

## ***INTRODUZIONE***

---

Nell'attuale era industriale, competitività e produttività sono i due connotati essenziali dai quali le industrie non possono prescindere per poter continuare ad essere profittevoli e longeve nell'arena del mercato mondiale. In questo quadro, pertanto, la propensione del mondo industriale verso la ricerca di tecnologie, da una parte più economicamente efficienti e dall'altra meno invasive in termini di impatto ambientale, appare una necessaria ed obbligata via da percorrere.

Negli ultimi anni, le tecniche di separazione a membrana hanno conquistato un importante ruolo nella risoluzione di taluni problemi, relativi ai processi di separazione, concentrazione e purificazione di specie chimiche da soluzioni liquide o da miscele gassose. Molteplici sono le peculiarità che le rendono differenti rispetto alle tecniche tradizionali: possibilità di operare a media o a bassa temperatura, alta selettività, capacità di operare una separazione in continuo e senza additivi, minor consumo di energia, possibilità di integrare fra loro vari processi separativi, adattabilità a diverse funzioni.

I processi a membrana possono essere impiegati in diversi settori industriali, quali quello chimico, petrolchimico, farmaceutico, alimentare e medico.

Fra di essi riveste un particolare interesse la ***distillazione a membrana***, processo dalle molteplici applicazioni: rimozione di composti organici volatili, dissalazione, concentrazione di soluzioni acquose come quelle alimentari (succhi di frutta) e termolabili, trattamento delle correnti di scarico inquinate (acque reflue dell'industria tessile), purificazione dell'ultrafiltrato o dialisato del plasma umano, produzione di acqua ultrapura etc [1-11].

I vantaggi offerti dalla distillazione a membrana consistono in: totale reiezione nei confronti di ioni, macromolecole, colloidali, cellule ed altri composti non volatili; temperature operative più basse (il tipico range di temperature di alimentazione va dai 60 ai 90°C, ma possono essere utilizzate anche temperature inferiori, dell'ordine dei 30°C) e spazi ridotti rispetto alle distillazioni convenzionali; pressioni operative più basse rispetto ai processi a membrana che utilizzano una differenza di pressione per far avvenire la separazione e, quindi, utilizzo di membrane che non devono presentare particolari valori di resistenza meccanica; minori problemi di sporcamento della membrana (inevitabili durante i processi di filtrazione con membrana) a causa delle ridotte pressioni operative e delle maggiori dimensioni dei pori. Unitamente ai suddetti vantaggi, tale tecnica presenta anche alcune problematiche che ne rappresentano, oggi, la maggiore limitazione alla sua implementazione a livello industriale: il

consumo energetico legato al riscaldamento della corrente da trattare e la necessità di operare con moduli e membrane che garantiscano elevati flussi e ridotto dispendio termico.

Il presente lavoro di tesi tratta le *Applicazioni della distillazione a membrana a processi di interesse industriale*.

Non esistendo, ad oggi, analisi dei consumi energetici legati alla distillazione a membrana, la prima parte della ricerca ha riguardato la valutazione ed ottimizzazione delle richieste energetiche del processo considerando che una buona performance comporta l'ottenimento di alti flussi di distillato con moderati consumi energetici associati. In particolare, le prime prove sperimentali sono state condotte su moduli progettati e realizzati in laboratorio, al variare delle condizioni operative (temperatura, portata delle correnti, ecc.), delle configurazioni dei moduli (moduli piani a flusso longitudinale, trasversale e cross flow) e del processo (distillazione a membrana a contatto diretto e distillazione a membrana sotto vuoto). Tutti i test sono stati condotti utilizzando una membrana piana commerciale simmetrica idrofobica in polipropilene (prodotta da Membrana, Germania) con pori di 0.2  $\mu\text{m}$ , spessore di 91 $\mu\text{m}$  e porosità intorno al 70%, inviando acqua distillata come alimentazione. Sono state effettuate delle prove anche su moduli commerciali progettati per scopi diversi dalla distillazione a membrana, ma equipaggiati con membrane microporose idrofobiche e, dunque, in grado di essere utilizzati per test di distillazione (Gambro, Liquicel, Microdyn).

Una volta individuate le condizioni ottimali del processo, la distillazione a membrana è stata utilizzata per il trattamento di soluzioni acquose contenenti particelle solide: il recupero di acqua priva di contaminanti (lato permeato) e l'ottenimento di un residuo secco del 98% lato retentato, sono stati due obiettivi di interesse. La disidratazione di solidi trova applicazione nel settore farmaceutico, in quello di produzione di vernici/coloranti, ecc. ed in letteratura non si fa nessun riferimento all'impiego della MD per tale trattamento. Le prove sperimentali sono state condotte utilizzando sei diverse configurazioni, variando le caratteristiche del modulo in cui alloggiare le membrane, il tipo di membrana (piana e a fibre), la temperatura operativa ed il quantitativo di soluzione da trattare.

Il lavoro di tesi si conclude con l'analisi energetica del processo ottimale individuato ed il calcolo di indicatori necessari a valutarne le prestazioni nella logica della strategia della *Process Intensification*.

### *Riferimenti bibliografici*

1. Jiao, B., Cassano, A., Drioli, E., Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review, *Journal of Food Engineering*, 63 (2004) 303-324.
2. Gryta, Marek; Tomaszewska, Maria; Karakulski, Krzysztof, Wastewater treatment by membrane distillation, *Desalination*, 198 (2006) 67-73.
3. Alklaibi, A.M.; Lior, Noam, Membrane-distillation desalination: Status and potential, *Desalination*, 171 (2005)111-131.
4. Cassano, A.; Conidi, C.; Timpone, R.; D'Avella, M.; Drioli, E., membrane-based process for the clarification and the concentration of the cactus pear juice, *Journal of Food Engineering*, 80 (2007) 914-921.
5. Urtiaga, A.M.; Gorri, E.D.; Ruiz, G.; Ortiz, I., Parallelism and differences of pervaporation and vacuum membrane distillation in the removal of VOCs from aqueous streams, *Separation and Purification Technology*, 22-23 (2001) 327 – 337.
6. Gryta, M.; Karakulski, K., The application of membrane distillation for the concentration of oil-water emulsions, *Desalination*, 121 (1999) 23-29.
7. EL-Bourawi, M.S.; Khayet, M.; Ma, R.; Ding, Z.; Li, Z.; Zhang, X. Application of vacuum membrane distillation for ammonia removal, *Journal of Membrane Science*, 301 (2007)200-209.
8. Criscuoli, A.; Drioli, E.; Capuano, A.; Memoli, B.; Andreucci, V.E., Human plasma ultrafiltrate purification by membrane distillation: process optimisation and evaluation of its possible application on-line, *Desalination*, 147 (2002) 147-148.
9. V. Calabrò, G. Pantano, M. Kang, R. Molinari, E. Drioli. Experimental study on integrated membrane processes in the treatment of solutions simulating textile effluents. Energy and exergy analysis, *Desalination*, 78 (1990) 257-277.

10. B. Van der Bruggen, E. Curcio and E. Drioli. Process intensification in the textile industry: the role of membrane technology, *J. Environmental Management*, 73 (2004) 267-284.
11. F. Banat, S. Al-Asheh and M. Qtaishat. Treatment of waters colored with methylene blue dye by vacuum membrane distillation, *Desalination*, 174 (2005) 87-96.