



ALCUNE OSSERVAZIONI IN MERITO ALLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DELLE FILIERE AGRO-ENERGETICHE

Daniele Cocco

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Cagliari
Piazza d'Armi, 09123 Cagliari – cocco@dimeca.unica.it

Il settore della conversione energetica delle biomasse attraversa una fase di grande fermento, con progetti industriali di varia tipologia e dimensione realizzati o proposti praticamente in tutte le parti del mondo, Europa ed Italia comprese. Ciò trova una sua giustificazione, almeno parziale, alla luce dei benefici ambientali riconosciuti a questa fonte rinnovabile nonché delle più recenti linee di indirizzo fornite dall'Unione Europea (a titolo esemplificativo si può ricordare la direttiva 2003/30/CE in base alla quale entro il 2010 il 5,75% dei consumi di energia nel settore dei trasporti dovrà essere coperto mediante biocombustibili, oppure il più recente piano d'azione per l'efficienza energetica, in base al quale entro il 2020 l'U.E. dovrà risparmiare il 20% di energia e coprire una quota del 20% dei consumi con fonti rinnovabili, con un obiettivo minimo del 10% per i biocarburanti). Una estesa diffusione delle biomasse può contribuire a ridurre la dipendenza dalle fonti fossili, limitare le emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti e di gas serra, nonché alleviare lo stato di crisi in cui versa il settore agricolo europeo, spostando una parte della superficie agricola coltivabile dalle colture ad uso alimentare a quelle no-food.

La cronaca regionale evidenzia come anche in Sardegna le proposte in tale settore non manchino. Per limitarsi alle iniziative più note e di maggiori dimensioni si può citare il progetto di riconversione dell'ex zuccherificio Sadam di Villasor (dove è stata proposta la realizzazione di due distinte linee, una prima dedicata alla produzione di energia elettrica da biomasse ligno-cellulosiche e da oli vegetali per circa 50 MWe e una seconda dedicata alla produzione di biodiesel e di biogas) e il progetto della centrale Clivati di Ottana (dove l'esistente impianto termoelettrico a vapore alimentato con olio combustibile dovrebbe essere sostituito da un nuovo impianto da circa 37 MWe alimentato con olio vegetale). Nel corso dell'ultimo anno si è molto discusso anche del progetto per un impianto di termodistruzione dei rifiuti ad Ottana, che prevedeva anche una linea da 20 MWe dedicata all'utilizzo di biomasse forestali e da coltivazioni energetiche, della possibile produzione di biodiesel per il trasporto pubblico regionale (il Consorzio Sardo Cereali ha un progetto per un impianto in grado di trattare circa 1000 t/anno di olio vegetale, ma si è fatto cenno anche all'ipotesi di realizzare un impianto di maggiore potenzialità), di un progetto per una rete di generazione distribuita basata su piccoli impianti a biomassa per la fornitura di energia ai centri dell'Unione dei Comuni della Bassa Marmilla. Completano il quadro, oltre alle unità già operative (alcuni impianti di digestione anaerobica, la centrale Enel di Portovesme a carbone alimentata in co-combustione con biomasse, i piccoli impianti di riscaldamento a pellets e cippato), altri progetti minori, destinati alla produzione di energia elettrica e termica.

Si può preliminarmente osservare che le iniziative proposte in Sardegna si inquadrano senz'altro nell'ambito di quelle che sono attualmente considerate le filiere più interessanti per la produzione di energia a partire da coltivazioni no-food, ovvero di specie vegetali annuali o poliennali che vengono appositamente coltivate per produrre combustibili liquidi, solidi o gassosi. Infatti, come meglio evidenziato nel seguito, le filiere di pratico interesse sono essenzialmente la filiera delle specie zuccherine o amidacee per la produzione di etanolo, quella delle colture oleaginose per la produzione di oli vegetali grezzi o di biodiesel e quella delle specie vegetali ligno-cellulosiche per la produzione di energia elettrica e/o termica. Appare tuttavia opportuno

osservare che, a prescindere da considerazioni di ordine economico (aspetto tuttora estremamente critico, soprattutto sul fronte della remunerazione per gli agricoltori), la semplice sostituzione di combustibili fossili con combustibili di origine vegetale, non è garanzia di una automatica sostenibilità energetica ed ambientale della filiera. Infatti, se è vero che l'energia chimica delle biomasse rappresenta una sofisticata forma di accumulo dell'energia solare, è altrettanto vero che per coltivare, raccogliere e trasformare tale biomassa in una forma adatta all'utilizzatore finale (combustibile, energia elettrica, energia termica) occorre impiegare un quantitativo più o meno elevato di energia e di materiali e quindi emettere anche sostanze inquinanti nell'ambiente. Pertanto, la scelta della migliore opzione di filiera (tipo di coltura e di prodotto finale) dovrebbe certamente considerare gli aspetti economici, sociali ed occupazionali, ma anche (o soprattutto) quelli energetici ed ambientali. Appare infatti evidente che un bilancio energetico di filiera chiuso in attivo rappresenta l'irrinunciabile presupposto ai fini della effettiva garanzia di sostenibilità ambientale. In tale ottica, tenuto conto dei consumi energetici della filiera, l'uso energetico delle biomasse non può essere pertanto considerato ad emissioni rigorosamente nulle di CO₂, come invece talvolta viene erroneamente riportato.

Le tecnologie di conversione energetica delle biomasse

Come ben noto, con il termine biomassa si definisce una categoria di composti, di natura anche molto diversa fra loro, caratterizzati da una matrice di tipo organico, prodotti da organismi viventi (vegetali o animali) e pertanto direttamente derivanti, attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana, dall'energia solare. A seconda della provenienza, le biomasse possono essere essenzialmente classificate in biomasse residuali e in biomasse derivanti da apposite coltivazioni energetiche. Appartengono alla prima categoria i residui e gli scarti di origine forestale, agricola e agro-industriale, nonché la frazione umida dei rifiuti solidi urbani. Il recupero energetico delle biomasse residuali appare doppiamente vantaggioso in quanto da un lato riduce la dipendenza dai combustibili fossili mentre dall'altro contribuisce ad alleggerire le problematiche ambientali legate allo smaltimento finale di tali residui (per esempio, è noto che i processi naturali di degradazione delle sostanze organiche liberano metano, un composto che contribuisce all'aumento dell'effetto serra in una misura di oltre 20 volte superiore a quella della CO₂).

Le biomasse derivanti da coltivazioni energetiche sono a loro volta classificabili in colture oleaginose (come colza, soia, girasole, palma, ecc.) dalle quali si producono oli vegetali e biodiesel, colture alcoligene (come la canna da zucchero, il sorgo zuccherino, la barbabietola da zucchero, il mais, ecc.) dalle quali si produce l'etanolo, e da colture ligno-cellulosiche (che includono specie legnose come il pioppo, la robinia, l'eucaliptus, ecc., specie erbacee poliennali come la canna comune e il miscanto, oppure specie erbacee annuali come il sorgo da fibra) impiegate per produrre sostanza secca combustibile. Per quanto i possibili e auspicabili contributi energetici derivanti dalle biomasse residuali possano risultare apprezzabili, appare del tutto evidente che un contributo significativo al bilancio energetico mondiale può provenire solamente dalla diffusione di coltivazioni energetiche dedicate.

Le motivazioni alla base del recente impulso impresso alle attività di valorizzazione energetica delle biomasse sono di diversa natura. Infatti, potendo essere accumulate in maniera relativamente facile, le biomasse non soffrono dei problemi di aleatorietà e discontinuità che invece penalizzano la produzione di energia da altre fonti rinnovabili come l'eolico, il solare e l'idroelettrico ad acqua fluente. Le biomasse, inoltre, in relazione alle loro caratteristiche possono essere impiegate per produrre una vasta gamma di combustibili solidi (cippato, pellets, bricchette), liquidi (etanolo, oli vegetali, biodiesel) e gassosi (biogas, gas di sintesi), a loro volta utilizzabili come vettori energetici per produrre energia elettrica e/o termica o come sostituti dei combustibili fossili nel settore dei trasporti. I benefici ambientali consistono essenzialmente in

una riduzione delle emissioni inquinanti e di gas serra, nonché dei quantitativi di residui avviati a discarica. In relazione all'incremento dei costi delle fonti fossili convenzionali, l'utilizzo delle biomasse porterà anche benefici sul fronte economico attraverso la riconversione di una parte del settore agricolo, la riduzione dei costi di approvvigionamento energetico dall'esterno e la valorizzazione di residui, rifiuti e sottoprodotti.

A seconda delle caratteristiche intrinseche delle biomasse (composizione chimica, umidità, densità, ecc.) e della tipologia di utilizzo finale (combustibile per autotrazione, per la produzione di energia termica, di energia elettrica, ecc.), le filiere di conversione energetica possono presentare configurazioni anche molto diverse fra loro. La Figura 1 riporta in maniera molto schematica le principali filiere di conversione energetica delle biomasse oggi impiegate per la produzione di combustibili per veicoli, energia elettrica e/o di energia termica. In particolare, le filiere di maggiore interesse sono essenzialmente quelle che hanno origine da specie vegetali ad elevato contenuto di zuccheri o di amidi, a partire dalle quali è possibile produrre l'etanolo impiegabile come sostituto della benzina nei motori a combustione interna per autotrazione, oppure anche per la produzione di energia elettrica e/o termica in sistemi di generazione elettrica

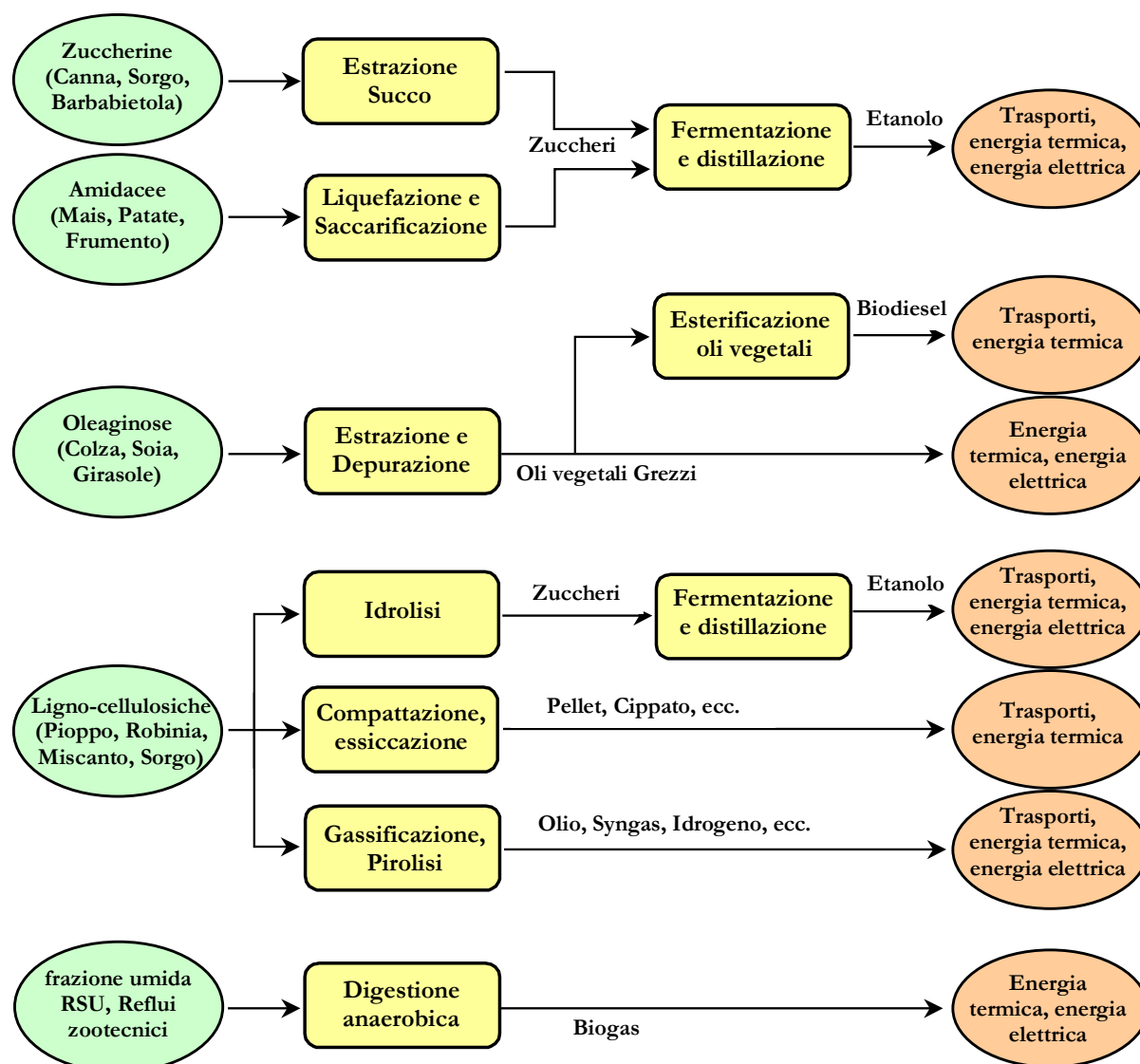


Figura 1 – Principali filiere di conversione energetica delle biomasse.

ad alta efficienza e basso impatto ambientale come turbine a gas, motori alternativi a combustione interna e celle a combustibile. Tale filiera può essere implementata ricorrendo a tecnologie convenzionali e disponibili da tempo sul mercato, essendo il bioetanolo già prodotto in consistenti quantitativi in Paesi come il Brasile e gli Stati Uniti. La produzione mondiale di etanolo nel 2004 è stata pari a circa 40 miliardi di litri (una quantità praticamente doppia rispetto al 2000), di cui circa il 95% derivante da prodotti agricoli. Il maggiore produttore mondiale di etanolo è oggi il Brasile (circa 15 miliardi di litri nel 2004, prodotti esclusivamente da canna da zucchero), subito seguito dagli Stati Uniti (circa 13 miliardi di litri nel 2004 prodotti quasi esclusivamente da mais).

Un'altra filiera già disponibile a livello industriale, e quindi facilmente implementabile, è quella del biodiesel, ovvero dei combustibili liquidi prodotti dal processo di transesterificazione degli oli vegetali grezzi derivanti da colture oleaginose. Anche in questo caso esiste un'ampia esperienza, soprattutto in Europa. Nel 2004 sono state prodotte quasi 3 milioni di tonnellate di biodiesel, di cui quasi 2 milioni di tonnellate nell'U.E (con un aumento del 35% sul 2003), dove i Paesi leader sono la Germania, la Francia e l'Italia. Circa l'84% del biodiesel prodotto in Europa deriva da olio di colza e il 13% da olio di girasole. Il biodiesel presenta caratteristiche chimico-fisiche molto simili a quelle del gasolio minerale, cosicché può essere facilmente utilizzato in sostituzione di quest'ultimo nei motori a combustione interna e nelle caldaie per riscaldamento. L'impiego del biodiesel comporta una leggera penalizzazione sulle prestazioni del motore (dell'ordine del 5%), una diminuzione delle emissioni di particolato, CO, SO_x e composti volatili, ma anche un aumento delle emissioni di NO_x. Il processo di transesterificazione può essere evitato, con ovvi benefici sul piano energetico, ambientale ed economico, nel caso in cui si voglia produrre energia elettrica, in quanto i motori a combustione interna a ciclo Diesel possono essere egregiamente alimentati direttamente con l'olio vegetale grezzo. Peraltro è opportuno osservare che i motori Diesel in oggetto sono in grado di garantire rendimenti elettrici molto elevati (superiori al 40%) già per potenze dell'ordine di alcune centinaia di kW, mentre per potenze dell'ordine di 10-15 MW i rendimenti possono arrivare al 46-47%. Inoltre tali motori possono operare efficacemente in cogenerazione, producendo acqua calda a bassa temperatura con recuperi dal circuito di raffreddamento dell'acqua e dell'olio lubrificante ed eventualmente altri fluidi a temperatura più elevata attraverso il recupero dell'energia termica dei gas di scarico.

L'impiego a scopo energetico delle specie vegetali ligno-cellulosiche appare invece più variegato e origina differenti filiere. La filiera più diffusa prevede un più o meno complesso trattamento meccanico ed eventualmente termico delle biomasse grezze (legna da piantagioni a ciclo breve, colture fibrose come il miscanto, la canna, il sorgo, ecc.) al fine di alimentare un convenzionale impianto di generazione elettrica. Allo stato attuale, l'unica tecnologia commercialmente disponibile per impianti di taglia medio-grande (a partire da circa 10 MW) è rappresentata dai tradizionali impianti a vapore, nel campo delle medie potenze sono disponibili gli impianti a fluidi organici (ORC, Organic Rankine Cycle), mentre per impianti di piccola taglia (10-50 kW) vengono commercializzati alcuni motori a ciclo Stirling. Le filiere di conversione basate sulla produzione di combustibili gassosi e liquidi mediante processi di gassificazione e di pirolisi sono pure molto interessanti, soprattutto in relazione alla possibilità di poter impiegare il syngas prodotto in sistemi ad alta efficienza e basse emissioni inquinanti come le turbine a gas, le celle a combustibile e i cicli combinati gas/vapore.

Le centrali termoelettriche convenzionali a vapore specificatamente concepite per l'alimentazione con biomasse operano generalmente con potenze elettriche nette dell'ordine di 10-20 MW e rendimenti dell'ordine del 25-28%. Rendimenti più elevati, confrontabili con quelli delle centrali termoelettriche a vapore alimentate con carbone (40-44%) potrebbero essere conseguiti solo con impianti di taglia molto più elevata (300-400 MW), di fatto improponibili in relazione alla pratica impossibilità di approvvigionamento delle biomasse entro raggi di raccolta ragionevoli. Laddove possibile, la soluzione ottimale per valorizzare al meglio tali biomasse è

rappresentata dall'utilizzo in centrali termoelettriche di grande taglia in sostituzione di una quota parte (5-10%) dei combustibili fossili convenzionali (carbone), in quanto garantisce vantaggi in termini economici, energetici e logistici.

Nell'ambito delle biomasse ligno-cellulosiche, non deve essere inoltre trascurata la possibilità di utilizzo diretto in impianti di riscaldamento di taglia medio-piccola. Negli impianti di minori dimensioni si impiegano di solito combustibili di migliore qualità e di maggiore comodità d'uso come il pellet, anche se caratterizzati da maggiori costi; viceversa negli impianti di taglia maggiore si preferisce utilizzare la biomassa cippata, solitamente prodotta dagli scarti di lavorazione del legno e dalla manutenzione dei boschi. Nel campo delle caldaie con potenza intermedia si utilizzano, a seconda dei casi sia il pellet sia il cippato, nonché anche legna in ciocchi, ovvero tronchetti in pezzatura commerciale di circa 30-40 cm.

Infine, un'altra importante filiera di conversione energetica delle biomasse è quella basata sull'impiego di reflui di tipo zootecnico e della frazione umida dei rifiuti solidi urbani per alimentare processi di digestione anaerobica con produzione di combustibili gassosi utilizzati poi per produrre energia elettrica e/o termica. Allo stato attuale, viste le potenze mediamente in gioco (20-500 kW) la produzione di energia elettrica e termica a partire da biogas può essere effettuata mediante motori alternativi a combustione interna oppure mediante micro-turbine a gas. Tali sistemi sono peraltro spesso integrati con una caldaia, anch'essa alimentata con biogas. I motori a combustione interna alimentati con biogas sono da tempo disponibili sul mercato e presentano rendimenti dell'ordine del 20-25% per potenze comprese fra 10-20 kW e del 35-40% per potenze di 400-500 kW. Inoltre, il recupero termico dell'acqua di raffreddamento del motore e dei gas di scarico consente a queste unità di operare in cogenerazione con rendimenti complessivi (elettrico+termico) dell'ordine dell'80-90%.

Nell'ambito di un panorama tecnologico così variegato, la scelta del processo di conversione più conveniente dipende pertanto essenzialmente dalla composizione delle biomasse (soprattutto in termini di contenuto di acqua, carbonio, azoto, cloro, zolfo e ceneri, nonché eventualmente zuccheri, amidi e oli), dalle loro proprietà fisiche (caratteristiche fisiche di notevole interesse sono il volume specifico e il potere calorifico) ma anche dalla loro disponibilità (la densità energetica territoriale è un parametro che influenza moltissimo la taglia dell'impianto e quindi anche la sua redditività). Ovviamente, come già anticipato, le valutazioni sulle migliori opzioni di filiera non possono basarsi esclusivamente su criteri di tipo economico, ma dovrebbero anche considerare gli aspetti ambientali (le minori emissioni inquinanti o di gas serra) ed energetici (la maggiore produzione di energia per unità di superficie coltivata o il maggiore rapporto fra output e input energetici).

La sostenibilità energetico-ambientale delle filiere agro-energetiche

Come già detto, le biomasse rappresentano una importante fonte energetica rinnovabile potenzialmente in grado di ridurre il consumo di combustibili fossili e quindi il relativo impatto ambientale, anche se l'effettiva sostenibilità energetica e ambientale deve essere attentamente valutata. In linea del tutto generale, come evidenziato in Figura 2, una generica filiera agro-energetica può essere pensata come disaggregata in 3 fasi principali: la coltivazione (o, nel caso di biomasse residuali, la loro raccolta), il trasporto fino allo stabilimento industriale e la successiva conversione in una forma direttamente impiegabile dall'utente finale (combustibili, energia elettrica, energia termica). Ciascuna fase presenta un proprio consumo energetico e richiede l'impiego di mezzi di produzione, ma produce anche residui ed emissioni inquinanti. Ovviamente, il consumo di energia o l'emissione di inquinanti non risulta necessariamente localizzato nei siti di produzione o di conversione delle biomasse (è il caso, per esempio, dei processi di produzione dei fertilizzanti, dei pesticidi, dei reagenti chimici, ecc.), ma deve comunque essere iscritto a carico

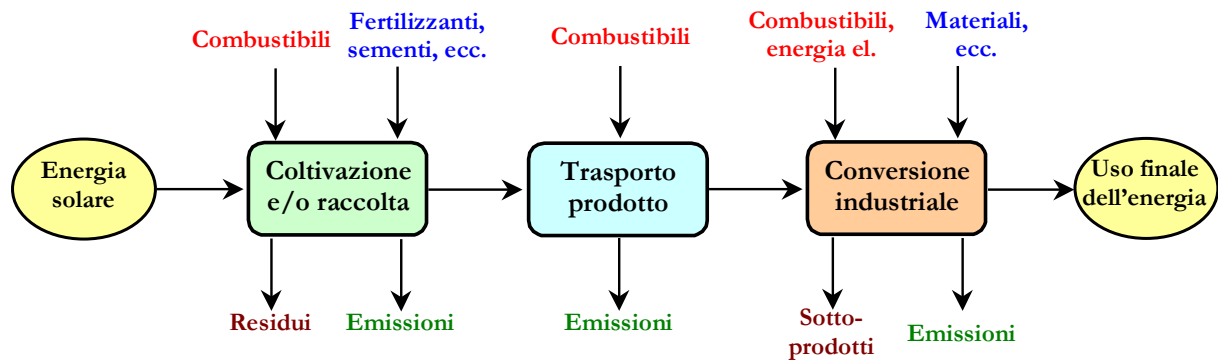


Figura 2 – Schematizzazione delle principali fasi di una filiera di conversione energetica basata sull'impiego di biomasse residue o da coltivazioni energetiche.

della filiera. In termini del tutto generali, nell'ambito di una determinata filiera occorre considerare le seguenti voci di input:

- i combustibili direttamente consumati dalle macchine agricole, dai mezzi di trasporto e dall'impianto di trasformazione dei prodotti agricoli, in ogni caso riportati sotto forma di energia primaria (ovvero includendo la spesa energetica per l'estrazione delle fonti primarie, il trasporto e la trasformazione in combustibili commerciali);
- l'energia elettrica direttamente consumata dagli impianti di pompaggio dell'acqua di irrigazione e dall'impianto di trasformazione dei prodotti agricoli (riportata come energia primaria utilizzata dalle centrali termoelettriche);
- l'energia primaria richiesta per produrre i fertilizzanti, le sementi, gli antiparassitari e gli altri eventuali mezzi di produzione (compresa l'energia consumata per produrre e installare i macchinari agricoli e industriali).

Analogamente, devono essere valutati i flussi energetici resi disponibili dalla filiera, rappresentati da:

- l'energia utile in uscita, equivalente all'energia primaria della fonte fossile sostituita (che pertanto include anche le perdite di estrazione, di trasporto e di conversione);
- il credito energetico degli eventuali residui e sotto-prodotti.

Poiché un bilancio energetico chiuso in attivo rappresenta l'irrinunciabile presupposto ai fini della effettiva sostenibilità della filiera, le considerazioni sviluppate nel seguito sono fondamentalmente incentrate sui soli aspetti energetici, essendo peraltro evidente come i consumi di energia presentino immediate ricadute dirette sul fronte ambientale (in particolare sulle emissioni inquinanti e di gas serra). In tal senso, nel prosieguo l'attenzione verrà focalizzata sull'analisi dei bilanci energetici delle principali filiere agro-energetiche proposte in Sardegna, effettuata sulla base di dati di letteratura, opportunamente mediati e adattati alla situazione locale.

Produzione di biodiesel da colza

Come anticipato, le colture più interessanti ai fini della produzione di biodiesel, specie per i paesi europei, sono il colza e il girasole. Per la Sardegna è stato considerato il colza soprattutto in virtù della possibilità di coltivazione in asciutto (in altre regioni italiane è stato invece ritenuto più interessante il girasole). Le rese medie per la Sardegna sono di circa 1,5-2,0 t/ha, contro una resa

media nei Paesi dell'Europa Centrale di circa 3-4 t/ha.

La Figura 3 riporta la sintesi del bilancio energetico della filiera, considerando una produzione media di 2,0 t/ha di semi di colza e un contenuto in olio del 42%. Dalla fase di estrazione si ottengono circa 800 kg/ha di olio grezzo che, raffinato e sottoposto a transesterificazione consente di ottenere circa 725 kg/ha di biodiesel, corrispondenti a circa 640 kg/ha di gasolio. Tenuto conto dei consumi legati alla produzione ed al trasporto del gasolio (che incidono per una quota pari a circa il 10% del suo contenuto energetico), la produzione di biodiesel comporta un risparmio di energia primaria di circa 30 GJ/ha. Il confronto fra l'energia utile della filiera (cioè il citato risparmio di energia primaria) e l'energia richiesta per la coltivazione (circa 12,5 GJ/ha, in gran parte dovuti alla produzione dei fertilizzanti ed al combustibile dei mezzi agricoli), il trasporto (0,2 GJ/ha) e la conversione (circa 5,9 GJ/ha, in parte forniti sotto forma di metanolo e in parte sotto forma di energia elettrica) evidenzia un rapporto output/input nell'intorno di 1,6. Attribuendo una valorizzazione energetica anche ai circa 1200 kg/ha di pannello proteico risultante dall'estrazione dell'olio (che può essere utilizzato nell'industria mangimistica) e ai circa 90 kg/ha di glicerina, sottoprodotto della transesterificazione, il rapporto output/input aumenta fino a circa 2,3. Il profilo energetico di questa filiera non appare pertanto particolarmente esaltante, soprattutto a causa del fatto che gran parte dell'energia della biomassa prodotta sul campo non viene utilizzata (l'energia utile del biodiesel è poco meno del 30% dell'energia della pianta intera).

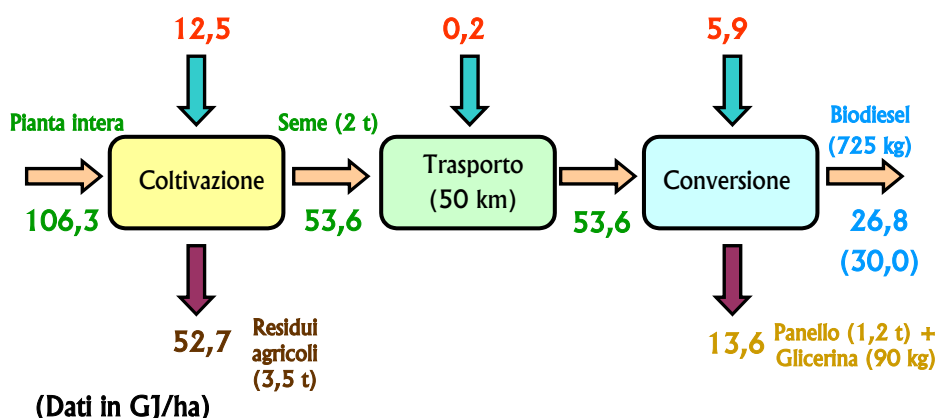


Figura 3 – Bilancio energetico della filiera di produzione del biodiesel da colza.

Dal momento che le paglie rappresentano circa la metà del contenuto energetico della pianta intera, il bilancio della filiera migliorerebbe notevolmente se si valorizzassero anche le paglie (per esempio mediante pressatura e trasporto ad un impianto di generazione elettrica, magari in co-combustione con carbone per evitare la costruzione di un nuovo impianto e beneficiare degli elevati rendimenti), portando il rapporto output/input a valori di poco superiori a 5,0. Sul fronte ambientale, pertanto, le emissioni specifiche di gas serra (CO_2 , N_2O , ecc.) derivanti dalla filiera non sono evidentemente nulle. In particolare, si può valutare un risparmio sulle emissioni di gas serra dell'ordine del 40% in termini di CO_2 equivalente nel caso di sola produzione di biodiesel e dell'ordine del 60% se si valorizzassero anche tutti i sottoprodotti della filiera. Ovviamente, il profilo energetico e ambientale di questa filiera può migliorare aumentando le rese e diminuendo i consumi. Tuttavia, appare difficile ipotizzare in Sardegna una resa media di molto superiore alle 2 t/ha sopra considerate (negli anni in cui è stata coltivata, le rese medie del colza in Sardegna sono state dell'ordine di 1,8 t/ha) anche utilizzando la brassica carinata, la quale però presenta maggiori difficoltà di collocazione del pannello nell'industria mangimistica.

Produzione di energia elettrica da colza

Tale filiera prevede l'utilizzo dell'olio vegetale grezzo ottenuto dalla spremitura dei semi di colza per alimentare un motore alternativo a combustione interna collegato ad un generatore elettrico oppure anche la caldaia di un impianto termoelettrico a vapore. La prima opzione è quella più facilmente percorribile, specie per impianti di potenza dell'ordine di qualche decina di MWe (il rendimento elettrico di un motore di derivazione marina è molto vicino infatti al 50% mentre quello di una centrale a vapore di questa potenza è circa la metà e può arrivare al 40% solo per potenze dell'ordine di alcune centinaia di MWe). La Figura 4 riporta la sintesi del bilancio energetico della filiera, considerando ancora una produzione media 2,0 t/ha di semi di colza, un contenuto in olio del 42% ed una produzione di circa 800 kg/ha di olio grezzo. Tale combustibile, alimentato ad un motore con rendimento del 47% consente di produrre circa 3580 kWh/ha di energia elettrica, equivalenti a circa 12,9 GJ/ha. Considerando un rendimento medio degli impianti termoelettrici italiani del 40%, tale produzione elettrica consente di risparmiare l'equivalente di 32,3 GJ/ha di energia primaria. Anche in virtù dei minori consumi energetici della fase di produzione dell'olio rispetto al biodiesel, il confronto fra l'energia utile (ovvero il risparmio di energia primaria) e quella consumata dalla filiera evidenzia in questo caso un rapporto output/input pari a circa 2,2. Valorizzando dal punto di vista energetico anche il pannello proteico, il rapporto output/input aumenta fino a circa 2,8. Ancora una volta, il profilo energetico della filiera migliorerebbe notevolmente nel caso di valorizzazione energetica delle paglie in co-combustione con carbone, con un rapporto output/input che può portarsi fino a valori anche superiori a 6,0.

Ovviamente, nel caso in cui l'olio di colza venga utilizzato per produrre energia elettrica in impianti caratterizzati da minore rendimento (come in motori di minore taglia o in centrali termoelettriche a vapore), il bilancio energetico subisce un progressivo peggioramento. Con un rendimento elettrico del 35%, il rapporto output/input si riduce a circa 1,6 (che diventa circa 2,2 nel caso di valorizzazione del pannello proteico). Nel complesso, pertanto, il profilo energetico della filiera di produzione dell'energia elettrica da colza risulta di poco migliore rispetto a quella di produzione del biodiesel. Pertanto, riguardo le emissioni di gas serra, valgono ancora sostanzialmente le considerazioni riportate a proposito della filiera di produzione del biodiesel.

Produzione di energia elettrica da biomasse erbacee

La produzione di energia elettrica avviene attraverso la combustione della biomassa in impianti a vapore con potenze dell'ordine di 10-20 MWe (essenzialmente per ragioni legate alla reperibilità di sufficienti quantitativi di combustibile), con rendimenti che, in accordo alla taglia, sono dell'ordine del 25%. Come detto, le specie vegetali più adatte a tale scopo sono quelle ricche

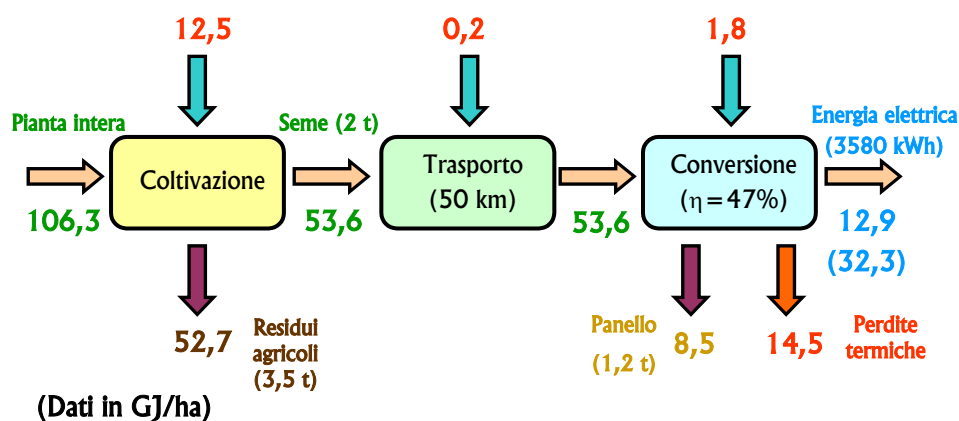


Figura 4 – Bilancio energetico della filiera di generazione elettrica da colza.

di lignina e di cellulosa, e sono pertanto riconducibili a specie annuali come il sorgo da fibra, il mais, il kenaf, specie perenni raccolte annualmente come il miscanto e la canna comune, e coltivazioni arboree a crescita rapida (Short Rotation Forestry, SRF) come il pioppo, la robinia, l'eucalipto e il salice. In relazione alle caratteristiche climatiche dei Paesi dell'Europa meridionale, risultano oggetto di notevole interesse il miscanto e il pioppo SRF, anche se i risultati ottenuti si possono facilmente estendere ad altre colture simili (canna comune e robinia, per esempio). Le produzioni annuali attese sono dell'ordine di 15-25 t/ha di sostanza secca, con umidità variabili dal 20-30% (raccolta invernale) fino al 60-70% (raccolta estiva).

La Figura 5 riporta una sintesi del bilancio energetico della filiera, considerando una produzione media annua di biomasse erbacee (miscanto, canna, ecc.) di 20 t/ha di sostanza secca e l'impiego in una centrale termoelettrica con rendimento del 25%. La centrale produce circa 24180 kWh/ha (equivalenti a circa 87 GJ/ha), per un risparmio di energia primaria corrispondente a circa 218 GJ/ha. In considerazione dei consumi di energia delle fasi di coltivazione e trasporto, il rapporto output/input in questo caso risulta pertanto circa pari a 9,2 in quanto, nonostante il modesto rendimento di conversione energetica, viene utilizzata tutta la biomassa prodotta sul campo. Anche le emissioni specifiche di CO₂ traggono vantaggio da tale migliore bilancio e possono essere stimate pari a circa il 10-15% di quelle derivanti dalla produzione di un analogo quantitativo di energia mediante i combustibili fossili. Ovviamente, il profilo energetico della filiera, e con esso le emissioni di CO₂, migliorerebbe ulteriormente se le biomasse venissero utilizzate in impianti a più elevato rendimento, per esempio in co-combustione con carbone nelle esistenti centrali termoelettriche (in tal modo si avrebbe peraltro anche il vantaggio di ridotti investimenti e di una maggiore flessibilità operativa).

Nel caso di utilizzo in co-combustione in centrali con rendimento medio del 40% il rapporto output/input risulterebbe pari a circa 14,7 con una produzione elettrica di circa 38700 kWh/ha. Ovviamente, il profilo energetico-ambientale della filiera migliora poi all'aumentare delle rese colturali (a titolo esemplificativo, con produzioni di sostanza secca dell'ordine di 30 t/ha, talvolta riscontrabili in letteratura, si otterrebbe un rapporto output/input di circa 14,0 anche con centrali a vapore minore rendimento).

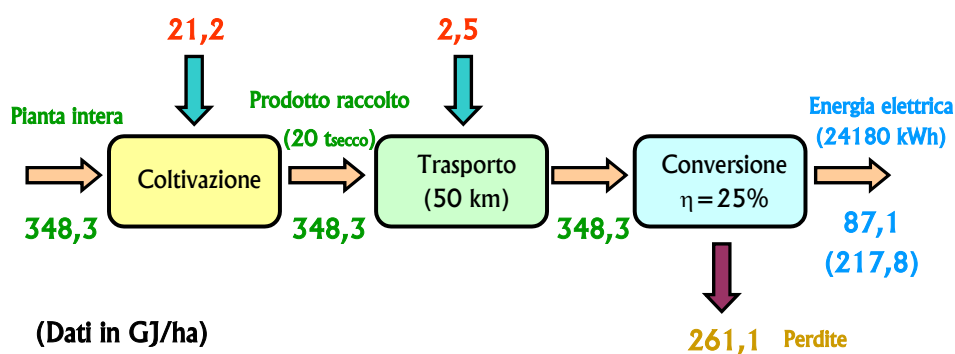


Figura 5 – Bilancio energetico della filiera di generazione elettrica da biomassa erbacea.

Osservazioni conclusive

L'analisi del profilo energetico delle principali filiere agro-energetiche consente di esprimere le seguenti osservazioni di sintesi:

- I bilanci energetici di filiera evidenziano i migliori risultati nel caso di produzione di energia elettrica da biomasse erbacee o arboree, con rapporti output/input nell'intorno di 8-10 ed emissioni specifiche di gas serra dell'ordine del 10-15% rispetto a quelle derivanti dai combustibili fossili. Rispetto alle filiere basate sulle oleaginose il vantaggio è dato da una maggiore produzione di biomassa e dalla conversione energetica di tutta la pianta.

Ovviamente, anche nei confronti di questa filiera permangono le criticità legate alla necessità di remunerare adeguatamente gli agricoltori, alla scelta di specie adatte al conteso locale (specie annuali come il kenaf o il sorgo da fibra, oppure anche poliennali ma meno invadenti rispetto alla canna potrebbero forse risultare più gradite agli agricoltori) ed alla necessità di non avere distanze troppo elevate tra il campo e la centrale. Nei riguardi di quest'ultimo aspetto, è il caso di osservare che una centrale a biomassa da 20 MWe richiede la disponibilità di circa 150000-200000 t/anno di biomasse, la cui coltivazione richiede una superficie di circa 8000-10000 ettari (che raddoppiano o triplicano se entrano in rotazione agraria), ragionevolmente localizzati in comprensori irrigui non troppo distanti dalla centrale.

- L'utilizzo del colza per produrre energia elettrica mediante motori a combustione interna di grande taglia appare di poco preferibile alla produzione di biodiesel. In questo caso possono pertanto risultare decisivi aspetti quali la remunerazione economica o la semplicità di implementazione industriale. A parità di altre condizioni, l'utilizzo dell'olio di colza in impianti caratterizzati da minore rendimento (impianti a vapore o motori a combustione interna di piccola taglia), non appare particolarmente attraente. Ovviamente, nel caso in cui tale olio risulti di importazione, la valutazione del bilancio energetico della filiera si complica e permangono perplessità circa la convenienza (sul fronte energetico-ambientale) ad approvvigionarsi da località così lontane come quelle da cui proviene l'olio di palma (Indonesia e Malesia, soprattutto) e senza il controllo diretto della filiera. Peraltro, in quest'ultimo caso, le ricadute sul sistema agricolo regionale sono nulle e anche la convenienza economica a lungo termine deve essere attentamente valutata alla luce dei recenti aumenti dei prezzi dell'olio di palma sui mercati internazionali. Nel complesso, le considerazioni sopra riportate a proposito del colza si potrebbero estendere, con risultati non molto diversi, anche ad una eventuale filiera basata sulla coltivazione del girasole.
- In merito poi ad una eventuale filiera di produzione dell'etanolo da coltivazioni agricole (inizialmente ipotizzata nel Piano Energetico Ambientale della Sardegna, ma per la quale non risultano allo stato attuale ipotesi progettuali), si può osservare che valutazioni energetiche condotte sulla falsariga di quelle sopra riportate, evidenziano la non convenienza all'impiego della barbabietola da zucchero (il rapporto energetico output/input si chiude in sostanziale pareggio), mentre potrebbe essere interessante l'implementazione di una filiera basata sulla coltivazione del sorgo zuccherino. Quest'ultima è una coltura simile alla canna da zucchero ma più adatta ai climi temperati dell'Europa meridionale, che grazie al pieno sfruttamento energetico di tutta la biomassa prodotta sul campo (una volta spremuto, lo stelo viene utilizzato per produrre in loco i grandi quantitativi di energia elettrica e termica richiesti per la produzione dell'etanolo) potrebbe consentire rapporti output/input dell'ordine di 5.
- Infine, in linea del tutto generale, appare opportuno ribadire che la tipica natura dispersa sul territorio delle biomasse (particolarmente di quelle residuali) ne fa preferire un impiego locale su filiera "corta". In particolare, ciò può essere per esempio realizzato mediante la produzione di pellets o di cippato di legno da coltivazioni energetiche (o anche da biomasse residuali) per alimentare gli impianti di riscaldamento di utenze come scuole, piscine, edifici pubblici, ecc. localizzate nello stesso comprensorio. In questo caso l'agricoltore potrebbe addirittura fornire il "servizio calore" alle utenze e non limitarsi semplicemente a vendere la biomassa. È infatti evidente che risulta senz'altro più facile incontrare condizioni di convenienza economica in tali contesti, dal momento che il combustibile fossile sostituito dalla biomassa viene venduto ai massimi prezzi di mercato (gasolio e GPL).