



UN VALIDO ESEMPIO DI INNOVAZIONE NELL'EVAPORAZIONE SOTTOVUOTO OTTIMIZZANDO IL CONSUMO ENERGETICO

Ing. Massimo Gregoris¹, Ing. Mattia Maggioni²

¹Sales Manager

²Process Engineer

Nel corso dell'ultimo anno il marcato aumento dei prezzi delle materie prime, dei combustibili e dell'energia elettrica ha comportato per il settore produttivo un gravoso incremento dei costi, motivo per cui ora più che mai viene sentita la necessità di optare, all'interno dei progetti, per delle soluzioni in grado di consentire un risparmio energetico e l'ottimizzazione dei

consumi. Prendendo in esame il trattamento delle acque reflue industriali, oggi giorno è sempre più importante ricercare tecnologie che consentano di ottenere una significativa riduzione in termini di consumo energetico. È per questo motivo che ECO-TECHNO Srl, uno dei principali produttori mondiali di evaporatori per la concentrazione di soluzioni acquose, ha deciso

di investire in questa direzione. Nel campo del trattamento delle acque reflue con evaporazione sottovuoto, le soluzioni proposte hanno generalmente una componente di consumo elettrico sempre presente a cui talvolta si somma, in funzione della tipologia di impianto, una componente di consumo termico: tutti gli evaporatori termici, infatti, necessitano di un generatore esterno di utility (quali acqua calda, surriscaldata, vapore o olio diatermico).

Tra le tecnologie consolidate all'interno dell'evaporazione sottovuoto spicca la ricompressione meccanica del vapore (MVR), tecnologia dalla vocazione di consumo prettamente elettrico ma che ECO-TECHNO ha recentemente implementato con un elemento di novità, costituito da un'alimentazione ibrida (elettrica + termica) per migliorarne ulteriormente i consumi e le performance di processo, rendendola più efficiente.

Il principale vantaggio della ricompressione meccanica è quello di sfruttare il calore di condensazione dell'evaporato prodotto. Infatti, il funzionamento classico degli impianti MVR prevede l'impiego dell'evaporato stesso per riscaldare il concentrato ed alimentare termicamente il processo evaporativo. In condizioni normali ciò sarebbe impossibile dal momento che le temperature del liquido che bolle e dell'evaporato prodotto da questo sono molto simili; tuttavia, comprimendo adiabaticamente questo gas è possibile ottenere un vapore a pressione e temperatura maggiore rispetto ai valori di partenza, che è quindi in grado di riscaldare il liquido concentrato.

Il funzionamento generale dell'impianto prevede le seguenti fasi, visibili nello schema riportato in Figura 1.

L'alimentazione viene trasferita dal serbatoio di stoccaggio all'evaporatore mediante una pompa dedicata; prima di entrare nella caldaia attraversa un filtro per rimuovere particelle solide e successivamente scorre all'interno di un Economizzatore avente la funzione di recupero del calore contenuto nel distillato per incrementare la temperatura del tal quale. Ovviamente questo passaggio non è effettivo nella fase di start-up, ovvero quando non si ha ancora la produzione di distillato e quindi non è possibile effettuare il preriscaldamento.

Il prodotto caricato all'interno del vessel deve quindi essere riscaldato per poter raggiungere la temperatura di evaporazione. L'incremento di temperatura solitamente ha luogo utilizzando delle resistenze elettriche o impiegando aria esterna da aspirare mediante la soffiante: in questo modo l'aria aspirata viene compressa dal macchinario e incrementa la sua temperatura per effetto del suddetto fenomeno fisico, così da poter essere impiegata nel riscaldamento del liquido. Entrambi questi metodi, tuttavia, richiedono un ingente consumo elettrico e parecchio tempo per portare il liquido alla temperatura di lavoro (circa 90°C). L'implementazione di ECO-TECHNO Srl, che consiste nell'incrementare la temperatura del liquido tramite l'iniezione di vapore o acqua calda/surriscaldata, permette di ridurre enormemente i tempi di start up e di evitare il prolungato consumo elettrico dato dalle resistenze o dalla soffiante stessa.

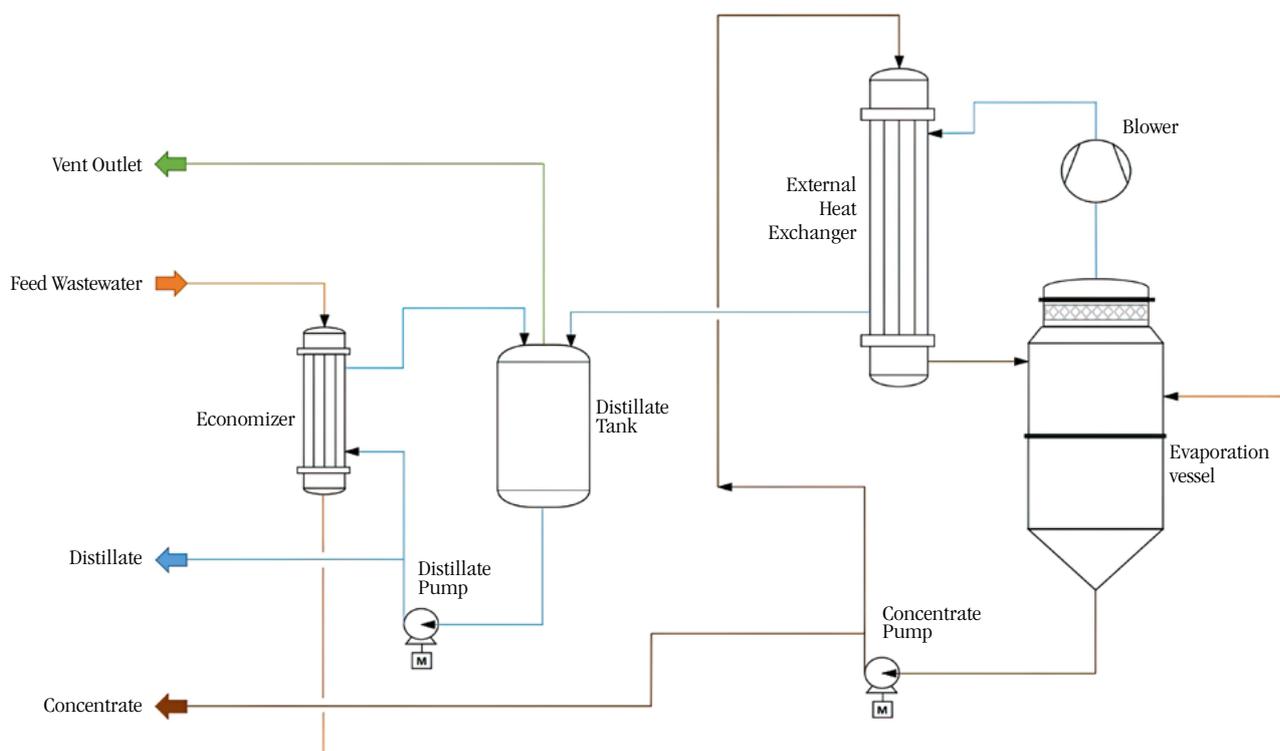


Figura 1. Process Flow Diagram. Schema di processo.

Raggiungendo la temperatura di lavoro il processo evaporativo viene auto-alimentato dall'evaporato prodotto: il contenuto della caldaia viene ricircolato forzatamente in continuo, mediante apposita pompa, ad uno scambiatore esterno a fascio tubiero e rientra successivamente in caldaia, dove evaporando viene convogliato alla soffiante che lo comprime incrementandone temperatura e pressione e lo invia al lato mantello dello scambiatore esterno. Nello scambiatore il vapore condensa cedendo il suo calore al concentrato, così da alimentare il processo evaporativo. In uscita dalla caldaia, un abbattitore di nebbie (mist eliminator) trattiene eventuali trascinati di particelle liquide o solide, così da garantire la corretta operatività del compressore. Quando la produzione di distillato ha luogo, questo viene ricircolato all'Economizzatore in modo da recuperare il calore del distillato prodotto, che in uscita dallo scambiatore di calore principale ha una temperatura prossima ai 90°C, cedendolo all'alimentazione.

Rispetto ad altri sistemi evaporativi (pompe di calore, impianti multieffetto), la ricompressione meccanica presenta un'importante differenza. Mentre in altri evaporatori lo scambio termico per l'evaporazione e la condensazione avviene in due sezioni distinte, negli MVR il processo di riscaldamento e condensazione avviene in un unico scambiatore. Pertanto, il processo si autosostiene fino a quando l'energia ceduta dal distillato è sufficiente a scaldare il concentrato, permettendone poi la successiva evaporazione in caldaia. Poiché la portata volumetrica di distillato cala con l'aumentare del tempo di concentrazione (sia perché il contenuto di acqua nel concentrato cala sensibilmente, sia perché possono verificarsi dei fenomeni di sporcamento che vanno a ridurre l'efficacia dello scambio termico), e parallelamente si ha l'innalzamento ebullioscopico del concentrato, ad un certo punto il carico entalpico del distillato in fase vapore non sarà più sufficiente a far evaporare il concentrato, causando quindi l'arresto del processo. Di conseguenza, qualora si debbano raggiungere fattori di concentrazione elevati, la ricompressione meccanica presenta una forte limitazione rispetto alle altre tipologie di evaporatori.

Tuttavia, l'introduzione da parte di ECO-TECHNO Srl di un'alimentazione ibrida, fa sì che si possa sfruttare un vettore termico per fornire al processo una quantità extra di energia che permette di sostenere il processo evaporativo e ottenere dei fattori di concentrazione maggiori rispetto alla ricompressione meccanica tradizionale, raggiungendo quindi rese paragonabili ad altri evaporatori quali i multieffetto, con un minor dispendio energetico.

Questa soluzione tecnologica, infatti, ha un consumo termico molto ridotto, in quanto il calore esterno fornito mediante utility viene impiegato solo nella fase di startup in quantità ridotte (in termini di portata e di energia termica consumata) ed occasionalmente per compensa-

re eventuali perdite di produzione imputabili all'elevato fattore di concentrazione raggiunto con il concentrato trattato. Mentre la prima ragione del consumo di utility esterna è pressoché fisiologica in quanto non è possibile far iniziare il processo evaporativo con il tal quale ancora freddo, la seconda ragione è principalmente legata all'obiettivo che l'utilizzatore dell'impianto si prefigge di raggiungere, ovvero fin dove vuole spingere la resa del macchinario. ECO-TECHNO Srl ha introdotto questa miglioria appositamente per il trattamento di soluzioni saline, raggiungendo in tal modo delle concentrazioni decisamente maggiori rispetto ad un MVR tradizionale; infatti, in queste applicazioni, nella fase terminale del ciclo evaporativo l'elevata concentrazione di sali e la loro eventuale precipitazione conduce ad un netto calo di produzione di distillato, che può essere compensato mediante il riscaldamento fornito dal fluido di servizio caldo.

Per meglio comprendere i vantaggi di questa differente tecnologia risulta utile effettuare una comparazione in termini di consumi e di rese con i classici impianti evaporativi. A titolo di esempio, verrà presentato di seguito un recente case study di ECO-TECHNO Srl, che ha fornito riscontro pratico all'attività di progetto.

Case study: la cristallizzazione del solfato di sodio

In termini di tipologia di reflui idonei al trattamento mediante compressione meccanica la platea di soluzioni acquose è piuttosto ampia: acque di lavaggio a bassa concentrazione di inquinanti o soluti, emulsioni oleose, soluzioni dell'industria alimentare o farmaceutica, solo per citarne alcuni. Tra le applicazioni più recenti di questa tecnologia, troviamo la cristallizzazione di soluzioni saline di solfato di sodio, processo al termine del quale viene prodotto un sale anidro (qualora siano presenti solo tracce di altre impurità). La tecnologia, infatti, riesce a gestire senza problemi l'innalzamento ebullioscopico, che per una soluzione di solfato di sodio al 40% in peso è di circa 7°C.

Il solfato di sodio si presta molto bene alla cristallizzazione tramite evaporazione in quanto il sale si presenta sottoforma di polvere fine, che viene mantenuta facilmente in sospensione dalla circolazione forzata. Inoltre, la stessa circolazione forzata permette di avere una bassa tendenza allo sporcamento e alla formazione di incrostazioni, anche ad alte concentrazioni saline.

Al di sopra dei 32,4°C e per concentrazioni superiori al 33,2% in peso, il solfato di sodio si presenta nella sua forma anidra: a questa temperatura, infatti, il composto decaidrato del solfato di sodio (sale di Glauber) si decompone per formare una fase liquida ed una fase solida anidra (Fig.2). Rispetto alla forma decaidrata ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), il solfato di sodio anidro si presenta

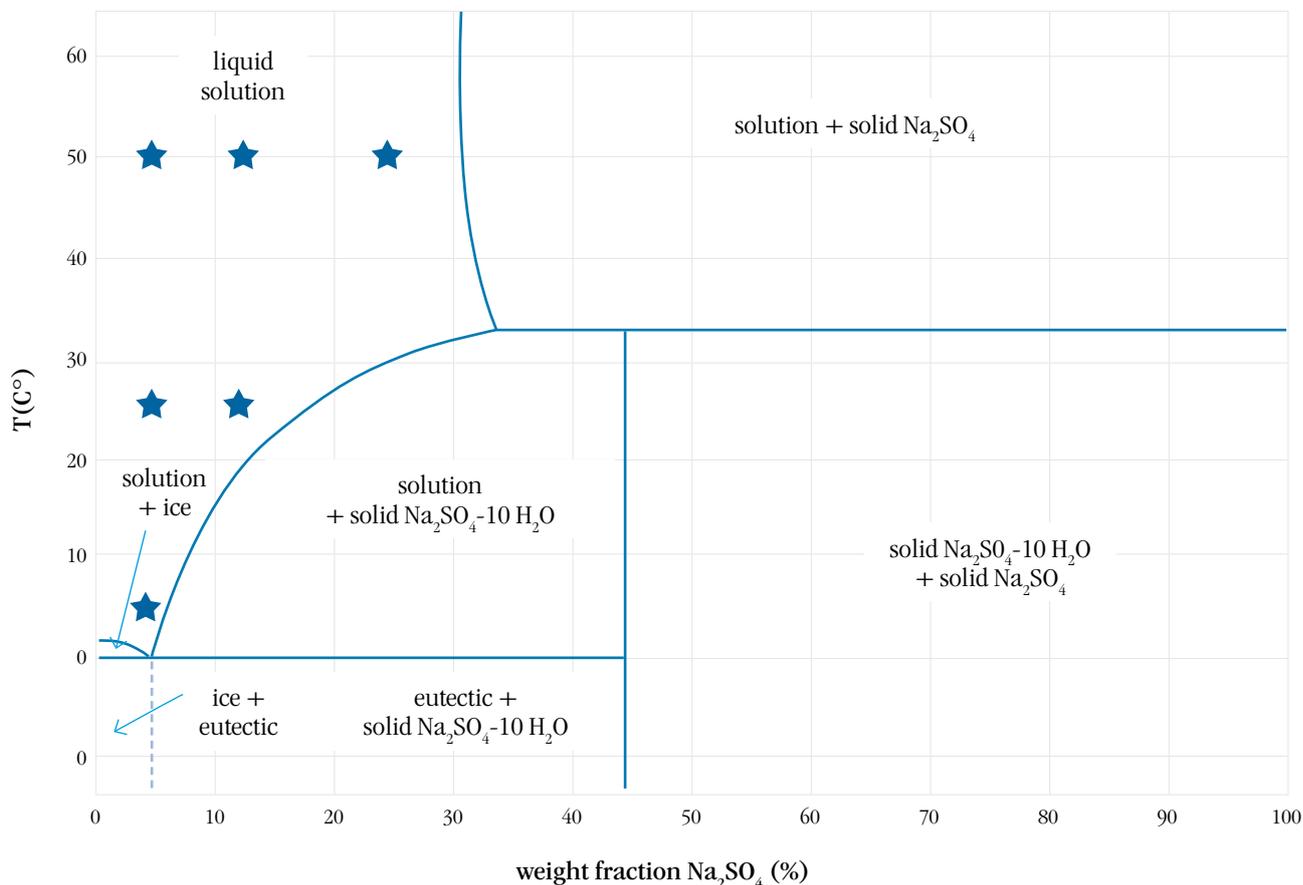


Figura 2. Curve di solubilità di soluzioni di solfato di sodio in funzione della temperatura e della concentrazione di Na_2SO_4 .

come sale cristallino fine, che non solo è più semplice da stoccare ma soprattutto acquista valore come sottoprodotto. Se ne fa largo uso, ad esempio, nell'industria chimica, nella produzione di detersivi, nella settore del vetro o in quello tessile.

Il caso in esame riguarda un impianto di evaporazione a ricompressione meccanica "ibrido" realizzato da ECO-TECHNO Srl impiegato nella concentrazione di una soluzione di solfato di sodio, fino a raggiungere la cristallizzazione del sale, e quindi la precipitazione del solido. Il precipitato viene successivamente separato dalla corrente liquida, detta acqua madre, mediante una centrifuga di tipo pusher in continuo.

L'azienda cliente è leader mondiale nella produzione, manifattura e distribuzione di involucri artificiali per l'industria della carne, con una presenza produttiva e commerciale in tutto il mondo. Dal processo produttivo vengono generati $60 \text{ m}^3/\text{giorno}$ di una soluzione acida di solfato di sodio, che il cliente aveva necessità di trattare con un impianto a basso impatto energetico, in grado di separare la componente salina dall'acqua.

La soluzione progettata e fornita da ECO-TECHNO Srl consiste appunto in un impianto di cristallizzazione mediante ricompressione meccanica da $60 \text{ m}^3/\text{giorno}$, realizzato in super duplex, sia per l'ambiente acido sia per garantire un'elevata resistenza all'abrasione data dai

solfati, necessaria per questo processo. Il distillato prodotto ha una conducibilità media inferiore ai $200 \mu\text{S}/\text{cm}$, grazie a cui è stato possibile raggiungere l'obiettivo dello scarico zero. Il concentrato, invece, costituito da una miscela eterogenea di precipitato salino e liquido madre (soluzione al limite di solubilità), presenta una densità di $1,4 \text{ g/l}$ ed una concentrazione di sale pari al 40% in peso. Tale soluzione viene inviata ad un separatore centrifugo, da cui si ottiene solfato di sodio anidro con un tenore di umidità residuo inferiore al 3%; le acque madri, invece, pari a circa $3 \text{ m}^3/\text{giorno}$, vengono separate ed inviate ad un altro concentratore ECO-TECHNO costituito da una caldaia orizzontale con coclea interna: la caldaia è rivestita da uno scambiatore a sella, alimentato con acqua calda. Questa configurazione consente di scaricare al termine del ciclo di lavoro un concentrato salino palabile, che consente quindi il totale recupero del solfato di sodio contenuto nella soluzione di partenza.

Per mantenere sempre pulito lo scambiatore, e mantenere quindi l'efficienza del sistema costante, ECO-TECHNO ha implementato un sistema di lavaggio automatico in cui viene utilizzato il distillato caldo, evitando quindi di emungere e consumare acqua da altre fonti. Non sono richiesti pertanto dei lavaggi chimici, né tantomeno pulizie di tipo meccanico.



Il committente, quindi, ha raggiunto tutti i suoi obiettivi: recupero totale del sale e scarico zero delle acque, il tutto con un impianto a basso consumo energetico ed elevate prestazioni.

Il confronto: MVR ibrido e MVR tradizionali

Per quanto riguarda i consumi energetici, è stato rilevato in fase di conduzione dell'impianto che la reale potenza elettrica assorbita in condizioni di funzionamento "a regime" è pari a 108 kW; la potenza termica richiesta in termini di preriscaldamento nella fase di start-up è pari a 90 kW da erogare per un tempo di circa un'ora, quindi 90 kW sulle 24 ore se consideriamo un ciclo di evaporazione di un giorno. I consumi specifici (riferiti al distillato prodotto) sono quindi di 43 Wh/L elettrici e di 1,5 Wh/L termici. Nel caso si volesse raggiungere la precipitazione del sale, come nel caso in esame, per i motivi sopra esposti si avrebbe un aumento del consumo termico nella fase finale del ciclo evaporativo: dalle rilevazioni sul campo, il consumo termico medio durante l'intero ciclo di concentrazione salirebbe in un range che va dai 4 ai 6 Wh/L, che sono ancora dei valori estremamente bassi. Anche il consumo elettrico medio salirebbe, raggiungendo valori di circa 50-55 Wh/L.

Volendo invece fare un confronto a livello di rese tra questo MVR ed un MVR tradizionale, ad alimentazione esclusivamente elettrica, possiamo affermare che l'aggiunta di un'alimentazione termica garantisce un sostanziale aumento del fattore di concentrazione ottenibile. Infatti, mentre una ricompressione meccanica tradizionale che tratta una soluzione salina può arrivare mediamente ad un 25% di TDS, un MVR ad alimentazione ibrida permette di arrivare anche al 35-40% di TDS, realizzando quindi un perfetto connubio tra performance di processo elevate e ridotti consumi energetici. Anche la scelta della circolazione forzata, rispetto a

quella naturale, permette di avere minori tempi di contatto del liquido all'interno dello scambiatore a fascio tubiero, e quindi consente di gestire al meglio reflui con elevata tendenza allo sporco o soluzioni saline che possono dar luogo a precipitazione.

Inoltre, un ulteriore elemento di confronto è quello relativo al consumo energetico durante la fase di avviamento dell'impianto. Utilizzando resistenze elettriche o la soffiante con aria, occorrono dalle due alle tre ore per portare il liquido alla temperatura di esercizio, durante le quali si ha un assorbimento elettrico di circa 100 kW (questo per un MVR da 60 m³/giorno come quello preso in esame), pari quindi a 200-300 kWh elettrici. Con la soluzione proposta da ECO-TECHNO Srl, invece, come abbiamo visto si velocizzano notevolmente i tempi di start up, i quali vengono ridotti di oltre un'ora, con un consumo termico di soli 90 kWh. Si consideri che produrre un kWh elettrico bruciando un combustibile è molto più costoso che produrre un kWh termico, in quanto per avere 1 kWh elettrico bisogna fornire circa 3 kWh termici: ne consegue che con questa soluzione, il risparmio energetico durante l'avviamento è pari a un fattore 10.

Innovare e puntare su soluzioni efficienti a basso impatto energetico si può fare, e questo ne è un perfetto esempio. È per questo motivo che ECO-TECHNO Srl continua ad investire importanti risorse in questa direzione, sviluppando nuovi modelli evaporativi volti soprattutto alla riduzione dei consumi elettrici e/o termici. ■

Eco-Techno Srl

E-mail: sales@eco-techno.it

Web: www.eco-techno.it



IdA



TRATTA - CONCENTRA - RICICLA E VALORIZZA LE TUE ACQUE REFLUE

IL FUTURO DELL' EVAPORAZIONE



LA TUA SOLUZIONE COMPLETA
PER LO SCARICO ZERO



VALORIZZAZIONE DEI
CASCAMI TERMICI



TRATTAMENTO DEI REFLUI INDUSTRIALI



NEW

EVAPORATORE A
RICOMPRESSIONE MECCANICA

VERSIONE IBRIDA
BASSO FABBISOGNO
ENERGETICO

FINO AL **40%** DI SALI
NEL CONCENTRATO

TUTTE LE TECNOLOGIE DI EVAPORAZIONE E DI SCAMBIATORI DI CALORE



ECO DRY



ECO DPM



ECO DPM SE



ECO VR-HP



ECO VR-WW



ECO VS-HP



ECO CMV

EVAPORATORI E CONCENTRATORI SOTTOVUOTO DAL 1984