

### TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI VEGETAZIONE DI OLEIFICI: TECNOLOGIE A MEMBRANA E PROCESSI TERMOCHIMICI

DOI: <http://dx.medra.org/10.17374/CI.2016.3.4.1>

Marco Incelli<sup>1</sup>, Stefano Cordiner<sup>1</sup>, Silvano Tosti<sup>2</sup>,  
Fabio Borgognoni<sup>2</sup>, Mirko Sansovini<sup>2</sup>, Alessia Santucci<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Meccanica

Università di Roma "Tor Vergata"

<sup>2</sup>Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza

Nucleare - C.R. Enea, Frascati

[silvano.tosti@enea.it](mailto:silvano.tosti@enea.it)



All'incirca 30 milioni di m<sup>3</sup> di acque di vegetazione (AV) vengono prodotte ogni anno dalla molitura delle olive. La pratica più diffusa per lo smaltimento delle AV da parte degli oleifici di piccole e medie dimensioni consiste nello spandimento al suolo. Tale pratica comporta l'inibizione microbica dell'ecosistema conseguente alla notevole attività fitotossica delle AV ed il possibile inquinamento delle falde acquifere. In questo lavoro vengono discusse alcune soluzioni impiantistiche di trattamento delle AV che integrano tecnologie a membrana e processi termochimici e vengono mostrati i risultati di uno studio di fattibilità tecnica ed economica.

#### Processes and technologies for the treatment of Olive Mill Wastewater

About 30 million m<sup>3</sup> per year of wastewater is produced by the olives milling. Most of the small-medium enterprises producing olive oil commonly use the land disposal of Olive Mill Wastewater (OMW). Because of the significant phytotoxic activity of the OMW, such a practice could involve both the inhibition of the microbial ecosystem and the pollution of the water bodies. This work presents the design of plants for the OMW treatment based on membrane technologies and thermochemical processes. Particularly, the results of a technical and economic analysis for a small-size oil mill are described.

La produzione mondiale di olio di oliva è di circa 2,5 milioni di tonnellate per anno delle quali più del 95% nel bacino del Mediterraneo e circa il 77% nell'Unione Europea, in particolare in Spagna, Italia e Grecia [1]. In Italia la superficie coltivata ad ulivo è di circa 1.100 mila ettari con una produzione annua di olio che oscilla tra le 500 e le 600 mila tonnellate. La quantità di acque di vegetazione (AV) prodotte varia da 0,5 a 1,5 m<sup>3</sup> per tonnellata di olive lavorate: ciò corrisponde ad una produzione mondiale annua di circa 30 milioni di tonnellate [2]. Le AV vengono prodotte a valle dei processi utilizzati per l'estrazione dell'olio che possono essere di tre tipologie: processo tradizionale; a tre fasi; a due fasi. Nel processo tradizionale si separa la fase liquida dalla pasta di olive attraverso una compressione effettuata da presse idrauliche. Dalla fase liquida l'olio viene poi separato mediante centrifugazione. Nel processo tradizionale, a ciclo discontinuo, le AV risultano essere mediamente più concentrate in sostanze organiche rispetto ai processi continui che prevedono l'aggiunta di acqua di processo. In particolare, il processo a tre fasi richiede grandi quantità di acqua (circa 1 m<sup>3</sup> ogni tonnellata di olive molite). Il processo a due fasi, invece, richiede minori quantità di acqua producendo per lo più olio ed una sansa "umida". Dunque, rispetto ad una tonnellata di olive molite, la produzione di AV è di circa 0,5 m<sup>3</sup> nel processo tradizionale, 1-1,5 m<sup>3</sup> nel processo a tre fasi e 0,2 m<sup>3</sup> nel processo a due fasi [2].

Come conseguenza del loro contenuto in sostanze organiche potenzialmente inquinanti, le AV costituiscono uno dei maggiori elementi di criticità del settore oleario dal punto di vista della sostenibilità ambientale. Generalmente, esse hanno un pH acido (4,0-6,7) ed un contenuto in acqua superiore all'80%. I principali composti organici presenti sono oli e grassi (5-10 g L<sup>-1</sup>), polifenoli (fino a 12 g L<sup>-1</sup>) e zuccheri (fino a 20-30 g L<sup>-1</sup>). I polifenoli

ed altri composti organici conferiscono alle AV alti valori di COD (Chemical Oxygen Demand) e BOD<sub>5</sub> (Bio-chemical Oxygen Demand). A titolo di esempio, l'impatto ambientale prodotto da 1 m<sup>3</sup> di AV è stato stimato essere equivalente a quello prodotto da 200 m<sup>3</sup> di acque reflue urbane.

Le modalità di smaltimento dei reflui oleari è regolata in Italia dal decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali del 6 luglio 2005. Tale decreto disciplina l'utilizzo agronomico delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari imponendo un limite allo spargimento controllato al suolo di 50 e di 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> per il caso di AV provenienti da impianti tradizionali ed impianti a ciclo continuo, rispettivamente. Lo spargimento al suolo ha due effetti tra loro contrastanti e con scala di tempo diversi. Il primo è l'effetto erbicida e fitotossico, apprezzabile subito dopo lo spandimento, che inibisce l'attività microbica dei terreni, mentre il secondo, apprezzabile solo dopo diversi mesi dallo spargimento, è l'effetto fertilizzante dovuto alla presenza di sostanze organiche presenti nelle AV. Tale pratica, che per un produttore italiano ha un costo di circa 5-10 € m<sup>-3</sup> di AV, comporta l'alterazione della composizione microbica e batterica dei terreni ed il rischio di inquinamento delle falde. Infine, va evidenziata la difficoltà di verifica del rispetto dei limiti fissati dalla normativa che può portare a fenomeni di spargimento incontrollato.

In alternativa allo spargimento al suolo, il trattamento delle AV (ad esempio attraverso i digestori anaerobici) viene praticata solamente dalle grandi aziende poiché la messa a punto e la gestione degli impianti richiede, in generale, investimenti non sostenibili per la piccola e media industria.

Questo lavoro, condotto dall'Enea in collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata, valuta soluzioni impiantistiche di semplice attuazione e di costo contenuto per la piccola e media industria olearia [3]. Attraverso un'analisi tecnico-economica viene discussa la praticabilità di alcune soluzioni finalizzate anche alla valorizzazione dei reflui oleari.

### **Il processo**

In un recente lavoro, le AV sono state trattate attraverso processi termochimici per produrre una corrente gassosa ricca in idrogeno, metano e CO<sub>2</sub> [4]. Sono stati prodotti più di 3 kg di idrogeno per m<sup>3</sup> di AV trattate mediante reazioni di reforming con un catalizzatore a base di metalli nobili (Pt, Pd and Rh) su pellets di allumina rivestiti con layers di CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> [5]. In particolare, il processo studiato è in grado di ridurre di oltre il 90% il potenziale inquinante delle AV, calcolato come contenuto organico totale. Questi studi hanno anche messo in evidenza che le AV sono troppo diluite ed è necessario ridurre il loro contenuto di acqua al fine di ottimizzare i processi di reforming. Per questo motivo, prima del reforming le AV vengono concentrate mediante membrane tangenziali multistadio processi ben noti e sviluppati da tempo con lo scopo di separare i polifenoli dalle AV rendendoli disponibili per l'industria farmaceutica e cosmetica [6, 7].

### **Le membrane tangenziali**

Le tecnologie di separazione a membrana si basano sull'impiego di filtri semipermeabili o iono-selettivi per mezzo dei quali è possibile ottenere la separazione molecolare (fisica) e ionica (chimica) di soluti organici e inorganici dai relativi solventi in cui essi sono disciolti. In generale, la separazione della corrente di *alimentazione* avviene mediante la membrana che si lascia attraversare dal *permeato* (o diluito) ma trattiene il *retentato* (o concentrato) [6]. L'utilizzo di una membrana per un'applicazione specifica, in questo caso per il trattamento delle acque, deve essere accurata nella scelta del materiale che deve essere chimicamente compatibile con la soluzione che si vuole trattare e deve garantire la tenuta strutturale della membrana. In particolare, la dimensione dei pori della membrana deve essere tale da garantire la selezione di specifiche molecole di soluto. Per ridurre i costi operativi ed aumentare l'affidabilità degli impianti a membrana è molto importante controllare lo sporco (*fouling*) delle membrane. Il *fouling* può essere:

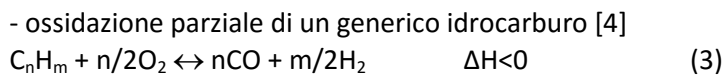
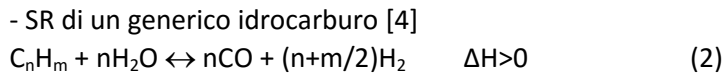
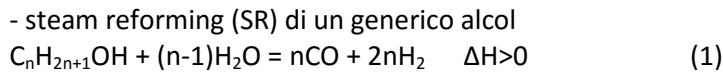
- i) di tipo fisico o primario nel caso in cui le impurità vanno ad intasare i pori delle membrane generando delle ostruzioni;
- ii) di tipo chimico-ionico o secondario nel caso in cui le molecole di soluto reagiscono e si legano chimicamente al materiale di cui è costituita la membrana.

### **Il reforming**

Attualmente la maggior parte dell'idrogeno viene prodotto da idrocarburi ed alcoli attraverso tre principali reazioni di reforming: steam reforming, ossidazione parziale e steam reforming autotermico. Il processo studiato

considera le AV come una miscela di sostanza organica con acqua che, preventivamente concentrata, viene riformata per produrre idrogeno e syngas.

Le principali reazioni considerate per la simulazione sono:

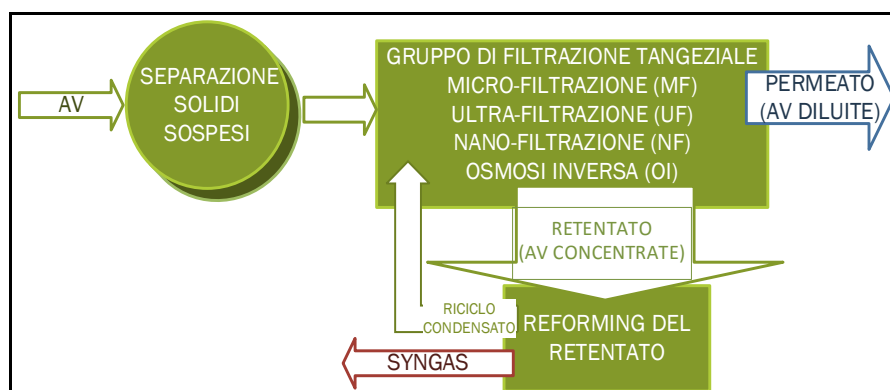


Queste reazioni sono completate dalla reazione di Water Gas Shift (WGS) che converte la CO in CO<sub>2</sub> producendo altro idrogeno [8]:



### ***Ipotesi di modello e dati di input***

Secondo lo schema generale riportato in Fig. 1, le AV provenienti dalla molitura delle olive vengono dapprima filtrate per l'eliminazione dei solidi in sospensione e quindi inviate verso il gruppo di filtrazione tangenziale che comprende in successione membrane a microfiltrazione (MF), ultrafiltrazione (UF) e nanofiltrazione (NF).



*Fig. 1 - Schema di processo generale*

Invece, membrane ad osmosi inversa (OI), che richiedono maggiori pressioni di esercizio ed hanno un costo notevolmente superiore, verranno utilizzate in una variante del processo base dedicata alla valorizzazione del contenuto in fenoli. Il permeato delle membrane tangenziali è costituito da una soluzione acquosa molto diluita che, in generale, può essere ulteriormente trattata o smaltita con minori restrizioni. Il retentato, molto concentrato in sostanza organica, viene inviato in un reformer dove, attraverso processi termochimici (reforming, cracking, WGS, ecc.), si produce una miscela gassosa (syngas) ricca in H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> ed una fase liquida che viene riciclata nel gruppo di separazione a membrana.

L'impianto sopra descritto è stato studiato per frantoi di piccola e media taglia prendendo in considerazione le seguenti ipotesi semplificative:

- quantità di olive molite di 2 t h<sup>-1</sup>;
- processo di estrazione a tre fasi con una produzione specifica di 1,5 m<sup>3</sup> di AV per tonnellata di olive molite;
- utilizzo di membrane con separazione di tipo "cut off" (i.e. separazione selettiva di tipo molecolare a soglia);
- solidi sospesi pari al 5% della portata totale di AV di ingresso;
- reformer rappresentato da un reattore adiabatico modellato con il criterio di Gibbs di minimizzazione dell'energia libera.

Le caratteristiche delle membrane tangenziali, simulate nel modello e riportate in Tab. 1, sono state ricavate da dati sperimentali [7].

**Tab. 1 - Caratteristiche delle membrane**

	MF	UF	NF	OI
Matrice	Ceramica	Polimerica	Polimerica	Polimerica
Dimensione pori [ $\mu\text{m}$ ]	0,450	0,100	0,010	0,001
Portata specifica [ $\text{L m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ]	40	30	45	30

La composizione delle AV presenta, in generale, una notevole variabilità in dipendenza del processo di molitura (tradizionale, a due o tre fasi), della qualità delle olive, della stagione, ecc. Il contenuto in fenoli ed acidi grassi considerato in questo studio è ricavato dalla letteratura [7, 9].

### Tipologie di impianto

Nel seguito verranno descritte tre diverse varianti di impianto che differiscono tra di loro principalmente per la qualità del permeato prodotto e che possono essere integrate caso per caso ai sistemi di smaltimento già presenti negli oleifici.

La prima soluzione (MF+UF+NF) è finalizzata ad ottenere un permeato molto impoverito in sostanze organiche per il quale si potrebbe operare uno sversamento in fogna oppure una co-digestione in un digestore anaerobico. La seconda soluzione (MF+NF) è orientata a produrre un permeato utilizzabile sotto forma di prodotto grezzo da industrie farmaceutiche e cosmetiche per la successiva estrazione dei polifenoli. La terza soluzione proposta (MF+UF+NF+OI) genera un permeato molto diluito tale da poter essere sversato in fogna ed un retentato costituito da polifenoli pronti (prodotto raffinato) per gli impieghi farmaceutici.

### Analisi tecnica

La prima soluzione impiantistica viene mostrata in Fig. 2.

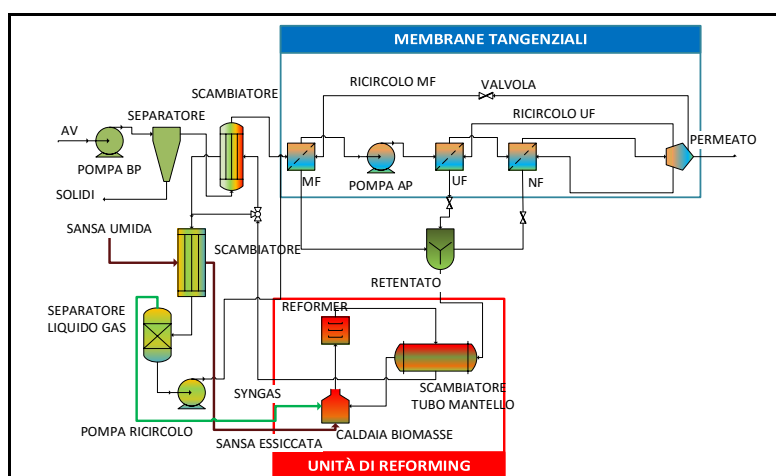


Fig. 2 - Schema della soluzione impiantistica MF+UF+NF

Prima della filtrazione, le AV portate alla pressione di 5 bar sono inviate in un separatore che ne estrae le parti solide in sospensione. Quindi le AV, dopo essere state preriscaldate in uno scambiatore di calore fino alla temperatura di 60 °C, entrano nel primo stadio a membrana (MF) che separa un permeato ricco di polifenoli da un retentato con una concentrazione maggiore in acidi grassi e lieviti, pigmenti, emulsioni e batteri. Il permeato della MF portato ad alta pressione (15 bar) viene avviato alle membrane di ultrafiltrazione (UF). Il permeato dell'ultrafiltrazione presenta ancora una concentrazione notevole in polifenoli mentre il retentato risulta essere ricco di colloidi, batteri, zuccheri e proteine. Il permeato UF viene inviato alle membrane di nanofiltrazione (NF) dalle quali si ottiene un permeato a basso contenuto di polifenoli realizzando un abbattimento della concentrazione di polifenoli a circa 120 mg L<sup>-1</sup>). Il retentato della NF risulta ricco di polifenoli, mentre il permeato risulta essere a basso contenuto organico e basso contenuto in polifenoli e può essere destinato a diversi usi, a cominciare dal parziale ricircolo durante le fasi di lavaggio delle membrane MF e UF che sono quelle più soggette al fenomeno di *fouling*. Infatti, le membrane devono essere sottoposte periodicamente a cicli di lavaggio dedicati per ripristinare le caratteristiche funzionali e limitare il

*fouling* secondario. I retentati provenienti dai tre stadi di filtrazione tangenziale ricchi di sostanze organiche e fenoliche vengono miscelati costituendo una corrente di AV concentrata di circa il 50% rispetto a quella iniziale. Questa corrente di alimentazione delle AV viene preriscaldata dalla corrente in uscita dal reattore attraverso uno scambiatore di calore tubo-mantello nel quale avviene anche una parziale vaporizzazione. Quindi questa corrente passa nella caldaia dove si completa la sua vaporizzazione e si realizza il surriscaldamento fino alla temperatura di 400 °C prima di entrare nel reformer dove hanno luogo i processi termochimici. La miscela gas-vapore in uscita del reformer passa attraverso lo scambiatore dove cede calore alla corrente in ingresso in caldaia e successivamente attraverso un altro scambiatore che opera il preriscaldamento della soluzione a monte del sistema di filtrazione tangenziale. La miscela gas-vapore dopo aver ceduto calore nello scambiatore si trova alla temperatura di circa 150 °C. Per recuperare ulteriormente il suo contenuto entalpico essa viene inviata ad un essiccatore della sansa che può essere in parte bruciata per fornire calore al reformer. Nell'essiccatore si ottiene anche la condensazione della fase liquida della miscela gas-vapore: il gas è inviato alla caldaia dove viene bruciato mentre il liquido raccolto viene pompato e riciclato all'ingresso della membrana MF.

Nella seconda soluzione impiantistica elaborata (MF+UF) non è presente lo stadio di nanofiltrazione nel gruppo di membrane tangenziali. La caratteristica principale di questa soluzione, mostrata schematicamente in Fig. 3, consiste nel separare la maggior parte della sostanza organica con un basso contenuto di polifenoli per trattarla nel reformer ad alta temperatura. Il permeato ricco in polifenoli (circa 4,87 g L<sup>-1</sup>) può costituire un prodotto grezzo utile per l'estrazione di preparati per l'industria farmaceutica, cosmetica ed alimentare.

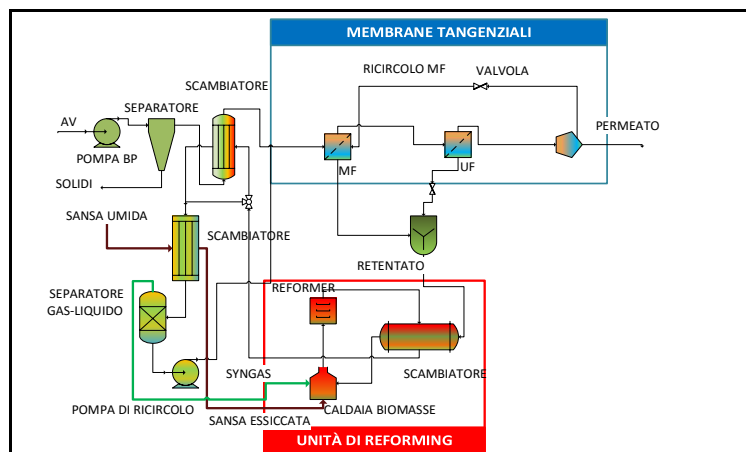


Fig. 3 - Schema della soluzione impiantistica MF+UF

Da sottolineare che tale soluzione può essere applicata solo al caso di AV ottenute da olive provenienti da coltivazioni biologiche in quanto i prodotti dell'industria farmaceutica ed alimentare da essi ottenuti non possono contenere residui di fitofarmaci e pesticidi. In questo caso si può procedere allo spargimento sul terreno del permeato utilizzando formule di rilascio meno gravose di quelle imposte per il caso dello spargimento delle AV.

La Fig. 4 mostra la terza soluzione impiantistica proposta (MF+UF+NF+OI) che è orientata alla valorizzazione del refluo per l'estrazione di componenti ad alto valore aggiunto per l'industria alimentare e farmaceutica.

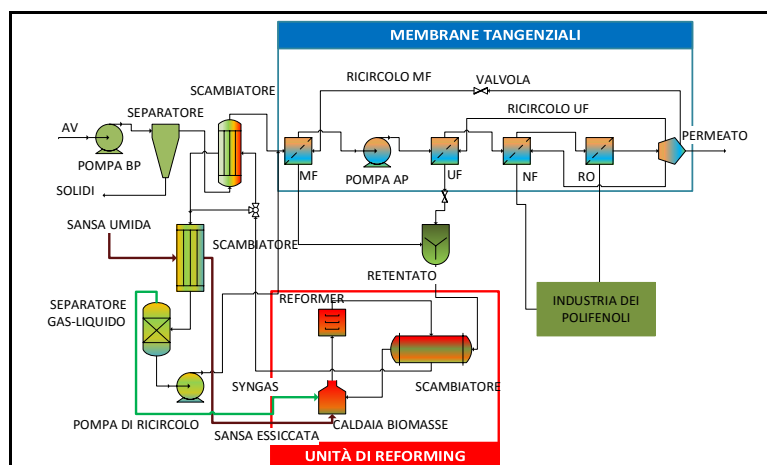


Fig. 4 - Schema della soluzione impiantistica MF+UF+NF+OI

Tale soluzione, a differenza della precedente, produce direttamente “in loco” prodotti farmaceutici di elevata purezza. Le membrane utilizzate sono impiegate in maniera gravosa e quindi maggiormente soggette a rottura nonché più suscettibili al fenomeno del *fouling* (sia primario che secondario). L'impianto in questione è assimilabile ad una bio-raffineria in grado di promuovere processi ad impatto ambientale pressoché nullo. Infatti, il permeato finale consiste in una soluzione acquosa ultra pura a basso contenuto di sali e completamente depurata della componente organica e fenolica. Tale permeato può essere utilizzato come base per bevande oppure ricircolato per la lavorazione delle olive.

### Risultati dell'analisi tecnica

La concentrazione in fenoli delle AV ( $12,78 \text{ g L}^{-1}$ ) viene abbattuta significativamente nel permeato di NF ed in quello di OI dove raggiunge valori di  $0,13 \times 10^{-3}$  e  $0,14 \times 10^{-3} \text{ g L}^{-1}$ , rispettivamente. Nelle correnti di retentato dei diversi stadi di filtrazione tangenziale avviene la concentrazione dei fenoli: in particolare, il retentato di MF e quello UF hanno una concentrazione di polifenoli di 13,59 e  $26,00 \text{ g L}^{-1}$ , rispettivamente.

Nella Tab. 2 sono riportati i valori calcolati per l'area di membrana considerando un rapporto di permeazione unitario, ossia ponendo la portata del permeato pari a quella di alimentazione (ipotesi conservativa).

Nella Tab. 3 viene riportata la composizione del syngas prodotto nel reformer. In tutti i casi si ha una trascurabile produzione di metano (non riportato in tabella) mentre si evidenziano significative produzioni di idrogeno e monossido di carbonio. In tutte le simulazioni, le reazioni che avvengono nel reformer risultano essere complessivamente endotermiche: infatti, il modello riporta una diminuzione della temperatura di uscita dei gas di circa  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  rispetto alla corrente in ingresso nel reattore.

**Tab. 2 - Risultati della simulazione: calcolo della superficie di membrana**

	IMPIANTO MF+UF+NF			IMPIANTO MF+UF		IMPIANTO MF+UF+NF+OI			
	MF	UF	NF	MF	UF	MF	UF	NF	OI
Area di membrana [ $\text{m}^2$ ]	180	200	110	157	191	100	130	73	91

**Tab. 3 - Risultati della simulazione: portata e composizione del syngas**

	IMPIANTO MF+UF+NF	IMPIANTO MF+UF+NF	IMPIANTO MF+UF+NF+OI
	Portata [ $\text{kg h}^{-1}$ ]	Portata [ $\text{kg h}^{-1}$ ]	Portata [ $\text{kg h}^{-1}$ ]
CO <sub>2</sub>	281,65	121,23	144,07
CO	225,48	36,48	93,88
H <sub>2</sub>	63,98	18,99	29,78

### Analisi economica

Questa analisi ha valutato i principali indicatori economici di un investimento per la realizzazione di un impianto per il trattamento delle AV secondo le soluzioni impiantistiche considerate.

Il primo parametro economico valutato in questo studio è il VAN (Valore Attuale Netto) che esprime il maggior utile che un investimento aziendale può generare rispetto ad un investimento finanziario di riferimento. Per il calcolo si è considerato un investimento di riferimento di durata 10 anni con un tasso medio di rendimento di mercato del 7%. Il secondo parametro è il *Tasso Interno di Rendimento* (TIR) che indica il tasso di interesse che si dovrebbe considerare per rendere nullo il VAN. Altro parametro è il *Return on Investments* (ROI) che indica quanto rende il capitale investito in un'azienda in termini monetari percentuali.

Le principali ipotesi alla base dello studio di fattibilità economica sono:

- prezzo di molitura delle olive pari a  $150 \text{ € t}^{-1}$
- costo di sversamento al suolo delle AV o del permeato delle membrane tangenziali pari a  $7 \text{ € m}^{-3}$
- operatività dell'impianto di molitura di 16 ore per 90 giorni l'anno (1.440 ore totali)
- prezzo di vendita delle sanse vergini di  $15 \text{ € kg}^{-1}$
- costo di manutenzione stimato pari al 5% del costo fisso totale
- costo per il lavaggio delle membrane compreso nei costi di manutenzione (per il quale è stato applicato un fattore moltiplicativo 1,5 che tenesse conto di tali costi supplementari)
- prezzo di vendita dei polifenoli di  $35 \text{ € kg}^{-1}$

Per le membrane tangenziali sono stati considerati i seguenti costi [6]:

- 15 € m<sup>-2</sup> per le membrane MF
- 30 € m<sup>-2</sup> per le membrane UF
- 80 € m<sup>-2</sup> per le membrane NF
- 150 € m<sup>-2</sup> per le membrane OI

In Tab. 4 vengono riportati i costi dei principali componenti, i costi operativi (manutenzione) e quelli conseguenti alla mancata vendita delle sanse che vengono invece bruciate in caldaia. Si può notare che la prima configurazione impiantistica ha un costo fisso maggiore del 30% circa rispetto alle altre due.

**Tab. 4 - Risultati analisi economica: dettaglio costi di impianto**

	IMPIANTO MF+UF+NF	IMPIANTO MF+UF	IMPIANTO MF+UF+NF+OI
<b>Costi di impianto</b>	<b>[k€]</b>		
Membrana MF	2,70	2,35	1,50
Membrana UF	5,99	5,72	3,90
Membrana NF	8,81	-	5,90
Membrana OI	-	-	13,70
Scambiatori	56,76	41,61	30,87
Reattore	10,55	10,55	10,55
Costi di installazione	4,08	6,02	6,64
Costi supplementari	4,08	3,31	3,65
Incertezza (13% del totale)	13,46	10,44	11,50
<b>TOT</b>	<b>107,29</b>	<b>80</b>	<b>88,17</b>
<b>Altri Costi</b>	<b>[k€]</b>		
Costi di manutenzione [€ anno <sup>-1</sup> ]	8,05	6	6,61
Costo dalla mancata vendita sanse [€ anno <sup>-1</sup> ]	0,33	3,38	0,96

### **Risultati dell'analisi economica**

In Tab. 5 sono riportati i valori dei parametri economici calcolati per gli impianti proposti.

**Tab. 5 - Risultati analisi economica: valori dei parametri VAN, ROI e TIR**

	SOLUZIONE MF+UF+NF	SOLUZIONE MF+UF	SOLUZIONE MF+UF+NF+OI
VAN [k€]	36,48	55,52	59,18
TIR [%]	15,59	22,70	22,26
ROI [%]	20,38	26,07	25,71

I valori di VAN ottenuti sono significativamente positivi (da 35 k€ a circa 60 k€), indicando la convenienza economica degli investimenti. Il TIR calcolato (dal 15% al 22%) è circa 2-3 volte il valore del tasso di interesse considerato (7% annuo): in pratica, tale tasso dovrebbe più che raddoppiare per rendere l'investimento non conveniente. Infine, valori del ROI dal 20% al 26% indicano che in pochi anni si recupera totalmente l'investimento iniziale.

Sulla base di quanto esposto, si può affermare che tutti gli impianti sono convenienti rispetto alla pratica dello spargimento al suolo. In particolare, le soluzioni impiantistiche 2 e 3 (MF+UF ed MF+UF+NF+OI) risultano essere più remunerative e garantiscono un guadagno netto maggiore.



Il flusso di cassa rappresenta la rendicontazione annuale delle spese e dei ricavi di un'attività o azienda. Il valore del flusso di cassa, riferito ad un determinato anno, si calcola semplicemente sommando tutti i ricavi e sottraendo le spese dell'anno di riferimento. I flussi di cassa per le tre soluzioni impiantistiche sono stati valutati considerando il costo evitato di spargimento delle AV come un input positivo del bilancio economico. I risultati evidenziano che il tempo di rientro dell'investimento è di 3-4 anni per la seconda e la terza configurazione impiantistica e di 4-5 anni per la prima.

Nella Tab. 6 i costi per gli impianti proposti sono confrontati con quelli relativi al caso di riferimento nel quale non si opera nessun trattamento e si procede con lo spargimento controllato al suolo.

**Tab. 6 - Risultati analisi economica: confronto delle soluzioni impiantistiche proposte**

	IMPIANTO MF+UF+NF	IMPIANTO MF+UF	IMPIANTO MF+UF+NF+OI	RIFERIMENTO (spargimento al suolo)
Costo annuale [k€]	22,20	35,60	26,40	30,20
Costo unitario [€ per tonnellata di olive]	7,72	12,35	9,18	10,50
Incidenza sul prezzo di molitura [%]	5,15	8,24	6,12	7

Il costo annuale è stato calcolato dal costo totale di impianto definito sopra considerando la sua ripartizione in 10 anni con quote di ammortamento costante ad un tasso di interesse del 7%. Al valore così ottenuto sono state aggiunte le altre voci di costo (manutenzione e mancata vendita delle sanse), generando i valori in tabella. Si può notare come la prima soluzione impiantistica (MF+UF+NF) dia luogo al costo annuale più basso (22,2 k€) che è significativamente inferiore al caso di riferimento nel quale non si opera alcun trattamento delle AV (30,2 k€). Il costo (35,6 k€) della seconda soluzione (MF+UF) è calcolato nell'ipotesi pessimistica secondo la quale il permeato non sia impiegato come materia grezza nel campo farmaceutico-nutraceutico ma è disperso sul terreno con i relativi costi aggiuntivi di questa pratica. Infine, la terza soluzione impiantistica (MF+UF+NF+OI) consente di avere un costo annuale (26,4 k€) ancora vantaggioso rispetto al caso di riferimento.

### Conclusioni

Lo smaltimento delle acque di vegetazione dell'industria olearia trova oggi nello spandimento su terreno la pratica più diffusa soprattutto dalla piccola e media impresa. Tale pratica tuttavia è caratterizzata da un'incerta sostenibilità ambientale.

Nel presente studio sono presentate tre soluzioni impiantistiche per il trattamento delle acque di vegetazione basate sull'uso di membrane tangenziali e di processi termochimici.

Il primo impianto considerato (MF+UF+NF) risulta essere il più costoso anche se presenta i maggiori vantaggi in termini di affidabilità, versatilità e sostenibilità. Le membrane tangenziali non operano in condizioni eccessivamente gravose e non richiedono molta manutenzione essendo caratterizzate da limitate rotture e ridotto sporco (*fouling*). In definitiva, tale soluzione impiantistica risulta la più idonea per la piccola e media industria olearia poiché non richiede particolari rivisitazioni degli impianti esistenti e può essere integrata come un'unità aggiuntiva agli impianti esistenti.

Il secondo impianto studiato (MF+UF) esibisce come vantaggi principali la capacità di operare con portate di ricircolo molto basse e l'assenza degli stadi con membrane NF e OI. Tuttavia, questa configurazione produce un permeato di UF ancora caratterizzato da un'alta concentrazione di polifenoli. Tale permeato può essere trattato da industrie farmaceutiche e cosmetiche nel caso le AV provengano da coltivazioni biologiche, altrimenti deve essere sversato o ulteriormente trattato con aumento significativo dei costi.

Infine, la terza soluzione impiantistica (MF+UF+NF+OI) risulta essere la più redditizia anche se è adattabile solamente a filiere olivicole esclusivamente di tipo biologico che non sono ancora molto diffuse. Questa soluzione è caratterizzata da ridotta affidabilità e flessibilità funzionale e necessità di personale altamente specializzato per l'esercizio e la manutenzione degli impianti. Inoltre, questo tipo di impianto è funzionalmente poco flessibile e, ad esempio, non è in grado di gestire facilmente le variazioni delle condizioni operative quali, soprattutto, la composizione delle AV trattate.

Sebbene le tecnologie proposte (membrane tangenziali e processi termochimici) sono mature e già disponibili sul mercato, il lavoro futuro riguarderà la realizzazione di un impianto pilota con il quale verificare i processi proposti nelle diverse condizioni operative in relazione soprattutto alla grande variabilità della composizione delle AV.



**Ringraziamenti:** Lo studio è stato condotto presso i laboratori dell'Enea di Frascati nell'ambito di una tesi di laurea e tirocinio formativo con il Dip. di Ingegneria Meccanica dell'Università di Roma "Tor Vergata".

---

### BIBLIOGRAFIA

<sup>1</sup>International Olive Oil Organization, "World Olive Oil Figures", 2014,

[http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures?lang=it\\_IT](http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures?lang=it_IT)

<sup>2</sup>A. Roig, M.L. Cayuela, M.A. Sanchez Monedero, *Waste Manag.*, 2006, **26**, () 960.

<sup>3</sup>M. Incelli, "Trattamento Di Acque Di Vegetazione Di Oleifici: Studio Di Fattibilità Di Impianti Con Separatori A Membrana", Tesi Laurea Magistrale, Università di Roma Tor Vergata, aprile 2014.

<sup>4</sup>S. Tosti, M. Sansovini, "Processo di Trattamento di Acque di Vegetazione di Frantoi Oleari mediante Reazioni di Reforming, e Relativo Impianto", Attestato di brevetto n. 0001414363 del 16.03.2015 - PCT Application WO 2014/073014 A1 - A process for treating waste waters of oil mills by means of reforming reaction, and plant thereof.

<sup>5</sup>S. Tosti, C. Cavezza, M. Fabbicino, L. Pontoni, V. Palma, C. Ruocco, *Chemical Engineering Journal*, 2015, **275**, 366.

<sup>6</sup>M. Pizzichini, C. Russo, E. Ferrero, E. Tuccimei, Le tecnologie separative mediante membrana, Rapporto ENEA RSE/2009/19, aprile 2009.

<sup>7</sup>C. Russo, *Journal of Membrane Science*, 2007, **288**, 239.

<sup>8</sup>S. Tosti, C. Accetta, M. Fabbicino, M. Sansovini, L. Pontoni, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2013, **38**, 10252.

<sup>9</sup>A.A. Deeb, M.K. Fayyad, M.A. Alawi, *Chromatography Research International*, 2012, Article ID 812127, doi:10.1155/2012/812127