

La tematica del trattamento acque interessa tutti gli ambiti industriali, in quanto questo aspetto non dipende da grandezza o campo applicativo dei vari processi: ogni azienda al termine del proprio ciclo produttivo giunge alla realizzazione di un prodotto finito e di una serie di scarti solidi, emissioni gassose e/o reflui liquidi che per legge non possono essere rilasciati nell'ambiente ma necessitano di opportuni trattamenti.

All'interno dell'ampio ventaglio di tecnologie e soluzioni sviluppate da Eco-Techno spicca il trattamento evaporativo sottovuoto mediante fonte termica, basato quindi sull'utilizzo di vapore o acqua calda come utilities per riscaldare i reflui liquidi fino all'evaporazione (e purificazione) dell'acqua in essi contenuta. L'evaporazione sottovuoto è una tecnologia consolidata di trattamento delle acque di scarto che consente la separazione della frazione acquosa da una miscela concentrata di sostanze inquinanti altobollenti, la cui concentrazione cresce all'aumentare della durata del trattamento. Solitamente, tale soluzione di risulta è destinata successivamente a smaltimento; talvolta, tale tecnologia può essere impiegata

anche per la concentrazione di miscele diluite da riciclare all'interno dei processi produttivi, ed ha lo scopo quindi di aumentare la purezza dei composti da recuperare. Nello specifico il presente articolo sarà focalizzato sulla trattazione inerente agli evaporatori a singolo e multiplo effetto con scambiatore interno, una realtà consolidata e diffusa in questo ambito del trattamento acque.

Di seguito, per una migliore comprensione del funzionamento degli impianti menzionati, viene rappresentato lo schema di funzionamento di un impianto di evaporazione sottovuoto con scambiatore immerso a tre stadi (Figura 1).

A livello ingegneristico il cuore di questi impianti è costituito da vessel cilindrici orizzontali con fondi torosferici in acciaio, chiamati caldaie (o camere evaporative); a seconda delle necessità di trattamento gli impianti possono essere a singolo stadio o multistadio, fino ad un numero massimo di tre caldaie. All'aumentare del numero di stadi aumenta di conseguenza il risparmio energetico, derivante dal fatto di incrementare la produzione e quindi la quantità di evaporato, mantenendo al contempo costante

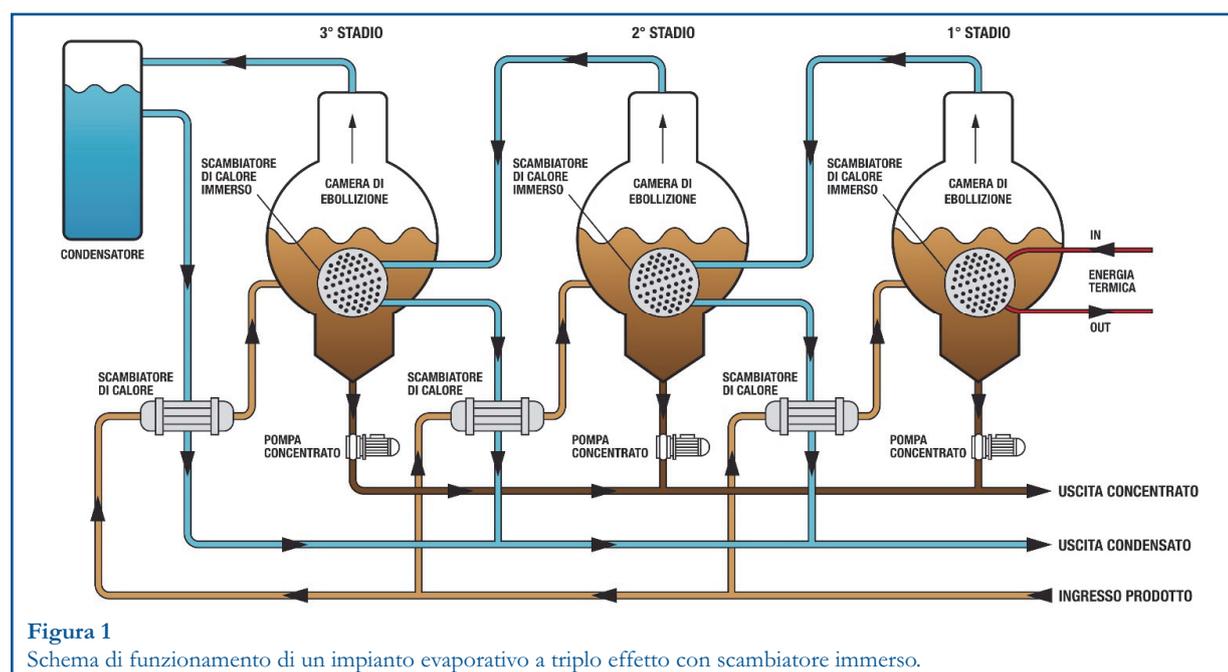




Figura 2
ECO DPM 3 – Evaporatore termico a triplo effetto.

il consumo energetico complessivo. Ogni caldaia è dotata di uno scambiatore a fascio tubiero interno, alloggiato nella parte inferiore dell'unità, e di una sezione superiore cilindrica denominata "duomo" destinata al convogliamento dell'evaporato in cui è presente un demister (il lettore perdoni la sineddoche ormai divenuta nel linguaggio tecnico una costante nel campo dei *mist eliminators*), ovvero una sezione di eliminazione delle nebbie in cui un certo volume è occupato da corpi di riempimento (fili intrecciati, anelli pall, raschig, ecc.), i quali hanno la funzione di ostacolare il trascinarsi di sostanze inquinanti all'interno del distillato. La forma e la struttura interna dell'evaporatore ricordano dei classici ribollitori Kettle, largamente impiegati nell'industria petrolchimica per l'evaporazione parziale delle miscele di idrocarburi. Per poter evaporare l'alimentazione in ogni caldaia è necessario che gli stadi operino a pressione decrescente dal primo all'ultimo, dato che a valori decrescenti di pressione corrispondono temperature di ebollizione decrescenti. Il vuoto viene creato mediante degli eiettori, uno per stadio, in cui il fluido motore è acqua in pressione movimentata da un'apposita pompa ed il fluido aspirato è costituito da aria e acqua condensata. Il funzionamento in continuo della pompa crea una depressione costante nelle caldaie e nelle linee del distillato, che consente l'evaporazione continua del solvente della miscela in caldaia. In tutti gli impianti, a seguito della condensazione, il distillato viene aspirato nel circuito del vuoto attraverso l'eiettore ed inviato nel mantello di un secondo scambiatore di calore che ha una duplice finalità: funge sia da serbatoio per il distillato che da recupero termico a vantaggio del-

l'alimentazione, la quale viene inviata allo scambiatore di preriscaldamento prima di entrare in caldaia. Negli impianti multistadio la configurazione standard prevede che le caldaie lavorino in "parallelo", il che significa che tutte le caldaie ricevono la stessa alimentazione separatamente ed evaporano il refluo in modo indipendente dalle altre; ciò che viene caricato all'interno di una caldaia non entra in contatto con le alimentazioni degli altri stadi e viene

concentrato separatamente da queste. L'unica interazione tra gli stadi, come verrà esplicitato nel paragrafo successivo, è l'impiego del vapore prodotto in ogni stadio per riscaldare lo stadio successivo. Durante il processo evaporativo l'acqua calda o il vapore (a seconda della disponibilità) vengono alimentati al primo stadio all'interno dello scambiatore di calore – lato tubi – e cedono calore al refluo presente all'interno della caldaia (lato mantello). Mantenendo la pressione in caldaia sufficientemente bassa (ben al di sotto della pressione atmosferica), viene realizzata l'evaporazione della frazione acquosa contenuta nel refluo a temperature minori rispetto alla normale temperatura di evaporazione dell'acqua a condizioni atmosferiche. Il vapore prodotto, aspirato dal vuoto, viene incanalato allo stadio successivo, dove entra nello scambiatore di calore lato tubi e condensa, riscaldando il refluo che si trova ad una temperatura inferiore rispetto allo stadio precedente, grazie alle condizioni di vuoto più spinto. Questo schema si ripete fino all'ultimo stadio, in cui la condensazione dei vapori uscenti dal duomo della caldaia viene realizzata mediante condensatore esterno a piastre, il quale sfrutta come utility acqua proveniente da torri di raffreddamento o dry cooler.

In un impianto a multiplo effetto, la temperatura di lavoro del primo stadio è uno dei gradi di libertà del sistema, in quanto può essere scelta dall'operatore in relazione alla qualità del vettore termico di riscaldamento disponibile. La portata di fluido di riscaldamento viene quindi regolata per mantenere la temperatura di lavoro il più possibile costante comandando l'apposita valvola di regolazione. Gli stadi successivi al primo non dispongono di una vera e

propria regolazione di processo, bensì la regolazione della temperatura di lavoro delle caldaie ha un fondamento fisico: la temperatura viene regolata dal bilancio tra il calore scambiato ed il calore di evaporazione, e tra la portata di evaporato e la portata aspirata dal circuito del vuoto.

L'aspirazione del vuoto causa il calo della pressione misurata all'interno delle caldaie, con conseguente calo della temperatura di ebollizione dell'acqua; il calore fornito attraverso lo scambiatore, se è sufficientemente elevato da produrre una quantità di evaporato avente portata volumetrica superiore alla portata aspirata dal circuito del vuoto, causa l'aumento della pressione nella camera di evaporazione e quindi della temperatura di ebollizione del refluo. L'incremento della temperatura continua fino a che non si ha il calo del calore scambiato per riduzione del ΔT dello scambiatore: quando si raggiunge l'equilibrio tra il calore scambiato ed il calore di evaporazione la temperatura si assesta e rimane pressoché costante durante il processo evaporativo. Non installando dunque un sistema di regolazione della pressione in caldaia, il lavoro delle pompe da vuoto è sempre sfruttato al 100%, efficientando così il consumo elettrico. Nella condizione ottimale di design il consumo di un impianto evaporativo monostadio è di circa 600 kcal/kg di distillato; per gli impianti a doppio effetto il consumo di calore quasi si dimezza, scendendo a 320 kcal/kg di distillato, mentre negli impianti a triplo effetto il consumo cala fino a 220 kcal/kg di distillato. La diminuzione del calore necessario all'evaporazione non è precisamente inversamente proporzionale al numero di stadi, in quanto la portata di evaporato cala leggermente passando dal primo all'ultimo stadio: è necessario, infatti, che il calore fornito al primo stadio sia nella quantità giusta, oltre che per evaporare il tal quale presente nel primo stadio, anche per riscaldare il tal quale nello stadio successivo fino alla temperatura di ebollizione. Questo calore, detto "sensibile", è alla base della discrepanza dell'entità del calore scambiato ad ogni stadio. A titolo di esempio per un impianto a tre effetti di taglia 10.000 litri/giorno, nella condizione di ottimo di design, i 416,6 litri/ora evaporati vengono così ripartiti: nel primo stadio ne vengono evaporati 147,8 litri/ora, nel secondo 137,8 litri/ora e nel terzo 131 litri/ora. La lieve differenza di portata tra due stadi consecutivi, condensando, produce la quantità calore necessaria al riscaldamento dell'alimentazione dello stadio successivo fino alla temperatura di bolla (e a coprire la minima variazione delle entalpie di evaporazione dovuta alla differente temperatura di ebollizione tra gli stadi). Tale discorso vale ovviamente sia per le utilities di riscaldamento

che per quelle di raffreddamento, dove il consumo ridotto è invece relativo all'energia elettrica richiesta nell'impiego di una torre evaporativa o dry cooler di taglia inferiore rispetto a quanto servirebbe per un impianto mono effetto.

Questa tipologia di impianti viene impiegata nel trattamento di reflui con portate variabili tra i 4.000 ed i 30.000 litri al giorno, e quindi in un range di potenzialità produttiva che potremmo definire intermedio tra basse ed alte portate di alimentazione. Si possono ottenere elevati fattori di concentrazione per i reflui trattati, con tempi per ogni ciclo di evaporazione che vanno mediamente dalle 10-12 ore fino a 2-3 giorni ed oltre. Alla base dello studio di progetto di ogni impianto viene considerata la compatibilità tra ogni refluo in esame ed un ampio ventaglio di leghe di acciaio e materie plastiche impiegabili nella realizzazione di ogni parte dell'impianto, col fine di prevenire eventuali problemi di corrosione.

Un vantaggio non trascurabile derivante dall'impiego di questa classe di evaporatori sta nel fatto che tali impianti sono in grado di lavorare efficientemente con fonti di calore di recupero, provenienti per esempio da impianti di cogenerazione, ritorni di condense, recupero termico da fumi: è quindi possibile condurre gli impianti sfruttando fonti di calore a costo basso o nullo, in modo tale da abbattere enormemente i costi operativi dell'impianto di evaporazione. Infatti, in tal caso l'unico costo di conduzione dell'impianto è quello relativo al consumo elettrico (contributo minimo, imputabile alle sole pompe da vuoto, di ricircolo e di scarico del concentrato) e alla produzione di acqua di raffreddamento. Solitamente sono in possesso di tali fonti secondarie di energia aziende che conducono processi galvanici e trattamenti superficiali su metalli in genere, le pressofusioni, le aziende alimentari, solo per citarne alcune.

Un altro dei vantaggi degli impianti multistadio con scambiatore immerso, è che riescono a sfruttare le utilities meno pregiate, quali vapore a 1 barg e acqua anche a temperature di molto inferiori ai "canonici" 90°C: questi impianti, infatti, possono utilizzare come vettore di riscaldamento anche acqua a temperature inferiori agli 80°C, a seconda del numero di stadi e della temperatura dell'acqua fredda disponibile per la condensazione dei vapori. Queste utilities di recupero, disponibili a temperature relativamente basse rispetto alle controparti prodotte con appositi sistemi di generazione (quali per esempio i generatori a bruciatore), consentono di ridurre la formazione di incrostazioni causate generalmente dagli hot spots nello scambiatore: la bassa differenza di temperatura tra utility e concentrato fa decrescere la probabilità di

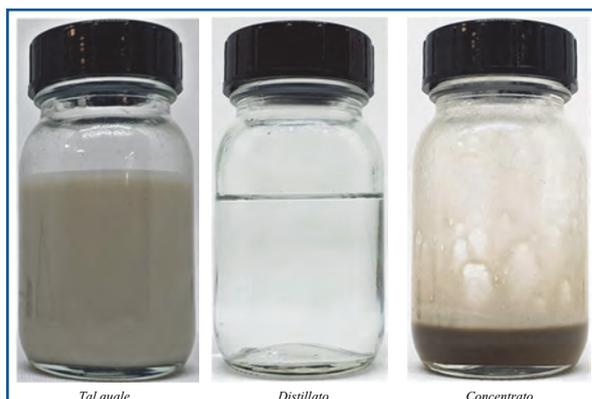


Figura 3
Campioni di emulsione derivante da pressofusione, concentrazione raggiunta: 95%. La rimozione di olio è superiore al 98%.

formazione delle incrostazioni, conducendo un processo di concentrazione più graduale, con grande vantaggio nella conduzione del ciclo evaporativo. Tra le svariate categorie di reflui trattabili mediante evaporazione sottovuoto, spiccano le emulsioni di olio in acqua, le quali sono largamente impiegate nella manifattura metalmeccanica, in particolare nelle pressofusioni, nelle lavorazioni meccaniche, nel processo di quenching, solo per citarne alcuni. Tali miscele si presentano solitamente come fluidi torbidi, i quali contengono in media il 3-5% di prodotto non acquoso. Questa parte non evaporabile è primariamente composta da olio, limatura disciolta di metalli, distaccanti, sali e tensioattivi. Questi ultimi, impiegati solitamente nei processi di lavaggio, sono sostanze capaci di emulsionare la fase oleosa con quella acquosa: tuttavia, la loro presenza rappresenta un ostacolo al processo evaporativo se non viene adeguatamente considerata e prevenuta la loro capacità di destabilizzare il processo di evaporazione mediante formazione di schiuma e violente ebollizioni. La corretta combinazione tra antischiuma, e un efficace demister consente di ottenere un distillato limpido e pulito nella maggior parte dei casi. Nel settore delle pressofusioni questa tipologia di impianto trova largo impiego, poiché le potenzialità giornaliere di trattamento (4.000 ÷ 30.000 L/giorno) soddisfano la produzione industriale media di tale categoria di reflui; trattando le emulsioni con questo tipo di tecnologia, si è infatti in grado di ottenere fattori di concentrazione anche superiori alle 15-20 volte. L'evaporatore multistadio a scambiatore immerso, oltre ad emulsioni, è in grado di trattare efficacemente svariate altre tipologie di reflui, tra le quali vernici, tensioattivi, polietilenglicole e soluzioni saline tra i principali. Questi ultimi rappresentano una casistica comune all'interno dell'industria chimica, in cui gli scarti reflui sono formati da soluzioni aven-

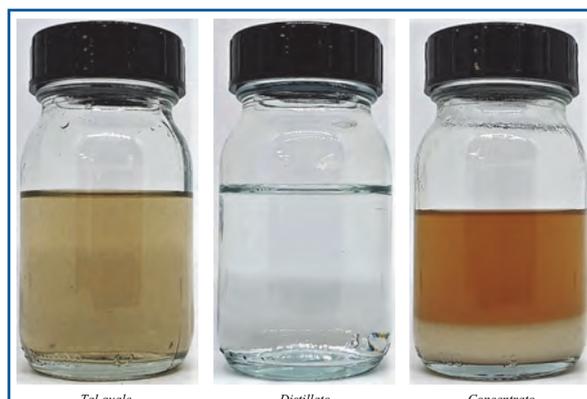


Figura 4
Campioni di soluzione di Sodio Solfato (Na_2SO_4), con precipitazione del 20-25% di sale solido; successivamente al processo di evaporazione è possibile separare il sale, ottenendo così un sottoprodotto di valore.

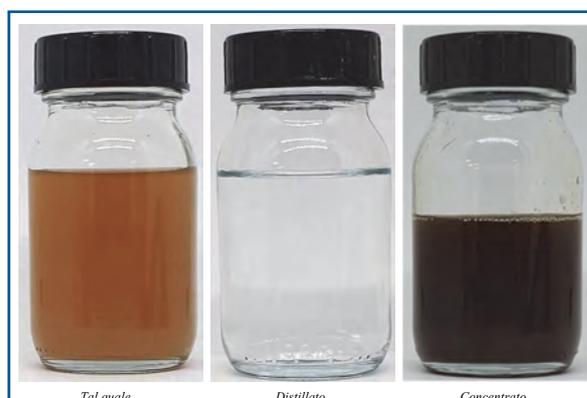


Figura 5
Campioni di miscele acquose di PEG 400. La concentrazione di PEG nel concentrato è pari al 96%, con una percentuale di recupero superiore al 99%.

ti sia una componente organica derivante dai solventi di processo, sia una frazione secca costituita da molteplici ioni e quindi specie saline chimicamente e fisicamente differenti. Un fenomeno correlato a questa classe di composti è la formazione di depositi e incrostazioni sulla superficie esterna degli scambiatori di calore dovuta alla precipitazione dei sali contenuti nei reflui, in particolare in presenza di un'elevata durezza, costituita principalmente da CaCO_3 (calcite), CaSO_4 (gesso) e MgCO_3 (magnesite). Tali depositi vengono contrastati ricorrendo a periodici lavaggi delle caldaie mediante specifici detergenti appositamente studiati durante le analisi di laboratorio ed i test effettuati sugli impianti pilota, in modo da definire i dettagli di processo e progetto necessari per lo scale-up impiantistico.

Eco-Techno Srl
E-mail: sales@eco-techno.it
Web: www.eco-techno.it



ABBATTI I COSTI DI SMALTIMENTO RIDUCENDO LO SCARTO QUASI A ZERO CON I NOSTRI EVAPORATORI



+3000
evaporatori
installati



Economia
circolare e
sviluppo
sostenibile



Impianti
Zero liquid
discharge



Tailor made

LE MIGLIORI SOLUZIONI PER OGNI APPLICAZIONE



PRESSOFUSIONE



PIATTAFORME DI
SMALTIMENTO



VULCANIZZAZIONE
GOMMA



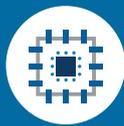
LAVANDERIE
INDUSTRIALI



GALVANICA



TRATTAMENTO
DEL PERCOLATO
DA DISCARICHE



ELETTRONICA E
SEMICONDUCTORI



PACKAGING



TRATTAMENTO
DIGESTATO



CHIMICA
FARMACEUTICA



LATTIERO-
CASEARIO



LAVORAZIONI
MECCANICHE



ALIMENTARI



AROMI E
ERBORISTERIA



CONCENTRAZIONE
DEI MOSTI



VERNICIATURA
INDUSTRIALE



PROCESSI DI
STAMPA



TRATTAMENTI
TERMICI