

EVAPORAZIONE SOTTOVUOTO: COME MIGLIORARNE LE PERFORMANCE NEL TRATTAMENTO DI SOLUZIONI SALINE O INCROSTANTI

INTRODUZIONE

In una società globale fortemente improntata al consumo e alla produzione, una tematica di forte interesse per le imprese pubbliche e private è lo smaltimento ed il trattamento delle acque di scarto prodotte durante tutti i processi industriali, agricoli e civili. È infatti una costante in tutte le attività umane la generazione di prodotti di scarto, molto spesso asportati in soluzione acquosa (basti pensare ai lavaggi domestici e industriali, alle acque dei processi che avvengono in fase liquida, abbattimenti di inquinanti e altre sostanze, ecc.) che genera il problema dello smaltimento di questi fluidi.

Il trattamento delle acque reflue può avvalersi a livello tecnologico di diverse soluzioni con il fine di purificare miscele a base acquosa contenenti sostanze organiche, sali ed altri composti inquinanti: tra queste, l'evaporazione sottovuoto risulta essere attualmente una strada molto percorsa ed ottimizzata per ottenere distillati a base acquosa in purezza a partire da reflui inquinati.

L'evaporazione sottovuoto risulta essere la più adatta soluzione al problema del trattamento dei reflui, in diverse modalità a seconda delle tipologie di miscele da trattare, sfruttando vettori termici di diverso tipo e differenti tipologie di impianti di evaporazione. Il tipo di impianto scelto per concentrare un refluo dipende infatti dalle sostanze che questo contiene. Al vertice del-

l'approccio alla soluzione del problema viene adottata una logica improntata alla customizzazione dell'impianto secondo le necessità e le caratteristiche dei fluidi da trattare. Generalmente, partendo da un'alimentazione detta tal quale costituita da un soluto ed un solvente, è possibile far evaporare e successivamente condensare il solvente ottenendo un distillato più puro possibile ed un concentrato di fondo ricco di soluti e altre sostanze disciolte e/o disperse.

In questo articolo ci focalizzeremo maggiormente sugli evaporatori termici con scambiatore di calore incamiciato ed aventi un sistema raschiante al proprio interno.

EVAPORATORI TERMICI RASCHIATI

Gli impianti termici raschiati (nell'esempio quelli che costituiscono la serie di evaporatori Eco-Techno denominata ECO VR-WW), sono stati studiati e sviluppati per il trattamento ed il recupero di reflui particolarmente incrostanti. Essi consentono infatti di raggiungere un elevato tenore di sostanze solide nel concentrato evaporando elevate quantità di solvente. La capacità nominale di trattamento di tali sistemi va dai 2 ai 20 metri cubi al giorno.

Gli impianti in questione sono costituiti da una caldaia cilindrica con la parte inferiore a forma tronco conica, per le quali la scelta del materiale di costruzione varia a seconda dell'aggressività del fluido trattato: per le miscele non aggressive viene preso in considerazione l'AISI 316 come standard; in caso di presenza cospicua di cloruri invece, gli acciai super

duplex vengono impiegati per garantire resistenza alla corrosione.

La parte cilindrica della caldaia è dotata di una camicia esterna in cui viene inviato il vettore termico, ovvero il fluido di servizio che riscalda per conduzione il lato interno del vessel. La caldaia è provvista internamente di un raschiatore a pale, montato su un albero rotante guidato da motoriduttore atto a mantenere sempre in movimento la miscela evaporante, con la doppia funzione di favorire lo scambio termico (la convezione è favorita dal movimento dei fluidi) e di evitare depositi indesiderati di sale lungo le pareti. Tale fenomeno, infatti, è responsabile della riduzione del calore scambiato in quanto assimilabile idealmente ad un aumento dello spessore della parete della caldaia. Incrementando perciò la distanza che percorre il calore dalla camicia al lato interno della caldaia si diminuisce la velocità con cui questo viene scambiato (a livello tecnico viene detto che si incrementa la resistenza allo scambio termico). La continua rimozione da parte del raschiatore del sale precipitato dalle pareti consente quindi di conservare durante tutto il ciclo una buona efficienza di scambio termico.

Il vuoto è mantenuto all'interno del sistema da un circuito ad alta efficienza dedicato e completo di pompa ad anello liquido, serbatoio del vuoto, scambiatore di raffreddamento e strumentazione digitale e analogica di controllo automatico.

Il solvente evaporato invece, viene condensato all'uscita di testa della caldaia da un apposito condensatore, ovvero da uno scambiatore di calo-

* *Articolo a firma di:*
Ing. Gabriele Marcandalli
Ing. Mattia Maggioni
ECO-TECHNO s.r.l.
sales@eco-techno.it

re, solitamente a piastre, che sfrutta acqua fredda opportunamente purificata (la presenza di elevata durezza potrebbe creare depositi di calcare nello scambiatore ostacolando lo scambio termico) per liquefare il distillato, accumulato in un proprio serbatoio.

Il concentrato infine, viene scaricato con due modalità differenti, a seconda del tipo di sistema progettato. Questa tipologia di evaporatori è infatti stata sviluppata in due diverse configurazioni: la versione rialzata, in cui il rilascio del concentrato avviene per gravità tramite una valvola modulatrice automatica (*Figura 1*) e la versione standard che consente uno scarico tramite pompa (*Figura 2*).

Nel primo caso, il concentrato viene solitamente raccolto in un big bag o in un serbatoio e facilmente smaltito con un costo minore; nella seconda versione, il concentrato viene invece inviato direttamente al serbatoio di stoccaggio tramite una apposita pompa volumetrica pneumatica.

La funzione di scarico automatico è programmabile tramite scarico temporizzato per una personalizzazione completa del processo.

A livello di concentrazioni massime raggiungibili l'impianto in questione consente di raggiungere un tenore massimo di sostanze solide nel concentrato intorno al 60%, soglia che rende possibile un compromesso pratico tra una elevata concentrazione di solidi, un elevato fattore di concentrazione raggiungibile ed una mobilità del fango prodotto.

Relativamente ai consumi energetici nominali, possiamo considerare necessari circa 590 kcal/kg per il funzionamento di questi impianti.

È importante sottolineare come gli evaporatori termici vadano convenientemente a integrarsi con sistemi di cogenerazione o sfruttando il calore prodotto dal recupero fumi o altri cascami termici, raggiungendo così un buon grado di efficientamento energetico.



Figura 1: Evaporatore raschiato in versione rialzata

La logica generale di tutti gli impianti consiste nell'evaporare miscele a base acquosa sottovuoto, sfruttando la creazione di una pressione relativa negativa in caldaia per favorire l'evaporazione dell'acqua (o del solvente in generale) ad una temperatura inferiore a quella di ebollizione a pressione atmosferica. In tale modo, i nostri impianti sono in grado di sfruttare come vettore termico, oltre al classico vapore acqueo in pressione, anche acqua calda a temperature normalmente non sufficienti per far avvenire il processo fisico.

Sebbene questa configurazione impiantistica funzioni senza problemi, l'efficienza di scambio termico del vapore (legata allo scambio del calore latente di condensazione) risulta in ogni caso maggiore.

Questa tecnologia consente di evaporare le miscele di reflui a partire da un grado di vuoto non eccessivamente basso, nel range di 150-400 mbar di pressione assoluta, corrispondenti a temperature dell'ordine dei 50°-75°C. Tale scenario rappresenta un vantaggio in termini di fabbisogni energetici rispetto ad un normale



Figura 2: Evaporatore raschiato in versione standard

trattamento a pressione atmosferica in cui la temperatura di ebollizione è pari a 100°C (Figura 3).

È di fondamentale importanza l'attività di avviamento che ha la funzione di definire quale sia, in condizioni operative normali, il tempo di concentrazione necessario per poter raggiungere la soglia di scarico desiderata e confermare così i tempi previsti durante l'attività di progettazione dell'evaporatore, garantendo un corretto funzionamento dell'impianto nel corso degli anni. Ovviamente, diversi prodotti in ingresso necessitano di differenti tempistiche di trattamento, in base anche a come ogni singola miscela risponde al riscaldamento sottovuoto.

Quando le acque reflue da trattare sono ricche di composti organici bisogna inoltre fare attenzione a pos-

sibili trascinamenti delle suddette nel distillato; infatti, molto spesso, i composti organici più leggeri risultano essere parecchio volatili: i composti aventi una tensione di vapore inferiore a quella dell'acqua a tutte

le temperature presentano, a parità di condizione di pressione, una temperatura di ebollizione e di condensazione inferiore rispetto a quella dell'acqua. Trattando quindi miscele che contengono tali composti, ne deriva che l'evaporazione dei composti organici sia favorita rispetto a quella dell'acqua. Risulta quindi molto importante limitare le evaporazioni di sostanze bassobollenti e i trascinamenti di liquido durante il processo evaporativo.

POSSIBILI APPLICAZIONI

I sistemi di evaporazione raschiati possono essere installati come singolo trattamento oppure come post-trattamento nel caso si vogliano concentrare ulteriormente i concentrati in uscita da un altro evaporatore, da altri sistemi chimico-fisici o a membrana.

Un'altra alternativa, per raggiungere un prodotto in percentuali solide più spinte e quindi forzare ulteriormente il grado di concentrazione, è quella di abbinare gli evaporatori raschiati ad una centrifuga o ad una filtro-pressa collocate a valle dell'evaporatore. In questo modo è possibile rimuovere il sale precipitato (che, come detto, costituisce la grossa parte del concentrato ottenuto, circa il 60%) e procedere ad un eventuale riciclo in alimentazione all'evaporatore delle acque madri separate o al

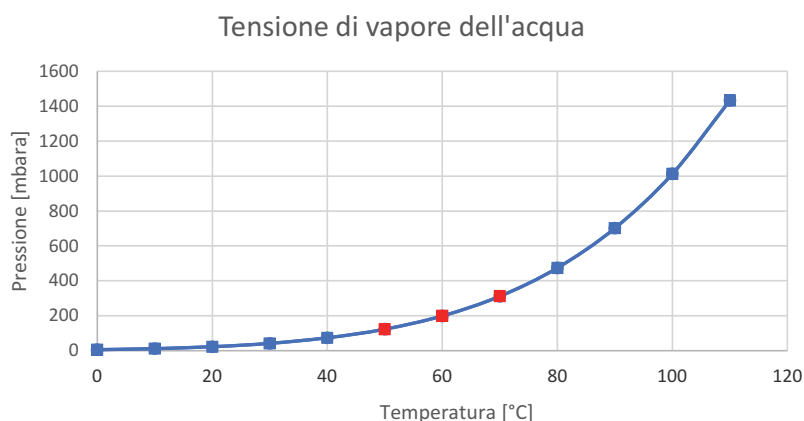


Figura 3: Evidenziato in rosso il range di funzionamento degli evaporatori termici raschiati



Figura 4: Tal quale, distillato e concentrato del refluo ricco in cloruri

loro trattamento in unità successive in grado di rimuovere la restante parte di acqua.

Le principali tipologie di reflui che possono essere trattate con questi evaporatori sono: liquidi collosi o incrostanti che, data la loro viscosità non sono adatti ad essere processati con evaporatori classici con scambiatore di calore all'interno della caldaia di ebollizione, liquidi contenenti inchiostri, bagni di sviluppo, reflui da stampa e concentrazione di reflui ad elevata salinità come i concentrati da osmosi inversa.

CASE STUDY

Tra le numerose applicazioni industriali degli evaporatori raschiati riporteremo ora alcune fra quelle più rappresentative, così da evidenziare le capacità di questi impianti.

La prima casistica riportata (*Figura 4*) riguarda il trattamento del concentrato in uscita da un evaporatore precedentemente installato. Tale refluo presenta una densità iniziale pari a 1.085 kg/m^3 ed un contenuto di sali disciolti pari al 12%w/w, con un forte tenore di cloruri, carbonati ed idrossidi. La soluzione ha un forte carattere basico, tuttavia l'alto tenore di cloruri costituisce un problema dal punto di vista della corrosione: la maggior parte degli acciai, infatti, tra cui l'AISI 316, presentano una buona

resistenza ai composti alcalini ma non al pitting da cloruri. Viene quindi realizzato l'impianto in SAF 2507 per quanto riguarda le parti in contatto con il prodotto, in modo tale da garantire una buona resistenza alla tenosocorrosione.

Tale prodotto è stato concentrato 11 volte in volume grazie al trattamento in evaporatore, fino ad ottenere una miscela avente un tenore salino intorno al 60%. La soluzione adottata rappresenta sia a livello gestionale che ambientale l'opzione migliore possibile in termini di ottimizzazione del trattamento delle acque reflue, con una produzione di scarti minimizzata ai pochi solidi ottenuti a se-

guito dell'ulteriore concentrazione attuata da parte dell'evaporatore raschiato. Il concentrato finale si presenta come un fluido molto denso e di aspetto pastoso.

Una seconda casistica (*Figura 5*) emblematica della tipologia di acque di processo trattabili è costituita da lavorazioni industriali caratterizzati da un discreto contenuto secco.

Dopo il passaggio nell'evaporatore raschiato, il concentrato prodotto ha un contenuto in termini di tenore salino del 62%, che costituisce un compromesso vantaggioso tra la mobilità (all'aumentare del contenuto di solidi aumenta la viscosità e la tendenza a formare creme viscosose o solidi da parte della miscela) e una elevata concentrazione di solidi. In questo caso, il fattore di concentrazione raggiunto, pari a 10 volte, ha portato alla formazione di un fluido denso come sostanza da smaltire.

Per quanto riguarda il distillato, si riesce ad ottenere un liquido di buona qualità, con un COD al di sotto di 15 mg/L ed una conducibilità di $37,3 \text{ } \mu\text{S/cm}$. Questo può essere quindi riutilizzato all'interno del ciclo produttivo, in modo tale da minimizzare il consumo d'acqua e allo stesso tempo la produzione di refluo da smaltire.



Figura 5: Tal quale, distillato e concentrato dell'acqua di processo trattata nel raschiato