

VALORIZZAZIONE ENERGETICA DELLE BIOMASSE: UN CASO STUDIO MEDIANTE GIS

M. Beccali*, J. M. Galletto*, A. Messineo*, D. Panno*

Sommario – Il sistema agricolo può, indubbiamente, svolgere un significativo ruolo nel campo della tutela dell'ambiente. In tale contesto, la produzione di combustibili di origine vegetale può rappresentare un importante contributo alla diffusione di forme energetiche rinnovabili in regioni dove le produzioni agricole tradizionali riscontrano difficoltà economiche congiunturali. Negli ultimi anni si è andato affermando un nuovo approccio alle politiche agro-energetiche, favorito dalla domanda crescente di energia, che ha spinto ad integrare coltivazioni storiche come il frumento duro con specie per la produzione di biomasse per usi energetici (brassicacee, girasole, ecc.). La proposta di studio in esame è basata sull'introduzione di una procedura colturale che preveda la rotazione tra la coltivazione del grano duro e la brassica carinata. Di queste due colture si propone sia l'utilizzo energetico dei residui di coltivazione (paglia) in impianti di combustione per la generazione di energia elettrica, che l'estrazione di olio dai semi della brassica carinata, da utilizzare come biocombustibile. La potenza della centrale termoelettrica, per il contesto in esame, alimentata con i residui delle coltivazioni cerealicole e di brassica carinata, è stata valutata sulla base dei costi per l'approvvigionamento della biomassa ottenuti adoperando la tecnologia GIS per la delimitazione del contesto di riferimento.

ENERGETIC VALORISATION OF BIOMASS: A CASE STUDY USING GIS

Summary – Utilization of biomass can provide a stable and reliable situation for sustainable production of biomass fuels and may contribute to the sustainable management of natural resources. In order to promote bioenergy many countries have stimulated the development and use of biomass for electricity, heat and transportation by the introduction of suitable measures. In this study was investigated a procedure that previews the rotation between the cultivation of hard wheat and brassica carinata in an area located near Palermo. The non-food use of brassica carinata oil for biodiesel production and for electricity production was analyzed. The biodiesel, produced by transesterification of the oil extracted from the brassica carinata seeds, has physical-chemical properties suitable for the use as diesel fuel. The study demonstrates how this application can contribute to energy saving and greenhouse gases reduction to match Kyoto Protocol targets. These results make brassica carinata a promising oil feedstock for cultivation in coastal areas of southern Italy, where it is more difficult to achieve the productivity potentials of brassica, and could offer the opportunity of exploiting Mediterranean areas for energetic purposes.

Parole Chiave: biomassa, GIS, energia elettrica, paglia.

Keywords: biomass, GIS, electric energy, straw.

* Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali (D.R.E.A.M.), Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, 90128, Palermo – messineo@dream.unipa.it.

1. PREMESSA

La riforma della PAC (Politica Agricola Comunitaria) del 2003 ha portato la capacità produttiva italiana di frumento duro ad un netto ridimensionamento. Le superfici sono calate di circa mezzo milione di ettari negli ultimi tre anni e la produzione si è attestata, in base alle ultime stime, sui 3,5 milioni di tonnellate.

Negli ultimi anni si è andato affermando un nuovo approccio alle politiche agro-energetiche, favorito dalla domanda crescente di energia, che ha spinto ad integrare coltivazioni storiche come il frumento duro con specie per la produzione di biomasse per usi energetici (brassicacee, girasole, ecc.), sfruttando nel contempo le superfici già abbandonate.

Questo approccio consentirebbe di utilizzare i sostegni all'agricoltura in modo strategicamente più opportuno e compatibile con gli obiettivi delle politiche di sviluppo rurale: ricerca di nuovi sbocchi di mercato dei prodotti dell'agricoltura, valorizzazione delle risorse del territorio, realizzazione di accordi di filiera con l'industria. Tuttavia, la sostenibilità di un progetto bio-energetico richiede che vengano soddisfatti diversi obiettivi, quali la produzione di derrate agricole da energia a basso costo, un bilancio energetico positivo e un basso impatto ambientale.

In Italia, i dati ISTAT evidenziano una tendenza alla crescita delle superfici destinate alle principali colture oleaginose (girasole, colza e soia), potenzialmente interessanti per lo sviluppo di un mercato delle bio-energie.

Le difficoltà di reperimento delle superfici, problemi di natura logistica ed ambientale connessi col dimensionamento degli impianti e i costi di produzione elevati richiedono una strategia agro-industriale mirata alla produzione di energia rinnovabile, integrando lo stadio agricolo di approvvigionamento della materia prima e lo stadio industriale di lavorazione della stessa. In Tabella 1 sono riportati dei dati concernenti le superfici coltivate in Italia con colture potenzialmente interessanti per la produzione di biocarburanti nel triennio 2004-2006 (ettari).

Le biomasse provenienti dai residui agricoli sono principalmente rappresentate dai rifiuti dell'annuale e periodica manu-

Tab. 1 – Superfici coltivate in Italia con colture potenzialmente interessanti per la produzione di biocarburanti

Colture	2004	2005	2006
Soia	150.368	152.331	172.021
Girasole	124.005	129.331	143.580
Colza	2.872	3.478	3.531

tenzione dei campi e in particolare, in termini quantitativi, da vigneti, uliveti, agrumeti, frutteti e mandorleti, oltre che della paglia residua delle coltivazioni cerealicole.

Le prime consistono in ramaglie che provengono dalle operazioni di potatura, che in generale vengono bruciate nel campo dagli agricoltori e che invece, opportunamente raccolte, possono essere cippate o pellettate ed utilizzate in processi controllati di combustione.

Tra i possibili impieghi promettenti delle biomasse vi è la produzione di energia elettrica e calore su piccola e media scala (in centrali o in impianti di cogenerazione) o la generazione di calore in impianti di piccola taglia per coprire parte del fabbisogno energetico per riscaldamento.

L'utilizzazione energetica delle colture è di particolare interesse per le zone agricole della Sicilia, dove la realizzazione di nuove dinamiche economiche sostenibili può contribuire in modo significativo allo sviluppo endogeno del sistema economico locale, anche in relazione ai recenti indirizzi di politica agraria comunitaria.

La quantificazione della biomassa recuperabile da residui di coltivazioni agrarie viene ottenuta adottando un metodo di valutazione basato su correlazioni sperimentali, presenti in letteratura [1-3] che legano il residuo all'area di uso del suolo tramite un coefficiente di produttività.

2. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE PREVISTA

Lo studio di fattibilità in esame è basato sull'introduzione di una procedura culturale che preveda la rotazione tra la coltivazione del grano duro e la brassica carinata. Di queste due colture si propone sia l'utilizzo energetico dei residui di coltivazione (paglia), che l'estrazione di olio dai semi della brassica carinata, da utilizzare come biocombustibile.

Nell'area oggetto dello studio (Figura 1) la superficie a grano è di 65.816 ha. Con un coefficiente di produttività di 3 t/ha, la quantità di paglia estraibile sarebbe dunque di circa 195.000 tonnellate. Tutto questo residuo, di notevole entità, costituisce un'importante fonte energetica dati i bassi costi di raccolta e la relativa facile accessibilità da parte di mezzi.

Il potenziale successo della filiera agro-energetica dipende fondamentalmente dall'organizzazione produttiva e logistica e dalle dimensioni degli impianti di conversione energetica che dovranno rappresentare un compromesso tra quantità di materia prima disponibile (a sua volta dipendente dalle superfici coltivate) e rapporto costo/benefici degli impianti stessi. La produzione di grano dà luogo ad un residuo secco, sotto forma di paglia, di circa 3 t/ha; l'ipotesi di sostituzione delle colture leguminose con la brassica carinata produrrebbe, nell'anno di mancata coltivazione a grano (rotazione triennale), circa il doppio di paglia di scarto (5 t/ha), ma anche semi oleaginosi, con una resa di circa 20 q/ha.

Il mancato arricchimento di azoto nel terreno prodotto dalle leguminose richiederebbe la concimazione con urea o altro, ma di contro si otterrebbe una produzione continua di paglia e la sua integrazione con la produzione di biocombustibile.

La principale innovazione proposta consisterà nel non sostituire colture destinate al mercato food con colture energetiche,

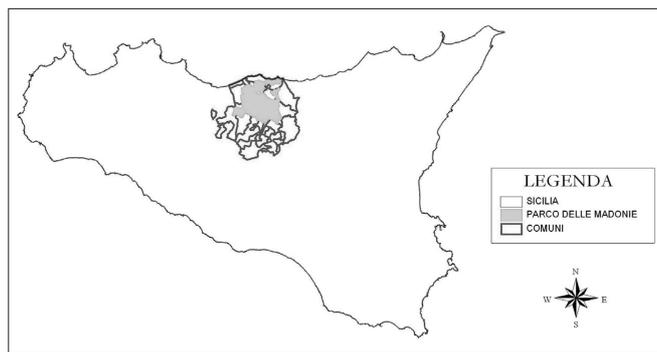


Fig. 1 – Area oggetto dello studio

che, bensì nell'integrazione in rotazione triennale di tali colture al fine di evitare il depauperamento eccessivo di sostanza organica nel terreno.

Il beneficio delle rotazione permette un incremento produttivo dovuto prevalentemente agli effetti sulle caratteristiche chimico-fisiche del terreno. È bene osservare, infatti, che le rese del frumento in monosuccessione sono sempre decisamente inferiori a quelle del frumento in rotazione.

Un ulteriore vantaggio deriverà dal recupero di terreni attualmente abbandonati, i quali verrebbero nuovamente valorizzati. Preme evidenziare come, al momento, per quanto concerne la valorizzazione della paglia da grano quasi nulla venga fatto nel territorio in esame. Nella maggior parte dei casi, infatti, la paglia ritenuta solamente un onere dai coltivatori, viene raramente commercializzata e anzi, frequentemente, viene ceduta agli allevatori della zona a titolo gratuito al fine di favorirne un immediato smaltimento. Inoltre, la prassi spesso consolidata di bruciarla direttamente ai margini dei campi di coltivazione, comporterebbe dei rischi di sanzione che sempre più raramente i coltivatori sono disposti a correre.

La paglia, alimenterebbe una centrale per la produzione di energia elettrica e termica, mentre i semi oleaginosi, dopo opportuni trattamenti, verranno utilizzati per la produzione di biocombustibile da impiegare nel contesto di riferimento o eventualmente da commercializzare.

La potenza della centrale termoelettrica, per il contesto in esame, alimentata con i residui delle coltivazioni cerealicole e di brassica carinata, è stata valutata sulla base dei costi per l'approvvigionamento della biomassa ottenuti adoperando la tecnologia GIS per la delimitazione del contesto di riferimento. Da una prima analisi quantitativa tale potenza elettrica risulta essere pari a circa 1.500 kW.

Per il funzionamento continuo del nostro sistema nel corso dell'anno saranno richieste circa 17.000 t/anno di biomassa con un potere calorifico medio di 14 MJ/kg. Nel prosieguo del lavoro verranno meglio approfondite le parti concernenti i parametri caratterizzanti il processo di conversione energetica e la dimensione dei relativi impianti di trasformazione.

Le tecnologie prese in considerazione nella presente proposta di studio di fattibilità prevedono:

- l'impiego di impianti finalizzati all'estrazione di olio dai semi della brassica carinata per la produzione di biocombustibile;

- l'impiego di centrali termiche per la combustione della biomassa con successiva produzione di energia elettrica e termica. Tale operazione può essere attuata attraverso il riscaldamento di olio diatermico a temperature dell'ordine dei 300 °C e l'utilizzo di una macchina ORC (Organic Rankine Cycle) per la produzione combinata di energia elettrica e termica (cogenerazione o trigenerazione), per l'impiego nei casi in cui esiste la possibilità di utilizzare il reiet termico dell'impianto, che è in grado di fornire acqua alla temperatura di circa 80-90°C.

Nel presente studio, data l'ubicazione dell'impianto in prossimità di centri abitati, si prevede la possibilità di sfruttare il reiet termico (telerriscaldamento, produzione di freddo) per diverse utenze presenti nel territorio quali strutture sportive, sanitarie, etc.

Per quanto concerne, invece, il contenimento del tenore delle polveri nei termini di legge (D.L. 152 del 3/4/2006 – Testo Unico Ambientale), si utilizzeranno idonei sistemi di abbattimento costituiti da filtri a maniche o elettrostatici.

Come enunciato all'inizio del paragrafo, lo studio prevede l'ipotesi di attuare una rotazione triennale tra la coltivazione di grano duro e la coltivazione della brassica carinata.

Quest'ultima coltivazione consentirà la produzione di biocombustibile ottenuto tramite processi di estrazione meccanica dai semi, oltre alla produzione di residui di coltivazione (paglia) utilizzabile nella centrali termo-elettriche sopra descritte.

Generalmente, per la produzione di olio vegetale in impianti di piccola scala si procede ad una estrazione tramite spremitura meccanica. L'intero processo consentirà, per il seme di brassica, di estrarre circa 33 kg di olio grezzo e 67 kg di pannelli grassi per 100 kg di seme lavorato.

Nel caso di estrazione meccanica, l'olio grezzo, previa filtrazione o decantazione, potrà essere utilizzato tal quale in motori diesel per la produzione di energia elettrica o in motori di trattori agricoli, miscelato a gasolio, mentre dovrà essere sottoposto a raffinazione per l'eventuale trasformazione in biodiesel.

3. CONTESTO DI FILIERA E FLUSSI DI MASSA ED ENERGIA

Lo studio è stato preliminarmente indirizzato verso una stima accurata del potenziale di biomassa reperibile sotto forma di paglia residua dalle coltivazioni esistenti di frumento e da quelle di brassica carinata, da impiantare in rotazione triennale alla prima.

Il sistema organizzativo è finalizzato alla raccolta di materiale combustibile (paglia di frumento e brassica) per la produzione di energia elettrica e di semi oleaginosi (brassica) dai quali ricavare biodiesel.

La stima del potenziale di risorsa disponibile per le tipologie di biomassa da utilizzare a scopi energetici è stato sviluppato utilizzando e coordinando una serie di database allo scopo di prefigurare la creazione di un sistema informativo e geografico delle biomasse.

Queste informazioni ci permettono di valutare la localizzazione delle risorse, la loro tipologia, l'accessibilità alle aree e infine la stima di una curva di offerta.

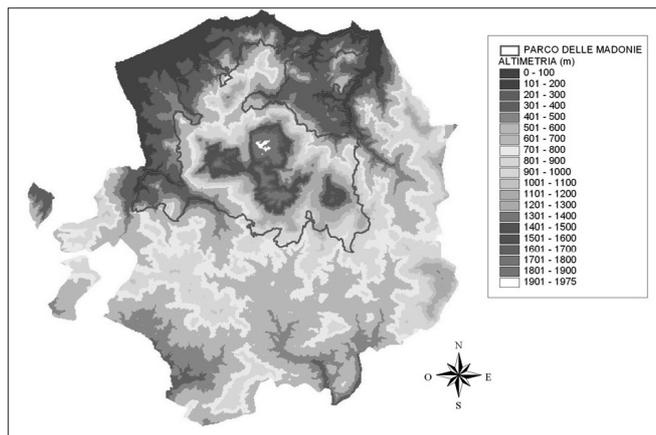


Fig. 2 – Altimetria dell'area interessata

Di questo sistema informativo fanno parte cartografie che sviluppano differenti tematismi (uso del suolo, boschi e foreste, Sistema Stradale, DEM, Aree climatiche, Piovosità, litologia, aree industriali).

Il DEM (Digital Elevation Model) è in particolare costituito da una matrice di punti con lato di lunghezza in metri 100x100. Ogni punto ha informazioni relative alle coordinate, ma anche alla quota altimetrica. Dalla conoscenza del file di quota si può ricavare in automatico la carta delle pendenze, come mostrato in Figura 2, che opportunamente elaborata e classificata ci dà punto per punto la pendenza in percentuale di ogni area della Regione.

Con l'uso del sistema informativo sono state identificate le aree potenzialmente interessate dal recupero della biomassa per scopi energetici. La Tabella 2 riporta le colture utilizzabili ai fini energetici nel territorio considerato.

Il fine del lavoro sarà successivamente quello di produrre un database dove per ogni area sia possibile conoscere gli ettari coltivati, la densità fondiaria, la biomassa estraibile dalla manutenzione delle colture o dai residui agricoli, le distanze relative ed i percorsi di movimentazione dei prodotti.

Un primo risultato è la carta (Figura 3) dove sono riportate le aree di produzione delle biomasse agricole a colture estensive

Tab. 2 – Sintesi delle colture utilizzabili ai fini energetici nel territorio considerato

Coltura	Superficie [ha]	Produttività [t/ha]	Sottoprodotto [t/anno]	Energia primaria [tep/anno]
Agrumeto	1.254	1,8	2.257	858
Vigneto	933	2,5	2.333	886
Oliveto	10.752	1,9	20.429	7.763
Frutteto	892	1,8	1.606	546
Frumento	65.816	3	197.448	67.132
Colture arboree ed arbustive	36.000	2,5	90.000	34.200
TOTALE	115.647		314.072	111.385

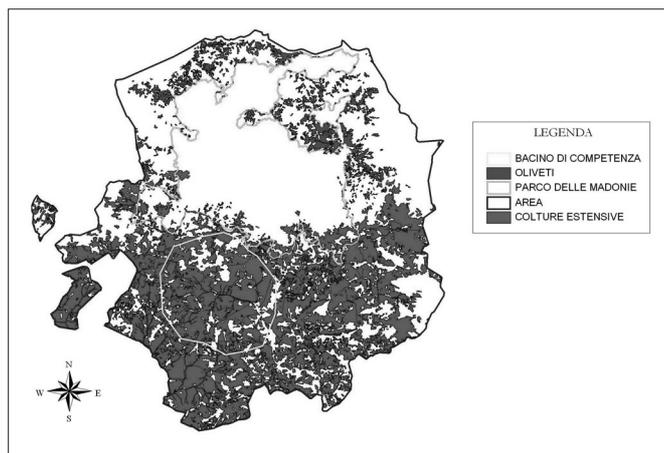


Fig. 3 – Carta delle Biomasse (colture estensive ed olivicole)

e ad oliveti. Area quest'ultima non prevista nello sfruttamento della risorsa, almeno in questa fase del lavoro, per ragioni legate all'ottimizzazione dei processi di raccolta e trasporto. Da elaborazioni svolte è stato possibile determinare i potenziali per tutte le aree comprese nei comuni interessati, considerando gli scarti di potatura delle diverse colture e la paglia proveniente dalle colture cerealicole.

La scelta impiantistica, centrale ORC da 1,5 MW, permette di individuare un bacino di competenza del centro di raccolta e trasformazione con una superficie di colture estensive pari a circa 10.000 ha.

Prevedendo l'approvvigionamento dal 80% delle aree del bacino ed una rotazione del frumento (sottoprodotto 3 t/ha) con brassica carinata (sottoprodotto 5 t/ha) il fabbisogno di circa 17.000 t/anno di paglia viene totalmente soddisfatto.

La coltura della brassica carinata ha una resa media in semi pari a 2 t/ettaro che per la superficie annua considerata pari a 2.500 ettari si traduce in una produzione annua di 6.500 tonnellate.

Considerando infine una resa in olio dalla spremitura dei semi pari al 32%, la produzione di biocombustibile si attesta a 2.100 t/anno. Per tale combustibile si è ipotizzato l'utilizzo nelle stesse aziende agricole della filiera a copertura dei fabbisogni necessari per la coltivazione.

Sulla base dell'area considerata e in relazioni agli indici medi di produttività illustrati, i principali parametri energetici sono riportati in Tabella 3.

In Figura 4 e Figura 5 sono rappresentati le filiere dei biocombustibili solidi e del biodiesel.

4. ANALISI E OTTIMIZZAZIONI DEI PROCESSI

4.1 Analisi ed ottimizzazione del processo di raccolta e trasporto delle biomasse

L'ottimizzazione del processo di raccolta e trasporto delle biomasse parte dall'analisi della rete viaria, dalla localizzazione della risorsa, dalla presenza di infrastrutture elettriche (rete

Tab. 3 – Sintesi delle biomasse utilizzate e dei prodotti di trasformazioni delle brassicacee

Biomassa	Quantità utilizzate (t/anno)	Potere Calorifico (MJ/kg)	Energia Primaria (GJ)
Paglia	17.000	14	237.600
Biocombustibile	2.100	37	78.100

AT/MT) e dalla individuazione dei centri abitati nel comprensorio in esame mediante l'utilizzo del GIS (Figura 6).

Pur non essendo fitta, la rete stradale esistente garantisce dei buoni collegamenti fra quasi tutte le zone dell'area in esame. La localizzazione del centro di raccolta, quindi, nasce dalla valutazione della risorsa biomassa e dalla scelta di utilizzare come rete viaria privilegiata quella che nella Figura 6 è indicata come Strade Principali, dalla vicinanza con la rete elettrica e dalla necessità di distanziarsi almeno di 2 km dai centri abitati (problematiche legate alle emissioni e alla produzione di ceneri).

Tali criteri hanno determinato l'esclusione dell'utilizzo in centrale delle ramaglie di oliveti essendo valutabile in circa 30 km la distanza minima su sede stradale per il conferimento delle stesse dal centro di raccolta e trasformazione.

L'individuazione del bacino di competenza, nella zona centro orientale, permette quindi di disporre di una superficie di colture estensive di circa 10.000 ha in un raggio compreso fra i 6 e i 7 km dal centro di raccolta. Su sede stradale il percorso più lungo per il raggiungimento del centro è stato valutato in circa 16 km.

Una tale estensione permette di minimizzare i costi di trasporto della paglia da frumento in considerazione soprattutto della bassa densità della stessa. Ulteriori economie, che esulano però dalle valutazioni sopra riportate e fondamentali nella valutazione e conduzione economica della centrale, possono essere ottenute evitando il ricorso a conto terzi per il trasporto delle materie e acquisendo un mezzo consortile (valutabile in un autocarro con portata di 5.000 kg circa) per la raccolta diretta presso i produttori.

4.2 Analisi ed ottimizzazione del processo di trasformazione delle biomasse

Le biomasse considerate nel presente studio sono costituite dai residui provenienti dalla coltivazione di grano duro e di brassica carinata. Per quanto concerne i residui da coltivazione (paglia), l'unico processo di trasformazione che subiscono è il loro compattamento in balle di varie dimensioni. Tale processo è comunque già realizzato con le normali tecniche di mietitura del prodotto.

Per quanto concerne l'impianto di trasformazione dei semi di brassica carinata, considerando la produttività media e la percentuale di utilizzo delle aree sulla base di una rotazione triennale, la potenzialità ammonta a circa 6.500 tonnellate. Pertanto l'impianto proposto avrà una capacità di lavorazione pari a 2 tonnellate al giorno di semi.

Il processo di trasformazione ipotizzato prevede per l'ottenimento dell'olio grezzo le seguenti lavorazioni:

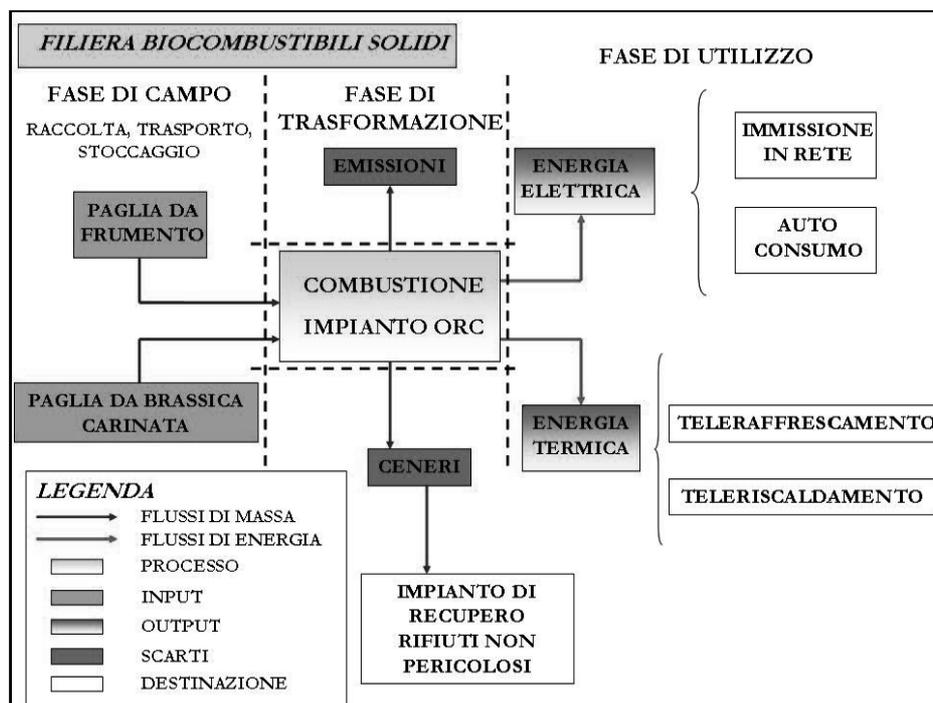


Fig. 4 – Filiera dei biocombustibili solidi

- la pulizia dei semi per eliminare le eventuali impurità presenti;
- la decorticazione dei semi al fine di eliminare lo strato protettivo dei semi (pericarpo);
- la macinazione mediante schiacciamento per lacerazione o laminazione;
- il riscaldamento e il condizionamento per favorire il processo estrattivo;
- l'estrazione meccanica attraverso presse a vite o idrauliche;
- la raffinazione per la rimozione dei residui (proteine, gomme, resine, fosfatici, etc.).

L'olio ottenuto dalle precedenti lavorazioni potrà essere utilizzato come biocombustibile opportunamente miscelato con gasolio, oppure tramite un processo di transesterificazione, che ne riduce la viscosità, è possibile ottenere biodiesel idoneo per l'autotrazione.

Infine, un aspetto che differenzia nettamente il biodiesel dagli altri combustibili è la sua rinnovabilità e origine agricola. Ciò significa che la sua produzione – pur essendo limitata dalla disponibilità di terreno – offre uno sbocco di tipo no-food alle produzioni agricole, quindi al mantenimento del mondo rurale.

Il pannello, ottenuto dalla spremitura dei semi di brassica carinata non può essere impiegato, a causa dell'alta percentuale di acido erucico, nella zootecnia ma potrebbe invece trovare applicazione come ammendante per i terreni agricoli o come biocida per i terreni dedicati alla serraicoltura.

Nel caso di estrazione meccanica dell'olio, il sistema può essere di estrema semplicità costruttiva e di utilizzo e, quindi, essere impostato anche su piccola scala. Questa ultima possibilità è di particolare interesse per il mondo agricolo, perché

sgancia la produzione di olio grezzo dalla necessità di un impianto industriale, rendendo possibile anche all'imprenditoria agricola e/o artigianale la produzione di questo primo lavorato.

4.3 Analisi ed ottimizzazione del processo di conversione energetica delle biomasse e della dimensione dei relativi impianti di trasformazione

Come detto precedentemente, sulla base dell'ubicazione delle aree colturali e dell'ottimizzazione dei costi di trasporto, la superficie agricola considerata è risultata pari a circa 10.000 ettari. I residui colturali provenienti da tali aree andranno ad alimentare un impianto cogenerativo capace di sviluppare una potenza elettrica di 1,5 MW_{el} ed una potenza termica di 6,6 MW_{th} sotto forma di acqua calda a 90 °C.

Il processo di conversione energetica individuato per i residui della raccolta del grano e della brassica carinata prevede la combustione diretta degli stessi in apposite caldaie composte da una camera di combustione con griglie fisse raffreddate ad acqua o a olio diatermico.

E' presente, inoltre, uno scambiatore di calore per il recupero dell'energia termica dei gas combust. Nell'impianto considerato si è previsto l'utilizzo di una caldaia ad olio diatermico, che rispetto ad una caldaia ad acqua pressurizzata non necessita del conduttore patentato pur garantendo, con l'utilizzo di un economizzatore, efficienze paragonabili (>85%).

Il processo di produzione di energia elettrica individuato prevede l'impiego di turbogeneratori basati sul Ciclo Rankine a fluido organico (ORC) particolarmente indicati per potenze

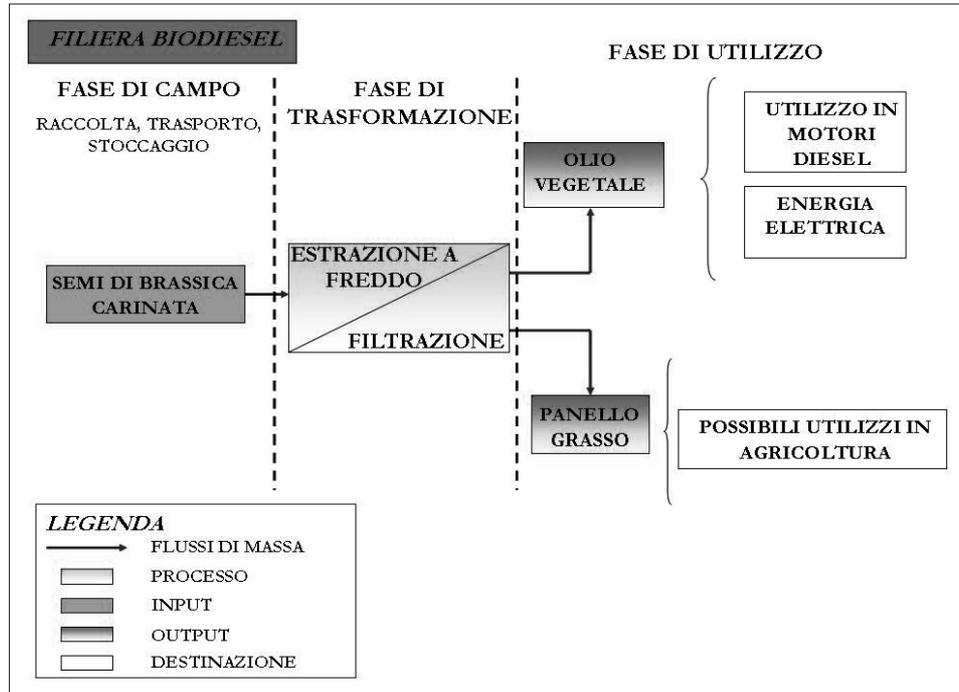


Fig. 5 – Filiera del biodiesel

nominali comprese tra 400 e 2.000 kW elettrici, in quanto altre soluzioni (es.: produzione di gas da utilizzare in turbine a ciclo Brayton) sono da ritenersi sperimentali e utilizzate in pochissime unità.

Per l'ottenimento di buoni rendimenti complessivi è fondamentale l'utilizzo dell'energia termica che, se dissipata in ambiente, penalizzerebbe significativamente l'efficienza. Il rendimento di produzione dell'energia elettrica per questi impianti è pari al 18% circa, da qui scaturisce la loro diffusione in applicazioni cogenerative.

In confronto alle tecnologie alternative, i vantaggi principali ottenuti con questa soluzione sono i seguenti:

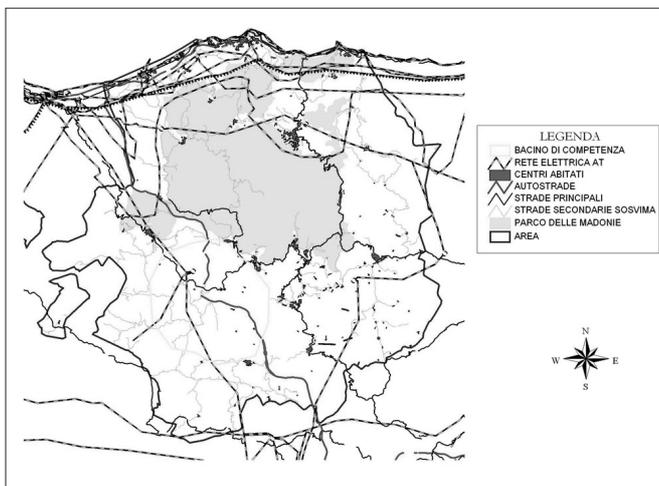


Fig. 6 – Carta delle infrastrutture nell'area interessata

Tab. 4 – Sintesi dei flussi di materia e di energia dell'impianto

	Quantità utilizzate (t/y)	Energia Elettrica (MWh/y)	Energia Termica (MWh/y)	Biocombustibile prodotto (t/y)
Paglia	17.000	11.800	52.000	-
Semi di brassica	6.500		-	2.100

- alta efficienza complessiva del ciclo;
- buona efficienza della turbina;
- bassa sollecitazione meccanica della turbina, dovuta alla modesta velocità periferica;
- lunga vita della macchina, dovuta alle caratteristiche del fluido di lavoro che, diversamente dal vapore, non erode e non corrode le tubazioni, le sedi delle valvole e le palette della turbina.

Ulteriori vantaggi riguardano la semplicità nelle procedure di avviamento e fermata, il funzionamento non rumoroso, la minima richiesta di manutenzione e le buone prestazioni anche a carico parziale.

L'energia termica prodotta, utilizzando l'acqua come fluido termovettore, sarà distribuita tramite idonee tubazioni alle utenze prossime all'impianto. Tale energia termica potrà anche essere utilizzata, sfruttando opportune macchine frigorifere ad assorbimento, per la climatizzazione estiva di utenze.

Diversi sono gli impianti cogenerativi in Europa basati su turbogeneratori ORC e caldaie ad olio diatermico, che operano con alta affidabilità (Lienz (Austria) 2002, 1.000 kWel; Bregenz (Austria) 2002, 1.000 kWel; Tirano (Italia) 2003, 1.100

kWel; Dobbiaco (Italia) 2003, 1.500 kWel; Neckarsulm (Germania) 2004, 1.100 kWel; etc.) [4]. Nella Tabella 4 sono riportati i valori delle quantità di energia ottenibili annualmente dall'impianto proposto.

I vantaggi di questa tecnologia in termini di costi di manutenzione contenuti, funzionamento completamente automatico e buona efficienza elettrica, sono stati confermati nell'uso pratico.

5. INDICAZIONE DEI COSTI PRESUNTI E BENEFICI ATTESI

L'analisi della convenienza economica costituisce un importante momento di valutazione all'interno di uno studio di fattibilità dal momento che ha la funzione di supportare il decisore.

Per la stima dei costi, si procederà individuando, inizialmente, lo sviluppo temporale degli stessi nel corso di un quindicennio suddividendoli in "costi di investimento" e "costi di gestione". Per quanto concerne i criteri utilizzati per la stima, ci si è basati sul confronto con informazioni e dati provenienti da realtà assimilabili.

Per quanto riguarda la stima dei benefici, verranno presi in considerazione i potenziali benefici monetizzabili ossia attribuibili al risparmio netto di costi energetici. Oltre ai benefici diretti o privatistici, la realizzazione del presente programma di investimento, genererà dei benefici indiretti o sociali legati al miglioramento della qualità della vita indotto dal minor utilizzo di materiali fossili per la produzione di energia e dalla riduzione di emissioni di gas nell'atmosfera.

Nella valutazione della convenienza dell'investimento il fattore tempo gioca un ruolo fondamentale, dal momento che il valore del denaro non può prescindere da esso.

L'operazione di attualizzazione è alla base dei principali metodi di valutazione di progetti pubblici e privati che risultano il valore attuale netto (VAN), il tasso interno di rendimento (TIR), l'indice di redditività. Il VAN indica il beneficio netto che l'intervento è in grado di apportare, il TIR è il valore del tasso di sconto che rende pari a zero il valore attuale netto di un progetto. Generalmente un'alternativa di intervento è considerata accettabile se il TIR è superiore al tasso di sconto di riferimento.

Per l'impianto proposto è stata effettuata un'analisi dei costi sia di investimento che operativi. Tali costi sono stati messi in

Tab. 5 – Sintesi dei costi di impianto

Impianto	Costi (€)
Cogeneratore	2.700.000
Impianto estrazione olio	250.000
Opere civili	500.000
Altri oneri	50.000
Totale	3.500.000

Tab. 6 – Sintesi dei costi operativi annui dell'impianto OCR e biodiesel

Costi operativi	Unità di misura	Costi unitari	Costo totale (M€)
Paglia	€/t	50-60	0,85 – 1,0
Semi di brassica	€/t	210-220	1,3 – 1,4
Estrazione olio	€/t	20-25	0,013 – 0,016
Manutenzione	€/MWh	18-20	0,21 – 0,24
Smaltimento rifiuti	€/t	30-40	0,04 – 0,054
Costo Personale	M€	0,025 – 0,030	0,10 – 0,12
Totale	2,7	–	3

relazione con le entrate derivanti dalla produzione energetica. I costi operativi considerati sono quelli legati all'acquisto della biomassa (paglia e semi di brassica), alla manutenzione degli impianti, alla lavorazione dei semi di brassica e allo smaltimento dei rifiuti prodotti.

La Tabella 5 riporta i costi indicativi per la realizzazione dell'impianto.

Le entrate sono legate alla vendita dell'energia elettrica, all'ottenimento dei Certificati Verdi, alla vendita dell'energia termica e dell'olio di brassica. Le Tabelle 6 e 7 riportano i costi operativi indicativi e le entrate per l'impianto proposto.

Il valore dei Certificati Verdi è in linea con le recenti novità normative. Esse prevedono per impianti di produzione di energia elettrica da biomasse con bacino di approvvigionamento entro i 70 km, cosiddetta filiera corta, un incentivo attraverso un coefficiente moltiplicato pari a 1,80 dei Certificati Verdi attribuibili all'impianto per i primi 15 anni.

L'analisi economica ha evidenziato, nel caso di vendita dell'energia termica, un margine operativo lordo compreso tra 2.500.000 e 2.800.000 euro/anno.

Senza la vendita di energia termica il margine operativo si riduce, nei primi 15 anni, a valori compresi fra 900.000 e 1.200.000 euro/anno.

Dalla Figura 7 è possibile dedurre i tempi di ritorno dell'investimento nell'ipotesi di un tasso di interesse del 5% e per due differenti scenari: con e senza vendita di energia termica.

Tab. 7 – Sintesi delle entrate annue dell'impianto OCR e biodiesel

Entrate	Unità di misura	Costi unitari	Costo totale (M€)
Vendita energia elettrica	€/MWh	65	0,77
Certificato verde (filiera corta)	€/MWh	112,88 *1.8	2,40
Vendita calore	€/MWh	30	1,56
Vendita olio di brassica	€/t	350	0,74
Totale			5,46

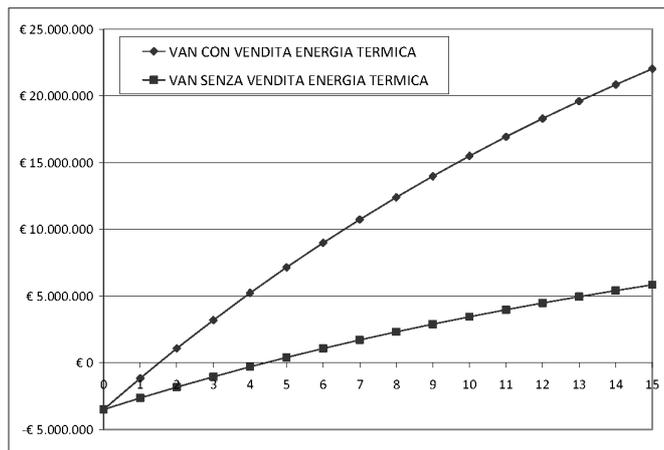


Fig. 7 – Andamento del VAN nelle due ipotesi previste

Nel caso meno favorevole il tempo di ritorno dell'investimento è compreso fra i 4 e i 5 anni, con un TIR del 25% ed un VAN, a 15 anni, di 5.800.000 €.

6. CONCLUSIONI

Dalle esperienze delle regioni asciutte del Centro-Nord in Italia si evince che la Brassica carinata può avvicinarsi al frumento. Quest'ultima specie si adatta particolarmente bene negli ambienti pedoclimatici siciliani.

Il beneficio delle rotazione permette un incremento produttivo dovuto prevalentemente agli effetti sulle caratteristiche chimico-fisiche del terreno. È bene osservare, infatti, che le rese del frumento in monosuccessione sono sempre decisamente inferiori a quelli del frumento in rotazione.

La scelta di una rotazione triennale non pone problemi dal punto di vista della complessità del parco macchine, in quanto queste necessitano solo di opportune regolazioni nelle mietitrebbie e di un differente organo distributore nella seminatrice dovuto a differenze morfologiche dei semi.

Un primo risultato importante di questa strategia sarebbe una riduzione delle superfici abbandonate ed il mantenimento del ruolo di presidio ambientale che le superfici coltivate assicurano, essenziale nella politica di contrasto ai processi di desertificazione che interessano in particolare le zone più interne della Sicilia.

Un secondo più evidente effetto è rappresentato dalla sostituzione di fonti energetiche fossili con forme di energia rinnovabile, in quanto provenienti da attività di carattere agro-energetico.

L'effetto si traduce positivamente nel risparmio di riserve energetiche, ma soprattutto in emissioni evitate di gas serra, misurabili in termini di CO₂ equivalenti.

L'energia elettrica prodotta annualmente si stima pari a 11,8 GWh. Il risparmio di petrolio equivalente, dovuto anche all'energia termica utilizzata, risulta di 5.600 tep/anno.

Questo comporterà la mancata emissione in atmosfera di circa 10 – 15.000 tonnellate all'anno di CO₂, per la quota di ener-

gia termica risparmiata, e di 6.500 tonnellate, per la quota di energia elettrica prodotta.

I vantaggi ambientali che derivano dall'utilizzazione delle circa 1.600 t di olio vegetale, secondo dati di letteratura, sono stimabili in termini di riduzioni delle emissioni di CO₂ variabili fra 1,4 – 2,4 kg di CO₂ per kg di gasolio sostituito.

Stime più accurate sulla convenienza ambientale dell'uso di biomasse per la produzione energetica saranno sviluppate attraverso metodologie di Life Cycle Analysis.

Per quanto riguarda la sostenibilità economica, si può solo sottolineare la convenienza economica dell'iniziativa che fornisce un aiuto considerevole alla competitività del sistema agricolo considerato, con un guadagno annuo da ripartire tra gli attori, o con un utile da destinare agli investimenti.

Non bisogna trascurare, infine, la ricaduta economica positiva, costituita dall'incremento occupazionale, che lo sviluppo dell'intera filiera potrà sicuramente determinare.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **A. Pellerano, A. Pantaleo, P. Tenerelli, M.T. Carone**, 2007. *Studio per la valorizzazione energetica di biomasse agro-forestali nella Regione Puglia*. Ispettorato Regionale Foreste della Regione Puglia.
- [2] **Università Politecnica delle Marche**, 2006. *Progetto di fattibilità delle filiere agro-energetiche nella Provincia di Ascoli Piceno*.
- [3] **MIPAF-PROBIO**, 2004. *Progetto dimostrativo integrato per la diffusione di biocombustibili*.
- [4] **A. Duvia, M. Gaia**, 2004. *Cogenerazione a biomassa mediante Turbogeneratori ORC Turboden: tecnologia, efficienza, esperienze pratiche ed economia*.

CURRICULA

Marco Beccali – Laureato in Ingegneria Civile indirizzo Idraulica nel 1991. Attualmente è Professore Associato di Fisica Tecnica Ambientale e Docente di Tecnica del Controllo Ambientale presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Palermo.

Josè Massimiliano Galletto – Laureato in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio nel 2004, attualmente è Dottorando di Ricerca in Energetica presso il Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali dell'Università degli Studi di Palermo.

Antonio Messineo – Laureato in Ingegneria Meccanica indirizzo Energia nel 2001. Dottore di Ricerca in Energetica, è attualmente Assegnista presso il Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali dell'Università degli Studi di Palermo.

Domenico Panno – Laureato in Ingegneria Meccanica indirizzo Energia nel 1998, è attualmente Ricercatore di Fisica Tecnica Industriale e Docente di Impianti Termotecnici presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Palermo.