

# I GEORGOFILI

Quaderni  
2002-VI



## I REFLUI OLEARI: DA RIFIUTO A RISORSA

Firenze, 2003

---

SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA





# I GEORGOFILI

Quaderni  
2002-VI



Giornata di Studio

## I REFLUI OLEARI: DA RIFIUTO A RISORSA

Firenze, 3 ottobre 2002

SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

Copyright © 2003  
Accademia dei Georgofili  
Firenze  
<http://www.georgofili.it>

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili»  
Anno 2002 - Settima Serie - Vol. XLIX (178° dall'inizio)

Responsabile redazionale: dott. Paolo Nanni

Servizi redazionali, grafica e impaginazione  
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA  
Via G. Benivieni 1 - Firenze  
Tel. 055 5532924  
Fax: 055 5532085  
e-mail: [info@sefeditrice.it](mailto:info@sefeditrice.it)  
[www.sefeditrice.it](http://www.sefeditrice.it)

## INDICE

UMBERTO TOMATI

*Problematiche dei reflui oleari: da rifiuto a risorse* 7

NICOLA SILVESTRI, ENRICO BONARI

*I reflui oleari: aspetti agronomici e ambientali* 13

PAOLO AMIRANTE, BIAGIO BIANCHI, PASQUALE CATALANO,  
ALESSANDRO LEONE, GIAN LUCA MONTEL,  
ANTONELLA TAMBORRINO

*Risultati della ricerca teorico-sperimentale  
per l'ottimizzazione dei nuovi decanter e presentazione  
del modello teorico della separazione olio-acqua-solidi  
e relativa validazione con prove sperimentali* 37



UMBERTO TOMATI\*

PROBLEMATICHE DEI REFLUI OLEARI:  
DA RIFIUTO A RISORSE

Il Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica ha promosso un programma triennale di ricerca nel settore dei reflui agro-industriali mirato alla definizione e promozione di tecnologie innovative trasferibili al mondo industriale. Il progetto, iniziato nel 1998, ha preso in considerazione due tipologie di reflui: reflui zootecnici e reflui oleari.

Scopo primario del sottoprogetto "Reflui oleari" è stato quello di dimostrare che tale tipologia di rifiuti può essere considerata come una risorsa utilizzabile in vari settori produttivi.

La problematica dei reflui oleari è estremamente vasta e, innanzi tutto, richiede la conoscenza del panorama dell'attività olearia, presupposto indispensabile per poter prendere decisioni idonee al miglioramento del settore.

Il progetto si è posto quattro obiettivi:

- *analisi della situazione attuale della produzione, caratterizzazione e distribuzione dei reflui oleari; tecnologie di molitura e impianti operativi esistenti (4.1.1.).*

La tematica è di basilare importanza in quanto, prima di mettere mano a ulteriori indagini, è fondamentale conoscere lo stato del sistema;

- *determinazione degli aspetti pedologici, ideologici, agronomici e cli-*

\* Istituto di Biologia ambientale e forestale, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Area della Ricerca di Roma



*matici in riferimento alla distribuzione dei reflui e alle colture (4.1.2).*

La tematica mira a valutare criticamente la letteratura disponibile sull'argomento, spesso in contraddizione in quanto la sperimentazione agronomica dipende dai molti fattori ambientali che ne condizionano l'andamento. Dopo la valutazione critica, sperimentazioni mirate potranno chiarire molti punti controversi;

– *biotrasformazione del refluo e impiego dei compost (4.1.3).*

Lo studio si rende necessario tenuto conto della necessità di stabilizzare le notevoli quantità di refluo considerate anche nelle diverse tipologie;

– *utilizzo dei reflui quale substrato di crescita per biomasse e materia prima per il recupero di componenti ad alto valore aggiunto (4.1.4).*

La tematica considera un aspetto particolarmente interessante in quanto mira a dimostrare la possibilità di ottenere, direttamente o indirettamente, composti utilizzabili in vari settori produttivi quali l'alimentazione, la cosmesi, l'industria farmaceutica.

Questi quattro argomenti saranno oggetto di dettagliate relazioni nel corso di questa giornata di studio.

Il mio intervento mira a valutare i risultati pratici raggiunti anche in vista delle nuove prospettive che si possono aprire nel settore.

#### *Tematica 4.1.1.*

- Bibliografia, per quanto possibile aggiornata, sui reflui oleari.
- Censimento delle attività molitorie, realizzato sulla base dei dati gentilmente messi a disposizione dell'AGECONTROL. Il censimento, nella sua forma cartacea o informatizzata, costituisce un utile, facile e rapido strumento di consultazione per valutare la situazione di tutto ciò che può interessare il settore oleario.

#### *Tematica 4.1.2*

- Valutazione critica della letteratura disponibile e sperimentazione mirata a risolvere aspetti contrastanti.
- Realizzazione di un software per il corretto spargimento dei reflui.

- Realizzazione di un SIT per la mappatura dei terreni idonei allo sversamento.
- Modellizzazione matematica del percolamento dei reflui.
- Acquisizione di conoscenze trasferibili agli Enti preposti alla promulgazione di nuove normative.

La realizzazione dei software, anche se settoriali in quanto relativi ad alcune provincie, possono costituire una utile guida per Enti interessati al problema.

#### *Tematica 4.1.3*

- Acquisizione di conoscenze scientifiche sulla chimica del processo e sull'effetto del valore fertilizzante del compost.
- Acquisizione di conoscenze tecnologiche che hanno permesso la progettazione e la costruzione di impianti per la produzione di compost di qualità.

#### *Tematica 4.1.4*

- Evidenza della possibilità di impiegare i reflui oleari direttamente per l'estrazione di composti ad alto valore aggiunto o indirettamente quale substrato per biotecnologie mirate alla produzione di composti impiegabili in diversi settori industriali. Tale risultato è di notevole rilevanza in quanto apre nuovi orizzonti per l'utilizzo dei reflui oleari.

Particolare interesse rivestono le applicazioni industriali rese possibili dal Progetto. Tra queste possiamo ricordare:

- macchina spandirefluo, progettata e costruita appositamente tenendo conto delle precipue caratteristiche dei terreni su cui effettuare lo spargimento nel rispetto dei limiti imposti dalla vigente normativa (Soc. Verdegiglio Macchine Agricole);
- nuovo decanter VDP a risparmio d'acqua e pressione dinamica variabile (Alfa Laval);
- impianto di compostaggio (TpA di Vincenzo Nuzzo)

Tali applicazioni industriali sono frutto della cooperazione tra Istituti di Ricerca (PROGESA – Bari) e le diverse Industrie interessate.

Tra i risultati del Progetto sono infine da ricordare gli:

- *aspetti giuridici*, relativi all'analisi delle diverse normative vigenti nella realtà italiana e alla valutazione comparata delle normative esistenti nei diversi Paesi della Comunità;
- *aspetti economici*, tali aspetti sono sicuramente i più importanti ma anche i più difficili a essere quantizzati in quanto dipendenti da numerosi fattori valutabili volta per volta. Nonostante la difficoltà, sono state comunque stabilite delle linee guida e realizzati database che possano permettere la definizione dei costi di trasformazione delle olive e di gestione dei reflui associati alle diverse filiere tecnologiche, tenendo conto anche della salvaguardia dell'ambiente.

Desidererei ora fare alcune mie personali riflessioni sulle prospettive che potrebbero rendere più fruttiferi i risultati ottenuti nell'ambito di questo progetto che avrà termine alla fine dell'anno.

Normalmente, quando un progetto finisce, le UU.OO. cessano di collaborare, vanificando così le sinergie precedentemente create. Al fine di evitare questa eventualità, sarebbe mia intenzione costruire un Portale riguardante tutti gli aspetti dell'olivicoltura, dalla produzione dell'olio e problemi a essa connessi, al recupero della risorsa costituita dai reflui oleari, alle normative in proposito e agli aspetti finanziari. Il Portale, con i suoi collegamenti ai diversi settori tecnici, industriali scientifici e culturali con istituzioni italiane ed estere, potrebbe costituire un legame tra quanti operano nell'olivicoltura. Ovviamente, il successo dell'iniziativa è legato alla collaborazione ad agli aiuti, anche economici, di quanti riterranno utile mantenere in vita l'iniziativa proposta.

Un aspetto di particolare importanza del Portale è quello che riguarda l'aggiornamento del censimento delle attività olearie che costituisce la base di riferimento per qualsiasi categoria di operatori. Allo stato attuale, come precedentemente detto, il censimento è consultabile in rete solo nella sua versione su fogli excel, cosa abbastanza complicata, e, solo su richiesta, si può avere l'elaborazione su carte tematiche.

Si prospetta quindi la possibilità della consultazione on line del censimento dell'attività olivicola in modo da permettere all'utente, in possesso di password, di ottenere direttamente: numero di produttori per comune, numero di piante per comune e loro localizza-

zione, kg di olio prodotto per comune, numero di frantoi, divisi per capacità lavorativa per comune, numero di frantoi divisi per tipologia per provincia, quantità e tipologia di refluo prodotto per provincia, ed effettuare tutti gli incroci possibili tra le suddette indicazioni. Tramite soft di georeferenziazione, i dati, aggregabili per: singolo comune, provincia, regione, area richiesta dall'utente, possono essere visualizzati mediante carte tematiche di due tipi: densità di punti (a ogni punto è associato un frantoio collocato nei confini comunali), zone per intervalli (a ogni colore è associato un intervallo compreso tra due valori). Il tipo di cartografia adottata a secondo delle esigenze dell'utente permette di scendere fino a livello di particella catastale e di poter mappare qualsiasi aspetto dell'attività olivicola, ivi comprese le aree idonee allo sversamento e all'utilizzo agronomico dei reflui.

Si auspica che le ricerche intraprese possano continuare, soprattutto per quanto riguarda le loro applicazioni industriali.

#### ABSTRACT

In the frame of the Research project "Recycling the wastes of the Agro-industrial Systems" of the Italian National Research Council, the sub-project "Olive mill wastes" took into consideration all the environmental aspects posed by the olive mill industry. The sub-project was divided in four main topics: a) Census of olive mill industry; b) Waste spreading to cultures in the different conditions; c) Bio-transformation of the wastes and use as a soil conditioner; d) Utilisation of the waste as a growth substrate for biomasses and as a raw material for recovering high value compounds.

The results can be summarised as follows: a) evaluation of the Italian and UE existing laws in view of a new regulation; b) evaluation of the economic aspects of the solutions proposed; c) an pre-industrial composting plant ; d) A prototype of an *ad hoc* waste water spreading machine able to operate in olive groves, conforming to the law; e) A multipurpose decanter VDP – variable differential pressure- that permits to improve oil quality strongly reducing waste stream; f) A computerised composting plant that permits, in a pre-industrial scale, to obtain a very high quality compost ; g) a complete census of olive milling activity; h) extraction and characterisation of some high value compounds for food, pharmaceutical and cosmetic industry.



NICOLA SILVESTRI\*, ENRICO BONARI\*\*

I REFLUI OLEARI:  
ASPETTI AGRONOMICI E AMBIENTALI

PREMESSA

La distribuzione delle acque di vegetazione sui terreni agrari ha sempre costituito, anche a dispetto delle normative prima vigenti, la modalità più diffusa per lo smaltimento di questi reflui; e ciò non solo per evidenti motivi di ordine economico e organizzativo, ma anche, come hanno dimostrato le ricerche effettuate nel corso degli anni, per l'effettiva mancanza di serie controindicazioni a riguardo (Di Giovacchino e Seghetti, 1990; Cicolani et al., 1993; Bonari e Ceccarini, 1993; 1994; 2001).

A sanare una situazione di diffusa illegalità è finalmente venuta la legge 574 del novembre 1996, che ha riconosciuto la liceità della distribuzione delle acque di vegetazione sui terreni adibiti a usi agricoli, definendo però anche i limiti e le modalità con cui tale smaltimento deve essere effettuato. Il principio affermato dalla legge è dunque quello di consentire lo sversamento dei reflui oleari sui campi coltivati, a patto che questo sia "controllato", cioè rispondente a condizioni irrinunciabili di compatibilità agronomica e ambientale, di cui si riporta una breve descrizione nella tabella 1.

A sei anni dall'emanazione della legge non è ancora possibile

\* *Ricercatore presso il Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema dell'Università di Pisa*

\*\* *Professore Ordinario presso la scuola superiore di studi universitari e di perfezionamento "S. Anna" di Pisa*

VINCOLI	PRESCRIZIONI
limiti quantitativi	50 m <sup>3</sup> /ha per acque di vegetazione da frantoio a ciclo tradizionale; 80 m <sup>3</sup> /ha per acque di vegetazione da frantoio a ciclo continuo.
terreni esclusi	terreni con distanza inferiore a 300 m dalle aree di salvaguardia della captazione di acque per il consumo umano; terreni con distanza inferiore ai 200 m dai centri abitati; terreni con altezza di falda inferiore a 10 m; terreni gelati, innevati, saturi d'acqua e inondati.
stoccaggio modalità di spargimento	tempo massimo 30 giorni (poi protratto a 90 giorni). è necessario assicurare un'idonea incorporazione e distribuzione sui terreni; evitare fenomeni di ruscellamento.

Tab. 1 *Condizioni poste dalla normativa vigente: legge 574/96 ("Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarico dei frantoi oleari")*

esprimere un giudizio definitivo sulla sua efficacia, ma certo sarebbe troppo semplicistico credere che con la promulgazione della normativa si possano considerare risolti tutti i problemi connessi con lo smaltimento dei reflui oleari. Molte questioni restano invece ancora aperte e quindi del tutto opportuna è apparsa la decisione del CNR di destinare un intero sottoprogetto del programma di ricerca *Riciclo dei reflui del sistema agricolo e forestale* alla questione dei *Reflui oleari*, così da consentire l'approfondimento di aspetti complessi e di immediata ricaduta tecnico-applicativa quali: la definizione delle modalità di conservazione più idonee, la valutazione degli effetti prodotti sulle colture, la definizione dei cambiamenti indotti nell'ecosistema tellurico, l'analisi dell'idoneità dei terreni allo sversamento degli effluenti, la verifica delle possibilità di procedere a un loro efficace compostaggio, ecc. (Tomati, 2001).

In questa sede si tratteranno più specificatamente i problemi riguardanti la risposta delle colture alla distribuzione dei reflui sui terreni agrari e quelli relativi all'individuazione degli strumenti tecnici e operativi più utili a gestire correttamente la pianificazione degli sversamenti sul territorio.

#### ASPETTI AGRONOMICI: LA RISPOSTA DELLE COLTURE

Una prima distinzione da fare a questo riguardo è quella relativa al periodo in cui si procede allo smaltimento dei reflui sui terreni agrari. In

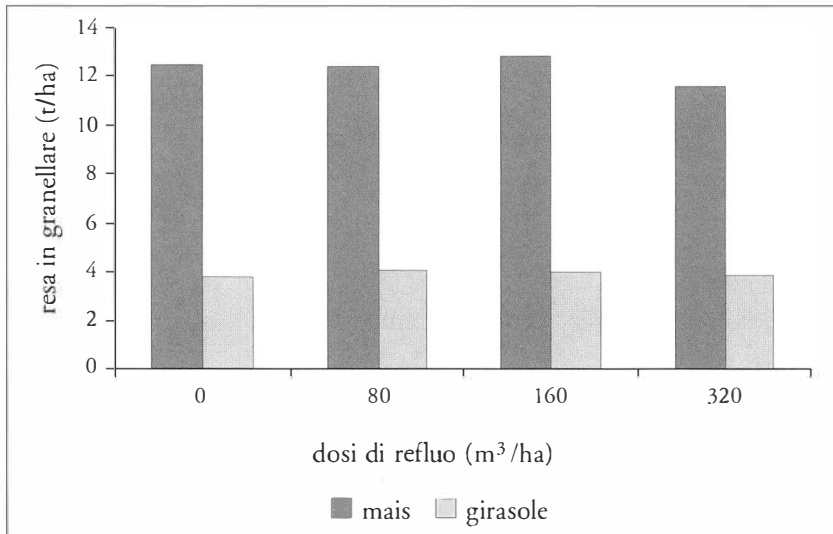


Fig. 1 Effetti di dosi crescenti di reflui oleari distribuite in pre-semina su mais e girasole. Dati medi del quadriennio 1989-1993 (Bonari et al., 2001)

relazione al ciclo fenologico delle colture si possono infatti differenziare interventi di pre-semina, effettuati in assenza della pianta coltivata, interventi di copertura, realizzati invece con la coltura in atto e interventi in fase di riposo vegetativo condotti su specie sia poliennali che permanenti, in corrispondenza del periodo di stasi invernale.

Nel primo gruppo ricadono sostanzialmente le distribuzioni di reflui effettuate sugli appezzamenti destinati a ospitare colture a ciclo primaverile-estivo (girasole, mais, ecc.). In questo caso si è dimostrato (fig. 1) come l'applicazione di dosi massicce di acque di vegetazione, anche superiori ai limiti di legge, non provochi sensibili decrementi delle rese, a patto che venga rispettato un congruo intervallo di tempo tra il momento dello sversamento del refluo e il successivo periodo di semina (Bonari et al., 2001a). Il monitoraggio di alcune delle principali caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche del suolo ha infatti dimostrato che i tempi di ripristino delle condizioni originarie nel terreno sono strettamente legati alle dosi di acque di vegetazione distribuite; anche in corrispondenza dei quantitativi più elevati (160 m³/ha), tutti i parametri esaminati tendono comunque a riallinearsi con i valori del testimone non



trattato entro tre mesi dal momento della somministrazione. Naturalmente la temperatura, l'umidità, la porosità degli strati più superficiali del terreno (solo per citare alcuni esempi) rappresentano tutti fattori in grado di influenzare la velocità di degradazione dei reflui e quindi di determinare un allungamento o un accorciamento dei necessari tempi "di carenza", cioè di attesa fra lo spandimento e la semina; dovendo però adeguarsi ai limiti definiti dalla legge si può ritenere che un intervallo di 35-40 giorni sia comunque sufficiente a evitare ogni conseguenza negativa sulla resa delle colture (Bonari e Ceccarini, 1991; Riffaldi et al., 1992; Alianello, 2001).

Del resto gli effetti fitotossici e fitostatici delle acque di vegetazione, a carico delle specie agrarie, sono noti e devono essere ascritti al contenuto in polifenoli, aldeidi e acidi organici che le caratterizza (De Simone, 2001); per questi motivi, soprattutto nelle prime fasi del ciclo biologico, alcune colture si dimostrano sensibili alla presenza dei reflui nel terreno e il loro sviluppo ne può risultare depressa anche in maniera significativa (Di Giovacchino e Seghetti, 1990). Alcune esperienze condotte in ambiente controllato hanno però dimostrato che gli effetti negativi sulla germinabilità sono evidenti solo a partire da concentrazioni di acque di vegetazione relativamente elevate, che sembrerebbero difficili da raggiungere nelle condizioni operative di campo a patto di rispettare i dosaggi massimi previsti dalla legge e di evitare semine troppo a ridosso dell'epoca di spandimento. In particolare (fig. 2) favino e girasole si sono dimostrati indifferenti all'incremento della concentrazione del reflu nel mezzo acquoso, mentre all'opposto l'avena (vestita) ha mostrato la maggior sensibilità al trattamento, evidenziando una diminuzione dell'energia germinativa (cioè un incremento del tempo necessario al seme per emettere la radichetta) a partire già da concentrazioni superiori al 3%. Omogeneo è risultato invece il comportamento delle altre specie inserite nella sperimentazione (orzo, frumento duro, frumento tenero, erba medica e colza), che hanno fatto segnare incrementi del parametro considerato solo per concentrazioni al di sopra del 10%.

Relativamente agli interventi di copertura le colture più frequentemente utilizzate per lo sversamento delle acque di vegetazione e quindi più largamente indagate a questo riguardo sono i cereali autunno-vernini (Bonari e Ceccarini, 1994; Raglione et al., 1997).

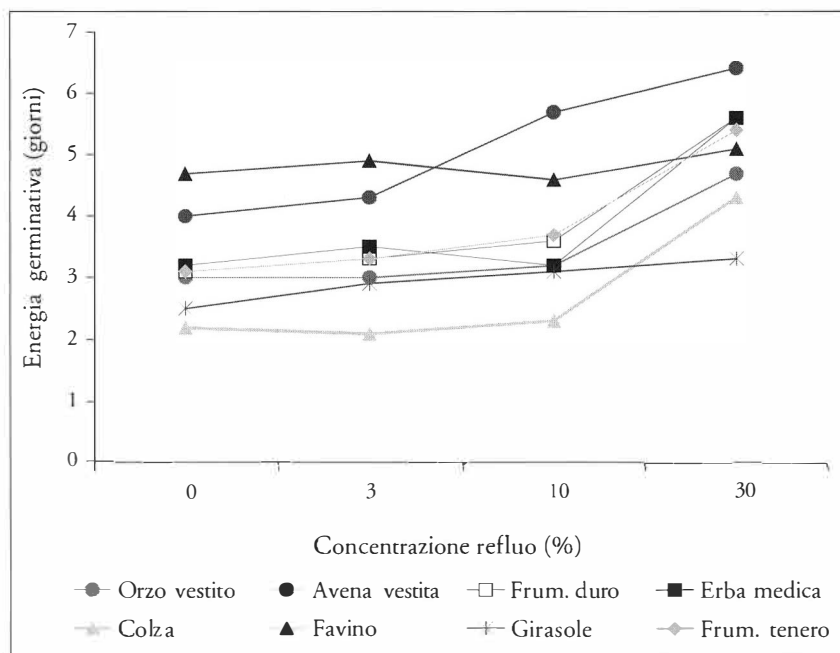


Fig. 2 Effetto della diversa concentrazione di refluo oleario nel mezzo acquoso, sulla energia germinativa (espressa in giorni necessari per l'emissione della radichetta) di semi posti su carta bibula in capsule Petri

I risultati della sperimentazione hanno evidenziato come l'insorgenza di effetti depressivi sul comportamento delle specie graminacee siano apprezzabili solo alle dosi più elevate e come raramente si siano riscontrate differenze statisticamente significative fra le produzioni unitarie delle tesi poste a confronto (figg. 3 e 4).

L'esigenza di estendere lo smaltimento delle acque di vegetazione anche a superfici alternative rispetto a quelle occupate dai cereali a paglia, ha spinto anche a valutare l'attitudine di altre specie al trattamento con i reflui. Fra queste maggiore attenzione meriterebbe la colza, in considerazione sia della sua adattabilità ai comprensori agricoli di collina, sia della stagionalità del suo ciclo biologico. Le ricerche, finora condotte in vaso, non hanno evidenziato controindicazioni nei confronti dell'oleaginosa, anche quando il trattamento con le acque di vegetazione ( $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) è stato effettuato in corrispondenza dei primi stadi di sviluppo della coltura (2° foglia e

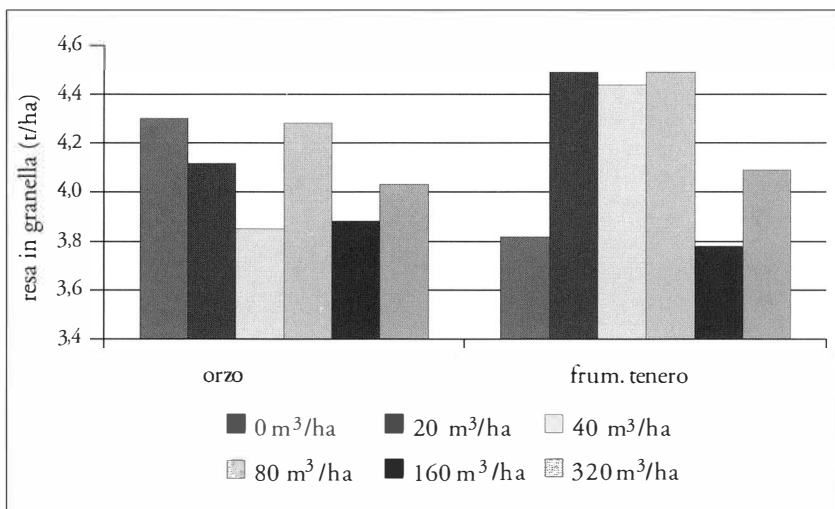


Fig. 3 Effetto di dosi crescenti di reflui oleari sulla resa dell'orzo e del frumento tenero. Dati medi del triennio 1989-1991 (Bonari e Ceccarini, 2001)

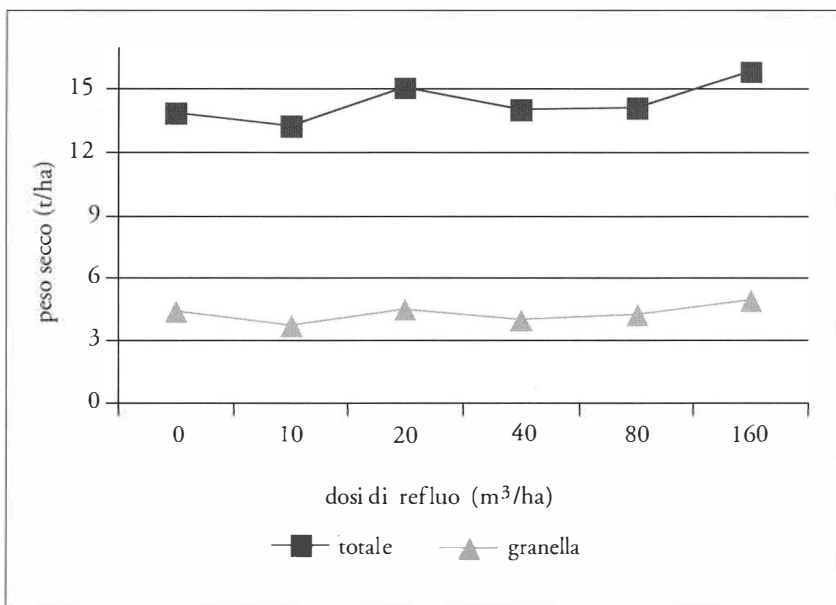


Fig. 4 Effetto di dosi crescenti di reflui oleari sul comportamento produttivo del frumento duro, anno 1999

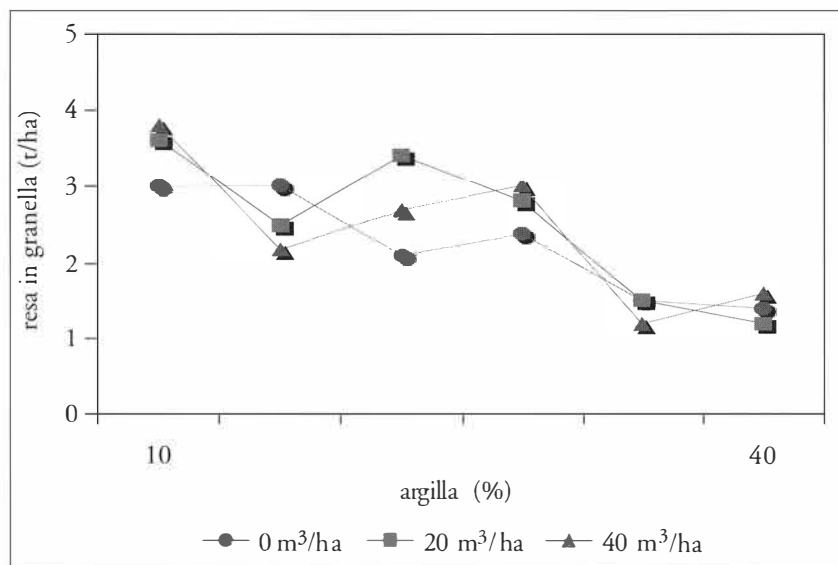


Fig. 5 Resa granellare del frumento duro in funzione della dose di refluo oleario e del contenuto in argilla del terreno, anno 2000 (Bonari et al., 2001)

rosetta completa), e incoraggiano quindi a proseguire lo studio su questa specie attraverso la necessaria sperimentazione in campo.

Altri approfondimenti, legati sempre alla distribuzione in copertura dei reflui, hanno riguardato la valutazione del possibile effetto dell'interramento delle acque di vegetazione mediante l'esecuzione di una leggera erpicatura, la verifica dell'importanza che la diversa tessitura del terreno poteva rivestire nel modulare la risposta dei vegetali e infine l'individuazione dell'epoca di spargimento più idonea in relazione al ciclo biologico della pianta. In tutti questi casi i risultati ottenuti hanno confermato l'ininfluenza di tali fattori sul comportamento delle colture. Trascurabile si è rivelato l'effetto dell'interramento; le dosi di effluenti distribuite hanno dimostrato di non interagire con il contenuto in argilla (fig. 5), né con il contenuto in scheletro del suolo e la distribuzione del refluo su frumento duro, effettuata in corrispondenza di fase fenologiche diverse (3° foglia, pieno accestimento o inizio levata), non ha condotto alla formazione di differenze significative sulle rese ottenute.

Infine, passando ai trattamenti effettuati in corrispondenza del pe-

DOSE m <sup>3</sup> /ha	RESA kg/pianta	POLPA (%)	NOCCILO (%)	ACQUA (%)	OLIO (%)	FOD (%)	Rr -	Rp -
0	41.9	75.9	24.1	59.5	28.5	12.0	1.65	2.40
80	38.6	78.6	21.4	61.8	26.1	12.1	1.76	2.16
160	39.1	76.3	23.7	59.4	29.0	11.6	1.69	2.49
320	38.1	75.5	24.5	60.4	27.8	11.9	1.55	2.35
FOD = Frazione Organica Disoleata; Rr = rapporto peso secco polpa / peso secco nocciolo; Rp = rapporto percentuale olio / percentuale FOD nella polpa								

Tab. 2 *Caratteristiche quali-quantitative della produzione olivata in funzione delle dosi di acque di vegetazione impiegate (Bonari e Ceccarini, 2001-modificato)*

riodo di riposo vegetativo delle colture, si possono distinguere quelli eseguiti sulle colture permanenti (legnose) e quelli condotti sulle specie poliennali (erbacee). Al primo gruppo sono riferibili, ad esempio, gli sversamenti effettuati negli oliveti, che costituiscono fra l'altro una pratica piuttosto diffusa in parecchie aree del nostro Paese (Raglion e D'Ambrosio, 2001). Un triennio di sperimentazione svolta a questo riguardo (tab. 2) ha dimostrato infatti come non si rilevi alcun effetto negativo né sullo stato vegetativo delle piante, né sulla loro produzione e neppure sulle caratteristiche qualitative dell'olio estratto dalle parcelle trattate anche con volumi di refluo nettamente eccedenti i limiti di legge (fino a 360 m<sup>3</sup>/ha). Non sembrerebbero esistere dunque particolari controindicazioni nel "ritorno" delle acque di vegetazione alle piante che le hanno prodotte, se non quella di evitare lo spandimento dove le condizioni ambientali (pendenza, natura del suolo, clima, ecc.) possono rendere impraticabile (traffico dei mezzi meccanici) e/o rischiosa (innesco di eventuali fenomeni erosivi) l'operazione. In ogni caso sarà necessario mettere in atto tutti gli accorgimenti possibili onde evitare l'esaltazione di processi di trasporto solido che potrebbero condurre alla contaminazione dei corpi d'acqua superficiali con acque che presentano comunque un elevato carico organico, una considerevole salinità e un non trascurabile contenuto in sostanze a spiccata azione antimicrobica e biostatica (polifenoli).

Decisamente meno convenzionale rispetto al precedente risulta invece lo sversamento dei reflui oleari su colture erbacee poliennali come l'erba medica. Tali tentativi devono essere interpretati come possibili risposte all'esigenza di individuare superfici alternative a quelle cerealicole e di limitare, come si ricordava in precedenza, la

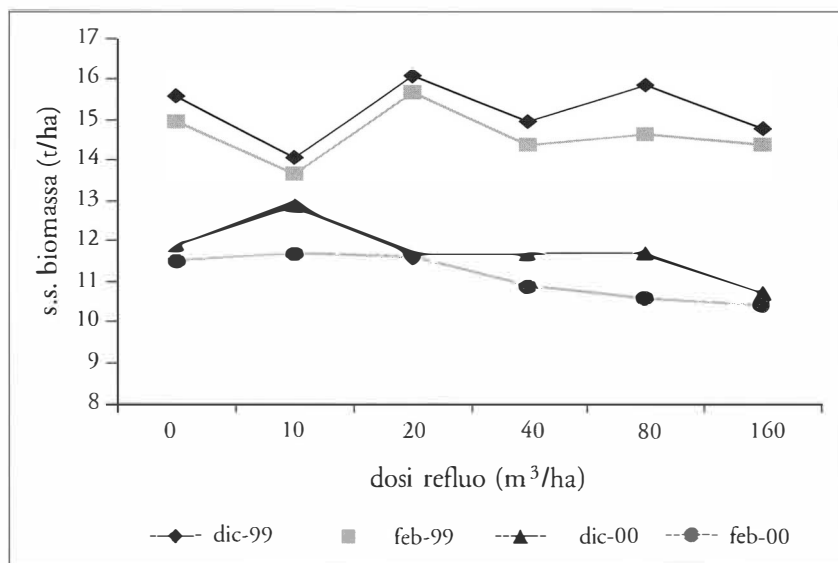


Fig. 6 Effetti di dosi crescenti di refluo oleario e dell'epoca di taglio (dic = dicembre, feb = febbraio) sulla produzione di biomassa dell'erba medica, anni 1999 e 2000 (Bonari et al., 2001)

consistenza di eventuali fenomeni erosivi. Le ricerche condotte per un biennio su prati di due e/o tre anni di età hanno dimostrato che lo spandimento dei reflui non ha avuto influenza sulla produzione di biomassa totale alla raccolta (fig. 6). Anche la diversa epoca di distribuzione: dicembre (pieno riposo vegetativo) o febbraio (in prossimità della ripresa vegetativa) non ha condotto alla formazione di risultati statisticamente diversi, anche se sembra confermarsi un certo vantaggio a favore dello spargimento anticipato dei reflui (dicembre).

In ogni caso, qualunque siano il periodo e la specie agraria prescelti, è necessario considerare la natura e l'intensità delle interazioni che lo spargimento delle acque di vegetazione sui terreni agrari inevitabilmente innesca con gli altri segmenti della tecnica colturale. Concimazione, irrigazione e controllo delle piante infestanti sono solo alcuni degli aspetti agronomici nella conduzione delle colture che devono essere attentamente "riletti" alla luce della decisione di procedere alla distribuzione dei reflui oleari sugli appezzamenti. Il contributo nutrizionale, idrico e "biodiserbante" (fig. 7) fornito dalle acque di vegetazione non può infatti essere trascurato

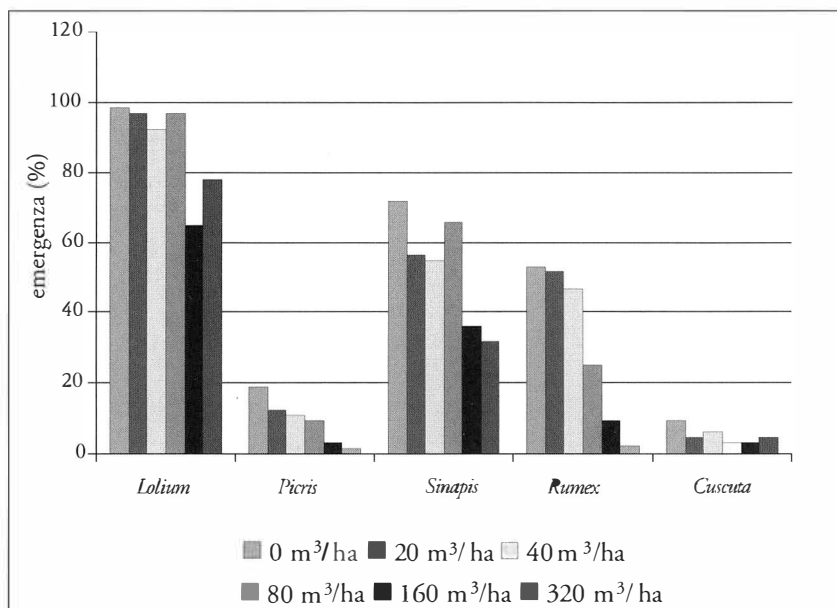


Fig. 7 Effetto di dosi crescenti di refluo oleario sull'emergenza di alcune specie infestanti: *Lolium multiflorum*, *Picris echioides*, *Sinapis arvensis*, *Rumex crispus*, *Cuscuta* spp., seminate 5 giorni dopo la distribuzione del refluo oleario (Bonari et al., 1993 - modificato)

e deve essere correttamente valorizzato nella costruzione degli “itinerari tecnici” da adottare, alla luce anche delle particolari condizioni ambientali e agricole del comprensorio.

Non è questa la sede dove procedere a una disamina sistematica dei molti casi possibili, ma appare evidente che solo attraverso una completa integrazione e “armonizzazione” con gli elementi costitutivi del sistema colturale sarà possibile accrescere la compatibilità agronomica dell’impiego dei reflui sui campi coltivati, ampliando le aree potenzialmente idonee allo smaltimento e consentendo quindi di orientare la scelta degli appezzamenti in relazione anche a considerazioni di carattere ecologico e ambientale. Proprio questo è stato lo scopo perseguito attraverso la realizzazione del secondo “troncone” della ricerca svolta presso il Dipartimento di Agronomia e Gestione dell’Agroecosistema dell’Università di Pisa, di cui si tratterà nel capitolo seguente.

DETTAGLIO	LIVELLO	SCOPO	SCALA	DATI
basso	regione	<i>screening</i>	1:250000	censuari
medio	provincia	analisi	1:100000	digitali
elevato	comune	pianificazione	1:5000	indagini <i>ad hoc</i>

Tab. 3 *Le caratteristiche dell'approccio modulare prescelto*

#### ASPETTI AMBIENTALI: LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

L'obiettivo della ricerca è stato quello di valutare l'attitudine delle aree agricole allo spargimento delle acque di vegetazione in relazione alle caratteristiche dei comprensori, alla localizzazione dei frantoi e ai vincoli di vario genere imposti dalla normativa vigente. Il lavoro è stato condotto secondo un approccio territoriale di tipo modulare, organizzato secondo tre livelli di dettaglio crescenti, teso ognuno alla realizzazione di uno specifico SIT (Sistema Informativo Territoriale), cioè di un insieme organizzato e aggiornabile di informazioni relative al territorio, passibili di un utilizzo sinergico per fini analitici, gestionali e pianificatori, finalizzato, in questo caso, all'individuazione delle aree agricole caratterizzate da una diversa "condizione di idoneità" allo spandimento dei reflui oleari (Bonari et al., 2001b).

I tre "livelli di studio" (tab. 3), contraddistinti da un dettaglio di indagine e di restituzione cartografica progressivamente maggiore, fanno riferimento ad altrettanti "livelli organizzativi" della pubblica amministrazione: la Regione, la Provincia e il Comune. Il diverso grado di accuratezza e la validità delle informazioni elaborate ai vari livelli di indagine, dipendono quindi dalla disponibilità e dalla affidabilità dei dati di partenza e dalla necessità di scegliere una scala idonea per la rappresentazione cartografica delle diverse aree di studio.

Il primo livello di indagine era rivolto all'individuazione delle aree teoricamente più critiche all'interno del territorio regionale (in questo caso la Toscana), in relazione al carico di acque di vegetazione prodotte e alle superfici agricole disponibili per il loro smaltimento. Tale analisi preliminare, condotta con funzione di *screening*, ha permesso di evidenziare in maniera macroscopica, le zone dove il problema della distribuzione degli effluenti potrebbe porre i maggiori problemi organizzativi.

Il procedimento utilizzato prevedeva, a livello di ogni singolo co-



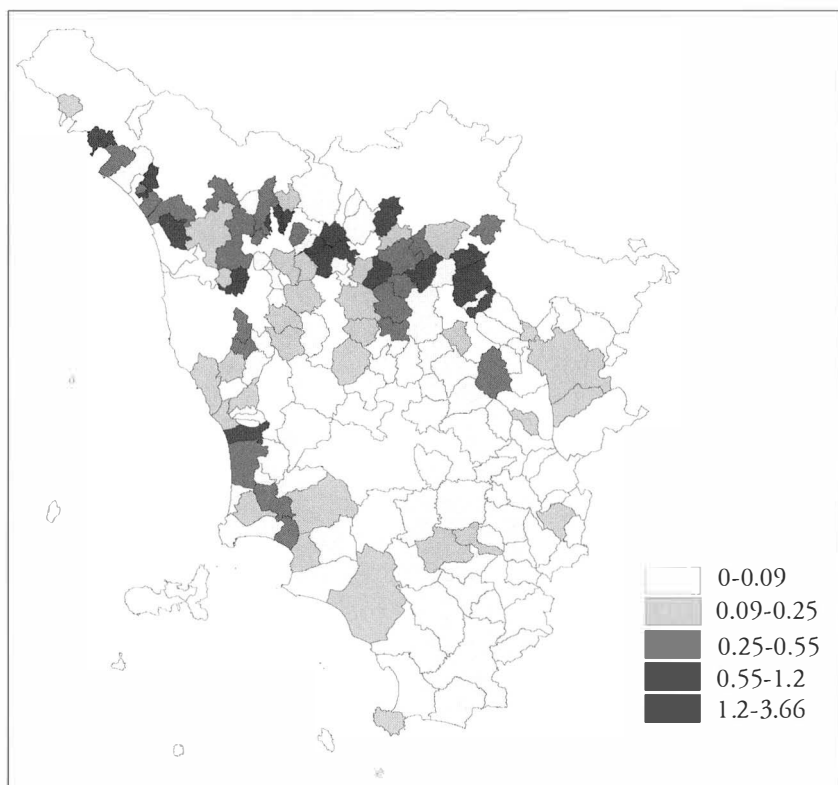


Fig. 8 Rapporto fra le acque di vegetazione residue in ambito comunale e rispettiva superficie agricola potenzialmente idonea allo sversamento ( $m^3$  di refluo/ha) in Toscana. Fonte: elaborazione dati ISTAT, 2001 (V Censimento Generale dell'Agricoltura) elaborazione dati Agecontrol (Censimento attività molitoria campagna 1997/1998)

mune, la stima delle acque di vegetazione prodotte, la determinazione dei terreni agricoli potenzialmente idonei allo spandimento (corrispondenti alla SAU totale sottratta della superficie destinata a coltivazioni ortive, secondo quanto prevede la normativa vigente) e il calcolo del carico teorico di reflui oleari ricadenti sull'unità di superficie, corrispondente al rapporto fra le prime due grandezze.

Quest'ultimo parametro, pur mantenendosi sempre al di sotto del valore di  $4 m^3/ha$  e quindi risultando di oltre 10 volte inferiore ai limiti di legge, evidenzia marcate differenze nell'ambito dei diversi ambiti regionali (fig. 8). In corrispondenza dei valori più elevati, riscontrati nei comuni di alcune province della Toscana: Vin-

ci (FI), Lamporecchio (PT), Buti (PI), Vicopisano (PI), Bibbona (LI), Fosdinovo (MS), ecc., si potrebbero creare condizioni di scarsa disponibilità di aree agricole su cui procedere allo sversamento, limitando la possibilità di effettuare scelte che consentano di minimizzare i rischi di contaminazione ambientale.

A livello provinciale il lavoro è stato articolato in due fasi successive: la prima, relativa alla individuazione ed eliminazione delle aree vietate per legge allo sversamento (zone non agricole o destinate a colture ortive, aree inondabili, aree con falda superficiale), la seconda riguardante l'analisi e la classificazione delle aree rimanenti sulla base della loro idoneità a ricevere le acque di vegetazione, valutata in relazione alle principali caratteristiche agro-pedo-climatiche rilevate.

Non è stato invece possibile, in considerazione della scala di restituzione cartografica prefissata (1:100.000), escludere dall'analisi le aree agricole poste a distanze inferiori ai 300 m dai punti di captazione delle acque per il consumo umano e a 200 m dai centri abitati (come invece prescrive la normativa vigente).

Nell'esempio riportato, relativo alla provincia di Pisa, il primo passo è stato quello di delimitare, a partire dalla *Carta di Uso del Suolo* (Progetto UE: Corine-Land Cover), le aree corrispondenti ai terreni agricoli escludendo la sottoclasse relativa ai vivai e alle colture protette (che comprende i vivai in serra e in pieno campo e le colture ortive in serra e sotto plastica). Per l'individuazione delle zone inondabili e delle aree con falda a profondità inferiore a 10 m, non essendo disponibile, a livello provinciale, alcuna cartografia specifica, si sono sfruttate le indicazioni contenute nella *Carta della Vulnerabilità Idrogeologica* e nella *Carta della Pericolosità Idraulica*, adattando il tipo di classificazione riportata nelle rispettive legende alle esigenze della ricerca.

L'individuazione delle superfici provinciali potenzialmente idonee allo spargimento delle acque di vegetazione è stata quindi ottenuta per semplice sottrazione "geografica" delle aree vietate (aree inondabili e con "falda esposta") da quelle occupate dai terreni agrari (esclusi vivai e colture protette).

Dall'analisi della cartografia elaborata (fig. 9) emerge che le aree idonee allo spandimento dei reflui oleari occupano un'estensione totale di circa 110.000 ettari, pari al 44% dell'intero territorio pro-

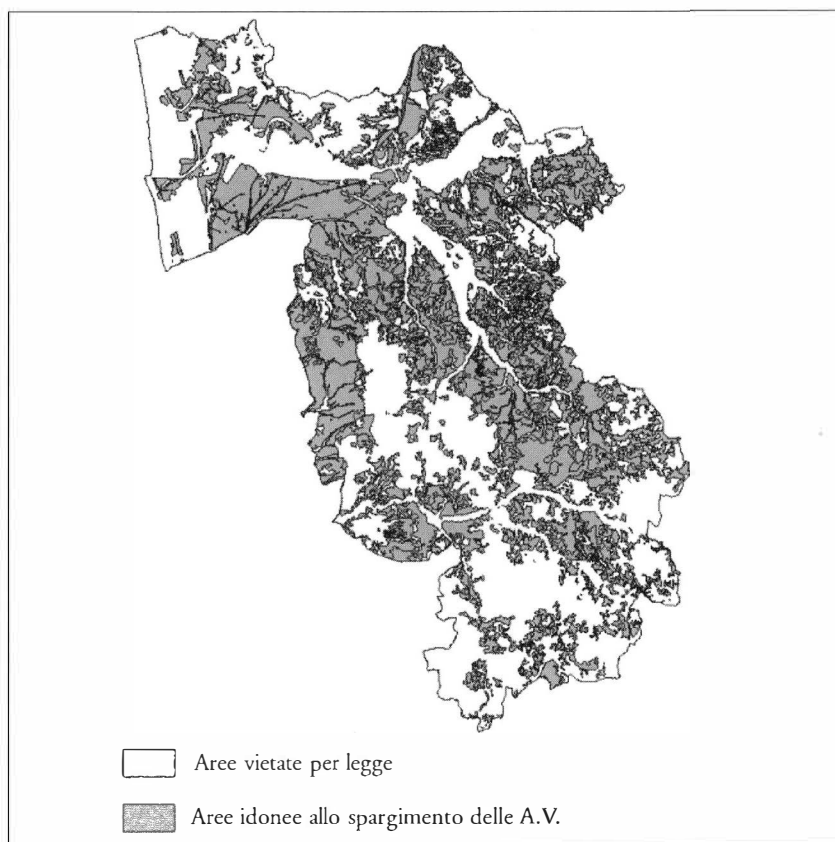


Fig. 9 *Aree vietate ed aree consentite allo smaltimento delle acque di vegetazione secondo quanto previsto dalla legge 574/196*

vinciale. Le aree vietate per legge allo spargimento degli effluenti si estendono invece sui restanti 134.000 ettari, dei quali la maggior parte appartenenti ad aree non agricole o destinate all'orticoltura. La somma delle superfici escluse a causa delle diverse motivazioni previste dalla legge non è uguale al totale della aree vietate, semplicemente perché alcune zone sono risultate non idonee per più di una ragione contemporaneamente.

A ogni modo da questi dati si evince che la disponibilità di terreni agricoli allo spandimento dei reflui oleari non sembra rappresentare un fattore limitante (almeno per quanto riguarda l'area indagata), e che, pertanto, diventa utile analizzare i possibili fattori di

TIPO DI AREA	ESTENSIONE (ha)	INCIDENZA (%)
inondabili	10.000	4
falda esposta	59.000	24
non agricole + vivai e colture protette	123.000	50
totale aree vietate	134.000	56
totale aree idonee	110.000	44

Tab. 4 *Estensione delle aree idonee e vietate allo spargimento delle acque di vegetazione in provincia di Pisa, secondo i limiti imposti dalla legge*

rischio, in modo da stabilire un'ideale scala di priorità fra le aree potenzialmente utilizzabili a questo scopo.

Gli elementi considerati sono sostanzialmente riconducibili a:

- volumi e giorni di pioggia relativi ai mesi interessati alla campagna molitoria (da ottobre a marzo);
- permeabilità, capacità di invaso e drenabilità dei terreni;
- pendenza dei versanti.

Per ciascuno di questi caratteri è stata realizzata una specifica copertura cartografica che riporta, sulla base della classazione del tematismo considerato, l'intensità assunta dal fattore in ogni posizionamento ricadente all'interno del comprensorio.

Attraverso la sovrapposizione delle carte sopra citate si sono prodotte tre carte tematiche di sintesi nelle quali i terreni sono stati suddivisi in 5 classi di rischio:

- *Carta del Rischio di Ruscellamento*: valuta il rischio di ruscellamento delle acque superficiali, determinato in funzione dei volumi di pioggia rilevabili nei mesi interessati allo spandimento, della capacità di trattenuta idrica dei terreni e della pendenza degli stessi;
- *Carta del Rischio di Infiltrazione*: valuta il rischio di inquinamento della falda determinato in funzione dei volumi di pioggia rilevabili nei mesi interessati allo spandimento, della permeabilità dei terreni e della vulnerabilità idrogeologica (fig. 10);
- *Carta dell'Accessibilità in Campo*: valuta la possibilità di accedere in campo, con i mezzi meccanici, per la distribuzione dei reflui sulla base dei giorni di pioggia totali rilevabili nei mesi interessati allo spandimento, della drenabilità dei terreni e della pendenza degli stessi.

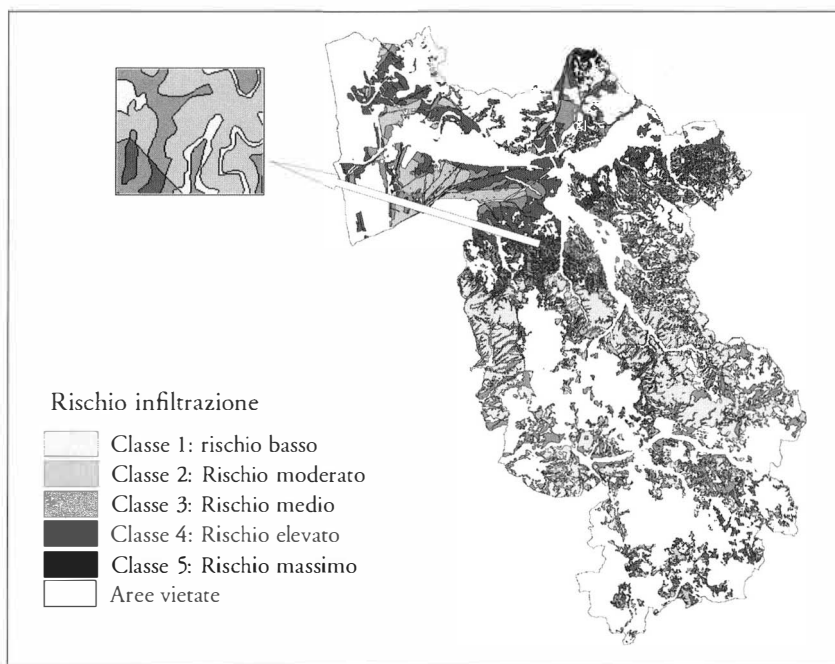


Fig. 10 *“Carta del rischio di infiltrazione” della provincia di Pisa*

Dall'esame dei dati (tab. 5) si può osservare come le maggiori limitazioni siano a carico dei rischi di ruscellamento superficiale e dei vincoli di accessibilità in campo; circa il 17% dei terreni esaminati ricade infatti nella V classe (rischio molto elevato) per ambedue i fattori prima citati, mentre meno dell'1% delle superfici rientra nella stessa classe (V) per quanto riguarda i rischi di contaminazione delle falde.

A livello di singolo comune i maggiori pericoli di infiltrazione sono a carico di Castelfranco di sotto (733 ha in V classe), seguito da San Giuliano Terme (2552 ha in IV classe); i problemi di ruscellamento sembrano prevalere invece a Volterra (4433 ha in V classe) e a Pomarance (3075 ha in V classe), come anche le limitazioni per l'accessibilità in campo (Volterra 6501 ha in classe V e Pomarance 3190 ha in classe V).

A livello comunale la finalità perseguita è stata invece quella pianificatoria, essendo prevista l'elaborazione di un piano di distribuzione dei reflui che, accettando l'ipotesi di limitare lo spandimento, per

CARTE TEMATICHE DI SINTESI	CLASSE I (ha)	CLASSE II (ha)	CLASSE III (ha)	CLASSE IV (ha)	CLASSE V (ha)
rischio di infiltrazione	30.612	19.437	32.811	24.279	737
rischio di ruscellamento	6043	44.388	26.262	12.452	18.625
accessibilità in campo	8535	42.411	25.356	13.071	18.367
CLASSE I = rischio molto basso, CLASSE II = rischio basso, CLASSE III = rischio intermedio, CLASSE IV = rischio elevato, CLASSE V = rischio molto elevato.					

Tab. 5 *Classificazione delle aree della provincia di Pisa consentite allo spandimento delle acque di vegetazione secondo classi di rischio crescenti*

motivi “economico-operativi”, a un massimo di 3 km dal frantoio, consentisse di individuare la destinazione più razionale degli effluenti, definendo i modi e i tempi ottimali per la loro distribuzione.

L'area di indagine era rappresentata dalla zona di pertinenza del frantoio di Caprona (uno spazio circolare con raggio di 3 km attorno allo stabilimento), una frazione del comune di Calci posto in provincia di Pisa. In relazione al livello di grande dettaglio a cui si operava, la caratterizzazione dell'area ha comportato l'effettuazione di numerosi sopralluoghi allo scopo di raccogliere informazioni sufficientemente particolareggiate, data l'impossibilità di poter utilizzare dati acquisiti a scale inferiori. Per le informazioni relative all'uso del suolo, alla gestione del territorio agricolo e alla caratterizzazione fisico-chimica dei terreni è stato necessario affidarsi al rilievo diretto in campo o al colloquio con gli agricoltori.

Si è trattato dunque di valutare con attenzione le quantità di reflui complessivamente prodotte nell'area di riferimento, la maggiore o minore ampiezza del periodo di raccolta delle olive (e quindi la conseguente dinamica di formazione degli effluenti) e le caratteristiche agro-pedo-climatiche del territorio interessato (fig. 11).

L'insieme dei dati raccolti ha consentito l'individuazione delle aree (circa 25-30 ha di terreno) dove le condizioni agro-pedo-climatiche risultavano ottimali, per il comprensorio considerato, alla distribuzione dei reflui.

Allo scopo di organizzare e non disperdere il patrimonio di conoscenze acquisite nel corso del progetto sull'attitudine dei terreni agrari allo sversamento delle acque di vegetazione, si è provveduto alla realizzazione di un *software* applicativo che richiamasse tutte le

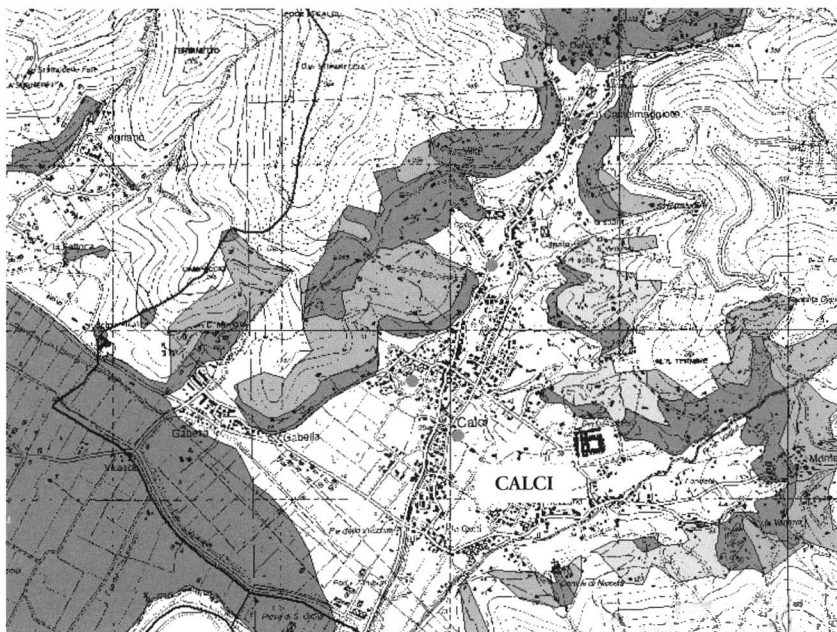


Fig. 11 Particolare della “carta del rischio di infiltrazione” relativa all’area del comune di Calci (PI)

informazioni necessarie alla formulazione di un giudizio di idoneità, consentendo di pervenire a una valutazione integrata di tutti gli aspetti coinvolti.

Il programma si propone quindi come un vero e proprio sistema di supporto alle decisioni (*Decision Support System*), con lo scopo di agevolare il compito di chi debba predisporre la relazione tecnica per la comunicazione dello smaltimento delle acque di vegetazione, ma anche di rendere più trasparenti e oggettive le scelte assunte dal pubblico decisore a questo riguardo.

L’applicazione informatica denominata ICARO: Indicatore di Compatibilità Ambientale dei Reflui Oleari (Silvestri et al., in corso di stampa) implementa metodi ispirati alla logica sfumata (*fuzzy logic*) per l’aggregazione di variabili legate alle caratteristiche quantitative degli effluenti e alle condizioni agronomiche, climatiche, pedologiche e topografiche degli appezzamenti destinati alla distribuzione dei reflui oleari (fig. 12).



Fig. 12 Schermata iniziale del software ICARO

I valori da inserire possono derivare sia da misure o determinazioni sperimentali, sia da stime. In questo caso ICARO mette a disposizione funzioni di pedotransfer per il calcolo di alcuni parametri come il contenuto volumetrico di acqua nel suolo alla capacità di campo, la densità apparente e la conducibilità saturata.

Le variabili sono raggruppate in cinque moduli: “Refluo”, “Falda”, “Suolo”, “Corpi idrici” e “Coltura”, corrispondenti rispettivamente alla “sorgente” dell’impatto e ai quattro presumibili “bersagli” sensibili all’azione contaminante. I moduli possono essere utilizzati tutti o in parte (da uno a quattro) per il calcolo dell’indicatore finale, che fornisce il giudizio sintetico sulla compatibilità agro-ambientale della specifica applicazione esaminata. Moduli e indicatore finale possono assumere valori compresi tra 0 (rischio agro-ambientale nullo) e 1 (rischio agro-ambientale massimo).

L’aggregazione richiede l’attribuzione di valori soglia (favorevole, sfavorevole) e pesi diversi a ciascuna variabile, in relazione all’importanza attribuita loro rispetto alla formazione del risultato finale.

L’applicazione software è stata realizzata nel linguaggio MS Visual Basic 6 e per il suo funzionamento sono richiesti sistemi operativi



MS Windows. Il pacchetto di installazione è inclusivo di file di esempio e del manuale d'uso.

## CONCLUSIONI

Le ricerche condotte in merito allo spargimento delle acque di vegetazione sui terreni agricoli hanno dimostrato che, per i dosaggi consentiti dalla legge (50-80 m<sup>3</sup>/ha, a seconda del metodo estrattivo adottato), non si riscontrano evidenti fenomeni di fitotossicità. Le sperimentazioni effettuate hanno infatti evidenziato che i problemi agronomici legati al loro impiego sono limitati e possono essere facilmente risolti, purché vengano osservate alcune semplici regole comportamentali. In particolare la distribuzione in pre-semina non provoca conseguenze rispettando un adeguato intervallo di tempo fra lo spandimento e l'impianto della coltura. Per i trattamenti di copertura sui cereali a paglia è bene non superare le dosi di 40-50 m<sup>3</sup>/ha, mentre minore importanza sembrano rivestire le caratteristiche del terreno, l'interramento degli effluenti e la fase fenologica della coltura. Nessun problema infine è stato rilevato sulle specie poliennali e/o permanenti, dove invece può diventare necessario porre attenzione al contenimento di eventuali fenomeni erosivi.

In ogni caso lo spandimento delle acque di vegetazione sui terreni agrari deve integrarsi all'intero delle scelte tecniche operate dall'agricoltore, che dovrà tentare, per quanto possibile, di sfruttarne gli eventuali effetti positivi (concimazione, controllo infestanti, ecc.).

Dal punto di vista territoriale la scelta di un approccio "modulare" al problema che si sviluppi secondo livelli di dettaglio crescente appare quanto mai opportuna in relazione alla disponibilità dei dati, alle esigenze di analisi, alle risorse umane e finanziarie utilizzabili. La possibilità di affrontare il problema con strategie cognitive diversificate, in funzione delle risposte attese, si dimostra adeguata, consentendo di eseguire un'analisi territorialmente estesa dei fenomeni di interesse, senza correre il rischio di incorrere in una loro eccessiva semplificazione.

Utile, sia per il proponente che per il decisore, si dovrebbe di-

mostrare anche l'applicazione software realizzata (ICARO), che potrà contribuire al conseguimento sia di una maggiore omogeneità e trasparenza di giudizio, sia di una maggiore razionalità nelle decisioni assunte.

Infine si ritiene che le metodologie di lavoro proposte, pur necessitando di inevitabili aggiustamenti e correzioni, per adattarsi a realtà diverse da quelle indagate, possano costituire un prezioso punto di partenza per chiunque intenda avvicinarsi alle tematiche affrontate con il rigore scientifico e il pragmatismo operativo che devono contraddistinguere qualunque scelta legata alla tutela e alla gestione del territorio.

#### RIASSUNTO

La distribuzione delle acque di vegetazione sui terreni agrari costituisce la modalità di più diffusa per lo smaltimento di questi reflui per evidenti motivi di ordine economico ed organizzativo. Tale operazione per risultare "conveniente" anche da un punto di vista agronomico ed ambientale deve però rispondere ad alcuni requisiti minimi riguardanti le dosi, le epoche, le modalità, l'attitudine delle colture, nonché le caratteristiche climatiche, pedologiche ed orografiche delle aree destinate allo sversamento.

A questo riguardo gli Autori riportano i risultati più importanti di una ricerca triennale, finanziata dal CNR, tesa a valutare il comportamento delle colture trattate e a definire le tecniche per individuare, a livello territoriale, le aree potenzialmente più idonee allo sversamento.

#### ABSTRACT

*The oil waste water's: agronomic and territorial aspects.*

The oil waste water's shedding on agrarian lands represents the most widespread way to use this kind of effluents, both for economic and organizational reasons. Such an action, to be "convenient" from either agronomic or environmental point of view, has to meet some conditions regarding doses distributed, timing, spraying management, crop aptitude, as well as climatic, pedological and orographic characteristics of the area devoted to shedding.

Authors report here the main findings collected during a 3-year experimentation within a research project founded by National Council of Research (CNR) and aimed at evaluating: i) crop behaviour on fields sprayed with oil waste waters; ii) land potentials to receive such effluents.

## BIBLIOGRAFIA

- ALIANELLO F. (2001): *Effetti della somministrazione di acque reflue di frantoi oleari sulle caratteristiche chimiche e biochimiche del suolo*, Verona, Ed. L'Informatore Agrario, Progetto editoriale PANDA: "I sottoprodotti dei frantoi oleari", vol. 3, pp. 29-40.
- BONARI E. e CECCARINI L. (1991): *Spargimento delle acque di vegetazione dei frantoi sul terreno agrario*, «L'Informatore Agrario», 13, pp. 49-57.
- BONARI E. e CECCARINI L. (1993): *Sugli effetti dello spargimento delle acque di vegetazione sul terreno agrario: risultati di una ricerca sperimentale*, «Genio Rurale», 5, pp. 60-67.
- BONARI E. e CECCARINI L. (1994): *Aspetti agronomici dello smaltimento dei sottoprodotti dell'industria olearia*, in Atti del convegno: "Le centrifughe a due fasi nell'estrazione dell'olio di oliva: problematiche, prospettive qualitative e implicazioni della utilizzazione dei sottoprodotti", Spoleto, 28 ottobre 1994, pp. 83-90.
- BONARI E. e CECCARINI L. (2001): *Effetti dei reflui oleari sulla produzione di alcune colture agrarie*, Verona, Ed. L'Informatore Agrario. Progetto editoriale PANDA: "I sottoprodotti dei frantoi oleari", vol. 3, 121-146.
- BONARI E., GIANNINI C., CECCARINI L., SILVESTRI N., TONINI M., SABBATICI T. (2001a): *Spargimento delle acque di vegetazione dei frantoi oleari su terreno agrario*, «L'Informatore Agrario», suppl. 50, pp. 8-12.
- BONARI E., SILVESTRI N., TONINI M., SABBATICI T., GIANNINI C., CECCARINI L. (2001b): *Sistema informativo territoriale per lo smaltimento dei reflui oleari dei frantoi*, «L'Informatore Agrario», suppl. 50, pp. 19-21.
- CICOLANI B., SEGNETTI L., D'ALFONSO S., DI GIOVACCHINO L. (1993): *Spargimento delle acque di vegetazione dei frantoi oleari su terreno coltivato a grano: effetti sulla pedofauna*, «L'Informatore Agrario», 34, pp. 69-75.
- DE SIMONE C. (2001): *Effetti fitotossici dei reflui oleari*, Verona, Ed. L'Informatore Agrario, Progetto editoriale PANDA: "I sottoprodotti dei frantoi oleari", vol. 3, pp. 73-91.
- DI GIOVACCHINO L. e SEGNETTI L. (1990): *Lo smaltimento delle acque di vegetazione delle olive su terreno agrario destinato alla coltivazione di grano e mais*, «L'Informatore Agrario», 45, pp. 58-62.
- RAGLIONE M., BIANCHI A.A., DE SIMONE C., VALERIANI V., CAMPANELLI G., GUIDUCCI M. (1997): *Effetti sul suolo e sulle produzioni derivanti dalla distribuzione di reflui tal quali di frantoi oleari*, «Agricoltura Ricerca», 168, pp. 31-38.
- RAGLIONE M. e D'AMBROSIO C. (2001): *Aspetti agronomici della somministrazione sul suolo delle acque di vegetazione*, Verona, Ed. L'Informatore Agrario, Progetto editoriale PANDA: "I sottoprodotti dei frantoi oleari", vol. 3, pp. 29-40.
- RIFFALDI R., SAVIOZZI A., LEVI-MINZI R., BERTOLACCI M. (1992): *Effetti delle acque di vegetazione sulle proprietà di un terreno collinare ad oliveto*, «Inquinamento», 1, pp. 38-43.

- SILVESTRI N., BELLOCCHI G., FILA G., BONARI E. (2003): *Icaro: un software per valutare l'idoneità dei terreni agrari alla distribuzione delle acque reflue dei frantoi oleari*, in *Atti del XXXV Convegno della Società italiana di agronomia*.
- TOMATI U. (2001): *Riciclo dei reflui oleari: risultati e prospettive*, «L'Informatore Agrario», 37, pp. 35-40.



PAOLO AMIRANTE\*, BIAGIO BIANCHI\*,  
PASQUALE CATALANO\*\*, ALESSANDRO LEONE\*,  
GIAN LUCA MONTEL\*\*\*, ANTONELLA TAMBORRINO\*

RISULTATI DELLA RICERCA  
TEORICO-SPERIMENTALE PER L'OTTIMIZZAZIONE  
DEI NUOVI DECANTER E PRESENTAZIONE  
DEL MODELLO TEORICO DELLA SEPARAZIONE  
OLIO-ACQUA-SOLIDI E RELATIVA VALIDAZIONE  
CON PROVE SPERIMENTALI

I. INTRODUZIONE

La tecnologia di estrazione dell'olio di oliva ha subito negli ultimi quaranta anni una notevole evoluzione che, nell'ambito dell'intero ciclo di processo, ha tenuto conto, in momenti successivi, di diverse esigenze, introducendo le seguenti innovazioni di processo e di prodotto:

- impianti continui per la riduzione d'impiego di manodopera;
- impianti di depurazione per il trattamento delle acque di vegetazione prodotte;
- impianti a risparmio d'acqua di processo e ridotto scarico di acque di vegetazione;
- meccanismi per il controllo e la regolazione dei parametri di processo volti al miglioramento della qualità dell'olio, nonché la corretta gestione dei sottoprodotti solidi e dei reflui;
- sistemi di automazione degli impianti per passare dalla lavorazione partitaria a quella massale.

L'evoluzione della tecnologia di estrazione olearia verso sistemi di lavorazione che eseguono il processo in modo automatico e senza il diretto intervento dell'uomo ha determinato una riduzione

\* Dipartimento PRO.GESA - Università degli Studi Bari

\*\* Dipartimento S.A.V.A. - Università degli Studi del Molise

\*\*\* Dipartimento P.R.I.M.E. - Università degli Studi di Foggia

sensibile dell'impiego degli impianti a pressione, che richiedono molta manodopera; attualmente si tende a utilizzare gli impianti continui, che puntano all'utilizzo del sistema centrifugo per la separazione delle fasi, eventualmente accoppiato con altri metodi di estrazione (impianti misti a doppia estrazione).

Il brevetto dell'utilizzo del decanter per l'estrazione centrifuga, presentato dall'Alfa Laval per il settore specifico dell'olio di oliva nel 1962 e approvato in Italia nel 1964, aveva per oggetto il "Sistema a funzionamento continuo per recuperare olio da una pasta costituita da sostanze vegetali finemente suddivise" e non prevedeva l'aggiunta di acqua di processo, ma l'eventuale riciclo delle acque vegetali. Infatti, l'estrattore centrifugo è nato come macchina per separare per via centrifuga un solido da un liquido, tuttavia nella applicazione al settore oleario, durante le prime prove svolte in Toscana nella campagna olearia 1963-64 presso il frantoio Connelly (località Cascia di Regello in Provincia di Firenze), sorse l'esigenza di aggiungere dell'acqua alla pasta, prima della centrifugazione.

Il passaggio dagli impianti a pressione a quelli continui, pur risolvendo il problema della manodopera e garantendo una maggiore igienicità al processo, incrementava, tuttavia, la produzione di acque di vegetazione da valori di circa 40-60 kg/100 kg di olive a valori di 100-120 kg/100 kg di olive, oltre a incrementare l'umidità della sansa che passava dal 24-30% al 48-54%.

L'emanazione della legge Merli del 1976, con i relativi regolamenti di applicazione che consideravano i frantoi come impianti produttivi, mise in crisi il sistema oleario, tanto che vi fu una corsa alla messa a punto di impianti di depurazione che necessariamente, per l'elevato carico organico delle acque di vegetazione, dovevano funzionare con piattaforme di raccolta, stoccaggio e depurazione, per ridurre di costi di trattamento.

In tale ottica, il gruppo di ricerca coordinato dall'Istituto di Meccanica Agraria di Bari, ha messo a punto diversi impianti di depurazione, con tecnologie brevettate e notevolmente evolute, che puntavano sulla concentrazione termica a più effetti o sull'uso delle membrane.

L'approvazione della legge 574 del 1996, consentendo l'utilizzo agronomico delle acque di vegetazione con il loro spargimento controllato al suolo agricolo, bloccava il funzionamento di tali piat-

taforme depurative che, tuttavia, attualmente svolgono una importante funzione, in quanto utilizzate per la concentrazione di rifiuti industriali liquidi.

L'esigenza di migliorare la qualità dell'olio ha spinto, poi, a considerare l'opportunità di modificare il ciclo di estrazione centrifuga, riducendo o eliminando l'aggiunta di acqua di processo, influenzando in tal modo sulla intera filiera olearia.

I sistemi di estrazione centrifuga prevedono che la pasta olearia possa essere frazionata in due sole fasi, olio e sansa molto umida, oppure in tre fasi e cioè olio, sansa meno umida e piccole frazioni di acqua.

Estraendo l'olio con impianti a due fasi, non vengono prodotte acque di vegetazione, ma l'umidità della sansa risulta piuttosto elevata e cioè dell'ordine del 58-62%, il che crea dei problemi nella estrazione al solvente dell'olio dalla sansa vergine. Lavorando, invece, a tre fasi, con gli impianti centrifughi tradizionali, si ottiene una sansa con umidità accettabile (48-54%) che può essere inviata ai sansifici e si ottengono, invece, elevate quantità di acqua di vegetazione. Con i decanter di ultima generazione, a risparmio d'acqua e cono corto, si riesce, invece, a ottenere una sansa con umidità inferiore rispetto agli impianti a due fasi (50-52 %), scaricando modeste quantità di acque di vegetazione che possono essere trattate a costi contenuti o utilizzate a fini agronomici.

Pertanto, allo stato attuale si tende verso soluzioni impiantistiche che considerano l'esigenza di valutare globalmente tutti i problemi della filiera, puntando alla produttività e all'automazione del processo, avendo, tuttavia, come aspetto prioritario quello dell'ottimizzare la qualità dell'olio estratto, non trascurando i problemi fondamentali della gestione delle acque di vegetazione e della destinazione della sanse.

Tale problema è ancora ampiamente dibattuto, in quanto la legislazione dei Paesi produttori di olive è molto diversificata e, in molti di essi, le acque di vegetazione sono considerate come possibile risorsa. Pertanto, anche se l'attuale tecnologia olearia tende a ridurre la produzione di acque di vegetazione e molti Paesi del Mediterraneo si stanno orientando alla loro utilizzazione agronomica, in alcuni casi si rende ancora necessario ricorrere alla loro depurazione, così come succede anche in Italia in alcuni oleifici industria-



li che non hanno un diretto collegamento con il mondo della produzione olivicola.

L'unità operativa dell'Università di Bari, proseguendo nelle ricerche già sviluppate in passato, ha analizzato, nell'ambito del progetto di ricerca CNR 95/95 "Reflui Oleari", in modo complessivo le varie problematiche della filiera olearia. Tuttavia, nella presente relazione verranno analizzate soltanto le linee di ricerca inerenti l'evoluzione innovativa dei nuovi decanter.

## 2. PROVE SPERIMENTALI ED EVOLUZIONE FUNZIONALE E COSTRUTTIVA DEI DECANTER

L'esigenza di ridurre la quantità di acqua di processo utilizzata e di migliorare la qualità dell'olio, ha determinato una intensa attività sperimentale che, in una prima fase, ha preceduto l'evoluzione costruttiva dei decanter, dimostrando che erano possibili sensibili miglioramenti funzionali anche con le centrifughe tradizionali.

Infatti, senza intervenire sulle tecnologie, ma agendo sui parametri operativi delle linee continue tradizionali, quali appunto le temperature e i tempi di gramolazione, ma soprattutto, intervenendo sulla diluizione della pasta, si sono ottenuti risultati molto significativi. Si riportano di seguito i risultati di una indagine sperimentale sulla funzionalità degli impianti continui centrifughi a tre fasi in 15 oleifici della provincia di Lecce.

Le prove hanno riguardato la valutazione sia dei parametri operativi che di quelli produttivi degli impianti, nonché la relativa influenza dei parametri di processo sulla qualità degli oli ottenuti.

I risultati dell'indagine sperimentale hanno messo in evidenza che anche negli impianti a tre fasi, senza introdurre modifiche tecnologiche, è possibile ridurre la quantità di acqua aggiunta a valori del 25-35%, ottenendo sensibili miglioramenti nel rendimento di estrazione, massimo per valori del rapporto di diluizione pari al 28% circa, riducendo, peraltro, la quantità di acque reflue prodotte (fig. 1).

Inoltre, è stato anche dimostrato che l'incremento dell'acqua aggiunta oltre i limiti di una diluizione accettabile ( $vr = 50-55\%$ ) incrementa le perdite di olio (tab. 1).

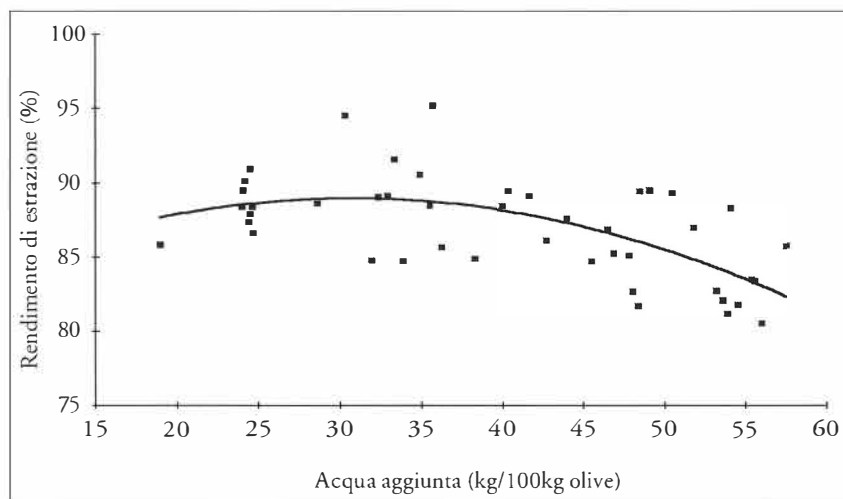


Fig. 1 *Rendimento di estrazione in funzione dell'acqua di rete aggiunta* ( $y = -0,0092x^2 + 0,5665x + 80,267$ ;  $R^2 = 0,38^{**}$ )

Tali risultati hanno spinto la ricerca a studiare congiuntamente, sugli impianti centrifughi, la riduzione dell'acqua di processo e l'influenza di una parziale sostituzione nella lavorazione dell'acqua di rete con l'acqua di vegetazione in uscita dall'estrattore centrifugo.

Dall'esame dei risultati delle prove di estrazione con riciclo (tabb. 2, 3) è possibile fare le seguenti considerazioni complessive, in ordine ai seguenti aspetti:

- acqua di vegetazione scaricata dall'impianto;
- resa di estrazione e perdite di olio nei sottoprodotti;
- caratteristiche qualitative dell'olio estratto.

Le acque di vegetazione immesse in riciclo hanno consentito di ridurre la quantità di acqua di rete aggiunta, rispetto alle prove in bianco, di circa il 20-30% nelle prove con riciclo medio e di circa il 50% nelle prove con massimo riciclo.

Tale sistema di lavorazione ha consentito una riduzione delle acque reflue scaricate variabile dal 20 al 40%, con valori assoluti, nel caso del massimo riciclo, abbastanza simili ai valori ottenibili con gli impianti a pressione.

Per quanto riguarda le perdite di olio nei sottoprodotti, si è potuto constatare che il contenuto di grasso nelle sanse per 100 kg di olive lavorate, con il riciclo delle A.V., rispetto al testimone, risulta

PROVA N.	PORTATA DI ALIMENTAZIONE (kg/h)	ACQUA AGGIUNTA/100 KG DI OLIVE (l)	TEMPO DI RITENZIONE (min)	OLIO NELLA SANSÀ (%)	OLIO NELL'ACQUA DI VEGETAZIONE (%)	PERDITE TOTALI (%)
1	663	73.0	9.7	5.41	4.95	10.36
2	805	76.2	8.3	5.86	5.41	11.27
3	1404	85.5	4.9	7.14	8.04	15.18
4	1211	98.0	5.5	6.64	8.41	15.05
5	1593	86.8	4.3	8.48	9.37	17.85

Tab. 1 *Variazione percentuale delle perdite di olio nei sottoprodotti in funzione dell'acqua aggiunta e del tempo di ritenzione*

OLIVE			RICICLO A.V.	RENDIMENTO	RESA	SANSÀ	A.V.	ACQUA AGGIUNTA	OLIO NEI SOTTO- PRODOTTI
VARIETÀ	ACQUA (%)	OLIO (%)	(kg/h)	(%)	(%)	OLIO (kg/100 kg di olive)	OLIO (kg/100 kg di olive)	(kg/100 kg di olive)	(kg/100 Kg di olive)
Leccino	47.0	18.5	-	71.9	13.3	2.0	2.8	96.0	4.8
	46.0	19.3	Min	81.3	15.7	1.6	2.0	65.0	3.6
	45.9	19.1	Max	79.0	15.1	1.5	2.1	37.6	3.6
Coratina	48.9	18.1	-	81.8	14.8	2.0	0.9	69.5	2.9
	48.3	18.3	Min	85.8	15.7	1.8	0.5	61.0	2.3
	48.5	18.1	Max	84.0	15.2	1.7	0.8	31.5	2.5
Carolea (70%) Coratina (30%)	41.4	23.9	-	87.4	20.9	1.6	1.1	70.5	2.7
	41.6	23.0	Min	87.8	20.2	1.6	0.9	54.5	2.5
	41.2	23.8	Max	88.3	21.1	1.6	0.7	36.6	2.3

Tab. 2 *Caratteristiche qualitative degli oli ottenuti riciclando le acque di vegetazione nel decanter centrifugo*

leggermente ridotto per le varietà Leccino e Coratina, mentre è rimasto inalterato per la miscela Carolea-Coratina; invece nelle A.V., il residuo grasso, si è sempre ridotto fino a raggiungere uno scarto massimo di 0,8 kg/100 kg di olive.

L'analisi chimica degli oli ottenuti con la metodica del riciclo ha consentito di dimostrare che non si verificano variazioni dei componenti tali da influenzare negativamente le loro caratteristiche organolettiche e di stabilità (tab. 3).

In particolare, l'analisi organolettica (Panel test) ha fornito per tutti i campioni esaminati, punteggi elevati e decisamente superiori al limite richiesto dalla nuova regolamentazione sull'olio extra-

VARIETÀ	ACIDITÀ (% ac. oleico)	POLIFENOLI TOTALI (ppm ac. gallico)	STABILITÀ RANCIMAT (h)	PANEL TEST
Leccino	0.20	85	9.3	7.1
	0.23	136	10.5	7.3
	0.23	140	9.8	7.1
Coratina	0.35	364	18.4	7.2
	0.31	395	19.9	6.9
	0.28	457	21.5	7.4
Carolea (70%)	0.44	165	8.3	7.1
Coratina (30%)	0.40	204	11.3	7.1
	0.40	176	10.8	7.0

Tab. 3 *Risultati tecnologici ottenuti riciclando le acque di vegetazione nel decanter centrifugo*

vergine. Inoltre, il contenuto in fenoli totali è risultato sempre superiore nelle prove con riciclo, rispetto alle prove testimoni, con incrementi variabili dal 7% al 64%, a seconda delle condizioni di riciclo, delle caratteristiche della cultivar e della quantità di acqua di rete utilizzata. L'aggiunta nelle paste di acqua calda di rete, richiesta dal sistema di estrazione centrifuga a tre fasi, determina una riduzione di alcuni particolari nelle acque di vegetazione, fra cui gli antiossidanti naturali presenti negli oli. Il riciclo delle acque di vegetazione, in sostituzione dell'acqua di rete, elimina tale inconveniente e, come ulteriori vantaggi, riduce il consumo di acqua e la quantità di reflu scaricato.

I risultati ottenuti con il riciclo hanno spinto all'introduzione in elaiotecnica del decanter con scarico a due o a tre fasi a risparmio d'acqua, modificando adeguatamente il decanter dal punto di vista funzionale, numero di giri della coclea e spessore dell'anello liquido interno; con tale intervento è possibile eseguire la separazione del mosto oleoso dalla sansa, senza determinare la fuoriuscita dell'acqua di vegetazione, che viene in tal modo allontanata insieme alla sansa.

Pertanto, prima ancora di procedere a studi più accurati sui nuovi decanter, variando soltanto il numero di giri della coclea, aggiungendo minori quantità di acqua e riducendo le portate per incrementare il tempo di sedimentazione delle particelle solide, sono state eseguite le prime esperienze sperimentali sul decanter a due fasi.

Le numerose prove eseguite hanno portato a risultati molto in-

teressanti in ordine agli obiettivi preposti, cioè miglioramento delle rese di estrazione e della qualità dell'olio.

Infatti, l'estrazione da olive delle varietà Ogliarola salentina e Cellina di Nardò, ha evidenziato che il decanter a due fasi può fornire un rendimento di estrazione superiore rispetto alla estrazione a tre fasi. Tale vantaggio è stato ottenuto, soprattutto, per l'eliminazione delle perdite di olio nelle acque di vegetazione; infatti, l'olio presente nelle sanse della lavorazione a due fasi è risultato in percentuale lievemente maggiore rispetto a quello a tre fasi. L'umidità della sansa è passata dal 53-54% nella lavorazione a tre fasi al 59-62% nella lavorazione a due fasi, con incrementi non eccessivi e che, comunque, possono essere ulteriormente ridotti attraverso interventi sia all'interno dell'impianto sia in fase successiva all'estrazione.

Sotto l'aspetto della qualità dell'olio sono stati ottenuti sensibili vantaggi, in quanto, nella lavorazione a due fasi, rispetto a quella a tre fasi, si ottiene un più alto contenuto di fenoli totali ( $44 \div 69\%$ ) e degli o-difenoli ( $115 \div 143\%$ ) con una conseguente maggiore stabilità dell'olio, come evidenziato anche dai valori della stabilità Rancimat, risultata superiore del  $25 \div 32\%$ . Gli oli ottenuti non hanno dato, poi, differenze significative relativamente ai valori accertati per gli altri parametri di qualità (tab .4).

I risultati ottenuti sono, nell'insieme, molto soddisfacenti tanto che a partire da tale ricerca sono stati sviluppati studi molto approfonditi sui seguenti aspetti:

- valutazioni sempre più accurate delle proprietà reologiche delle paste, con particolare riguardo allo stato di aggregazione delle particelle solide e alla viscosità, alla fine di ciascuna operazione elementare del processo (frangitura, gramolazione, diluizione prima della centrifugazione);
- studi teorici sempre più precisi passando dal modello a due fasi (un liquido e un solido) a quello a tre fasi (due liquidi e un solido) fino a giungere a quello a quattro fasi che viene presentato per la prima volta con la presente relazione;
- prove sperimentali per verificare i modelli matematici;
- sperimentazione dei nuovi prototipi immessi sul mercato dalle ditte costruttrici.

Rimandando ai successivi paragrafi le acquisizioni raggiunte con

VARIETÀ DI OLIVE	SISTEMA DI ESTRAZIONE	POLIFENOLI TOTALI (ppm ac. gallico)	STABILITÀ RANCIMAT (h)
Ogliarola Salentina +Cellina di Nardò	2 fasi	108	7,5
	3 fasi	64	5,7
Miste	2 fasi	160	8,8
	3 fasi	113	7,0
Miste	2 fasi	103	5,4
	3 fasi	82	4,9

Tab. 4 *Confronto tra le caratteristiche qualitative degli oli ottenuti con l'estrazione centrifuga a due e a tre fasi*

gli studi teorico-sperimentali condotti dal gruppo di ricerca, verranno di seguito brevemente esaminati i risultati delle prove ottenute con le innovazioni introdotte con i nuovi decanter e cioè:

- velocità differenziale variabile tamburo/coclea,
- introduzione delle barriere e del cono corto con l'incremento, a parità di dimensioni del decanter, della lunghezza del cilindro di sedimentazione.

Quindi, la necessità di contenere i consumi idrici per ridurre lo scarico delle acque reflue, la possibilità di migliorare la qualità dell'olio d'oliva eliminando, nella fase di estrazione olearia, l'aggiunta di acqua di processo, nonché la notevole variabilità nel rapporto tra fase solida e fasi liquide (acqua e olio) riscontrabile in lavorazione, hanno determinato l'esigenza di approfondire lo studio dei parametri costruttivi e funzionali dei decanter, al fine di ottimizzarne il funzionamento attraverso un più razionale dimensionamento costruttivo e fornire agli operatori del settore gli strumenti per migliorare il controllo e la gestione dei parametri operativi durante il processo di estrazione.

In relazione a tali considerazioni, acquisite sulla base di una collaborazione sviluppata negli anni fra l'Università e l'Industria, è stato realizzato un decanter a controllo computerizzato della velocità differenziale tra tamburo e coclea e della coppia esercitata dalla coclea sulla pasta in fase di estrazione.

Il decanter del tipo a risparmio d'acqua con scarico a tre fasi, dotato di sistema di regolazione multiplo assistito da un controllore programmabile, consente le seguenti condizioni distinte di regolazione:

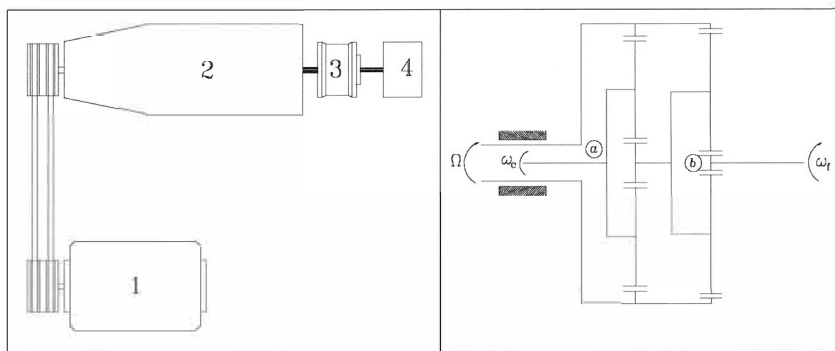


Fig. 2 Schema dell'impianto (sx) e del rotismo epicicloidale multiplo (dx) utilizzato per il controllo della velocità differenziale coclea/tamburo. 1 - Motore elettrico; 2 - Decanter; 3 - Rotismo epicicloidale; 4 - Freno motore elettromagnetico.  $\Omega$  è la velocità angolare del tamburo,  $\omega_c$  la velocità angolare dell'albero collegato al freno motore,  $\omega_r$  la velocità angolare dell'albero della coclea

- controllo della velocità differenziale tamburo/coclea ( $\Delta n$ );
- controllo della coppia (M) misurata sull'asse della coclea;
- controllo del rapporto  $M/\Delta n$ .

Il sistema di trasmissione del moto, che consente la variazione della velocità differenziale tamburo/coclea, è costituito da un doppio rotismo epicicloidale, in cui la presa del moto è fornita dal tamburo del decanter alla scatola della trasmissione e da questa, tramite i due rotismi, si distribuisce sia all'albero "c" della coclea collegato al portatreni "a", sia all'albero "b" collegato al freno motore elettromagnetico (fig 2).

Su tale impianto, utilizzato in diverse condizioni di esercizio e con due varietà di olive, al fine di individuare, in relazione alle caratteristiche delle paste, le condizioni di funzionamento del decanter tali da ottenere le migliori rese di estrazione e un controllo sull'umidità di estrazione della sansa, è stata condotta una sperimentazione dalla quale sono state tratte le seguenti considerazioni conclusive:

- all'aumentare del  $\Delta n$  è possibile aumentare l'umidità della sansa, riducendo contestualmente le quantità di acque di vegetazione scaricate (fig. 3);
- esiste un valore limite massimo del  $\Delta n$ , in funzione delle caratteristiche costruttive del decanter, in corrispondenza del quale è pos-

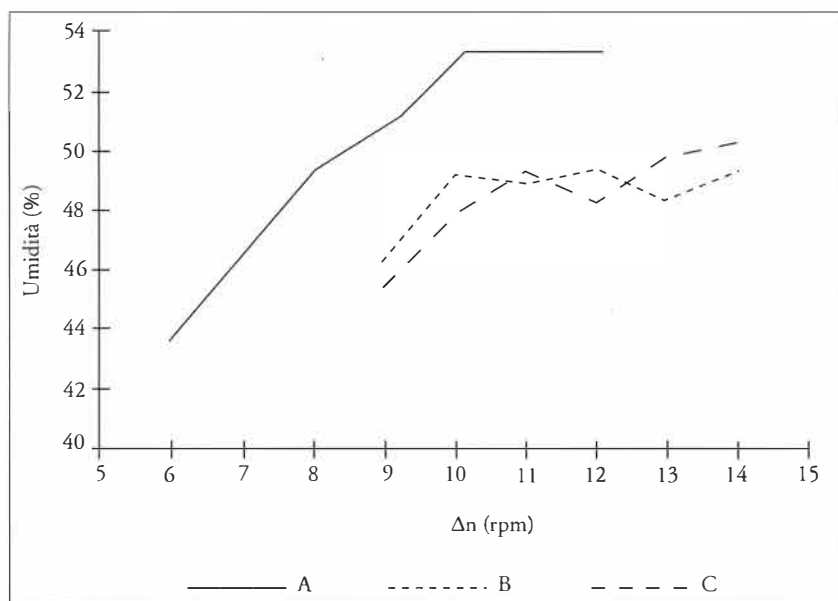


Fig. 3 Andamento dell'umidità della sansa al variare del  $\Delta n$

sibile ridurre a zero le acque di vegetazione scaricate, ottenendo, tuttavia, sanse a elevato tenore di umidità 59-62% (fig. 4);

- il residuo grasso delle sanse non subisce sensibili variazioni al variare del  $\Delta n$ , nel campo usualmente utilizzato per gli impianti a risparmio d'acqua ( $\Delta n$  compreso fra 9-15 giri/min).

I decanter di vecchia generazione sono delle macchine molto rigide in termini di impiego e gli unici parametri gestibili dagli operatori sono limitati al controllo della portata di alimentazione della pasta e al suo livello di diluizione. La messa a punto di macchine che permettono un controllo della velocità differenziale tra tamburo e coclea consente di ottimizzare in modo rapido e senza eseguire smontaggi le prestazioni meccaniche, impostando la portata di alimentazione, l'umidità della pasta e, conseguentemente, scegliendo l'umidità della sansa che si vuole ottenere e il volume di acqua di vegetazione che si intende produrre.

Le indicazioni fornite da uno studio teorico-sperimentale preliminare sull'estrazione centrifuga a risparmio d'acqua ha consentito di trarre importanti considerazioni sulla reale distribuzione del-



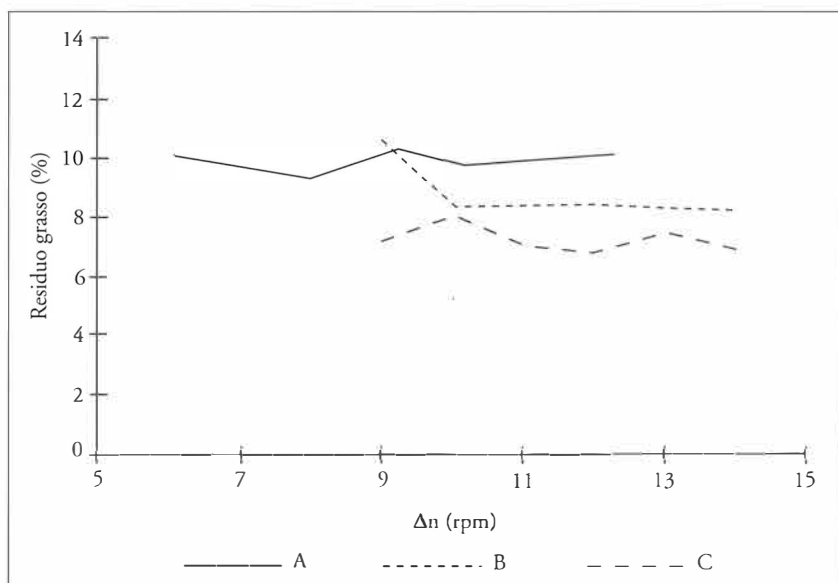


Fig. 4 Andamento del contenuto in grasso nella sansa al variare del  $\Delta n$

le dimensioni delle particelle solide e sul movimento del liquido chiarificato nella parte cilindrica del decanter. Tale aspetto, ha suggerito una analisi più accurata della zona del decanter coincidente con il cono di spiaggiatura, al fine di ottenere una riduzione della quantità di olio presente nella sansa vergine prodotta. Si è proceduto, quindi, all'introduzione di barriere in prossimità della bocca di scarico del decanter, all'utilizzo di coclee a velocità variabile e al miglioramento del profilo del cono di spiaggiatura, con lo scopo di produrre un effetto aggiuntivo di separazione delle fasi liquide dalla matrice solida.

I risultati di questo studio, condotto dal gruppo di ricerca in collaborazione con l'Industria, ha permesso la messa a punto di una nuova serie di decanter con le suddette innovazioni costruttive che hanno consentito un'ampia possibilità di regolazione delle condizioni di lavorazione, agendo sui seguenti parametri:

- volumi di acqua di processo e portata della pasta olearia;
- posizione ottimale del tubo di scarico della pasta all'interno del decanter;
- velocità differenziale della coclea rispetto al tamburo;

- livelli di scarico dell'acqua e dell'olio.

In tali decanter innovativi il rendimento di estrazione, espresso come rapporto tra il grasso estratto nel processo produttivo e quello contenuto nelle olive, risulta essere sempre elevato, specie a bassa diluizione delle paste olearie. Infatti, la modifica del profilo della coclea insieme agli accorgimenti costruttivi connessi, eseguiti sul cono di spiaggiatura (VDP-decanter con cono "stretto" a pressione dinamica variabile), permette di ridurre sensibilmente le perdite di grasso nella sansa, rispetto ai decanter di precedente costruzione, migliorando così il rendimento di estrazione.

L'effetto congiunto di tale modifica costruttiva, con la possibilità di regolare la velocità differenziale coclea/tamburo utilizzando un rotismo epicicloidale compensatore, consente di ottenere le migliori prestazioni del decanter, con basse diluizioni della pasta olearia (10-15 litri di acqua aggiunta per 100 kg di olive). Inoltre la possibilità di ottenere elevati rendimenti, a bassa diluizione della pasta olearia, riducendo così l'acqua di processo aggiunta, consente di migliorare sensibilmente le caratteristiche qualitative dell'olio che, in tali condizioni operative, consegue un tenore più elevato in componenti minori polari.

Il più ampio sistema di regolazione installato su questi decanter di terza generazione consente, quindi, di ottenere risultati migliori al variare del rapporto tra le fasi liquide e quelle solide, ottimizzando in modo rapido e senza eseguire smontaggi, le prestazioni operative, in rapporto alle caratteristiche reologiche della pasta olearia.

Dall'analisi delle figure 5 e 6 si possono trarre le seguenti considerazioni conclusive:

- esiste sempre un valore di  $\Delta n$  che rende significativamente elevato il valore del rendimento per qualunque condizione di lavorazione delle olive (portata della pasta e sua diluizione);
- il  $\Delta n$  ottimale risulta crescente con la portata della pasta, sia in termini di rendimento che di grasso residuo nelle sanse per basse diluizioni, mentre per le medie diluizioni risulta, in genere, più conveniente utilizzare valori di  $\Delta n$  più elevati, in quanto la percentuale di acqua di processo aggiunta alla pasta influenza in modo significativo il valore della portata totale del decanter;
- le migliori condizioni operative, con rendimenti compresi nell'intervallo 85-90%, risultano quelle corrispondenti alle basse

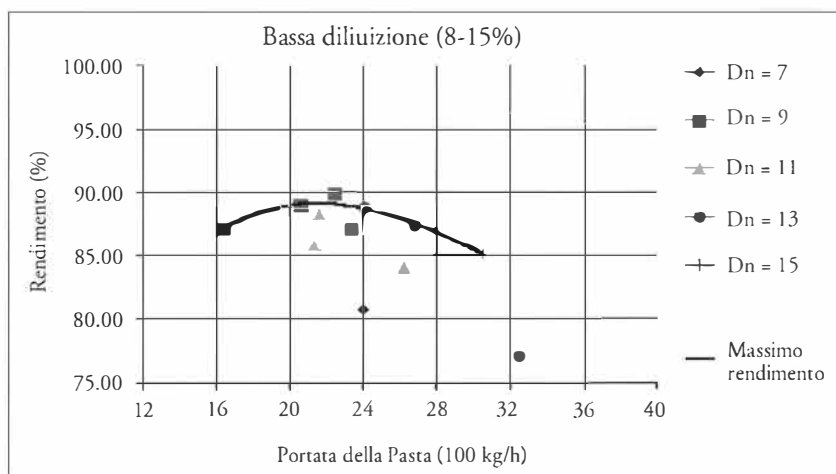


Fig. 5 Andamento del rendimento di estrazione nelle prove effettuate sul decanter VDP con  $\Delta n$  variabile (X20), in funzione della portata della pasta olearia per bassi valori della diluizione della pasta e per diversi valori del  $\Delta n$

diluizioni con portate della pasta che possono raggiungere valori elevati, anche leggermente superiori a 2500 kg/h e, comunque, nell'intervallo 2000-2500 kg/h;

- l'impiego di decanter VDP con  $\Delta n$  variabile consente di mantenere pressoché costanti le perdite di grasso nella sansa, mentre in condizioni estreme di elevata portata o di elevata diluizione della pasta aumentano le perdite nelle acque di vegetazione.

Considerato che l'automatismo di comando della velocità differenziale, di cui dispone il decanter, consente di scegliere il valore ottimale del  $\Delta n$  al variare della portata, a costanti caratteristiche reologiche della pasta, nelle figure 5 e 6 si sono riportati, estrapolandoli dai corrispondenti diagrammi generali, i valori ottimali del rendimento di estrazione al variare della portata, per bassa e media diluizione della pasta olearia.

La curva di correlazione tracciata nel diagramma di figura 5 evidenzia che in un intervallo di portata molto ampio (1800–2800 kg/h), agendo sul  $\Delta n$  si possono ottenere rendimenti elevati, superiori a quelli delle macchine non dotate di tale dispositivo e pressoché costanti.

La curva tracciata a media diluizione (fig. 6) evidenzia valori accet-

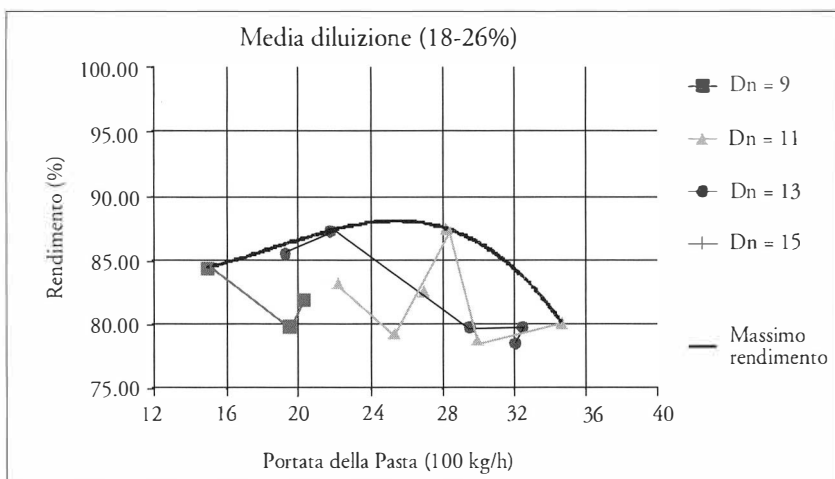


Fig. 6 *Andamento del rendimento di estrazione nelle prove effettuate sul decanter VDP con  $\Delta n$  variabile (X20), in funzione della portata della pasta olearia per valori medi della diluizione della pasta e per diversi valori del  $\Delta n$*

tabili del rendimento per portate tra 1600 e 2800 kg/h, con sensibili riduzioni del rendimento per portate più elevate. Quindi è possibile affermare che l'effetto congiunto, di maggiore diluizione e maggiore portata, costituisce di fatto un incremento complessivo della portata totale e ciò agisce negativamente sulle prestazioni della macchina.

In conclusione, analizzando l'andamento del rendimento di estrazione in funzione della portata totale del decanter (somma della portata di pasta olearia e di quella dell'acqua di processo) per i due valori di diluizione, risulta evidente l'influenza del valore della diluizione della pasta olearia sul rendimento di estrazione. Infatti, a parità di portata totale, il rendimento diminuisce sensibilmente al crescere della diluizione; tuttavia esiste sempre un valore ottimale del  $\Delta n$  che consente di ottenere rendimenti elevati.

### 3. STUDIO TEORICO SPERIMENTALE ESEGUITO SUI DECANter TRADIZIONALI

Inizialmente, l'analisi teorica è stata basata sull'ipotesi semplificativa che la condizione ottimale di funzionamento sia data dall'ugua-

gianza tra il tempo medio di sedimentazione e il tempo medio di ritenzione per una particella di dimensione pari al valore del diametro medio dei particolati solidi. Questo assunto, pur con i limiti che ogni semplificazione inevitabilmente comporta, ha consentito di trarre importanti conclusioni sul modo di funzionare degli impianti, portando alla definizione di due parametri, caratteristici delle prestazioni di un decanter: il coefficiente di produttività  $\Delta$  e l'altezza efficace di sedimentazione  $He$ .

I risultati dell'analisi teorica sviluppata sono così riassunti:

$$\text{Tempo di sedimentazione} \quad t_s = \frac{18\mu \ln [2R_2^2 / (R_1^2 + R_2^2)]}{2 D_p^2 (\rho_s - \rho_l) k_c \omega^2}$$

$$\text{Tempo di ritenzione} \quad t_r = \frac{V}{Q_s} = \frac{V}{Q_p + Q_a}$$

$$\text{Uguaglianza} \quad t_r = t_s$$

$$\text{Coefficiente di produttività} \quad \Sigma = \frac{\pi (R_2^2 - R_1^2) L \omega^2}{g \ln \left( \frac{2 R_2^2}{R_1^2 + R_2^2} \right)}$$

$$\text{Altezza efficace di sedimentazione} \quad He = \frac{V}{\Sigma} = \text{cost.}$$

In relazione ai risultati conseguiti, è stato impostato uno studio teorico più completo analizzando con maggiore accuratezza sia il moto delle particelle che quello del fluido nel decanter, fornendo una più attenta valutazione del possibile trasporto dell'olio da parte della sansa (fig. 7). Lo studio ha fornito utili indicazioni sulle modalità di regolazione dei parametri di funzionamento del decanter, in modo tale che lo spessore dell'acqua, che si interpone tra l'anello di olio e la sansa, sia tale da superare il limite di inversione del profilo delle velocità.

La suddetta esigenza, necessaria per ottimizzare le rese, richiede da un lato di aggiungere piccoli volumi di acqua ottenendo una variazione della caratterizzazione fisica della pasta olearia (aumento della viscosità), dall'altro di dotare l'impianto di un sistema continuo di regolazione della velocità della coclea per facilitare l'asporta-

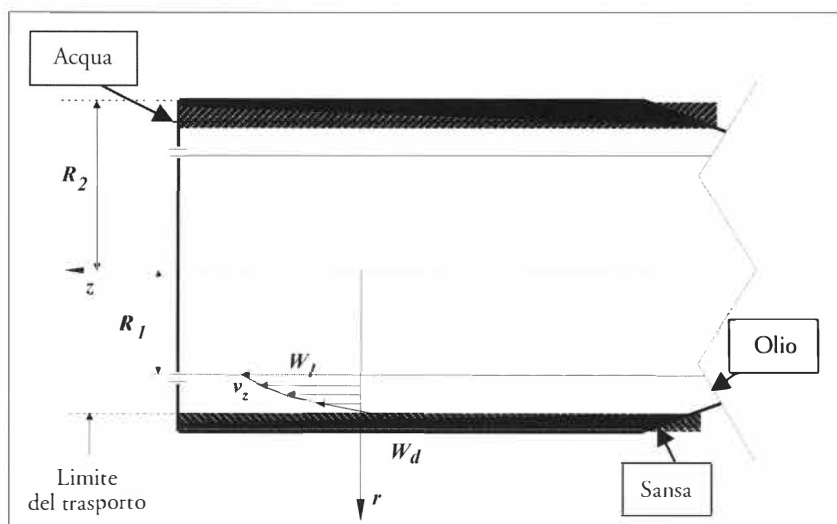


Fig. 7 *Profilo delle velocità delle diverse fasi all'interno del decanter*

zione controllata della sansa. Tale soluzione può essere un giusto compromesso tra l'ottimizzazione della qualità e delle rese in olio con una riduzione notevole, rispetto agli impianti centrifughi tradizionali, della quantità di acqua utilizzata. Pertanto, lo studio e la progettazione dei decanter e dei relativi parametri funzionali non possono prescindere dall'analisi delle caratteristiche reologiche delle paste comunque ottenute.

La conoscenza del comportamento reologico è, infatti, fondamentale in quanto da questo dipende la velocità di scorrimento che le particelle assumono quando sono sottoposte a un campo di forze, sensibilmente influenzato dalle dimensioni medie delle particelle solide, dalla massa volumica del solido e del liquido e dalla viscosità della pasta.

Al fine di verificare il comportamento della pasta in sedimentazione, sono state eseguite dagli autori prove di viscosità e prove di centrifugazione, valutando l'efficienza della separazione.

L'effetto dell'aggiunta di acqua sulla viscosità della pasta si nota in modo più evidente, nel grafico di figura. 8. In esso, si riscontra che all'aumentare dell'umidità (UR%) della pasta, diminuisce la viscosità. In particolare, partendo da paste poco umide

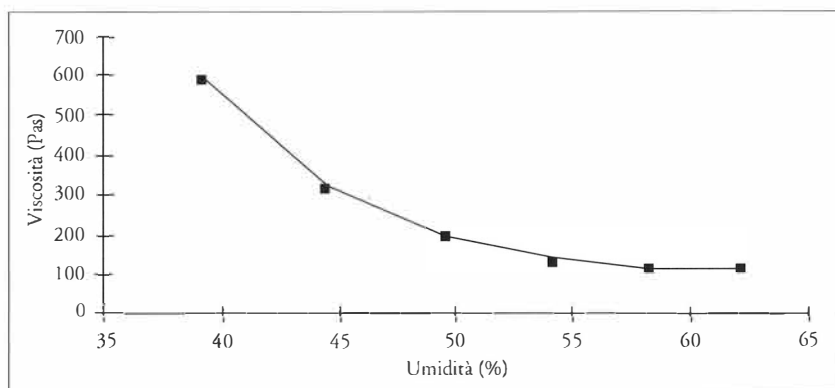


Fig. 8 *Viscosità della pasta di olive in funzione del grado di umidità. Misure effettuate a 25 °C con spindle rotante a 10 rpm*

(UR iniziale del 39%) si ha un immediato calo della viscosità man mano che si effettuano diluizioni successive. Tali diminuzioni diventano più ridotte quando si raggiungono valori di umidità superiori al 50%. Da ciò si evince che la diluizione della pasta normalmente effettuata prima dell'estrazione centrifuga, ai fini della riduzione della viscosità, ha senso solo nel caso di paste a ridotto contenuto in acqua (cosiddette "difficili"). In paste caratterizzate da valori di umidità superiori al 50% l'ulteriore aggiunta di acqua non sembra giustificata, in quanto diluizioni successive comportano solo minime riduzioni del valore della viscosità. Ciò riveste un'importanza notevole alla luce dei problemi, in ambito operativo, connessi alla diluizione delle paste, sia in termini di qualità dell'olio, che in termini di quantità e natura dei sottoprodotti e dei reflui. Infatti, nel caso di impiego di un decanter a due fasi, un'eccessiva diluizione della pasta in entrata nel decanter comporterebbe una fase solida in uscita troppo umida e, quindi, meno apprezzata dai sansifici, nel caso in cui si proceda all'estrazione al solvente dell'olio residuo.

Nell'analisi teorica è stata anche considerata la presenza di uno strato di solidi sedimentati che, di fatto, influenza l'ottimale funzionamento del decanter.

Infatti, prove sperimentali condotte dalla Sezione di Meccanica del Dip. PROGESA dell'Università di Bari hanno messo in evidenza

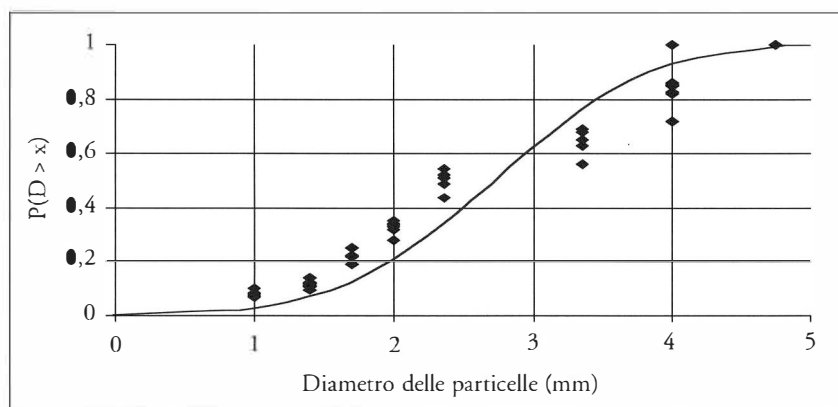


Fig. 9 *Distribuzione delle dimensioni dei solidi nella pasta olearia*

la distribuzione dimensionale delle particelle solide di polpa, così come riportato nel grafico di figura 9.

Per verificare il comportamento della pasta in fase di estrazione e, in particolare, la separazione delle diverse fasi (liquide e solide), sono state condotte dagli autori anche prove di centrifugazione.

La centrifugazione, effettuata successivamente all'operazione di gramolazione, ha permesso di evidenziare che non si verifica sempre una netta separazione delle tre fasi; infatti è stato possibile constatare la presenza di una frazione di solidi fini che presenta una massa volumica apparente intermedia alle due frazioni liquide (acqua e olio).

In conclusione, è possibile affermare che lo studio delle caratteristiche reologiche delle paste di olive contribuisce all'ottenimento di ulteriori informazioni utili all'ottimizzazione del processo di estrazione sia in termini di operazioni preliminari eseguite che di parametri tecnologici adottati.

#### 4. MODELLO TEORICO-SPERIMENTALE AVANZATO DELLA SEPARAZIONE CENTRIFUGA

Sulla base dei risultati precedentemente descritti, è stato approfondito dagli autori lo studio della separazione solido-liquido tenendo conto che, ai fini del calcolo dello stato di moto del fluido in centrifugazione, l'estrattore centrifugo può essere trattato come un ca-



nale (a pelo libero) dove il fluido e le particelle in sedimentazione sono sottoposti all'azione della forza centrifuga alla quale si aggiunge, da un lato l'effetto di trasporto della coclea e dall'altro il movimento del liquido chiarificato che si avvia verso gli ugelli di scarico della fase liquida.

Nel definire lo stato di moto del fluido e delle particelle di solido sono state ricavate le equazioni relative, in condizioni di moto stazionario e laminare con le seguenti ipotesi:

- si è trascurato il carattere non-newtoniano della pasta olearia in quanto risulta poco influente sul profilo delle velocità;
- si è posto  $w_r = w_\theta = 0$  (componenti radiale e tangenziale della velocità del fluido) in quanto i moti secondari di fluidi a elevata viscosità sono trascurabili;
- si è trascurato il moto elicoidale nel canale formato dalla coclea e dal tamburo rotante, ininfluenza ai fini del calcolo della forza centrifuga applicata alle particelle solide;
- si è posto  $\partial w_z / \partial \theta = \partial w_z / \partial z = 0$  ( $w_z$  componente assiale della velocità del fluido) per la simmetria del problema,  $p = \text{cost.}$  in quanto lo stato di moto del fluido corrisponde a quello che si avrebbe in un canale orizzontale a pelo libero con stramazzo;
- le particelle solide vengono trasportate dal liquido lungo l'asse  $z$  con componente assiale  $v_z$  della velocità ( $v_z = w_z$  trascurando, a causa della elevata viscosità del fluido, gli effetti di moti secondari delle particelle) e sedimentano verso l'esterno del decanter con velocità radiale  $v_r$ , a causa del campo di forza centrifugo, che si instaura nel fluido.

Il risultato di tali approssimazioni è

$$w_z = W_l \frac{\ln r_a}{\ln \gamma} + W_d \left( \frac{\ln r_a}{\ln \gamma} - 1 \right) \quad (1)$$

avendo indicato con  $W_d = L_c \Delta \omega$  la velocità di trasporto della coclea ( $L_c$  = passo della coclea),  $r_a = r / R_2$  la coordinata radiale adimensionale,  $\gamma = R_1 / R_2$  il fattore di forma radiale dell'anello liquido.

Nell'ambito delle approssimazioni indicate, risulta anche valida la legge di Stokes per la velocità di sedimentazione, modificata con l'aggiunta del coefficiente di correzione  $K_C$ , ottenendo, per la velocità radiale delle particelle  $v_r$  di diametro  $D_p$ :

$$v_r = \frac{D_p^2 (\rho_s - \rho_l) K_C R_2 \omega^2}{18 \mu_l} r_a = v_{sg}^{(\min)} \frac{D_p^2}{D_{\min}^2} \frac{a_c}{g} r_a \quad (2)$$

dove  $\rho_s$  e  $\rho_l$  sono le densità delle particelle solide e della fase liquida rispettivamente,  $\mu_l$  la viscosità della fase liquida.

In prima approssimazione si può ritenere  $\mu_l / K_C = \mu_a$  = viscosità apparente del sistema solido – liquido dal quale, come si vedrà più avanti, sono stati rimossi circa il 75% dei solidi sospesi. Pertanto, in condizioni di moto stazionario e laminare dei solidi ( $Re < 2$ ), la traiettoria di una particella di diametro medio  $D_p$  può essere descritta, in prima approssimazione, dalla seguente equazione:

$$\frac{dz_a}{dr_a} = \frac{R_2}{L} \frac{v_z}{v_r} = \frac{1}{\beta} \frac{v_z}{v_r} \quad (3)$$

avendo indicato con  $z_a = z / L$  la coordinata assiale adimensionale ( $L$  è la distanza tra la sezione di alimentazione del decanter e gli ugelli di scarico delle fasi liquide) e con  $\beta = L/R_2$  il fattore di forma longitudinale del decanter.

Risolvendo l'equazione (3) del moto delle particelle solide rispetto a  $z_a$  e ricavando il diametro massimo delle particelle presenti in un dato punto, si può risalire alla concentrazione delle stesse.

Infine, nell'ipotesi che in corrispondenza dello scarico delle acque di vegetazione almeno il 75% dei solidi abbia completato la fase di sedimentazione, si può ricavare, mediante integrazione, l'espressione:

$$S_s(z_a) = \frac{1}{z_a} \left[ T \cdot S^2 + (U \cdot \varepsilon_d - z_a) \cdot S + P \cdot \varepsilon_d \right] \quad (4)$$

$$\text{dove } S = \frac{Q}{2\pi R_2^2 \beta v_{sg}^{(\min)} \frac{a_c}{g}}$$

è la portata adimensionalizzata del fluido,

$$S_s(z_a) = \frac{Q_s(z_a)}{2\pi R_2^2 \beta v_{sg}^{(\min)} \frac{a_c}{g} C_s^{(\min)}}$$

è la portata adimensionalizzata della fase solida in ciascuna sezione trasversale dell'anello liquido,

$$\varepsilon_d = (-\ln \gamma) \frac{W_d}{\beta v_{sg}^{(\min)} \frac{a_c}{g}}$$

è un numero adimensionale pari al rapporto tra il tempo di sedimentazione  $t_s$  e

quello di rimozione dei solidi da parte della coclea  $t_d$  ( $\varepsilon_d = t_s / t_d$ ), denominato, in una precedente nota, fattore di trasporto.

Tuttavia, tale impostazione teorica, pur essendo molto evoluta rispetto alle precedenti valutazioni, non prende in considerazione la reale natura del fluido che nel caso specifico della pasta di olive, risulta essere costituito da due fasi solide (nocciolino e frammenti di polpa) e due fasi liquide (acqua e olio).

In particolare, la distinzione delle due fasi solide non comporta alcuna difficoltà in quanto l'impostazione resta immutata; le uniche differenze risiedono nella diversa densità delle particelle, nella loro diversa distribuzione in termini di diametri medi e nella differente influenza che esse possono avere sul valore della viscosità apparente.

Di ben diversa complessità è invece prendere in considerazione la presenza di una seconda fase liquida (olio), immiscibile con quella principale, che tende a separarsi per galleggiamento. In questo caso, infatti, non tutte le particelle di olio iniziano la loro sedimentazione nella zona di fluido in movimento verso gli stramazzi dei liquidi, ma alcune di esse si trovano al disotto della cosiddetta zona di inversione e soggette, quindi, al trascinamento da parte della coclea verso lo scarico della sansa. Inoltre, le goccioline di olio tendono a coalescere in gocce di maggiori dimensioni che vengono più facilmente trasportate verso la superficie libera del fluido in centrifugazione.

Tuttavia, è possibile inglobare questo secondo effetto, al contrario di quanto avviene per il trasporto da parte della coclea, nei parametri che caratterizzano la curva di distribuzione dei diametri delle goccioline di olio. Pertanto, in relazione alle premesse ora introdotte e facendo riferimento alle ipotesi generali di impostazione definite all'inizio del paragrafo, è possibile risolvere il problema della separazione dell'olio dal fluido ottenendo anche in questo caso, come per i solidi, una soluzione analitica esplicita.

Come nella precedente impostazione teorica, relativa alla separazione solido-liquido, possiamo anche in questo caso affermare che le particelle di olio risultano con buona approssimazione trasportate dal fluido nel suo moto longitudinale (secondo l'asse di rotazione del decanter) e tendono a galleggiare con una velocità pari a quella ottenibile applicando a tali particelle la legge di Stokes modificata:

$$v_r = \frac{D_p^2 (\rho_o - \rho_l) K_c R_2 \omega^2}{18 \mu_l} r_a = v_{sg}^{(\min)} \frac{D_p^2}{D_{\min}^2} \frac{a_c}{g} r_a \quad (5)$$

con  $v_{sg}^{(\min)} < 0$ .

Tuttavia, come già precedentemente accennato, le particelle che iniziano il loro moto verso la superficie libera al di sotto della linea di inversione del moto tendono a essere trasportate indietro verso lo scarico della sansa. Le traiettorie di due particelle di diverso diametro che partono, in corrispondenza della sezione di alimentazione, una dalla superficie interna del tamburo, l'altra da una posizione leggermente più interna al raggio  $r_{a1}$  (avendo, tale seconda particella, un diametro inferiore a quello della prima) si incontrano nel punto di raggio  $r_a$  e coordinata longitudinale  $z_a$ . Integrando l'equazione (3) applicata a tali particelle, si ottiene:

$$\begin{aligned} z_a(r_{a1} \rightarrow r_a, D_p) &= \frac{1}{\beta} \int_{r_{a1}}^{r_a} \frac{v_z}{v_r} dr_a^* = \frac{g D_{\min}^2}{\beta v_{sg}^{(\min)} a_c D_p^2} \int_{r_{a1}}^{r_a} \frac{1}{r_a^*} \left[ W_l \frac{\ln r_a^*}{\ln \gamma} + W_d \left( \frac{\ln r_a^*}{\ln \gamma} - 1 \right) \right] dr_a^* = (6) \\ &= \frac{g D_{\min}^2}{2 \beta v_{sg}^{(\min)} D_p^2} \left[ (W_l + W_d) \frac{\ln^2 r_a - \ln^2 r_{a1}}{\ln \gamma} - 2 W_d (\ln r_a - \ln r_{a1}) \right] \end{aligned}$$

che indica la posizione  $z_a$  in cui si troverà una qualunque particella di diametro  $D_p$  partendo dalla sezione di alimentazione nella posizione radiale di raggio  $r_{a1}$ .

Dalla (6) si può ricavare il diametro delle particelle che partono dalla stessa posizione iniziale e vengono a ritrovarsi nella posizione finale di coordinate  $(r_a, z_a)$ ; in particolare, è possibile valutare il diametro delle particelle più grandi che possiamo ritrovare in una determinata posizione, semplicemente andando a calcolare il valore massimo dei diametri delle diverse particelle al variare della posizione radiale di partenza nella sezione di alimentazione:

$$\begin{aligned} D_p^2 \leq D_M^2(r_a, z_a) &= \max_{r_{a1}} \left\{ \frac{g D_{\min}^2}{2 \beta v_{sg}^{(\min)} D_p^2} \left[ (W_l + W_d) \frac{\ln^2 r_a - \ln^2 r_{a1}}{\ln \gamma} - 2 W_d (\ln r_a - \ln r_{a1}) \right] \right\} = \\ &= \frac{g D_{\min}^2}{2 \beta v_{sg}^{(\min)} D_p^2} \left[ (W_l + W_d) \frac{\ln^2 r_a}{\ln \gamma} - 2 W_d \ln r_a + \frac{W_l^2}{W_l + W_d} \ln \gamma \right] \quad (7) \end{aligned}$$

Anche in questo caso può essere adottata l'ipotesi sperimentalmente confermata della elevata viscosità del fluido e che, quindi, sia trascurabile la zona di transizione tra moto turbolento (in corrispondenza del tubo di alimentazione) e quella di moto laminare; in tali ipotesi, la distribuzione  $\varphi(D_p, r_a, z_a)$  delle goccioline di olio risulta indipendente dalla posizione radiale  $r_a$  solo nella zona di alimentazione della centrifuga; pertanto in tale punto si deve avere:

$$\left. \frac{\partial \varphi(D_p, r_a, z_a)}{\partial r_a} \right|_{z_a=0} = 0 \quad (8)$$

Quest'ultima condizione consente di stimare la concentrazione  $C_o(r_a, z_a)$  delle goccioline di olio in un punto di coordinate  $(r_a, z_a)$  sulla base della concentrazione  $C_i$  della pasta olearia in ingresso (in  $z_a = 0$ ) e della relativa distribuzione dei diametri medi  $\varphi(D_p)$ .

Infatti, nel punto di coordinate  $(r_a, z_a)$  arriveranno tutte e sole le particelle che, da qualunque posizione radiale nella sezione di alimentazione, abbiano diametro medio inferiore a  $D_M(r_a, z_a)$  calcolato con la (7); pertanto, la concentrazione dell'olio nelle acque di vegetazione può essere calcolata come segue:

$$C_o(r_a, z_a) = C_i \int_0^{D_M(r_a, z_a)} \varphi(D_p) dD_p = C_i \Phi[D_M(r_a, z_a)] \quad (9)$$

dove  $\Phi(D_M)$  è la probabilità di trovare, nella sezione di alimentazione ( $z_a = 0$ ), gocce di olio di diametro  $D_p \leq D_M$  e dove si è tenuto conto che la densità delle particelle è indipendente dal diametro  $D_p$ .

In queste ipotesi, nota la concentrazione  $C_i$ , è possibile calcolare la portata volumetrica  $Q_o(z_a)$  dell'olio nelle acque di vegetazione attraverso una generica sezione trasversale:

$$Q_o(z_a) = R_2^2 \int_{\gamma}^{\gamma_a} \int_0^{2\pi} C_o(r_a, z_a) v_z r_a dr_a d\theta = 2\pi R_2^2 \int_{\gamma}^{\gamma_a} C_o(r_a, z_a) v_z r_a dr_a \quad (10)$$

In generale, la funzione di probabilità  $\Phi(D_M)$  non è nota rendendo impossibile il calcolo della concentrazione  $C_o$  mediante la (9); tuttavia, a causa del notevole numero di eventi casuali che influen-

ziano la distribuzione delle gocce nella pasta delle olive durante la fase di preparazione, si può assumere che la distribuzione  $\varphi$  sia di tipo Gaussiano (con valore medio  $D_{50}$  e deviazione standard  $\sigma_D$ ) senza commettere un errore apprezzabile. In tal caso, quando il diametro  $D_M$  diventa sufficientemente piccolo ( $D_M \leq D_{50} - 0.5 \sigma_D = D_{25}$  corrispondente al sistema solido – liquido entrante dal quale si sia già separato per galleggiamento circa il 75 % dell'olio in sospensione):

$$\Phi[D_M(r_a, z_a)] \ll 1 \quad \forall \gamma_a \leq r \leq 1 \quad (11)$$

la funzione  $\Phi$  può essere valutata mediante la seguente approssimazione:

$$\Phi(D_p) \cong k_G (D_p^2 - D_{\min}^2) \quad (12)$$

dove  $D_{\min} = D_{50} - 3 \sigma_D$  è il diametro medio delle particelle più piccole, e  $k_G$  è una opportuna costante pari a  $k_G = 0.041/\sigma_D^2$ .

Sostituendo la (7) e la (12) nelle (9, 10) si ottiene:

$$C_o(r_a, 1) = k_G C_0 D_{\min}^2 \left[ \frac{g}{2\beta v_{sg}^{(\min)} D_p^2} \left[ (W_l + W_d) \frac{\ln^2 r_a}{\ln \gamma} - 2W_d \ln r_a + \frac{W_l^2}{W_l + W_d} \ln \gamma \right] - 1 \right] \quad (13)$$

$$\frac{Q_v(z_a=1)}{2\pi R_2^2} = \frac{g C_s^{(\min)}}{2\beta v_{sg}^{(\min)} D_p^2} \int_{\gamma}^{\gamma_a} r_a v_z \left[ (W_l + W_d) \frac{\ln^2 r_a}{\ln \gamma} - 2W_d \ln r_a + \frac{W_l^2}{W_l + W_d} \ln \gamma \right] dr_a - C_s^{(\min)} \int_{\gamma}^1 r_a v_z dr_a \quad (14)$$

dove  $C_s^{(\min)} = k_G C_0 D_{\min}^2$  (concentrazione dei solidi sospesi con diametro  $D_p < D_{\min}$ ).

Inoltre, ricordando che la portata di alimentazione  $Q$  del decanter è data da:

$$Q = 2\pi R_2^2 \int_{\gamma}^1 r_a w_z dr_a \quad (15)$$

si può ricavare il valore di  $W_l$  (confronta Appendice A) che, sostituito nella (14) consente di ottenere, mediante integrazione per parti (per i simboli si faccia riferimento all'Appendice B) l'espressione:

$$S_o(z_a) = \frac{1}{z_a} \left[ T \cdot S^2 - \left( \frac{U}{\ln \gamma} \varepsilon_d + z_a \right) \cdot S + \left( \frac{P+D}{\ln^2 \gamma} + \frac{E-D}{MS + \frac{N+1}{\ln \gamma} \varepsilon_d} \right) \varepsilon_d^2 \right] \quad (16)$$

$$\text{dove } S = - \frac{Q}{2\pi R_2^2 \beta_{vg}^{(\min)} \frac{a_c}{g}}$$

è la portata adimensionalizzata del fluido,

$$S_o(z_a) = - \frac{Q_s(z_a)}{2\pi R_2^2 \beta_{vg}^{(\min)} \frac{a_c}{g} C_s^{(\min)}}$$

è la portata adimensionalizzata dell'olio in ciascuna sezione trasversale dell'anello liquido,

$$\varepsilon_d = \ln \gamma \frac{W_d}{\beta_{vg}^{(\min)} \frac{a_c}{g}}$$

è un numero adimensionale pari al rapporto tra il tempo di sedimentazione  $t_s$  e quello di rimozione dei solidi da parte della coclea  $t_d$  ( $\varepsilon_d = t_s / t_d$ ), denominato, in una precedente nota, fattore di trasporto.

Quindi, l'equazione (4) può essere utilizzata per valutare la quantità di solidi residui nelle A.V. e l'equazione (16) per valutare, invece, la quantità di olio nelle stesse A.V. Inoltre, quest'ultima equazione, se integrata nella zona in cui è presente l'olio già separato, consente di valutare, per differenza, le perdite di grasso nella sansa e, così, caratterizzare pienamente il sistema di separazione.

Tuttavia, prima di procedere alla valutazione dei risultati sperimentali che confermano la validità della presente impostazione teorica, sono necessarie alcune considerazioni di carattere generale su quanto ottenuto e sulle ipotesi che hanno condotto a tali risultati.

In primo luogo, a prima vista può sembrare che non sia stata presa in considerazione la presenza della barriera che separa la zona cilindrica dal cono corto. Al contrario, nell'imporre l'ipotesi che il fluido sia caratterizzato da moto pressoché laminare già a poca distanza dalla zona di alimentazione, presuppone l'esistenza di una zona separata da quella di spiaggiatura (che in questo caso viene meno) dove avviene l'alimentazione e che sia caratterizzata da un profilo idoneo a ridurre al minimo le turbolenze in fase di immissione della pasta (eventualmente diluita).

Se tale barriera non fosse presente, la separazione dei solidi non comporterebbe alcuna variazione nella valutazione della quantità di solidi sedimentati, mentre ciò apporterebbe notevoli differenze nel calcolo della quantità di olio residuo nei due sottoprodotti.

Infatti, in questo caso, la presenza della barriera consente di recuperare, per effetto di pressione dinamica sulla sansa che si accumula in prossimità di tale passaggio, una parte di olio in sedimentazione e considerarlo a tutti gli effetti olio che partecipa al fenomeno del galleggiamento.

Al contrario, dovremo considerare che una parte dell'olio viene trasportato insieme alle particelle solide e non più recuperato, ma scaricato insieme alla sansa.

A questo punto, avendo chiarito l'ambito in cui si va a porre questa teoria (cioè la presenza della barriera) è possibile procedere con l'esposizione dei risultati sperimentali, relativi al momento a due campagne olearie, che hanno consentito di validare i risultati teorici. In particolare sono state eseguite diverse prove di centrifugazione sia con paste preparate mediante frangitore a dischi, sia con paste snocciolate e ripassate al finitore a dischi.

Sono stati rilevati i parametri di lavorazione e prelevati per ciascuna prova campioni di pasta, di acque di vegetazione in uscita al decanter, nonché di sansa, al fine di effettuare i bilanci di massa contemplati dalle equazioni descritte.

I risultati sono stati riportati sinteticamente in figura 10 mostrando un confronto tra valori teorici e sperimentali.

Dalla figura si osserva che i dati sono tra loro fortemente correlati ( $R^2 = 0,96$ ), dimostrando che l'impostazione teorica è verificata dai risultati sperimentali con una buona approssimazione. Il valore della portata dimensionale dell'olio, sostituito nelle formule precedenti, consente di calcolare una volta fissate le dimensioni del decanter e le caratteristiche del fluido, il  $\Delta n$  ottimale per ogni portata di alimentazione.

In conclusione la teoria, confortata dalle prove sperimentali, consente di affermare che l'applicazione del  $\Delta n$  variabile e della barriera risulta indispensabile per il corretto funzionamento del decanter e il modello teorico, validato dalla ricerca sperimentale, rappresenta un utile strumento per la corretta progettazione dei nuovi modelli di decanter.



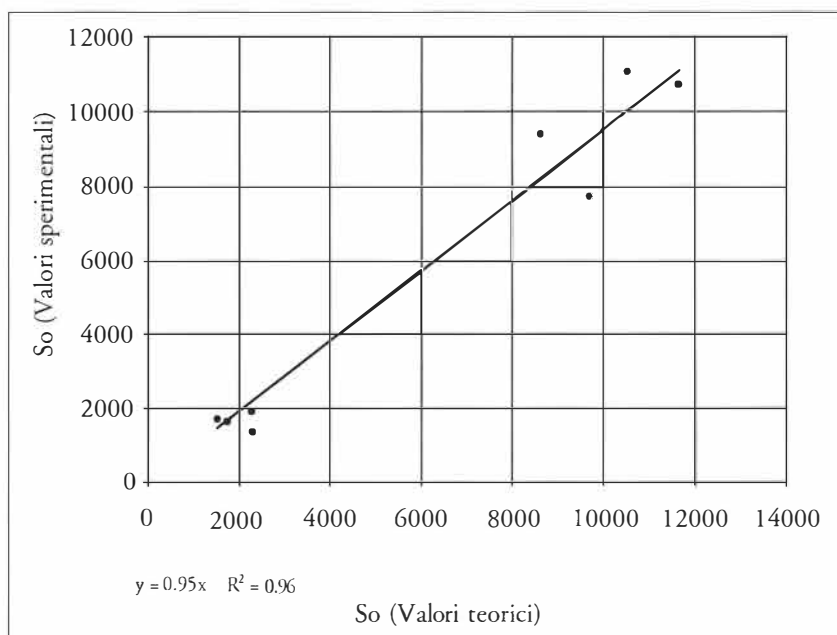


Fig. 10 Confronto tra risultati teorici e sperimentali della portata dimensionale dell'olio nelle acque di vegetazione

## 5. CONCLUSIONI

I risultati della ricerca, sinteticamente riportati nel presente lavoro, derivano da studi multidisciplinari, in cui l'aspetto scientifico è stato affrontato da diverse unità di ricerca dell'ingegneria agraria. Nell'applicazione dei risultati, inoltre, si è instaurata una proficua interazione con le industrie del settore che hanno partecipato attivamente alla sperimentazione, con lo scopo di fornire risposte effettivamente fruibili dagli operatori della filiera olivicolo-olearia.

Il primo passo logico è stato quello di valorizzare le produzioni primarie, ottimizzando gli impianti di estrazione, per consentire il massimo rendimento meccanico e la opportuna flessibilità operativa per garantire, al contempo, una elevata qualità dell'olio; successivamente, si è passati allo studio di soluzioni che limitano anche i quantitativi di acqua di vegetazione derivati dal processo di estrazione.

Gli studi-teorico-sperimentali svolti hanno portato alla produzione, ormai in scala industriale, di decanter che sostanzialmente rivoluzionano l'impostazione del processo di separazione del sistema "olio, acqua di vegetazione, sansa", consentendo regolazioni che si adattano a tutte le cultivar, in funzione delle esigenze di resa, della qualità dell'olio da produrre e della tipologia del refluo da trattare.

Nell'ottica dell'indagine di un intero processo produttivo che contempli anche la corretta gestione dei reflui e degli scarti, il gruppo di ricerca è parallelamente impegnato nella messa a punto di macchine per lo spargimento in campo delle acque di vegetazione e di impianti per il compostaggio delle sanse vergini. Per quanto riguarda le A.V. lo studio ha evidenziato criteri progettuali per carbotte espressamente destinati alla distribuzione in campo che, in alcuni casi, differiscono da quelli utilizzati per le macchine preposte allo spargimento dei reflui zootecnici. A tal fine, è stato realizzato un carbotte per la distribuzione controllata sul terreno agrario delle A.V.; questa macchina, gestita da un sistema di regolazione automatico, consente di distribuire al terreno il volume di refluo impostato, in base alle esigenze agronomiche e/o legislative, in qualsiasi condizioni di lavoro.

Per quanto riguarda il compostaggio delle sanse, è stata svolta una sperimentazione, in impianti pilota specificamente progettati, i cui risultati consentono di affermare che il recupero della sostanza organica dai sottoprodotti dell'industria olearia e, più in generale, dagli scarti vegetali, attraverso un processo di biossificazione condotta in condizioni controllate è una pratica utile se non indispensabile in una moderna agricoltura gestita con un corretto rispetto dell'ambiente. La sansa vergine, infatti, non contiene metalli pesanti, inquinanti tossici, o organismi patogeni; inoltre è costituita nella sua integralità da sostanza organica di origine vegetale, per cui rientra perfettamente nella categoria degli ammendanti organici utilizzabili anche in agricoltura biologica.

## APPENDICE A

Per calcolare il valore della velocità  $W_l$  in corrispondenza del pelo libero ( $r_a = \gamma$ ) si sostituisce nella equazione della portata (16) l'espressione (1) della componente longitudinale  $w_z$  della velocità del fluido e, risolvendo rispetto a  $W_l$ :

$$\frac{Q}{2\pi R_2^2} = \frac{1}{4} W_l \left( 2\gamma^2 + \frac{1-\gamma^2}{\ln \gamma} \right) - \frac{1}{4} W \left( 2 + \frac{1-\gamma^2}{\ln \gamma} \right) \quad (A1)$$

da cui si ricava:

$$W_l = M(\gamma) \frac{Q}{2\pi R_2^2} + N(\gamma) W_d \quad (A2)$$

dove:

$$M(\gamma) = - \frac{4}{2\gamma^2 + \frac{1-\gamma^2}{\ln \gamma}} \quad (A3)$$

$$N(\gamma) = - \frac{2 + \frac{1-\gamma^2}{\ln \gamma}}{2\gamma^2 + \frac{1-\gamma^2}{\ln \gamma}} \quad (A4)$$

## APPENDICE B

Posto:

$$F(\gamma, \gamma_a) = \int_{\gamma}^{\gamma_a} r_a \ln^3 r_a dr_a$$

$$G(\gamma, \gamma_a) = \int_{\gamma}^{\gamma_a} r_a \ln^2 r_a dr_a$$

$$H(\gamma, \gamma_a) = \int_{\gamma}^{\gamma_a} r_a \ln r_a dr_a$$

$$A(\gamma, \gamma_a) = -\frac{F(\gamma, \gamma_a)}{2 \ln^2 \gamma}$$

$$B(\gamma) = 2A(\gamma, \gamma_a) - \frac{3G(\gamma, \gamma_a)}{2 \ln \gamma}$$

$$C(\gamma, \gamma_a) = -A(\gamma, \gamma_a) + B(\gamma, \gamma_a) - H(\gamma, \gamma_a)$$

$$D(\gamma, \gamma_a) = -\frac{1}{2}H(\gamma, \gamma_a)$$

$$E(\gamma, \gamma_a) = D(\gamma, \gamma_a) + \frac{1}{4}(\gamma^2 - \gamma_a^2)$$

si definiscono le seguenti grandezze:

$$T(\gamma, \gamma_a) = M^2(\gamma, \gamma_a) A(\gamma, \gamma_a)$$

$$U(\gamma, \gamma_a) = M(\gamma, \gamma_a)[2N(\gamma, \gamma_a)A(\gamma, \gamma_a) + B(\gamma, \gamma_a)]$$

$$P(\gamma, \gamma_a) = N^2(\gamma, \gamma_a)A(\gamma, \gamma_a) + N(\gamma, \gamma_a)B(\gamma, \gamma_a) + C(\gamma, \gamma_a)$$

## SUMMARY

In this note the evolution of the technology of extravirgin olive oil centrifugal extraction is described. The experimental results are reported at first related to the optimization of the traditional centrifugal, then related to the new generation saving water decanter, to variable speed ( $\Delta n$ ) and to short cone and barrier (VDP) decanters. The mathematical model of the centrifugal separation is also described; this model is validated by the experimental searches and represents a profit tool for the correct design of the new models of decanter.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AMIRANTE P. (1995): *Qualità, produttività e ambiente: aspetti inscindibili della nuova tecnologia olearia*, Atti del Convegno di studi "Il vino e l'olio: la meccanizzazione, l'imprenditorialità ed il mercato", Trapani 20-23 giugno (1995).
- AMIRANTE P., CATALANO P. (1993): *Analisi teorica e sperimentale dell'estrazione dell'olio di oliva per centrifugazione*, «Rivista Italiana Sostanze Grasse», LXX, pp. 329-336.
- AMIRANTE P., CATALANO P., AMIRANTE R., CLODOVEO M.L., MONTEL G.L., LEONE A., TAMBORRINO A. (2002): *Innovazione tecnologica per l'estrazione di olio extra vergine da paste di olive snocciolate: analisi teorica e prove sperimentali*, in «I Georgofili. Quaderni», VI, 2001, pp. 11-29.
- AMIRANTE P., DI RENZO G.C., COLELLI G. (1995): *Estrazione centrifuga con controllo in continuo dei parametri operativi*, Atti del Convegno di studi "Il vino e l'olio: la meccanizzazione, l'imprenditorialità ed il mercato", Trapani 20-23 giugno (1995).
- AMIRANTE P., DI RENZO G.C., DI GIOVACCHINO L., BIANCHI B., CATALANO P. (1993): *Technological developments in olive oil extraction plants*, «Olivae», 48, pp. 43-53.
- AMIRANTE P., MONTEL G. L., CLODOVEO M.L. (1999): *Utilizzazione e smaltimento dei sottoprodotti dell'estrazione olearia e relative problematiche ambientali*, in corso di stampa su OLIVAE, Consiglio Oleicolo Internazionale, Madrid (E).
- AMIRANTE P., MONTEL G.L., SASANELLI N., D'ADDABBO T. (2002): *Produzione di compost organici per la protezione delle colture dai parassiti in agricoltura biologica*, in «Atti delle Giornate Fitopatologiche», 2, pp. 109-116.
- AMIRANTE R., BACCIONI L., CATALANO P. (1998): *Analisi teorico-sperimentale dell'estrazione olearia a risparmio d'acqua dell'olio di oliva da paste snocciolate*, Atti del Convegno Nazionale dell'AIIA, Ancona, 11-12 settembre (1998).
- AMIRANTE R., BACCIONI L., CATALANO P., MONTEL G.L. (1999): *Nuove tecnologie per l'estrazione dell'olio di oliva: il decanter a cono corto a pressione dinamica variabile e controllo della velocità differenziale tamburo/coclea*, «Rivista Italiana Sostanze Grasse», 76, pp. 129-140.

- AMIRANTE R., CATALANO P. (1995): *Estrazione dell'olio per centrifugazione: aspetti fluidodinamici e valutazioni delle nuove soluzioni impiantistiche*, «Olivae», 57, pp. 44-49.
- AMIRANTE R., CATALANO P. (2000): *Fluid dynamic analysis of the solid-liquid separation process by centrifugation*, «Journal of Agriculture Engineering Research», 77 (2), pp. 193-201.
- AMIRANTE R., CATALANO P., CLODOVEO M.L., MONTEL G.L. (1999): *Regolazione automatica dei parametri di processo di un impianto di compostaggio*, in Atti del Convegno AIIA "L'innovazione tecnologica per l'agricoltura di precisione e la qualità produttiva", Facoltà di Agraria, Torino, 22-23 giugno 1999, pp. 233-240.
- AMIRANTE R., CINI E., MONTEL G.L., PASQUALONE A. (2001): *Influence of mixing and extraction parameters on virgin olive oil quality*, in «Grasas y Aceites», 52, fasc. 3, pp. 198-201.
- BIANCHI B., PASCUZZI S. (1999): *Prove sperimentali su irroratrici dotate di sistemi di precisione per la regolazione dei volumi distribuiti*, in Atti del Convegno AIIA "L'innovazione tecnologica per l'agricoltura di precisione e la qualità produttiva", Facoltà di Agraria, Torino, 22-23 giugno 1999, pp. 259-270.
- CATALANO P., MONTEL G.L., LEONE A., TAMBORRINO A. (2001): *Influenza dei parametri di lavorazione sulle caratteristiche reologiche delle paste di olive snocciolate*, in Atti del Convegno di Studi "Riduzione del costo di produzione, miglioramento della qualità e tutela dell'ambiente nella filiera olivicola-olearia", ex Convento di S. Francesco, Sciacca (AG), 22-23 novembre 2001, pp. 111-126.
- CICOLANI B., SEGNETTI L., D'ALFONSO S., DI GIOVACCHINO L. (1992): *Spargimento delle acque di vegetazione dei frantoi oleari su terreno coltivato a grano: effetti sulla pedofauna*, in Atti del Seminario Internazionale della 6ª Sezione della CIGR "Trattamento e riutilizzazione dei reflui agricoli e dei fanghi", Lecce, 10-12 dicembre, pp. 187-198.
- DI RENZO G.C., COLELLI G. (1995): *Influenza dei parametri di lavorazione sulle caratteristiche reologiche delle paste di olive*, Atti del Convegno di studi "Il vino e l'olio: la meccanizzazione, l'imprenditorialità ed il mercato", Trapani 20-23 giugno.
- GAO S.X., HARTNETT J.P. (1993): *Steady flow of non-newtonian fluids through rectangular ducts*, International communications on Heat and Mass Transfer, 20, pp. 197-210.
- GUPTA SANTOSH K. (1978): *A new equation for the sigma value of conical bowl discharge centrifuges*, Chemical Age of India, pp. 327-331.
- KOSTIC M. (1993): *Influence of viscosity function simplification on non-newtonian velocity and shear rate profiles in rectangular duct*, International communications on Heat and Mass Transfer, 20, pp. 515-525.
- Legge n. 574/96 *Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarichi da frantoi oleari*, G.U. n. 265 del 12/11/1996.
- MONTEL G.L., LEONE A., GIAMETTA F. (2002): *Olive oil and citrus fruit industries organic wastes composting simple plant*, in "Sustainable management of solid organic waste" proc., Udine, 21- 22 novembre, in press.

- MONTEL G.L., LEONE A., TAMBORRINO A, CLODOVEO M.L. (2002): *Olive oil wastes composting simple plant and process parameters control*, in "1<sup>st</sup> IFOAM world conference of olive grove" proc., Puente de Genave, Jaen, Spagna, 22-25 maggio, in press.
- SCARASCIA MUGNOZZA G., BIANCHI B., CASTELLANO S., MONTEL G.L., VOX G. (2001): *Spargimento in campo delle acque di vegetazione con sistemi di controllo della portata e modelli territoriali di riferimento*, in Atti del Convegno dell'AIIA "La ricerca multidisciplinare ed integrata per la valutazione e la gestione dei sistemi agricoli", Facoltà di Agraria, Campobasso, 27-28 giugno 2000, pp. 161-173.





Finito di stampare  
nel mese di novembre 2003  
dalla Tipografia ABC  
Sesto Fiorentino - Firenze

