



ENAMA

ENTE NAZIONALE PER LA
MECCANIZZAZIONE AGRICOLA

PARTE 1

BIOMASSE ED ENERGIA

CAPITOLO 1

CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE BIOMASSE E DEI BIOCOMBUSTIBILI



MINISTERO
DELLE POLITICHE AGRICOLE
ALIMENTARI E FORESTALI



Associazione Nazionale dei Consorzi Agrari



Confederazione Italiana Agricoltori



COLDIRETTI



UNACOMA



Federazione Nazionale Costruttori
Macchine per l'Agricoltura



Il presente Studio, redatto nell'ambito del Progetto Biomasse Enama e finanziato dal Mipaaf, è stato coordinato dalla Commissione tecnica biomasse Enama costituita da:

Assocap - *Marco Mancini*

Cia - *Marino Berton*

Coldiretti - *Luca D'Apote*

Confagricoltura - *Donato Rotundo e Roberta Papili*

Cra-Ing - *Luigi Pari*

Enama - *Sandro Liberatori e Stefano D'Andrea*

Unacma - *Enrico Cini e Lucia Recchia*

Unacoma - *Marco Acerbi e Matteo Monni*

Unima - *Roberto Guidotti*



Hanno collaborato alla realizzazione:

Vincenzo Alfano

Francesco Berno

Alessandro Bon

David Chiamonti

Anna Dalla Marta

Valter Francescato

Francesco Gallucci

Natalia Gusmerotti

Walter Merzagora

Daniela Migliari

Vincenzo Motola

Massimo Negrin

Simone Orlandini

Francesca Orlando

Annalisa Paniz

David Pentassuglio

Denis Picco

Vito Pignatelli

Maria Adele Prosperoni

Fabio Ricci

Raffaele Spinelli

Filippo Stirpe

Debora Visentin

Presentazione

Il presente lavoro rientra tra le attività di divulgazione previste dal Progetto Biomasse Enama realizzato con il contributo del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali D.M. n°11077 del 19 Dicembre 2008.

Lo scopo è quello di presentare un inquadramento generale sullo stato dell'arte di quanto è stato finora realizzato nell'ambito delle diverse filiere agro-energetiche nazionali, fornendo agli operatori del settore strumenti ed informazioni necessari all'auspicato sviluppo di tali filiere.

L'opera è stata resa possibile grazie al contributo ed alla condivisione dei contenuti da parte di tutti i Soci di Enama in rappresentanza dell'intera filiera, a partire dal mondo della ricerca, dell'industria e del commercio fino alle aziende attive sul territorio.

Esperti dei diversi settori hanno, quindi, fattivamente partecipato alla raccolta ed alla elaborazione dei dati nell'ambito della "Commissione Biomasse Enama" appositamente costituita.

Lo studio, che si presenta come un rapporto esaustivo e ben articolato, si sviluppa in due parti: la prima, definita "Biomasse ed Energia", riporta le caratteristiche tecniche e le disponibilità delle biomasse e dei biocombustibili, il censimento degli impianti presenti sul territorio nazionale, il quadro normativo ed una panoramica sui processi e le tecnologie attualmente disponibili.

La seconda parte, definita "Filiera e sostenibilità", contiene le informazioni sui contratti agro-energetici per la filiera corta, oltre agli accordi quadro e le intese per le filiere agroindustriali. Completa lo studio un capitolo sulla sostenibilità, la tracciabilità e le certificazioni degli impianti a biomasse.

La presente prima versione dello studio contiene dati ed informazioni che si riferiscono al giugno del 2011 e pertanto alcuni aspetti (normativo e censimento) in continua evoluzione saranno oggetto di aggiornamenti che verranno riportati in successive versioni.

Sandro Liberatori
Direttore ENAMA

Massimo Goldoni
Presidente ENAMA

Sommario

1.1 Introduzione	3
1.2 Settori di provenienza delle biomasse	3
1.3 Biomasse residuali	3
1.3.1 Agricoltura	7
1.3.2 Residui forestali	22
1.3.3 Zootecnia (effluenti zootecnici)	26
1.3.4 Industria del legno (residui della prima e seconda lavorazione)	41
1.4. Biomasse da colture dedicate	43
1.4.1. Colture ligno-cellulosiche	43
1.4.2 Colture zuccherino-amidacee	68
1.4.3 Colture oleaginose	76
1.5 Biocombustibili	84
1.5.1 Biocombustibili solidi	85
1.5.2 Biocombustibili liquidi	98
1.5.3 Biocombustibili gassosi	104
1.6 Componente biodegradabile dei sottoprodotti per le filiere energetiche	106
1.6.1 Sottoprodotti agroindustriali	106
1.6.2 Sottoprodotti urbani	114
1.7 Conclusioni	115
Riferimenti bibliografici e fonti informative	116

1.1 Introduzione

Le biomasse provenienti dal comparto agricolo possono essere estremamente differenti dal punto di vista chimico-fisico. Le loro caratteristiche hanno un notevole peso sulla scelta del tipo di processo di trasformazione, sulle specifiche tecnologiche dell'impianto e sulle problematiche che si possono avere in varie fasi della filiera. Il presente capitolo ha l'obiettivo di fornire un analitico inquadramento da un punto di vista produttivo, merceologico e delle proprietà intrinseche delle biomasse utilizzabili per la produzione energetica.

1.2 Settori di provenienza delle biomasse

Le biomasse ad uso energetico possono provenire dal settore agricolo, forestale, zootecnico o dall'industria agroalimentare e di lavorazione del legno.

In particolare le biomasse sono costituite dai residui delle coltivazioni agricole e forestali, dagli effluenti zootecnici, dai residui dell'agroindustria e dell'industria di prima e seconda lavorazione del legno. Inoltre le biomasse possono essere specificatamente prodotte mediante colture e sistemi colturali, tradizionali o innovativi, la cui finalità è quella energetica.

Le biomasse residuali derivanti da coltivazioni, selvicoltura, zootecnia e industria del legno, sono presenti in grande quantità sul nostro territorio, le loro caratteristiche dipendono dal prodotto principale da cui si originano e la loro disponibilità è direttamente collegata alla produzione agricola nazionale, che a sua volta è influenzata dalla Politica Agricola Comunitaria.

Le colture dedicate sono specifiche coltivazioni, destinate all'impiego energetico, che allo stato attuale possono essere ricondotte a colture per la produzione di biocarburanti (oleaginose per produzione di olio vegetale puro o amidacee per la produzione di bioetanolo) di biogas o per la produzione di biomasse lignocellulosiche per la combustione (colture annuali o poliennali e short rotation forestry), che in alcuni casi mantengono gli stessi principi agronomici e selvicolturali delle colture tradizionali mentre in altri differiscono per le varietà, le cure colturali e le metodologie di raccolta.

Un'ultima importante categoria è, infine, rappresentata dall'industria di trasformazione che, basti pensare alle sanse e alle vinacce, ha un grande potenziale di produzione di biomasse residuali.

1.3 Biomasse residuali

Le biomasse residuali sono costituite da tutta una serie di materiali vegetali trattati meccanicamente che si originano dalle normali produzioni agricole. In Tabella 1.2 sono sinteticamente indicati, per ogni coltura, le principali tipologie di residuo. Queste possono essere di un solo tipo (es. paglia per il frumento) o di diverso tipo (es. stocchi e tutoli per il mais) ciò a seconda di diversi fattori come ad esempio la destinazione della coltura.

Le biomasse residuali per la produzione energetica possono derivare dall'attività forestale, agricola di coltivazione e allevamento e, indirettamente, dalle successive attività di manipolazione, commercializzazione e trasformazione. Per sua natura la biomassa è una risorsa distribuita sul territorio; parte di questa risorsa è in qualche modo già "disponibile" in quanto costituita da residui di vario tipo dell'attività primaria e secondaria. Per gran parte delle biomasse

residuali sussistono, a oggi, problematiche relative all'ottimizzazione del ciclo produttivo, alla logistica (raccolta, trasporto, stoccaggio, ecc.) e ai processi avanzati di conversione energetica, oltre ad una attenta valutazione dell'impatto ambientale e agronomico legato al loro impiego energetico.

Tab. 1.1. Schema di classificazione dei biocombustibili proposto dalla FAO

GRUPPI PRINCIPALI	ASPETTI PRODUZIONE/OFFERTA	ASPETTI UTILIZZAZIONE/DOMANDA
Biocombustibili forestali	<ul style="list-style-type: none"> • legnosi diretti • legnosi indiretti • legnosi di recupero • altri derivati dal legno 	<ul style="list-style-type: none"> • Solidi: legna (legna da ardere, cippato, segatura, pellets), carbone di legna • Liquidi: "black liquor", metanolo, olio da pirolisi • Gassosi: prodotti di gassificazione e gas da pirolisi
Biocombustibili agricoli	<ul style="list-style-type: none"> • Colture da energia • Sottoprodotti agricoli • Sottoprodotti da allevamento • Sottoprodotti agro-industriali 	<ul style="list-style-type: none"> • Solidi: paglie, stocchi, gusci, bagasse, carbone da biocombustibili agricoli • Liquidi: etanolo, metanolo, oli vegetali, biodiesel, olio da pirolisi da biocombustibili agricoli • Gassosi: biogas, gas da pirolisi da biocombustibili agricoli
Rifiuti urbani	<ul style="list-style-type: none"> • Frazione organica dei rifiuti urbani 	<ul style="list-style-type: none"> • Solidi: rifiuti solidi urbani • Liquidi: olio da pirolisi da RSU • Gassosi: biogas da discarica

La raccolta, la trasformazione e il conferimento

Per l'avvio di filiere agro energetiche non è sufficiente avere la disponibilità di biomassa anche se a costo zero ma occorre tenere in considerazione alcuni aspetti legati alla filiera quali: la raccolta dai luoghi di origine, la trasformazione nei prodotti utili per la valorizzazione energetica e il conferimento nel luogo dell'utilizzazione finale. Queste fasi della filiera presentano dei costi e a volte delle difficoltà tecniche tali da non consentire l'avvio di valide iniziative, per cui è necessario valutarli preventivamente con molta attenzione.

Raccolta e trasformazione

La raccolta e la trasformazione dei residui dell'agricoltura si distingue a seconda se si è in presenza di residui provenienti dalle colture erbacee o da quelle arboree. Per i primi i processi di raccolta e trasformazione vengono effettuati con sistemi e macchine già ampiamente disponibili in agricoltura: mietitrebbie, raccogliballatrici, ecc. con modelli di varia potenza e dimensione; per la raccolta dei residui dell'arboricoltura, invece, sono state sviluppate dai costruttori nuove macchine agricole in grado di raccogliere, imballare e/o tritare il materiale legnoso risultante dalla potatura o dagli espanti. Il cantiere tipo per il recupero delle potature è studiato appositamente in quanto questa tipologia di biomasse è molto meno concentrata ed è disponibile durante tutti gli anni di durata dell'arboreto. A livello logistico per il recupero delle potature si possono utilizzare due diverse metodologie: la raccolta e cippatura, oppure l'imballatura. Nel primo caso, il materiale può essere concentrato in capezzagna con un trattore munito di lama frontale, e quindi sminuzzato con un tritatore. Esistono anche macchine che effettuano il lavoro in un solo passaggio, in pratica trinciasarmenti modificate attraverso l'applicazione di un cassone ove convogliare il trinciato. Queste macchine sono disponibili

in diverse versioni, e si distinguono in modelli leggeri e modelli industriali, i secondi molto più pesanti e costosi, ma anche molto più produttivi ed operativi in presenza di ramaglie con pezzature maggiori. In alternativa nei vigneti si possono usare imballatrici di vario tipo, capaci di confezionare balle di varia forma e dimensioni: rispetto al trinciato, le balle si conservano meglio ma implicano una doppia lavorazione, perché il materiale deve essere comunque trinciato prima dell'avvio in caldaia.

I boschi rappresentano un caso molto più complesso per la raccolta e la trasformazione, perché presentano condizioni di lavoro estremamente variabili, e oltretutto offrono assortimenti diversi – legna da ardere e cippato – con caratteristiche e prezzi molto differenti. Nell'ottica di un approvvigionamento del legno da energia, possiamo suddividere i boschi in due grandi categorie: quelli che producono solamente legno da energia e quelli che producono altri prodotti e da cui si può ricavare biomassa ad uso energetico sfruttando gli scarti di lavorazione.

Alla prima categoria appartengono i boschi giovani, soprattutto i cedui e le giovani piantagioni, che una corretta gestione forestale impone di diradare al fine di garantire uno sviluppo ottimale ed una migliore resistenza alle avversità. L'intervento può essere effettuato con diversi sistemi, a seconda delle condizioni operative. Il sistema del legno corto prevede l'abbattimento delle piante, il loro allestimento in tronchetti e il successivo esbosco dei tronchetti fino ad una strada camionabile. Il lavoro può essere effettuato con metodi manuali o meccanici, optando nel primo caso per motoseghe e trattori e nel secondo per harvester (macchina dotata di testate che taglia, srama e seziona le piante) e forwarder (macchina per il trasporto del legname). In alternativa si può applicare il sistema della pianta intera che prevede di posticipare l'allestimento in tronchetti fino alla strada camionabile, e quindi implica l'esbosco di piante intere. Anche qui il lavoro può eseguirsi secondo diversi livelli di meccanizzazione, che nel caso più sviluppato prevedono l'uso di feller (abbattitrice) e skidder (slitta meccanica). A questo proposito, occorre ricordare che la meccanizzazione integrale è disponibile in diverse taglie, e non è obbligatoriamente basata su attrezzature grosse e pesanti. Esistono mini-abbattitrici e mini-processori che traducono i dettami della migliore tecnologia scandinava o nordamericana in attrezzature leggere ed economiche, dove peso e costo sono ridotti a meno della metà rispetto a quelli dei modelli commerciali sviluppati per altri contesti orografici.

Nei boschi di maggior valore, quelli sfruttati per la produzione di legname da opera, è sempre possibile ricavare della biomassa energetica attraverso il recupero dei residui, soprattutto ramaglie e cimali, che spesso rappresentano una quota cospicua del volume abbattuto. In genere il lavoro è effettuato in due passaggi: nel primo si abbattano le piante e si allestiscono i tronchi da lavoro, che immediatamente vengono esboscati; nel secondo si recuperano le ramaglie ed i cimali, che erano rimasti sul terreno. Questo secondo passaggio generalmente prevede la cippatura, che può essere effettuata direttamente in campo, oppure all'imposto. La cippatura in campo richiede l'impiego di una cippatrice semovente, che può essere dotata di un cassone incorporato in cui raccogliere il cippato, oppure affiancata da un trattore che traina un rimorchio cassonato a sponde alte. Quando il cassone è pieno, la macchina ritorna all'imposto e lo svuota a terra, o in un container scarrabile. La sequenza inversa si osserva quando invece sono le ramaglie ad essere caricate su un cassone e portate all'imposto, dove saranno cippate e caricate direttamente su autocarro. Una terza opportunità è rappresentata dall'imballatura dei residui, che consiste nel comprimere e legare le ramaglie in modo da formare pacchi cilindrici, simili ai tronchi per forma e dimensione. Questo consente di movimentare il residuo con le stesse macchine impiegate per movimentare i tronchi, evitando la duplicazione delle attrezzature.

Il recupero dei residui può anche essere effettuato in un solo passaggio, esboscando le piante intere e lavorandole all'imposto: qui vengono separati il legname da industria ed il residuo ad

uso energetico – il primo caricato sui camion ed inviato in fabbrica, ed il secondo cippato e portato in centrale. La raccolta integrata consente notevoli economie, e spesso è l'unico modo per recuperare il residuo nei boschi di montagna, dove l'esbosco separato di rami e cimali sarebbe operativamente troppo laborioso, e in ultima analisi del tutto antieconomico. Questo sistema di lavoro, molto diffuso nell'arco alpino, consente di meccanizzare l'allestimento attraverso l'impiego del processore. In questo modo, il costo di raccolta del legname da industria viene ridotto di oltre il 30 %, e in più si riesce a recuperare una buona quantità di biomassa da cui trarre un introito aggiuntivo.

Il recupero, la raccolta e il conferimento degli effluenti zootecnici viene solitamente effettuato all'interno dell'azienda con sistemi e tecnologie legati alla gestione ottimale del benessere degli animali. Per cui a seconda della tipologia di specie allevata, della dimensione, del tipo di allevamento, da carne o da latte, possono essere previsti sistemi automatizzati che dalle stalle convogliano gli effluenti verso il processo di digestione anaerobica.

Caso a parte è la raccolta di biomassa da colture dedicate lignocellulosiche di pioppo e robinia. Per raccogliere queste colture esistono due sistemi distinti. Uno prevede che la biomassa venga tagliata, raccolta e sminuzzata in una successione continua: l'intera operazione è effettuata da una sola macchina, ed il materiale è scaricato su un carro a bordo campo già in forma di cippato. L'altro sistema invece si basa sulla separazione delle fasi di taglio, raccolta e sminuzzatura, che possono essere effettuate anche con attrezzature diverse ed in tempi distinti. Il primo sistema è generalmente più produttivo e più semplice sotto il profilo organizzativo, ma ha una scarsa flessibilità operativa e può richiedere attrezzature piuttosto ingombranti. Il secondo sistema è più flessibile, consente un parziale ricorso ad attrezzature convenzionali e soprattutto permette di dilazionare la sminuzzatura fino a che l'umidità dei fusti non sia scesa a livelli ottimali. In Italia esistono ormai conoscenze e attrezzature per entrambi i sistemi, anche se attualmente il metodo più diffuso è quello della raccolta in un solo passaggio, effettuata con falciatrici-caricatrici di grossa potenza. Queste sono equipaggiate con speciali testate, e raggiungono una produttività oraria anche superiore alle 40 tonnellate ad ora. Esistono anche trinciatrici applicabili a trattori agricoli (testate di raccolta), ma le prestazioni e l'affidabilità di queste attrezzature sono molto inferiori a quelle delle falciatrici-caricatrici semoventi.

Il recupero degli scarti industriali è il più semplice, perché richiede unicamente la sminuzzatura ed il trasporto alla centrale. Le due operazioni possono avvenire anche nell'ordine inverso, ossia trasportando il legname all'impianto di conversione energetica per poi sminuzzarlo. In molti casi la sminuzzatura avviene in apposite piattaforme di lavorazione, per cui il materiale viene trasportato due volte: in forma sfusa dal sito di origine alla piattaforma e come cippato dalla piattaforma all'impianto di valorizzazione. Independentemente dal luogo in cui avviene, la lavorazione principale è sempre la stessa e consiste nella sminuzzatura, effettuata impiegando una cippatrice o un trituratore. La principale differenza tra le due macchine operatrici è l'organo sminuzzatore, che nel caso delle cippatrici è costituito da lame affilate (coltelli) mentre nei trituratori ci sono attrezzi smussati non taglienti (martelli). Tra le due opzioni, le cippatrici offrono un prodotto di migliore qualità e consumano meno energia: d'altra parte le loro lame sono molto sensibili al contatto con pietre, metalli e particelle di terreno, e se il legname da sminuzzare contiene questi elementi, è meglio usare un trituratore, nonostante la qualità inferiore del prodotto.

In conclusione, il settore risulta vasto e articolato e offre opportunità molto interessanti per chi opera in agricoltura e forestazione, come ad esempio le imprese agromeccaniche, che si stanno sempre più proponendo sul mercato per offrire interventi per la raccolta e la trasformazione in campo delle biomasse agricole e forestali. La sua complessità solo apparente deriva dalla non conoscenza.

Conferimento

Il trasporto delle biomasse o dei “biocombustibili finali” all’impianto di conversione energetica pone delle criticità per il contenimento dei costi di approvvigionamento e di emissioni di CO₂ fossile in atmosfera. Per questi motivi è sempre opportuno fare ricorso a mezzi efficienti e stabilire un corretto rapporto tra il quantitativo di biomassa trasportata e la distanza di percorrenza. Un eccesso di emissioni di CO₂ dovuti a trasporti mal gestiti andrebbe infatti ad influire negativamente sul bilancio emissivo in gas serra legato alla produzione di energia da queste fonti rinnovabili.

L’influenza è comunque trascurabile se le distanze percorse sono brevi, o se eventuali grandi distanze sono percorse trasportando grandi quantitativi di biomassa (trasporto su navi). È stato calcolato che anche prolungati trasporti su gomma (fino a 1.000 km), per autoarticolati ed autotreni da 27 t, incidono in negativo, sul bilancio della CO₂, per non più del 10%.

Dal punto di vista dei costi ambientali del trasporto, si stima che autocarri leggeri adatti a trasporti di biomassa in ambito locale (3,5 t lorde, 1,5 t nette) hanno un consumo medio di carburante pari a circa 0,125 l/km, corrispondente ad un’emissione di CO₂ fossile pari a 0,33 kg/km, il che equivale a 0,22 kg/km di CO₂ per ogni tonnellata di biomassa trasportata.

Nel caso di un autotreno (40 t lorde, 27 t nette) il consumo unitario di carburante è 0,42 l/km, corrispondente ad una emissione di CO₂ fossile pari a 1 kg/km, il che equivale a 0,037 kg/km di CO₂ per ogni tonnellata di biomassa trasportata.

Da questo deriva che, a livello di consumi di gasolio e di emissioni di CO₂, 50 km su autocarro da 3,5 t equivalgono a 300 km su autotreno da 27 t.

D’altra parte si può desumere che, prima di portare a zero il beneficio delle emissioni di CO₂ legato alle biomasse trasportate, un autocarro da 1,5 t potrebbe viaggiare per circa 5.500 km, mentre un autotreno da 27 t potrebbe viaggiare per circa 36.000 km. Se si svolge lo stesso ragionamento per i trasporti via mare, il beneficio in termini di risparmio di combustibili fossili e di ridotte immissioni di CO₂ fossile in atmosfera è ulteriormente esaltato, fermo restando che le biomasse andrebbero comunque trasportate al porto di partenza e ritirate da quello di arrivo.

Con quanto detto non si vogliono certo incoraggiare trasporti transoceanici o su lunghe distanze, ma s’intende solo sottolineare che anche nelle cosiddette filiere “corte”, l’efficienza del sistema di approvvigionamento va comunque ben valutato in quanto può incidere fortemente sulla sostenibilità ambientale dell’intera filiera.

1.3.1 Agricoltura

Attualmente, tra le biomasse destinabili ad uso energetico, la maggior disponibilità è rappresentata dai residui di alcune specifiche colture alimentari agricole. Tali biomasse sono costituite da tutte quelle parti della pianta che non sono indirizzate all’utilizzo primario, generalmente per usi alimentari.

I residui agricoli sono in genere costituiti dalle strutture di supporto, produzione e protezione della pianta. I residui si originano dalle operazioni svolte alla fine del ciclo colturale per le colture annuali (taglio, raccolta, ecc.) o dalle operazioni effettuate con varia periodicità sulle colture poliennali (potatura ed espianto).

Le parti utilizzabili per la trasformazione energetica possono essere raccolti direttamente in campo come gli steli dei cereali (frumento, mais, riso, ecc.), tutoli del mais e delle colture industriali (girasole, tabacco), dalla lavorazione del prodotto (i raspi dell’uva, le brattee, la lolla di riso, le glume e le glumette) o dai rami e i tronchi derivati da potature ed espianti a fine ciclo colturale delle piante da frutto.

Non sono considerati utili per la trasformazione energetica quei residui non recuperabili per motivi tecnici (radici, materiale fine, foglie), per motivi economici o chimico-fisici (non idonei a processi di trasformazione energetica).

Le quantità di residui colturali annualmente recuperabili dipendono da numerosi fattori tra cui si segnalano: le superfici coltivate, la produttività delle colture, le modalità di raccolta e le condizioni di operatività.

Inoltre sulla disponibilità influiscono anche la stagionalità della raccolta e la possibilità di stoccaggio del sottoprodotto. In linea di massima una buona e studiata organizzazione aziendale consente quasi sempre un utilizzo alternativo del sottoprodotto.

I residui colturali hanno delle caratteristiche intrinseche che li rendono diversi sia dai prodotti principali da cui derivano sia da eventuali co-prodotti, le principali differenze riguardano:

- composizione della sostanza secca;
- contenuto di acqua al momento della raccolta;
- massa volumica apparente;
- potere calorifico inferiore (PCI);
- contenuto di ceneri ed altri minerali.

Nel seguito, tenendo conto delle finalità dello studio, nonché dell'esperienza consolidata, sono state escluse dalla trattazione quelle biomasse vegetali che, a causa della loro composizione, difficoltà di raccolta, o delle loro basse produttività per ettaro di residuo, non determinano un adeguato interesse pratico all'utilizzazione come risorse destinabili alla produzione di energia.

Le biomasse residuali prese in considerazione possono essere suddivise in 2 categorie: le erbacee e le legnose, come illustrato in tabella 1.2.

Tab. 1.2. Tipologie di scarti delle colture agricole

TIPOLOGIA DI BIOMASSE

Erbacee		Legnose	
Coltura	Residuo	Coltura	Residuo
Frumento tenero e duro	Paglia	Vite	Sarmenti
Segale	Paglia	Olivo	Legna e rami
Orzo	Paglia	Melo	Legna e rami
Avena	Paglia	Pero	Legna e rami
Riso	Paglia	Pesco	Legna e rami
Mais	Stocchi e Tutoli	Agrumi	Legna e rami
Girasole	Stocchi	Mandorlo	Legna e rami
		Nocciolo	Legna e rami
		Albicocco	Legna e rami
		Actinidia (kiwi)	Potature

I residui agricoli illustrati nella tabella trovano, in alcuni casi, impiego all'interno dell'azienda stessa per vari utilizzi o entrano in qualche mercato locale; tra quelli considerati solo la paglia di cereali ha un mercato di maggiore dimensione e significatività. Nella tabella 1.3 sono mostrate le principali destinazioni dei residui considerati nella presente indagine.

Tab. 1.3. Attuale destinazione dei residui delle principali colture arboree ed erbacee

Coltura	Residuo	Utilizzo	Percentuale di utilizzo/inutilizzo
Frumento tenero e duro	Paglia	<ul style="list-style-type: none"> • Lettieria per ricovero animali • Alimentazione animale • Industria cartaria e varie • Bruciata in campo 	40-50 % 5-10 % 5-10 % 30-50 %
Orzo	Paglia	<ul style="list-style-type: none"> • Lettieria per ricovero animali • Bruciata in campo 	40-50 % 50-60 %
Avena	Paglia	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentazione animale • Bruciata in campo 	40-60 % 40-60 %
Riso	Paglia	<ul style="list-style-type: none"> • Lettieria per ricovero animali • Bruciata in campo 	20-30 % 70-80 %
Mais da granella	Stocchi (steli); Tutoli (assi delle spighe)	<ul style="list-style-type: none"> • Lettieria per ricovero animali (stocchi) • Alimentazione animale (stocchi) • Interramento (tutoli) 	40-50 % 10-20 % 70-80 %
Barbabietola da zucchero	Foglie	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentazione animale • Interramento 	10-20 % 90-80 %
Tabacco	Steli	<ul style="list-style-type: none"> • Interramento 	100 %
Girasole	Steli	<ul style="list-style-type: none"> • Interramento 	100 %
Vite da vino e da tavola	Sarmenti (rami)	<ul style="list-style-type: none"> • Interramento • Bruciati a bordo campo • Fascine da ardere 	30-40 % 30-40 % 20-40 %
Olivo	Legna, rami, frasche	<ul style="list-style-type: none"> • Energia (legna) • Bruciati in campo (rami) 	90-100 % 90-100 %
Fruttiferi (melo, pero, pesco, ecc.)	Rami	<ul style="list-style-type: none"> • Interrati (solo in pianura) • Bruciati in campo 	10-20 % 80-90 %
Agrumi (arancio, limone, ecc.)	Rami	<ul style="list-style-type: none"> • Bruciati in campo 	90-100 %
Fruttiferi a guscio (mandorlo, nocciolo, noce)	Rami	<ul style="list-style-type: none"> • Bruciati in campo 	90-100 %

Attualmente occorre tenere presente che la convenienza alla valorizzazione energetica di molti sottoprodotti agricoli, forestali e residui d'operazioni agroindustriali va confrontata anche con l'impoverimento di sostanza organica che i suoli possono subire per l'eccessive asportazioni operate. Quest'aspetto ha la sua maggiore valenza per i residui delle coltivazioni erbacee dove spesso l'interramento costituisce una fonte di fertilità chimica, fisica e biologica per il terreno agricolo.

Le analisi sulle potenzialità economiche d'utilizzo dei residui non possono tralasciare il fattore meccanizzazione delle operazioni di raccolta, carico, trasporto, scarico e immagazzinamento, che variano a seconda del tipo di materiale, dimensione dell'impresa e destinazione della materia prima. Tuttavia oggi, se esistono semplici adattamenti delle macchine operatrici del comparto agricolo per certi tipi di residui agricoli, in altri casi il recupero degli stessi si presenta più difficoltoso e richiede soluzioni innovative che comunque i costruttori di macchine si stanno impegnando a trovare. In teoria sono recuperabili in Italia materiali nell'85% delle aree investite a colture erbacee e praticamente l'intera superficie a colture legnose. Si deve, inoltre, considerare che pur esistendo idonee soluzioni meccaniche, non tutte le superfici si prestano alle operazioni di recupero a causa di anormali condizioni strutturali (eccessiva polverizzazione fondiaria e frammentazione delle aziende agrarie), per elevate distanze fra gli appezzamenti ed i centri di utilizzazione o per la rilevante pendenza dei terreni. La meccanizzazione è fattore incidente sulla formazione dei costi di produzione

e tale incidenza può ulteriormente pesare quando le macchine, scelte ed introdotte senza tener conto delle effettive esigenze, vengano impiegate in modo poco razionale. L'ottimizzazione della meccanizzazione e della conseguente logistica della movimentazione, quindi, si pongono come presupposti di base per la scelta di un qualsiasi componente del parco macchine aziendale al fine di non vanificare la convenienza economica del recupero oltre l'esecuzione delle operazioni con la maggior sicurezza possibile. Un esempio di facile riutilizzo di macchine è quello delle raccogliballatrici utilizzate per i foraggi affienati, il cui uso può estendersi alla raccolta di paglie, stocchi di mais o sarmenti di vite, aumentandone l'impiego e riducendone i costi di esercizio.

Il limite principale alla diffusione delle bioenergie è il prezzo di mercato dei combustibili fossili, che ancora rende poco competitiva qualsiasi altra fonte di energia (ma che tendenzialmente cresce), tuttavia questa mancanza di competitività è legata anche all'attuale sistema dei prezzi, che non tiene conto delle esternalità e dei costi sociali connessi allo sfruttamento delle risorse fossili (danni alla salute pubblica, degrado dei monumenti, cambiamento climatico, fuoriuscite di greggio, ecc.). Inoltre, bisogna considerare che tali tecnologie, dato il loro carattere innovativo e l'attuale limitata diffusione, non sono ancora in grado di beneficiare di economie di scala. Va tuttavia sottolineato che il maggior costo di produzione delle bioenergie è spesso legato anche ad un maggior numero di posti di lavoro creati a parità di investimento e che questo beneficio si ripercuote positivamente sull'economia del nostro paese.

1.3.1.1 **Paglie (frumenti, orzo, avena, segale)**

La paglia è il sottoprodotto della coltivazione dei cereali autunno-vernini (frumento, orzo, avena e segale) e consiste principalmente nel culmo cavo che sorregge la spiga. La coltivazione di questi cereali avviene su tutto il territorio italiano con concentrazioni maggiori nelle zone pianeggianti (Pianura Padana, Tavoliere delle Puglie) e su terreni argillosi del versante adriatico.



La raccolta dei cereali autunno-vernini avviene solitamente tra giugno e luglio, momento in cui questo residuo diventa disponibile al prelievo in campo. Se al cereale succede, una coltura estivo - autunnale o intercalare (es. mais) il recupero deve essere effettuato nel minor tempo possibile per procedere celermente alle lavorazioni e alla semina.

La raccolta della paglia lasciata in campo dopo la mietitrebbiatura può avvenire con tre tipologie di sistemi:

- con raccogliballatrici che producono balle parallelepipedo di 15-18 kg;
- con rotoimballatrici che producono balle cilindriche (rotoballe) di 250-400 kg;
- con imballatrici che producono balle parallelepipedo di 250-400 kg.

Per l'impiego energetico l'industria delle macchine agricole sta sviluppando attrezzature ap-

positamente progettate per aumentare la densità delle balle, al fine di consentire un maggior carico a parità di volume e diminuire in tal modo i costi di trasporto.

Attualmente la paglia trova utilizzo nell'azienda stessa se è ad indirizzo zootecnico o nel mercato se è presente una zootecnia a distanza compatibile con i costi di trasporto. Gli utilizzi più comuni sono:

- lettiera per il ricovero di animali;
- alimentazione animale;
- industria cartaria.

Si può stimare un riutilizzo del 40-60% della produzione totale, con forte variabilità regionale e temporale, in relazione all'andamento dei prezzi di mercato.

L'impiego energetico delle paglie per la produzione di energia è possibile solo per impianti di grandi dimensioni (superiori a 10 MW), in quanto questa matrice energetica possiede caratteristiche chimico-fisiche tali da non consentire l'utilizzo in impianti di dimensione più piccola. In particolare, le principali problematiche sono legate all'elevato contenuto in silice, che ad alte temperature forma ceneri basso-fondenti ed alla presenza di cloro che si combina con il vapore acqueo e si trasforma in acido cloridrico (HCl), altamente corrosivo per le superfici degli scambiatori. Esistono tuttavia alcune tecnologie e sistemi impiantistici, applicati ad impianti di elevata dimensione, che risolvono queste problematiche. Tali tecnologie sono a tutt'oggi molto affermate nei paesi del Nord-Europa (Danimarca, Svezia).

PAGLIE DI CEREALI (Frumento, Orzo, Avena, Segale)

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE	
Potere calorifico inferiore (MJ/kg ss)	17,5-19,5
Umidità alla raccolta (%)	10-20
COMPOSIZIONE CHIMICA	
Ceneri (% su ss)	2-10
Silice (mg/kg)	1.000-20.000
Potassio (mg/kg)	2.000-26.000
Azoto variazione tipica (% su ss)	0,2-1,6
Zolfo variazione tipica (% su ss)	<0,05-0,2
Cloro variazione tipica (% su ss)	<0,1-1,2
Rame variazione tipica (% su ss)	1-10
PRODUZIONE UNITARIA	
Nord (t/ha di ss)	1,91
Centro (t/ha di ss)	1,70
Sud (t/ha di ss)	1,28
Media nazionale (t/ha di ss)	2,13
SUPERFICI COLTIVATE	
Nord (ha x 1.000)	437
Centro (ha x 1.000)	123
Sud (ha x 1.000)	60
Italia (ha x 1.000)	620
BIOMASSA STIMATA	
Potenziale nazionale (kt/a di ss)	2.158
Disponibilità effettiva stimata (kt/a di ss)	1.080
MERCATO	
Prezzo di vendita all'ingrosso (€/t)	60-100

1.3.1.2 Paglia di riso

La paglia del riso è stata considerata a parte rispetto alle paglie dei cereali autunno-vernini, in quanto presenta caratteristiche legate alla raccolta, alla distribuzione e alle proprietà chimico-fisiche che la rendono sostanzialmente differente.

Il 95% della produzione nazionale del riso è concentrato nelle province di Novara, Vercelli e Pavia. La raccolta del riso avviene verso la fine di ottobre e i primi di novembre. I sistemi di raccolta sono gli stessi dei cereali autunno-vernini ma, per le condizioni pesanti del terreno, è necessario impiegare macchine di potenza più elevata. Come per i cereali i costruttori di macchine stanno sviluppando modelli di raccogli-imbaltatrici che consentono di densificare le balle o le rotoballe, assicurando un maggior peso a parità di volume. La paglia di riso ha un altissimo contenuto in Silice (SiO_2) che la rende inutilizzabile per l'alimentazione animale e per quanto riguarda l'impiego energetico devono essere approntati alcuni sistemi negli impianti per evitare la formazioni di ceneri basso fondenti. A differenza degli altri cereali, invece, il contenuto in Cloro (Cl) è leggermente più basso.

La paglia di riso trova utilizzo nell'azienda stessa come lettiera se è ad indirizzo zootecnico. L'attuale utilizzo si aggira intorno al 15-30% della produzione.



PAGLIA DI RISO

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE	
Potere calorifico inferiore (MJ/kg ss)	17-18,4
Umidità alla raccolta (%)	20-30
COMPOSIZIONE CHIMICA	
Ceneri (% su ss)	10-15
Silice (mg/kg)	130.000
Potassio (mg/kg)	13.200
Azoto variazione tipica (% su ss)	0,6-1,7
Zolfo variazione tipica (% su ss)	0,07-0,22
Cloro variazione tipica (% su ss)	0,07-0,90
Rame variazione tipica (% su ss)	n.d.
PRODUZIONE UNITARIA	
Nord (t/ha di ss)	2,87
Centro (t/ha di ss)	2,72
Sud (t/ha di ss)	3,02
Media nazionale (t/ha di ss)	2,87
SUPERFICI COLTIVATE	
Nord (ha x 1.000)	903
Centro (ha x 1.000)	74
Sud (ha x 1.000)	40
Italia (ha x 1.000)	1.017
BIOMASSA STIMATA	
Potenziabile nazionale (kt/a di ss)	650
Disponibilità effettiva stimata (kt/a di ss)	270
MERCATO	
Prezzo di vendita all'ingrosso (€/t)	n.d.

1.3.1.3 Stocchi e tutoli di mais

Gli stocchi e i tutoli del mais sono rispettivamente il culmo che sorregge le pannocchie e il rachide ingrossato della spiga sul quale sono inserite le cariossidi (granella) e costituiscono i sottoprodotti principali di questa coltura.

La coltura del mais è molto differente dalle colture dei cereali autunno-vernini, sia per le sue tecniche di coltivazione, sia per i suoi usi che per le caratteristiche chimico-fisiche.

La coltivazione del mais è diffusa in tutta Italia anche se maggiormente concentrata nel Nord Italia su terreni dove vi è una buona disponibilità di acqua.

Il mais è una coltura primaverile - estiva, talvolta in successione con un cereale autunno-vernino, la raccolta avviene tra agosto e novembre a seconda delle zone di coltivazione.

Il tempo utile per la raccolta dei sottoprodotti con destinazione energetica è normalmente di 60-90 gg. ed è spesso condizionato dall'umidità del prodotto.

Il mais può essere coltivato per destinazione alimentare umana o animale. Per l'alimentazione umana il prodotto è costituito solo dalla granella, per l'alimentazione animale invece può essere coltivato per la granella o per l'intera pianta (pastone).

Lo stocco può essere raccolto con macchine rotoimbaltatrici che producono rotoballe di 250-400 kg.

Il tutolo è recuperabile soltanto modificando le attuali mietitrebbiatrici. Sono allo studio sistemi e macchine per la raccolta che consentono il recupero contemporaneo di stocchi e tutoli modificando le mietitrebbiatrici accessoriate con rotoimbaltatrici per stocchi e tutoli contemporaneamente.

Gli stocchi trovano utilizzo nell'azienda stessa se è ad indirizzo zootecnico altrimenti vengono interrati. Gli utilizzi più comuni sono:

- lettiera per animali;
- alimentazione animale;

I tutoli se non preventivamente recuperati sono quasi totalmente interrati in campo.

Attualmente vengono utilizzati solo gli stocchi per il 50-60% della produzione totale.

A fini energetici può essere coltivato per la produzione del biogas attraverso il processo di digestione anaerobica, infatti questa coltura presenta un elevato grado di umidità ed igroscopicità (capacità di assorbire umidità dall'ambiente circostante) che non le consentono di essere utilizzata nei processi di combustione. Nella digestione anaerobica per la produzione di biogas può essere impiegata come co-substrato insieme agli effluenti zootecnici.



Tab. 1.4. Caratteristiche principali dei prodotti o sottoprodotti derivanti dal mais

Tipo di materiale	Contenuto in s.s.	Sostanza organica	Resa in biogas
Insilato di mais	34%	86% s.s.	350-390 m ³ /t
Stocchi di mais	86%	72% s.s.	300-700 m ³ /t

STOCCHI e TUTOLI di MAIS

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE			
	<i>tutoli</i>		<i>stocchi</i>
Potere calorifico inferiore (MJ/kg ss)	16,8-18,0		
Umidità alla raccolta (%)	30-55		55-66
COMPOSIZIONE CHIMICA			
Ceneri (% su ss)	2-3		2-7
Silice (mg/kg)			
Potassio (mg/kg)			
Azoto variazione tipica (% su ss)			0,6-0,9
Zolfo variazione tipica (% su ss)			0,07-0,13
Cloro variazione tipica (% su ss)			0,35
Rame variazione tipica (% su ss)			n.d.
PRODUZIONE UNITARIA			
Nord (t/ha di ss)	0,75		3,88
Centro (t/ha di ss)	0,63		3,26
Sud (t/ha di ss)	0,44		2,28
Media nazionale (t/ha di ss)	0,70		3,65
SUPERFICI COLTIVATE			
Nord (ha x 1.000)	1.807		
Centro (ha x 1.000)	147		
Sud (ha x 1.000)	79		
Italia (ha x 1.000)	2.033		
BIOMASSA STIMATA			
Potenziale nazionale (kt/a di ss)	740		3.840
Disponibilità effettiva stimata (kt/a di ss)			1.560
MERCATO			
Prezzo di vendita all'ingrosso (€/t)	n.d.		30-50

1.3.1.4 Sarmenti di vite

I sarmenti sono rami lunghi ed esili con andamento prostrato o rampicante tipici della coltura della vite. Annualmente da novembre fino a febbraio si effettua la potatura della vite per controllare il ciclo vegeto- produttivo della pianta, ed è in questo periodo che si ha la disponibilità di questa biomassa.

La coltura della vite è diffusa in tutta l'Italia con moltissime varietà, in condizioni stazionarie diverse e con sistemi d'allevamento differenti, tant'è che risulta difficile standardizzare i sistemi di raccolta di questo sottoprodotto.

Il tempo utile per la raccolta dei sarmenti può variare tra 20-30 gg. fino a 80-90 gg. a seconda

dell'inizio della potatura, della zona di produzione e comunque deve concludersi prima della ripresa vegetativa (marzo-aprile).

Fig. 1.1. Macchina trincia sarmenti con contenitore posteriore ribaltabile



Le tecniche colturali classiche prevedono la combustione di questi residui ai bordi del vigneto (40-50% del totale); diversamente, se la coltura è meccanizzata, vengono trinciati ed interrati (50% del totale).

I residui delle potature, ai sensi del D. Lgs. n. 22/97 (Decreto Ronchi), quando devono essere smaltiti, rientrano nella categoria dei rifiuti. Se contrariamente a ciò, viene loro conferita una destinazione energetica come da D. Lgs. n. 152/06 (ex. DPCM 8 marzo 2002), possono essere considerati biomasse combustibili.

TECNICHE E COSTI DI RACCOLTA

Il recupero dei residui di potatura può essere condotto secondo varie modalità e con diverse macchine. Nei vigneti pianeggianti e con interfilari sufficientemente larghi, i sarmenti possono essere raccolti con macchine raccogliballatrici che producono balle parallelepipediche di 15-18 kg. Le tecnologie in commercio sono prevalentemente macchine sviluppate dalla modifica di attrezzature agricole destinate ad altre lavorazioni, progettate per raccogliere da terra le potature già disposte in andane.

L'utilizzo dei macchinari più adatti dipende da molteplici fattori, in primo luogo dal sesto di impianto (spazio fra le file) e dalla forma di allevamento del vigneto.

In linea di principio si possono avere due diverse tecniche per la raccolta e il recupero delle potature:

- imballatura in campo e successiva cippatura;
- cippatura in campo.

Imballatura

L'imballatura è una tecnica che consente di raccogliere, comprimere e confezionare i sarmenti in modo da ottenere unità omogenee, facilitandone la movimentazione e lo stoccaggio. Le imballatrici utilizzabili possono essere distinte in:

- piccole imballatrici parallelepipediche
- rotoimballatrici, che possono essere sia leggere che pesanti (tabella 1.5).

Tab. 1.5. Caratteristiche delle imballatrici

Imballatrici	Trattore kW	Dimensioni balle cm	Peso balla kg	Produttività tss/ora	Costo orario €/h	Costo macchina €
Parallelepipedo piccole	40-60	45 x 35 x 70	20-40	0,6	50	8.000-15.000
Rotoimballatrici leggere	25-30	Diam < 100	30-40	1,6	38	10.000-12.000
Rotoimballatrici pesanti	60	Diam 150	200-700	2-4	60	35.000

Fonte: Spinelli et al., 2009

L'imballatura del materiale è molto efficace anche se la movimentazione delle balle può determinare un aumento dei costi perché è effettuata comunemente a mano o tramite un trattore dotato di forche. Dopo la raccolta, le balle vengono stoccate per alcuni mesi fino ad arrivare ad un contenuto idrico del 10% e successivamente cippate. L'imballatura ha un costo variabile in funzione della dimensione delle balle e del tipo di macchina impiegata, mediamente il costo varia da 15,00 a 29,00 €/t.

Fig. 1.2. Deposito di balle di sarmenti di vite in essiccazione



Fig. 1.3. Cippatura delle balle di sarmenti di vite



Cippatura/trinciatura in campo

Le macchine per la cippatura/trinciatura in campo possono essere distinte in:

- trinciasarmenti semi-industriali
- trinciacaricatrici industriali
- cippatrice – trinciasarmenti (tabella 1.6).

Le trinciasarmenti semi-industriali sono normali trinciatrici a mazze a cui è stato applicato un contenitore ribaltabile nel quale si accumula il materiale trinciato. Comunemente il contenitore ha una capacità compresa fra 2 e 7 m³. In alcuni casi il cassone è sostituito da sacchi di tela (tipo big-bag).

Fig. 1.4. Trinciacaricatrice in fase di raccolta



Fig. 1.5. Trinciacaricatrice in fase di scarico del prodotto



Le **trinciacaricatrici industriali** sono macchine appositamente costruite per trattare i residui di potatura, in genere a partire da una cippatrice a disco o a tamburo. Possono essere semoventi o applicate a un trattore agricolo ma richiedono sempre elevate potenze. Sono caratterizzate da un'applicazione frontale che le rende capaci di trattare anche le andane più alte, dove è impossibile impiegare attrezzature retro portate. Consentono di ottenere un prodotto più omogeneo e regolare.

Le cippatrici - trinciasarmenti rientrano nella categoria delle trinciasarmenti ma con alcune soluzioni innovative tipiche di una cippatrice/trituratrice tali da rendere agevole da un lato la raccolta e dall'altro l'omogeneità e regolarità del prodotto.

Fig. 1.6. Macchina trincia sarmenti in funzione



Tab. 1.6. Caratteristiche delle trinciasarmenti

TRINCIASARMENTI	Trattore	Diametro Max lavorato	Produttività	Costo orario	Costo macchina
	kW	cm	t/ora (M40)	€/h	€
Trinciasarmenti semi-industriale	40-70	5	0,6-0,9	45	10.000-20.000
Trinciacaricatrici industriali	≈ 150	10-15	3-5	150	≈ 80.000
Cippatrice - Trinciasarmenti	min 30	5	1,1-1,8	41	≈ 15.000

Fonte: Spinelli R. et al. 2009; Grigolato S., 2007) (M40 = Umidità 40%)

Costo di produzione del cippato da sarmenti

La tecnica impiegata per la raccolta delle potature incide sul costo di produzione del cippato. Qui di seguito sono stati riportati gli studi condotti su due cantieri, il primo composto da imballatura e successiva cippatura, il secondo composto da cippatura in campo con macchina combinata. Gli esempi riportati corrispondono a cantieri effettuati per le potature di vite (sarmenti).

Tab. 1.7. Costo di produzione del cippato di vite (M10) nel caso di imballatura in campo e successiva cippatura

		min	Medio	Max
Raccolta in campo balle (rapportato M 10%)*	€/t (M10)	17,14	25,00	40,00
Trasporto e accatastamento balle		11,43	13,89	14,00
Cippatura		14,88	23,44	29,24
TOTALE		43,45	62,33	83,24

Fonte: Antonini E., Paniz A. – AIEL, 2009; Con utilizzo di rotoimballatrici pesanti (M10 = Umidità 10%)

Tab. 1.8. Costo di produzione del cippato da sarmenti di vite (M45) nel caso di cippatura in campo

Macchina usata		Produttività lorda		Costo di produzione
		ha/ora	t/ora	€/t (M45)
Cippato di vite	Cippatrice/ trinciasarmenti	1,16	0,62	35,02

Fonte: Zuccoli Bergomi L., 2009 – AIEL, 2007

M45 = Umidità 45%

SARMENTI DI VITE

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE	
Potere calorifico inferiore (MJ/kg ss)	16,0-19,0
Umidità alla raccolta (%)	18-55
COMPOSIZIONE CHIMICA	
Ceneri (% su ss)	2-5
Silice (mg/kg)	n.d.
Potassio (mg/kg)	n.d.
Azoto variazione tipica (% su ss)	0,4-0,1
Zolfo variazione tipica (% su ss)	0,01-0,07
Cloro variazione tipica (% su ss)	0,07-0,14
Rame variazione tipica (% su ss)	30-44
PRODUZIONE UNITARIA	
Nord (t/ha di ss)	1,45
Centro (t/ha di ss)	1,42
Sud (t/ha di ss)	1,39
Media nazionale (t/ha di ss)	1,45
SUPERFICI COLTIVATE	
Nord (ha x 1.000)	249
Centro (ha x 1.000)	121
Sud (ha x 1.000)	414
Italia (ha x 1.000)	784
BIOMASSA STIMATA	
Potenziale nazionale (kt/a di ss)	1.124
Disponibilità effettiva stimata (kt/a di ss)	560
MERCATO	
Prezzo di vendita all'ingrosso (€/t)	n.d.

1.3.1.5 Potature di olivo

I residui della potatura dell'olivo consistono in legna e frasche o ramaglie.

L'olivo è una coltura di tipo mediterraneo che predilige climi caldi e soleggiati. È molto diffusa nel Centro-Sud Italia. La coltura è anche presente in zone pedemontane nei pressi dei grandi laghi del Nord (lago di Garda), oltre che in Liguria e Romagna.

L'olivo ha forma e dimensioni molto differenti a seconda delle stazioni che occupa. Si passa da piccole dimensioni 4-5 m di altezza nelle zone dell'Italia Centrale, fino a piante di 15-20 m in alcune zone del Sud - Italia.

Molto spesso le potature sono successivamente lavorate al fine separare tronchi e rami dalle frasche. La raccolta della legna, costituita da rami di maggiori dimensioni, e delle frasche avviene durante e dopo la potatura (gennaio-aprile), che viene effettuata con cadenze variabili in base alle metodologie colturali ed alle varietà delle colture.

Fig. 1.7. Raccolta dei residui di potatura con macchina tranciacaricatrice



Le frasche possono essere lasciate in campo per un periodo di 20-30gg. al fine di far perdere al materiale parte dell'umidità in esse contenuta. Periodi più lunghi possono innescare fenomeni di decomposizione del materiale.

I sistemi di recupero sono differenti a seconda del sottoprodotto: la legna è raccolta a mano; le frasche possono essere raccolte con macchine raccogliballatrici che producono ballette da 34-40 kg o con tranciacaricatrici che convogliano il prodotto trinciato in grandi sacchi, cassoni integrati alla macchina operatrice o rimorchi agricoli.

Sono in fase di studio sistemi di imballaggio delle frasche con macchine che producono balle parallelepipedo di grandi dimensioni fino a 500 kg.

Data la ridotta dimensione delle aziende olivicole, la legna è quasi sempre impiegata come combustibile in azienda; le frasche, invece, a causa della loro difficile gestione sono molto spesso bruciate in campo.

Fig. 1.8. Macchina raccogliballatrice per potature di olivo



POTATURE di OLIVO

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Potere calorifico inferiore (MJ/kg ss)	17-19
Umidità alla raccolta frasca (%)	45 - 60

COMPOSIZIONE CHIMICA

Ceneri legno (% su ss)	1.5 - 2.0
Ceneri frasca (% su ss)	5.0 - 7.0
Silice (mg/kg)	150
Potassio (mg/kg)	1500
Azoto variazione tipica (% su ss)	0,50 - 1,00
Zolfo variazione tipica (% su ss)	0,01 - 0,09
Cloro variazione tipica (% su ss)	0,01 - 0,06
Rame variazione tipica (% su ss)	0,50 - 4,50

PRODUZIONE UNITARIA

Nord (t/ha di ss)	1,00
Centro (t/ha di ss)	1,37
Sud (t/ha di ss)	1,31

SUPERFICI COLTIVATE

Nord (1.000 x ha)	10
Centro (1.000 x ha)	220
Sud (1.000 x ha)	900
Italia (1.000 x ha x 1.000)	1.130

BIOMASSA STIMATA

Biomassa nazionale potenziale (kt/a di ss)	1.547
Biomassa nazionale disponibile stimata (kt/a di ss)	770

MERCATO

Prezzo di vendita all'ingrosso (€/t)	n.d.
--------------------------------------	------

1.3.1.6 Potature di fruttiferi

I residui della potatura delle principali colture arboree quali: melo, pero, susino, pesco, albicocco, mandorlo, nocciolo, actinidia e agrumi sono costituiti da rami e ramaglie. La potatura viene effettuata per conferire alla pianta la forma voluta e quindi regolare l'equilibrio vegeto-produttivo. In generale si effettuano due tipologie di potature: una di produzione effettuata solitamente prima della ripresa vegetativa; ed una di tipo verde durante il periodo primaverile-estivo al fine di eliminare rami giovani che non portano frutto. La potatura di produzione è quella che asporta la maggior quantità di massa legnosa.

Di seguito una tabella sintetica con l'indicazione dei periodi di potatura di produzioni per le principali specie da frutto.

Tab. 1.9. Periodi di potatura per le principali specie da frutto in Italia

Specie	Periodo di potatura
Melo, pero	Febbraio-Marzo
Susino, pesco, albicocco, nettarina	Febbraio-Marzo
Agrumi	Giugno-Luglio
Nocciolo	Novembre-Dicembre
Actinidia (kiwi)	Dicembre (produzione)

La raccolta delle ramaglie deve avvenire prima della ripresa vegetativa al fine di consentire gli interventi fitosanitari e più in generale colturali che iniziano in questo periodo.

Il tempo utile per la raccolta delle potature, affinché perdano umidità ma non inizino il processo di decomposizione, va da 15-20 gg. a 70-80 gg.

Le macchine ed i sistemi per la raccolta, il trattamento e il trasporto della ramaglia sono gli stessi illustrati nei paragrafi precedenti per i residui delle potature della vite e dell'olivo.

La ramaglia può essere raccolta, a seconda dell'impianto, con macchine raccogliballatrici che producono balle parallelepipedo di 15-18 kg. o con triciacaricatrici che convogliano il prodotto trinciato in grandi sacchi, o cassoni integrati alla macchina operatrice o rimorchi agricoli.

Attualmente la legna è utilizzata per circa l'80-90% in azienda mentre la ramaglia viene trinciata ed interrata in loco o più spesso bruciata a bordo campo al fine di prevenire fonti d'inoculo di patogeni.

POTATURE DI FRUTTIFERI

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE	
Potere calorifico inferiore (MJ/kg ss)	18,0-18,5
Umidità alla raccolta (%)	35-45
COMPOSIZIONE CHIMICA	
Ceneri (% su ss)	10-12
Silice (mg/kg)	n.d
Potassio (mg/kg)	n.d
Azoto variazione tipica (% su ss)	n.d
Zolfo variazione tipica (% su ss)	n.d
Cloro variazione tipica (% su ss)	n.d
Rame variazione tipica (% su ss)	n.d
SUPERFICI COLTIVATE	
Nord (ha x 1.000)	158
Centro (ha x 1.000)	23
Sud (ha x 1.000)	337
Italia (ha x 1.000)	537
BIOMASSA STIMATA	
Potenziale nazionale (kt/a di ss)	700
Disponibilità nazionale (kt/a di ss)	280
MERCATO	
Prezzo di vendita all'ingrosso (€/t)	n.d.

1.3.2 Residui forestali**Prodotti e sottoprodotti legnosi**

Il prodotto principale ottenibile dal bosco è il legno. Il legno è utilizzato nell'industria delle costruzioni, dei mobili, della carta e della pasta di cellulosa e per la produzione di energia, generalmente sotto forma di legna da ardere.

I sottoprodotti del bosco sono costituiti da tutti quei residui che risultano dalle operazioni di utilizzazione delle piante (taglio, allestimento, sramatura, scortecciatura, depezzatura, ecc.) e sono: ramaglia, cimali, corteccia, foglie e radici.

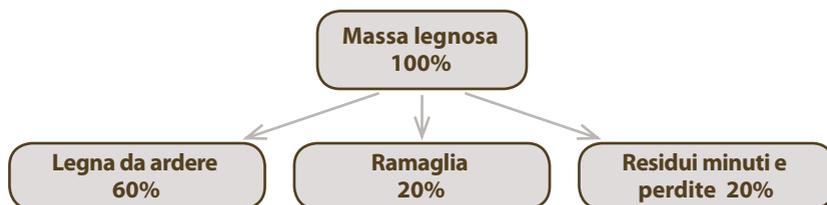
Parte di questi non sono praticamente raccogliabili, da un punto di vista tecnologico (ad esempio le radici), ovvero non presentano alcun interesse economico (ad esempio le foglie); la parte rimanente è invece frequentemente lasciata in bosco e costituisce un pericoloso innesco per gli incendi, dolosi o meno.

Con l'avvento di nuove macchine e sistemi per l'utilizzazione forestale, e con l'aumento della richiesta da parte del settore energetico è divenuto possibile ad oggi recuperare parte della frazione legnosa solitamente lasciata in bosco.

Tra i nuovi sistemi di lavoro risulta particolarmente valido quello del prelievo della pianta intera dal bosco. Questo sistema applicabile in particolar modo per le piante di medie dimensioni (cedui o diradamenti di fustaie) prevede l'asportazione dal bosco della pianta intera e la successiva operazione di allestimento effettuata all'imposto, dove il materiale di risulta (rami e cimali) divengono utilizzabili.

Per quanto riguarda invece le macchine, molti istituti, da anni sperimentano l'utilizzo di harvester e forwarder per una selvicoltura moderna. L'harvester abbatte le piante e le allestisce in tronchi, disponendoli in cataste eventualmente divise per assortimenti; il forwarder, invece, preleva le cataste, le carica su un pianale incorporato e le porta fino ad un imposto accessibile ai mezzi di trasporto. Nata in Scandinavia, la coppia harvester-forwarder si è diffusa rapidamente in tutta Europa, giungendo in Italia alla fine degli anni '90. Oggi lavorano da noi oltre 100 macchine, tra l'una e l'altra tipologia. Anche nelle nostre condizioni di lavoro, un harvester produce almeno quanto cinque operatori dotati di motoseghe, e spesso fa un lavoro più accurato. Dotato di una gru, infatti, l'harvester è in grado di direzionare meglio la caduta delle piante, atterrando anche quelle che altrimenti resterebbero appollaiate. Il forwarder invece fa lo stesso lavoro di tre trattori con rimorchio, grazie alla maggiore capacità di carico ed alla superiore manovrabilità: questa macchina infatti può operare su terreni inaccessibili al trattore agricolo, ed è ideale sulle distanze di esbosco maggiori, dove è necessario massimizzare il carico utile trasportato. In questi ultimi anni la richiesta di combustibili legnosi: legna da ardere, cippato, pellet e bricchette è aumentata, grazie alla messa in commercio di impianti per il riscaldamento o la cogenerazione di diversa dimensione capaci di valorizzare questa risorsa con un'efficienza molto maggiore rispetto al passato.

Fig. 1.9. Percentuale di prodotti e sottoprodotti ottenibili dal governo a ceduo



Tab. 1.10. Prodotti derivanti dall'utilizzazione dei cedui

Specie forestali	Prodotto principale	Prodotto secondario
Querce	Legna da ardere	-
Castagno	Paleria grossa e minuta, travame	Legna da ardere
Faggio	Legna da ardere	-
Altre latifoglie	Legname da falegnameria di pregio	Legna da ardere

Fig. 1.10. Percentuale di prodotti e sottoprodotti ottenibili dal governo a fustaia



Caratteristiche del legno

Le principali caratteristiche del legno e dei residui prodotti nelle foreste possono essere suddivisi in due categorie:

- le caratteristiche merceologiche, legate alla movimentazione ed alla compravendita;
- le caratteristiche chimico-fisiche, legate all'impiego energetico.

Le caratteristiche chimico-fisiche abbinata a quelle merceologiche (es. densità energetica) forniscono informazioni importanti per il mercato legno-energia.

Tab. 1.11. Caratteristiche e unità di misura internazionali del legno

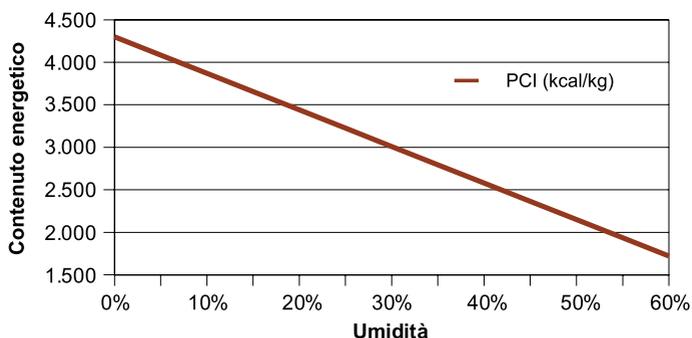
Caratteristiche	Parametri	Unità di misura	Impiego
Merceologiche	Volume	Metro cubo (m ³)	Legname da lavoro
		Metro stero (mst)	Legna da ardere, cippato e pellet
	Peso	Kilogrammo (kg),tonnellata (t)	Legna da ardere, cippato o pellet
	Rapporto P/V	Massa volumica (kg/m ³)	Legno
Chimico-Fisiche	Contenuto idrico	Umidità relativa (u.r.%)	Legna da ardere, cippato, pellet, altri materiali
		Contenuto energetico	Potere Calorifico Inferiore (kcal/kg; kJ/kg; kWh/kg)
	Composizione chimica	Percentuale su s.s. (%ss)	Analisi fumi e ceneri
		Rapporto (mg/kg _{ss})	

Gli aspetti tecnici riguardanti l'impiego energetico del legno come biocombustibile solido saranno trattati con maggior dettaglio nel paragrafo 1.5.1.

Le caratteristiche merceologiche e chimico-fisiche servono per definire il prodotto nel momento della sua quantificazione e/o della stima economica. Le prime si riferiscono sostanzialmente alla quantità espressa in volume o in peso della materia.

Le caratteristiche chimico-fisiche, invece, riguardano specificatamente l'impiego energetico del legno e fanno riferimento al contenuto di acqua e dei principali elementi (C, O₂, H₂, S, N).

Uno dei principali parametri per la destinazione energetica del legno è il contenuto di acqua che ne influenza il peso, quindi il trasporto, ed indirettamente il contenuto energetico. Il legno è una sostanza igroscopica, ossia ha la capacità di scambiare acqua con l'ambiente in cui si trova. La stagionatura contribuisce alla riduzione dell'acqua nel legno fino ad un punto di equilibrio.

Fig. 1.11. Contenuto energetico nel legno al variare dell'umidità contenuta


L'ottimale impiego del legno per la combustione si ha con percentuali di umidità relativa del 30-35. Il contenuto idrico del legno può essere calcolato come valore relativo o assoluto, nel primo caso si parla di umidità relativa mentre nel secondo di umidità assoluta, di seguito le formule per calcolarle:

- Umidità relativa (M) = $(\text{peso fresco} - \text{peso secco}) / \text{peso fresco} \times 100$;
- Umidità assoluta (u) = $(\text{peso fresco} - \text{peso secco}) / \text{peso secco} \times 100$.

L'umidità relativa si usa nelle normali pratiche commerciali, mentre quella assoluta si usa più in ambito scientifico.

Tab. 1.12. Composizione percentuale media delle principali sostanze, delle ceneri e PCI nei legni delle più comuni specie italiane

Specie	C	H	O	Ceneri	PCI (MJ/kg)
Abete bianco	50,40	5,80	41,40	2,20	20,50
Abete rosso	51,6	5,58	36,70	0,40	19,74
Cedro	48,80	6,37	44,46	0,37	19,54
Cipresso	54,98	6,34	38,08	0,40	22,96
Abete di Douglas	52,30	6,30	40,50	0,80	21,05
Pinacee	51,90	6,16	41,70	0,10	18,87
Acerò	50,64	6,02	41,74	1,35	19,96
Betulla	49,77	6,49	43,45	0,29	20,12
Eucalipto	49,50	5,75	44,00	0,50	17,96
Faggio	51,64	6,26	41,45	0,65	20,38
Frassino	43,73	6,93	43,04	0,30	20,75
Olmo	50,35	6,57	42,34	0,74	20,49
Pioppo	51,64	6,26	41,45	0,65	20,75
Querce	48,78	6,09	44,98	0,15	19,03
Robinia	50,70	5,71	41,90	0,80	18,46

Fonte: "Dendroenergetica" B. Herrigl; "PHYLLIS - The composition of biomass and waste" ECN

Tab. 1.13. Valori medi riferiti all'analisi elementare delle ceneri

Parametri	Valore	Parametri	Valore
P ₂ O ₅	1,7 % _{SS}	Zinco (Zn)	618,6 mg/kg _{SS}
K ₂ O	5,1 % _{SS}	Cobalto (Co)	23,9 mg/kg _{SS}
CaO	42,2 % _{SS}	Molibdeno (Mo)	4,8 mg/kg _{SS}
MgO	6,5 % _{SS}	Arsenico (As)	11,4 mg/kg _{SS}
Na ₂ O	0,8 % _{SS}	Nichel (Ni)	94,1 mg/kg _{SS}
Al ₂ O ₃	7,1 % _{SS}	Cromo (Cr)	132,6 mg/kg _{SS}
SiO ₂	26,0 % _{SS}	Piombo (Pb)	25,3 mg/kg _{SS}
SO ₃	0,6 % _{SS}	Cadmio (Cd)	3,9 mg/kg _{SS}
Rame (Cu)	87,8 mg/kg _{SS}		

Fonte: Legna e Cippato "Manuale Pratico" AIEL 2009

1.3.3 Zootecnia (effluenti zootecnici)

Secondo il DLgs 11 maggio 1999, n. 152 e successive modifiche ed integrazioni, per effluente di allevamento si intendono "le deiezioni del bestiame o una miscela di lettiera e di deiezione di bestiame, anche sotto forma di prodotto trasformato".

Negli allevamenti suini, bovini e avicoli caratterizzati da specifiche tipologie strutturali e/o gestionali, i reflui zootecnici sono prodotti come materiale non palabile (liquame, liquiletame) o materiale palabile (letame, pollina da allevamento su lettiera).

La composizione chimica e le quantità prodotte per capo variano con la specie animale allevata, lo stadio fisiologico dell'animale, il regime alimentare e il tipo di stabulazione.

Tab. 1.14. Biomasse e rifiuti organici idonei alla digestione anaerobica e loro resa indicativa in biogas

Materiali	(m ³) biogas/t SV (*)
Deiezioni animali (suini, bovini, avi-cunicoli)	200-500
Residui colturali (paglia, coltetti barbabietole, ecc)	350-400
Scarti organici agro-industria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie, birrerie e cantine, ecc)	400-800
Scarti organici macellazione (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue, fanghi di flottazione)	550-1.000
Fanghi di depurazione	250-350
Frazione organica rifiuti solidi urbani	400-600
Colture energetiche (mais, sorgo zuccherino, erba, ecc)	550-750

*Solidi Volatili = frazione della sostanza secca costituita da sostanza organica. (Piccinini et al., 2007)

Il biogas si origina dalla decomposizione del materiale organico da parte di alcuni tipi di batteri ed è composto da: metano, anidride carbonica e idrogeno molecolare. Il biogas è un vettore energetico molto versatile: può alimentare caldaie per la produzione termica, impianti di cogenerazione e motori per l'autotrazione. Ha un quantitativo energetico elevato (11.600 kcal/kg), inoltre può essere distribuito attraverso la rete oppure stoccato e conservato.

Il biogas producibile dai reflui di allevamento è influenzato da molteplici fattori tra cui: specie allevata, destinazione produttiva, numero dei capi, stadio di accrescimento, soluzioni stabulative adottate, modalità di conduzione, strutture aziendali, gestione e stoccaggio dei rifiuti.

I substrati organici di origine zootecnica che possono essere impiegati nel processo di fermentazione anaerobica e la loro resa in biogas sono riportati in tabella.

Tab. 1.15. Rendimento in biogas di diversi substrati organici

Tipo di materiale	Contenuto di s.s. (%)	Sost. organica (% ss)	Resa di biogas m ³ /t sostanza organica
Liquame bovino	6-11	68-85	200-260
Letame bovino	11-25	65-85	200-230
Liquame suino	2,5-9,7	60-85	260-450
Letame suino	20-25	75-90	450
Liquame avicolo	10-29	75-77	200-400
Letame avicolo	32,0-32,5	70-80	400
Letame ovino	25-30	80	240-500
Letame equino	28	75	200-400

Fonte: A. Pavidi, "Impianti di digestione anaerobica innovativi", Torino 2005

Poiché la produzione di biogas varia molto a seconda del substrato utilizzato di seguito verranno illustrati le produzioni legate alle diverse attività agro zootecniche.

1.3.3.1 Suini

Il settore suino in Italia conta un patrimonio di oltre 9 milioni di capi (l'85% ubicato al Nord Italia, ed il 48% nella sola Lombardia), di cui quasi cinque milioni sono da ingrasso. Sulla base dei dati ISTAT disponibili al 30 giugno 2010 il settore rileva una minima crescita del numero di capi (+1% rispetto al 2009), ma in linea generale il comparto sta vivendo una situazione di forte difficoltà in relazione all'aumento dei costi di produzione (es. mangimi) e alla riduzione delle quotazioni del prezzo della carne pagata agli allevatori. In questo contesto la valorizzazione energetica dei reflui zootecnici delle aziende suinicole può garantire un sostegno alla sostenibilità economica della filiera.

I liquami suini sono caratterizzati da un contenuto di sostanza secca (solidi totali - ST) e di sostanza organica (solidi volatili - SV) alquanto variabili in funzione delle differenti tipologie di allevamento (Tabelle 1.16 e 1.17), ma in generale si evidenzia un elevatissimo contenuto in acqua che comporta un notevole aggravio dei costi di gestione e conservazione in azienda (aumento dei volumi da stoccare, trasportare e distribuire). Il problema principale della gestione delle deiezioni suine è quindi la loro riduzione del tenore in acqua. Le diverse tipologie di stalle si sono sviluppate anche per ridurre queste problematiche e possono essere distinte dal tipo di pavimentazione, se completamente piena oppure parzialmente o completamente grigliato (o fessurato), e per il sistema di allontanamento e/o stoccaggio delle deiezioni.

Tab. 1.16. Caratteristiche delle deiezioni suinicole (per 1.000 kg di peso vivo)

	Unità di misura	Allevamento da ingrasso	Allevamento da riproduzione
Effluenti	kg/giorno	65,0	50,0
	kg/m ³	1.010,0	1.010,0
Solidi totali (ST)	kg/giorno	6,0	4,3
	%D	9,2	8,6
Solidi volatili (SV)	kg/giorno	4,8	3,2
	% ST	20,0	75,0
BOD	% ST	33,0	30,0
COD	% ST	95,0	90,0
TKN	% ST	7,5	
P	% ST	2,5	
K	% ST	4,9	

Fonte: Pellini, Sangiorgi, Natalicchio, Bonfanti, Semenza, Bodria.

%ST= solidi totali; %D = percento deiezioni; BOD=d domanda biochimica di ossigeno; COD=d domanda chimica di ossigeno; TKN=azoto Kjeldahl; P=fosforo; K=potassio

Nel caso di allevamenti con pavimentazione piena e pulizia giornaliera con acqua il contenuto di sostanza secca è compresa tra 0,5 e 2%. Il contenuto in sostanza secca dei liquami suini aumenta nel caso di porcilaie con grigliato parziale e lavaggio periodico con acqua (1,8-3,8% s.s.) e da questo a pavimento totalmente fessurato con diversi sistemi di pulizia, come l'accumulo in fosse profonde (4-5% s.s.), alla pulizia meccanica con raschiatore (5-6% s.s.), alla pulizia per ricircolo dei liquami (6-8% s.s.).

I diversi studi sull'efficienza e la massimizzazione delle rese degli impianti di produzione del biogas hanno evidenziato che è opportuno che i liquami suini arrivino in digestione anaerobica con un tenore di sostanza secca pari ad almeno il 3-4% e senza stoccaggi intermedi, utilizzando quindi deiezioni "fresche".

Tab. 1.17. Produzione media di deiezioni in peso da allevamento suino per tipologia di animale, peso e alimentazione

Tipologia	Peso medio (kg)	Deiezioni (kg/giorno)
Suinetti	6-30	2,0-3,0
Suinetti in accrescimento	30-80	
-alimentazione a secco		4
-alimentazione umida 2,5:1		4
-alimentazione umida 4:1		7
-alimentazione a siero		14
Suini all'ingrasso	80-160	10-13
Scrofe in asciutta		8
Scrofe con suinetti di 3 settimane		15

Fonte: "Relazione sullo stato dell'ambiente in Umbria (1997)

Tra i punti di forza dell'utilizzo dei reflui zootecnici da allevamenti suini si riscontra l'ottima propensione tecnica alla digestione anaerobica, purché non eccessivamente diluiti, in quanto

ben dotati di sostanza organica, di buon potere tampone e privi di frazioni "inerti" non desiderate. La produzione specifica di biogas da liquami suini varia tra 450 e 550 m³ per tonnellata di solidi volatili, di cui il 60-65% è metano. A titolo indicativo si riporta che dal liquame prodotto da un suino da ingrasso del peso vivo di 85 kg si possono ottenere mediamente 0,100 m³ di biogas al giorno.

Un vantaggio, inoltre, derivante dalla applicazione di sistemi di digestione anaerobica dei reflui deriva dalla significativa riduzione delle emissioni di odori dallo stoccaggio del digestato. Con le problematiche emerse in seguito all'attuazione della Direttiva Nitrati, la valorizzazione energetica dei reflui di suini ha assunto una forte rilevanza, in particolare nelle aree agricole a maggiore intensità zootecnica. Come noto, la digestione anaerobica non porta ad una riduzione dell'azoto presente nei reflui, tuttavia risulta una interessante opportunità per la riduzione dei costi dei trattamenti - altamente energivori - finalizzati alla rimozione dell'azoto.

LIQUAMI SUINI

Numero di capi in italia	N. capi	Liquami m ³ /anno (*)	Ripartizione
Nord	7.928.814	24.800.000	85%
Centro	562.336	1.800.000	6%
Sud e Isole	832.850	2.600.000	9%
Italia	9.324.000	29.200.000	

(*) stima delle deiezioni senza aggiunta di acqua di lavaggio (produzione media: 3,13 m³/anno*capo)
 Dati ISTAT aggiornati a giugno 2010

Produzione unitaria liquami	m ³ /anno * t PV
Pavimento totalmente o parzialmente fessurato	37-44
Rimozione delle deiezioni con acqua	55-73

Rif. DM 7/4/2006

Peso vivo animali (PV)	PV medio kg
Scrofe	180
Verri	250
Lattonzoli	7 a 30
Ingrasso	30 a 160

Caratteristiche chimiche dei liquami suini		
pH	Unità pH	7,0-7,5
Sostanza secca – ss	%	2,8-6,0
Sostanza organica – SV	%ss	63-77
Azoto totale NTK	%ss	6,3-9,7
Azoto Ammoniacale – N-NH ₄	%NTK	60
Fosforo – P	%ss	2,4
Potassio – K	%ss	4,6

Fonte: CRPA

Produzione specifica di biogas		
Liquame suino	m ³ /t SV	450-550

1.3.3.2 Bovini

Il settore bovino in Italia conta un patrimonio di oltre 6 milioni di capi (il 72% ubicato al Nord Italia). Sulla base dei dati ISTAT disponibili al 30 giugno 2010 il settore rileva una minima flessione del numero di capi rispetto al 2009 (-0,7%). Analogamente a quanto accade per il settore suino, l'intero comparto sta vivendo una situazione di forte difficoltà in relazione all'aumento dei costi di produzione (es. mangimi) ed alla riduzione, per gli allevatori, delle voci di ricavo (es. latte, carne). Anche in questo caso quindi, la valorizzazione energetica dei reflui zootecnici negli allevamenti bovini può concorre a garantire la sostenibilità economica della filiera.

La tipologia di stabulazione e il sistema di allevamento degli animali incide fortemente sul contenuto di solidi totali degli effluenti zootecnici. Nell'allevamento bovino l'utilizzo di acqua per la pulizia e il risciacquo delle zone calpestate dal bestiame è notevolmente inferiore rispetto a quello per i suini e quindi l'effetto di diluizione è minimo. Le deiezioni bovine sono spesso rimosse dalle stalle utilizzando raschiatori.

In funzione della categoria di animale allevato e del sistema di allevamento, il contenuto di sostanza secca nei liquami è molto diversificato: nel caso di allevamento di vitelli da carne bianca in box singolo con pulizia ad acqua tale contenuto è compreso tra 0,5 e 3%; per gli allevamenti di bovini da carne in stabulazione libera in box su pavimento fessurato il range cresce tra il 7 ed il 10%; per gli allevamenti di vacche da latte il contenuto in sostanza secca negli effluenti aumenta passando dagli allevamenti a stabulazione libera su cuccette con corsie di servizio a pavimentazione piena o fessurata, ad allevamenti a stabulazione fissa con pulizia delle canalette per ricircolo dei liquami, con valori compresi tra il 10 ed il 16%.

Tra i punti di forza dell'utilizzo degli effluenti bovini per la produzione di biogas sicuramente si evidenzia la disponibilità regolare e continuativa, oltre che la buona propensione tecnica alla digestione anaerobica, in quanto ben dotati di sostanza organica, di buon potere tampone e privi di frazioni inerti non desiderate.

Un ulteriore vantaggio derivante dalla applicazione di sistemi di digestione anaerobica dei reflui è riconducibile alla significativa riduzione delle emissioni di odori sgradevoli dallo stoccaggio del digestato.

La produzione specifica di biogas da reflui zootecnici bovini varia tra 300 e 450 m³ per tonnellata di solidi volatili, di cui il 55-60% è metano. A titolo indicativo, si evidenzia che dal liquame prodotto da una vacca da latte del peso vivo medio di 500 kg, si possono ottenere mediamente 0,750 m³ di biogas al giorno.

Come per i suini, il contenuto di sostanza secca è correlato al sistema di allevamento; l'eventuale aggiunta di paglia, spesso utilizzata nelle stalle, conduce a variazioni nel contenuto di solidi totali. I diversi studi sull'efficienza e la massimizzazione delle rese degli impianti di produzione del biogas hanno evidenziato che è opportuno che i liquami bovini arrivino in digestione anaerobica con un tenore di sostanza secca pari ad almeno il 7-8% e senza stoccaggi intermedi, utilizzando quindi deiezioni "fresche".

L'attuazione della Direttiva Nitrati ha determinato forti problematiche nella gestione dei reflui zootecnici, in particolare nelle aree agricole a maggior intensità degli allevamenti. La valorizzazione energetica dei reflui bovini risulta una interessante opportunità, in quanto può contribuire alla contenimento di queste problematiche, non tanto direttamente, infatti la digestione anaerobica non porta ad una riduzione dell'azoto presente nei reflui, ma attraverso la riduzione dei costi energetici per i trattamenti finalizzati alla rimozione dell'azoto.

Nella Tabella 1.18 vengono riportati alcuni dati orientativi sulle quantità e sulle caratteristiche

delle deiezioni delle diverse specie allevate (allevamento da ingrasso e allevamento da riproduzione), precisando che tali dati sono espressi come media riferita a 1.000 kg di peso vivo.

Tab. 1.18. Caratteristiche delle deiezioni bovine (per 1.000 kg di peso vivo)

	Unità di misura	Allevamento da ingrasso	Allevamento da riproduzione
Effluenti	kg/giorno	82,0	60,0
Rapporto feci/urine		22,0	22,4
Densità	kg/m ³	1.005,0	1.010,0
Solidi totali (ST)	kg/giorno	10,4	7,0
	%D	12,7	11,5
Solidi volatili (SV)	kg/giorno	8,6	6,0
	% ST	82,5	85,0
BOD	% ST	16,5	23,0
COD	% ST	88,1	95,0
TKN	% ST	3,9	4,9
P	% ST	0,7	1,6
K	% ST	2,6	3,6

Fonte: Pellini, Sangiorgi, Natalicchio, Bonfanti, Semenza, Bodria (Informatore Agrario- Energia Rinnovabile-Suppl. N. 1 al n. 11/2010) %ST= solidi totali; %D = percento deiezioni; BOD=domanda biochimica di ossigeno; COD=domanda chimica di ossigeno; TKN=azoto Kjeldahl; P=fosforo; K=potassio

Tab. 1.19. Produzione media in volume di deiezioni dall'allevamento bovino in funzione della tipologia, dell'età e del regime alimentare dell'animale

Tipologia	Peso medio (kg)	Deiezioni (l/giorno)
Vitelli di età inferiore ai 2 mesi	73	5,0
Vitelli di età inferiore ai 6 mesi	140	7,5
Manze di età inferiore ai 12 mesi	270	15,0
Manze di età 12-18 mesi	380	20,0
Vitelloni di età inferiore ai 12 mesi	400	27,0
Vacche da latte	500	41,0

Da "Relazione sullo stato dell'ambiente in Umbria" - 1997

Tab. 1.20. Coefficienti di produzione media pro capite di deiezioni prodotte dall'allevamento bovino

Tipologia	Deiezioni (kg/100kg pv*giorno)	Deiezioni (kg s.s./100kg pv*giorno)
Vacche da latte	4-12	1,1
Vitelli da carne	3-16	0,8

Tab. 1.21. Produzione in volume di letame e liquame in funzione della stabulazione e della categoria dei bovini

Tipologia di stabulazione	Liquami (m ³ /mese)	Letame (m ³ /mese)
Vacche da latte (peso medio 600 kg)		
Stabulazione fissa		
Con lettiera	0,45	1,60
Senza lettiera	1,50	
Stabulazione libera a cuccette		
Senza o con uso modesto di lettiera	1,50	
Con lettiera groppa a groppa	0,60	0,90
Con lettiera testa a testa	0,45	1,40
Stabulazione libera a lettiera		
Con asportazione di lettiera ogni 3 mesi	0,55	
Con asportazione di lettiera ogni 30-60 gg.	0,55	1,40
Con scarico continuo (lettiera inclinata)	0,40	1,70
Bovini da rimonta e vitelloni (peso medio 300 kg)		
Stabulazione libera in box a pavimento fessurato	0,60	
Stabulazione libera a lettiera		
Solo in zona di riposo	0,25	
Anche in zona di alimentazione	0,10	1,00
Con lettiera inclinata	0,10	1,00
Vitelli (peso medio 125 kg)		
svezzamento su lettiera	0,03	0,25
svezzamento su fessurato	0,30	
ingrasso in box singolo	0,90	

Fonte: "Manuale per la gestione e l'utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici" Regione Emilia Romagna

I sistemi di allevamento più diffusi sono generalmente legati alla dimensione della mandria, nonché a ragioni climatiche. Si distinguono sistemi a stabulazione fissa adatti per mandrie fino a 30-40 capi, e libera per mandrie di dimensioni superiori. I sistemi di stabulazione fissa possono, a loro volta, essere distinti in allevamenti dove si ricorre all'uso di paglia per lettiera (consumo giornaliero 2-4 kg/capo) o in allevamenti senza lettiera (con asportazione idraulica o meccanica delle deiezioni).

LIQUAMI BOVINI

Numero di capi in Italia	N. capi ^(a)	U.B.A. ^(b)	Deiezioni (liquami + letame) t/anno	Ripartizione capi
Nord	4.371.511	3.398.882	69.337.197	72%
Centro	486.639	394.339	8.048.188	8%
Sud e Isole	1.244.667	1.021.063	20.829.693	20%
Italia	6.102.817	4.814.465	98.215.078	

(a) elaborazione C.E.T.A. su dati ISTAT dicembre 2009

(b) Bovini > 2 anni: UBA=1; bovini da 6 mesi a 2 anni: UBA=0,6 (DM 7/4/2006)

Produzione unitaria reflui (Liquami + letame)	t/anno * tPV	t/anno * capo
U.B.A. (PV=600 kg)	33 - 35	19,8 - 21,0

Per maggiori dettagli si rimanda alla Tabella 1 dell'Allegato 1 del DLgs 07/04/06 del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali

CARATTERISTICHE CHIMICHE MEDIE

pH	Unità pH	7,5 - 7,7
Sostanza secca - ss	%	5,7-10 (liquame) 12-15 (liquiletame) > 20 (letame)
Sostanza organica - SV	%ss	64 - 82
Azoto totale NTK	%ss	2,8 - 6,6
Azoto Ammoniacale - N-NH ₄	%NTK	50
Fosforo - P	%ss	0,8
Potassio - K	%ss	5,1

Fonte: CRPA

PRODUZIONE SPECIFICA DI BIOGAS

Effluenti bovini	m ³ /t SV	300-450
------------------	----------------------	---------

1.3.3.3 Bufalini

Il settore bufalino in Italia conta un patrimonio complessivo di quasi 350 mila capi, tra bufalini da latte e all'ingrasso, di cui il 90% è distribuito tra due sole Regioni, la Campania (circa il 72%) ed il Lazio (circa il 19%). Sulla base dei dati ISTAT disponibili al 30 giugno 2010, nell'ultimo anno il settore rileva un netto aumento del numero di capi complessivi (+15% circa), dato che si allinea al trend registrato negli ultimi 10 anni. Tale crescita ha interessato sia aree tradizionalmente vocate sia nuove a tale tipo di allevamento. I motivi di questo fenomeno sono da ricondursi principalmente all'aumento della domanda di latte da parte dell'industria della trasformazione, in relazione all'aumento del consumo della mozzarella di bufala, a livello nazionale ed internazionale. La crescita evidenziata dal settore bufalino, più o meno continua sin dagli anni settanta, quando l'allevamento di questa specie si era drasticamente ridotto a poche migliaia di capi, va anche ascritta alla applicazione di moderne tecniche di allevamento, oramai completamente assimilabili a quelle impiegate nel settore bovino, che ha permesso un netto miglioramento delle prestazioni produttive degli animali.

La valorizzazione energetica dei reflui zootecnici provenienti dagli allevamenti bufalini può garantire, come per le altre tipologie di allevamento zootecnico, un'integrazione al reddito aziendale e quindi un incremento della sostenibilità economica dell'intera filiera produttiva.

Il D.M. 7 aprile 2006 dispone per le aziende zootecniche le norme per la distribuzione dei liquami zootecnici sul suolo agricolo, nel rispetto dei limiti di carico di azoto per unità di superficie, previsti dalla "direttiva nitrati" e, stante le affini caratteristiche fisiologiche connesse alla produzione di refluo, assimila la gestione dei reflui della specie bufalina a quella bovina. Questo abbinamento non trova comunque una completa sovrapposizione nella realtà, con differenze fra le specie (es. differenti tempi di ruminazione), legate sia all'alimentazione sia alla tipologia sia alle tecniche di gestione dell'allevamento. In Campania, ad esempio, a causa della difficoltà di reperimento della materia prima, è diffuso l'utilizzo di lettiere senza paglia, il che comporta una maggiore quantità di liquame.

Ad ogni modo, la valutazione delle quantità di effluenti prodotte nell'allevamento bufalino, sempre in relazione alla tipologia di stabulazione, fa riferimento al settore bovino; discorso analogo per quanto attiene le caratteristiche chimiche medie degli effluenti. Analogamente a quanto accade nell'allevamento bovino, l'utilizzo degli effluenti bufalini per la produzione di biogas trova un punto di forza nella disponibilità regolare e continuativa della materia prima, che presenta inoltre una buona propensione tecnica alla digestione anaerobica, in quanto ben dotata di sostanza organica, di buon potere tampone e priva di frazioni inerti non desiderate. L'applicazione di sistemi di digestione anaerobica dei reflui comporta inoltre una significativa riduzione delle emissioni di odori dallo stoccaggio del digestato. Anche nell'allevamento dei bufalini, l'attuazione della Direttiva Nitrati ha comportato delle problematiche relative alla gestione dei reflui, in particolare nelle aree agricole a maggiore intensità zootecnica. La valorizzazione energetica dei reflui tramite i processi di digestione anaerobica, seppur non portando alla diretta riduzione dell'azoto presente nei reflui stessi, consente tuttavia di ridurre i costi operativi dei potenziali trattamenti finalizzati alla rimozione dell'azoto, che generalmente sono caratterizzati da un elevato consumo energetico.

LIQUAMI BUFALINI

Numero di capi in Italia	N. capi ^(a)	U.B.A. ^(b)	Deiezioni (liquami + letame) t/anno	Ripartizione capi
Nord	16.266	13.472	280.337	5%
Centro	68.177	57.229	1.167.472	20%
Sud e Isole	259.564	223.488	4.559.163	75%
Italia	344.007	294.459	6.006.972	

(a) elaborazione C.E.T.A. su dati ISTAT dicembre 2009

(b) Bufalini > 2 anni: UBA=1; bufalini da 6 mesi a 2 anni: UBA=0,6 (DM 7/4/2006)

Produzione unitaria reflui (Liquami + letame)	t/anno * tPV	t/anno * capo
U.B.A. (PV=600 kg)	33	20

Per maggiori dettagli si rimanda alla Tabella 1 dell'Allegato 1 del DLgs 07/04/06 del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali

CARATTERISTICHE CHIMICHE MEDIE (assimilate ai reflui bovini)

pH	Unità pH	7,5 - 7,7
Sostanza secca - ss	%	5,7-10 (liquame) 12-15 (liquiletame) > 20 (letame)
Sostanza organica - SV	%ss	64 - 82
Azoto totale NTK	%ss	2,8 - 6,6
Azoto Ammoniacale - N-NH ₄	%NTK	50
Fosforo - P	%ss	0,8
Potassio - K	%ss	5,1

Fonte: CRPA

PRODUZIONE SPECIFICA DI BIOGAS

Effluenti bufalini	m ³ /t SV	300-450
--------------------	----------------------	---------

1.3.3.4 Avicunicoli ed altri

Nel comparto avicolo la pressoché totalità delle deiezioni, la cosiddetta *pollina*, è sotto forma palabile. Nel settore delle galline ovaiole si sono da tempo affermate tecniche di allevamento che sono in grado di garantire pollina con un livello di umidità inferiore al 30% (aerazione forzata, sistemi a nastri ventilati, tunnel di ventilazione esterno, ecc.). Per l'allevamento degli avicoli a terra, con presenza di lettiera di truciolo o paglia (allevamento a terra di ovaiole, broilers, tacchini), l'umidità della pollina prodotta (deiezione + materiale di lettiera) è stata via via ridotta negli ultimi anni: l'adozione di una accurata coibentazione dei fabbricati e degli abbeveratoi antispreco imposti dalla direttiva IPPC e l'utilizzo di rivoltatori delle lettiere, ha portato ad una generalizzata diminuzione dell'umidità del refluo, indicabile oggi dell'ordine del 35%.

L'asportazione delle deiezioni di ovaiole può avvenire mediante raccolta in fossa di stoccaggio sottostante da cui sono rimosse con mezzi meccanici con periodicità in funzione della capacità di accumulo (ad es. settimanalmente o a fine ciclo). Altri sistemi si servono di nastri di asportazione, immediatamente sottostanti le gabbie. Nel caso degli allevamenti su lettiera, l'asportazione avviene a fine ciclo.

Gli allevamenti avicoli insistono particolarmente in Veneto, Lombardia ed Emilia Romagna; in tali Regioni si concentrano oltre il 70% dei capi presenti in tutto il territorio nazionale.

L'elevato potere fertilizzante di queste biomasse (in particolare per l'alta concentrazione di Azoto) è da decenni valorizzato mediante il compostaggio e le tecnologie per la produzione di concimi. Tuttavia in seguito alle problematiche emerse in seguito all'attuazione della Direttiva Nitrati, la valorizzazione energetica della pollina ha assunto grande interesse, offrendo una soluzione alternativa, potenzialmente sostenibile, per la gestione della pollina, specialmente nelle aree a maggiore criticità.

Le filiere di sfruttamento energetico della pollina non sono tuttavia esenti da problematiche di vario ordine. Ad esempio la produzione di energia (elettrica e termica) in impianti di gassificazione, pirolisi e pirogassificazione presenta ancora alcune problematiche di tipo impiantistico e processistico per cui allo stato attuale si ritiene tale opzione ancora a livello sperimentale o di impiego in impianti pilota; per quanto riguarda la combustione, anche a seguito delle recenti modifiche normative (L. 96/2010), essa è possibile in caldaie simili a quelle impiegate per le biomasse agroforestali a patto che siano dotate di griglia mobile e debitamente adattate a causa della particolare composizione e caratteristiche chimico fisiche di ceneri e scorie.

Per la produzione di biogas dalla digestione anaerobica le principali criticità sono invece legate a effetti tossici dovuti all'elevato contenuto di azoto e l'elevata salinità oltre che alla presenza di materiale sedimentabile ed all'elevato contenuto di lignina.

Le deiezioni asportate fresche presentano un contenuto in solidi totali del 18-20% ed alto contenuto di azoto. L'ammoniaca, che si libera in presenza di acqua per idrolisi enzimatica, può raggiungere alte concentrazioni, inibire il processo di digestione e dare luogo a forti emissioni nella fase di stoccaggio del digestato. Inoltre, frequentemente la pollina contiene inerti che sedimentando possono causare problemi operativi e ridurre il volume utile dei reattori.

Tenuto conto di questi aspetti, la produzione di biogas è attualmente fattibile in alcuni contesti, in co-digestione con altre biomasse. La resa specifica in biogas è di circa 350-450 Nm³/t di sostanza secca.

DEIEZIONI AVICOLE (POLLINA)
CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Potere calorifico inferiore (MJ/kg)	14,6-16,0
Umidità (%)	15-50% (ovaiole in batteria) 35% (su lettiera)

COMPOSIZIONE CHIMICA

Parametro	Unità	Broiler	Ovaiole	Tacchini
Umidità	%	28,5	42,0	41,8
PCN	MJ/kg tq	10,9	6,1	7,2
Ceneri	% ss	16,7	37,5	24,7
PCI	MJ/kg ss	16,1	12,3	14,2
Cu totale	mg/kg ss	41,0	120,5	276,7
Cd totale	mg/kg ss		0,7	1,8
Pb totale	mg/kg ss	18,2	1,6	3,0
Ni totale	mg/kg ss	5,6	7,2	12,0
N	mg/kg ss	5,9	8,4	4,0
Na	mg/kg ss	871,0	1.999	2.943
K	mg/kg ss	18,9	46,9	37,7

Fonte: CTI - Progetto GASPO

DISTRIBUZIONE SOTTOCATEGORIE

Broiler	56%
Ovaiole	26%
Tacchini	8%
Altro (faraone, oche, ecc.)	10%

PRODUZIONE UNITARIA

Broiler (PV medio per capo: 1 kg) (t/anno)	0,0062
Ovaiole (PV medio per capo: 1,8-2 kg)(t/anno)	0,0160
Tacchini (PV medio per capo: 4,5-9 kg) (t/anno)	0,0300
Stima produzione media (t/anno)	0,0034

Fonte: DM 7/4/2006

NUMERO DI CAPI E PRODUZIONE DI POLLINA

	n. di capi	Pollina t/anno
Nord	128.000.000	430.000
Centro	14.000.000	47.000
Sud e Isole	16.000.000	52.000
Italia	158.000.000	529.000

Fonte ISTAT – Sistema Indicatori Territoriali – 2007

Il **comparto cunicolo**, pur avendo un ruolo meno importante di quello riconosciuto alle altre produzioni animali, rappresenta il quarto settore della zootecnia nazionale.

A partire dagli anni '80 ha affrontato il passaggio da allevamento di entità economica del tutto marginale, e di utilizzo prettamente familiare, ad attività di tipo manageriale con la nascita di vere e proprie aziende specialistiche. La produzione di carne è notevolmente cresciuta soprattutto per l'aumento della domanda da parte dei consumatori. Oggi l'Italia è il primo produttore al mondo di carne di coniglio, con un numero di capi allevati che supera i 9.000.000, di cui quasi il 60% presenti in Veneto e Friuli Venezia Giulia.

Nell'allevamento cunicolo la gestione delle deiezioni può essere effettuata in due modi:

- accumulo interno al capannone;
- accumulo all'esterno, con pulizia giornaliera.

La prima soluzione prevede la creazione, al di sotto delle batterie, di una fossa capace di contenere le deiezioni prodotte indicativamente in un anno. Oggi viene preferita l'asportazione giornaliera delle deiezioni all'esterno del fabbricato, evitando, così, che abbiano luogo fenomeni fermentativi con liberazione di ammoniaca, di idrogeno solforato e altri gas, con le ovvie controindicazioni per gli animali, gli operatori e le strutture stesse.

L'asportazione delle deiezioni dal capannone può essere attuata con raschiatori meccanici, nastri trasportatori sotto le gabbie, o mediante lavaggio con acqua.

In molti casi durante l'asportazione dei liquami viene effettuata anche la separazione delle deiezioni solide. La soluzione più semplice è quella di utilizzare un nastro trasportatore per convogliare alla rampa di carico sulla concimaia le deiezioni portate all'esterno dei capannoni dai sistemi di pulizia meccanica. Il liquido di sgrondo defluisce per gravità nella vasca di stoccaggio ricavata sotto la concimaia o nelle sue adiacenze, mentre i solidi percorrono la rampa per essere depositi in cumulo.

La separazione dei solidi, con il prelievo dei liquami da vasca e loro convogliamento a un separatore liquido/solido vero e proprio, è una pratica che si è diffusa in questi ultimi anni: va considerata con interesse perché produce solidi di più facile fermentescibilità, ma risulta decisamente impegnativa sotto l'aspetto energetico.

Le deiezioni cunicole, particolarmente la frazione solida, con un contenuto di sostanza secca pari al 35-40%, si prestano alla valorizzazione energetica mediante la produzione di biogas, con una resa specifica di circa 350 Nm³/t di sostanza secca.

DEIEZIONI CUNICOLE
COMPOSIZIONE CHIMICA (a)

Parametro	unità	
Sostanza secca	%	35-40
Proteina grezza	%ss	12-18
Lipidi grezzi	%ss	3-4
Ceneri	%ss	10-15
NDF	%ss	75-80
ADF	%ss	45-50
Lignina	%ss	10-12

(a) feci dure + urine + acqua abbeveratoi. Fonte: Bittante et al., 1993

PRODUZIONE UNITARIA

In gabbia con asportazione con raschiatore (PV: 1,7-3,5-16,6 kg/capo ^b)	20 m ³ /tPV/anno
In gabbia con pre-disidratazione in fossa e asportazione con raschiatore	13,0 m ³ /tPV/anno
Stima produzione media	0,043 m³/capo/anno

(b) rispettivamente: coniglio da carne, da riproduzione e fattrice con corredo di conigli in allevamento a ciclo chiuso. Fonte: DM 7/4/2006

NUMERO DI CAPI E PRODUZIONE DI REFLUI

	n. di capi	m ³ /anno
Nord	6.800.000	292.000
Centro	908.000	40.000
Sud e Isole	1.450.000	62.000
Italia	9.158.000	394.000

Fonte ISTAT – Sistema Indicatori Territoriali – 2007

Tab. 1.22. Produzioni in altre tipologie di allevamenti

GENERE ANIMALE	PESO VIVO MEDIO (KG)	DEIEZIONI (KG/GIORNO)	ss (%)
Equini			
Riproduttori	700	50	9
Puledri	200	30	
Ovini			
Agnelloni	45	1,8-2,4	11
Pecore	60-80	3,5-7	

Confronto tra le varie matrici organiche

Il potenziale nazionale di biogas derivante da allevamenti bovini e bufalini supera i 1.480 milioni di Nm³ di biogas, mentre quello suino è pari a 345,8 milioni Nm³. È importante evidenziare come la localizzazione del potenziale sia concentrato in poche regioni, nel centro-nord Italia e in Campania, unica regione del Sud. Analogamente nel settore suinicolo sono sempre le regioni del Centro-Nord (Lombardia, Piemonte, Veneto ed Emilia-Romagna) che guidano la classifica, evidenziando come al Sud siano poco diffusi e con un potenziale limitato.

Tab. 1.23. Resa media in biogas da vari substrati

	Quantità	% s.s.	Produzione di biogas (Nm ³)	% di CH ₄
Liquame bovino	1 m ³	7,5	25	55
Liquame suino	1 m ³	4,5	15	55
Letame bovino	1 m ³	22	70	55
Letame suino	1 t	20-25	60	60
Deiezioni avicole solide	1 t	32	70-90	60
Silomais	1 t	35	225	52
Fraz. Organica RSU	1 t	18	105	51
Scarti di verdura	1 t	14	55	53

Fonte: Aiel "Energia elettrica e calore dal biogas - una concreta opportunità per gli agricoltori".

Tab. 1.24. Valori indicativi sulla produttività di alcune colture e allevamenti

	100 capi vacche da latte	100 capi vitelli da ingrasso	100 maiali da ingrasso	100 maiali adulti	1 ha silomais	1 ha di prato	1 ha di erba medica
Nm ³ biogas/g	210	60	15	20	32	14	20
kWel	17	5,3	1,2	1,9	2,5	1,2	1,5
kWhel/anno	150.000	46.000	10.500	16.500	21.000	10.000	13.500

Fonte: Aiel "Energia elettrica e calore dal biogas - una concreta opportunità per gli agricoltori".

Tab. 1.25. Produzione media procapite di bovini, suini e avicoli e confronto tra coefficienti

Tipologia	Peso vivo (kg)	Deiezioni (kg ss/anno)	Deiezioni (kg ss/100 kg pv* giorno)
Bovini da latte	550	2.100	1,05
Vitelli	125	230	
Vitelloni da carne	400	1.200	0,82
Scrofe	160	310	
Suini	80	160	
Suinetti	17,5	40	
Avicoli	1,5	11,2	

Fonte: ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Accademia Nazionale di Agricoltura, 1991, Agricoltura e Ambiente, Edagricole.

Prodotti principali e secondari della digestione anaerobica

Come già detto il biogas è il prodotto principale della digestione anaerobica, esso è composto da una miscela di gas: metano, in genere pari a 55-75% quando è ottenuto con gli effluenti zootecnici, da anidride carbonica, tracce di idrogeno solforato e acqua.

La trasformazione energetica del biogas in azienda può avvenire:

- per combustione diretta in caldaia, con produzione di sola energia termica;
- per combustione in motori azionanti gruppi elettrogeni per la produzione di energia elettrica;
- per combustione in cogeneratori per la produzione combinata di energia elettrica e di energia termica.

Con 1 m³ di biogas è possibile produrre mediamente 1,8-2 kWh di energia elettrica e 2-3 kWh di energia termica.

Il biogas, dopo essere stato purificato a biometano al 95-98% può anche essere utilizzato per autotrazione e/o immesso nella rete di distribuzione del gas naturale. Infatti, il principale vantaggio del biometano è quello di poter essere stoccato e pertanto anche trasportato all'interno della rete del gas, rendendo possibile il suo pieno sfruttamento, sia termico che elettrico.

La descrizione della composizione chimica del biogas e del biometano è contenuta nel capitolo 1.5.3.

Il sottoprodotto della digestione anaerobica è il digestato, questo si distingue in: acidogenico e metanogenico.

Il digestato acidogenico è un materiale organico stabile composto prevalentemente da lignina e cellulosa, ma anche da una varietà di componenti minerali e da una matrice di cellule batteriche morte. Questo digestato è un succedaneo al compost.

Il digestato metanogenico è il terzo sottoprodotto della digestione anaerobica e, in relazione alla qualità del materiale sottoposto a digestione, può rappresentare un fertilizzante eccellente e ricco di nutrienti.

Il digestato, se prodotto esclusivamente da matrici organiche agricole: effluenti, scarti agroindustria, colture dedicate, ecc. può essere impiegato nell'azienda stessa come fertilizzante, previa operazione di stabilizzazione.

1.3.4 Industria del legno (residui della prima e seconda lavorazione)

Per questa categoria le tipologie delle biomasse residuali più significative come possibile fonte energetica, possono essere così classificate:

Residui della prima lavorazione del legno

- Sciaveri, segatura, corteccia, trucioli, refili, intestature ed altro.

Residui della seconda lavorazione del legno

- segatura, trucioli, refili e altro.

La produzione in termini di qualità e quantità varia molto a seconda del processo produttivo adottato dall'azienda e dalla tipologia del materiale legnoso lavorato, a titolo esemplificativo un'industria che lavora molto legno di conifera ha elevate produzioni di corteccia rispetto alle latifoglie. Inoltre alcune operazioni possono essere svolte direttamente in bosco come la scorciatura, la refilatura o l'intestazione con l'impossibilità di recupero del sottoprodotto.

Il recupero presso l'industria del legno dei residui può essere effettuato con sistemi di raccolta meccanica per quelli più grossolani (sciaveri, intestature, refili e trucioli) o con sistemi di aspirazione (segatura e polveri legnose).

Trattandosi di residui di una lavorazione principale tali sottoprodotti, quando non espressamente impiegati dall'azienda stessa per produrre energia di processo o trasformati in biocombustibili (es. pellet e brichette), sono classificati secondo il seguente codice CER (Codice Europeo dei Rifiuti): Codice CER: 03 01 01 (scarti di corteccia e di sughero).

Le principali caratteristiche dei sottoprodotti dell'industria del legno sono di seguito riassunte.

Tab. 1.26. Caratteristiche fisiche dei principali sottoprodotti dell'industria del legno

Materiale	Umidità (%)	Massa sterica (kg/mst)	PCI (MJ/kg)	Ceneri (% ss)
Segatura	15-20	160	14,5-11,7	0,3-5
Corteccia	15-20	180	19,2	3,8
Trucioli	15-20	90	14,5-11,7	0,3-5

Fonte: Elaborazione ITABIA su dati AIEL da "Legna e cippato" Manuale pratico, 2009

Tab. 1.27. Caratteristiche chimiche dei principali sottoprodotti dell'industria del legno (in % sulla sostanza secca)

Elemento	C	H	O	N	K	S	Cl
Corteccia di conifere	51,4	5,7	38,7	0,48	0,24	0,085	0,019

Fonte: Elaborazione ITABIA su dati AIEL da "Legna e cippato" Manuale pratico, 2009

1.4. Biomasse da colture dedicate

Come accennato nell'introduzione le colture dedicate sono coltivazioni agricole o forestali specificatamente coltivate con finalità energetica.

Tali colture possono seguire le stesse identiche metodologie colturali delle coltivazioni tradizionali (es. mais per biogas, girasole per olio vegetale, pioppo per biomassa) oppure differire per le varietà utilizzate, le cure colturali, i sestri di impianto, i terreni su cui insistono (es. ex discariche, fasce di terreno ai bordi stradali e ferroviari, ecc.), e per le macchine ed i sistemi di raccolta, a volte studiati appositamente per queste colture.

Non è facile stabilire a quanto ammonti la superficie destinata a tali colture, in quanto a volte, come detto, varia solo la destinazione finale del prodotto ottenuto (es seme di girasole per mercato alimentare o energetico) ma non la coltura censita.

Questo tipo di coltivazioni, soprattutto quelle di tipo forestale sono indicate con gli acronimi: SRF (Short Rotation Forestry) o SRC (Short Rotation Coppice).

1.4.1. Colture ligno-cellulosiche

Per la produzione di biomassa ligno-cellulosica le colture dedicate maggiormente impiegate, per le rese colturali che offrono sono:

- il pioppo;
- la robinia;
- l'eucalipto;
- la canna comune;
- il miscanto;
- il cardo da fibra.

Gli impianti a rapido accrescimento realizzati con colture arboree come Pioppo, Robinia o Eucalipto sono comunemente identificati con diversi acronimi di derivazione anglosassone, come: SRC (Short Rotation Coppice) o SRF (Short Rotation Forestry), entrambi i termini indicano le stesse formazioni colturali e possono essere utilizzati indistintamente.

1.4.1.1 Il pioppo

Il pioppo comprende diverse specie del genere *Populus* ed è la principale pianta arborea utilizzata sui terreni agricoli del Centro-Nord Italia nei cedui a corta rotazione (SRC), ovvero soprassuoli coltivati su terreni agricoli composti da specie arboree a rapido accrescimento. Tali cedui sono caratterizzati da un'elevata densità di impianto, ripetute ceduzioni in periodi molto brevi, da 1 fino a 6 anni, e tecniche di coltivazione intensive.

In Italia, oltre al pioppo sono impiegati salice, robinia ed eucalipto.



Modelli colturali e produttività

In Italia finora sono stati coltivati prevalentemente i cedui a turno annuale e biennale (modello europeo); si rileva tuttavia un crescente interesse per i cedui con minore densità d'impianto e

turni fino a 5-6 anni (modello americano). La tabella seguente riporta una sintesi dei valori di produttività di piantagioni - sia commerciali che sperimentali - rilevati in Italia e in Europa a partire dagli anni '90.

Tab. 1.28. Modelli colturali e produttività annue

Modello colturale	Turno	Regioni	Specie	Densità (piante/ha)	Produttività (t _{ss} /ha/anno)
Modello europeo	1 anno	Lombardia (BS, PV)	Pioppo	12.000	F1R1 - 3,8
			Pioppo bianco	14.000	F1R2 13,8
		Toscana (PI)	Pioppo	10.000	F1R3 4 - 10,4
		Piemonte (AL)	Pioppo	10.000	10,0 (media)
					F1R1 13,0
		Veneto		6.000	F1R2 8,1 - 10,8
		Friuli V. G.		6.000	10,1 (media)
		Toscana (PI)		10.000	9,0 (media)
	Lazio (RM)		10.000	18,0 (media)	
	3 anni	Toscana (PI)	Pioppo	7.200	10,0 (media)
				10.300	20,0 (media)
				10.000	10-14
	Germania (Baviera)		10.000	8-12	
	Austria		10.000		
Modello americano	5-6 anni	Lombardia (PV)	Pioppo bianco	1.667	F6R6 4,6 - 7,9
			Pioppo	1.667	F5R5 11,1
		Piemonte (VC, AL)	Pioppo		F6R6 9,1
				1.333	F5R5 16,2
			F6R11 14,7		

Nota: F= età del fusto; R= età radice Fonti: Bregante e Facciotto 2006; Piccioni e Bonari 2006, Lewis 2007; Hofmann 2008; Verani e Sperandio 2008.

Fig. 1.12. Ceppaia di pioppo con ricaccio di polloni



Il ceduo entra in regime di produzione tra il secondo e il terzo turno con una produttività destinata a diminuire con il tempo, specie nei modelli colturali più intensivi, a causa della graduale mortalità delle ceppaie.

Allungando il turno si ottiene un minor decremento della produttività nel tempo e riducendo la densità si riducono i costi di coltivazione, mentre aumentano i costi di utilizzazione.

Src - modello europeo

Densità di impianto: 6.000-14.000 piante/ha

Turno: 1-3 anni

Durata: ca. 12 anni

Sesto di impianto: fila singola (1,5-2 x 0,7-0,8 m) o binata (1,5-3 x 0,7-0,8 x 0,75 m)

Fig. 1.13. Falcia-trincia-caricatrice in azione su filare di pioppo con l'ausilio di rimorchio laterale



Principali vantaggi del modello europeo

- disponibilità di cloni con elevata capacità di crescita, ricaccio e resistenza alle principali avversità
- produzioni di grandi quantità di materiale ogni due anni
- non richiede cure per la qualità del legno

Src - modello americano

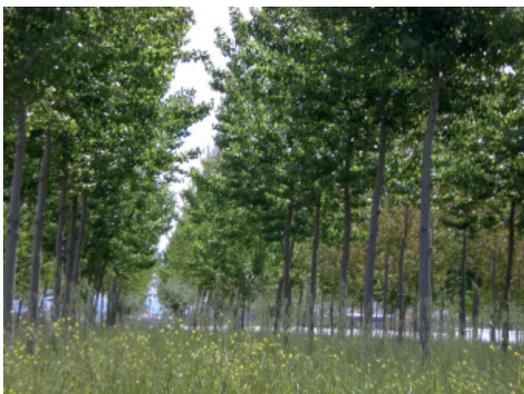
Densità di impianto: 1.300-1.700 piante/ha

Turno: 5-6 anni

Durata: ca. 15 anni

Sesto di impianto: 2,5-3,5 x 1,5-2,5

Fig. 1.14. Coltivazione secondo il modello americano



Principali vantaggi del modello americano rispetto a quello europeo

- possibilità di anticipare o posticipare il turno di 1-2 anni in funzione delle richieste del mercato
- possibilità di produrre vari assortimenti: produzione di tondello e cippato, topi da sega per l'industria dell'imballaggio, tronchetti per cartiera
- pratiche colturali meno intensive e controllo delle infestanti meno problematico
- possibilità di effettuare una stagionatura intermedia del materiale tal quale riducendo le perdite di sostanza legnosa
- produzione di cippato di migliore qualità

Impianto e cure colturali

La messa a dimora dell'impianto è preceduta da un'accurata preparazione del terreno (aratura, erpicatura, discatura) o lavorazione con rotoaratro a file. Il trapianto delle talee o degli astoni di pioppo si esegue in marzo-aprile con apposite macchine trapiantatrici (Fig. 1.15)

In pre-emergenza viene effettuato un diserbo chimico con prodotti erbicidi, localizzato o a pieno campo.

Nel primo anno si eseguono sarchiature e periodiche erpicature (30 cm) per contenere le infestanti. Negli anni successivi possono essere necessari interventi fitosanitari contro la Crisomela del pioppo. La concimazione chimica azotata è effettuata ad ogni ceduzione prima della ripresa vegetativa (100 kg N/ha).

A fine ciclo (10-15 anni) si effettua il ripristino del terreno: triturazione ed eliminazione delle ceppaie e delle radici.

Fig. 1.15. Particolare di una trapiantatrice per talee di pioppo



Taglio e raccolta

Fig. 1.16. Falcia-trincia-caricatrice su filare di pioppo



Modello europeo

La raccolta è fatta con specifiche falcia-trincia-caricatrici oppure con più piccole trincia-caricatrici. Le produttività sono rispettivamente di ca. 15 e 4 t_{ss}/ora sui cedui biennali.

Si ottiene cippato fresco con un contenuto idrico medio del 55% (M), venduto prevalentemente alle centrali termoelettriche e in misura minore all'industria dei pannelli.

Fig. 1.17. Braccio idraulico con testata abbattitrice



Modello americano

Il taglio è effettuato con macchine forestali (abbattitrici, cesoie; produttività ca. 3-9 t_{ss}/ora), con la possibilità di accumulare il materiale tal quale in cataste per la stagionatura all'aria prima della cippatura.

Generalmente la stagionatura dura ca. tre mesi (marzo-giugno) ed il materiale cippato raggiunge un contenuto idrico medio del 40% (M).

Se il cippato è stagionato per ulteriori tre mesi sotto copertura, raggiunge M 30% e può essere impiegato anche nelle caldaie di piccola-media taglia (griglia fissa).

Costi di raccolta e trasporto

In termini orientativi, i costi di raccolta e trasporto per i modelli colturali considerati così come individuati in letteratura sono riassunti in tabella 1.29.

Tab. 1.29. Produttività, costi di raccolta e trasporto per i modelli colturali considerati

	Fonte	Autore	Anno	Produttività	Turno	Trasporto	Costi raccolta e trasporto		M
				t _{ss} /ha/anno	anni	€/t _{ss}	€/t _{ss}	€/t _{sf}	%
Mod. EU	FND (DE)	Hofmann et al.	2008	12	3	10	25	11,3	55
	FHP (AT)	Lewis	2007	10	3	7	38	17,1	55
	FHP (AT)	Traupmann e Holzer	2006	10	4	4,1	16,3	7,3	55
	ARSIA (IT)	Bonari et al.	2004	17	1-3	-	41,6	20,0	52
	CNR-IVALSA (IT)	Spinelli et at.	2004	13 7	1 2	12-23	35,4 43,6	14,2 19,2	60 56
Mod. USA	CNR-IVALSA (IT)	Spinelli et at.	2004	9	5	12-23	48	19,2	60
	FHP (AT)	Traupmann e Holzer	2006	10	6	12,6	37,4	16,8	55

Il trasporto effettuato entro un raggio di 100 km con un carico di 18-20 t_{sf} (ca. 90 msr con M40) ha un costo di circa € 300, ovvero 15-16 €/t_{sf} (25-28 €/t_{ss}).

Costi colturali

I costi colturali che un agricoltore deve affrontare nel caso di un SRC - modello europeo, vita colturale di 12 anni e turno biennale, sono riassunti in tabella 1.30.

Tab. 1.30. Voci di costo per modello europeo (turno biennale e durata dell'impianto pari a 12 anni)

Voci di costo – turno biennale	Periodicità	
Preparazione terreno: aratura, affinatura, concimazione di fondo P, K (€/ha)	430	Primo anno
Materiale vegetale (€/t _{ss})	1750	Primo anno
Cure colturali: diserbi chimici e meccanici e concimazione N (€/ha/2 anni)	300	Ogni 2 anni
Raccolta (€/t _{ss})	35	Ogni 2 anni

Nel caso di un SRC - modello americano, vita colturale di 15 anni e turno quinquennale, i costi affrontati dall'agricoltore sono riassunti in tabella 1.31.

Tab. 1.31. Voci di costo per modello europeo (turno biennale e durata dell'impianto pari a 15 anni)

Voci di costo – turno quinquennale	Periodicità	
Preparazione terreno: aratura, affinatura, concimazione di fondo P, K (€/ha)	430	Primo anno
Materiale vegetale (€/t _{ss})	1800	Primo anno
Cure colturali: diserbo meccanico e concimazione N (€/ha/5 anni)	150	Ogni 5 anni
Raccolta (€/t _{ss})	45	Ogni 5 anni

Ricavi medi annui

Modello europeo

Nel caso in cui un agricoltore, accollandosi le spese di raccolta, venda cippato prodotto da un SRC con turno biennale e ciclo di vita di 12 anni franco partenza, può ottenere i guadagni riassunti in tabella 1.32 e 1.33. I dati economici contenuti nelle successive tabelle sono frutto di elaborazioni eseguite da AIEL.

Tab. 1.32. Guadagni medi annui per ettaro per tre diversi livelli di produttività e prezzo di vendita del cippato (M55), senza contributo all’impianto

Prezzo		Produttività (t _{ss} /ha/anno)		
€/t _{sf}	€/t _{ss}	10	14	18
28	62	-148	-40	68
34	75	-18	142	302
45	100	232	492	752

Tab. 1.33. Guadagni medi annui per ettaro per tre diversi livelli di produttività e prezzo di vendita del cippato (M55), con un contributo all’impianto pari a € 2.180

Prezzo		Produttività (t _{ss} /ha/anno)		
€/t _{sf}	€/t _{ss}	10	14	18
28	62	92	200	308
34	75	222	382	542
45	100	472	732	992

Modello americano

Nel caso in cui un agricoltore, accollandosi le spese di raccolta, venda cippato prodotto da un SRC con turno quinquennale e ciclo di vita di 15 anni franco partenza, può ottenere i guadagni riassunti in tabella 1.34 e 1.35

Tab. 1.34. Guadagni medi annui per ettaro per tre diversi livelli di produttività e prezzo di vendita del cippato (M40), senza contributo all’impianto

Prezzo		Produttività (t _{ss} /ha/anno)		
€/t _{sf}	€/t _{ss}	10	14	18
37	62	-228	-160	-92
45	75	-98	22	142
60	100	152	372	592

Tab. 1.35. Guadagni medi annui per ettaro per tre diversi livelli di produttività e prezzo di vendita del cippato (M40), con un contributo all’impianto pari a € 2.230

Prezzo		Produttività (t _{ss} /ha/anno)		
€/t _{sf}	€/t _{ss}	10	14	18
37	62	10	78	146
45	75	140	260	380
60	100	390	610	830

Nel caso in cui un agricoltore venda le piante in piedi ad un'impresa di utilizzazione, i possibili guadagni sono riassunti in tabella 1.36 e 1.37

Tab. 1.36. Guadagni medi annui per ettaro nel caso di vendita di piante in piedi per tre diversi livelli di produttività e prezzo di vendita del cippato (M40), senza contributo all'impianto

Prezzo		Produttività (t _{ss} /ha/anno)		
€/t _{sf}	€/t _{ss}	10	14	18
10	16	-238	-174	-110
15	25	-148	-48	52
20	33	-68	64	196

Tab. 1.37. Guadagni medi annui per ettaro nel caso di vendita di piante in piedi per tre diversi livelli di produttività e prezzo di vendita del cippato (M40), con un contributo all'impianto pari a € 2.230

Prezzo		Produttività (t _{ss} /ha/anno)		
€/t _{sf}	€/t _{ss}	10	14	18
10	16	0	64	128
15	25	90	190	290
20	33	170	302	434

PIOPPA

TECNICA CULTURALE	
Materiale di propagazione	Talee
Densità	6.000-14.000 piante/ha (mod. europeo); 1.600-1.300 piante/ha (mod. americano)
Sesti d'impianto (m)	fila singola: 1,5-2 x 0,7-0,8 m) o binata: (1,5-3 x 0,7-0,8 x 0,75 m) (mod. europeo); 2,5-3,5 x 1,5-2,5 (mod. americano)
Modalità di semina	Fila singola o binata
Epoca di semina	Da febbraio ad aprile
Preparazione del terreno	Discissura profonda, aratura ed erpicatura
Concimazione	All'impianto (kg/ha): N: 100; P2O5: 100-150; K2O: 100-150 N: 70-80 alla ripresa vegetativa dal 2° anno
Irrigazione	Solo di emergenza al primo anno
Diserbo	Chimico in pre-emergenza, localizzato o in pieno campo; meccanico periodico
Raccolta	Da novembre a febbraio
Modalità di raccolta	Falcia-trincia-caricatrici o trincia-caricatrici appositamente modificate
RESE	
Resa culturale	7-17 tss/ha/anno (2°-3° anno) mod. europeo; 9-10 tss/ha/anno (5°-6° anno) mod. americano
CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLA BIOMASSA	
Sostanza secca	45-50 %
Umidità indicativa alla raccolta	50-55 %
Massa volumica	200-250 kg/m ³
Potere Calorifico Inferiore	17-18 MJ/kg
BILANCIO ECONOMICO	
Durata dell'impianto	12 – 15 anni
Costo d'impianto	2.000 – 2.500 €/ha
Costo medio annuo	200-300 circa €/ha
Ricavo medio annuo	500-1.000 €/ha
Reddito medio annuo	200-700 €/ha

1.4.1.2 La robinia

La Robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) appartiene alla famiglia delle leguminose e cresce in climi umidi con medie delle precipitazioni annue intorno a 1.000-1.500 mm. Nei climi più aridi, come quello del Mediterraneo, si è ben adattata con discreti accrescimenti. Da un punto di vista pedologico tollera molti tipi di suoli ad eccezione di quelli troppo compatti, preferendo suoli freschi, silicei, permeabili, con un valore di pH di circa 6. È una specie azotofissatrice come le altre leguminose, mellifera e ornamentale. L'utilizzazione principale in Italia è per la produzione di paleria e legna da

ardere. Grazie alla sua capacità pollonifera e di rapida crescita si è incominciato ad impiegarla come specie da SRF, in particolare nei terreni più poveri e collinari del Centro-Sud Italia.

Modelli colturali e produttività

I modelli colturali sono di due tipi: europeo ed americano. Il modello europeo prevede la coltivazione di specie con forti densità da 8.000 piante/ha fino a 12.000 piante/ha e turno breve di 2-3 anni. In alternativa il modello americano prevede minori densità d'impianto 1.100-1.500 piante/ha e turni fino a 5-6 anni. Di particolare interesse una sperimentazione condotta in Spagna che abbina elevate densità, circa 10.000 piante/ha, a turni di 5 anni. La tabella 1.38 riporta una sintesi dei valori di produttività di piantagioni - sia commerciali che sperimentali - rilevati in Italia e in Europa.

Tab. 1.38. Modelli colturali e produttività annue

Modello	Turno (anni)	Densità (piante/ha)	Produzione (t/ha s.s.)	
			I turno	Il turno
Europeo	2	12.000	12.5	9.1
Europeo	2	8.000	11.1	12.5
Americano	5	1.500	6.6	---
Americano	5	1.100	7.2	---
Ibrido	5	10.000	15.3	

Il ceduo di Robinia entra in regime di produzione tra il primo e il secondo turno con una produttività destinata a diminuire con il tempo, specie nei modelli colturali più intensivi, a causa della graduale mortalità delle ceppaie.

Allungando il turno si ottiene un minor decremento della produttività nel tempo e riducendo la densità si riducono i costi di coltivazione, mentre aumentano i costi di utilizzazione in quanto sono necessarie macchine più grandi per il taglio delle piante.

Src - modello europeo

Densità di impianto: 8.000-12.000 piante/ha

Turno: 2 anni

Durata: ca. 12 anni

Sesto di impianto: fila singola (0,40-0,60 x 1,60-2,5 m)

Principali vantaggi del modello europeo

- produzioni di grandi quantità di materiale ogni due anni
- non richiede cure per la qualità del legno

Src - modello americano

Densità di impianto: 1.100-1.500 piante/ha

Turno: 5-6 anni

Durata: ca. 15 anni

Sesto di impianto: 2,5-3,5 x 1,5-2,5m

Principali vantaggi del modello americano rispetto a quello europeo

- possibilità di anticipare o posticipare il turno di 1-2 anni in funzione delle richieste del mercato
- possibilità di produrre vari assortimenti: produzione di legna da ardere, paleria minuta e cippato

- pratiche colturali meno intensive e controllo delle infestanti meno problematico
- possibilità di effettuare una stagionatura intermedia del materiale tal quale riducendo le perdite di sostanza legnosa
- produzione di cippato di migliore qualità

Impianto e cure colturali

La messa a dimora dell'impianto è preceduta da un'accurata preparazione del terreno (aratura, erpicatura, discatura). Per il trapianto si impiegano semenzali di un anno a radice nuda mentre per i cloni si ricorre alle talee radicali. La piantagione si può effettuare a pianta ferma dall'autunno fino alla primavera. Le piantine al momento dell'impianto devono essere tagliate a circa 15 cm dal colletto. Per l'impianto si possono utilizzare trapiantatrici per specie orticole o di tipo forestale.

Il controllo delle infestanti è particolarmente importante nei primi mesi di coltivazione per favorire l'attecchimento e la crescita delle giovani piantine. Si interviene prima della preparazione del suolo con un intervento a base di glyphosate per eliminare le infestanti perenni, dopo la messa a dimora si interviene con prodotti antigerminello che garantiscono una copertura per 30-40 giorni.

Per la Robinia è consigliata una concimazione di fondo con 150 unità/ha di fosforo (P_2O_5) e potassio (K_2O) mentre per l'azoto è da considerarsi autosufficiente.

Poiché l'irrigazione è una pratica costosa va presa in considerazione solo per interventi di soccorso e per favorire l'attecchimento dell'impianto nelle primavere siccitose e negli ambienti dell'Italia centro-meridionale. Il metodo più economico è quello a scorrimento superficiale anche se il più dispendioso in termini di acqua. Se l'azienda dispone di attrezzature per l'irrigazione si può irrigare per aspersione a pioggia. Il miglior modo sarebbe comunque quello dell'irrigazione localizzata per economizzare l'acqua e l'imitare la crescita delle infestanti.

A fine ciclo (10-15 anni) si effettua il ripristino del terreno con la triturazione ed eliminazione delle ceppaie.

Taglio e raccolta **Modello europeo**

La raccolta è fatta con testate falcia-trincia-caricatrici montate su trattori di elevata potenza (300 kW) supportate da altri tre trattori con rimorchi a sponde alzate. I dati di produttività lorda e netta (senza tempi morti) condotti su un impianto di robinia al secondo turno (età F2; R4) sono rispettivamente di 15 t/h e 25 t/h.

Il principale vantaggio della Robinia rispetto ad altre specie SRF è il ridotto contenuto idrico del legno che varia in media da 40-35% (M).

Costi di raccolta e trasporto

I costi di raccolta e trasporto sono uguali a quelli di altre colture ad SRF, la Robinia presenta però produttività più basse ma d'altro canto un materiale legnoso con un basso contenuto idrico (40-35%). In termini orientativi, i costi di raccolta e trasporto effettuato entro un raggio di 100 km con un carico di 18-20 t_{sf} (ca. 90 m³ con M40) sono di circa € 300, ovvero 15-16 €/t_{sf} (25-28 €/t_{ss}).

Costi colturali

I costi colturali si avvicinano molto a quelli delle altre colture da SRF considerate anche se per la Robinia, data la rusticità e l'assenza di concimazioni azotate alcune voci di costo sono minori. I costi colturali che un agricoltore deve affrontare nel caso di un SRF applicando il modello europeo, con una vita colturale di 12 anni e turno biennale, è di 1.500 €/ha nel primo turno.

Nel caso di un SRF con modello americano, la cui vita colturale di 15 anni e turno quinquennale, i costi affrontati dall'agricoltore sono di circa 1.000 €/ha.

Ricavi medi annui

I ricavi da una coltura SRF di Robinia sono molto limitati. L'unico modo per intervenire è quello del sostegno finanziario all'inizio dell'attività con il pagamento di tutti o parte i costi iniziali più importanti che sono: spese di impianto, spese per l'acquisto del materiale vegetativo e spese per mancato reddito. Queste voci di spesa relativamente basse sono a tutt'oggi previste dalla Misura 221 dei PSR 2007-2013.

Tab. 1.39. Bilanci economici

Durata dell'impianto	10-15 anni
Costi d'impianto	1.000-1500 €/ha
Ricavo medio annuale	420-660 €/ha
Reddito medio annuale	60-300 €/ha

ROBINIA

TECNICA CULTURALE	
Materiale di propagazione	Semenzali
Densità	8.000-12.000 piante/ha (mod. europeo); 1.100-1.500 piante/ha (mod. americano)
Sesti d'impianto (m)	0,40-0,60 x 1,60-2,5 m (mod. europeo); 2,5-3,5 x 1,5-2,5 (mod. americano)
Modalità di semina	Fila singola con trapiantatrice
Epoca di semina	Da marzo ad aprile
Preparazione del terreno	Aratura, erpicatura discatura
Concimazione	All'impianto (kg/ha): N: 0; P2O5: 100-150; K2O: 100-150
Irrigazione	Solo di emergenza al primo anno
Diserbo	meccanico periodico
Raccolta	Da novembre a febbraio
Modalità di raccolta	Falcia-trincia-caricatrici o trincia-caricatrici appositamente modificate o taglio manuale

RESE

Resa culturale	9-11 tss/ha/anno (2°-3° anno) mod. europeo; 6-7 tss/ha/anno (5°-6° anno) mod. americano
----------------	--

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLA BIOMASSA

Sostanza secca	50-55 %
Umidità indicativa alla raccolta	40-45 %
Massa volumica	250-300 kg/m ³
Potere Calorifico Inferiore	18-19 MJ/kg

BILANCIO ECONOMICO

Durata dell'impianto	10 – 12 anni
Costo d'impianto	1.000 – 1.500 €/ha
Costo medio annuo	250-300 circa €/ha
Ricavo medio annuo	400-600 €/ha
Reddito medio annuo	60-300 €/ha

1.4.1.3 L'eucalipto

L'Eucalipto è la latifolia più idonea per la produzione di biomassa nelle zone a clima mediterraneo dell'Italia centrale e meridionale. In Italia è stato molto impiegato per la realizzazione di fasce frangivento a protezione dei terreni agricoli limitrofi alle aree costiere e negli interventi di bonifica per l'elevata capacità di assorbimento idrico radicale.

Il genere *Eucalyptus* è presente in moltissime specie, quelle più indicate come colture da SRF in Italia sono l'*E. camaldulensis* e l'*E. globulus*. L'*E. camaldulensis* colonizza anche terreni fortemente argillosi con presenza di cloruri e resiste per lunghi periodi siccitosi adattandosi a piovosità medie annue di 300-400 mm. Le temperature ottimali sono comprese tra 12-16 °C anche se arriva a sopportare per brevi periodi temperature fino ai -6°C.

L'*E. globulus* spp. *bicostata*, sebbene sia simile all'*E. camaldulensis* per rapidità di crescita e capacità pollonifera, è più esigente da un punto di vista pedologico e idrico: predilige, infatti, terreni neutro-subacidi mediamente sciolti e mal si adatta a suoli argillosi ricchi di carbonato di calcio ed ai ristagni idrici. Necessita di precipitazioni medie annue di 700 mm e non tollera periodi siccitosi estivi troppo prolungati. Le esigenze termiche sono simili a quelle di *E. camaldulensis*.

Modelli colturali e produttività

La densità di impianto ottimale per l'Eucalipto da biomassa è di 5.000 piante/ha con sestini di 2 x 1 m per turni di 2-3 anni. Per la produzione di materiale di maggiori dimensioni destinato a legna da ardere o tronchetti da cartiera l'impianto prevede minori densità (1.600 piante /ha), con sestini di 3 x 2 m e turni di 5-7 anni.

Tab. 1.40. Modelli colturali e produttività annue

Specie	Turno (anni)	Densità (piante/ha)	Produzione (t/ha)	
			Sostanza fresca	Sostanza secca
<i>E. camaldulensis</i>	2	5.000	43	18,5
<i>E. globulus</i> spp. <i>bicostata</i>	2	5.000	36	15,5
<i>E. camaldulensis</i>	2	3.300	22,6	10
<i>E. camaldulensis</i> *	3	3.300	14,5	6
<i>E. camaldulensis</i>	3	1.600		13
<i>E. camaldulensis</i> **	2	1.600		5,24

* stazione ad elevata difficoltà stazionaria; ** stazione colpita da forti attacchi parassitari

Il ceduo di Eucalipto entra in regime di produzione già al primo turno con una produttività destinata a diminuire con il tempo, specie nei modelli colturali più intensivi, a causa della graduale mortalità delle ceppaie. Si hanno buone produttività fino a 3-4 turni.

Allungando il turno si ottiene un minor decremento della produttività nel tempo e riducendo la densità si riducono i costi di coltivazione, mentre aumentano i costi di utilizzazione in quanto sono necessarie macchine più grandi per il taglio delle piante.

Src - modello europeo

Densità di impianto: 5.000 piante/ha

Turno: 2 anni

Durata: ca. 8 anni

Sesto di impianto: fila singola (2 x 1 m)

Principali vantaggi del modello europeo

- produzioni di grandi quantità di materiale ogni due anni
- non richiede cure per la qualità del legno

Src - modello americano

Densità di impianto: 1.600 piante/ha

Turno: 5-6 anni

Durata: ca. 15 anni

Sesto di impianto: 3 x 2 m

Principali vantaggi del modello americano rispetto a quello europeo

- possibilità di anticipare o posticipare il turno di 1-2 anni in funzione delle richieste del mercato
- possibilità di produrre vari assortimenti: produzione di tondello e cippato, topi da sega per l'industria dell'imballaggio, tronchetti per cartiera
- pratiche colturali meno intensive e controllo delle infestanti meno problematico
- possibilità di effettuare una stagionatura intermedia del materiale tal quale riducendo le perdite di sostanza legnosa
- produzione di cippato di migliore qualità

Impianto e cure colturali

La messa a dimora dell'impianto è preceduta da un'accurata preparazione del terreno (aratura, erpicatura, discatura). Per il trapianto s'impiegano semenzali di 3-4 mesi allevati in contenitori alveolari con 100-150 cm³ di capacità e scanalati internamente. Le ridotte dimensioni dei contenitori facilitano la movimentazione e la messa a dimora con trapiantatrici meccaniche del tipo usato in orticoltura. Per i cloni di Eucalipto si usano invece le talee radicate nei medesimi contenitori.

La piantagione è preferibile che venga effettuata in primavera prima delle ultime piogge di stagione. Quella autunnale comporterebbe costi supplementari per contenere le erbe infestanti nel periodo invernale e probabili danni da freddo sui semenzali. La resistenza al freddo degli eucalipti infatti aumenta con l'età.

Il controllo delle infestanti è particolarmente importante nei primi mesi di coltivazione per favorire l'attecchimento e la crescita delle giovani piantine. Si interviene prima della preparazione del suolo con un intervento a base di glyphosate per eliminare le infestanti perenni, dopo la messa a dimora si applicano prodotti antigermine (oxyfluorfen) nella quantità di 0,50-0,70 l/ha, seguita da una irrigazione di 15-20 mm nel caso non vi siano piogge. Se le operazioni vengono svolte correttamente e tempestivamente non occorre più intervenire fino alla ceduzione.

Poiché l'eucalipto è una latifoglia sempreverde con turni di 2-3 anni al momento del taglio non si ha il reintegro nel suolo degli elementi nutritivi contenuti nelle foglie a causa dell'asportazione di tutta la chioma. Nel caso invece di turni più lunghi, 5-6 anni, il ricambio fogliare permette un parziale reintegro della sostanza organica e dei nutrienti. Le esigenze in fase iniziale, 0-3 anni, di una piantagione di eucalipto sono di 100 kg/ha per anno per l'azoto. Nella piantagione di eucalipto già affermata le esigenze dei macro e micro elementi sono riportate in tabella 1.41.

Tab. 1.41. Fabbisogni nutritivi annui

Elementi nutritivi	Quantità (kg/ha anno)
Azoto (N)	210
Fosforo (P)	40
Potassio (K)	100
Calcio (Ca)	90
Magnesio (Mg)	30

Poiché l'irrigazione è una pratica costosa va presa in considerazione solo per interventi di soccorso e per favorire l'attecchimento dell'impianto nelle primavere siccitose e negli ambienti dell'Italia centro-meridionale. Il metodo più economico è quello a scorrimento superficiale anche se il più dispendioso in termini di acqua. Se l'azienda dispone di attrezzature per l'irrigazione si può irrigare per aspersione a pioggia ma il miglior metodo resta comunque quello dell'irrigazione localizzata che consente risparmi di acqua e limita la crescita delle infestanti.

A fine ciclo (10-15 anni) si effettua il ripristino del terreno con la triturazione ed eliminazione delle ceppaie.

Il controllo fitosanitario delle piantagioni SRF presenta diversi problemi non solo di tipo economico ma soprattutto pratico poiché l'alta densità d'impianto non consente di intervenire tra le file e contrastare efficacemente gli insetti xilofagi che possono insediarsi all'interno delle ceppaie.

In tal caso è opportuno scegliere cloni resistenti o tolleranti nei confronti delle principali avversità biotiche.

I principali parassiti dell'Eucalipto sono due insetti galligeni (*Ophelimus maskelli* e *Leptocybe invasa*) recentemente diffusi anche nel nostro Paese. La specie *E. camaldulensis* è la più suscettibile all'attacco di questi fitofagi ma anche *E. globulus*, *E. vicinali*, *E. grandis* ed *E. x trabutii* risultano meno produttive se colpite da attacchi di questi insetti. Solo due specie risultano più resistenti *E. occidentalis* e *E. omphocephala*, che, per contro, soffrono le basse temperature invernali.

Taglio e raccolta

Modello europeo

La raccolta è fatta con testate falcia-trincia-caricatrici montate su trattori di elevata potenza (300 kW) supportate da altri 2-3 trattori con rimorchi a sponde alte. I dati di produttività lorda e netta (senza tempi morti) condotti su impianti di eucalipto al secondo turno (età F2; R4) sono rispettivamente di 15 t/h e 25 t/h.

Modello americano

La raccolta delle piantagioni coltivate con il modello americano prevede l'impiego di attrezzature più specifiche come macchine forestali (harvester) o testate abbattitrici già impiegate nell'arboricoltura e nella pioppicoltura.

Costi di raccolta e trasporto

I costi di raccolta e trasporto sono uguali a quelli di altre colture ad SRF, l'Eucalipto presenta però produttività intermedie rispetto al Pioppo ed alla Robinia. In termini orientativi, i costi di

raccolta e trasporto effettuato entro un raggio di 100 km con un carico di 18-20 t_{sf} (ca. 90 m³ con M40) ha un costo di circa € 300, ovvero 15-16 €/t_{sf} (25-28 €/t_{ss}).

Costi

I costi colturali si avvicinano molto a quelli delle altre colture da SRF considerate, anche se per l'Eucalipto, data la resistenza alla siccità a partire dal secondo turno in poi si possono eliminare i costi per le irrigazioni, da prevedere soltanto nei primi due anni di età. I costi colturali che un agricoltore deve affrontare nel caso di un SRF applicando il modello europeo (5.000 piante/ha), considerando una vita colturale di 12 anni e turno biennale, sono riepilogati nella tabella 1.42.

Tab. 1.42. Bilanci economici modello europeo

Costi/ricavi	Valore
Costi di impianto e cure colturali	1.500 €/ha anno
Produzione media annua	15 t s.s./ha anno
Prezzo di vendita	80 €/t s.s.
Ricavi medi annuali	1.200 €/ha anno

Nel caso di un SRF con modello americano, la cui vita colturale è di 15 anni e turno quinquennale, i costi affrontati dall'agricoltore sono di circa 1.000 €/ha.

Tab. 1.43. Bilanci economici modello americano

Costi/ricavi	Valore
Costi di impianto e cure colturali	1.000 €/ha anno
Produzione media annua	10 t s.s./ha anno
Prezzo di vendita	80 €/t s.s.
Ricavi medi annuali	800 €/ha anno

Ricavi medi annui

I ricavi associati ad una coltura SRF di Eucalipto sono molto limitati se non in alcuni casi negativi. L'unico modo per ottenere un bilancio positivo è prevedere un sostegno finanziario all'inizio dell'attività con il pagamento di tutti o parte i costi iniziali più importanti, legati alle spese di impianto, spese per l'acquisto del materiale vegetativo e spese per mancato reddito. Queste voci di spesa relativamente basse sono a tutt'oggi previste dalla Misura 221 dei PSR 2007-2013.

EUCALIPTO

TECNICA COLTURALE	
Materiale di propagazione	Semenzali
Densità	5.000 piante/ha (mod. europeo); 1.600 piante/ha (mod. americano)
Sesti d'impianto (m)	2 x 1 m (mod. europeo); 3 x 2 (mod. americano)
Modalità di semina	Fila singola con trapiantatrice
Epoca di semina	Da marzo ad aprile
Preparazione del terreno	Aratura, erpicatura discatura
Concimazione	All'impianto (kg/ha):N: 210; P2O5: 40; K2O:100-150; Ca: 90; Mg: 30
Irrigazione	Solo di emergenza al primo anno
Diserbo	Chimico in pre-emergenza a tutto campo; meccanico periodico
Raccolta	Da novembre a febbraio
Modalità di raccolta	Falcia –trincia-caricatrici o trincia-caricatrici appositamente modificate o taglio manuale
RESE	
Resa colturale	10-10 tss/ha/anno (2°-3° anno) mod. europeo; 5-13 tss/ha/anno (5°-6° anno) mod. americano
CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLA BIOMASSA	
Sostanza secca	50-55 %
Umidità indicativa alla raccolta	40-45 %
Massa volumica	250-300 kg/m ³
Potere Calorifico Inferiore	18-19 MJ/kg
BILANCIO ECONOMICO	
Durata dell'impianto	8 –15 anni
Costo d'impianto	1.000 –1.500 €/ha
Costo medio annuo	250-300 circa €/ha
Ricavo medio annuo	800 –1.200 €/ha

1.4.1.4 Canna comune (*Arundo donax* L.)

La canna comune (*Arundo donax* L.) è una graminacea rizomatosa perenne, a ciclo fotosintetico C3. La specie, originaria del Medio Oriente, è oramai naturalizzata in tutto il bacino del Mediterraneo, in areali caratterizzati da un clima caldo-temperato.

La canna comune presenta una parte ipogea composta da un ricco sistema di rizomi, dal quale dipartono le radici, e da una parte epigea, caratterizzata da fusti che raggiungono, in un ciclo vegetativo, anche 6-7 metri di altezza. La canna comune predilige zone calde e temperate ed è sensibile alle basse temperature, dannose in particolare per la vitalità dei rizomi. La pianta è scarsamente esigente da un punto di vista pedologico in fatto di terreni, anche se predilige terreni freschi di pianura, con una buona circolazione di acqua ed aria e con una discreta disponibilità idrica ma senza problemi di ristagno idrico. La canna comune viene considerata una coltura con basse esigenze idriche e l'irrigazione è prevista solo all'impianto.



Impianto e cure colturali

Le necessità minerali sono particolarmente elevate solo nei primi anni dell'impianto, con lo sviluppo dei rizomi. Le asportazioni di elementi nutritivi sono discrete, con 10, 3, 13 kg rispettivamente di N, P, K per tonnellata di sostanza secca. La concimazione di base non è strettamente necessaria e s'effettua in funzione della dotazione di potassio e fosforo nel suolo.

La preparazione del terreno è caratterizzata da lavorazioni convenzionali (aratura e frangizollatura invernale), seguite da un trattamento di diserbo chimico non selettivo per prevenire la diffusione delle malerbe.

La canna comune, nei nostri climi, si propaga esclusivamente per via vegetativa, mediante l'utilizzo di rizomi e talee di fusto. L'impianto si esegue preferibilmente verso febbraio-marzo, mediante la messa a dimora del materiale di propagazione all'interno di solchi aperti con un aratro assolcatore, ad una profondità di 10-20 cm per i rizomi. La densità di impianto è di 1,0-1,5 rizomi/m². Il difficile reperimento e l'oneroso costo dei rizomi è uno dei punti di debolezza della coltura. L'impianto del canneto si conclude con la chiusura dei solchi, una rullatura leggera del terreno ed un eventuale irrigazione di soccorso.

Nelle fasi iniziali di impianto è necessario il contenimento dello sviluppo di infestanti mediante trattamenti meccanici o chimici, e procedere a fertilizzazioni azotate di copertura. In genere, invece, negli anni successivi al primo, non sono richieste cure colturali, grazie anche all'effetto pacciamante della defogliazione invernale della coltura. La defogliazione della coltura garantisce la protezione dei rizomi dai rigori invernali, limita il processo di erosione del suolo e contribuisce alla riduzione di fenomeni di evaporazione e alla restituzione al terreno di quota parte dei nutrienti minerali. Una minima fertilizzazione azotata di mantenimento è comunque prevista, con apporto di circa 70-100 unità di N/ha/anno, anche se la risposta della coltura è estremamente variabile. La canna comune non presenta particolare sensibilità a patogeni e parassiti.

Fig. 1.19. Rizomi di *Arundo donax*

Raccolta

La coltura è molto produttiva ed assai longeva (12-14 anni). Le raccolte annuali della biomassa iniziano dalla fine della seconda stagione vegetativa e successivamente alla defogliazione delle piante (dicembre-febbraio), generalmente mediante macchine trincia-caricatrici semoventi, con testata Kemper o similare. La biomassa raccolta è caratterizzata da una umidità media del 45-50% ed un contenuto in ceneri del 4-5%. Un periodo di stoccaggio in cumulo sotto copertura può consentire l'essiccazione progressiva della biomassa sino a valori ottimali per l'utilizzo diretto in caldaia. In base alle rese registrate in diversi campi sperimentali distribuiti sul territorio nazionale, si stima una produttività media, al primo anno d'impianto, pari a circa 8-10 t s.s./ha, al secondo anno di 20-25 t s.s./ha per anno, e dal terzo anno poi, considerando la piena entrata in produzione del canneto, fino a 30-35 t s.s./ha per anno. Il primo anno spesso la raccolta non viene effettuata per la scarsità del prodotto vegetale.

Per il ripristino alle condizioni iniziali del terreno quando la coltura è a fine ciclo si effettua alla ripresa vegetativa un primo trattamento diserbante totale (erbicida sistemico non selettivo), a cui seguirà un'operazione di espianto dei rizomi mediante una trincia-fresa forestale e un'aratura del terreno. Eventualmente è possibile un secondo intervento di diserbo totale del campo.



Costi

I costi colturali si aggirano intorno ai 1.000-1.500 €/ha. Parte dei costi può essere contenuta approvvigionandosi di rizomi da vivai dedicati.

CANNA COMUNE

TECNICA COLTURALE	
Materiale di propagazione	Rizomi e talee
Densità	1-1, rizomi/m ²
Modalità di semina	Con aratro assolcatore profondità 10-12 cm
Epoca di semina	Da febbraio a marzo
Preparazione del terreno	Aratura e frangizollatura invernale
Concimazione	All'impianto (kg/ha):N: 70; P2O5: 60-70; K2O:100-150
Irrigazione	Non prevista
Diserbo	Meccanico periodico
Raccolta	Da novembre a febbraio
Modalità di raccolta	Falcia -trincia-caricatrici

RESE

Resa colturale	8-10 tss/ha al I anno; 20-25 tss/ha II anno; 30-35 tss/ha III anno
----------------	--

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLA BIOMASSA

Sostanza secca	50-55 %
Umidità indicativa alla raccolta	45-50 %
Massa volumica	250-300 kg/m ³
Potere Calorifico Inferiore	15,5-16,5 MJ/kg
Ceneri	4-5%

BILANCIO ECONOMICO

Durata dell'impianto	12 - 14 anni
Costo d'impianto	1.000 - 1.500 €/ha
Costo medio annuo	300-350 circa €/ha
Ricavo medio annuo	600-700 €/ha
Reddito medio annuo	200-500 €/ha

1.4.1.5 Miscanto

Caratteristiche energetiche e tecniche del miscanto

Il miscanto (*Miscanthus sinensis giganteum*) è una graminacea introdotta in Europa dalla Cina circa 60 anni fa, inizialmente per la produzione della carta e successivamente per scopi ornamentali. È una pianta rizomatosa perenne a ciclo fotosintetico C4, ovvero con elevata efficienza nell'utilizzazione della luce, dell'acqua e dell'azoto. È un ibrido triploide a seme sterile con elevati accrescimenti annuali e rusticità.



Fig. 1.20. Rizomi di *Miscanthus sinensis giganteum***Impianto e cure colturali**

L'impianto può essere effettuato da febbraio a metà aprile. La specie è coltivabile in tutte le zone in cui si può praticare la coltura del mais. Predilige i terreni freschi, sciolti e ben drenati. È molto importante una buona preparazione del terreno e l'assenza di infestanti particolarmente invasive. Si piantano 1-1,5 rizomi per metro quadrato ad una profondità di 8-10 cm.

Un'erpicazione prima del 4-6° stadio di fogliazione, eventualmente accompagnata da trattamento chimico diserbante, laddove strettamente necessario, risulta molto efficace. Gradisce un'abbondante concimazione organica di fondo ma non necessita di particolari apporti di concimi minerali. Sono suggeriti, a seconda della fertilità del suolo, i seguenti apporti minerali: 50-100 kg/ha N, 10-40 kg/ha P₂O₅, 80-160 kg/ha K₂O.

Fig. 1.21. Falcia-trincia-caricatrice in funzione su miscanto**Raccolta**

Il primo raccolto si effettua al secondo anno ottenendo una produzione di 5-7 t_{ss}/ha/anno. La massima produzione si ottiene nei primi anni, dopo di che vi è una decrescita. Mediamente si producono ca. 15-23 t_{ss}/ha/anno. La raccolta si effettua in marzo con una tradizionale falcia-trincia-caricatrice, quando il contenuto idrico è ca. del 20%.

Da un ettaro si ottengono circa 170-180 msr ciascuno dei quali ha un peso medio di 100-120 kg. Per maggiore facilità il raccolto può essere imballato e ciascuna balla pesa ca. 380 kg, con una produzione di circa 50 balle per ettaro.

Fig. 1.22. Rullatrice o assolcatrice



Costi

La messa a dimora di un ettaro di miscanto (15.000 rizomi), considerati anche i tempi di preparazione delle macchine e del caricamento dei sacchi, dura circa 3 ore con l’ausilio di 5 operatori; 1 alla trattrice e 4 sulla seminatrice.

Le specifiche sui costi di produzione annui sono riportate in tabella 1.44.

Il costo di produzione del cippato di miscanto è pari a 35-66 €/t_{ss}. La produzione di un ettaro di miscanto annualmente (in media) sostituisce l’energia producibile con 7.000-10.000 litri di gasolio da riscaldamento che ai prezzi correnti equivale ad un valore monetario di 6.000-10.000 €.

Tab. 1.44. Costi colturali

	€/ha	Frequenza	Costi medi (€/ha/anno) Durata: 10 anni	Costi medi (€/ha/anno) Durata: 15 anni
Preparazione terreno: aratura, affinatura, concimazione di fondo (P, K)	250	1° anno	531	354
Materiale vegetale, operazioni di trapianto e cure colturali	4.840	1° anno		
Cure colturali (diserbi chimici e meccanici, concimazioni azotate) (€/ha/anno)	220	1° anno		
Raccolta e trasporto	400	annua	400	400
Ripristino attualizzato al 7° anno (€/ha 500)	338	fine c	39-40	23-24
Interessi sul materiale vegetale (€/ha/anno; r=0,05)	283/324	annua	28-29	22-23
TOTALE			1.000	800

Il costo di produzione del cippato di miscanto è pari a 35-66 €/t_{ss}

La produzione di un ettaro di miscanto annualmente (in media) sostituisce l’energia producibile con 7.000-10.000 litri di gasolio da riscaldamento che ai prezzi correnti equivale ad un valore monetario di 6.000-10.000 €.

MISCANTO

TECNICA COLTURALE	
Materiale di propagazione	Rizomi
Densità	1-1,5 rizomi/m ²
Modalità di semina	Con aratro assolcatore profondità 8-10 cm
Epoca di semina	Da febbraio a metà aprile
Preparazione del terreno	Aratura e frangizollatura invernale
Concimazione	All'impianto (kg/ha):N: 50-100; P2O5: 10-40; K2O: 80-160
Irrigazione	Irrigazione estiva di soccorso
Diserbo	Meccanico periodico
Raccolta	Da novembre a febbraio
Modalità di raccolta	Falcia –trincia-imballatrici
RESE	
Resa colturale	15-23 tss/ha dal 3° al 4° anno
CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLA BIOMASSA	
Sostanza secca	50-55 %
Umidità indicativa alla raccolta	45-50 %
Massa volumica	250-300 kg/m ³
Potere Calorifico Inferiore	17,6-18,0 MJ/kg
Ceneri	4-5%
BILANCIO ECONOMICO	
Durata dell'impianto	12-14anni
Costo d'impianto	300-500 €/ha
Costo medio annuo	800-1.000 circa €/ha
Ricavo medio annuo	600-700 €/ha
Reddito medio annuo	100-400 €/ha

1.4.1.6 Cardo

Il Cardo (*Cynara cardunculus*) è una pianta erbacea, polienale, rizomatosa, molto simile nella sua morfologia al carciofo. Appartiene alla famiglia delle Asteracee ed è originario del bacino del Mediterraneo.

Può trovare anche utilizzo nell'industria cartaria.

Questa coltura ha destato, negli ultimi anni a questa parte, l'interesse di vari ricercatori per le possibilità di utilizzo energetico sia delle sue componenti ligno-cellulosiche sia per i semi oleosi. È una coltura con elevata rusticità, ridotte esigenze nutrizionali e molto adattabile alle condizioni pedoclimatiche caldo-aride.

Il cardo cresce bene in terreni profondi, ricchi di sostanza



organica di medio impasto e ben drenati. E' una specie termofila anche se tollera senza problemi temperature anche di 5°C; temperature inferiori (fino a -10°C) apportano di norma danni limitati alle foglie, senza compromettere la vitalità degli organi sotterranei utili per il ricaccio primaverile.

Le disponibilità idriche non devono in ogni caso essere inferiori a 400-450 mm all'anno

Il cardo vegeta su terreni argillosi ma ben strutturati, in quelli sciolti, ma mal tollera i ristagni idrici e suoli poco profondi, prediligendo comunque terreni calcarei, profondi e permeabili con pH da subacido a sub alcalino.

Impianto e cure colturali

Il cardo si semina a maggio, interrando, alla profondità di 3-4 cm, 2-3 semi per postar ella con una distanza interfila di 1m, indicativamente sono necessari dai 3 ai 5 kg/ha. Dopo 40-50 giorni si dirada mantenendo in ogni postar ella la pianta più sviluppata. Il terreno deve essere sempre libero da infestanti, a questo scopo si effettuano, periodicamente, sarchiature e diserbi.

La semina viene effettuata con normali seminatrici di precisione opportunamente regolate. Per l'impiego energetico la densità ottimale è di circa 15.000 piante/ha

Per quanto riguarda le concimazioni è opportuno far precedere una concimazione di fondo prima della lavorazione principale del terreno. I fabbisogni nutrizionali dei tre macroelementi (N,P,K) sono:

100-110 kg/ha di azoto,

50-60 kg/ha di P₂O₅

100-120 kg/ha di K₂O

Raccolta

La raccolta avviene d'estate con il vantaggio di ottenere una biomassa con basso grado di umidità. Nel corso delle operazioni le diverse parti della pianta possono essere separate a seconda dell'utilizzo finale: brattee, steli e foglie possono essere impiegate a scopi energetici, i semi per produrre olio, pappi e ricettacolo da impiegare nell'industria cartaria.

Costi

I costi di lavorazione del terreno per la preparazione del letto di semina (discissura incrociata, erpicatura con tiller e girotiller) sono di 290 €/ha. Per la semina a righe 65 €/ha per la semina a spaglio 25 €/ha, per la fertirrigazione i costi sono di 350 €/ha.

I costi totali per l'impianto di un ettaro coltivato a cardo ammontano a circa 700 €. (Fonte CRA_ING)

CARDO

TECNICA COLTURALE	
Materiale di propagazione	Semente
Dosi di semina	4-5 kg seme/ha
Densità	1,5-2,7 piante/m ²
Sesti d'impianto (cm)	Distanza interfila 0,5-0,80
Modalità di semina	Semina a postar elle
Epoca di semina	Febbraio – marzo
Preparazione del terreno	Discissura profonda, aratura ed erpicatura
Concimazione	All'impianto (kg/ha):N: 0; P2O5: 70-100; K2O: 100-150 Di produzione (kg/ha): N: 60-100 alla ripresa vegetativa
Irrigazione	Solo di emergenza al primo anno
Diserbo	Diserbo meccanico al primo anno
Raccolta	Agosto-Settembre
Modalità di raccolta	Sfalcio ed imballatura; Falcia trincia caricatrice
RESE	
Resa colturale (t/ha) dal 2° anno	12-19 t/ha
Resa in biomasse (u.r. 12-25%)	12-13 t/ha
Resa in semi	1,6-1,8 t/ha
Resa in olio (contenuto in olio 25-30%)	0,4-0,5 t/ha
CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLA BIOMASSA	
Sostanza secca	50-75 %
Umidità indicativa alla raccolta	15-25 %
Massa volumica	150-250 kg/m ³
Potere Calorifico Inferiore	15-16 MJ/kg _{ss}
Ceneri	5-10%
Potassio	2-2,5%
Cloro	0,3-1,7%
BILANCIO ECONOMICO	
Durata dell'impianto	12 – 15 anni
Costo d'impianto	400 – 600 €/ha
Costo medio annuo	340 circa €/ha
Ricavo medio annuo	520-820 €/ha
Reddito medio annuo	180-520 €/ha

1.4.2 Colture zuccherino-amidacee

Con il termine colture zuccherino-amidacee ci si riferisce a quelle colture atte alla produzione di biomassa caratterizzata dagli elevati contenuti in carboidrati fermentescibili che possono essere destinati, mediante opportuni processi di fermentazione, alla produzione di biocarburanti liquidi (es. bioetanolo ed ETBE) o gassosi (biogas e biometano).

Attualmente il bioetanolo e l'ETBE, possono essere prodotti sia da carboidrati semplici come glucosio, saccarosio e mannosio, che da polisaccaridi a catena lunga ovvero amido, cellulosa ed emicellulosa. Le materie prime da impiegare nel processo di fermentazione alcolica possono derivare, pertanto, dalle colture dedicate alcoligene, siano esse saccarifere (barbabietola da zucchero, canna da zucchero, sorgo zuccherino) o amidacee (cereali, in particolare frumento tenero e mais), nonché dai residui lignocellulosici.

Nel caso di produzione di bioetanolo da zuccheri semplici si parla di produzione di bioetanolo di *prima generazione*. Sono però oramai in avanzato stadio di studio le tecnologie per la produzione di bioetanolo a partire da glucidi più complessi, come la cellulosa e l'emicellulosa, questo permetterebbe di utilizzare anche altre tipologie di biomasse, siano esse derivanti da colture dedicate che da materiali vegetali residuali, caratterizzate da una minor competizione con le produzioni alimentari e dal costo di approvvigionamento più contenuto; convenzionalmente in questo caso si parla di biocarburanti di *seconda generazione*.

In Europa il bioetanolo è prodotto utilizzando principalmente frumento, orzo e barbabietola da zucchero. La canna da zucchero ed il mais sono le materie prime maggiormente impiegate per la produzione di bioetanolo, grazie a storici accordi agricoli, rispettivamente in Brasile e negli Stati Uniti. La coltura del sorgo zuccherino sta interessando trasversalmente tutte le aree del pianeta, e molte sono le attività di ricerca che spingono su questa coltura per la produzione di biocarburanti di prima e seconda generazione.

1.4.2.1 Sorgo zuccherino

Il sorgo zuccherino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) è una graminacea, a ciclo fotosintetico C4, di origine tropicale, ma adattabile alle zone temperate. L'interesse per questa coltura è notevolmente aumentato in relazione alla possibilità di produrre biocarburanti di prima e seconda generazione (rispettivamente dal succo e dal bagasso) e di biomassa combustibile ligno-cellulosica dal bagasso. Stati Uniti, India, Cina e altre importanti realtà mondiali stanno studiando la possibilità di coltivare il sorgo zuccherino, oltre che per i tradizionali utilizzi (carta, sciroppo e alimentazione animale), in luogo del mais o della canna da zucchero, per la produzione di biocarburanti. Infatti, il sorgo zuccherino è caratterizzato da un elevato contenuto in zuccheri nel succo degli steli, principalmente saccarosio, fruttosio e glucosio, da cui può essere facilmente prodotto il bioetanolo. Per questa ragione, il sorgo zuccherino sta diventando una coltura energetica di largo interesse in tutto il mondo.

La parte aerea della pianta consiste di un culmo principale, che può superare i 4 m di altezza,



e di un numero variabile di accestimenti. Al suo interno, il culmo è midolloso, succoso e ricco in zuccheri solubili. L'infiorescenza è costituita da un panicolo di dimensioni molto più ridotte rispetto ai tipi da granella per evitare un eccessivo accumulo di carboidrati nel seme.

La capacità di entrare in dormienza nei periodi più caldi associata ad alcuni caratteri anatomici (l'apparato radicale che si espande in profondità, lo strato siliceo presente nell'endoderma radicale e la cuticola cerosa sulla parte aerea), conferiscono a questa pianta un'elevata resistenza agli stress idrici.

Il sorgo è una specie spiccatamente macroterma, tra le più esigenti riguardo alla temperatura. La germinazione del seme richiede una temperatura minima di 14-15 °C, mentre la levata e la fioritura avvengono in condizioni ottimali di 26-30 °C.

Predilige terreni di medio impasto ed è moderatamente tollerante alla salinità. Assolutamente inadatti sono i terreni con problemi di ristagno idrico, in quanto asfittici e freddi. Riguardo alla reazione del terreno, la pianta del sorgo è molto adattabile, crescendo bene tanto in terreni acidi (pH 5,5), quanto in terreni alcalini (pH 8,5).

Impianto e cure colturali

Il sorgo quasi sempre viene coltivato senza sussidio irriguo. Tuttavia le piante rispondono molto positivamente all'irrigazione. Nelle zone in cui le disponibilità irrigue sono elevate, la coltura entra in competizione con il mais che in condizioni di alta produttività appare decisamente superiore. A contrario, in corrispondenza di limitati input idrici, il sorgo risulta decisamente superiore al mais, sia come capacità di valorizzare l'acqua irrigua sia nell'ottica del contenimento dei costi di produzione. Il sorgo mostra infatti esigenze idriche molto contenute rispetto al mais e una minore sensibilità alla carenza idrica durante la fase vegetativa, grazie alla sua capacità di rallentare o arrestare il suo sviluppo consentendo una maggiore elasticità nella programmazione degli interventi irrigui.

Fig. 1.23. Seminatrice



Le dosi di concimazione, soprattutto riguardo all'azoto, vanno commisurate al livello di resa potenzialmente conseguibile: in linea generale risultano sufficienti limitati apporti azotati (100-120 kg/ha di N) per determinare concreti incrementi della produzione di sostanza secca. Nonostante l'elevata efficienza di assorbimento dell'azoto da parte della coltura, resta comunque importante imporre oculati piani di concimazione azotata per le colture in successione, onde evitare nel lungo periodo, pericolose riduzioni della fertilità chimica del suolo.

Fig. 1.24. Falcia-trincia-caricatrice in azione su sorgo



Raccolta

La raccolta della biomassa avviene mediante le tradizionali macchine falcia-trincia-caricatrici, utilizzate per la raccolta del mais ceroso.

La produzione indicativa di sostanza fresca è di 50-80 t/ha, corrispondente ad un quantitativo di sostanza secca di 15-25 t/ha. Il contenuto in zucchero negli steli è del 5-15% (m/m). Occorre ricordare che esiste un numero elevatissimo di varietà di sorgo e che ancora molto si può fare nello sviluppo varietale per incrementare le rese produttive, il contenuto zuccherino e la lunghezza del ciclo fisiologico della pianta, al fine di ottimizzarne l'utilizzo della coltura a fini energetici.

Costi

Il costo di coltivazione del sorgo zuccherino è notevolmente influenzato dal livello di input applicati alla coltura (fertilizzazione, irrigazione, ecc.), e può variare da 800 a 1.400 €/ha, costo di trasporto della biomassa escluso.

Tab.1.45. Scheda agronomica di coltivazione del sorgo zuccherino

Operazione	Es. mezzi tecnici impiegati e note
Aratura, erpicatura, affinamento e concimazione di fondo	Cloruro di potassio (60-62) – 150 kg/ha
Semina e concimazione	Sementi 8-20 kg/ha (dipende da diversi fattori). Fosfato biammonico (18/46) – 150 kg/ha
Concimazione di copertura e sarchiatura	Urea (46%) – 150 kg/ha
Diserbo	1 intervento – diversi p.a.
Irrigazione	Eventuale
Raccolta	Falcia-trincia-caricatrici

1.4.2.2 Topinambur

Il topinambur (*Heliantus tuberosus* L.), in inglese conosciuto con il curioso nome di Jerusalem artichoke, è una pianta perenne della famiglia delle *Compositae*, a ciclo C3, originaria della fascia meridionale degli Stati Uniti d'America. Il topinambur è caratterizzato da una grande rusticità, una elevata produttività ed una notevole facilità di riproduzione.



Il topinambur è una coltura che di fatto non è presente negli ordinamenti colturali, risulta, però, interessante in relazione ai molteplici impieghi: produzione di foraggio verde e insilato, quale *cover crop* in terreni marginali, e soprattutto per la produzione di zuccheri. Per ciò che riguarda quest'ultimo aspetto, il topinambur accumula sia nella porzione ipogea (tuberi) sia in quella epigea (steli) zuccheri semplici (specialmente fruttosio) e fruttani (inulina), che possono essere destinati sia per l'alimentazione, sia per diverse applicazioni energetiche (es. bioetanolo o biogas), chimiche e farmaceutiche, anche in relazione al gran numero di altri composti naturali che sono estraibili da questa coltura.

La pianta è costituita da una parte aerea formata da robusti steli che si innalzano anche fino a 3 e 4 metri di altezza, portanti larghe foglie a cuore appuntite e terminanti con un gruppo di fiori gialli riuniti in un capolino. Questi steli emergono dal terreno in aprile, crescono durante tutta l'estate (salvo i periodi di forte siccità in cui il fogliame si affloscia) e fioriscono verso la fine di settembre. L'apparato ipogeo del topinambur è formato da rizomi tuberiferi, di forma molto irregolare, e da radici ramificate. I rizomi raggiungono il loro massimo volume solo in autunno inoltrato, perciò la raccolta si inizia solo dopo l'essiccamento dei fusti.

Il topinambur resiste al freddo e al caldo ma preferisce climi caldo-temperati. Si adatta a ogni tipo di terreno, in quanto pianta estremamente rustica ed invadente, e si può coltivare con tecniche a basso input e senza irrigazione.

Impianto e cure colturali

La tecnica colturale è simile a quella utilizzata per la coltivazione della patata. L'impianto si fa ponendo a dimora i tuberi o pezzi di tubero (con almeno due gemme) ad una profondità di circa 5-10 cm, quando la temperatura media del terreno si stabilizza sui 10°C, generalmente dalla metà di marzo nelle regioni del Nord Italia. La densità ottimale è 4-5 tuberi/m², alle stesse distanze che si usano per la patata. Anche dopo il raccolto rimangono sempre nel suolo piccoli tuberi e frammenti di tuberi che assicurano la riproduzione per l'anno seguente. La produzione di tuberi si aggira intorno alle 20-25 t/ha.

La coltura del topinambur risulta particolarmente competitiva nei confronti delle erbe infestanti, dopo il primo anno, generalmente non sussistono più problemi di infestazione. Tuttavia, dato un avvio di crescita lento nei primi due mesi, richiede un adeguato controllo delle malerbe nel primo periodo di sviluppo.

Raccolta

La raccolta dei tuberi maturi inizia solo dopo l'essiccamento dei fusti, dall'autunno inoltrato, quando i rizomi raggiungono il loro massimo volume. Uno degli svantaggi della coltura è relativo proprio all'epoca di raccolta dei tuberi (generalmente in dicembre) caratterizzata da

elevate precipitazioni che possono rendere difficoltoso il passaggio degli appositi macchinari nei campi saturi d'acqua. La produzione di tuberi si aggira intorno alle 20-25 t/ha.

In relazione al fatto che il topinambur immagazzina per un certo periodo fruttani negli steli, i quali contengono, prima della fioritura, il 70-80% degli zuccheri prodotti, alcuni autori hanno proposto lo sfruttamento della sezione epigea della pianta, trattandola di fatto come una coltura erbacea poliennale: gli steli possono essere raccolti annualmente con le macchine convenzionali da foraggio all'inizio della fioritura (agosto-settembre) ed essere utilizzati come materia prima per l'estrazione di zuccheri, da avviare in seguito ai diversi scopi. Un'altra modalità di raccolta prevede invece il recupero contestuale sia delle parti aeree che sotterranee. In entrambi i casi, comunque, è da sottolineare il fatto che la coltivazione di topinambur come pianta saccarifera da biomassa non è supportata dalla disponibilità di specifiche varietà o cloni che, ad oggi, sono tutte finalizzate alla produzione di tuberi. La ricerca in questo campo deve quindi sviluppare nuovi genotipi, in grado di massimizzare l'accumulo di inulina e di altri zuccheri negli steli e la produzione di biomassa. Prove sperimentali hanno comunque evidenziato produzioni di steli molto elevate, superiori alle 20 t s.s./ha, con contenuti di inulina pari a oltre 8 t/ha.

Alcuni recenti studi hanno inoltre preso in considerazione l'utilizzo degli steli essiccati, residui dei processi fermentativi, come substrato ligno-cellulosico per la produzione di energia attraverso combustione, gassificazione o pirolisi.

TOPINAMBUR

TECNICA COLTURALE	
Materiale di propagazione	Tuberi
Investimento (piante/m ²)	3-4
Sesti d'impianto (cm)	35/40 sulla fila – 5 tra le file
Modalità di semina	Trapianto per tuberi
Epoca di semina	Marzo-Aprile
Concimazione	<ul style="list-style-type: none"> • 150 kg/ha di azoto; • 100 kg/ha di fosforo; • 150-200 kg/ha di potassio
Irrigazione	Sono necessarie solo alcune irrigazioni di soccorso durante il periodo di massimo sviluppo (luglio-agosto)
Diserbo	Manuale o meccanico
Raccolta	Settembre-Ottobre
Modalità di raccolta	Sfalcio per la parte epigea. Utilizzo di un cava patate per l'estrazione dei tuberi
PRODUTTIVITÀ	
Produttività	<ul style="list-style-type: none"> • La parte epigea può arrivare a produrre anche 40-50 t/ha; • I tuberi possono essere anche 25-30 t/ha
Resa in biogas parte epigea (di 1 t _{ss})	500 Nm ³
Resa in biogas tuberi (di 1 t _{ss})	550 Nm ³
Umidità indicativa alla raccolta	50%
Durata dell'impianto	Più di 10 anni

1.4.2.3 Mais ad uso energetico



Originario delle zone a clima tropicale e subtropicale del continente americano, il mais (*Zea mays* L.) è stato importato in Europa ai tempi di Cristoforo Colombo. L'interesse verso questa coltura è notevole, come anche la sua diffusione a livello mondiale; in Italia la coltura è estremamente diffusa, in particolare al nord, nella aree agricole della Pianura Padana e Friulana.

Oltre che per finalità alimentari, soprattutto legate al settore zootecnico, il mais si sta progressivamente imponendo anche come coltura energetica: in Italia il maggiore interesse viene rivolto verso l'utilizzo del mais insilato per la produzione di biogas; alcune iniziative sono rivolte verso l'utilizzo della granella quale biocombustibile in luogo del pellet di legno. A livello mondiale, invece, la principale destinazione energetica della granella di mais è la produzione di biocarburanti (es. produzione di bioetanolo negli Stati Uniti).

Impianto e cure colturali

Si tratta di una graminacea a ciclo fotosintetico C4, caratterizzata da una elevata capacità produttiva. Il mais è una pianta sensibile al freddo, specialmente durante i primi stadi di sviluppo, e presenta elevati fabbisogni termici: la temperatura minima di germinazione è di 10°C, mentre quella ottimale di sviluppo varia tra i 24-28°C, in funzione dello stadio vegetativo della pianta. Mal sopporta comunque le temperature eccessive, soprattutto nella fase di impollinazione.

Il mais vanta basse esigenze pedologiche, ottimali sono comunque i terreni profondi, caldi, privi di problemi di asfissia radicale e ricchi in elementi nutritivi.

Le esigenze idriche della coltura sono elevate e costituiscono il fattore limitante lo sviluppo di questa coltura, nonostante il basso coefficiente idrico (circa 300 kg di acqua per kg di sostanza secca) in relazione alla elevata produzione di biomassa (20 t s.s. implicano 600 mm di pioggia) ed al periodo di sviluppo della coltura (primaverile-estivo) caratterizzato da periodi poco piovosi e ed elevati tassi di evapotraspirazione (es. in Pianura Padana nel mese di luglio si stimano mediamente 7-8 mm al giorno di acqua persa per evapotraspirazione).

La lavorazione tradizionale si basa sull'aratura a 25 cm per terreni sciolti e a 30-35 cm in terreni pesanti. Dopo l'aratura occorre affinare il terreno con operazioni di erpicatura. L'epoca ottimale di semina si determina in funzione della temperatura media del suolo (almeno 10 °C) e della classe dell'ibrido utilizzato. La densità di semina dipende da vari fattori: indicativamente è maggiore per gli ibridi precoci (7-8 piante/m²) rispetto agli ibridi più tardivi (5-6 piante/m²); se la destinazione è la produzione di insilato in genere si considera una pianta in più rispetto alla produzione di granella. La semina del mais viene fatta rispettando una distanza tra le file di 75 cm, con seminatrici pneumatiche di precisione.

Forte attenzione viene posta alla gestione delle infestanti, mediante interventi di diserbo chimico in pre-emergenza ed in copertura (di soccorso), basati sull'utilizzo di diversi principi attivi. In termini di fertilizzazione minerale, il mais è una specie molto esigente che necessita orientativamente 200-300 kg/ha di N, 80-120 kg/ha di P₂O₅ e di 0-120 kg/ha di K₂O (in funzione della dotazione naturale del terreno).

Raccolta

La raccolta di mais trinciato per la produzione di silomais si effettua con una falcia-trincia-caricatrice, quando sopraggiunge la maturazione cerosa della granella (per uso biogas la raccolta ottimale è a 2/3 della linea latte): le piante vengono quindi trinciate intere, con una umidità attorno al 68-72%. Le produzioni in sostanza secca variano da 14 a 23 t/ha (40-65 t/ha di trinciato tal quale).

La raccolta della granella si effettua in genere 10-15 giorni dopo la maturazione fisiologica, con una umidità compresa tra il 22-26%, mediante una mietitrebbia da grano con testata spannocchiatrice. La resa media di granella secca italiana ad oggi supera le 9 t/ha, tuttavia molte sono le aziende maidicole che realizzano stabilmente produzioni medie di 10-12 t/ha ed oltre. In mancanza di irrigazione le rese sono molto più basse ed estremamente variabili.



Costi

Il costo di coltivazione del mais è notevolmente influenzato dal livello di input applicati alla coltura (in particolare fertilizzazione ed irrigazione) e può variare da 1.000 a 1.800 €/ha, costo di trasporto della biomassa escluso.

Per la scheda del mais si rimanda al paragrafo 1.3.1.3.

1.4.2.4 Triticale

Il triticale è un ibrido ottenuto alla fine del XIX secolo dall'incrocio tra il frumento e la segale (*Triticum aestivum* L. x *Triticum secale* Wittm.). Negli ultimi 20-30 anni il triticale ha suscitato un forte interesse nel mondo agricolo, in relazione all'elevato potenziale produttivo in ambienti pedoclimatici difficili e al ciclo autunno-vernino, che offre la possibilità di praticare il doppio raccolto.

Impianto e cure colturali

Il triticale presenta alcune caratteristiche di pregio del frumento, come l'elevata produttività e il buon contenuto proteico, accompagnate da alcune proprietà della segale, come la rusticità, la resistenza alle malattie dell'apparato fogliare e al freddo.

La coltura viene utilizzata nell'alimentazione zootecnica, sia come granella nelle diete dei monogastrici, sia come foraggio insilato per l'alimentazione dei ruminanti. Inoltre, risulta essere interessante l'utilizzo quale coltura energetica in relazione alla elevata resa in biogas della pianta insilata.

Riguardo la morfologia della pianta, l'apparato radicale è costituito in media da 3-5 radici seminali, mentre il culmo si presenta grosso e vuoto. Le foglie sono più larghe rispetto al frumento. Le spighe sono di notevoli dimensioni e producono da 60 a 150 cariossidi.

Il triticale si adatta bene ai terreni sabbiosi, poco fertili e resiste bene alla salinità. In linea di massima il triticale viene seminato dove il grano non garantisce buone rese, in relazione anche alla sua maggior resistenza all'acidità dei terreni, ai minori fabbisogni azotati ed al miglior accostamento che limita la competizione con le malerbe.

Le esigenze idriche sono inferiori a quelle del frumento, anche in relazione ad una maggiore capacità di sfruttare l'acqua presente nel terreno.

Il triticale non necessita di una preparazione del terreno particolarmente accurata. L'epoca di semina varia in funzione delle *cultivar* e dell'ambiente di coltivazione. Esistono delle varietà non alternative a semina autunnale, e alternative a semina sia autunnale che primaverile. Nei tipi autunnali è bene seminare precocemente. La semina avviene normalmente a righe distanti 20-30 cm, impiegando da 100 a 200 kg/ha di semente in funzione della germinabilità, delle dimensioni del seme e della destinazione del prodotto.

Per quanto riguarda gli apporti di fertilizzanti e le relative epoche di distribuzione si fa riferimento al grano. Occorre comunque porre attenzione al fatto che il triticale è maggiormente soggetto al fenomeno dell'allettamento a seguito di eccessive fertilizzazioni azotate: indicativamente possono essere apportati alla coltura circa 60-100 kg di N per ettaro. Pur presentando una buona capacità di competizione nei confronti delle infestanti, risulta conveniente ricorrere al diserbo chimico per ottenere adeguate produzioni.

Raccolta

Le produzioni unitarie di granella sono molto variabili, da 6 a 10 t/ha; per la produzione di insilato, la trinciatura viene eseguita a maturazione cerosa, con rese di circa 30-40 tonnellate di biomassa tal quale ad ettaro.

Le buone caratteristiche di rusticità, produttività e fermentescibilità permettono di destinare la coltura del triticale alla produzione di substrato per la fermentazione anaerobica in impianti energetici a biogas: in questo caso la coltura viene raccolta allo stadio ceroso, mediante una macchina falcia-trincia-caricatrice, e successivamente insilata.

Costi

Dal punto di vista economico rappresenta una soluzione interessante l'avvicendamento tra il triticale, destinato a fini energetici (biogas), ed il mais, in relazione ad una potenziale maggior sostenibilità economica di tale piano colturale rispetto alla singola coltura del mais. In comprensori in cui le condizioni climatico-ambientali non consentono un ottimale sviluppo della coltura del mais, l'avvicendamento triticale e sorgo appare più vantaggioso.

Il costo di coltivazione del triticale è notevolmente influenzato dal livello di input applicati alla coltura (in particolare la fertilizzazione) e può variare da 600 a 900 €/ha, costo di trasporto della biomassa escluso.

TRITICALE

TECNICA COLTURALE	
Materiale di propagazione	Semi
Investimento (semi)	100-200 kg/ha
Sesti d'impianto (cm)	Distanze file 20-30 cm
Modalità di semina	Seminatrice pneumatica di precisione
Epoca di semina	Autunno o primavera a seconda delle varietà
Concimazione	<ul style="list-style-type: none"> • 60-100 kg/ha di azoto; • 100 kg/ha di fosforo; • 150-200 kg/ha di potassio.
Diserbo	Chimico
Raccolta	Giugno
Modalità di raccolta	Mietitrebbia o falciatrinciacaricatrice
PRODUTTIVITÀ	
Produttività	<ul style="list-style-type: none"> • Granella: 6-10 t/ha • Insilato: 30-40 t/ha
Resa in biogas parte epigea (di 1 t _{ss})	500 Nm ³
Resa in biogas tuberi (di 1 t _{ss})	550 Nm ³
Umidità indicativa alla raccolta	50%
Costi	600-900 €/ha

1.4.3 Colture oleaginose

Le principali colture impiegate per la produzione di olio in Italia sono: il colza, il girasole e la soia, anche se questa coltura è impiegata principalmente per il suo alto valore proteico e può fornire olio come co-prodotto.

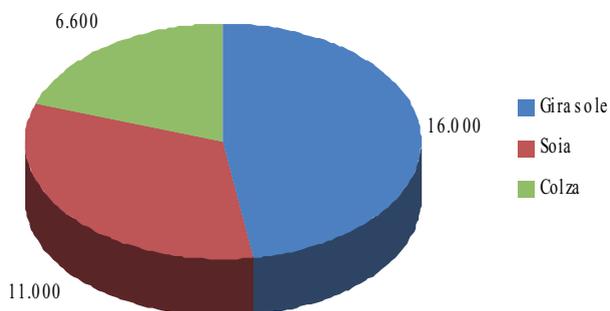
Le superfici coltivate ad oleaginose in Italia ammontano a circa 285.000 ha nel 2009, di queste quelle a destinazione energetica sono circa 33.600 ha (AGEA). Il grafico 1.24 mostra la ripartizione delle tre principali colture a destinazione energetica.

Queste colture non prevedono particolari differenze con le tecniche tradizionali e le normali prassi agronomiche, le uniche differenze sono nelle varietà impiegate, dove quelle destinate alla produzione energetica possiedono caratteristiche dell'olio migliori.

Tab. 1.46. Superfici a oleaginose in Italia

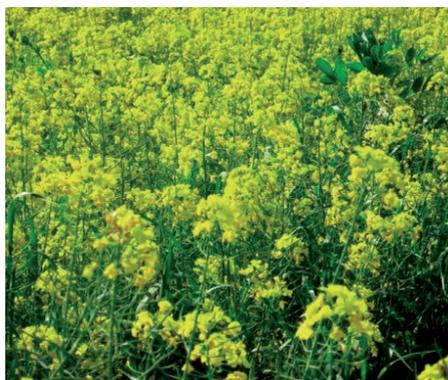
Coltura	Superficie coltivata nel 2009 (ha)	Superficie coltivata nel 2009 ad indirizzo energetico (ha)
Girasole	123.696	16.000
Colza	22.596	6.600
Soia	139.249	11.000
Totale	285.541	33.600

Fig. 1.24. Ripartizione delle superfici a oleaginose in Italia ad uso energetico



1.4.3.1 Colza

Il colza (*Brassica napus*) è una pianta originaria del bacino del mediterraneo; il nome deriva dall'olandese "Koolzad", che significa seme di cavolo. Diffusa fin dal medioevo nell'Europa centrosettentrionale, dai suoi semi veniva estratto l'olio da impiegare nell'illuminazione pubblica e privata. Attualmente i maggiori coltivatori di colza risultano essere India, Cina, Pakistan e Canada; per quanto riguarda l'Europa, i paesi più interessati sono quelli nord-orientali come Germania, Francia, Polonia, Gran Bretagna, Danimarca e Svezia. Il colza appartiene alla famiglia delle Crucifere e al genere Brassica. L'infiorescenza a grappolo è terminale, formata da 150-200 fiori ermafroditi, aventi la struttura tipica delle Crocifere; il frutto è una siliqua (frutto secco deiscente) che un falso setto interno (replum) divide in 2 carpelli contenenti numerosi semi (fino a 20 ciascuno). A seconda della varietà, una siliqua può contenere da 15 a 40 semi. Le attuali produzioni medie, a livello nazionale, sono dell'ordine di 2,6 t/ha, con punte di oltre 3 t/ha; in centro-Europa (Francia-Germania) variano dalle 3 alle 4 t/ha. Il seme ha un contenuto di olio tra il 35 ed il 45% e di proteine tra il 21-24%. Le rese ad ettaro di olio sono comprese tra 0,75 e 1,5 t.



Esistono due tipi biologici: biennali che fioriscono solo dopo vernalizzazione (semina autunnale); annuale che non necessitano di vernalizzazione (semina autunnale o primaverile). In Italia, il ciclo biologico del colza è autunno-primaverile ed i climi più favorevoli sono quelli

temperato-umidi (Pianura Padana); essendo una pianta microterma non necessita di temperature elevate per crescere e svilupparsi (lo zero di vegetazione è di 6-8°C); teme la siccità durante la levata e la fioritura.

Si distinguono 4 varietà principali di colza in base al contenuto di acido erucico ed al contenuto di glucosinolati, composti nocivi nel caso di alimentazione animale:

- A "doppio alto": alto tenore di acido erucico e glucosinolati;
- B "0": basso tenore di acido erucico;
- C "00" o "doppio zero": con un contenuto quasi nullo di acido erucico e non più di 5-10 micromoli di glucosinolati per grammo di farina disoleata;
- D "000": basso tenore di acido erucico e glucosinolati e basso tenore in fibra.

Impianto e cure colturali

Le dimensioni del seme impongono particolare attenzione alla preparazione del letto di semina che prevede un'aratura a media profondità (25-30 cm) o lavorazioni minime seguite da un'erpatura. Si semina: a partire dalla metà di settembre fino alla metà di ottobre; la semina si fa a righe (30 cm) con una seminatrice da frumento ad una profondità di 20-30 mm con densità compresa di 70-80 piante/m² impiegando circa 6-8 kg di semi/ha.

Per la concimazione fosfo-potassica le dosi consigliate sono:

68-80 kg/ha di P₂O₅ e 100-150 kg/ha di K₂O (se il terreno è k-carente). Per la concimazione azotata le dosi sono 180-200 kg/ha di urea o nitrato ammonico da somministrare durante l'inverno.

Il diserbo si effettua in post-emergenza oltre ai trattamenti antiparassitari contro il Meligete del colza.

Raccolta

La raccolta si effettua in giugno-luglio, quando i semi sono completamente imbruniti e le silique secche (umidità ottimale della granella intorno al 9-12%). La raccolta può essere effettuata con un solo passaggio, in questo caso si fa con le mietitrebbie da frumento opportunamente regolate intorno alla metà di giugno; oppure in due passaggi: sfalcio delle silique verdi, disposizione in andane mantenute per 7-8 giorni in campo, raccolta e trebbiatura con pick-up. Le rese di granella oscillano tra le 2,5-3 t/ha con punte fino a 4 t/ha, il contenuto di olio nei semi oscilla tra il 35-45%, con una resa ad ettaro di 0,75-1,5 t di olio.

Costi

Per la coltivazione di un ettaro a colza i costi per le ordinarie lavorazioni di impianto, fertilizzazione, irrigazione e raccolta ammontano a circa 750-800 €/ha. I costi di trasformazione del seme per la produzione di olio e pannello, riferiti all'unità di superficie sono di 40-60 €/ha. L'olio è venduto a circa 700-750 €/t mentre il pannello a 100-150 €/t.

COLZA

TECNICA CULTURALE	
Materiale di propagazione	Semente
Investimento (piante/m ²)	40-80
Sesto d'impianto (distanza file in cm)	30
Profondità di semina (cm)	2-3
Modalità di semina	A file con seminatrice di precisione
Epoca di semina	Settembre
Concimazione (kg/ha)	N: 180-200; P ₂ O ₅ : 70-80; K ₂ O: 100-150
Irrigazione	Solo in emergenza
Diserbo	Diserbo meccanico post-emergenza; trattamento antiparassitario (melingete)
Epoca di raccolta	Giugno-Luglio
Modalità di raccolta	Raccolta 1 passaggio: con mietitrebbia con testata raccogliatrice colza U=9-12% (metàgiugno) Raccolta 2 passaggi: sfalcio, con silique verdi e semi con circa 20% umidità poi essiccazione al sole delle andane x 7-8 giorni 2 Raccolta e trebbiatura (mietitrebbia con "pick-up")
PRODUTTIVITÀ	
Produttività (t/ha di semi)	2,5-3
Olio (%)	35-45
Produzione in olio (t/ha)	0,75-1,5
DATI STATISTICI	
Superficie coltivata in Italia(ha)	22.596
Produzione raccolta (t)	43.904
DATI ECONOMICI	
Costo medio annuo (€/ha)	800-850
Ricavo medio annuo (€/ha)	850-950 (olio + pannello)

1.4.3.2 Girasole

Girasole (*Helianthus annuus L.*) appartiene alla famiglia delle compositae; pianta originaria dell'America Nord Occidentale, coltivata dagli indiani d'America a scopo alimentare, fu introdotta in Europa nel XVI secolo come pianta ornamentale; dalla prima metà dell'800, quando in Russia fu messo a punto un metodo per l'estrazione alimentare dell'olio, è utilizzata come pianta oleifera. In Italia sono stati coltivati nel 2009 circa 120.000 ha, le regioni più vocate sono quelle del Centro-Italia (Umbria, Toscana, Marche e Lazio).



Il girasole è una pianta erbacea annuale, da rinnovo, caratterizzata da un notevole sviluppo. Il fusto, che si presenta eretto, può raggiungere un'altezza compresa, per le varietà coltivate in Italia, tra 1,5 e 2,2 metri. Le foglie (presenti in numero variabile tra 12 e 40) sono alterne, grandi,

semplici, lungamente picciolate, cordate od ovate, acute, dentate.

Il girasole presenta un'infiorescenza terminale a capolino detta "calatide" che, nelle varietà coltivate, ha un diametro di 15 - 40 cm ed è formata da 700 - 3.000 fiori (nelle varietà da olio). Il frutto è un achenio (frutto secco indeiscente) di forma allungata, costituito da un pericarpo duro e fibroso aderente al seme, di colore variabile dal bianco al nero. Anche il peso può variare da meno di 40 mg fino a 200 mg (i semi più grandi vengono utilizzati per consumo alimentare diretto). Il seme vero e proprio, che rappresenta il 70 - 75% dell'achenio, è costituito da un tegumento seminale, dall'embrione e da due cotiledoni contenenti grassi e proteine (contiene fino al 55% di olio, mediamente circa il 48%). Il ciclo colturale del girasole dura in media 110 - 145 giorni, a seconda della cultivar. L'accrescimento di questa pianta è piuttosto veloce nel periodo di fioritura, durante cui viene prodotta circa l'80% della biomassa. In Italia, generalmente, la raccolta viene eseguita in settembre, quando tutte le piante si presentano completamente disseccate. Le rese variano in funzione del numero di piante per unità di superficie, del numero di fiori della calatide e del peso medio di un achenio. A livello nazionale le produzioni medie di seme sono di circa 2,5 t/ha, con quantitativi di olio corrispondenti a circa 1,2 t/ha; in condizioni molto favorevoli (ad esempio in coltura irrigua) si possono raggiungere 4,5 t/ha di seme e superare, quindi, 2 t/ha di olio.

L'apparato radicale è fascicolato e molto sviluppato, soprattutto nei primi 40 cm di terreno, anche se può approfondirsi fino a 2 m nel suolo; questa caratteristica conferisce al girasole una notevole resistenza agli stress idrici. I periodi di maggiori criticità sono durante lo sviluppo e la crescita degli acheni. È una coltura praticata in asciutta.

Impianto e cure colturali

Il terreno va lavorato profondamente con un'aratura a 40-50 cm, in alcuni casi è possibile anche la semina su sodo.

La semina viene effettuata a marzo con seminatrice di precisione, adottando una distanza tra le file di 70 cm e profondità intorno a 3-4 cm. La semente impiegata è pari a 4-6 kg/ha per una densità di popolamento di 5-6,5 piante/m². La temperatura ottimale per la germinazione è di 20-30°C anche se può nascere a 10°C e resiste fino a -10°C allo stadio di plantula.

L'irrigazione non è praticata. Una coltura ben sviluppata di girasole consuma indicativamente 300-400 mm di acqua durante tutto il ciclo colturale. Il fabbisogno idrico è al suo massimo da 20 giorni prima a 25 giorni dopo la fioritura.

La concimazione deve essere effettuata apportando: 80-120 kg N metà alla semina e metà alla sarchiatura; 50-70 kg/ha P₂O₅ in localizzazione; 100 kg/ha di K₂O solo in carenza.

Raccolta

La raccolta deve essere eseguita quando il seme raggiunge un'umidità del 9%, la calatide si presenta bruna e la pianta secca. Possono essere utilizzate mietitrebbiatrici per il girasole o da frumento opportunamente adattate.

Fig. 1.25. Mietitrebbiatrice su coltura di girasole



Costi

Per la coltivazione di un ettaro a girasole i costi per le ordinarie lavorazioni di impianto, fertilizzazione, irrigazione e raccolta ammontano a circa 500-600 €/ha. I costi di trasformazione del seme per la produzione di olio e pannello, riferiti all'unità di superficie sono di 50-60 €/ha. L'olio è venduto a circa 650-700 €/t mentre il pannello a 120-150 €/t. Per l'utilizzo energetico ci si dovrebbe orientare su varietà oleiche, che abbiano anche delle porzioni importanti di residuo in campo. Sono in via di studio e sperimentazione varietà di girasole a finalità esclusivamente energetiche che mostrano avere accrescimenti molto interessanti. Di seguito una tabella indicativa delle principali varietà con un alto contenuto di acido oleico e linoleico. Le varietà ad alto contenuto di acido oleico in commercio sono: Sambro, DT4056 OL, Mas 92.OL, Dynamic, Hellabest, Orasole, Atomic, Heroic, Tenor, Nutrasol e Oleko.

GIRASOLE

TECNICA COLTURALE	
Materiale di propagazione	Semente
Investimento (piante/m ²)	4-7
Sesti d'impianto (distanza file in cm)	70
Modalità di semina	Seminatrice di precisione
Epoca di semina	Marzo
Concimazione (kg/ha)	N: 80-120; P ₂ O ₅ : 50-70; K ₂ O: 100
Irrigazione	Coltura in asciutta
Diserbo	Difesa in pre-emergenza con erbicidi tradizionali (S-metolaclo, Pendimetalin, e Oxifluoren)
Raccolta	Settembre
Modalità di raccolta	Mietitrebbia
PRODUTTIVITÀ	
Produttività (t/ha di semi)	2,0-4,5
Olio (%)	45-55%
Produzione in olio (t/ha)	1,2-2
DATI STATISTICI	
Superficie coltivata in Italia (ha)	123.696
Produzione (t)	190.460
DATI ECONOMICI	
Costi medi annui (€)	600 circa
Ricavo medio annuo (€) ¹	600-705
Reddito medio annuo (€)	0-105

1 Da borsa Merci di Milano all'11/04/2006

1.4.3.3 Soia

La soia è originaria dell'estremo oriente. In Europa è giunta soltanto agli inizi del 1900, importata dall'Inghilterra come alimento per diabetici, in quanto priva di amidi. Oggi è una delle più importanti piante alimentari per la ricchezza dei suoi semi in proteine (38-41%) e olio (18-21%). La farina di soia è impiegata principalmente (al 90%) in zootecnia, come integratore proteico mentre l'olio di soia ha utilizzi sia alimentari che non. La coltivazione della soia è molto

diffusa a livello mondiale soprattutto per la farina che se ne ricava. L'olio, invece, pur rappresentando una tra le maggiori produzioni al mondo (per il 2008, 37,5 Mt, secondo solo all'olio di palma con 38,9 Mt), è da considerarsi, in realtà, più come un sottoprodotto che come prodotto principale. La soia è una pianta erbacea annuale a ciclo estivo, interamente pubescente, alta da 70 a più di 130 cm, con portamento eretto più o meno cespuglioso. Appartiene alla famiglia delle Leguminose, il frutto è un baccello, piccolo, ricoperto di peli, che si può presentare dritto o incurvato. La colorazione può variare dal giallo, al grigio, al nero. Un baccello contiene da 1 a 5 semi (normalmente 2 o 3). Ogni infiorescenza produce da 1 a più di 20 baccelli, che raggiungono, in circa 40 giorni, il loro massimo peso. Il seme è di forma prevalentemente sferica o ellittica e dal colore variabile (dal giallo paglierino al nero). Le rese sono variabili; in Italia (Pianura Padana) si parla di 3-3,5 t/ha, ma si possono superare le 4 t/ha oppure scendere fino a 2 t/ha per le colture intercalari. La resa in olio oscilla in media tra 0,4 e 0,8 t/.



Impianto e cure colturali

Coltura a ciclo primaverile-estivo; esigenze climatiche simili a quelle del mais ma la soia è meno sensibile agli abbassamenti di temperature nelle fasi iniziali del ciclo (T_{min} di accrescimento = 5°C; Totale ~24-25°C); pianta brevi-diurna sensibile al fotoperiodo; pianta debolmente arido-resistente che, nei climi italiani, necessita comunque di irrigazione. La composizione chimica della granella è mediamente di 18-20% di grassi, 40-42% di proteine ed il 5% di cellulosa. Le varietà sono distinte in base alla precocità, in gruppi da 000 (precocissime) a X (tardive). Nei nostri ambienti sono usati i gruppi da 00 a III. Le varietà precoci sono meno sensibili al fotoperiodo. Altri caratteri interessanti sono l'altezza del primo baccello, la resistenza alle malattie, allo stress idrico, ecc.

Il terreno viene lavorato con una aratura piuttosto anticipata (profondità 30 cm) seguita da lavori di affinamento eseguiti tempestivamente in modo da avere un letto di semina perfettamente livellato e amminutato. Nel caso di coltura intercalare, la lavorazione minima (15-25 cm) dà buoni risultati. La semina si effettua da metà aprile a metà maggio con seminatrici di precisione, a righe (40-45 cm) ad una profondità di 50-60 mm in terreni piuttosto asciutti e 30-40 mm in terreni con favorevoli condizioni di umidità, con densità compresa di 30-35 piante/m² impiegando circa 6-8 kg di semi/ha.

La concimazione se normalmente nodulata, è in pratica autosufficiente per l'azoto. Per gli altri macroelementi la concimazione si basa sulla somministrazione di fosforo (80-100 kg/ha) e potassio nel caso di terreni carenti. La concimazione azotata può essere limitata a 20-30 kg/ha di azoto alla semina. Se la coltura risultasse non nodulata, risulta necessario apportare circa 150-200 kg/ha di N. Il diserbo, chimico o meccanico, si effettua in pre-semina o in pre-emergenza.

Il fabbisogno idrico medio per una coltura di soia di ciclo medio-precocce è di 400-500 mm.

Raccolta

La raccolta viene effettuata da settembre (coltura principale) ad ottobre (coltura intercalare), quando la pianta è quasi completamente defogliata e presenta steli e semi di colore marrone. Si impiegano mietitrebbie da frumento.

Costi

La soia è coltivata principalmente per la farina proteica ad uso alimentare o zootecnico. I costi per le ordinarie lavorazioni di impianto, fertilizzazione, irrigazione e raccolta ammontano a circa 700-750 €/ha. I costi di trasformazione del seme per la produzione di olio e pannello, riferiti all'unità di superficie sono di 50-60 €/ha. L'olio è venduto a circa 650-700 €/t mentre il pannello a 200 €/t.

SOIA

TECNICA COLTURALE	
Materiale di propagazione	Semente
Investimento (piante/m ²)	30-35
Sesti d'impianto (distanza file in cm)	40-45
Modalità di semina	Seminatrici di precisione
Epoca di semina	15 Aprile – 15 Maggio
Concimazione (kg/ha)	N: 20-30 (semina); P ₂ O ₅ : 80-100; K ₂ O: 50-100
Irrigazione	Si (400-500 mm)
Diserbo	Difesa e diserbo tradizionali solo se necessari
Raccolta	Settembre-Ottobre
Modalità di raccolta	Mietitrebbia
PRODUTTIVITÀ	
Produttività (t/ha di semi)	2,0-4,0
Olio (%)	18-21%
Produzione in olio (t/ha)	0,4-0,8
DATI STATISTICI	
Superficie coltivata (ha)	139.249
Costo medio annuo (€/ha)	700-800
Ricavo medio annuo (€/ha)	720-840 (farina proteica + olio)

1.5 Biocombustibili

Il termine “biocombustibili” individua, nella sua accezione più ampia, l’insieme di quelle biomasse o prodotti derivanti dalle biomasse che presentano caratteristiche fisico-chimiche tali da renderli utilizzabili in processi di combustione o altra trasformazione termochimica. I biocombustibili, in funzione del loro stato, possono essere classificati in: solidi (legna da ardere, cippato e pellet di legno, bricchette, ecc.), liquidi (oli vegetali, alcoli, eteri, esteri, ecc.), gassosi (biogas e biometano). I biocombustibili possono derivare direttamente dalle biomasse (es. legna da ardere), od essere ottenuti a seguito di un processo di trasformazione strutturale del materiale organico. Tra questi ultimi, i principali sono: cippato, pellets, bricchette, biodiesel, bioetanolo, biogas e biometano.

Il *cippato* è un biocombustibile ottenuto mediante sminuzzatura del legno effettuata da macchine cippatrici o sminuzzatrici dotate di lame o coltelli che tagliano il materiale e lo trasformano in scaglie parallelepipedo omogenee. Simile, ma diverso per tipologia, è il legno frantumato che deriva dalla sfibatura del legno ad opera di macchine munite di martelli o mazze. Il legno frantumato si presenta in forme e dimensioni disomogenee.

Il “*pellet di legno*” è un combustibile prodotto a partire da alcune tipologie di scarti dell’industria del legno (segatura, polveri). Questo combustibile si distingue per la bassa umidità (inferiore al 12 %), per la sua elevata densità e per la regolarità del materiale. I pellets sono prodotti con la polvere ottenuta dalla sfibatura dei residui legnosi, la quale viene pressata da apposite macchine in cilindretti che possono avere diverse lunghezze e diametri (1,5-2 cm di lunghezza, 6-8 mm di diametro). Il ridotto contenuto idrico, la compattezza e la maneggevolezza danno a questa tipologia di combustibile caratteristiche di alto potere calorifico (P.C.I. 4,4-4,6 kWh/kg) e di affinità ad un combustibile fluido.

Con residui e polveri più grossolane vengono prodotte le **bricchette**, che sono dei tronchetti di segatura pressata, in genere di 30 cm di lunghezza e 7-8 cm di diametro. L’utilizzo è assimilabile a quello del legno in ciocchi, limitatamente all’uso domestico.

L’*olio vegetale puro* deriva dal processo di spremitura dei semi oleosi prodotti da alcune specie di piante, come: colza, girasole soia, ricino, cardo, palma, jatropha, ecc. L’olio può essere impiegato in caldaie e motori endotermici per la produzione di energia termica e/o elettrica o forza motrice.

Il *biodiesel* è un biocombustibile ottenuto dagli oli vegetali puri o da oli esausti ed ha proprietà e prestazioni simili a quelle del gasolio minerale. Caratteristiche distintive sono l’assenza di zolfo, di composti aromatici, la riduzione del particolato fine (PM10) e, infine, la riduzione dei gas a effetto serra (risparmio di 2,5 t di CO₂ per tonnellata di gasolio sostituita). Il biodiesel presenta inoltre elevata biodegradabilità (95%).

Il *bioetanolo* è invece l’alcool etilico prodotto tramite processi di fermentazione e distillazione di materiali zuccherini o amidacei. La destinazione più considerata è nella sintesi dell’ETBE (etil-terbutil-etero), usato in miscela alle benzine come additivo ossigenante ed antidetonante in sostituzione del piombo tetraetile o degli idrocarburi aromatici.

Il *biogas* si ottiene attraverso la digestione anaerobica, un processo biologico complesso attraverso il quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in una miscela gassosa costituita principalmente da metano e anidride carbonica. La percentuale di metano nel biogas varia a seconda del tipo di sostanza organica alimentata e dalle condizioni di processo, da un minimo del 50% fino all’80% circa.

Il *biometano* è ottenuto dal biogas mediante un processo denominato “upgrading” che consente di ottenere un biocombustibile molto simile al gas naturale.

1.5.1 Biocombustibili solidi

La biomassa rappresenta la prima fonte rinnovabile per importanza in Europa e la seconda in Italia. Potenzialmente la filiera legno-energia, che ha avuto un elevato sviluppo negli ultimi anni soprattutto in alcune realtà del Nord e del Centro Italia, potrebbe incrementare ulteriormente. I fattori che contribuiscono positivamente allo sviluppo sono:

- *Grande disponibilità di biomasse legnose*

La superficie forestale italiana è pari a circa 10 milioni di ettari, ovvero il 35% del territorio nazionale. Inoltre, vi è la possibilità di impiegare terreni agricoli marginali, altrimenti inutilizzati per colture legnose dedicate.

- *Diffusa presenza di imprese agricole e forestali*

- *Vantaggi ambientali*

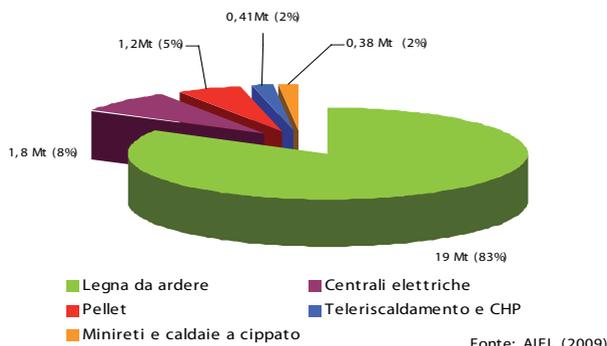
- *Positive ricadute sul tessuto sociale ed economico delle comunità locali*

Nell'ambito delle fonti energetiche rinnovabili, il legno rappresenta la seconda in termini di energia primaria, con una quota del 30%.

In Italia il consumo di energia termica per il riscaldamento riveste grande importanza. Circa il 17% dell'energia primaria consumata, che nel 2007 è stata di 144 Mtep, è energia termica per il settore domestico.

Fra i combustibili legnosi quello maggiormente diffuso è la legna da ardere, con una quota di consumo di 19 Mt (83%). Il mercato italiano del pellet è il terzo in Europa per dimensioni con oltre 1,2 milioni di tonnellate consumate. Per il cippato vi sono tre mercati di riferimento: le grandi centrali elettriche che consumano circa 1,8 milioni di tonnellate all'anno (di cui circa 1 milione importato); i teleriscaldamenti con un fabbisogno annuo di 0,41 milioni di tonnellate; le minireti e caldaie ad uso domestico che consumano quasi 0,4 milioni di tonnellate all'anno (Fig. 1.26).

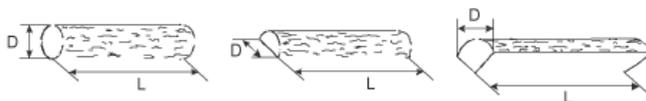
Fig. 1.26. Consumo di combustibili legnosi in Italia (anno 2009)



1.5.1.1 Legna da ardere

Caratterizzazione della legna da ardere

Dal punto di vista normativo, il riferimento per la legna da ardere è la norma europea **prEN 14961-5:2010** - 'Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 5: Firewood for non-industrial use'.

Tab. 1.47. Caratterizzazione della legna da ardere per uso non industriale in base al progetto di norma EN 14961-5:2010


Classe					
Metodo di analisi	Unità	A1	A2	B	
Origine e fonte		1.1.3 Tronchi 1.2.1 Residui legnosi non trattati chimicamente	1.1.1 Alberi interi senza radici 1.1.3 Tronchi 1.1.4 Residui di lavorazione	1.1.1.1 Alberi interi senza radici 1.1.3 Tronchi 1.1.4 Residui di lavorazione	
Specie legnosa ^a		Indicare		Indicare	
Diametro, D ^{b,c}	cm	D2 ≤ 2 D5 2 ≤ D ≤ 5 D10 5 ≤ D ≤ 10 D15 10 ≤ D ≤ 15 D15+ > 15 (indicare valore reale)		D15 ≤ 15 D15+ > 15 (indicare valore reale)	
Lunghezza, L ^{b,d}	cm	L20 ≤ 20 L25 ≤ 25 L33 ≤ 33 L50 ≤ 50 L100 ≤ 100		L33 ≤ 33 L50 ≤ 50 L100 ≤ 100	
Normativa	Contenuto idrico, M ^{b,f} EN 14774-1, EN 14774-2	w-%, tal quale	M20 ≤ 20 M25 ≤ 25	M25 ≤ 25 M35 ≤ 35	
	Umidità, U ^{b,f}	w-%, base secca	U25 ≤ 25 U33 ≤ 33	U33 ≤ 33 U54 ≤ 54	
	Volume o peso	m ³ accatastati m ³ alla rinfusa kg	Indicare che volume o peso si usano al momento della vendita		
	Proporzione di volume spaccato	% di pezzi	≥ 90%	≥ 50%	
	Superficie di taglio		Uniforme e liscia	-	
	Carie	% di pezzi	Carie non visibili	≤ 5%	Se vi è un quantitativo significativo di carie (superiore al 10% dei pezzi) deve essere dichiarato. In caso di dubbio la densità o il PCI possono essere impiegati come indicatori
	Densità energetica, E ^g	kWh/m ³ sfuso o accatastato	Si raccomanda l'indicazione		
Essiccazione		Si raccomanda di indicare se la legna è essiccata con stagionatura naturale, con aria di ambiente o aria calda.			
Informativa: Punto di fusione delle ceneri, DT prEN15370	°C	Indicare	Indicare	Indicare	

^a La specie legnosa (es. abete, betulla, faggio) può essere dichiarata utilizzando la norma EN 13556 "nomenclatura del legno tondo e da sega". Se la legna da ardere include differenti tipi di specie, la principale dovrà essere indicata per prima.

^b Il diametro, la lunghezza e il contenuto idrico selezionati dovranno essere indicati.

^c L'85% della legna dovrà appartenere nella specifica classe di diametro. Per le stufe si raccomanda, l'uso di legna con un diametro inferiore a 15 cm. D2 e D5 sono raccomandate per le cucine e come accendi fuoco.

^d La lunghezza dovrà essere nei limiti di ± 2 cm. È permesso avere il 15% di legna da ardere più corta della lunghezza richiesta, includendo il valore limite.

^e L'uso della sega a catena è considerato per essere liscio e uniforme.

^f Entrambe le determinazioni del contenuto idrico devono essere determinate: M(w%) su base umida e U (w%) su base secca. Il contenuto di umidità non dovrà essere inferiore al 12% su base umida (M) o 13,64% su base secca (U).

^g La densità energetica (E) deve essere calcolata sulla base della densità apparente (BD) e del PCI.



Differenti unità volumetriche per esprimere un quantitativo di legna sono riportate in figura 1.27.

Fig. 1.27. Unità volumetriche per la determinazione di un quantitativo di legna da ardere



Nella realtà italiana, le dimensioni più tipiche della legna da ardere sono comprese tra i 50 e i 33 cm di lunghezza e un diametro medio di 8-15 cm. La tabella 1.48 riporta in sintesi i parametri fisico-energetici indicativi della legna da ardere.

Tab. 1.48. Parametri energetici indicativi della legna da ardere

	Unità di misura	Valori
Massa volumica	kg/m ³	600-800
Contenuto idrico (M)	%	20
pc ₂₀	kWh/kg	4
Densità energetica	kWh/msa (P)	1.700-2.250
	kWh/msa (P 330)	2.040-2.700
	kWh/msr (P 330)	1.200-1.600
Ceneri	% ss	1-2



Cenni sul mercato

La legna da ardere è un combustibile solido ancora oggi molto utilizzato in Italia. Annualmente, il consumo di legna da ardere ammonta a circa 19,1 Mt, così da rappresentare il principale combustibile legnoso utilizzato, con una quota pari all'83%. Oltre 4,4 milioni di abitazioni sono riscaldate a legna con un consumo medio annuo di circa 4,3 t.

Attualmente, l'impiego della legna da ardere avviene per oltre il 70% in apparecchi a basso rendimento energetico, come camini aperti e stufe tradizionali. Solo il 7,5% è destinata a stufe innovative e meno dell'1% a moderne caldaie per il riscaldamento centralizzato e la produzione di acqua calda sanitaria.

Il 42% degli utilizzatori finali provvedono autonomamente alla produzione del combustibile, mentre il 32% la acquista sul mercato locale, generalmente a un prezzo poco trasparente e conveniente, presso rivenditori di vario tipo: consorzi, garden e serre, ferramenta, ecc.

La produzione di legna da energia (ISTAT 2008) è pari a 5,65 Mm³ e l'importazione di legna da ardere supera 1 Mm³ all'anno. I principali paesi di importazione sono la Romania, la Slovenia e la Croazia.

1.5.1.2 Cippato

Il cippato è legno ridotto in scaglie omogenee (3-5 cm) ottenibile attraverso la cippatura dei residui delle utilizzazioni boschive: sottomisure, ramaglie e cimali. Le principali caratteristiche qualitative del cippato di legno a uso energetico sono la pezzatura, il contenuto idrico e le ceneri. La caratterizzazione qualitativa del cippato è definita dalla norma europea prEN 14961-4: 2010 (tab. 1.49).



Tab. 1.49. Specifica tecnica prEN 14961-4: 2010 sulla caratterizzazione del cippato di legno

Classe Metodo di analisi	Unità	A		B	
		1	2	1	2
Normativa	Origine e fonte	1.1.1 Alberi interi senza radici ^a 1.1.3 Tronchi 1.2.1 Residui legnosi non trattati chimicamente 1.1.4.3 Residui lavorazione tronchi, latifoglie	1.1.1 Alberi interi senza radici ^a 1.1.3 Tronchi 1.2.1 Residui legnosi non trattati chimicamente 1.1.4.3 Residui lavorazione tronchi, latifoglie	1.1 Piantagioni forestali e altro legno vergine ^b 1.2.1 Residui legnosi non trattati chimicamente	1.2. Sottoprodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno 1.3. Legno usato
	Dimensione delle particelle, P	mm	vedi tabella 1.50	vedi tabella 1.50	vedi tabella 1.50
	Contenuto idrico, M ^c EN 14774-1, EN 14774-2	w-%	M10 ≤ 10 M25 ≤ 25	M35 ≤ 35	Specificare
	Ceneri A, EN 14775	w-%, base secca	A1,0 ≤ 1,0	A1,5 ≤ 1,5	A3,0 ≤ 3,0
	Potere calorifico inferiore, QEN 14918	MJ/kg or kWh/kg	Q13,0 ≥ 13,0 o Q3,6 ≥ 3,6	Q11,0 ≥ 11,0 o Q3,1 ≥ 3,1	Specificare
	Densità apparente, BD (come ricevuto) ^d EN 15103	kg/sfusi m ³	BD150 ≥ 150 BD200 ≥ 200	BD150 ≥ 150 BD200 ≥ 200	Specificare
	Azoto, NprEN 15104	w% base secca	-	-	N1.0 ≤ 1,0
	Zolfo, SprEN 15289	w% base secca	-	-	S0.1 ≤ 0,1
	Cloro, ClprEN 15289	w% base secca	-	-	Cl0.05 ≤ 0,05
	Arsenico, AsprEN 15297	mg/kg base secca	-	-	≤ 1
	Cadmio, Cd prEN 15297	mg/kg base secca	-	-	≤ 2,0
	Cromo prEN 15297, Cr	mg/kg base secca	-	-	≤ 10
Rame, CuprEN 15297	mg/kg base secca	-	-	≤ 10	
Piombo, PbprEN 15297	mg/kg base secca	-	-	≤ 10	
Mercurio, HgprEN 15297	mg/kg base secca	-	-	≤ 0,1	
Nickel, NiprEN 15297	mg/kg base secca	-	-	≤ 10	
Zinco, Zn prEN 15297	mg/kg base secca	-	-	≤ 100	

^a Escludendo la classe 1.1.1.3 Short rotation coppice, se c'è ragione di sospettare la contaminazione del terreno o se la piantagione è stata impiegata per il sequestro di agenti chimici o se vengono utilizzati liquami (ottenuti dal trattamento delle acque di scarico o di processi chimici).

^b Escludendo le classi 1.1.5 Ceppaie/radici and 1.1.6 Corteccia

^c La reale classe di proprietà del contenuto idrico deve essere indicata. La classe di contenuto idrico M10 è per il cippato essiccato artificialmente.

^d La reale classe di proprietà della Densità apparente deve essere indicata. La densità apparente è inferiore per le conifere rispetto alle latifoglie.

Come già affermato, la pezzatura è una delle principali caratteristiche qualitative del cippato e anche questo parametro è definito dalla norma precedentemente citata.


Tab. 1.50. Caratterizzazione della pezzatura del cippato in base alla norma prEN 14961-4: 2010

Dimensioni (mm)			
	Frazione principale Minimo 75 (in peso %) w-%, mm ^a	Frazione fine, (in peso %) w-% (< 3,15 mm)	Frazione grossolana, (w-%), max. lunghezza delle particelle, mm
P16A	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	≤ 12 %	≤ 3 % > 16 mm, e tutte < 31,5 mm Area della sezione trasversale delle particelle fuori misura deve essere < 1 cm ²
P16B	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	≤ 12 %	≤ 3 % > 45 mm e tutte < 120 mm Area della sezione trasversale delle particelle fuori misura deve essere < 1 cm ²
P31,5	$8 \leq P \leq 31,5$ mm	≤ 8 %	≤ 6 % > 45 mm, e tutte < 120 mm Area della sezione trasversale delle particelle fuori misura deve essere < 2 cm ²
P45A	$8 \leq P \leq 45$ mm	≤ 8 %	≤ 6 % > 63 mm e tutte max 3,5 % > 100 mm, tutte < 120 mm Area della sezione trasversale delle particelle fuori misura deve essere < 5 cm ²

^a I valori numerici (classe di P) per dimensione si riferiscono alle dimensioni delle particelle (minimo 75% in peso) passanti attraverso il vaglio così come indicato nella norma (EN 15149-1).

Nella realtà nazionale le caratteristiche del cippato comunemente presente in commercio sono riassunte in tabella 1.51.

Tab. 1.51. Principali parametri energetici indicativi del cippato

	Unità di misura	Valori
Massa sterica	kg/msr	220-330
Contenuto idrico (M)	%	30
pc ₃₀	kWh/kg	3,4
Densità energetica	kWh/msr	750-1.120
Ceneri	% ss	0,5-2

Cenni sul mercato

Attualmente il mercato del legno cippato in Italia, che ha le caratteristiche dei mercati di neoformazione, presenta notevoli elementi di complessità e disomogeneità territoriale.

- In alcune regioni e aree sono presenti forti condizioni di competizione tra la destinazione a uso energetico e altri impieghi, quali quello nell'industria dei pannelli e della produzione di paste ad uso cartario.

- I costi di produzione sono fortemente disomogenei. Agli estremi vi è il caso del legno cippato proveniente da boschi impervi, caratterizzato da costi di produzione molto elevati. Il caso opposto è rappresentato da materiale di scarto o di risulta che è destinato alle centrali elettriche.
- Vi è una notevole diversificazione delle categorie di utilizzatori finali, caratterizzati da diverse propensioni di spesa.
- Manca un adeguato e standardizzato modello di compravendita del combustibile basato sul contenuto energetico.

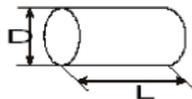
Come accennato in precedenza per il cippato vi sono tre mercati di riferimento:

1. le grandi centrali elettriche;
2. i teleriscaldamenti, in alcuni abbinati a cogeneratori;
3. le minireti di teleriscaldamento e caldaie ad uso domestico.

1.5.1.3 Pellet

Il pellet è un combustibile densificato, generalmente di forma cilindrica, derivante da un processo industriale attraverso il quale la materia prima viene trasformata in piccoli cilindri di diametro variabile da 6 a 8 mm e lunghezza tipicamente compresa fra 5 e 40 mm.

Fig. 1.28. Trafila per pellet di legno



D Diametro

L Lunghezza



Nel processo produttivo la materia prima, tipicamente polverizzata, viene immessa nella cavità di pellettatura dove viene forzata da un pressore rotante attraverso delle matrici forate dette trafile, comprimendola in pellet. Qualora venga utilizzata materia prima legnosa, il raggiungimento di elevate temperature determina il parziale ammolimento dei suoi costituenti, in modo specifico della lignina, che fondendosi funge da collante naturale.

Le principali fasi del processo produttivo sono:

- pre-trattamento della materia prima al fine di renderla omogenea in termini di granulometria e contenuto idrico. Questa fase è a sua volta costituita da una serie di operazioni quali: raffinamento, essiccazione, condizionamento e separazione dei metalli;
- immissione ed estrusione della materia prima legnosa all'interno delle trafile;
- raffreddamento del pellet;
- separazione delle parti fini;
- imballaggio e immagazzinamento.

Il pellet uscito dalla trafila è caratterizzato da un ridotto contenuto idrico, comunemente inferiore al 10%.

Fig. 1.29. Particolare interno della trafila per pellet



Nel processo produttivo possono essere impiegati degli additivi, ovvero materiali che determinano un miglioramento della qualità del combustibile, riducono le emissioni o rendono il processo produttivo più efficiente.

Segmenti di utilizzo

Il pellet può essere utilizzato sia in stufe che in caldaie appositamente adattate.

Le moderne stufe a pellet sono caratterizzate da:

- funzionamento automatizzato e programmabile;
- elevato comfort;
- elevato rendimento (mediamente 83-89%);
- bassi livelli di emission;
- facilità nella gestione delle ceneri.

Le moderne caldaie a pellet sono caratterizzate da:

- potenza e combustione regolabili;
- bassi livelli di emissioni nocive a potenza nominale (modelli certificati):
 - CO: inferiore a 100 mg/Nm³ (13% O₂)
 - Polveri: inferiore a 25 mg/Nm³ (13% O₂)
- elevato rendimento (mediamente oltre il 90%);
- sistemi di regolazione dell'aria comburente sui gas di scarico;
- modulazione della potenza nel campo: da ca. 30% al 100%;
- facile e confortevole rimozione delle ceneri.

Materie prime

Possono essere impiegate differenti tipologie di materie prime, di origine legnosa e non, che determinano parametri qualitativi e caratteristiche del combustibile diverse.

Pellet di legno

In base alla norma europea sulla caratterizzazione del pellet di legno ad uso non industriale – prEN 14961-2:2010, attualmente in fase di revisione, la materia prima impiegata può provenire da:

- 1.1 Foreste, piantagioni o altro legno vergine
- 1.2 Sottoprodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno
- 1.3 Legno usato.

Tab. 1.52. Caratterizzazione del pellet di legno per uso non industriale in base al progetto di norma EN 14961-2:2010

Classe	Unità	A1	A2	B
Metodo di analisi				
Origine e fonte		1.1.3 Tronchi 1.2.1 Residui legnosi non trattati chimicamente	1.1.1 Alberi interi senza radici 1.1.3 Tronchi 1.1.4 Residui di lavorazione 1.1.6 Corteccia 1.2.1 Residui legnosi non trattati chimicamente	1.1 Foreste, piantagioni e altro legno vergine 1.2 Sottoprodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno 1.3 Legno usato
Diametro, D ^a e Lunghezza L ^b ENXXXX	mm	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08, 8 ± 1 3,15 ≤ L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40	D06 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08 8 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40
Contenuto idrico, M EN 14774-1, EN 14774-2	w-%, tal quale	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
Ceneri, A EN14775	w-% base secca	A0.7 ≤ 0,7	A1.5 ≤ 1,5	A3.0 ≤ 3,0
Durabilità Meccanica, DU EN 15210-1	w-% tal quale	DU97.5 ≥ 97,5	DU97.5 ≥ 97,5	DU96.5 ≥ 96,5
Particelle fini al cancello della fabbrica per il trasporto sciolto (momento del caricamento) e in piccoli (fino a 20 kg) e grandi sacchi (al momento del confezionamento o quando inviato al consumatore finale), FprEN 15149-1	w-% tal quale	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0
Additivi ^c	w-% base secca	≤ 2 w-% Tipo e quantità da dichiarare	≤ 2 w-% Tipo e quantità da dichiarare	≤ 2 w-% Tipo e quantità da dichiarare
Potere Calorifico Inferiore, Q EN 14918	MJ/kg o kWh/kg, tal quale	Q16,5, 16,5 ≤ Q ≤ 19 or Q4.6 4,6 ≤ Q ≤ 5,3	Q16,3, 16,3 ≤ Q ≤ 19 or Q4.6 4,5 ≤ Q ≤ 5,3	Q16,0, 16,0 ≤ Q ≤ 19 or Q4.4 4,4 ≤ Q ≤ 5,3
Densità apparente, BD, EN 15103	kg/m ³	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
Azoto, N, prEN 15104	w-% b.s.	N0.3 ≤ 0,3	N0.5 ≤ 0,5	N1.0 ≤ 1,0
Zolfo, S, prEN 15289	w-% b.s.	S0.03 ≤ 0,03	S0.03 ≤ 0,03	S0.04 ≤ 0,04
Cloro, Cl, prEN 15289	w-% b.s.	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.03 ≤ 0,03
Arsenico, As, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cadmio, Cd, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Cromo, Cr, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Rame, Cu, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Piombo, Pb, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Mercurio, Hg, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Nickel, Ni, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zinco, Zn, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Informativa: Punto di fusione delle ceneri, DT ^d prEN15370	°C	Indicare	Indicare	Indicare

^a Indicare la dimensione selezionata.

^b Il quantitativo di pellet più lungo di 40 mm può essere pari all'1% in peso. La lunghezza massima dovrà essere < 45 mm.

^c Tipi (per esempio: amido, farina di grano, farina di patate, olio vegetale)

^d Tutte le temperature caratteristiche in condizioni di ossidazione devono essere determinate (temperatura di inizio di restringimento (SST), temperatura di deformazione (DT), temperatura di emisfero (HT) e temperatura di fusione (FT).

Pellet non di legno

Il pellet non di legno, prodotto dall'utilizzo di materie prime generalmente di origine agricola, è comunemente caratterizzato da un elevato contenuto di ceneri, cloro, azoto, e zolfo. Il suo utilizzo è, quindi, raccomandato in apparecchi termici specificatamente progettati. Infatti, quando si utilizzano materie prime non legnose si deve porre particolare attenzione al rischio di corrosione in piccoli e medi apparecchi termici e nelle canne fumarie. Inoltre in base alla norma europea sulla caratterizzazione del pellet non di legno ad uso non industriale – prEN 14961-6:2010, attualmente in fase di revisione, la materia prima impiegata può provenire da:

- Biomassa erbacea
- Biomassa da frutti
- Miscele e miscugli

Tab. 1.53. Caratterizzazione del pellet prodotto con paglia, Miscanthus e scagliola arundinea (reed canary grass) per uso non industriale in base al progetto di norma EN 14961-6:2010

Classe di proprietà Metodo di analisi	Unità	Paglia cereale	Miscanthus	Scagliola arundinea	
Origine e fonte		2.1.1.2 Paglia	2.1.2.1 Erba, pianta intera	2.1.2.1 Erba, pianta intera	
Diametro, D e Lunghezza L ^a ENXXXX	mm	D06 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm D08 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm D10 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm	D06 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm D08 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm D10 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm	D06 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm D08 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm D10 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 mm	
Contenuto idrico, M EN 14774-1, EN 14774-2	w-% tal quale	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M12 ≤ 12	
Ceneri, A EN 14775	w-% sul secco	A6.0 ≤ 6 A6.0 + > 6 ^c	A4.0 ≤ 4 A6.0 ≤ 6	A8.0 ≤ 8 A8.0 ≤ 8 ^d	
Normativa	Curabilità meccanica, DU EN 15210-1	w-% tal quale	DU97.5 ≥ 97,5	DU97.5 ≥ 97,5	DU96.5 ≥ 96,5
	Particelle fini al cancello della fabbrica per il trasporto sciolto (momento del caricamento) e in piccoli (fino a 20 kg) e grandi sacchi (al momento del confezionamento o quando inviato al consumatore finale), F prEN 15149-1	w-%	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0	F2.0 ≤ 2,0
	Additivi ^d	w-%, sul secco	Tipo e quantitativo da indicare	Tipo e quantitativo da indicare	Tipo e quantitativo da indicare
Potere calorifico inferiore sul tal quale, Q EN 14918	MJ/kg o kWh/kg	Da indicare	Da indicare	Q14.5 ≥ 14,5 or Q4 ≥ 4	
Densità apparente, BD EN 15103	kg/m ³ tal quale	BD600 ≥ 600	BD580 ≥ 580	BD550 ≥ 550	
Azoto, N , prEN 15104	w-% b.s.	N0.7 ≤ 0,7	N0.5 ≤ 0.5	N1.0 ≤ 1,0	
Zolfo, S prEN 15289	w-% b.s.	S0.1 ≤ 0,1	S0.05 ≤ 0,05	S0.2 ≤ 0,2	
Cloro, Cl prEN 15289	w-% b.s.	Cl0.1 ≤ 0,1	Cl0.07 ≤ 0,07	Cl0.1 ≤ 0,1	
Informativa	Arsenico, As prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 1	≤ 1	≤ 1
	Cadmio, Cd prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
	Cromo, Cr prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Rame, Cu prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 20	≤ 20	≤ 20
	Piombo, Pb prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 10	≤ 10
	Mercurio, Hg prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10
	Nickel, Ni prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 10	≤ 10
	Zinco, Zn prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Punto di fusione delle ceneri, DT ^e prEN15370	°C	Da indicare	Da indicare	Da indicare	

^a Indicare la dimensione selezionata.

^b Pellet con lunghezza superiore a 40 mm può essere l'1% del peso. La lunghezza massima deve essere < 45 mm.

^c valore da indicare.

^d Tipo di relazione e additivi per la combustione (es. additivi per aumentare la pressurizzazione, inibizione della formazione di scorie o qualsiasi altro additivo come amido, farina di grano, farina di patate, olio vegetale, ecc).

^e Tutte le temperature caratteristiche in condizioni di ossidazione devono essere determinate (temperatura di inizio di restringimento (SST), temperatura di deformazione (DT), temperatura di emisfero (HT) e temperatura di fusione (FT)).

1.5.1.4 Bricchette

Le bricchette sono un combustibile densificato, generalmente di forma cubica o cilindrica, prodotto dalla pressatura di differenti residui legnosi con contenuto idrico residuo (M) non superiore al 15%. I sistemi di bricchettatura si distinguono in sistemi a bassa, media e alta pressione. La produttività delle bricchettatrici varia da 300 a 1200 kg/h.

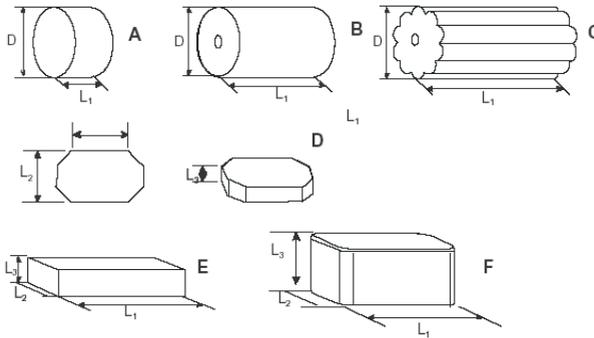


Fig. 1.30. Pressatrice per bricchette



Segmenti di utilizzo

Le bricchette sono generalmente impiegate in apparecchi termici con caricamento manuale quali stufe e caminetti, generalmente in sostituzione della legna da ardere.

Materie prime

Le bricchette possono essere prodotte utilizzando diversi tipi di materia prima, tuttavia, il legno rappresenta quella principale.

In base alla norma europea sulla caratterizzazione delle bricchette di legno ad uso non industriale – prEN 14961-3:2010, attualmente in fase di revisione, la materia prima impiegata può provenire da:

- 1.1 Foreste, piantagioni o altro legno vergine
- 1.2 Sottoprodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno
- 1.3 Legno usato

Tab. 1.54. Caratterizzazione delle bricchette per uso non industriale in base al progetto di norma EN 14961-6:2010

Classe di proprietà Metodo di analisi	Unità	A		B ^a	
		1	2		
Origine e fonte ^a		1.1.3 Tronchi 1.2.1 Residui legnosi non trattati chimicamente	1.1.1 Alberi interi senza radici 1.1.3 Tronchi 1.1.4 Residui di lavorazione 1.1.6 Corteccia 1.2.1 Residui legnosi non trattati chimicamente	1.1 Foreste, piantagioni e altro legno vergine 1.2 Sottoprodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno 1.3 Legno usato	
Diametro (D) o lunghezza (L ₁), larghezza (L ₂) e altezza (L ₃) EN xxxxx	mm	Diametro, larghezza e lunghezza da indicare	Diametro, larghezza e lunghezza da indicare	Diametro, larghezza e lunghezza da indicare	
	forma	Specificare la forma in base alla Figura 1 e.g. A or B, etc.	Specificare la forma in base alla Figura 1 e.g. A or B, etc.	Specificare la forma in base alla Figura 1 e.g. A or B, etc.	
Normativa	Contenuto idrico, M, EN 14774-1, EN 14774-2	w-% tq	M12 ≤ 12	M15 ≤ 15	M15 ≤ 15
	Ceneri, A EN 14775	w-% ss	A0.7 ≤ 0,7	A1.5 ≤ 1,5	A3.0 ≤ 3.0
	Particle density, DE EN15150	g/cm ³	DE1.0 ≥ 1,0	DE1.0 ≥ 1,0	DE0.9 ≥ 0,9
	Additivi ^{b c}	w-% ss	≤ 2 w-% Tipo e quantitativo da indicare	≤ 2 w-% Tipo e quantitativo da indicare	≤ 2 w-% Tipo e quantitativo da indicare
	Potere calorifico inferiore, Q EN 14918	as received, MJ/kg or kWh/kg	Q15.5 ≥ 15,5 or Q4.3 ≥ 4,3	Q15.3 ≥ 15,3 or Q4.25 ≥ 4,25	Q14.9 ≥ 14,9 or Q4.15 ≥ 4,15
	Azoto, N prEN 15104	w-% ss	N0.3 ≤ 0,3	N0.5 ≤ 0,5	N1.0 ≤ 1,0
	Zolfo, S prEN 15289	w-% ss	S0.03 ≤ 0,03	S0.03 ≤ 0,03	S0.04 ≤ 0,04
	Cloro, Cl prEN 15289	w-% ss	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.03 ≤ 0,03	Cl0.03 ≤ 0,03
	Arsenico, As prEN 15297	mg/kg ss	≤ 1	≤ 1	≤ 1
	Cadmio, Cd prEN 15297	mg/kg ss	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
	Cromo, Cr prEN 15297	mg/kg ss	≤ 10	≤ 10	≤ 10
	Rame, Cu prEN 15297	mg/kg ss	≤ 10	≤ 10	≤ 10
	Piombo, Pb prEN 15297	mg/kg ss	≤ 10	≤ 10	≤ 10
	Mercurio, Hg prEN 15297	mg/kg ss	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
	Nickel, Ni prEN 15297	mg/kg ss	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zinco, Zn prEN 15297	mg/kg ss	≤ 100	≤ 100	≤ 100	

a La Classe B non è raccomandata per l'uso in forni per panificazione.

b Tipo (e.g. amido, farina di grano, farina di patate, olio vegetale).

1.5.2 Biocombustibili liquidi

Il documento di riferimento per la classificazione dei biocombustibili utilizzabili nel settore dei trasporti è la Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo, che recepisce e abroga la precedente 2003/30/CE dove venivano definiti i biocombustibili ed i biocarburanti.

Sono considerati biocombustibili tutti i prodotti elencati di seguito:

- a) "olio vegetale puro": olio prodotto da piante oleaginose mediante pressione, estrazione o processi analoghi, greggio o raffinato ma chimicamente non modificato, qualora compatibile con il tipo di motore usato e con i corrispondenti requisiti in materia di emissioni;
- b) "biodiesel": estere metilico ricavato da un olio vegetale o animale, di tipo diesel, destinato ad essere usato come biocombustibile;
- c) "bioetanolo": etanolo ricavato dalla biomassa e/o dalla parte biodegradabile dei rifiuti, destinato ad essere usato come biocombustibile;
- d) "biometanolo": metanolo ricavato dalla biomassa, destinato ad essere usato come biocarburante;
- e) "biodimetilere": etere dimetilico ricavato dalla biomassa, destinato ad essere usato come biocombustibile;
- f) "bio-ETBE (etil-t-butiletere)": ETBE prodotto partendo da bioetanolo. La percentuale in volume di bio-ETBE calcolata come biocombustibile è del 47%;
- g) "bio-MTBE (metil-t-butiletere)": carburante prodotto partendo da biometanolo. La percentuale in volume di biocombustibile nel bio-MTBE è del 36%;
- h) "biocombustibili sintetici": idrocarburi sintetici o miscele di idrocarburi sintetici prodotti a partire dalla biomassa.

Nel seguito, si utilizzerà sempre il termine biocombustibili piuttosto che biocarburanti.

La direttiva 2009/28/CE al fine di creare una stabilità nel mercato e nelle imprese ha posto come obiettivo al 2020 la sostituzione del 10% dei combustibili fossili con biocombustibili nel settore dei trasporti. Ogni Stato Membro partecipa singolarmente con un proprio impegno al raggiungimento di tale obiettivo. L'Italia in particolare con il Piano d'Azione Nazionale (PAN) si è impegnata a incrementare l'utilizzo dei biocombustibili nei trasporti passando dagli 0,46 Mtep del 2008 fino ai 2,53 Mtep al 2020.

Olio Vegetale Puro

Gli oli vegetali sono interessanti combustibili alternativi alle fonti fossili, rispetto alle quali presentano due caratteristiche di notevole interesse: sono rinnovabili e caratterizzati da elevata biodegradabilità.

L'Olio Vegetale Puro (OVP) è un biocombustibile prodotto da piante oleaginose mediante pressione, estrazione o processi analoghi, può essere greggio o raffinato ma chimicamente non modificato, compatibile con il tipo di motore usato e con i corrispondenti requisiti in materia di emissioni.

Le specie oleaginose più comuni in Italia da cui si estrae l'olio sono: il girasole, il colza, la soia, il ricino, il cardo ed il mais. A queste si aggiungono specie come la jatropha e la palma che provengono da coltivazioni extraterritoriali.

Tab. 1.55. Rese e caratteristiche agro-energetiche dell'olio vegetale puro di girasole

Resa in semi	t/ha	2,0-4,5
Contenuto in olio	%	45-55
Resa in olio	t/ha	1,0-2,1
P.C.I. olio	MJ/kg	36,0-39,9
Quantità energetica unitaria	GJ/ha	38-76

Tab. 1.56. Rese e caratteristiche agro-energetiche dell'olio vegetale puro di colza

Resa in semi	t/ha	2,0-4,0
Contenuto in olio	%	35-45
Resa in olio	t/ha	0,75-1,5
P.C.I. olio	MJ/kg	36,7-37,8
Quantità energetica unitaria	GJ/ha	28-55

Tab. 1.57. Rese e caratteristiche agro-energetiche dell'olio vegetale puro di soia

Resa in semi	t/ha	2,0-4,0
Contenuto in olio	%	18-21
Resa in olio	t/ha	0,4-0,8
P.C.I. olio	MJ/kg	36,4-37,2
Quantità energetica unitaria	GJ/ha	15-30

La produzione dell'Olio Vegetale Puro prevede i seguenti processi produttivi, illustrati nello schema sotto riportato, estrapolato dall'opuscolo "La filiera dell'olio-energia" edito dalla Regione Marche.

Fig. 1.31. Schema sintetico del processo di produzione dell'OVP



Il processo di produzione dell'OVP, per la semplicità delle macchine necessarie, può essere svolto anche in piccola scala nell'ambito di aziende agricole singole o associate. Dal ciclo di lavorazione dei semi oleosi ottiene come coprodotto il pannello proteico che costituisce tra il 60 e il 70% del materiale lavorato. La vendita del pannello, ottimo alimento per la zootecnia, contribuisce in maniera rilevante alla sostenibilità economica della filiera.

L'OVP può essere impiegato in caldaie e motori endotermici a punto fisso o mobile per la produzione di: energia termica, energia elettrica, cogenerazione o forza motrice.

Gli OVP impiegati come biocombustibile in sostituzione del gasolio per la produzione energetica, provenendo da numerose specie, presentano differenti proprietà chimiche (acidità, potere calorifico, numero di iodio, ecc.), fisiche (viscosità, densità, infiammabilità, ecc.) e termiche (T° di distillazione, residuo carbonioso e numero di cetano).

La tabella 1.58 riporta le principali caratteristiche chimiche, fisiche ed energetiche degli oli prodotti da diverse colture e comparati a quelle del gasolio da riscaldamento.

Tab. 1.58. Principali caratteristiche chimico-fisiche degli oli provenienti da diverse specie

Colture	U.M.	Girasole	Colza	Soia	Arachide	Mais	Palma	Jatropha	Gasolio
Viscosità cinematica	mm ² /s (40°C)	34,0	35,3	31,5	39,0	34,3	42,0	36,0	2,9
Densità	kg/l (15°C)	0,92	0,91	0,92	0,90	0,91	0,92	0,94	0,85
Punto di infiammabilità	(°C)	267	246	254	291	277	267	210	68
Punto di solidificazione	(°C)	-15	-30	-12	-6	-40	23	4	-20
Temperatura di distillazione	(°C)	274	246	254	271	277	267	295	-
Residuo carbonioso	%	0,23	0,27	0,23	0,24	0,24	-	1,00	0,17
Numero di cetano		37,0	37,6	37,9	41,8	37,6	38,0	38,0	47,0
PCI	MJ/kg	37,3	37,1	36,8	37,5	36,8	36,6	36,7	41,0

Fonte: Opuscolo "La filiera dell'olio-energia" edito dalla Regione Marche

Per l'impiego dell'olio vegetale puro nei motori agricoli è necessario che le proprietà dell'olio siano ben determinate al fine di non compromettere il funzionamento del motore, la sua durata e il rispetto delle emissioni. L'unica norma tecnica che regola tali proprietà è la norma tedesca DIN V 51605 (Olio vegetale di colza per l'impiego come biocarburante nei motori agricoli). I valori della norma sono riportati nella tabella 1.59 dove si confrontano, utilizzando le stesse metodologie di analisi indicate dalla normativa, con i valori risultati dalle analisi svolte in tre diversi laboratori su varietà alto-oleiche del girasole (Sambro e Tenor).

Per quanto riguarda la normativa tecnica in Italia, il Comitato Termotecnico Italiano ha predisposto una norma tecnica di riferimento che è la UNI TS 11163 2009 "Oli e grassi vegetali e loro sottoprodotti e derivati utilizzati per la produzione di energia. Specifiche e classificazione.", che è in attesa di essere richiamata esplicitamente da una norma legislativa.

Tab. 1.59. Confronto fra le proprietà dell'olio di colza e quello di girasole

Prova analitica	Colza (DIN V 51605)		Unità di misura	Metodi di prova	Girasole *	
	min	max			min	max
Valutazione visiva	Libero da agenti estranei, sedimenti ed acque libere					
Densità (15°C)	900	930	kg/m ³	DIN EN ISO 3675/12185	919	922
Punto di infiammabilità	220		Valore chiuso	DIN EN ISO 2719	240	260
Viscosità cinematica (40°C)		36	mm ² /s	DIN EN ISO 3104	30,4	33,5
PCI	36.000		kJ/kg	DIN 51900-1-2-3	39.400	41.345
Residui carboniosi		0,40	Mass%	DIN EN ISO 10370	0,10	0,70
Numero di Iodio	95	125	Glod/100g	DIN EN 14111	115	129
Contenuto di Zolfo		10	mg/kg	DIN EN ISO 20884/20846	3,4	<20
Contaminazione totale		24	mg/kg	DIN EN 12662	7,4	14
Acidità		2	mg KOH/g	DIN EN 14104	12,6	21,8
Stabilità ossidativa (110°C)	6		h	DIN EN 14112	0,5	0,6
Contenuto di Fosforo		12	mg/kg	DIN EN 14107	11,2	35
Contenuto in Ca+Mg		20	mg/kg	E DIN EN 14538	88	172
Contenuto in ceneri		0,01	% (m/m)	DIN EN ISO 6245	<0,01	0,055
Contenuto in acqua		0,075	% (m/m)	DIN EN ISO 12937	0,08	0,25
Numero di cetano	39		-	IP 498	38,8	

*(prove di laboratorio); Fonte "Olio vegetale puro – Produzione ed uso come biocarburante in agricoltura" AIEL-CIA

I valori in rosso sono risultati fuori limite dalla norma per l'olio di colza, se per alcuni di essi è possibile rientrare nei limiti fissati dalla normativa, migliorando le tecniche di spremitura e conservazione dell'olio, per altri come acidità, P, Ca e Mg ciò appare più problematico.

Biodiesel

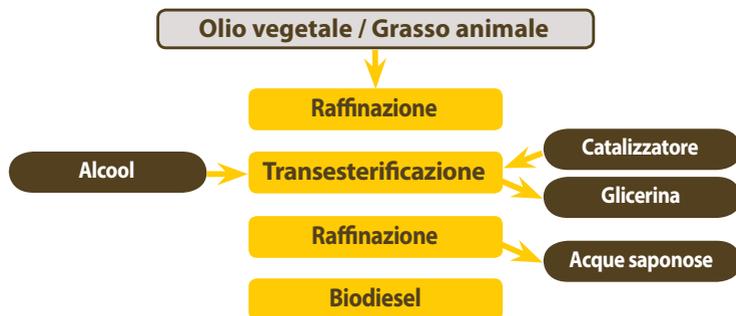
Il biodiesel è un estere metilico di acidi grassi di oli vegetali e/o animali, prodotto attraverso una reazione di trans-esterificazione, un processo nel quale un olio vegetale è fatto reagire in eccesso di alcool metilico, in presenza di un catalizzatore alcalino.

Il prodotto finale è costituito da una miscela di alcuni (6-7) metil-esteri che non contiene zolfo e composti aromatici; contiene invece ossigeno in quantità elevata (non meno del 10%). Il biodiesel può essere utilizzato come combustibile per autotrazione e riscaldamento, puro o in miscela con il gasolio minerale. L'uso del biodiesel in miscela nel gasolio per motori diesel, in percentuali comprese tra il 2 ed il 30% in volume, non richiede alcuna modifica dei motori. L'uso del biodiesel puro, invece, può richiedere qualche modifica del motore, a causa del minore potere calorifico.

Il sottoprodotto che si ottiene dalla reazione di produzione è il glicerolo (comunemente conosciuto come glicerina), che, dopo essere stato raffinato, viene venduto alle industrie farmaceutiche e cosmetiche o utilizzato come matrice organica nel processo di digestione anaerobica. Le materie prime per la produzione del biodiesel possono essere distinte in due classi principali:

- oli provenienti da colture diffuse con elevato tenore di acido oleico e/o acido erucico (ad es. olio di soia, di colza, di girasole, di palma, ecc.);
- oli vegetali esausti e/o altre materie grasse di scarto o di recupero.

Fig. 1.32. Processo di produzione del biodiesel



Fonte: opuscolo “La filiera olio-energia”, Regione Marche

Il biodiesel viene indicato dalle norme internazionali CEN con la sigla FAME (Fatty Acid Methyl Ester). Le caratteristiche che il biodiesel deve possedere, per essere definito tale variano in funzione dell'utilizzo a cui il prodotto è destinato. Sostanzialmente vengono monitorati diversi parametri fisici e chimici e i limiti imposti sono diversi per un impiego come combustibile per riscaldamento o per un utilizzo per autotrazione.

Tab. 1.60. Principali caratteristiche di un gasolio e di un biodiesel

Caratteristiche	UM	Gasolio	Biodiesel
PCI	MJ/kg	43,16	41,2
Viscosità cinematica	mm ² /s (40°C)	1,3-4,1	1,9-6,0
Densità	kg/l (15°C)	0,84	0,87
Temperatura di distillazione	(°C)	188-343	182-338
Punto di infiammabilità	(°C)	60-80	100-170
Punto di solidificazione	(°C)	-35 – -15	-15 – -10
Numero di cetano	(°C)	40-55	48-65

Fonte: opuscolo “La filiera olio-energia”, Regione Marche

Il biodiesel utilizzato per il riscaldamento deve rispettare i requisiti imposti dalla normativa EN 14213. Oltre a fissare dei limiti, nella normativa è presente anche l'elenco dei metodi ufficiali per la determinazione delle diverse caratteristiche del combustibile.

Nel settore dei trasporti il biodiesel può essere utilizzato come sostituto del gasolio per l'alimentazione dei motori diesel senza alcuna modifica al motore, in diversi modi:

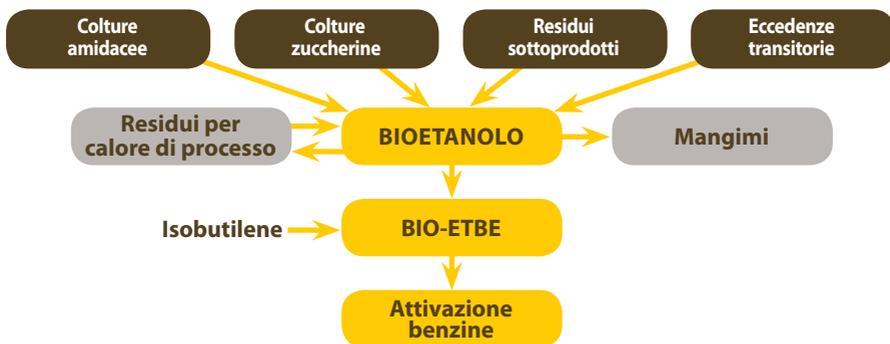
- al 5% miscelato nelle raffinerie con il gasolio fossile come additivo per aumentarne la lubricità;
- al 30% in miscela con gasolio fossile come carburante per le grandi flotte pubbliche e private (trasporto pubblico, società di nettezza urbana, etc.);
- biodiesel puro per la nautica da diporto.

Per quanto concerne il biodiesel destinato all'autotrazione, si fa riferimento alla normativa EN 14214 che individua anch'essa i limiti e i metodi di analisi da adottare.

Bioetanolo e bio-ETBE

L'etanolo può essere prodotto per via chimica con sintesi a partire da fonte fossile o per via fermentativa a partire da biomasse; quest'ultima porta alla produzione del cosiddetto bioetanolo. Le materie prime per la produzione del bioetanolo possono essere materiali zuccherini, amidacei o lignocellulosici provenienti da colture ad hoc, oppure disponibili come residui di coltivazioni agricole e forestali, come eccedenze agricole, come residui dell'industria agro-alimentare, etc.

Fig. 1.33. Processo di produzione del bioetanolo e dell'ETBE



Tab. 1.61. Produzioni e rese delle principali colture zuccherino-amidacee e ligno-cellulosiche

Tipologie	Colture	Prodotto	Rese colturali (t/ha)	Rese in bioetanolo (t/ha)
Zuccherine	Canna da zucchero	Stocco	80-90	6,0-6,1 (UNIPD)
	Barbabietola	Tuberi	50-60	3,06-5,97 (CRB)
	Sorgo zuccherino	Stocco+granella	50-80	3,4-4,7 (CETA)
Amidacee	Mais	Granella	40-70	4,5-4,8 (UNIPD)
	Fruento	Granella	6-7	0,48-2,33 (CRB)
	Orzo	Granella	4-5	0,42-2,17 (CRB)
	Topinambur	Tuberi	25-30	3,5-5 (ISMA)
Ligno-cellulosiche	Canna comune	Stocchi	30-50	8-12 (M&G)*

**sperimentazioni della Mossi & Ghisolfi SpA per bioetanolo di seconda generazione*

L'etanolo di origine agricola ha già una sua utilizzazione nell'industria alimentare ed in quella farmaceutica. L'alcool etilico, inoltre, è un prodotto intermedio per la produzione di numerosi prodotti chimici, anche non energetici. Ciò rappresenta un potenziale settore di mercato per il bioetanolo. Ci sono poi molte possibilità di impiego dell'etanolo come combustibile:

- come componente secondario in miscela con altri combustibili (benzine), con percentuali tra il 5 ed il 10%;
- come componente primario in miscela con altri combustibili, con percentuali $\geq 85\%$ (questo uso implica l'adozione di particolari motori nei cosiddetti FFV-Flexible Fuel Vehicles);
- puro (95% con un denaturante al 5%), in motori dedicati, si tratta in genere di motori diesel modificati;
- trasformato in ETBE.

In ogni caso, per considerazioni non solamente tecniche, il bioetanolo – soprattutto in Europa – è sostanzialmente destinato alla produzione di ETBE da utilizzarsi come additivo ossigenante per la benzina.

L'impiego delle benzine ossigenate appare sempre più una soluzione attuale per rispondere alle seguenti esigenze:

- ottenere il necessario potere antidetonante delle benzine senza utilizzare composti del piombo, eliminando gli effetti tossici connessi all'uso di questi ed ottenendo gas di scarico compatibili con un corretto funzionamento delle marmitte catalitiche;
- evitare l'uso di additivi cancerogeni come i composti aromatici;
- migliorare in ogni caso le emissioni di alcune sostanze inquinanti, in particolare gli ossidi di carbonio (CO, CO₂), i composti organici volatili (VOCs), gli idrocarburi incombusti (HC), gli aromatici (benzene e PAH), gli ossidi di zolfo (SO_x).

Tab. 1.62. Confronto tra alcune proprietà di additivi ossigenanti e benzina.

	PCI (MJ/kg)	Calore di vaporizzazione (MJ/kg)	Contenuto di O ² (wt.%)
Metanolo	19,9	1,15	49,9
Etanolo	26,7	0,91	34,7
MTBE	35,2	0,32	18,2
ETBE	36,3	0,31	15,7
Benzina	42 – 44	0,30	0,0

Fonte: "Valutazioni tecniche ed economiche per l'uso di biocarburanti per l'alimentazione di veicoli per il trasporto merci,"2004 Ministero dei Trasporti e della Navigazione

1.5.3 Biocombustibili gassosi *

Il biogas o gas biologico si produce attraverso un processo biologico detto digestione anaerobica nel quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in una miscela gassosa costituita principalmente da metano e anidride carbonica.

La percentuale di metano nel biogas varia a seconda del tipo di matrice organica utilizzata e dalle condizioni di processo, da un minimo del 50% fino all'80% circa.

Poiché la digestione anaerobica può essere considerata anche come un processo di trattamento di inquinanti, le condizioni del processo possono essere scelte per realizzare la massima resa di depurazione o la massima resa di prodotti energetici.

In genere, le materie prime utilizzabili sono effluenti zootecnici, residui dell'industria agro-alimentare, acque e fanghi reflui, ecc..

Si tratta di un processo integrato, che presenta una serie di vantaggi di tipo energetico, ambientale ed agricolo così riassumibili:

- produzione di energia da fonte rinnovabile;
- miglioramento dell'economia delle aziende zootecniche e/o agricole;
- minori emissioni di gas-serra;
- migliore qualità dei fertilizzanti prodotti;
- riciclaggio economico dei rifiuti, con ricaduta positiva sull'impatto ambientale;

* Contributo CRPA

- minore inquinamento da odori e ridotta presenza di insetti;
- miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie dell'azienda.

Il biogas recuperato ha un potere calorifico inferiore normalmente compreso tra 4.000 e 6.000 kcal/Nm³ e può avere vari impieghi:

- produzione di energia elettrica e/o termica, sia per autoconsumi sia per distribuzione, tipicamente in impianti di cogenerazione.
- uso in motori a gas, previa opportuna purificazione.

Di questi usi, essenzialmente solo la prima tipologia sta trovando applicazione su larga scala, mentre la seconda, sebbene già da tempo diffusa in Europa, in Italia non è ancora presente.

Il biometano è ottenuto dal biogas mediante un processo denominato "upgrading" (rimozione della CO₂), associato ad un trattamento di purificazione. Il gas ottenuto contiene circa il 95-98% di metano, molto simile al gas naturale, e come tale, può essere immesso nella rete di distribuzione del gas naturale per l'utilizzo domestico (preparazione di cibi e riscaldamento) e nei trasporti.

I sistemi di purificazione sono diversi e si basano su principi chimico-fisici relativi alle proprietà del gas. Essi possono essere:

- assorbimento con variazione di pressione;
- lavaggio con acqua;
- Genosorb®;
- lavaggio amminico;
- lavaggio con solventi organici,
- separazione a membrana,
- separazione criogenica.

Questi diversi sistemi determinano in alcuni casi una diversa variabilità di alcune caratteristiche del biometano. La tabella successiva confronta la composizione chimica e le proprietà energetiche del biogas e del biometano.

Tab. 1.63. Composizione chimica e proprietà energetiche

Componenti e proprietà	Biogas	Biometano
Metano (CH ₄)	50-75%	95-98%
Anidride carbonica (CO ₂)	25-45%	0,5-0,8%
Idrogeno (H ₂)	0,1-0,2%	0,1%
Azoto (N ₂)	0,5-3,0%	0,5-3,0%
Ammoniaca (NH ₃)	100 mg/mc	tracce
Ossido di carbonio (CO)	0,1%	tracce
Idrogeno solforato (H ₂ S)	0,02-0,2%	10-20 ppm
Acqua	saturazione	tracce
PCI	4.300-6.500 kcal/Nm ³	8.500 kcal/Nm ³

Fonte: Elaborazioni ITABIA su dati CRPA

1.6 Componente biodegradabile dei sottoprodotti per le filiere energetiche

Per la produzione di energia un importante contributo può anche arrivare da tutta una serie di sottoprodotti o residui provenienti dall'industria agroalimentare italiana. Dalle ultime stime effettuate dal CRPA di Reggio Emilia tali scarti ammonterebbero a circa 5 Mt all'anno.

I sottoprodotti provenienti da questi settori sono molteplici così come le loro caratteristiche e la destinazione energetica: combustione diretta, gassificazione, fermentazione alcolica o digestione anaerobica, e molto spesso pur essendo contemplato ed ammesso il loro impiego energetico poco o nulla si conosce per quanto riguarda le proprietà fisiche e chimiche. In questa parte dello studio ci si limiterà ad elencarne le tipologie, indicarne la provenienza e la destinazione energetica più opportuna.

Va chiaramente inteso che l'impiego di questi residui deve essere visto nell'ottica di una integrazione alle risorse del settore primario per consentire il decollo di iniziative progettuali di valorizzazione energetica.

1.6.1 Sottoprodotti agroindustriali

I settori di provenienza e le principali tipologie di residui e sottoprodotti che per questo studio assumono rilevanza, per la possibile presenza di residui e sottoprodotti interessanti i processi di conversione bioenergetica, sono i seguenti:

- Industria zaccarifera
 - melasso
 - fettucce
- Industria conserviera e della frutta
 - semi, polpe e bucce
 - noccioli di frutta fresca
 - gusci di frutta secca
 - acque e fanghi di lavorazione
- Industria molitoria e pastaria
 - scarti di lavorazione
- Industria risiera
 - lolla
- Industria enologica
 - vinacce fresche
 - vinacce esauste
- Industria olearia
 - sanse vergini
 - sanse esauste
 - acque di vegetazione

Tab. 1.64. Schema delle provenienze e delle destinazioni delle varie tipologie.

Settori agroindustriali	Tipologia	Destinazione energetica
Biomasse zuccherine		
Saccarifera	Melasso e fettucce	Fermentazione alcolica o digestione anaerobica
Conserviera	Bucce e semi	Fermentazione alcolica o digestione anaerobica
Conserviera frutta (succhi e conserve)	Bucce e semi	Fermentazione alcolica o digestione anaerobica
Conserviera agrumi (succhi e marmellate)	Pastazzo	Fermentazione alcolica o digestione anaerobica
Biomasse amidacee		
Molitoria	Scarti	Fermentazione alcolica o digestione anaerobica
Pastaria	Scarti	Fermentazione alcolica o digestione anaerobica
Biomasse ligno-cellulosiche		
Olearia	Sanse vergini ed esauste	Combustione
Enologica	Vinacce fresche	Combustione
Distillatoria	Vinacce esauste	Combustione
Frutta secca	Gusci	Combustione
Frutta fresca	Noccioli	Combustione

Di seguito viene fatta una breve rassegna dei principali residui indicando sinteticamente le modalità di lavorazione che ne determinano la produzione e alcuni principali parametri chimico-fisici che ne condizionano l'impiego energetico.

Residui dell'industria saccarifera

Al termine del processo di lavorazione della barbabietola vengono prodotti oltre allo zucchero alcuni residui che contengono quantità di materia organica tale da destare interesse per ulteriori recuperi anche ad uso energetico. Tali residui sono il melasso, le polpe di barbabietola (fettucce) e le melme di defecazione. Le due tabelle successive indicano la composizione chimica di questi due sottoprodotti.

Tab. 1.65. Composti presenti nella borlanda concentrata di melasso di barbabietola

Sostanza secca	65%
Umidità	35%
Lipidi grezzi	1% s.s.
Fibra grezza	0,01% s.s.
Ceneri	29,20 % s.s.
Estrattivi inazotati	39,48 % s.s.
Azoto totale	5,13 % s.s.
Azoto ammoniacale	0,12% s.s.
Proteine grezze	31,30 % s.s.
Proteine digeribili	30,26 % s.s.

Tab. 1.66. Composizione chimica DELLA borlanda concentrata di melasso di barbabietola

pH	6
Calcio	7,57 gr/kg s.s.
Fosforo	0,225 gr/kg s.s.
Sodio	34,10 gr/kg s.s.
Potassio	88,75 gr/kg s.s.
Magnesio	0,38 gr/kg s.s.
Cloro	33,00 gr/kg s.s.
Zolfo	11,20 gr/kg s.s.
Rame	10,60 gr/kg s.s.

Tab. 1.67. Rese in prodotti e sottoprodotti per 100 kg di materia prima lavorata

Prodotto e sottoprodotto	Rese (kg)
Zucchero	12-15
Melasso	4-5
Polpe secche (fettucce)	5
Melme di defecazione	10-11
Altro (H ₂ O, CaCO ₃ , S.O. senza zuccheri)	70-65

Residui dell'industria conserviera e della frutta

Lavorazione del pomodoro

Gli scarti derivanti dal processo di trasformazione del pomodoro sono costituiti da polpa (frutti avariati), buccia e semi e corrispondono in linea di massima al 2-3% della materia prima lavorata. Questi spesso vengono trattati come un rifiuto, o usati come mangime di scarso valore con un alto contenuto in fibre.

Una caratterizzazione chimica (approssimata) di tali scarti estrapolata da uno specifico studio, rileva che il 50% dello scarto è rappresentato da fibre, il 18% da proteine ed il 10% da grassi (cere, oli e acidi grassi insaturi) e per il resto da zuccheri, carotenoidi, ecc.

Tab. 1.68. Composizione percentuale dei residui della lavorazione del pomodoro da conserva

Scarti di lavorazione	2-3 %
Fibre	50%
Proteine	18%
Grassi (cere, oli e acidi grassi insaturi)	10%
Zuccheri	22%

Lavorazione degli agrumi

Il residuo della lavorazione degli agrumi per succhi e marmellate è chiamato pastazzo, ed è un insieme delle parti che compongono l'agrume (flavedo, albedo, pericarpo, polpa, semi). I componenti del pastazzo sono: materiale celluloso e altri componenti (oli essenziali, terpeni, cere paraffiniche, flavoni, pigmenti, limonina, enzimi, ecc).

Di seguito si riportano due tabelle con la composizione chimica del pastazzo.

Tab. 1.69. Possibili impieghi industriali del pastazzo di agrumi

Pastazzo	Mangimi zootecnici		
	Pastazzo secco		
	Pectine		
	Melassa di pastazzo	Lieviti	
		Alcool	
		Acido lattico	
		Limonene	
	Semi	Olio di semi	
		Farina sgrassata	
	Bioflavonoidi		
Scorza	Scorza salamoziata		
	Scorza salsitata		
	Scorza condita		

Tab. 1.70. Caratteristiche chimiche e contenuto elementi del pastazzo di agrumi

Parametro	U.m.	Valore
Umidità	%	88,6
Acidità	pH	3,2
N (Azoto)	%	1,39
P ₂ O ₅	%	0,27
K ₂ O	%	0,90
Carbonio organico	%	51,4
Rapporto C/N	--	37
Ca (Calcio)	%	1,06
Mg (Magnesio)	%	0,12
Cd (Cadmio)	mg/kg	<0,5
Hg (Mercurio)	mg/kg	<0,1
Cu (Rame)	mg/kg	7,0
Zn (Zinco)	mg/kg	12
Ni (Nichel)	mg/kg	<0,5
Pb (Piombo)	mg/kg	<0,5
Cr (Cromo esavalente)	mg/kg	n.r.

* umidità; n.r. non rilevabile. Tratto da Intrigliolo et al. (2001)

La tabella è stata tratta da studi volti a definire l'idoneità del pastazzo per la produzione di compost ad uso agricolo. Residui della lavorazione della frutta fresca e secca

Dalla lavorazione della frutta fresca e della secca si producono alimenti, bevande, ingredienti per l'industria dolciaria (succhi di frutta, confetture, frutta sciroppata o secca sgusciata).

A valle del processo di trasformazione della frutta derivano come scarti di lavorazione gusci e noccioli. Seguono alcuni dati indicativi sull'incidenza degli scarti rispetto al peso della materia prima tal quale: noccioli di pesca 15-20 %; gusci di mandorle 65-70 %; gusci di nocciole 50-60 %.

Frutta fresca

I noccioli costituiscono quella parte di scarti derivanti dalla produzione di succhi di frutta, marmellate e frutta sciropata, che possono essere recuperati per la produzione di energia. Tra questi i quantitativi più significativi sono quelli derivanti dal processo di lavorazione di pesche, nettarine (pesche noci) e albicocche.

Una buona parte di questi residui viene utilizzato come fonte di energia per la produzione di calore di processo, in particolare nelle imprese di maggiori dimensioni. Tali scarti sono infatti degli ottimi combustibili, sia per le loro caratteristiche energetiche (media circa 4.500 kcal/kg s.s.), sia per la notevole facilità di reperimento, di trasporto e stoccaggio.

Frutta secca

I gusci costituiscono quella parte di scarti derivanti dalla lavorazione della frutta secca, che possono essere recuperati per la produzione di energia.

I componenti principali che compongono i gusci della frutta secca sono di natura ligno-cellulosica, per cui ottimali nel processo di combustione diretta.

Le percentuali di sottoprodotto sul totale di prodotto lavorato sono per ogni tipologia di frutta le seguenti:

- nocchie 50-60%;
- mandorle 65-70%;
- noci 50%.

Per tutte le tipologie la percentuale di sostanza secca sul tal quale è all'incirca del 90%.

Una buona parte di questi residui trova già un utilizzo, sia come fonte di energia termica (calore di processo) nelle imprese stesse, sia in alcune centrali di produzione di energia elettrica.

Residui dell'industria molitoria e pastaria

L'industria molitoria

L'industria molitoria del frumento si basa sul principio di separare quanto più possibile l'endosperma dalle altre parti della cariosside (chicco di grano) e quindi può essere definita un'industria di estrazione e di purificazione. La macinazione del frumento fornisce, oltre agli sfarinati adatti alla produzione del pane, pasta ed altri prodotti da destinare all'alimentazione umana, crusche che, insieme al cruschello e al farinaccio, raggruppati sotto la voce 'cruscami' vengono attualmente utilizzati alla preparazione dei mangimi. Gli scarti della molitura si aggirano intorno al 2% del prodotto finito di cui il 75-80% viene recuperata come mangime per la zootecnia.

L'industria delle paste alimentari

Il settore della pastificazione si articola nella prevalente produzione di pasta di semola (di maggior spicco), paste all'uovo e farcite.

Mediamente il quantitativo di scarti si aggira intorno ad un valore del 2% rispetto al prodotto finito. La quasi totalità di questi scarti "costituiti da prodotti ad alto valore zuccherino-amidaceo" trova destinazione nella mangimistica.

Entrambi i residui dell'industria molitoria e pastaria possono essere impiegati per la produzione di etanolo, con processo di fermentazione alcolica, o biogas attraverso la digestione anaerobica.

Residui dell'industria risiera

Gli scarti della lavorazione del riso derivano dai processi di selezione e pulizia del chicco. Essi sono: la lolla, la pula, il farinaccio, la grana verde e le rotture. Rispetto al riso grezzo lavorato la percentuale di scarti e sottoprodotti è così valutabile:

- Lolla 17%
- Pula e farinaccio 10%
- Grana verde 6%
- Rotture 7%

Tra i vari sottoprodotti solo la lolla ha un interesse per la produzione energetica tramite combustione diretta mentre gli altri sono impiegati in vari settori: alimentazione umana, mangimistica, farmacosmesi, industria delle vernici e delle colle. La "lolla" ha un contenuto idrico basso, poiché è a valle del processo di essiccazione del risone; tale aspetto oltre a conferirle un buon contenuto energetico ne facilita lo stoccaggio in cumulo o in silo. Tra gli svantaggi principali vi è la ridotta massa volumica (120-130 kg/m³), che rende sconveniente per motivi economici il trasporto al di fuori dei luoghi di produzione, e l'alto contenuto in ceneri tra cui la Silice.

Caratteristiche chimico-fisiche della lolla:

- Umidità media all' origine: 8 – 10 %
- P.C.I.: 3.850 – 4780 kcal/kg (16-20 MJ/kg)
- Ceneri: 5 - 23 % (s.s.)

Residui dell'industria olearia

Dall'industria olearia si ottengono due tipologie di residui:

- i "reflui oleari" o "acque di vegetazione" che sono i reflui provenienti dalla lavorazione meccanica delle olive e dai processi di estrazione dell'olio sia col metodo tradizionale (discontinuo), sia tramite estrazione centrifuga (impianti continui);
- le sanse vergini che rappresentano i resti solidi dei processi di gramolatura, centrifugazione e decantazione.

Queste possono ancora subire un'ulteriore lavorazione: essiccazione ed estrazione chimica da cui si ottiene olio di sansa. Il sottoprodotto in questo caso è la sansa esausta, da utilizzare come combustibile.

Caratteristiche chimico fisiche dei reflui oleari

Tab. 1.71. Caratteristiche chimico fisiche delle acque di vegetazione provenienti da due processi di estrazione dell'olio (da: Pacifico)

Parametri	Da procedimento continuo a centrifugazione			Da processo discontinuo a pressatura		
	Minimo	Medio	Massimo	Minimo	Medio	Massimo
pH	5,1	5,4	5,8	4,7	5,4	5,5
Acqua(%)	79,85	86,4	91,7	90,4	93,5	96,5
Composti organici(%)	7,22	12	18,3	2,6	5,2	8
Sostanze grasse(%)	0,02	0,5	1	0,5	1,3	2,3
Sostanze azotate(%)	1,2	1,8	2,4	0,17	0,3	0,4
Zuccheri(%)	2	4,5	8	0,5	1,5	2,6
Acidi organici(%)	0,5	0,9	1,5	-	Tracce	-
Polialcoli (%)	1	1,1	1,5	0,9	1,1	1,4

I reflui oleari possono essere utilizzati in processi di digestione anaerobica per la produzione di biogas.

Caratteristiche chimico fisiche delle sanse vergini

La sansa vergine di oliva presenta caratteristiche similari, sia essa proveniente da impianti a pressione o da impianti centrifughi, ad eccezione dell'umidità che passa da valori del 25-30% negli impianti a pressione, a valori del 48-54% negli impianti centrifughi tradizionali, mentre, negli impianti centrifughi a due fasi l'umidità sale a valori intorno al 58-62% ed in quelli a risparmio d'acqua risulta pari al 50-52%.

Tab. 1.72. Caratteristiche chimico-fisiche delle sanse umide

Umidità	(%)	71,4
Sostanza organica	% s.s.	94,5
Grassi	% s.s.	8,6
Lignina	% s.s.	35,0
C/N		46,6
Ceneri	% s.s.	5,50
P ₂ O ₅	% s.s.	0,35
K ₂ O	% s.s.	2,06
Ca	% s.s.	0,40
Mg	% s.s.	0,05
Na	% s.s.	0,10

La sansa vergine ed in particolar modo la sansa esausta che si presenta in forma granulare, con un basso contenuto idrico ed un altro potere calorifico inferiore, può essere impiegata nei processi di combustione diretta.

Residui dell'industria enologica

A valle del processo produttivo del vino i residui di maggior interesse sono le vinacce, i raspi, e le fecce liquide, che in buona parte vengono trasformati per ottenere ulteriori prodotti come i distillati (alcol etilico, grappe, ecc.), l'acido tartarico (utilizzato dall'industria alimentare, farmaceutica e dalla stessa industria enologica per la correzione dell'acidità dei vini), l'olio di vinaccioli ricco di acidi grassi insaturi (acido linoleico, oleico, palmitico e stearico), ecc..

Le vinacce vergini hanno un contenuto elevato di acqua (55-65%), di alcol etilico (2,5-4,5 %), di altri alcoli (metilico, glicerina, propilico, butilico) ed altri composti come aldeidi, esteri, polifenoli, ecc. Le vinacce vergini vengono avviate al processo di distillazione ed i residui andranno a costituire la "vinaccia esausta" che può essere utilizzata nella preparazione di mangime per gli animali, per l'estrazione dell'olio di vinaccioli, o per la produzione di energia tramite combustione diretta per la produzione di calore di processo e/o energia elettrica.

Tab. 1.73. Rese in percentuale della lavorazione dell'uva

Prodotti e sottoprodotti	Rese
Vino	74%
Vinacce vergini:	13%
frammenti di polpa	24-30%
bucce	48-69%
vinaccioli o semi	14-27%
raspi	14-26%
Altri scarti	13%

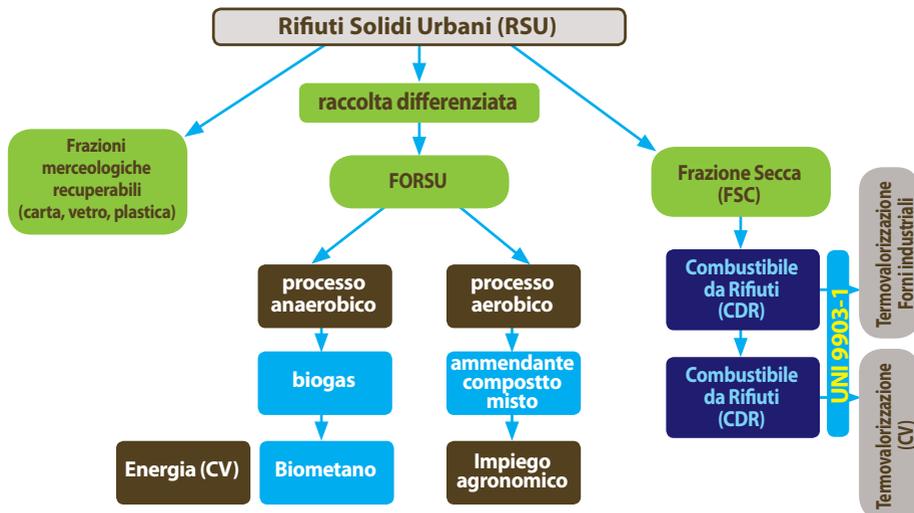
Tab. 1.74. Caratteristiche chimico-fisiche delle vinacce

Umidità	55-65%
Potere calorifico	7 – 8,3 MJ/kg
Alcol etilico	2,5-4,5%
Azoto	1-2%
P ₂ O ₅	0,1%
K ₂ O	2%

1.6.2 Sottoprodotti urbani

L'attività di recupero e gestione dei Rifiuti Solidi Urbani (RSU), attraverso la Raccolta Differenziata (RD), porta alla produzione di sottoprodotti interessanti per il settore agricolo e per la produzione energetica. Tralasciando tutti i possibili sistemi che possono essere impiegati per il trattamento dei rifiuti, qui di seguito si riporta un processo semplificato al fine di comprendere in linea generale le tipologie e i possibili impieghi dei sottoprodotti ottenuti.

Fig. 1.34. Schema di recupero della frazione organica dei residui urbani



Dallo schema si evince che dal processo di lavorazione aerobica o anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi urbani si possono ricavare due prodotti di particolare interesse: il biogas, ulteriormente trasformabile in biometano e il compost di qualità, definito dal DLgs 217/06, utilizzabile in agricoltura.

1.7 Conclusioni

Nel panorama attuale le biomasse possono offrire un importante contributo per il raggiungimento dell'obiettivo strategico nazionale del 17% di produzione di energia da fonti rinnovabili e in tale ottica risulta di particolare interesse, per tutti i soggetti coinvolti nelle filiere agroenergetiche, un loro inquadramento, sia dal punto di vista della reperibilità nello spazio e nel tempo, sia delle caratteristiche intrinseche che le differenziano, sia del loro impiego energetico ottimale.

Dall'analisi appare evidente che la provenienza delle varie tipologie di biomasse sia estremamente varia come lo sono anche gli aspetti chimico-fisici che le caratterizzano. Questo elemento ad oggi non costituisce un limite al loro impiego, grazie all'ampia gamma di soluzioni tecnologiche appositamente studiate per ottimizzare l'efficienza nelle fasi di raccolta, condizionamento e conversione energetica.

L'ampio spettro degli argomenti passati in rassegna, va dalle biomasse appositamente coltivate o residuali fino alla loro trasformazione in biocarburanti solidi, liquidi e gassosi, nell'ottica di fornire uno strumento semplice di informazione.

In questo capitolo, attraverso la raccolta e la riorganizzazione delle nozioni presenti in letteratura anche in forma di schede si è voluto fornire al lettore uno strumento di semplice lettura per divulgare al meglio le informazioni di base sulle biomasse e biocombustibili.

Per alcune tipologie di biomasse residuali, seppur ampiamente idonee ad un impiego energetico sostenibile, ancora oggi si fa fatica a sgombrare il campo da un'errata sovrapposizione con il settore dei rifiuti e della termovalorizzazione a cui l'agroenergia non appartiene.

Resta aperta la necessità di migliorare l'inquadramento a livello tecnico e normativo di queste risorse. In tal senso dovrà essere avviato un accurato lavoro di standardizzazione delle biomasse, per consentire un ottimale impiego energetico e per favorire lo sviluppo di un mercato di prodotti e servizi legato ad esse.

Riferimenti bibliografici e fonti informative

- AA.VV., (2002). Growing short rotation coppice. Best practice guideline – DEFRA.
- AA.VV., (2004). Progetto ALPENERGYWOOD. Proposta di piattaforma di filiera per la coltivazione e la raccolta delle Short Rotation Forestry. Regione Lombardia (anche in versione inglese).
- AA.VV., (2005). Dossier colture energetiche. Alberi e Territorio n°9.
- AA.VV., (2006) – L'energia nuova frontiera dell'agricoltura. Terra e Vita. Supplemento al n°5.
- AA.VV. (2006). Dossier cedui a corta rotazione. Alberi e Territorio n°10/11.
- AA.VV., (2006). Il vero volto della biomasse. Analisi della specie arboree più produttive. Regione Lombardia.
- AA.VV., (2006). Progetto EVASFO. Studio sulle macchine per il taglio e la raccolta delle biomasse a ciclo breve. Regione Lombardia.
- AA.VV., (2006). Speciale biomasse fuori foresta. Sherwood n° 128.
- AA.VV., (2007). Documento propedeutico alla redazione del Piano Nazionale biocarburanti e Biomasse agroforestali per usi energetici, Università di Perugia (Centro di Ricerca sulle Biomasse-CRB).
- AA.VV., (2007). Short rotation forestry dall'impianto all'utilizzo. Supplemento Informatore Agrario n°33.
- AA.VV., (2008). GASPO Analisi di fattibilità e progetto di dettaglio per un impianto di Gassificazione di Pollina di piccola taglia. CTI e Università Politecnica delle Marche. http://www.cti2000.it/gaspo/gaspo_relazione_finale.pdf.
- AA.VV., (2009) La Filiera olio-energia – Aspetti salienti dello stato dell'arte e prospettive, Regione Marche, ASSAM e Università politecnica delle Marche.
- AIEL, (2009). "Legna e cippato" Manuale pratico.
- AA.VV., (2010). "Innovazione tecnologiche per le agro energie – Sinergie tra ricerca e impresa" Supplemento n. 2 a Sherwood – Foreste e alberi oggi n. 168.
- AIGR-ENEA, (1994), "Potenzialità energetica da biomasse nelle regioni italiane".
- Amaducci S., Monti A., Venturi G., (2004). Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. *Industrial Crops and Products*, 20, 111–118.
- Ambientitalia, (2008). "Analisi del potenziale energetico da fonti rinnovabili nella Provincia di Verona".
- Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Machmuller A., Hopfner-Sixt K., Bodiroza V., Hrbek R., Friedel J., Potsch E., Wagentristl H., Schreiner M., Zollitsch W., (2007). Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Biore-source Technology*, 98, 3204–3212.
- Angelici L.G., Ceccarini L., Nassi N., Bonari E., (2009). Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass and Bioenergy*, 33, 635-643.

- APAT, (2003). "Le biomasse legnose – un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia", APAT, Rapporto 30/2003.
- ARSIA e AIEL, (2009). La filiera legno-energia. Risultati del progetto interregionale woodland Energy".
- ARSIA, (2003). "Come produrre energia dal legno" Quaderno ARSIA 3/2003.
- Baldini M., Danuso F., Turi M., Vannozzi G.P., (2004). Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. *Industrial Crops and Products*, 19, 25–40.
- Bergante S., Facciotto G., (2006). Impianti annuali, biennali, quinquennali. Produttività e costi in alcune realtà del nord Italia Sherwood n° 128.
- Biagini E., Bartolini F., Tognotti L., (2006). "Devolatilization of biomass fuels and biomass components studied by TG/FTIR technique". *Ind. Eng. Chem. Res.* 45 (13), pp 4486-4493.
- Bittante G., Andrighetto I., Ramanzin M., (1993). *Tecniche di produzione animale*. Liviana Editrice.
- Blandini G., Manetto G., F. Mingrino, (2009). Verifica dell'autosufficienza energetica con la produzione di biogas in un allevamento senza terra di bufale. In: *Atti del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria*, Ischia Porto, 12-16 settembre 2009.
- Bonari E., (2005). Le colture dedicate da biomassa lignocellulosica – Progetto Proaere.
- Bonari E., Picchi G., Guidi W., Piccioni E., Fraga A., Villani R., Ginanni M., (2004). Le colture da energia. In: *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*. Quaderno ARSIA, 6/2004.
- Bortolazzo E., Ligabue M., Diavolio R., Ruozzi F., (2009). Il triticale: una valida alternativa colturale. In: *La sfida delle agroenergie per le imprese agricole*. I supplementi di *Agricoltura*, 41.
- Camera di Commercio di Padova-AIEL, (2007). "Olio vegetale puro – Produzione ed uso come biocarburante in agricoltura".
- Candolo G., (2005), *Biomasse vegetali: i possibili processi di conversione energetica*, *Agronomica* 4/2005.
- Candolo G., (2008). *Oleaginose: le specie per uso energetico caratteristiche agronomiche e tecniche di coltivazione*.
- CESTAAT (Centro Studi sull'Agricoltura l'Ambiente e il Territorio), (1986). *Impieghi dei sottoprodotti agricoli e agroindustriali*.
- Corradi C., (2006). *La gestione dei sarmenti*. *VigneVini* 11/2006.
- Cotana F., Bidini G., Fantozzi C., Buratti C., Costarelli I., Crisostomi L., (2006). "Il laboratorio per la caratterizzazione energetica delle biomasse nel centro di ricerca sulle biomasse", *Centro di Ricerca sulle Biomasse*, Università di Perugia, 61° Congresso nazionale ATI, 12-15 settembre 2006.
- Cristoforetti A., Silvestri S., (2009). *Residui di potatura di vite per fare energia*. *L'Informatore Agrario* 10/2009.
- CRPA, (2010). <http://www.crupa.it/>

- CTI - Comitato Termotecnico Italiano (2003). "Biocombustibili, specifiche e classificazione" elaborata dal SC9 "Fonti rinnovabili di energia", Aprile 2003, CTI-R03/1 (dati riportati: valore tipico e variazione tipica).
- Cuiping L., Chuangzhi W., Yanyongjie, Haitao H., (2004). "Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China". *Biomass and Bioenergy*, 27 (2004) pp 119-130.
- Cuiping L., Yanyongjie, Chuangzhi W., Haitao H., (2004). "Study on the distribution and quantity of biomass residues resource in China" *Biomass and Bioenergy*, Volume 27, Issue 2, August 2004, Pages 111-117.
- Curt M.D., Aguado P., Sanz M., Sánchez M., Fernández J., (2006). Clone precocity and the use of *Helianthus tuberosus* L. stems for bioethanol. *Industrial Crops and Products*, 24, 314-320.
- D'Edigio M.G., Cecchini C., Cervigni T., Donini B., Pignatelli V., (1998). Production of fructose from cereal stems and polyannual cultures of Jerusalem artichoke. *Industrial Crops and products*, 7, 113-119.
- D'Imporzano G., Schievano A., Tambone F., Adani F., Maggiore T., Negri M., (2010). Valutazione tecnico-economica delle colture energetiche. *L'Informatore Agrario*, 32, Supplemento a, 17-19.
- Del Zotto D., (2009). Vendere calore si può e conviene. *Terra e Vita* 44/2009.
- Delogu G. Faccini N., Faccioli P., Reggiani F., Lendini M., Berardo N., Odoardi M., (2002). Dry matter yield and quality evaluation at two phenological stages of forage triticale grown in the Po Valley and Sardinia, Italy. *Field Crops Research*, 74, 1-2, 207-215.
- Di Blasi C., Tanzi V., Lanzetta M., (1997). "A study on the production of agricultural residues in Italy". *Biomass and bioenergy* vol.12 n. 5, 1997, pp 321-331.
- Facciotto G., Bergante S., (2006). Arboree a turno quinquennale per produrre pellet di qualità. *Informatore Agrario* n° 46.
- Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.L.A., Nervo G., (2007). Le principali specie per la produzione di biomassa. *Informatore Agrario* n°40.
- Facciotto G., Mughini G., (2000). Esperienze italiane di colture forestali a turno breve con pioppo ed eucalipto. *Biomasse agricole e forestali ad uso energetico*.
- Facciotto G., Pinazzi P., (2006). Selvicoltura a turno breve, uso energetico e potenzialità. *Alberi e Territorio* n°1/2.
- Francescato V., Antonini E., Paniz A., (2009). Colture energetiche per i terreni agricoli.
- Francescato V., Antonini E., Paniz A., Grigolato S., (2007). "Una nuova macchina per la raccolta dei sarmenti""Qualità di cippato e pellet di vite e prove di combustione", *Informatore Agrario*, 10/2007.
- Francescato V., Golfetto M., (2010). Il cippato di vite nella caldaia annulla i costi per gasolio o gpl. *L'Informatore Agrario* 11/2010.
- Francescato V., Paniz A., Antonini E., (2007). Il cippato fresco si stagiona sotto il telo geotessile; *L'Informatore Agrario* 33/2007.

- Gallucci F., Giannini E., (2009). L'essiccazione naturale del cippato di pioppo".Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de L'informatore Agrario p. 31-33.
- Giunta F., Motzo R., (2004). Sowing rate and cultivar affect total biomass and grain yield of spring triticale (Triticosecale Wittmack) grown in a Mediterranean-type environment. *Field Crops Research*, 87, 179–193.
- Hofmann M., (2007). Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. *FNR*.
- IEA-ITABIA, (1995). "Analisi microeconomica di colture erbacee a finalità energetiche".
- Infascelli R., Rendina M., Boccia L. Faguno S., (2009). Contenuto di nutrienti nei reflui del Bubalus bubalis in relazione alla gestione, al governo ed alle attrezzature. In: *Atti del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Ischia Porto, 12-16 settembre 2009*.
- Ioannidou O., Zabanitouta A., Antonakoub E.V., Papazisib K.M., Lappasb A.A., Athanassiouc C., (2009). "Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations", *Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 13, Issue 4, May 2009, Pages 750-762*.
- ISTAT, (2010). <http://agri.istat.it/>
- ITABIA (2005), "Disponibilità, caratteristiche e mercato delle biomasse in Italia".
- Jodice R., E. Tomasinsing E., (2006). "Energia dalle biomasse – le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali". *Area SciencePark*, n.24 /2006.
- Kevin J., Shinnors A., Ben N., Binversiea, (2007). "Fractional yield and moisture of corn stover biomass produced in the Northern US Corn Belt". *Biomass and Bioenergy*, Volume 31, Issue 8, August 2007, Pages 576-584.
- Kiran L., Kadam, James D. McMillan, (2003). "Availability of corn stover as a sustainable feed-stock for bioethanol production". *Bioresource Technology*, Volume 88, Issue 1, May 2003, Pages 17-25.
- Lehtomäki A., Viinikainen T.A., Rintala J.A., (2008). "Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production". *Biomass and Bioenergy*, 32, 541–550.
- Lewis T., (2007). Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen. *FHP, Progetto KnowForAlp, Alpine Space Interreg III B*.
- Mantinea M., D'Agosta G.M., Copani V., Patanè C., Cosentino S.L., (2009). "Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment". *Field Crops Research*, 114, 204–213.
- Mastrorilli M., Katerji N., Rana G., (1999). "Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages". *European Journal of Agronomy*, 11, 207–215.
- Ministero dei trasporti e della Navigazione, (2004). "Valutazione tecniche ed economiche per l'uso di biocarburanti per l'alimentazione di veicoli per il trasporto merci" Volume I e II.
- MIPAAF, (2010). "Piano del settore olivicolo – oleario".

- Monti A., Amaducci M.T., Venturi G., (2005). "Growth response, leaf gas exchange and fructans accumulation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as affected by different water regimes". *Europ. J. Agronomy*, 23, 136-145.
- Nardo F., (2005). "Biomasse vegetali: i possibili processi di conversione energetica"
- Nati et al., (2007). "Dalle potature di olivo biomassa per usi energetici". *L'informatore agrario* 9/2007.
- Nelson R. G., (2002). "Resource assessment and removal analysis for corn stover and wheat straw in the Eastern and Midwestern United States—rainfall and wind-induced soil erosion methodology", *Biomass and Bioenergy*, Volume 22, Issue 5, May 2002, Pages 349-363.
- Nicola S., (2002). Non solo "bagna cauda". Il topinambur. Un ortaggio da scoprire. *Quaderni della Regione Piemonte*, 30.
- Onofry A., (1940). *La canna comune (Arundo donax L.)*. Cremonese Libraio Editore, Roma.
- Pan L., Sinden M.R., Kennedy A.H., Chai H., Watson L.E., Graham T.L., Kinghorn A.D. (2009). "Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke)". *Phytochemistry Letters*, 2, 15–18.
- Pari L., (2009). "Cardo per la filiera energetica, un'opportunità per il Sud Italia" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario*.
- Pari L., Assirelli A., Suardi A., (2009). "Migliorato il condizionamento del sorgo da fibra" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario*.
- Pari L., Assirelli A., Suardi A., (2009). "Prototipo per meccanizzare il trapianto della canna comune" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario*.
- Pari L., Civitarese V., Assirelli A., Del Giudice A., (2009) "Il prototipo che abbate i costi di raccolta del cardo" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario*.
- Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., (2009) "Cantiere innovativo di raccolta di pioppo a turno breve" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario* p. 34-37.
- Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., (2009). "Claas Jaguar 890 e 860, prove di raccolta su pioppo" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario* p. 31-33.
- Pari L., Civitarese V., Gallucci F, Del Giudice A., Giannini E., (2009). "Un nuovo rotore per Claas Jaguar 890" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario* p. 41-43.
- Pari L., Civitarese V., Suardi A., (2009). "I vantaggi di stoccare il pioppo a bordo campo" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario* p. 38-40.
- Pari L., Sissot F., (2009). Come migliorare il cippato attraverso lo stoccaggio; *L'Informatore Agrario* 29/2009.
- Pari L., Suardi A., Giannini E., Civitarese V., (2009). "Strategie per la meccanizzazione la raccolta di canna comune" Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009 de *L'informatore Agrario*.
- Peri M., Pretolani R., (2004). *Biomasse legnose da SRF: convenienza economica. Regione Lombardia – Progetto Regionale EVASFO*.

- Picchi G., Spinelli R., Lobo J., (2009). Guadagnare con i residui legnosi grazie alla trituratrice spagnola; *Informatore Agrario* 17/2009.
- Picco D., (2010). Colture energetiche per il disinquinamento della laguna di Venezia. Progetto Biocolt. Veneto Agricoltura. Giugno 2010.
- Pin M., Picco D., Migliardi D., Tomasinsig E., (2010). Bioetanolo da sorgo: reddito per l'azienda agricola. *L'Informatore Agrario*, supplemento 6/2010, 26-29.
- Programma Life III Ambiente, Progetto Seq-Cure (2007-2009)
- Ratnavathi C.V., Suresh K., Vijay Kumar B.S., Pallavi M., Komala V.V., Seetharama N., (2010). Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*, 34, 947-952.
- Recchia L., Daou M., Rimediotti M., Cini E., Vieri M., (2009). New shredding machine for recycling pruning residuals; *Biomass and Bioenergy* 33, 2009.
- Recchia L., Vieri M., Rimediotti M., Daou M., (2006). Nuova trincia raccogliatrice Nobili; *TRP-RT M&MA* 2/2006.
- Regione Emilia Romagna. "La sfida delle agro energie per le imprese agricole" Supplemento n. 41 di *Agricoltura*.
- RENAGRI-CRES, (2002). "Biomass residues utilization as fossil fuel substitute for power generation and district heating in the Mediterranean region.
- Rentizelas A.A., Tatsiopoulos I.P., Tolis A., (2009). "An optimization model for multi-biomass tri-generation energy supply". *Biomass and bioenergy* 33, 2009, pp 223-233.
- Runqinga Hu, Song Yanqina, Shi Jinglia, Bhattacharyab S.C. and P. Abdul Salamb A., (2005). "Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in China". *Li Junfenga, Biomass and Bioenergy*, Volume 29, Issue 3, September 2005, Pages 167-177.
- Salvati R., Chirici G., Corona P., (2007). Modello di valutazione dell'attitudine fisica del territorio per la realizzazione di impianti da biomassa in Italia. *Italia Forestale e Montana* n° 5/6.
- Scrosta V.(SIBE Srl) Duca D. (UNIVPM), (2010) Filiera olio-energia, Corso sulle filiere agri-energetiche (Progetto Life Seq-Cure).
- Shahab Sokhansanj, Anthony Turhollowb, Janet Cushmana and John Cundiff, (2002). "Engineering aspects of collecting corn stover for bioenergy". *Biomass and Bioenergy*, Volume 23, Issue 5, November 2002, p 347-355.
- Sparta G., Giarrizzo G., (2008). I residui di potatura dell'olivo riscaldano l'orticoltura; *L'Informatore Agrario*, 23/2008.
- Spinelli R. e Picchi G., (2010). Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass.. *Bioresource technology* 2010.
- Spinelli R. Magagnotti N., (2009). Raccolta dei residui di potatura conviene per i viticoltori; *L'Informatore Agrario* 6/2009.
- Spinelli R., Kofman P., Mangagnotti N., (2007). Il cippato conservato al coperto mantiene più potere calorifico. *L'Informatore Agrario* 05/2007.

- Spinelli R., Lombardini C., (2010). I residui legnosi dell'agricoltura. *L'Informatore Agrario* 19/2010.
- Spinelli R., Magagnotti N., Nati C., (2010). "Harvesting Vineyard pruning residues for energy use" *Biosystems engineering* 105, 2010 pp 316-322.
- Spinelli R., Magagnotti N., Nati C., (2010). Harvesting Vineyard pruning residues for energy use. *Biosystems Engineering* 105, 2010.
- Spinelli R., Nati C., Agostinetto L., (2003). Piantagione lineare di Robinia pseudoacacia L. Raccolta semimeccanica della biomassa. *Veneto Agricoltura*.
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N., (2004). Efficienza complessiva di cantieri di meccanizzazione integrale di SRF (Short Rotation Forestry) in Lombardia. Regione Lombardia – Progetto Regionale EVASFO.
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N., Moscatelli M., (2006). La raccolta del pioppo a ciclo breve. *Informatore Agrario* n° 28.
- Spinelli R., Picchi G., (2010). "Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass" *Bioresource technology* 101, 2010 pp 730-735.
- Spinelli R., Picchi G., (2010). Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass. *Bioresource Technology* 101, 2010.
- Valer M., (2009). Quale Macchina scegliere per raccogliere i residui di potature. *L'Informatore Agrario*, 8/2010.
- Vasilakoglou I., Dhima K., Karagiannidis N., Gatsis T., (2011). Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Field Crops Research*, 120, 38–46.
- Vecchiet A., (2010). Agronomical aspects of sweet sorghum. Progetto Sweethanol. <http://esse-community.eu/>
- Veneto Agricoltura, (2010). Progetto RiduCaReflui. Reflui come risorsa. <http://riducreflui.venetoagricoltura.org/>
- Verani S., Sperandio G., (2008). Pioppeto da biomassa a rotazione biennale. *Sherwood* n° 148.
- Verani S., Sperandio G., Picchio R., Savelli S., (2008). Nozioni di base per la costituzione di micro-filiere energetiche di autoconsumo. CRA – MIPAAF – UNIVERSITÀ DELLA TUSCIA, Progetto COFEA.
- Zabaniotou O., Ioannidou E., Antonakoub Lappas A., (2008). "Experimental study of pyrolysis for potential energy, hydrogen and carbon material production from lignocellulosic biomass". *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 33, Issue 10, May 2008, Pages 2433-2444.