ha un rapporto preciso tra l'acqua che viene introdotta nell'impianto, il permeato prodotto e il concentrato scaricato e questo rapporto viene definito ricupero.

Il valore del ricupero dipende dalle caratteristiche dell'acqua più che dall'impianto e vale fino al 75% per normali acque di acquedotto e si riduce con l'aumentare della salinità.

Sulla linea del permeato si monta normalmente un sistema di rilevazione di salinità costituito da un conduttivi-

mento che possa segnalare immediatamente eventuali rotture del sistema membrane poiché, quando dovessero avvenire, l'acqua in uscita dalla linea del permeato non sarebbe trattata e quindi con caratteristiche di salinità praticamente simili a quelle dell'acqua da trattare.

Nei casi in cui siano necessari valori molto spinti di purezza il sistema viene previsto a due o tre stadi successivi posti in serie per coprire anche le esigenze di purezza più spinte del farmaceutico e dell'elettronico.

Occorre rilevare che il sistema osmotico mette a disposizione un numero di vantaggi non indifferenti che chiaramente sono il motore di spinta del crescente successo applicativo che sta espandendosi nei più disparati settori industriali.

I principali vantaggi del sistema sono:

- Possibilità di erogare acqua depurata ininterrottamente 24 ore su 24;
- Nessun impiego di reagenti e nessun fermo impianto per la rigenerazione;
- Nessuna necessità di trattamento o condizionamento delle acque di scarico;
- Non richiede manipolazione e stoccaggio di prodotti pericolosi quali acidi e basi;
- Possibilità di usare l'acqua di scarico per usi a livello inferiore, lavaggi;
- Costanza della qualità dell'acqua permeata;
- Semplicità di installazione e di conduzione;
- Manutenzione ridotta al minimo;
- Riduzione sensibile degli spazi occupati;
- Costo d'impianto contenuto.

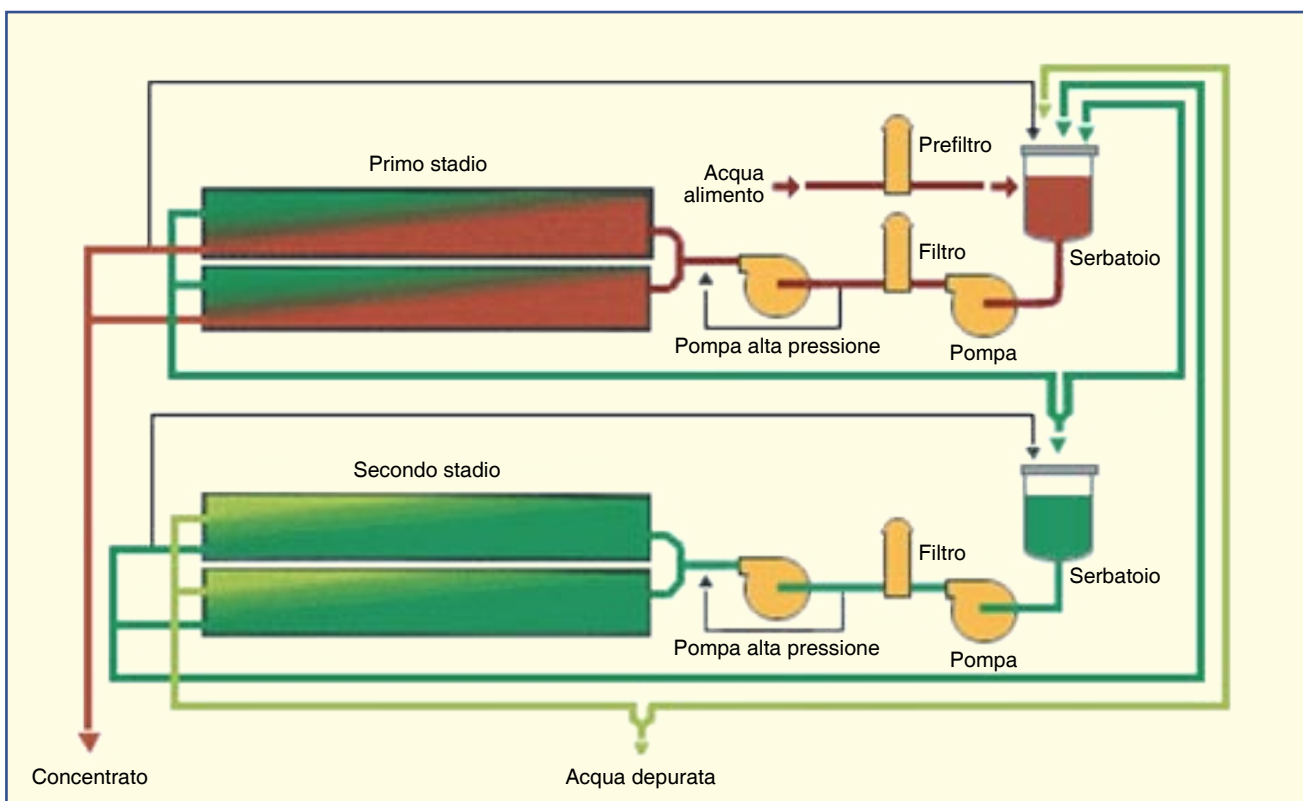


Fig. 23 - Flusso di gruppo osmotico a due stadi



Fig. 24 - Gruppo di trattamento ad osmosi inversa

Come si è potuto constatare, i sistemi di trattamento danno risultati sostanzialmente diversi; la tabella di fig. 25 dà una sommaria panoramica della qualità dell'acqua trattata ottenibile dai vari processi partendo da una acqua dura di media qualità, usata come confronto ed i cui parametri sono riassunti alla prima riga di tabella evidenziata in giallo.

I quattro processi evidenziati in rosa sono quelli che abbiamo esaminato in dettaglio.

Si tenga presente che i valori citati relativi all'osmosi inversa si riferiscono a complessi a singolo stadio, con installazioni bistadio si raggiungono valori al livello della demineralizzazione ed oltre, interessando anche l'area del batterico.

Trattamento di condizionamento - Questo trattamento è una fase addizionale è complementare al ciclo di depurazione per creare le condizioni ottimali per la successiva iniezione nell'ambiente caldaia; viene effettuato mediante dosaggio di additivi chimici e condotto direttamente sulla tubazione di alimento.

Il suo scopo è quello di perfezionare e valorizzare al massimo i risultati del trattamento già effettuato dato che inevitabilmente ci può essere qualche impurità residua sfuggita o qualche parametro da correggere o perfezionare o da adeguare alle condizioni momentanee in cui si trovano i parametri di caldaia.

Gli obiettivi che si prefigge questa operazione finale sono:

1. Prevenire e ritardare la formazione di scaglie provocate in seguito alla concentrazione che si verifica in caldaia a causa dell'evaporazione del liquido;
2. Fronteggiare ogni altra eventuale impurità presente;
3. Mantenere il corretto equilibrio chimico nell'acqua in caldaia: è indispensabile mantenere un ambiente alcalino piuttosto che acido, per prevenire attacchi corrosivi ma l'alcalinità deve essere moderata per non sconfinare nella zona di formazione degli attacchi alcalini, stress corrosion;
4. Condizionare ogni eventuale corpo in sospensione impedendone la precipitazione;
5. Impedire la formazione di schiume;
6. Rimuovere ogni traccia di gas disciolti.

Il condizionamento delle acque di caldaia viene utilizzato anche per ottenere una efficiente protezione per tutto l'impianto di distribuzione vapore e di ritorno delle condense come di seguito illustrato.

Per ottenere gli obiettivi citati viene utilizzata una vasta selezione di prodotti chimici, quali fosfati, tannini, lignini, amidi, ecc. e naturalmente i più moderni polimeri sintetici e chelati dedicati a scopi specifici e mirati. Sarebbe comunque inappropriato per questo articolo addentrarsi a questo punto ulteriormente nei meandri della chimica, in un campo che richiede l'intervento di esperti e di analisi a livello professionale.

Come è già stato enfatizzato, il livello dell'alcalinità in caldaia è particolarmente importante e viene normalmente regolato addizionando soda caustica; mantenendo il valore del pH tra 9 e 11 si evitano problemi dovuti alla corrosione assicurando condizioni stabili e favorevoli alla formazione, sulle superfici metalliche, di un film sottile e ad alta densità di magnetite che offre appunto un'ottima protezione dagli attacchi corrosivi.

Va anche puntualizzato che la maggioranza dei prodotti chimici aggiunti durante il processo di condizionamento andrà ad aumentare il valore del TDS all'interno della caldaia.

L'argomento dei gas disciolti è di importanza basilare ed occorre qui affrontare l'argomento della loro separazione ed eliminazione.

La degasazione - Abbiamo anticipato come alcuni di questi gas siano pericolosi non solo per la gestione del generatore ma anche per le linee di distribuzione vapore e di ritorno delle condense e per tutte le apparecchiature accessorie connesse.

Processo	Durezza (ppm)		Sali di non durezza (ppm)	TDS (ppm)
	Alcalina	Non-Alcalina		
Acqua non trattata	200	50	60	310
Calce	30	50	58	138
Calce / Soda	30	0	108	138
Calce / Scambio di basi	5	0	133	138
Scambio di basi	5	0	305	310
Dealcalizzazione	5	50	60	115
Dealcalizzazione + Scambio di basi	5	0	110	115
Demineralizzazione	1	0	2	3
Osmosi inversa (stadio singolo)	10	5	6	21

Fig. 25 - Confronto dei risultati ottenuti dai vari sistemi di trattamento

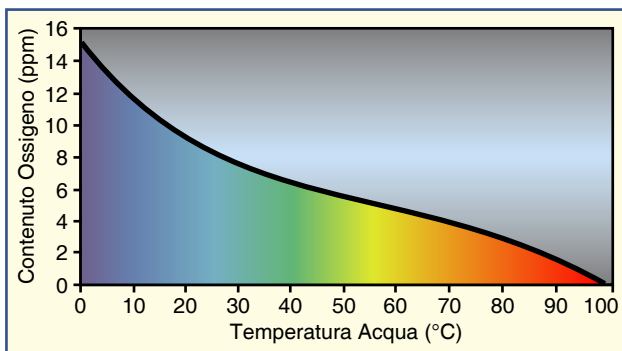


Fig. 26 - Variazione della solubilità dell'ossigeno a pressione atmosferica in funzione della temperatura dell'acqua

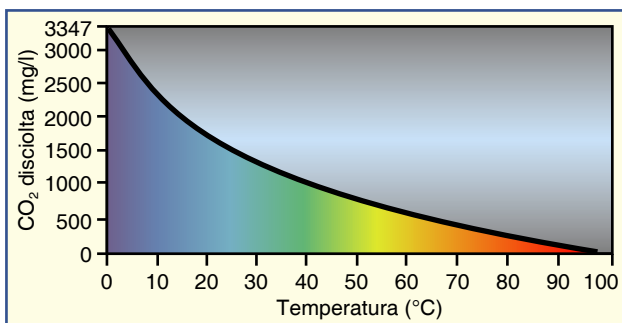


Fig. 27 - Variazione della solubilità del biossido di carbonio a pressione atmosferica in funzione della temperatura dell'acqua

Anche i gas inerti sono indesiderati negli impianti perché, pur non preoccupando dal punto di vista corrosivo, abbassano in modo drastico i coefficienti di trasmissione del calore, abbattendo i rendimenti e creando problemi

di affidabilità, di qualità e di mancato rispetto dei cicli produttivi.

I gas primariamente imputati e responsabili delle corrosioni d'impianto sono l'ossigeno ed il biossido di carbonio sempre presenti nelle acque per cui devono essere scrupolosamente rimossi o neutralizzati.

La presenza del biossido di carbonio, anche sotto forma di acido carbonico, provoca la sensibile diminuzione del pH delle acque di alimento cui si può ovviare mediante opportuno condizionamento, ma in ogni caso poi l'anidride carbonica si sviluppa anche in caldaia a causa del riscaldamento e delle reazioni di trasformazione di alcuni sali come già visto all'inizio.

A questo occorrerà quindi far fronte a mezzo di inibitori della corrosione che possano proteggere l'intero impianto o meglio sarebbe eliminare preventivamente all'origine la presenza di questi sali adottando un più efficiente e completo trattamento delle acque.

Dall'altro canto, il più temibile tra i gas disciolti è certamente l'ossigeno che causa il "pitting", vaiolatura dei metalli: basta una piccolissima quantità di ossigeno per creare grossi danni!

La degasazione può essere effettuata con procedimenti termofisici e/o con procedimenti chimici. Essendo i secondi meno economici, la preferenza in genere va alla prima soluzione, integrandola eventualmente con un trattamento chimico finale per assicurare la totale deossigenazione.

L'eliminazione dei gas per via termofisica sfrutta il fatto che la solubilità dei gas diminuisce con l'aumento della temperatura e a temperature prossime o di poco superiori ai 100°C diventa praticamente nulla.

A fig. 26 e 27 sono rappresentati rispettivamente i diagrammi di solubilità dell'ossigeno e del biossido di carbonio in acqua in funzione delle varie temperature

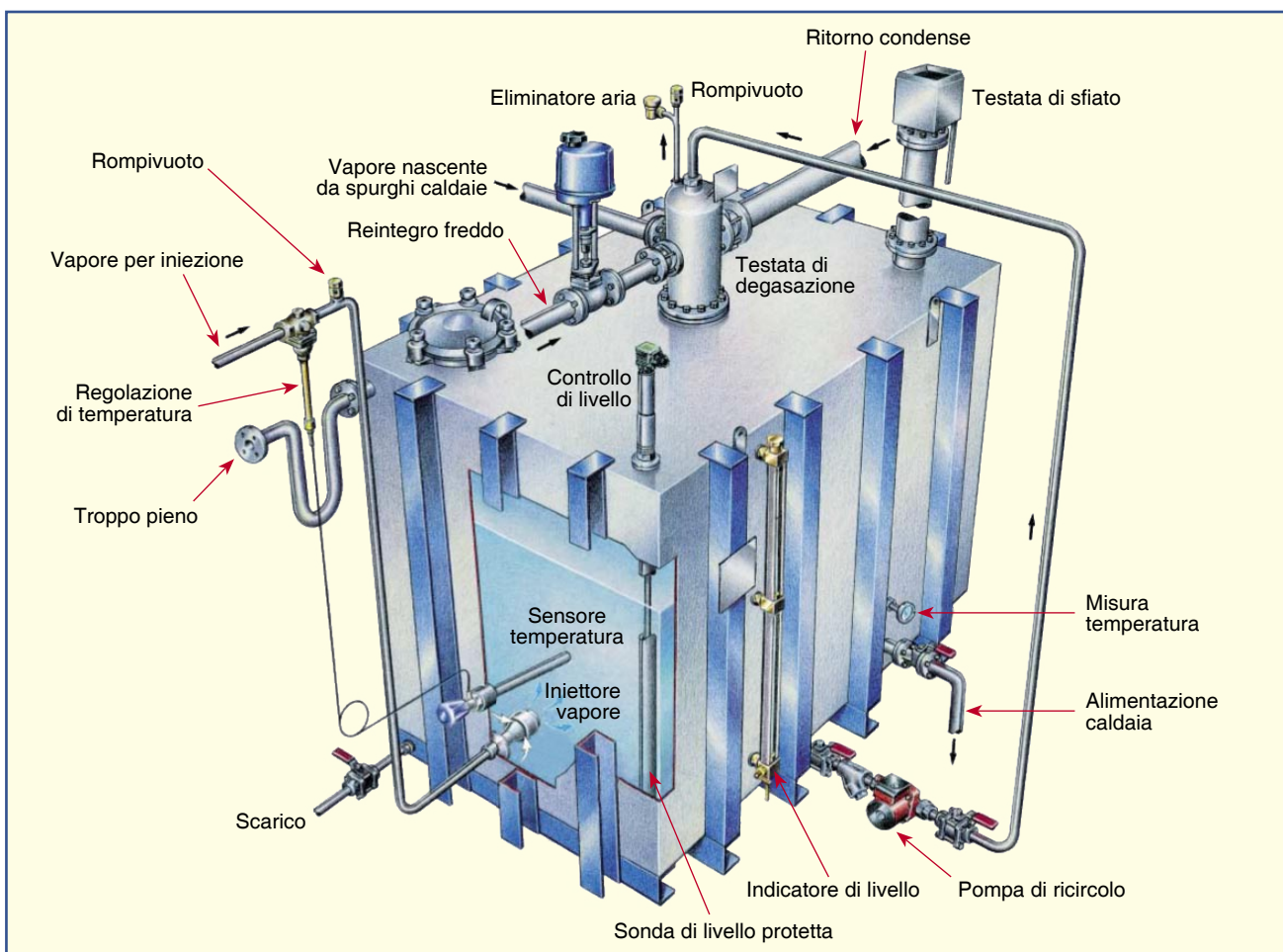


Fig. 28 - Pozzetto completamente attrezzato

dove si vede come teoricamente oltre i 100°C non esiste possibilità di soluzione.

Per questo sono utilizzati, negli impianti di trattamento dell'acqua per caldaie a vapore, degasatori termofisici che utilizzano il vapore per preriscaldare l'acqua fino a temperature attorno ai 90-95°C (degasatori a pressione atmosferica) od a temperature lievemente superiori ai 110°C (degasatori in pressione).

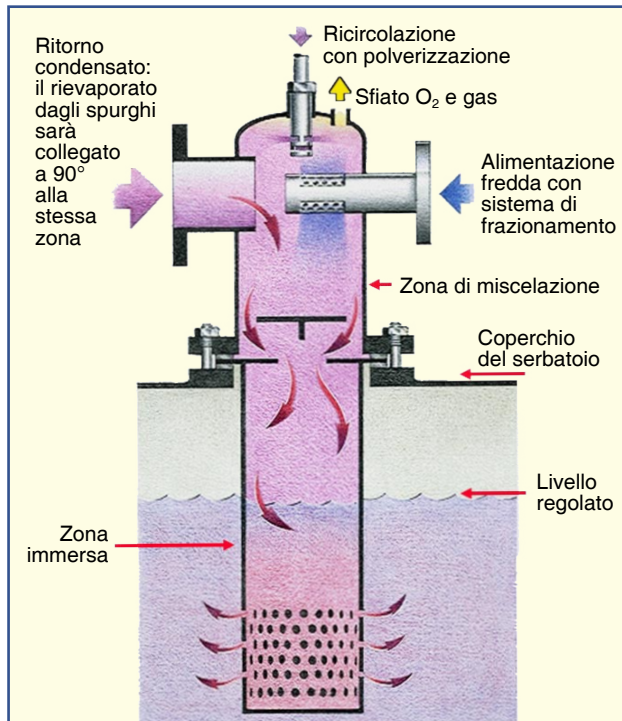


Fig. 29 - Testata di condensazione e di degasazione

Il primo tipo di degasatore, quello a pressione atmosferica, in sostanza non è una soluzione completa, perché elimina in modo incompleto i gas presenti, senza riuscire ad ottenere una degasazione spinta come quella che sarebbe consigliabile per i generatori di vapore; la seconda soluzione, che è la migliore, viene adottata molto spesso

negli impianti di grandi dimensioni.

Negli impianti medio-piccoli e piccoli la degasazione termica non viene applicata a fondo poiché il costo del degasatore pressurizzato, nonché il costo della sua gestione, sono piuttosto elevati; in alternativa in pratica si attrezza il pozzo di ritorno condense perché possa effettuare in modo accettabile la funzione di degasatore atmosferico.

Per ottenere risultati soddisfacenti occorre installare a corredo del serbatoio di raccolta condense una testata di degasazione appositamente studiata e dimensionata per le condizioni di portata dell'impianto ed in funzione della pressione di utilizzo del vapore nel processo servito e della quantità di vapore di flash ritornato in centrale.

Il sistema viene completato con un apposito iniettore per riscaldare le acque di alimento fino alla necessaria temperatura miscelandole intimamente ed in modo silenzioso con il vapore.

Si prevede anche un sistema di ricircolo che, all'azione della temperatura, aggiunge anche il vantaggio dell'azione meccanica e permette una fine nebulizzazione dell'acqua in circolazione.

La fig. 28 mostra un degasatore atmosferico così ottenuto, completamente attrezzato e dotato delle opportune regolazioni per il controllo automatico del livello e della temperatura.

La testata di miscelazione e degasazione rappresentata a fig. 29 riceve l'acqua depurata fredda di reintegro che viene frazionata ed intimamente miscelata con le condense calde e con il vapore di flash di ritorno ed investita dall'acqua di ricircolazione opportunamente polverizzata. Si ottiene così la massima separazione dei gas che vengono scaricati all'atmosfera.

Le acque, così trattate, sono ora pronte per essere prelevate dalla pompa di alimento e ricevere, come già anticipato, il necessario condizionamento chimico durante il loro tragitto verso la caldaia.

Nel caso di caldaie funzionanti a pressioni medio alte, soprattutto se di tipo a tubi d'acqua, possiamo affermare che l'impiego di degasatori di tipo pressurizzato diventa pressoché indispensabile; le fig. 30 e 31 ne mostrano rispettivamente lo schema di principio e l'aspetto esteriore.

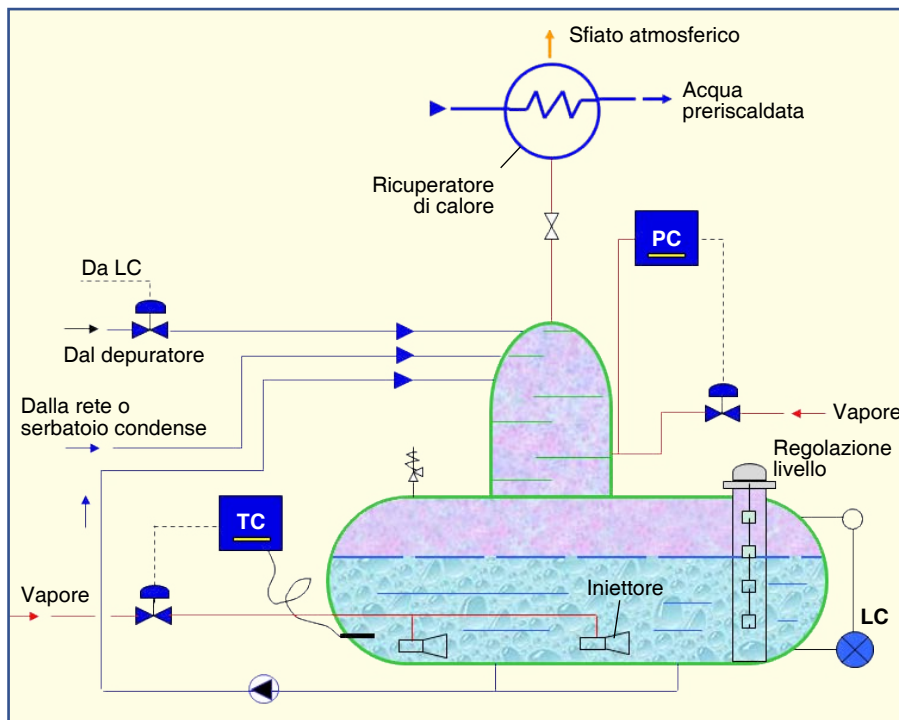


Fig. 30 - Degasatore pressurizzato

Degasazione chimica

La degasazione chimica può integrare l'azione dei degasatori fisici atmosferici, quando previsti, ed in tal caso è necessaria perché comunque l'eliminazione completa dei gas non è possibile e le tracce di gas che rimangono, in particolare l'Ossigeno e l'Idrogeno alle alte pressioni, causano corrosioni in caldaia e nelle reti di valle.

Quando gli impianti invece non sono dotati di degasatore fisico, e questo è un caso di una certa frequenza nel campo delle caldaie a tubi da fumo, la degasazione chimica è ancora più importante perché è l'unica protezione dell'impianto contro la corrosione.

In realtà esiste una soluzione che può integrare una degasazione scadente ed incompleta, e questa può essere l'applicazione di un trattamento filmante a base di poliammine alifatiche.

Questo trattamento è sicuramente il più moderno, il più sicuro ed il più facile da gestire perché contestuale e parte del trattamento



Fig. 31 - Degasatore pressurizzato

di condizionamento; infatti prodotti filmanti a base poliammine vengono dispersi nell'acqua, ma la loro forte affinità per il metallo fa sì che aderiscano a tutte le superfici metalliche del sistema formando un film polimerico omogeneo e compatto.

In questo modo si forma una pellicola monomolecolare, quindi di spessore trascurabile, che non ostacola in alcun modo lo scambio termico del sistema, ma è tuttavia sufficientemente forte per formare una barriera impenetrabile all'acqua dell'impianto, che non viene così a contatto con il metallo e pertanto non può originare corrosioni.

Come potete immaginare la composizione dell'acqua di caldaia assume importanza minore rispetto a tutti gli altri sistemi di trattamento ed entro certi limiti si può affermare che la protezione anticorrosiva è garantita in tutte le condizioni. Contemporaneamente fanghi o sali di durezza trovano ostacolo attivo ad aderire al film protettivo che quindi sfavorisce la formazione di incrostazioni e depositi, aiutato in ciò dai disperdenti che le formulazioni poliamminiche contengono sempre.

Questi prodotti garantiscono infine un'alcalinizzazione moderata, con un contemporaneo effetto tampone che facilita enormemente il controllo del pH. Questo significa che il trattamento filmante a base poliamminica è un trattamento completo.

Altro aspetto importante di questo tipo di trattamento è la facilità di gestione dato che, per ottenere l'effetto filmante, bisogna garantire soltanto una concentrazione minima di condizionante nell'acqua di caldaia ed eventuali sovradosaggi non costituiscono un problema.

Il consumo del condizionante è quello necessario per filmare le superfici da proteggere e per mantenere un residuo minimo di poliammina nell'acqua di caldaia, per garantire sempre l'integrità del film protettivo.

Il prodotto da integrare, dopo la fase di avviamento, è quindi solo quello che compensa gli spurghi ed il vapore perso, dato che le poliammine sono volatili e quindi seguono il vapore in tutto il suo percorso, proteggendo

anche il sistema vapore-condense e disperdendosi con il vapore non recuperato.

Il reintegro di poliammine è quindi proporzionale all'acqua di reintegro al sistema, pertanto è sufficiente un dosaggio automatico proporzionale che, mediante una pompa dosatrice comandata da un contatore, aggiunga il condizionante in rapporto all'acqua di reintegro, mentre i controlli gestionali di composizione dell'acqua possono essere diradati e si possono accettare tolleranze più flessibili circa il superamento dei valori limite consigliati dalle norme.

Quando invece questo sistema non è utilizzabile, ad esempio il caso di impianti in cui è richiesto vapore esente da additivi, come ad esempio per gli usi alimentari, farmaceutici e simili, le poliammine non possono essere impiegate perché sono volatili e seguono il vapore proteggendo la rete vapore-condense, ma permangono in tracce nel vapore; si devono pertanto utilizzare prodotti diversi.

In questi casi si utilizzano prodotti deossigenanti non volatili e prodotti alcalinizzanti che neutralizzano l'anidride carbonica.

Alla categoria dei prodotti deossigenanti appartengono due classi di composti:

- Prodotti non volatili a base di Solfiti Catalizzati

Il Solfito reagisce con l'Ossigeno trasformandosi in Solfato ed eliminandolo



Dato che questa reazione ha una velocità che aumenta con l'aumentare della temperatura, per migliorarne l'effetto oggi si tende ad utilizzare Solfiti Catalizzati che hanno reazione a freddo decisamente più veloce.

I Solfiti ed i Solfati non sono volatili e pertanto i prodotti a base di Solfiti possono essere usati anche quando è richiesto vapore puro, ma proprio perché non sono volatili non possono proteggere adeguatamente la rete vapore-condense, salvo in casi particolari in cui è possibile un loro dosaggio anche nella rete condense.

- Prodotti a base di Idrazina

L'Idrazina ed i suoi derivati sono dei riducenti molto efficaci ed hanno avuto una larghissimo impiego nel campo delle caldaie a vapore.

Oggi tuttavia l'Idrazina ed il suoi derivati tendono a scomparire poiché se ne è ipotizzata una attività cancerogena nei confronti degli animali, il che fa sospettare che la stessa azione possa essere sviluppata anche ai danni dell'uomo. Altro limite dell'Idrazina deriva dal fatto che, se il dosaggio non è corretto, forma Ammoniaca che corrode le componenti di rame e sue leghe presenti nel sistema.

Per l'uso dei deossigenanti va sottolineato che il controllo dell'Ossigeno non si può fare se non con apparecchiature molto costose, per questo normalmente non si controlla l'Ossigeno ma si verifica che vi sia sempre nell'acqua di caldaia un eccesso di deossigenante.

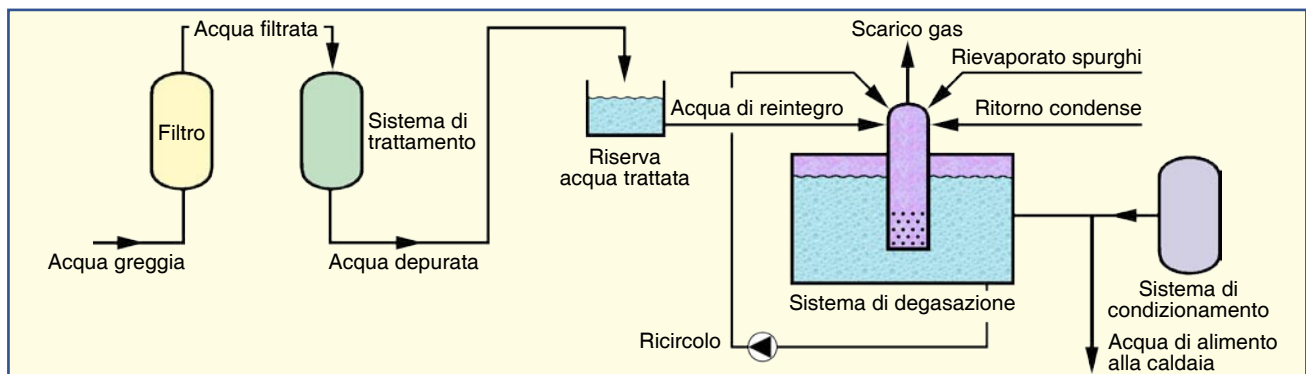


Fig. 32 - Percorso tipico di un sistema di depurazione

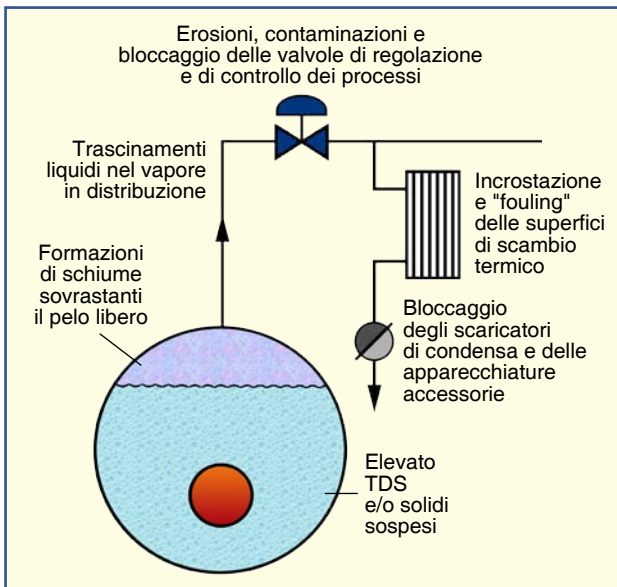


Fig. 33 - L'elevata presenza di TDS nelle acque di caldaia produce proiezioni e schiumificazione con conseguenti trascinamenti di acqua e sali nel vapore

In queste condizioni si presume l'assenza totale o quasi di Ossigeno in base alle leggi degli equilibri chimici. Nonostante questo, dato che si opera per eliminare un gas la cui presenza è variabile di momento in momento, per gestire i deossigenanti è comunque indispensabile una particolare attenzione ed una frequenza di analisi elevata, specialmente nel caso di circuiti ad utilizzo irregolare, come sono normalmente quelli industriali.

Conclusioni e considerazioni finali

E' a questo punto opportuno effettuare un breve sunto e ricordare alcuni concetti circa il contenuto salino di caldaia e le relative azioni conduttive ad esso connesse.

1. L'azione prioritaria è la determinazione delle qualità dell'acqua greggia;
2. Si effettua in aggiunta la stima della quantità e della qualità della condensa che può essere ritornata dall'utenza vapore alla centrale termica;
3. Occorre inoltre determinare le qualità necessarie dell'acqua di alimento caldaia in funzione del tipo e della conformazione di caldaia da servire, delle sue condizioni

di generazione e dell'uso destinato per il vapore;

4. Dai tre punti precedenti scaturisce la decisione del tipo di trattamento da adottare per assicurare:
 - Assenza di scaglie e di depositi incrostanti,
 - Assenza di processi corrosivi,
 - Ottima qualità del vapore generato,
 - Funzionamento in piena sicurezza, privo di rischi, ed economicità di conduzione e manutenzione.

Lo schema tipico di fig. 32 ricorda il percorso del trattamento di depurazione. La storia però non è ancora finita: anche se abbiamo effettuato un trattamento corretto, in modo appropriato ed ottenuto la qualità adeguata, all'ingresso della caldaia, l'acqua di alimento conterrà comunque una certa quantità di solidi disciolti, TDS. In definitiva, come abbiamo visto, alcuni prodotti chimici aggiunti all'acqua per il suo condizionamento post depurazione, anche se perfettamente inoffensivi dall'aspetto incrostazioni, scaglie e corrosioni, hanno contribuito ad innalzare il livello del TDS.

In seguito, con la generazione del vapore in caldaia, evaporiamo in continuazione l'acqua provocando l'innalzamento progressivo della concentrazione salina dell'acqua in ebollizione che, in assenza di ulteriori interventi, arriverà a livelli tali da provocare formazioni di schiume e trascinamenti di umidità e proiezioni liquide nel vapore con conseguenti problemi ed inquinamenti sia dell'ambiente caldaia che nelle reti di distribuzione e di ricupero ed in tutte le apparecchiature di scambio termico, di regolazione ed accessorie dell'impianto servito (vedi fig. 33).

Abbiamo già accennato al problema della fase liquida ricca di sospensioni e di sali disciolti catturata e trasportata dal vapore nelle linee ed alle apparecchiature d'impianto ed il fenomeno è stato attribuito a due origini differenziate: le "proiezioni liquide" generate dalle bolle di vapore che, in caldaia, arrivando in superficie, scoppiano provocando il lancio di numerose particelle d'acqua e formazioni di "schiume".

La presenza di proiezioni liquide, come già puntualizzato nello scorso numero, è largamente influenzata dalla più o meno corretta conduzione non solo della caldaia ma dell'intera centrale termica e dello stesso impianto di utilizzo del vapore.

E' comunque praticamente inevitabile che, anche con una appropriata conduzione e manutenzione della caldaia e dell'intera centrale si verifichino contenute quantità di proiezioni liquide. Il vapore prodotto conterrà probabilmente almeno il 2 - 3 % di umidità.

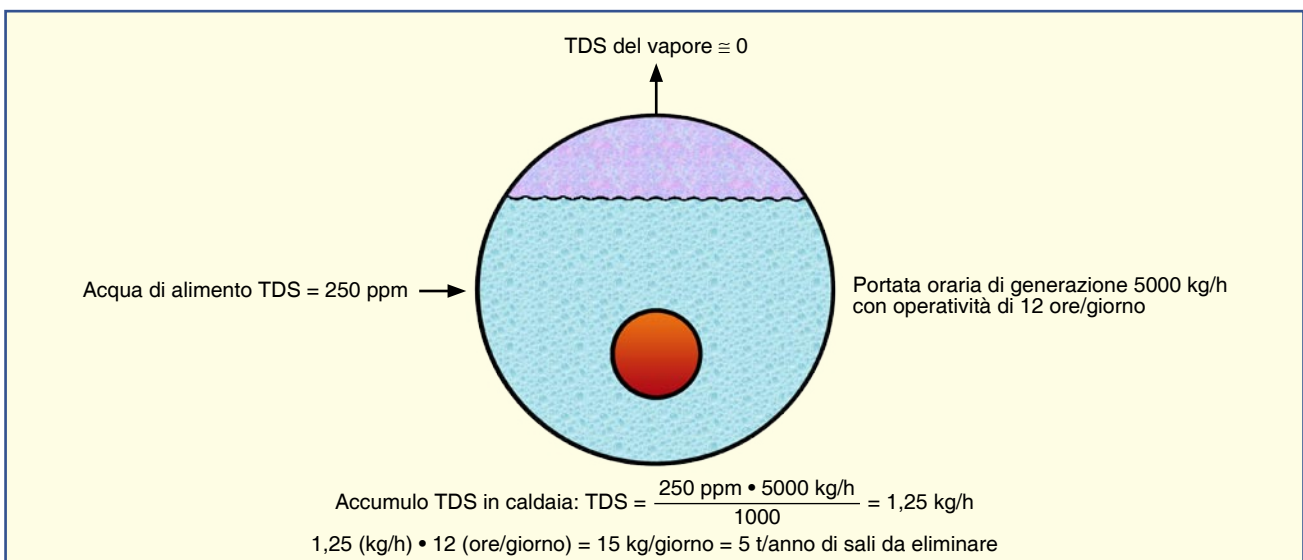


Fig. 34 - Calcolo della quantità di sali introdotta in caldaia dall'acqua di alimento

Tra i due fenomeni la schiumificazione è senza dubbio l'occorrenza più indesiderata e pericolosa. Il fenomeno può essere facilmente osservato nella nostra pentola di spaghetti! Quando l'acqua contenente gli spaghetti riprende l'ebollizione, le impurità rilasciate dalla pasta fanno in modo che le bolle di vapore che arrivano in superficie scoppino con difficoltà: la superficie dell'acqua praticamente scompare coperta da un fitto strato di schiuma formato dalle bolle che non scoppiano.

Il livello dell'acqua sottostante tende ad aumentare a causa della aumentata difficoltà delle bolle di vapore sottostanti ad affiorare in superficie (fenomeno del "rigonfiamento". Lo spessore dello strato di bolle aumenta rapidamente e la pentola tracima.

In una caldaia sottoposta al problema della schiumificazione il fenomeno è perfettamente analogo, ma assume proporzioni decisamente più serie. Le bolle di schiuma, di peso specifico molto basso, vengono immediatamente trascinate dal vapore in tutta la rete di distribuzione depositando sali ed impurità nei punti di permanenza e di condensazione.

Questi depositi causeranno così la contaminazione dell'intera rete di tubazioni e concentrazioni di depositi che danneggeranno il funzionamento delle valvole di regolazione, il progressivo decadimento di efficienza delle superfici di scambio di macchine di processo, scambiatori e batterie ed in bloccaggio di scaricatori di condensa e di apparecchiature accessorie di linea.

D'altra parte, all'interno della caldaia, le formazioni schiumose, riducendo i coefficienti di scambio termico, provocheranno dannosi e pericolosi surriscaldamenti e fasci tubieri di caldaia sottoposti alle alte temperature di fiamma e dei gas di combustione; inoltre le sonde ed i regolatori di livello non lavoreranno correttamente per le conseguenti difficoltà di rilevazione del livello liquido, causando fluttuazioni sull'ingresso dell'acqua di alimento caldaia e l'amplificazione del fenomeno dei trascinamenti. Quest'ultimo problema può ovviamente indurre un altro ancora più grave: la generazione di colpi d'ariete potenzialmente letali.

Vale la pena puntualizzare che l'acqua pura non è in grado di provocare schiume di sorta; sono le impurità in essa eventualmente contenute che portano alle situazioni sopra illustrate. In verità anche l'acqua dura per conto suo non schiumifica facilmente, ma deve essere almeno addolcita per prevenire la formazione di scaglie, incrostazioni, corrosioni, ecc. Una parte dei trattamenti previsti per le acque di alimento allo scopo di prevenire le incrostazioni, possono creare facilitazioni alla formazioni di schiume.

Pur essendo le cause di schiumificazione di natura diversa, il fattore maggiore rimane pur sempre l'alto livello di

concentrazione dei solidi disciolti nell'acqua all'interno della caldaia e, pur essendo di una certa efficienza i prodotti antischiama utilizzati nel condizionamento dell'acqua di alimento, diviene essenziale non permettere che il livello del TDS all'interno della caldaia superi valori specifici predeterminati. Il superamento di questi valori porterà invariabilmente alla formazione di schiume e di trascinamenti con i conseguenti pericoli e problemi sopra descritti.

Non si dimentichi che anche i solidi in sospensione contribuiscono ai potenziali problemi per cui anche questi dovranno essere attentamente monitorati.

La quantità di sali introdotti in caldaia che causa la graduale evoluzione di concentrazione del TDS dell'acqua in ebollizione può essere facilmente calcolata seguendo l'esempio illustrato alla fig. 34.

Fino a che livello può essere tollerato il TDS

Abbiamo visto che il livello di concentrazione del TDS mantenuto in caldaia influenza notevolmente la qualità del processo e la conservazione della caldaia, della rete e delle apparecchiature in essa montate; l'ideale sarebbe il suo mantenimento a valori minimi, ma questo ci costerebbe parecchio in termini di spurghi che rappresentano acqua depurata e contenuto calore in quanto alla temperatura di ebollizione di caldaia.

Misura e controllo del livello del TDS

L'acqua chimicamente pura è un cattivo conduttore di elettricità ma, se contenente impurità può essere altamente conduttiva. La sua conducibilità elettrica dipende dal tipo e dall'ammontare dei solidi disciolti in essa contenuti.

Gli alcali e gli acidi hanno un sensibile effetto ed influenzano la conducibilità elettrica così come può fare anche la temperatura. Malgrado questo, con qualche precauzione, la conducibilità elettrica può essere utilizzata per realizzare una sufficientemente attendibile misura della concentrazione salina sia dell'acqua di alimento che di quella contenuta nella caldaia.

La conducibilità elettrica dell'acqua è misurata in termine di micro Siemens per centimetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La relazione base tra conducibilità e TDS è:

$$\text{TDS (ppm)} = \text{Conducibilità } (\mu\text{S}/\text{cm}) \cdot 0,7$$

Si tenga comunque sempre presente che la relazione è valida per misura su campioni alla temperatura di 25°C ed opportunamente neutralizzati (PH = 7).

Per regolare il TDS all'interno della caldaia impedendone l'aumento a valori non accettabili, è indispensabile rimuovere e scaricare parte dell'acqua contenuta ad alta concentrazione sostituendola con altrettanta acqua

Tipo di caldaia	Pressioni di lavoro						
	fino 15 bar	fino 20 bar	20-40 bar	40-60 bar	60-100 bar	100-150 bar	> 150 bar
Lancashire	4 - 5000						
Tubi di fumo package	3000	2500					
Tubi d'acqua (circolazione naturale o controllata)	2500	2000	1500	1000	700	500	
Tubi d'acqua (circolazione forzata)						alimento < 5	alimento < 5
Tubi d'acqua (super critico)							alimento < 5
Caldaie a serpentino e generatori indiretti di vapore	1500 - 2000						

Fig. 35 - Valori massimi tollerati di TDS in ppm all'interno dei vari tipi di caldaia

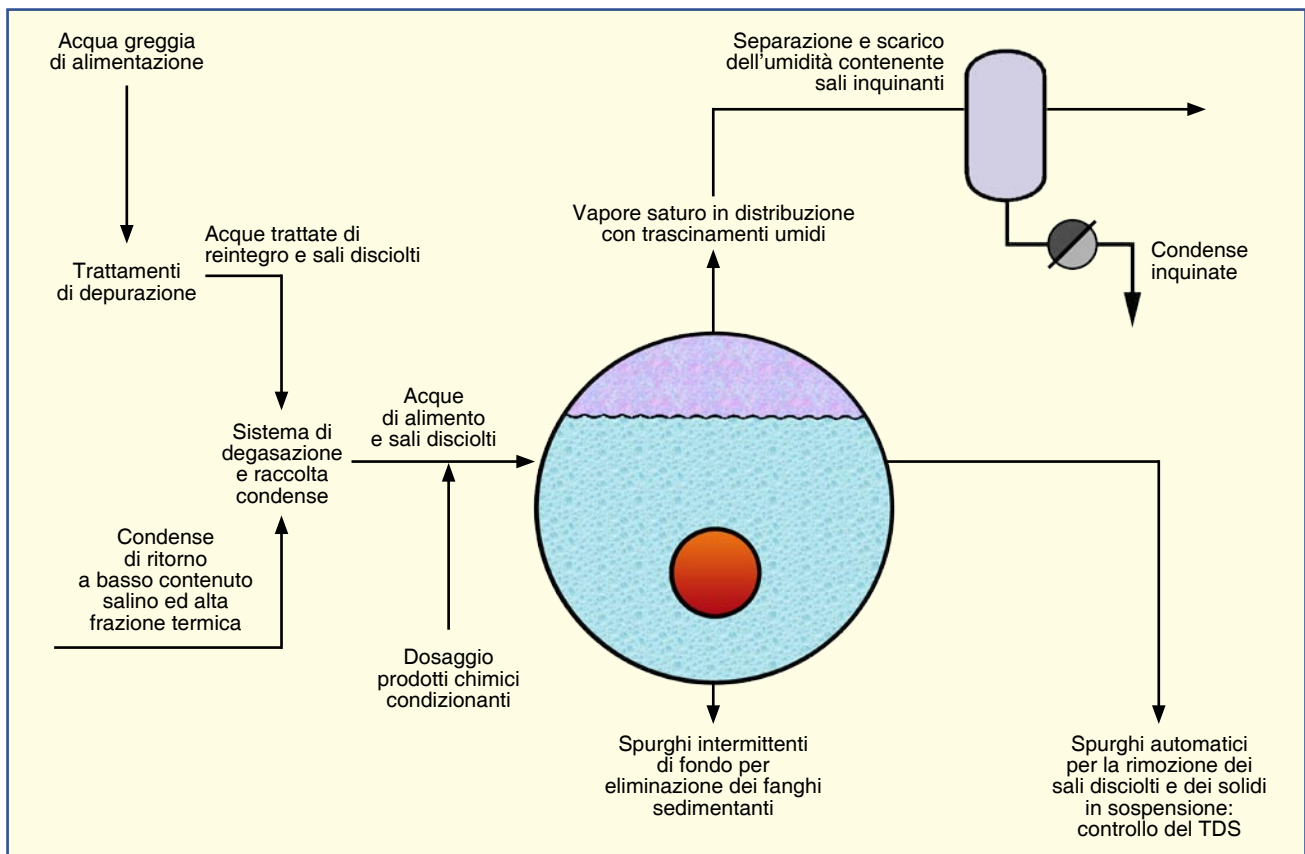


Fig. 36 - Tipico circuito di caldaia lato Acqua-Vapore

depurata a maggiore purezza che possa diluire ed abbassare la concentrazione rilevata. Questa operazione è generalmente definita come "spurgo della caldaia". In realtà esistono due differenti operazioni di spurgo meglio identificabili come:

- Defangazione o Scarico di fondo
- Spurgo di regolazione o regolazione continua del TDS

Defangazione o scarico di fondo

L'operazione consiste in un breve e violento scarico di acqua dalla parte inferiore della caldaia allo scopo di rimuovere e "soffiare" fuori i fanghi che si vanno depositando sul fondo. Lo scarico viene effettuato una volta al giorno o ad ogni turno per le caldaie a funzionamento continuo. L'operazione può essere condotta a mezzo di apposita valvola ad apertura rapida attuata manualmente o mediante servomotore automatizzato attraverso timer programmabile. Il sistema è anche conosciuto come scarico intermittente o temporizzato.

Regolazione continua del TDS

Lo spurgo per effettuare la regolazione del TDS viene realizzato attraverso una connessione di caldaia posta di poco sotto il livello dell'acqua contenuta e ad esso talvolta ci si riferisce come allo spurgo di superficie. Per ottenere questa operazione in passato era molto comune utilizzare una valvola manuale di sfioro ad otturatore micrometrico tarabile per una piccola perdita continua convogliata al sistema di raccolta e scarico; da qui il termine di "spurgo continuo". Nelle moderne centrali termiche il sistema di controllo del TDS mantiene automaticamente il livello massimo di concentrazione preimpostato misurandone in continuazione il valore all'interno della caldaia. Lo strumento misura contemporaneamente anche la temperatura eseguendo i necessari calcoli di compensazione ed aziona la valvola

automatica di scarico secondo le necessità di regolazione. Con l'utilizzo di un siffatto sistema denominato "Controllo continuo del TDS" oltre ad assicurare una accurata e funzionale regolazione della concentrazione del carico salino, è possibile anche realizzare un efficiente sistema di ricupero del calore scaricato elevando il rendimento di caldaia, diversamente il calore verrebbe sciupato e disperso nell'ambiente.

Un ulteriore approfondimento sull'argomento, controllo del TDS, è possibile attraverso le pubblicazioni disponibili da Spirax Sarco.

Alcune osservazioni finali

Regolari ed attenti controlli devono essere effettuati non soltanto sulle condizioni delle acque di caldaia e sul loro contenuto salino, ma anche le acque di alimento e le condense di ritorno dagli utilizzi devono essere continuamente monitorate e così pure le acque gregge di prelievo dalla falda o dall'acquedotto. Occorre costituire una routine di prove ed analisi che devono essere attentamente e regolarmente eseguite.

Risulta comunque evidente come l'argomento del trattamento delle acque per le caldaie vapore è vasto e complesso e richiede una elevata dose di conoscenze specifiche ed una grossa esperienza professionale. Spirax Sarco ritiene con questo articolo di aver soltanto sollevato un angolo del velo che ricopre l'intero argomento gettando un fascio di luce alla base delle nozioni che compongono il quadro di quanto è necessario conoscere per effettuare una gestione oculata del patrimonio di centrale.

Il tema del trattamento delle acque è così importante che la naturale conclusione non può essere altro che una particolare attenzione nell'affidare la soluzione dei problemi ad organizzazioni sicuramente esperte e di indiscussa reputazione che abbiano la giusta ed appropriata esperienza per affrontare ciascun caso specifico in maniera responsabile ed appropriata al tipo di caldaia, alle sue particolari condizioni di esercizio ed all'uso previsto per il vapore prodotto.