



FACOLTÀ DI AGRARIA

Dipartimento GEMINI

Dottorato di Ricerca in Meccanica Agraria - XXI ciclo
Settore scientifico - disciplinare AGR09

Trasformazione del materiale ligno-cellulosico proveniente dal bosco in biocombustibili solidi: aspetti tecnico - economici di un impianto per la produzione di pellet e cippato

Coordinatore: Prof. Ing. Danilo Monarca

Tutore: Prof. Ing. Danilo Monarca

Dottorando
Mirko Guerrieri

Abstract

This work is the result of a technical and economic analysis about the process of transformation of forest wood in biofuels, pellets and wood chips. The first phase of forest biomass transformation is the chipping, which is realized through a woodchipper that reduces wood into smaller parts, such as wood chips or sawdust. Thus, the product is sifted to separate the thin part from the coarser one, and then is bagged. The production process of woodpellet is more articulated: it is necessary to refine the mixture a bit more, creating a wood dust which is immediately compressed to form the classical cylindrical pellet's shape and to provide a uniform dough-like mass. The study of the productivity of machinery employed in the transformation of the wood material was made analyzing the cards compiled daily from the technicians of the pilot plant. In these cards information about the amount of material worked in the unit time was recorded. The economic evaluation has been completed following an analytical procedure considering the hourly manpower cost and the single machines utilized in all the process phases. In order to carry out this last analysis, various methodologies found in literature have been considered and integrated with the information coming directly from machine operators. The last part of the study concerns the evaluation of the real cost of production for every output and gives some suggestions to improve the whole process of transformation and consequently to reduce production costs.

Keywords: biomass conversion, pellets, chip, economic aspect

Riassunto

Questo lavoro è il risultato di un'analisi tecnico economica del processo di trasformazione della biomassa legnosa in biocombustibili solidi, pellet e cippato. Il processo di trasformazione della biomassa legnosa inizia con la fase di triturazione realizzata mediante una macchina cippatrice che riduce il materiale dalla forma solida compatta ad uno stato disgregato (chips). Il prodotto viene quindi vagliato in modo da separare la parte sottile da quella più grossolana e poi insaccato. Per la produzione di pellet invece il processo è più articolato perché bisogna raffinare ulteriormente il composto creando una polvere di legno che viene subito pressata in modo da realizzare la classica forma cilindrica del pellet. Lo studio della produttività delle singole macchine è avvenuto analizzando le schede compilate giornalmente dai tecnici dell'impianto e nel quale vengono riportate informazioni relative alle quantità di materiale lavorato nell'unità di tempo. La valutazione economica è stata realizzata con procedimento analitico considerando il costo orario della manodopera e delle singole macchine impiegate in tutte le fasi di lavoro. Per quest'ultima analisi sono state prese in considerazione più metodologie proposte in letteratura da vari autori ma integrate, soprattutto per quanto riguarda parametri e coefficienti tecnici, con informazioni derivanti dagli operatori che lavorano con le macchine stesse. È stato quindi determinato il costo di produzione reale di ogni prodotto finito ed infine sono state suggerite delle proposte finalizzate al miglioramento di tutto il processo di trasformazione in modo da raggiungere la conseguente riduzione dei costi produttivi.

Parola chiave: conversione della biomassa, pellets, cippato, aspetti economici

Indice

Introduzione	4
Obiettivi della tesi	5
Capitolo 1 - Panoramica sulle energie rinnovabili	6
1.1. - Premessa.....	6
1.2. - Energia idroelettrica.....	6
1.3. - Energia mareomotrice	7
1.4. - Energia geotermica	7
1.5. - Energia solare.....	8
1.6. - Energia eolica.....	11
1.7. - Energia da biomassa.....	11
1.7.1. - Definizione di biomassa.....	11
1.7.2. - Biopower.....	12
1.7.3. - Gassificazione della biomassa per la produzione di idrogeno	16
1.7.4. - Biofuels	18
1.7.5. - Bioproducts	23
1.7.6. - Vantaggi e svantaggi della biomassa	24
1.7.7. - Stato delle biomasse.....	25
Capitolo 2 - Fasi del processo produttivo nell'impianto di trasformazione	27
2.1. - Approvvigionamento e gestione della materia prima	27
2.2. - Linea di produzione dei chips	29
2.2.1. - Fase di cippatura	30
2.2.2. - Fase di triturazione	33
2.2.3. - Fase di vagliatura	34
2.2.4. - Fase di insacchettatura	35
2.3. - Linea di pellettizzazione	36
2.3.1. - Fase di caricamento	37
2.3.2. - Riduzione dell'umidità interna del materiale.....	38
2.3.3. - Linea di raffinazione	39
2.3.4. - Fase di pressatura	40
2.3.4.1. - Caricamento	40
2.3.4.2. - Pressatura	41
2.3.5. - Raffreddamento e setacciamento	43
2.3.6. - Insaccatura ed imballaggio.....	43

2.4.	- Aspetto e descrizione dei biocombustibili	44
2.4.1.	- Cippato	44
2.4.2.	- Pellet.....	46
Capitolo 3 - Materiali e metodi		48
3.1.	- Metodologia per il calcolo del costo di esercizio delle macchine	48
3.1.1.	- Costi fissi.....	48
3.1.2.	- Costi variabili	50
3.1.3.	- Relazione tra costi fissi e variabili	53
3.2.	- Suddivisione del ciclo produttivo in fasi e costo dei macchinari.....	55
3.3.	- Valutazione del consumo di energia elettrica	57
Capitolo 4 - Risultati		61
4.1.	- Costi di ogni singola fase produttiva.....	61
4.2.	- Valutazione della produttività	83
4.3.	- Costi orari, costi unitari in peso e prezzo di vendita dei prodotti	84
4.4.	- Proposte di miglioramento	86
4.4.1.	- Interventi di miglioramento	86
5 - Conclusioni		90
Bibliografia.....		92

Introduzione

Negli ultimi quaranta anni il consumo di energia nel mondo si è quadruplicato. Se da un lato ciò ha permesso di migliorare la qualità della vita mettendo a disposizione di ogni singolo individuo innumerevoli beni e servizi, dall'altro ha causato un reale aumento dell'inquinamento presente nel nostro pianeta. L'uso razionale delle risorse è quindi diventato sempre più argomento centrale della politica ambientale di tutti gli stati della terra. In particolare la sostituzione dei combustibili fossili con energie rinnovabili è un impegno ormai sostenuto a livello mondiale e recepito dalla normativa Europea e Italiana. Tra le fonti energetiche alternative le biomasse legnose possono rivestire un ruolo di fondamentale importanza. La materia prima derivata direttamente dal sole offre infatti una soluzione concreta per la risoluzione dei molti problemi energetici in quanto, formandosi attraverso la fotosintesi, costituisce una sorta di accumulatore di energia solare che si ricarica con continuità e in tempi brevi. Già a metà degli anni '70, in concomitanza con la prima crisi energetica, molti paesi sviluppati presero le prime iniziative per cercare alternative alle fonti fossili, avviando attività promozionali e finanziando investimenti in ricerca e sviluppo. Ciò portò a valorizzare i sistemi d'energia rinnovabile e tra questi le biomasse ligno-cellulosiche. In Italia, nonostante il raggiungimento di qualche risultato incoraggiante, si può affermare che la bioenergia ha stentato ad affermarsi, soprattutto su scala industriale, malgrado una discreta attività propagandistica, qualche (limitato) investimento pubblico in attività di ricerca e un'adeguata politica tariffaria e fiscale che ha favorito l'uso del legno a fini energetici. A questo parziale insuccesso ha contribuito in maniera sostanziale la riduzione dei prezzi dei combustibili convenzionali verificatasi negli anni '80 e '90. Tuttavia le recenti iniziative di politica ambientale ed energetica scaturite dagli accordi internazionali sullo sviluppo sostenibile, la necessità di ridurre le dipendenze energetiche dall'estero (tra i Paesi più industrializzati, l'Italia è la nazione con il minor tasso di auto-provvigionamento di energia), la politica del set-aside (che è stata imposta per ridurre la produzione cerealicola in esubero mediante la messa a riposo dei terreni, ma che permette la coltivazione degli stessi con produzioni non alimentari come le colture energetiche a breve turno di ricrescita) e infine la necessità di potenziare lo sfruttamento delle fonti interne d'energia come conseguenza dell'elevato prezzo assunto dal petrolio, stanno incoraggiando in maniera più concreta l'utilizzo di fonti rinnovabili e riciclabili, in particolare del legno e di tutti i suoi derivati. Ciò è quanto sta avvenendo in alcune parti del nostro paese, soprattutto nell'arco alpino e nel centro nord, dove esistono le condizioni idonee per lo sviluppo di filiere legno-energia che stanno portando concreti benefici alle comunità locali.

Obiettivi della tesi

Con il presente lavoro è stato analizzato il processo di trasformazione del materiale legnoso proveniente dal bosco in biocombustibili solidi (pellet e cippato). Al fine di migliorare sia a livello qualitativo sia a livello quantitativo la produzione è importante la conoscenza dei processi attraverso i quali la biomassa grezza viene convertita in prodotti che meglio si prestano ad essere utilizzati e commercializzati. Infatti l'impiego delle fonti rinnovabili risulta sostenibile e conveniente solo quando i costi sostenuti per l'approvvigionamento e la trasformazione risultano inferiori ai ricavi ottenuti dalla loro vendita. È pertanto di fondamentale importanza comprendere e analizzare tutte le fasi del processo di trasformazione, al fine di individuare e proporre soluzioni valide per riuscire a sfruttare, con il massimo rendimento, l'energia rinnovabile contenuta nella biomassa.

Capitolo 1 - Panoramica sulle energie rinnovabili

1.1. - Premessa

Le fonti energetiche rinnovabili stanno vivendo una stagione di grande sviluppo a livello mondiale con un peso sempre più rilevante nella bilancia energetica. Gli investimenti nella ricerca e nell'innovazione tecnologica, la diffusione e la sperimentazione in diversi Paesi ha permesso di realizzare una crescita di potenza e efficienza degli impianti impensabile solo dieci anni fa.

Ai sensi dell'articolo 2, comma 1 del Decreto legislativo n. 387 del 29 dicembre 2003, per fonti rinnovabili si intendono «le fonti energetiche rinnovabili non fossili (eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, maremotrice, idraulica, biomasse, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas). In particolare, per biomasse si intende la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani».

Una classificazione che spesso viene fatta è quella tra fonti rinnovabili "classiche" (idroelettrico e geotermia) e fonti rinnovabili "nuove" (anche dette "**NFER**"), tra cui vengono generalmente incluse l'energia solare, eolica e da biomassa

1.2. - Energia idroelettrica

L'**energia idroelettrica** sfrutta il movimento di masse di acqua per produrre energia cinetica e grazie a una turbina accoppiata ad un alternatore genera energia elettrica. L'energia idroelettrica viene ricavata dal corso di fiumi e di laghi grazie alla creazione di dighe o di condotte forzate. L'acqua di un lago o di un bacino artificiale viene convogliata, attraverso condutture forzate, a valle acquistando così energia potenziale che, una volta arrivata a valle, verrà trasformata, grazie alle turbine, in cinetica e, a sua volta, attraverso la dinamo ad esse collegata, grazie al fenomeno dell'induzione elettromagnetica, in energia elettrica. Nelle centrali idroelettriche di ultima generazione, l'acqua viene convogliata in cisterne a monte durante la notte cosicché di giorno, quando la richiesta di corrente elettrica è maggiore, si può disporre di ulteriori masse d'acqua da cui produrre energia [34].

1.3. - Energia mareomotrice

L'**energia mareomotrice** è quella ricavata dagli spostamenti d'acqua causati dalle maree, che in alcune zone del pianeta raggiungono i 20 metri di ampiezza verticale. Già nell'antichità si cercò di sfruttare questo tipo di energia, mediante la costruzione di "mulini a marea". L'acqua veniva raccolta, durante il flusso, in un piccolo bacino, che veniva in seguito chiuso con una paratia. Al momento del deflusso l'acqua veniva convogliata attraverso un canale verso una ruota che muoveva una macina. Oggi esistono diversi progetti di sfruttamento delle maree, che comportano metodi diversi di sfruttamento dell'energia. E' possibile convertire almeno quattro tipi di energia presenti nel mare: quella delle correnti, delle onde, delle maree e del gradiente termico tra superficie e fondali. Attualmente esiste solo un impianto per lo sfruttamento delle maree in Francia, mentre sono in corso esperimenti per lo sfruttamento del potenziale energetico delle onde nel Regno Unito e in Giappone e del gradiente termico negli Stati Uniti. L'Unione Europea ha di recente concluso uno studio che identifica circa 100 siti suscettibili di essere utilizzati per la produzione di energia elettrica dalle correnti marine. Lo stretto di Messina è stato identificato tra i siti più promettenti [41].

1.4.- Energia geotermica

L'**energia geotermica** viene generata per mezzo di fonti geologiche di calore. Il calore della Terra è l'energia naturale che da sempre accompagna la storia dell'uomo fin dalle sue origini. Le temperature del globo sono crescenti man mano che si scende in profondità, in media ogni 100 metri la temperatura delle rocce aumenta di 3 °C (quindi 30 °C al Km e 300 °C a 10 Km). Questo è valido però solo per quanto riguarda la crosta terrestre, nel resto del globo l'aumento di temperatura con la profondità (detto gradiente geotermico) è sensibilmente minore. Particolarmente nel mantello e nucleo esterno il gradiente geotermico segue un andamento di tipo adiabatico, e si attesta su valori medi rispettivamente di 0,3 °C/km e 0,8 °C/km. In alcune particolari zone si possono presentare condizioni in cui la temperatura del sottosuolo è leggermente più alta della media, un fenomeno causato dai fenomeni vulcanici o tettonici. In queste zone "calde" l'energia può essere facilmente recuperata mediante la geotermia. La geotermia consiste nel convogliare i vapori provenienti dalle sorgenti d'acqua del sottosuolo verso apposite turbine adibite alla produzione di energia elettrica e riutilizzando il vapore acqueo per il riscaldamento, le coltivazioni in serra e il termalismo. Le principali applicazioni del vapore naturale proveniente dal sottosuolo sono due:

- La produzione di energia elettrica tramite il classico metodo delle turbine;

- Il calore geotermico incanalato in un sistema di tubature utilizzato per attività locali di riscaldamento.

Per alimentare la produzione del vapore acqueo si ricorre spesso all'immissione di acqua fredda in profondità, una tecnica utile per mantenere costante il flusso del vapore. In questo modo si riesce a far lavorare a pieno regime le turbine e produrre calore con continuità. La geotermia resta comunque una fonte energetica marginale da utilizzare solo in limitati contesti territoriali. Resta in ogni caso una potenzialità energetica da sfruttare laddove possibile, anche sfruttando le potenzialità del riscaldamento geotermico. La geotermia è la fortuna energetica dell'Islanda. La grande isola del nord Atlantico basa l'intera sua esistenza sul naturale equilibrio tra la presenza di acqua calda in profondità e l'atmosfera esterna sotto zero. Dall'inizio del novecento l'Italia sfrutta il calore della Terra per produrre energia elettrica tramite la realizzazione di centrali elettriche geotermiche capaci di sfruttare la forza del vapore.

In Italia la produzione di energia elettrica dalla geotermia è fortemente concentrata in Toscana (Pisa, Siena e Grosseto). Una tradizione toscana che arriva fino ai nostri giorni e che pone la regione Toscana ai primi posti dello sfruttamento dell'energia rinnovabile dalla geotermia. Non è un caso che proprio a Larderello si trovi un "Museo dedicato al vapore". Il principio di funzionamento di una centrale geotermica è alquanto semplice per linee logiche. Il flusso di vapore proveniente dal sottosuolo produce una forza tale da far muovere una turbina, l'energia meccanica della turbina viene infine trasformata in elettricità tramite un alternatore [14].

1.5. - Energia solare

L'**radiazione solare**, sprigionata dal Sole per effetto di reazioni nucleari (fusione dell'idrogeno) e trasmessa alla Terra (e in tutto lo spazio circostante) sotto forma di radiazione elettromagnetica, può essere sfruttata per produrre energia termica o elettrica. Ogni istante il Sole trasmette sull'orbita terrestre 1367 W/m^2 . Tenendo conto del fatto che la Terra è una sfera (e quindi i raggi arrivano spesso angolati) che oltretutto ruota, l'irraggiamento solare sulla superficie terrestre mediato sulle 24 ore e sulle 4 stagioni, alle latitudini europee, è di circa 200 W/m^2 . La quantità di energia solare che arriva sul suolo terrestre è quindi enorme, circa mille volte superiore a tutta l'energia usata dall'umanità nel suo complesso, ma poco concentrata, nel senso che è necessario raccogliere energia da aree molto vaste per averne quantità significative, e piuttosto difficile da convertire in energia facilmente sfruttabile (principalmente in elettricità) con efficienze accettabili. Per il suo sfruttamento occorrono prodotti in genere di costo elevato

che rendono l'energia solare notevolmente onerosa rispetto ad altri metodi di generazione dell'energia. Lo sviluppo di tecnologie che possano rendere economico l'uso dell'energia solare è un settore della ricerca molto attivo ma che, per adesso, non ha avuto risultati rivoluzionari. Due sono le tecnologie principali per trasformare in elettricità l'energia del sole:

- il pannello solare (o collettore termico): sfrutta i raggi solari per scaldare un liquido con speciali caratteristiche (acqua e antigelo/antiebollizione), contenuto nel suo interno, che cede calore, tramite uno scambiatore di calore, all'acqua contenuta in un serbatoio di accumulo;
- il pannello fotovoltaico sfrutta le proprietà di particolari elementi per produrre energia elettrica quando sollecitati dalla luce.

I collettori termici possono essere a circolazione **naturale** o **forzata**; i primi utilizzano il moto convettivo del liquido contenuto nei pannelli per consentirne la circolazione all'interno del sistema pannello-scambiatore di calore. In questo caso il serbatoio di accumulo che contiene lo scambiatore di calore deve trovarsi più in alto del pannello. I sistemi a circolazione forzata, invece, utilizzano una pompa che fa circolare il fluido all'interno di scambiatore e pannello quando la temperatura del fluido all'interno del pannello è più alta di quella all'interno del serbatoio di accumulo, che, in questo caso, si trova più in basso dei pannelli. Sistemi di questo tipo sono più complessi dal punto di vista dei controlli e delle apparecchiature impiegate (pompe, sensori di temperatura, valvole a tre vie, centraline di controllo), ma consentono di posizionare il serbatoio di accumulo, anche di grandi dimensioni, praticamente dove si vuole, ad esempio a terra e non sul tetto dove problemi di peso ne renderebbero difficile la collocazione.

I pannelli fotovoltaici convertono la luce solare direttamente in energia elettrica. Questi pannelli sfruttano l'effetto fotoelettrico e hanno un'efficienza di conversione che arriva fino al 32,5% nelle celle da laboratorio. In pratica, una volta ottenuti i moduli dalle celle e i pannelli dai moduli e una volta montati in sede, l'efficienza media è di circa il 15%. Questi pannelli non avendo parti mobili o altro necessitano di pochissima manutenzione. In sostanza vanno puliti periodicamente. La durata operativa stimata dei pannelli fotovoltaici è di circa 30 anni. I difetti principali di questi impianti sono il costo dei pannelli e l'immagazzinamento dell'energia. I pannelli fotovoltaici vengono utilizzati anche per alimentare dispositivi distanti dalle reti elettriche (sonde spaziali, ripetitori telefonici in alta montagna, ecc) o con richieste energetiche talmente ridotte che un allacciamento alla rete elettrica risulterebbe antieconomico (segnaletica stradale luminosa, parchimetri, ecc). Ovviamente questi dispositivi devono essere dotati di accumulatori in grado di assorbire la corrente elettrica prodotta in eccesso durante la giornata per

rifornire le apparecchiature durante le ore notturne e durante i periodi nuvolosi. Con le attuali tecnologie i pannelli fotovoltaici sono sensibili anche alla radiazione infrarossa (invisibile) dei raggi solari e dunque producono corrente anche in caso di tempo nuvoloso e pioggia. In Italia la produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici è incentivata sin dall'anno 2000 con il programma "10.000 tetti fotovoltaici". Prima del 2000 in Italia erano installati complessivamente 19 MW costituiti da sistemi fotovoltaici in centrale connessi in rete e sistemi stand-alone per le utenze isolate. Il programma "10.000 tetti fotovoltaici", ideato dal Ministero dell'Ambiente e dal Ministero dell'Industria e definito con il supporto tecnico-scientifico dell'ENEA, era finalizzato alla realizzazione, nell'arco di cinque anni, di 10.000 impianti fotovoltaici di piccola taglia (1-50 kW), preferibilmente integrati nelle strutture edilizie, per una potenza totale di 50 MW e prevedeva incentivi economici in conto capitale e diversificati per tipologia di impianto. Le regole a sostegno del fotovoltaico hanno subito una sostanziale modifica con l'introduzione del meccanismo in Conto energia. Questo procedimento, già previsto dal Decreto Legislativo n. 387 del 29 dicembre 2003, è diventato operativo in seguito all'entrata in vigore dei Decreti attuativi del 28 luglio 2005 e del 6 febbraio 2006 del Ministero dello Sviluppo Economico (MSE, ex Ministero delle Attività Produttive) e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (1° conto energia). Il 19 febbraio 2007, i due Ministeri hanno redatto un nuovo Decreto affinché venissero eliminati alcuni ostacoli sorti nella prima fase che hanno ritardato ed impedito la diffusione capillare della tecnologia fotovoltaica (2° conto energia). Il DM 19/02/07, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 23/02/2007, è entrato in vigore dopo la pubblicazione della delibera dell'AEGG n. 90/07, che ha definito le condizioni e le modalità per l'erogazione delle tariffe incentivanti.

Attualmente la maggior parte degli studi si concentrano su nuove generazioni di celle fotovoltaiche dotate di una maggior efficienza di quelle attuali o su celle fotovoltaiche dotate di un'efficienza simile a quella delle celle attuali ma molto più economiche. Studi più ambiziosi puntano alla realizzazione di centrali solari orbitanti. Queste centrali dovrebbero raccogliere i raggi solari direttamente nello spazio e trasmettere la potenza assorbita sulla Terra per mezzo di microonde o raggi laser. Gli attuali progetti di costruzione prevedono l'installazione di queste centrali nel 2040. Attualmente l'evoluzione tecnologica rende possibili anche impianti tipicamente energetici avvalendosi di sistemi ibridi, come ad esempio fotovoltaico e termico [29] [37].

1.6. - Energia eolica

L'**energia eolica** è il prodotto della conversione dell'energia cinetica del vento in elettrica. Prima tra tutte le energie rinnovabili per il rapporto costo/produzione è stata anche la prima fonte energetica rinnovabile usata dall'uomo. Il suo sfruttamento, relativamente semplice e poco costoso, è attuato tramite macchine eoliche divisibili in due gruppi ben distinti:

- Generatori eolici ad asse verticale
- Generatori eolici ad asse orizzontale

Essa è pensata tenendo presente sia una produzione centralizzata in impianti da porre in luoghi alti e ventilati, sia un eventuale decentramento energetico, per il quale ogni Comune ha impianti di piccola taglia, composti da un numero esiguo di pale (1-3 pale da 3-4 megawatt) con le quali genera in loco l'energia consumata dai suoi abitanti. Il tempo di installazione di un impianto è molto breve; fatti i rilievi sul campo per misurare la velocità del vento e la potenza elettrica producibile, si tratta di trasportare le pale eoliche e fermarle nel terreno [17].

1.7. - Energia da biomassa

1.7.1. - Definizione di biomassa

Biomassa è un termine che riunisce una gran quantità di materiali di natura estremamente eterogenea. In forma generale, si può dire che è biomassa tutto ciò che ha matrice organica, con esclusione delle plastiche e dei materiali fossili, che, pur rientrando nella chimica del carbonio, non hanno nulla a che vedere con la caratterizzazione che qui interessa dei materiali organici. La biomassa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare. Questa, infatti, consente alle piante di convertire la CO₂ atmosferica in materia organica, tramite il processo di fotosintesi, durante la loro crescita. In questo modo vengono fissate complessivamente circa $2 \cdot 10^{11}$ tonnellate di carbonio all'anno, con un contenuto energetico dell'ordine di $70 \cdot 10^3$ Mtep. La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili, ovvero trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo negli impianti di conversione. Altre forme di biomassa possono, inoltre, essere costituite dai residui delle coltivazioni destinate all'alimentazione umana o animale (paglia) o piante espressamente coltivate per scopi energetici. Le più importanti tipologie di biomassa sono residui forestali,

scarti dell'industria di trasformazione del legno (trucioli, segatura, etc.), scarti delle aziende zootecniche, scarti mercatali, e i rifiuti solidi urbani.

Le principali applicazioni della biomassa sono: produzione di energia (biopower), sintesi di carburanti (biofuels) e sintesi di prodotti (bioproducts). Nei successivi paragrafi verranno trattati in modo approfondito le suddette applicazioni.

1.7.2. - Biopower

Le tecnologie del biopower convertono i combustibili rinnovabili della biomassa in calore ed elettricità usando apparecchiature simili a quelle usate con combustibili fossili. Negli Stati Uniti la biomassa rappresenta la seconda fonte di energia rinnovabile, dopo quella idroelettrica, per produrre elettricità. Una vantaggiosa caratteristica della biomassa è la sua disponibilità rispetto alla domanda, in quanto essa è in grado di conservare intatta la sua energia fino al suo utilizzo. Fino a pochi anni fa, negli Stati Uniti e ancora oggi nei paesi in via di sviluppo, la biomassa veniva utilizzata per cucinare e per usi individuali; attualmente le tecnologie hanno raggiunto un tale sviluppo che possono generare elettricità dall'energia contenuta nei combustibili della biomassa e soddisfare i fabbisogni energetici di piccoli villaggi, ma anche di una piccola città.

APPLICAZIONI

I processi industriali di biopower si suddividono in processi biochimici e termochimici. I processi di **conversione biochimica** permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi, funghi e microrganismi, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni, e vengono impiegati per quelle biomasse in cui il rapporto C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%. Risultano idonei alla conversione biochimica le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata, ecc.), i reflui zootecnici e alcuni scarti di lavorazione (borlande, acqua di vegetazione, ecc.), nonché la biomassa eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

I processi di **conversione termochimica** sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia e sono utilizzabili per i prodotti ed i residui cellulosici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30 %. Le biomasse più adatte a subire processi di conversione termochimica sono la legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, ecc.), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, ecc.) e taluni scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.).

Le tecnologie attualmente impiegate nel biopower sono: cofiring, pirolisi, gassificazione, combustione, sistemi “small-modular”, digestione aerobica, digestione anaerobica e carbonizzazione.

Cofiring: al fine di ottimizzare gli impianti a carbone, è possibile utilizzare la biomassa come combustibile complementare al carbone. Questa soluzione è sicuramente una delle più economiche fra le opzioni energetiche offerte dalle fonti rinnovabili. Il cofiring consiste nella sostituzione di una porzione di carbone con biomassa da utilizzare nella stessa caldaia dell'impianto preesistente. Ciò può essere fatto miscelando la biomassa con carbone prima che il combustibile venga introdotto nella caldaia o utilizzando alimentazioni separate per il carbone e la biomassa. In base al tipo di caldaia e al sistema di alimentazione impiegato, la biomassa può sostituire fino al 15% del carbone in questa operazione di cofiring.

Pirolisi: è un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto mediante l'applicazione di calore, a temperature comprese tra 400 e 800°C, in completa assenza di un agente ossidante, oppure con una ridottissima quantità di ossigeno (in quest'ultimo caso il processo può essere descritto come una parziale gassificazione). I prodotti della pirolisi sono sia gassosi, sia liquidi, sia solidi, in proporzioni che dipendono dai metodi di pirolisi (pirolisi veloce, lenta, o convenzionale) e dai parametri di reazione. Uno dei maggiori problemi legati alla produzione di energia basata sui prodotti della pirolisi è la qualità di detti prodotti, che non ha ancora raggiunto un livello sufficientemente adeguato con riferimento alle applicazioni, sia con turbine a gas sia con motori diesel. In prospettiva, anche con riferimento alle taglie degli impianti, i cicli combinati ad olio pirolitico appaiono i più promettenti, soprattutto in impianti di grande taglia, mentre motori a ciclo diesel, utilizzando prodotti di pirolisi, sembrano più adatti ad impianti di piccola potenzialità.

La combustione diretta viene generalmente attuata in apparecchiature (caldaie) in cui avviene anche lo scambio di calore tra i gas di combustione ed i fluidi di processo (acqua, olio diatermico, ecc.).

Gassificazione: è un processo endotermico a due stadi in cui un combustibile solido (biomassa o carbone) è termochimicamente convertito in un gas a basso o medio potere calorifico inferiore variabile tra 4000 e 14000 KJ/Nm³. Nel primo stadio, la pirolisi, i componenti più volatili sono vaporizzati a temperature inferiori a 600 °C da un insieme di reazioni complesse. I componenti volatili sono gas di idrocarburi, idrogeno, CO, CO₂, nerofumo e vapore acqueo. Poiché i combustibili ottenuti dalla biomassa hanno un contenuto di componenti volatili superiori al carbone (rispettivamente 70-86% e 30% su base secca), la pirolisi gioca un ruolo

fondamentale più nella gassificazione della biomassa che in quella del carbone. Le sostanze carbonizzate e la cenere sono prodotti non vaporizzabili, perciò nel secondo stadio questi composti devono essere gassificati in una reazione con ossigeno, vapore e idrogeno. La parte incombusta delle sostanze carbonizzate viene bruciata per fornire il calore necessario alle reazioni endotermiche di gassificazione. La gassificazione può essere realizzata a bassa pressione, a letto fisso e a letto fluidizzato (nel caso ci sia necessaria una temperatura uniforme).

Combustione: la combustione di prodotti e residui agricoli si attua con buoni rendimenti, se si utilizzano come combustibili sostanze ricche di glucidi strutturati (cellulosa e lignina) e con contenuti di acqua inferiori al 35%. I prodotti utilizzabili a tale scopo sono i seguenti: legname in tutte le sue forme; paglie di cereali; residui di raccolta di legumi secchi; residui di piante oleaginose (ricino, catramo, ecc.); residui di piante da fibra tessile (cotone, canapa, ecc.); residui legnosi di potatura di piante da frutto e di piante forestali; residui dell'industria agro – alimentare.

Le caldaie a letto fluido rappresentano la tecnologia più sofisticata e dispendiosa che sta ricevendo, però, notevoli attenzioni, infatti essa permette il conseguimento di numerosi vantaggi quali la riduzione degli inquinanti e l'elevato rendimento di combustione.

Sistemi “small-modular”: tali sistemi potrebbero potenzialmente soddisfare il fabbisogno energetico di oltre 2,5 miliardi di persone che sono sprovviste di energie elettrica. Tale potenzialità deriva dal fatto che la maggioranza di queste persone vive in aree dove sono disponibili grandi quantità di biomassa utilizzabile come combustibile. Uno small system con capacità di circa 5 MW potrebbe rappresentare un'ottima soluzione a livello di villaggio. Gli small system hanno un potenziale mercato anche nei paesi industrializzati, in quanto potrebbero essere utilizzati come fornitura energetica complementare all'ordinaria rete elettrica. Rispetto ai sistemi a combustibile fossile, essi rappresentano una alternativa più accettabile dal punto di vista ambientale.

Digestione anaerobica: processo di conversione di tipo biochimico, avviene in assenza di ossigeno e consiste nella demolizione, ad opera di microrganismi, di sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, che produce un gas (biogas) costituito per il 50÷70% da metano e per la restante parte soprattutto da CO₂ ed avente un potere calorifico medio dell'ordine di 23.000 kJ/Nm³. Il biogas così prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato e può essere utilizzato come combustibile per alimentare caldaie a gas per produrre calore o motori a combustione interna (adattati allo scopo a partire da motori navali a basso numero di giri) per produrre energia

elettrica. Al termine del processo di fermentazione nell'effluente si conservano integri i principali elementi nutritivi (azoto, fosforo, potassio), già presenti nella materia prima, favorendo così la mineralizzazione dell'azoto organico; l'effluente risulta in tal modo un ottimo fertilizzante. Gli impianti a digestione anaerobica possono essere alimentati mediante residui ad alto contenuto di umidità, quali le deiezioni animali, i reflui civili, i rifiuti alimentari e la frazione organica dei rifiuti solidi urbani. Tuttavia, anche in discariche opportunamente attrezzate per la raccolta del biogas sviluppato, solo il 40% circa del gas generato può essere raccolto, mentre la rimanente parte viene dispersa in atmosfera: poiché il metano, di cui è in gran parte costituito il biogas, è un gas serra con un effetto circa venti volte superiore a quello della CO₂, le emissioni in atmosfera di biogas non sono desiderabili; quando invece la decomposizione dei rifiuti organici è ottenuta mediante digestione anaerobica nei digestori (chiusi) degli appositi impianti, quasi tutto il gas prodotto viene raccolto ed usato come combustibile.

Digestione aerobica: consiste nella metabolizzazione delle sostanze organiche per opera di microrganismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO₂ e H₂O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, proporzionale alla loro attività metabolica. Il calore prodotto può essere così trasferito all'esterno, mediante scambiatori a fluido. In Europa viene utilizzato il processo di digestione aerobica termofila autoriscaldata (Autoheated Thermophilic Aerobic Digestion) per il trattamento delle acque di scarico. Più recentemente tale tecnologia si è diffusa anche in Canada e Stati Uniti.

Carbonizzazione: è un processo di tipo termochimico che consente la trasformazione delle molecole strutturate dei prodotti legnosi e cellulosici in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), ottenuta mediante l'eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, per azione del calore nelle carbonaie, all'aperto, o in storte, che offrono una maggior resa in carbone.

Benefici economici del biopower: il costo per generare elettricità da biomassa varia in base al tipo di tecnologia, alla grandezza dell'impianto e al costo dell'approvvigionamento della biomassa. La grandezza dell'impianto varia da pochi kW (comunque sufficienti al fabbisogno energetico domestico) per un'unità di generazione on-site fino a 80 MW per un impianto. Ogni MW di biopower genera energia a sufficienza per rifornire 525 utenze domestiche medie all'anno. Tuttavia le limitazioni delle fonti di biomassa a livello locale rendono il biopower antieconomico se viene superato il limite di 100MW. Attualmente il cofiring offre i vantaggi di

bassi costi, basso rischio, piccoli investimenti economici rispetto alla capacità di generazione e un periodo di payback al massimo di due anni.

Per dare un'idea dei costi di produzione del biopower, essi vengono di seguito confrontati con un impianto a carbone. Un impianto a carbone produce energia a circa 2,3 cent€/kWh. Un impianto economico di cofiring è in grado di ridurre questo costo a 2,1 cent€/kWh. Negli impianti di combustione i costi si aggirano sui 9 cent€/kWh. In futuro, le tecnologie avanzate come i sistemi basati sulla gassificazione potrebbero generare energia a 5 cent€/kWh. Per fare un confronto, un nuovo impianto a ciclo combinato che utilizza gas naturale può produrre elettricità a circa 4-5 cent€/kWh ai prezzi attuali del gas.

Affinché un impianto a biomassa si riveli economicamente vantaggioso è necessario minimizzare le distanze di trasporto tra il punto di approvvigionamento delle risorse e l'impianto: a tal proposito si è calcolato che se la distanza è superiore a 100 miglia l'impianto è antieconomico. Le migliori condizioni economiche si hanno quando i residui di biomassa prodotti vengono utilizzati nel sito stesso di produzione della biomassa (es. cartiere, segherie, zuccherifici) [32].

1.7.3. - Gassificazione della biomassa per la produzione di idrogeno

E' noto come l'idrogeno libero, nonostante dall'analisi degli spettri solari e stellari risulti l'elemento più abbondante nell'universo, sia presente solo in ridottissime quantità nell'atmosfera. Dunque è necessario produrlo ricorrendo a processi di conversione, partendo da determinate fonti. Uno dei metodi più interessanti, soprattutto grazie alla natura rinnovabile della materia prima, è certamente la gassificazione della biomassa, attraverso la quale è possibile produrre idrogeno o gas ricchi di idrogeno.

Attualmente non esiste un processo commerciale per la gassificazione della biomassa, ma esiste una serie di impianti pilota, che potrebbero in un prossimo futuro essere utilizzati per la produzione di idrogeno da biomassa su scala industriale.

A titolo di esempio di seguito è illustrato un processo di gassificazione sviluppato dalla BYOSIN negli anni ottanta.

Il processo è basato su un gassificatore a letto fluido contenente silice o allumina, in grado di operare a pressioni fino a 1,6 MPa. Oltre alla biomassa è stato sperimentato l'utilizzo di altre tipologie di alimentazione come fanghi, residui di gomma e scarti granulari di polietilene e propilene. La grandezza delle particelle in alimentazione può raggiungere i 5 cm, la densità apparente è superiore a 0,2 kg/l e il contenuto di umidità raggiunge il 20%. L'efficienza del

processo di gassificazione varia dal 70 all'80%. Il gas in uscita contiene principalmente CO, CO₂ e H₂ e deve essere purificato per rimuovere le polveri trascinate e il catrame condensabile e migliorato affinché possa produrre essenzialmente idrogeno puro. La gassificazione con aria produce un gas combustibile con un potere calorifico superiore pari a 6 MJ/Nm³, mentre quella con aria arricchita con il 40% di ossigeno produce un gas combustibile con un potere calorifico superiore pari a circa 12MJ/Nm³.

I cicloni rimuovono dall'85 al 95% delle particelle trascinate. La ricerca e lo sviluppo del processo BIOSYN mirano principalmente a migliorare le seguenti fasi del ciclo tecnologico:

- Lavaggio del gas finalizzato ad un'efficiente eliminazione del catrame utilizzando piccole portate d'acqua;
- Riciclo del catrame insolubile al gassificatore;
- Ossidazione in ambiente umido e assorbimento dei composti organici dissolti nell'acqua di lavaggio;
- Riciclo al gassificatore delle ceneri ricche di carbonio e del carbonio stesso trascinato assieme ai composti organici assorbiti;
- Filtrazione del gas caldo per rimuovere le polveri trascinate utilizzando un separatore statico, composto da particelle di perlite, e un filtro mobile di sabbia;
- Steam cracking catalitico del catrame.

Sono stati brevettati dei catalizzatori in grado di decomporre il 99% dei composti catramosi e il 97% degli idrocarburi policiclici aromatici, in particolare il naftalene.

Affinché la gassificazione della biomassa finalizzata alla produzione di idrogeno si sviluppi su scala industriale e commerciale, è necessario migliorare la ricerca nei seguenti settori:

- preparazione dell'alimentazione: a differenza dei combustibili fossili, la biomassa è disseminata in vari punti e mancano le infrastrutture che possano garantire un approvvigionamento di alimentazioni di alta qualità a basso costo; inoltre sussistono problemi nella raccolta e nel trasporto agli impianti di gassificazione. Mentre la preparazione di materiale legnoso utilizzato negli impianti a bassa pressione è attualmente efficiente, diventa più complicato ottenere alimentazioni idonee per impianti ad alta pressione;

- gassificazione della biomassa: è importante approfondire il ruolo degli additivi catalitici e non catalitici sulla resa del gas prodotto e sui parametri termodinamici del sistema di reazione; inoltre è fondamentale incrementare la selettività dei catalizzatori;
- trattamento e depurazione del gas grezzo: questa fase di processo rappresenta il punto di maggiore criticità dal punto di vista ambientale, in quanto è necessario rimuovere le polveri, le sostanze catramose e alcaline, i cloruri e l'ammoniaca; un'inefficiente depurazione del gas comporta costi aggiuntivi di separazione nelle correnti effluenti a valle del gassificatore;
- integrazione del sistema produttivo: un ruolo di primaria importanza è svolto dall'integrazione del gassificatore con qualcuna delle applicazioni tecnologiche dell'idrogeno; per esempio si potrebbe accoppiare un impianto di gassificazione con le celle a combustibile ad alta temperatura;
- valutazione del mercato: per portare a livelli altamente competitivi tali impianti, diventa indispensabile determinare gli aspetti economici del processo, i loro vantaggi rispetto alle alternative convenzionali e quindi il potenziale mercato dei gassificatori;
- divulgazione delle informazioni e decisioni politiche: la diffusione di tali tecnologie da fonti rinnovabili, dipende fortemente da una capillare divulgazione delle informazioni in merito; a tal proposito diventano fondamentali le documentazioni riguardo l'efficienza dei gassificatori di biomassa, l'enfasi nei confronti degli impianti pilota che hanno dato buoni risultati e la soluzione degli eventuali inconvenienti incontrati; inoltre il decollo degli impianti di gassificazione è legato agli incentivi e alle politiche energetiche che incoraggino e favoriscano l'utilizzo di fonti rinnovabili [31].

1.7.4. – Biofuels

Il termine biofuels potrebbe riferirsi anche ai combustibili usati per la produzione di energia elettrica, ma in genere si riferisce ai combustibili liquidi impiegati nei mezzi di trasporto. Tra i biofuels sono compresi alcol, esteri, eteri e altri composti chimici prodotti dalla biomassa. I più comuni biofuels sono senza dubbio il bioetanolo sintetizzato dai carboidrati e il biodiesel (un estere) ottenuto da grassi e oli. Nonostante l'etanolo ottenuto dagli amidi e dagli zuccheri stia fornendo un buon contributo sotto il profilo energetico ed ambientale, in seguito verrà esaminato l'etanolo prodotto da biomassa cellulosica come piante erbacee e legnose, residui agricoli e forestali e da grandi quantità di scarti urbani e industriali. Infatti, mentre gli amidi e gli zuccheri costituiscono un modesto quantitativo di materiale derivante dalle piante, la cellulosa e

l'emicellulosa, che sono polimeri delle molecole dello zucchero, rappresentano la maggior parte della biomassa. I benefici legati ai biofuels derivano dal fatto di avere un impatto ambientale più contenuto rispetto ai derivati del petrolio e di usare materiali di scarto che solitamente non vengono utilizzati. Infine saranno brevemente analizzati altri due biofuels, il metanolo e i composti della benzina corretti.

Bioetanolo: l'etanolo risulta un prodotto utilizzabile anche nei motori a combustione interna normalmente di tipo "dual fuel", come riconosciuto fin dall'inizio della storia automobilistica. Se, però, l'iniziale ampia disponibilità ed il basso costo degli idrocarburi avevano impedito di affermare in modo molto rapido l'uso di essi come combustibili, dopo lo shock petrolifero del 1973 sono stati studiati numerosi altri prodotti per sostituire il carburante delle automobili (benzina e gasolio). Oggi, tra questi prodotti alternativi, quello che mostra il miglior compromesso tra prezzo, disponibilità e prestazioni è proprio l'etanolo, o più probabilmente il suo derivato ETBE (EtilTertioButilEtere), ottenuto combinando un idrocarburo petrolifero (l'isobutene) e l'etanolo.

La sintesi dell'etanolo da biomassa è articolata in quattro stadi: produzione della biomassa fissando la CO₂ atmosferica in carbonio organico; conversione della biomassa in un'alimentazione utilizzabile per la fermentazione (di solito sotto forma di qualche zucchero) applicando uno dei molti processi tecnologici disponibili: tale conversione costituisce lo stadio che differenzia le varie soluzioni tecnologiche nella sintesi del bioetanolo; fermentazione degli intermedi della biomassa usando biocatalizzatori (microrganismi come lievito e batteri) per ottenere etanolo in una soluzione poco concentrata: tale stadio può essere considerato come la più antica forma di biotecnologia sviluppata dall'uomo; processando il prodotto della fermentazione si ottiene etanolo combustibile e sottoprodotti utilizzabili nella produzione di altri combustibili, composti chimici, calore ed energia elettrica.

I processi industriali più diffusi sono: idrolisi di un acido concentrato, idrolisi di un acido diluito, idrolisi enzimatica e ciclo combinato gassificazione-fermentazione.

Questi processi, pur essendo tra loro diversi, prevedono come ultimo stadio di sintesi la fermentazione.

La **fermentazione alcolica** è un processo di tipo micro-aerofilo che opera la trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in etanolo.

Per la descrizione del *primo processo* si prenderà come riferimento il processo adottato dalla Arkenol. In esso l'alimentazione, formata da cellulosa ed emicellulosa preventivamente essiccata ad un'umidità del 10% per assorbire più acido, viene decristallizzata (vale a dire

avviene la rottura dei legami idrogeno presenti nella struttura cristallina ordinata delle catene cellulosiche ad opera di un acido concentrato rendendola amorfa) aggiungendo acido solforico al 70% - 77%. Il rapporto d'alimentazione acido:cellulosa ed emicellulosa è di 1,25:1, la temperatura operativa è meno di 50°C. Successivamente si opera l'idrolisi e la diluizione dell'acido con acqua abbassando la sua concentrazione al 20% - 30%, si esegue un riscaldamento per circa un'ora che provoca il rilascio degli zuccheri. Il gel formatosi nel reattore viene pressato per separare la corrente acido/zucchero dal residuo solido, che è sottoposto ad ulteriore idrolisi, dalla quale si separa la lignina e una nuova corrente acido/zucchero, che verrà mescolata con la precedente. La corrente acido/zucchero passa in una colonna di distillazione cromatografica per ottenere una resa elevata e una separazione spinta dell'acido dagli zuccheri. Tale accorgimento è stato introdotto dai ricercatori della University of Southern Mississippi. Il distillato della colonna contiene l'acido, mentre il fondo la corrente degli zuccheri. L'acido viene concentrato in un evaporatore a triplo effetto, mentre gli zuccheri (xilosio e glucosio) sono convertiti in etanolo con il processo di fermentazione. La loro conversione è prossima a quella di equilibrio che si attesta all'85% e 92% rispettivamente. L'Arkenol riporta come specifiche di processo una separazione minima acido/zucchero in colonna del 98% e una perdita di acido nella corrente di fondo non superiore al 3%.

Il secondo processo può essere schematizzato nel seguente modo: l'idrolisi con acido diluito avviene in due stadi per tenere conto della differenza tra emicellulosa e cellulosa. Nel primo stadio si lavora in condizioni operative più blande: a tale livello si massimizza la resa dell'emicellulosa, che è più facilmente idrolizzabile. Nel secondo stadio avviene l'idrolisi della cellulosa, che è più resistente. I liquidi idrolizzati sono recuperati dal rispettivo stadio e fermentati ad alcol. La fase solida uscente dai reattori di idrolisi e contenente cellulosa e lignina viene usata come combustibile nelle caldaie per produrre energia elettrica e vapore. Nonostante siano stati testati diversi reattori, i reattori a percolazione risultano ancora oggi i più affidabili. Sono stati provati su scala industriale reattori continui in equicorrente "pulping" (riducono l'alimentazione in poltiglia), ma hanno una resa inferiore rispetto ai reattori a percolazione. L'NREL ha riportato i seguenti risultati per l'idrolisi con acido diluito di legno dolce nelle condizioni operative sotto elencate: primo stadio: acido solforico allo 0,7%, 190°C, tempo di permanenza di 3 minuti; secondo stadio: acido solforico allo 0,4%, 215°C, tempo di permanenza di 3 minuti.

I risultati più rimarchevoli sono: resa dell'89% per il mannosio, dell'82% per il galattosio e del 50% per il glucosio; la fermentazione con *Saccharomyces cerevisiae* garantisce una resa in etanolo del 90% di quella d'equilibrio.

Si ricorda che la resa indica la quantità totale di prodotto formata e la quantità totale di reagente chiave limitante alimentata.

L'idrolisi enzimatica rappresenta l'innovazione tecnologica più recente nel processo di produzione dell'etanolo da biomassa. Infatti mentre la chimica della sintesi degli zuccheri da sostanze legnose vanta 200 anni di ricerca e di storia e 100 anni di sviluppo processistico, l'uso degli enzimi per l'idrolisi della biomassa è iniziato circa 50 anni fa. L'origine degli studi risale alla seconda guerra mondiale, quando l'esercito americano iniziò una ricerca per capire le cause del deterioramento degli indumenti e degli equipaggiamenti nelle giungle del Sud Pacifico. Nel monitoraggio di migliaia di campioni raccolti nella giungla si giunse all'identificazione del microrganismo più importante fra gli enzimi della cellulasi, il *Trichoderma viride* (noto anche come *Trichoderma reesei*), il quale viene considerato come il capostipite di molti fra i più potenti funghi che producono enzimi oggi in commercio.

La prima applicazione degli enzimi nell'idrolisi del legno in un processo dell'etanolo fu molto banale: infatti fu sostituita lo stadio di idrolisi acida con uno di idrolisi enzimatica. Tale processo è noto come SHF (separate hydrolysis and fermentation), prevede molte opzioni sul pretrattamento dell'alimentazione, come stadi termici e chimici.

Un miglioramento del SHF ha portato alla simultanea saccarificazione e fermentazione (SSF), processo brevettato dalla Gulf Oil Company e l'University of Arkansas. Infatti l'SSF riduce il numero di reattori usati eliminando il reattore per l'idrolisi separata e soprattutto superando il problema legato all'inibizione del prodotto dovuto agli enzimi. In presenza di glucosio, la β -glucosidasi blocca l'idrolisi del cellobiosio, il quale sospende la degradazione della cellulosa. Nel processo SSF è stata perfezionata la cofermentazione di substrati multipli di zucchero, nota come SSCF (Simultaneous Saccharification and CoFermentation).

Nel processo di gassificazione e fermentazione la biomassa è convertita in gas di sintesi, formato da CO, CO₂ e H₂ con uno stadio di gassificazione. Tale processo è stato oggetto di studio negli ultimi 20 anni: esso comporta problemi di carattere economico, non tecnico. In passato i prodotti della gassificazione erano l'energia elettrica o fonti di calore, che hanno un basso valore commerciale tale da non giustificare investimenti nel settore. Tuttavia se la gassificazione viene accoppiata con la produzione di combustibili liquidi di buon valore commerciale, la combinazione potrebbe rappresentare una tecnologia di energia alternativa percorribile. Dopo la gassificazione i batteri anaerobici come il *Clostridium ljungdahlii* convertono il gas di sintesi in etanolo. Le velocità del processo sono più elevate, in quanto lo stadio limitante è il trasferimento

di materia all'interfacies liquido-gas (enzimi-gas di sintesi), mentre nei processi finora analizzati lo stadio limitante era l'attacco dei batteri sul substrato organico [25].

Biodiesel: gli oli vegetali, i grassi animali e i grassi da cucina riciclati possono essere trasformati in biodiesel usando una serie di tecnologie di esterificazione e transesterificazione, in condizioni operative di bassa temperatura e pressione. Una generica reazione di esterificazione prevede come reagenti un alcol e un acido per ottenere un estere e acqua. Gli esteri sono liquidi o solidi, solubili in solventi organici e hanno un odore gradevole. Gli oli e i grassi sono formati principalmente da trigliceridi - composti chimici di acidi grassi e glicerina – e acidi grassi liberi. Gli acidi grassi liberi si legano al metanolo (si può in alternativa usare anche l'etanolo) per produrre biodiesel in ambiente acido, mentre i trigliceridi sono trasformati in biodiesel e glicerina in ambiente basico, usando idrossido di sodio come catalizzatore.

La glicerina è un prodotto secondario, che può essere usato nella produzione di creme per le mani, pasta dentifricia e lubrificanti.

L'attuale produzione del biodiesel in USA è basata principalmente sull'olio di soia e sul grasso animale usato in cucina, che sono entrambi molto abbondanti. A prescindere dal processo e dai reagenti di partenza, il biodiesel deve rispettare rigorose specifiche per essere usato come combustibile.

L'uso del biodiesel diminuisce la dipendenza energetica dai combustibili fossili, riduce le emissioni dei gas serra e i rischi della salute dovuti all'inquinamento atmosferico. Non è tossico ed è biodegradabile in 30 giorni. Il diesel mescolato al biodiesel triplica la sua biodegradabilità, Contiene tracce di zolfo, che rientrano tuttavia nei nuovi parametri previsti dall'EPA. E' sicuro da maneggiare e da trasportare ed ha un punto di flash superiore più alto del diesel petrolifero. Può essere stoccato negli stessi serbatoi del diesel e pompato con gli usuali mezzi tranne che nelle giornate fredde, durante le quali bisogna usare riscaldatori dei serbatoi o agitatori; è completamente miscibile col diesel e ciò lo rende un additivo molto flessibile. Il biodiesel, essendo un prodotto ossigenato, migliora il completamento della combustione, e la riduzione di emissioni inquinanti è proporzionale alla sua concentrazione nelle miscele. Uno svantaggio del biodiesel è l'emissione di NOx: la ricerca sta concentrando gli sforzi per mitigare il problema.

Inoltre le prestazioni dei motori (consumo, potenza e coppia) che utilizzano biodiesel puro diminuiscono dell'8-15% rispetto al diesel tradizionale, a causa dei diversi contenuti energetici (121000 Btu e 135000 Btu rispettivamente). Per risolvere i problemi sopra citati si usa il B20, una miscela di diesel e biodiesel al 20%.

Una miscela di biodiesel, etanolo (fino al 15% in volume) e un additivo come un emulsionante o un cosolvente è chiamata e-diesel. La miscela si prepara con un mescolamento a spruzzo, un processo poco rigido, che non richiede apparecchiature particolari e controllo della temperatura. L'e-diesel riduce molto le emissioni di particolati dovuti al diesel tradizionale [33].

Metanolo e composti della benzina corretti: noto anche come alcol del legno, il metanolo è prodotto di solito dal gas naturale, ma può essere altresì sintetizzato dalla biomassa. Il processo più diffuso è la gassificazione della biomassa, che consiste nel vaporizzare la biomassa ad alta temperatura, rimuovere le impurezze dal gas caldo e farlo passare su un catalizzatore, che provvede alla sua conversione in metanolo.

I composti della benzina corretti e prodotti dalla biomassa fungono da additivi dei carburanti per ridurre le emissioni inquinanti. I più usati sono il metilterzbutiletere (MTBE) e l'etilterzbutiletere (ETBE).

Di seguito viene riportata la normativa di riferimento in materia di biofuels:

- Dir. UE 536/85: regola la miscelazione delle benzine con composti ossigenati (max. 5% etanolo, max 15% etbe). Recepita dallo Stato italiano con decreto del 8/04/1994;
- Reg. UE 334/93: Concede la facoltà di stipulare contratti di coltivazione per la produzione di biocarburanti (etanolo, EBTE, biodiesel), a condizione che il sottoprodotto non superi il valore economico del prodotto principale;
- Legge 427/92: Istituisce la defiscalizzazione del biodiesel entro i limiti di un contingente annuo. Sottopone l'ETBE al medesimo regime fiscale dei carburanti di origine fossile;
- D.L. 260/94: Fissa il contingente di biodiesel in regime di esenzione a 125.000 tonnellate [35].

1.7.5. - Bioproducts

Qualunque composto sintetizzabile dai combustibili fossili può essere ugualmente prodotto dalla biomassa. Questi bioprodotti (bioproducts) sono realizzati pertanto da fonti energetiche rinnovabili e di solito la loro produzione necessita di quantitativi energetici inferiori rispetto ai loro omologhi basati sul petrolio. I ricercatori hanno accertato che i processi utilizzati per produrre biofuels, possono essere combinati per ottenere antigelo, materie plastiche, colla, dolcificanti artificiali e pasta dentifricia.

Altri reagenti per ottenere bioproducts sono il monossido di carbonio e l'idrogeno.

Essi si formano in abbondanza nel riscaldamento della biomassa con la presenza di ossigeno. Questa miscela CO-H₂ è nota come gas di biosintesi, da cui sono sintetizzati materie plastiche e acidi indispensabili nella produzione di pellicole fotografiche, fibre tessili e sintetiche. Quando la biomassa è riscaldata in assenza di ossigeno si forma l'olio di pirolisi, da cui è estraibile il fenolo, intermedio usato nella produzione di adesivi per il legno, stampi di plastica e schiuma isolante.

1.7.6. - Vantaggi e svantaggi della biomassa

I principali vantaggi della biomassa sono i seguenti:

- la biomassa è molto abbondante, si trova in quasi ogni parte della terra costituita da alghe, alberi e letame;
- è rinnovabile grazie alla possibilità di rimboschimento;
- è facilmente convertibile in combustibili ad alto potere energetico (alcool, gas);
- è economica;
- con la sua produzione si possono rigenerare terre desolate (aree disboscate);
- può sfruttare le zone inutilizzate dall'agricoltura e creare occupazione nelle comunità rurali;
- se prodotta da risorse rinnovabili, l'uso di energia da biomassa non provoca un aumento di livelli di CO₂ poiché le piante la riassorbono durante la loro crescita (fotosintesi); produce pochissimo zolfo, riducendo così la produzione di piogge acide.

I principali svantaggi:

- la combustione della legna può essere pulita quanto altamente inquinante e per questo, per ottenere alta qualità e buon rendimento, è necessario l'utilizzo di tecnologie avanzate che ancora scarseggiano;
- carenza di una precisa programmazione, di una strategia nazionale e di un piano operativo di settore che si congiunga agli aspetti ambientali, agricoli, forestali, rurali e dei trasporti;

- non si conoscono i benefici diretti e indiretti che potrebbero riguardare l'intera popolazione;
- gli attuali strumenti di mercato sono inadeguati;
- troppa difficoltà nelle procedure autorizzate;
- l'opinione pubblica non è ancora informata correttamente;
- mancanza di strutture di collegamento tra ricerca, industria ed Amministrazioni pubbliche.

1.7.7. - Stato delle biomasse

Ad oggi, le biomasse soddisfano il 15% circa degli usi energetici primari nel mondo, con 55 milioni di TJ/anno (1230 Mtep/anno). L'utilizzo di tale fonte mostra, però, un forte grado di disomogeneità fra i vari Paesi. I Paesi in Via di Sviluppo, nel complesso, ricavano mediamente il 38% della propria energia dalle biomasse, con 48 milioni di TJ/anno (1074 Mtep/anno), ma in molti di essi tale risorsa soddisfa fino al 90% del fabbisogno energetico totale, mediante la combustione di legno, paglia e rifiuti animali.

Nei Paesi Industrializzati, invece, le biomasse contribuiscono appena per il 3% agli usi energetici primari con 7 milioni di TJ/anno (156 Mtep/anno). In particolare, gli USA ricavano il 3,2% della propria energia dalle biomasse, equivalente a 3,2 milioni di TJ/anno (70 Mtep/anno); l'Europa, complessivamente, il 3,5%, corrispondenti a circa 40 Mtep/anno, con punte del 18% in Finlandia, 17% in Svezia, 13% in Austria, l'Italia, con il 2% del proprio fabbisogno coperto dalle biomasse, è al di sotto della media europea.

L'impiego delle biomasse in Europa soddisfa, dunque, una quota piuttosto marginale dei consumi di energia primaria, ma il reale potenziale energetico di tale fonte non è ancora pienamente sfruttato.

All'avanguardia, nello sfruttamento delle biomasse come fonte energetica, sono i Paesi del centro-nord Europa, che hanno installato grossi impianti di cogenerazione e teleriscaldamento alimentati a biomasse. La Francia, che ha la più vasta superficie agricola in Europa, punta molto anche sulla produzione di biodiesel ed etanolo, per il cui impiego come combustibile ha adottato una politica di completa defiscalizzazione.

La Gran Bretagna invece, ha sviluppato una produzione trascurabile di biocombustibili, ritenuti allo stato attuale antieconomici, e si è dedicata in particolare allo sviluppo di un vasto ed

efficiente sistema di recupero del biogas dalle discariche, sia per usi termici che elettrici. La Svezia e l'Austria, che contano su una lunga tradizione di utilizzo della legna da ardere, hanno continuato ad incrementare tale impiego sia per riscaldamento che per teleriscaldamento, dando grande impulso alle piantagioni di bosco ceduo (salice, pioppo) che hanno rese 3÷4 volte superiori alla media come fornitura di materia prima. Nel quadro europeo dell'utilizzo energetico delle biomasse, l'Italia si pone in una condizione di scarso sviluppo, nonostante l'elevato potenziale di cui dispone, che come esposto nel proseguo risulta non inferiore ai 27 Mtep.

Non viene considerata rinnovabile, sebbene "non fossile", l'energia nucleare, in quanto il suo utilizzo dipende comunque da riserve limitate di materiali che non si rigenerano alla stessa velocità con cui vengono consumate e ancora, al contrario delle altre citate, pongono seri problemi di sicurezza e di smaltimento dei prodotti di scarto [4] [6].

Capitolo 2 - Fasi del processo produttivo nell'impianto di trasformazione

2.1. - Approvvigionamento e gestione della materia prima

Grazie alla gestione dell'approvvigionamento della materia prima l'impianto ha la garanzia di un apporto costante di biomassa vegetale, la quale è composta principalmente dalle seguenti specie legnose: Pino D'Aleppo, Pino Domestico, Pino nero, Pioppo, Faggio, Leccio, Querce e molti residui di potature di ulivo e di alberature stradali. Questa garanzia è dovuta al fatto che vengono stipulati dei contratti annuali con i fornitori di legname, i quali arrivano con i propri mezzi e scaricano il legname, di circa 2-2,5 metri di lunghezza, direttamente nel grande piazzale di stoccaggio (ca. 1 ha) adiacente al capannone di trasformazione.

Tutto il materiale appena scaricato viene depezzato, tramite un operatore munito di motosega, e subito accatastato per mezzo di un caricatore idraulico Modello Dalla Bona AS 410 attaccato alla presa di forza di una vecchia trattrice Fiat 100/90 DT da 100 CV.



Figura 1: Caricatore idraulico DALLA BONA AS410 nell'operazione di accatastamento del legname scaricato nel piazzale di stoccaggio

Le cataste hanno delle dimensioni di circa 15 x 2,5 x 3 metri (circa 50 t l'una). Appena ultimate, vengono subito coperte con dei teli che vengono distesi nella parte superiore, poi fissati con degli spaghi elastici su entrambe i lati. Con la copertura delle cataste si provvede ad una prima parziale riduzione dell'umidità interna del legno, soprattutto perché si impedisce all'acqua piovana di bagnare il materiale. Essendo molto pesanti, queste coperture sono dotate di un sistema di avvolgimento meccanizzato fissato su dei supporti di ferro, che fanno anche da struttura portante per appoggiare la catasta.

Nel piazzale vi sono 26 cataste di questo tipo, ma solo tredici strutture in ferro per l'avvolgimento dei teli, perché ne è necessaria una per due cataste.

Per determinare la quantità di legname che può contenere il piazzale, basta effettuare una semplice operazione, moltiplicando il peso di una catasta per il numero delle stesse presenti all'interno dell'area. Eseguendo questo calcolo, si evince che la quantità di legname coperto è di ca. 1300 t, al quale va aggiunto altro legname che viene accatastato lungo i tre lati del perimetro dell'area stessa, che orientativamente si aggira intorno a 1500 t. Il quantitativo totale di legname, quindi, stoccabile all'interno del suddetto piazzale è di ca 2800 t. Tutto il materiale legnoso viene tenuto accatastato per circa 3 mesi al fine di provvedere ad una prima parziale riduzione dell'umidità interna del legno.



Figura 2: *cataste coperte con i teli avvolgibili disposte al centro del piazzale di stoccaggio*



Figura 3: *a destra particolare di una catasta di legname ultimata e coperta con telo avvolgibile, e a sinistra una catasta di ramaglia non coperta*

2.2. - Linea di produzione dei chips

Il processo di lavorazione inizia con il trasporto del materiale legnoso dal piazzale al capannone di trasformazione. Questa fase è effettuata caricando un rimorchio con il caricatore idraulico AS 410, il quale viene immediatamente trasportato e scaricato, grazie ad una trattrice Modello Mc.Cormik da 85 CV, nell'apposito spazio per l'alimentazione della cippatrice.



Figura 4: rimorchio fisso in fase di caricamento;

Dalla figura 5 si vede molto bene il sistema meccanizzato di alimentazione della macchina cippatrice, costituito da un caricatore idraulico Mod. Dalla Bona AS 31 il quale è azionato da una pompa oleodinamica movimentata da un propulsore elettrico da 4 kW di potenza. La velocità dei movimenti di questo braccio idraulico, garantisce l'alimentazione della macchina cippatrice.



Figura 5: legname di pino scaricato nello spazio di alimentazione della cippatrice e particolare del caricatore idraulico fisso Modello Dalla Bona AS 31 per l'alimentazione della macchina

2.2.1. - Fase di cippatura

Il cippatore presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

Sistema di alimentazione:

costituito da una catena trasportatrice anteriore, che porta i tronchi di legno verso la bocca d'ingresso, come si evince dalla figura 6. Inoltre è presente un rullo dentato superiore, la cui posizione che può essere modulata manualmente dall'operatore o automaticamente dalla macchina stessa. Un rullo dentato inferiore di dimensioni più ridotte rispetto al primo, che è fisso e posizionato all'interno del telaio. Tutti e due sono mossi da propulsori oleo dinamici, i quali sfruttano la pressione dell'olio idraulico, generata da una pompa messa a sistema con il motore centrale della cippatrice.



Figura 6: particolare del sistema di alimentazione della macchina cippatrice

Sistema di taglio:

l'organo ruotante è costituito da un tamburo da 690 mm di diametro, molto pesante, provvisto di due lame, disposte in posizione assiale a 180° l'una dall'altra. I coltelli sono attaccati al tamburo con bulloni, che consentono di regolare la sporgenza delle lame in base alla dimensione desiderata delle scaglie da produrre.



Figura 7: tamburo rotante con dettaglio dei bulloni di fissaggio del coltello

La rotazione dell'organo di taglio viene trasmessa con un sistema di cinghie e pulegge direttamente dal propulsore principale, che ha una potenza massima di 90 kW.



Figura 8: particolare del propulsore principale della cippatrice

Sistema di espulsione del materiale:

il materiale cippato viene spinto da una coclea verso il ventilatore posteriore ed espulso tramite il convogliatore di scarico regolabile a 360°.



Figura 9: parte posteriore della macchina, con sistema di espulsione del materiale

Sistema e modalità di caricamento:

si tratta di un sistema meccanizzato che garantisce l'alimentazione del cippatore. Come anticipato precedentemente si parla del caricatore idraulico Mod. Dalla Bona AS 31, il quale è azionato da un propulsore elettrico da 4 kW. Questo elemento si trova in un punto preciso fissato a terra in posizione laterale rispetto al sistema di alimentazione della macchina. Questa precisa posizione è stata scelta proprio perché risulta la più idonea e la più produttiva, per il fatto che l'operatore ha una visione globale del processo, potendo intervenire ogni volta tempestivamente per effettuare le regolazioni manuali ad ogni caricamento. Per quanto riguarda la produttività della macchina bisogna sottolineare che incide in maniera notevole la preparazione e l'esperienza dell'operatore. Infatti si deve ricordare che è la velocità d'imbocco di un ciocco dopo l'altro, senza tempi morti, a garantire la massima redditività. La figura 10, illustra la modalità di carico. L'operatore, tramite i comandi idraulici, afferra il tronco e lo porta in prossimità della catena trasportatrice, il cui movimento permette ai rulli di agganciare immediatamente il pezzo e di spingerlo contro l'organo di taglio. Ovviamente non appena il tronco viene posizionato l'operatore può lasciare la presa e passare al tronco successivo.



Figura 10: dettaglio della modalità di caricamento del cippatore

2.2.2. - Fase di triturazione

Andando avanti nella descrizione della linea di cippatura, si incontra il successivo macchinario, il “Trituratore”. Tale macchina è composta da un telaio esterno munito di una tramoggia di caricamento nella parte superiore, dove viene immesso direttamente il materiale espulso dal cippatore, che grazie ad uno spintore idraulico viene schiacciato contro un organo di triturazione. Quest’ultimo è costituito da un cilindro dentato che lavora ad una bassa velocità di rotazione, il quale sminuzza e sbriciola il prodotto che viene inserito. Nella parte inferiore del cilindro c’è una lamiera forata ¹ che serve per vagliare, quindi rendere la pezzatura del prodotto omogenea. Il materiale esce dai fori della lamiera e cade direttamente in una tramoggia che lo convoglia in una coclea.



Figura 11: particolare del trituratore che viene alimentato dal condotto di scarico della cippatrice

¹ Si tratta di una lamiera sagomata molto robusta, delle spessore di 15 mm. Fonte: libretto di uso e manutenzione del trituratore.

Quest'ultima serve a trasportare il cippato nel silos di vagliatura, che è un grande contenitore con un vaglio al suo interno, il cui scopo è quello di separare il prodotto.



Figura 12: *silos di vagliatura*

2.2.3. - Fase di vagliatura

Il vaglio vibrante a tre piani posizionato all'interno del silos, riceve il flusso del prodotto portato dalla coclea di caricamento e ne determina la separazione. La parte più grossolana del cippato, insieme alla polvere, che costituiscono lo scarto, vengono separate dalle scaglie intermedie, le quali per forza di gravità cadono sul fondo del silos. Tale processo è di fondamentale importanza per un'efficace diversificazione dei prodotti finiti (pellet e cippato). Infatti, il cippato di granulometria intermedia è così pronto per essere commercializzato dopo essere stato confezionato o imballato in big bag, mentre il residuo di vagliatura sarà nuovamente trasformato per la produzione di pellet. La polvere viene trasportata dall'aspiratore direttamente in un contenitore posizionato al di sotto della struttura che lo compone (fig.18), mentre le scaglie grossolane vengono trasferite, tramite il carrello elevatore, presso la serra di accumulo.

Cassone
di scarico



Figura 13: struttura esterna dell' aspiratore

2.2.4. - Fase di insacchettatura

Prima di descrivere questa fase, bisogna premettere che sul fondo del silos vi è installato un agitatore meccanico che permette alle coclee di scarico di pescare tutto il materiale e trasportarlo poi nell'insaccatrice.

Tale macchina è composta da una prima tramoggia, che viene riempita dal materiale scaricato direttamente dalla coclea del silos; una piastra vibrante ha il compito di riempire una seconda tramoggia la quale è collegata ad una bilancia elettrica. Grazie alle regolazioni che si possono effettuare tramite un display, si imposta il peso predefinito e la macchina crea delle dosi uguali in base al parametro inserito, in modo che tutti i sacchetti vengano riempiti con la stessa quantità di prodotto.

Per terminare tale fase l'operatore deve saldare il sacco pieno nell'estremità superiore, tramite una termosaldatrice, la quale è posizionata accanto alla tramoggia di scarico. Una volta terminata la saldatura del sacchetto, l'operatore lo sistema nella posizione corretta, sopra un pallet di legno. Il prodotto finito, viene poi imballato con un film estensibile ed infine reggettato, in modo da assumere stabilità per facilitare la movimentazione e il trasporto.





Figura 14: *a sinistra aspetto del cippato intermedio sfuso, a destra macchina insaccatrice, sotto tramoggia di scarico e termosaldatrice*

Utilizzando il carrello elevatore, il pallet di cippato insacchettato così come le confezioni in big-bag vengono stoccati, pronti per la vendita, in un magazzino di deposito.



Figura 15: *cippato in sacchi imballato in pallet di legno e stoccato in magazzino*

2.3. - Linea di pellettizzazione

La fase di pellettizzazione è un processo direttamente connesso a quello della cippatura. Infatti il pellet è il prodotto ottenuto da un'ulteriore lavorazione del cippato. Come precedentemente descritto il processo di vagliatura del cippato, crea il materiale primario per la lavorazione del pellet. Tale materiale una volta scaricato dal silos, viene trasferito, come già detto, in una serra di accumulo, vicino al capannone di trasformazione.



Figura 16: a destra la serra di deposito, a sinistra il dettaglio del materiale al suo interno

2.3.1. - Fase di caricamento

Il materiale viene prelevato dalla serra di accumulo e scaricato mediante un bobcat direttamente nel silos esterno che è dotato di un'apertura superiore in cui l'operatore inserisce la benna del mezzo.



Figura 17: a destra bobcat in fase di caricamento nella serra, a sinistra silos n°1 con apertura superiore, in basso dettaglio dell'agitatore

Nella figura a destra si nota la grande apertura superiore del silos, il quale è dotato anche di un agitatore inferiore, che risulta essere una caratteristica propria di tutti i silos presenti nel cantiere. Questo permette alla coclea, ad esso connessa, di traslocare il materiale nell'essiccatoio a ciclo continuo, disposto all'interno del capannone.

2.3.2. - Riduzione dell'umidità interna del materiale

La produzione del pellet è facilitata se si dispone di un prodotto che abbia un'umidità allo stato secco compresa nel range 12-15% [12] [18]. Quindi, per arrivare ad avere un materiale idoneo c'è la necessità di sottoporre il prodotto ad un processo di essiccazione artificiale, che viene effettuato nell'asciugatoio a ciclo continuo, il cui funzionamento è il seguente:

- il materiale viene caricato mediante una coclea che trasporta il prodotto in un grande cilindro rotante, all'interno del quale si trovano delle palette che mescolano continuamente il cippato;
- il cilindro ruota con un asse non allineato orizzontalmente, poiché questa posizione determina l'avanzamento del prodotto sfruttando un gioco di livelli.

Tutto il processo avviene in un ambiente riscaldato da delle resistenze elettriche posizionate longitudinalmente alla struttura. Le dimensioni di tale macchinario sono 7 metri di lunghezza e 2,5 metri di larghezza. Il calore e l'agitazione meccanica determinano una perdita di umidità interna del materiale stesso, che si manifesta in vapore acqueo, il quale viene aspirato e convogliato nel condotto di scarico da un ciclone ad aria forzata. Il materiale, dopo aver subito il processo, è trasportato da una coclea al silos che si trova nella parte superiore del raffinatore a martelli.



Figura 18: *a sinistra dettaglio della coclea di caricamento e trasmissione a catena per la rotazione, al centro il sistema di coclee per lo scarico, a destra il ciclone ad aria forzata con condotto di scarico per il vapore*

2.3.3. - Linea di raffinazione

Il materiale, terminata la fase di essiccazione, ha bisogno di un' ulteriore fase di preparazione prima di essere definitivamente trasformato. Infatti in questa fase va ridotta la granulometria del cippato, che viene raffinato e convertito in una pezzatura finale di 3 – 5 mm attraverso un mulino a martelli. Questa macchina è composta da un organo di taglio che viene fatto girare ad alta velocità per mezzo di un propulsore elettrico da 75 kW di potenza all'interno di una struttura circolare composta da una lamiera forata. Il corpo di rotazione è strutturato da un volano di acciaio munito di un sistema di coltelli mobili, che con la rotazione subiscono la forza centrifuga che li fa allargare verso l'esterno, girando velocemente a pochi millimetri dalla lamiera forata. Il materiale viene inserito all'interno di tale struttura mediante una valvola stellare posizionata nella parte inferiore del silos. Questa fase operativa avviene sotto l'azione di un ciclone ad aria forzata, il quale ha il compito di scaricare il materiale raffinato.



Figura 19: In alto a sinistra il rotore interno del mulino, a destra i sistemi di coltelli, sotto a destra il dettaglio della griglia forata e a sinistra il ciclone ad aria forzata adibito allo scarico.

2.3.4. - Fase di pressatura

Una volta che il materiale è stato ridotto di dimensioni attraverso la linea di raffinazione è pronto per essere trasformato definitivamente in pellet. Questo processo avviene in una macchina chiamata cubettatrice, la quale ha la capacità di trasformare il materiale dalla forma disgregata alla forma compatta.

2.3.4.1. - Caricamento

Il caricamento di tale macchina avviene tramite un sistema (alimentatore + condizionatore + alimentazione forzata) posizionato nella parte superiore della stessa. Il materiale scende direttamente da un silos all'alimentatore, che non è altro che una coclea con modulabilità di rotazione, il quale permette di variare la quantità di materiale che si vuole trasformare. Dall'alimentatore il prodotto scende nel condizionatore, nel quale può avvenire la modificazione dell'umidità del materiale.

Questo passaggio si effettua soprattutto quando il prodotto da pressare risulta molto secco, in quanto questo fattore può rappresentare un limite nella successiva fase di pellettizzazione.

L'ultimo stadio della fase di caricamento avviene tramite l'alimentazione forzata, realizzata tramite una ventola, il cui compito è di spingere violentemente il materiale all'interno della trafilatura, dove avviene la fase vera e propria di pressatura.

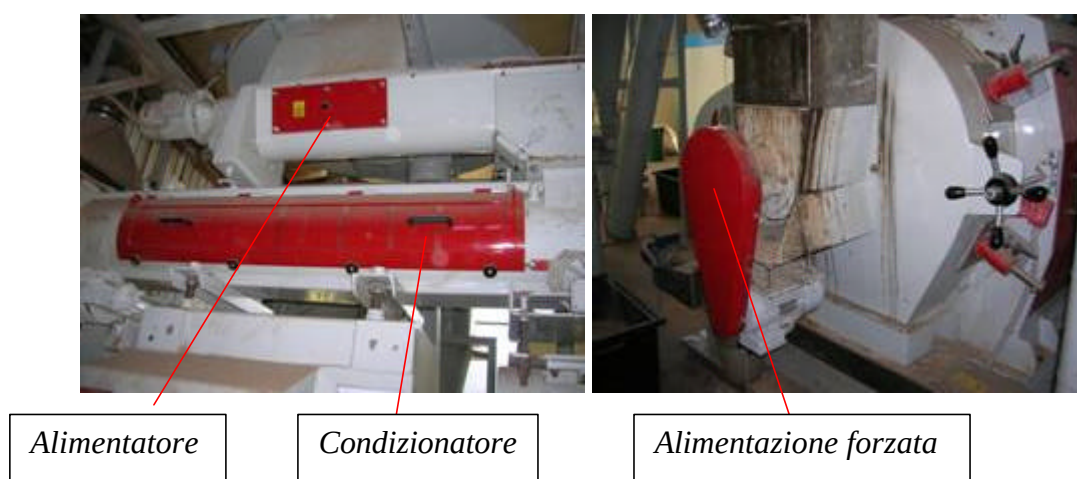


Figura 20: a sinistra il sistema alimentatore + condizionatore, a destra l'alimentazione forzata

2.3.4.2. - Pressatura

Tale fase avviene all'interno del sistema rulli + trafilatura, che rappresentano i componenti principali del gruppo pressa. La trafilatura è un elemento circolare di acciaio con dei fori da 6 mm disposti per tutta la parte centrale, all'interno della quale sono posizionati dei rulli dentati. Al contrario di quanto si possa pensare, la struttura che include i rulli rimane fissa e la trafilatura ruota grazie all'azione di un potente propulsore elettrico, che sviluppa una potenza massima di 110 kW. La modalità di trasmissione della rotazione dal motore alla trafilatura è costituita da un sistema di due pulegge collegate da 18 cinghie. I rulli sono lubrificati tramite una centralina di pompaggio del grasso, che spinge lo stesso da un piccolo serbatoio direttamente ai rulli, tramite un sistema di canali fresati all'interno degli assi. Inoltre, c'è una centralina che pompa l'olio in un circuito chiuso, adibito alla lubrificazione dei cuscinetti dell'asse principale della macchina.



Figura 21: a sinistra centralina di pompaggio dell'olio; a destra serbatoio e centralina di pompaggio del grasso, sotto il grande motore primario

Nella figura 21 è visibile anche un piccolo radiatore raffreddato da una ventola per l'abbassamento della temperatura dell'olio.

Questi rulli sono posizionati quasi a contatto con la trafilatura in maniera tale da pressare il materiale che si interpone tra di essi. Lo schiacciamento della biomassa avviene sulla superficie

interna, tramite l'azione dei due rulli mobili zigrinati, montati su un supporto concentrico ed indipendente dal moto della trafilatura, con un sistema a forcella, affinché detti rulli percorrano il diametro interno della trafilatura in contro-rotazione rispetto al moto dell'utensile. La marcata zigrinatura sulla superficie cilindrica esterna dei rulli di pressione ha la funzione di aumentare l'attrito che si crea tra rullo e biomassa durante la fase di schiacciamento, al fine di impedire che il materiale da estrudere scivoli al di fuori della zona di pressione [2].

La grande pressione che si sviluppa tramite questo processo consente al materiale di penetrare nei fori della trafilatura, fino a compattarsi.

L'azione a ciclo continuo di questo processo genera anche la successiva espulsione dei cilindretti di pellet, ormai realizzati, dalla parte opposta della trafilatura, dove ci sono dei coltelli regolabili che servono a tagliare e regolarizzare il prodotto.

Tale processo provoca un eccessivo aumento di temperatura in relazione alla grande pressione che si sviluppa, di conseguenza, il prodotto risulta eccessivamente caldo per poter essere insaccato. Il problema viene risolto per mezzo di un raffreddatore disposto di seguito alla pressa.



Figura 22: in alto a sinistra complesso del gruppo di pressatura, a destra particolare della trafilatura interna, sotto trafilatura esterna con coltello per la regolarizzazione del prodotto

2.3.5. - Raffreddamento e setacciamento

Il prodotto finito viene raccolto in una tramoggia al di sotto della trafilatura e viene portato, tramite una coclea, in un elevatore a tazze, che lo trasferisce verticalmente immettendolo nel raffreddatore, ossia un contenitore sottoposto ad aspirazione per mezzo di un ciclone ad aria forzata. All'interno di tale struttura il materiale scende velocemente di temperatura e, una volta raggiunto un livello stabilito, viene scaricato grazie ad una griglia mobile che lo lascia cadere direttamente su un vaglio vibrante. Questo setaccio serve per pulire il pellet dal piccolo residuo di polvere che permane ancora. Una volta effettuato questo passaggio, il materiale viene di nuovo trasportato verticalmente nell'ultimo silos di raccolta che si trova sopra all'insaccatrice.



Figura 23: a sinistra il complesso di raffreddamento; a destra setaccio vibrante

2.3.6. - Insaccatura ed imballaggio

L'insaccatrice è semi - automatica in quanto è necessaria la presenza di un operatore il cui compito è quello di sorreggere il sacchetto, situato sopra una bilancia, che viene riempito da un flusso di materiale fino al raggiungimento del peso prestabilito. Tale macchina è fondamentalmente costituita da una valvola pneumatica che si apre in base al comando impartito dall'operatore e si chiude automaticamente al raggiungimento del peso impostato.



Figura 24: Insaccatrice pellet

I sacchetti, una volta riempiti, vengono saldati nella termosaldatrice posizionata accanto alla bilancia e disposti in maniera ordinata sopra un bancale di legno.

Al raggiungimento del peso prestabilito, il bancale viene avvolto dal film estensibile da imballaggio, in modo da dare consistenza e preservare le file di sacchetti.

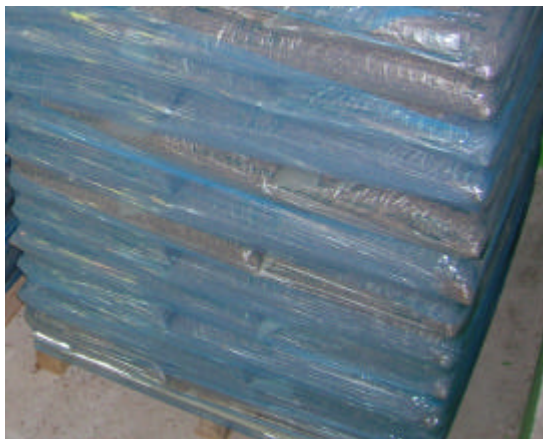


Figura 25: *bancale di pellet finito*

A questo punto possiamo dire che il prodotto è definitivamente finito, quindi pronto per essere stoccato in magazzino, prima della commercializzazione.

2.4. - Aspetto e descrizione dei biocombustibili

2.4.1. - Cippato

Il termine cippato deriva dalla parola inglese “chips”, che letteralmente significa particelle o scaglie. Come abbiamo visto, esso è il risultato della trasformazione, tramite il processo di cippatura, del legno dallo stato compatto solido alla forma disgregata.



Figura 26: *aspetto del cippato*

Le caratteristiche chimico – fisiche, che un buon prodotto deve avere dipendono:

- dall' omogeneità delle scaglie;
- da un adeguato grado di umidità interno;
- dalla specie legnosa utilizzata.

L'omogeneità delle scaglie testimonia il grado di raffinazione del materiale, che aumenta in maniera proporzionale al livello di uniformità dei frammenti.

Per quanto riguarda il contenuto energetico del prodotto bisogna dire che esso diminuisce all'aumentare del contenuto di acqua presente al suo interno: tale funzione è espressa nel seguente grafico:

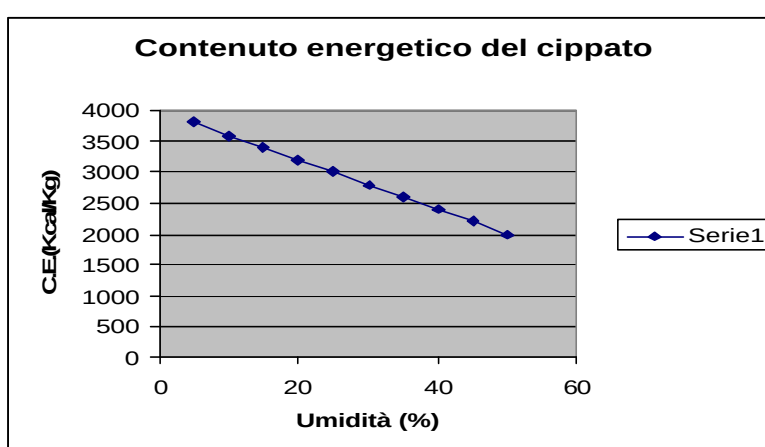


Figura 27: *Contenuto energetico del cippato in base al contenuto di umidità (Fonte: ENEA)*

In base alla specie legnosa utilizzata, cambia sia l'aspetto sia le caratteristiche energetiche del prodotto. Infatti utilizzando essenze resinose si nota un notevole aumento energetico. Il cippato viene utilizzato per la produzione di energia termica, in stufe, caldaie e termocamini, parlando di piccole utenze, o in grandi bruciatori a griglie per il teleriscaldamento o per la produzione di energia elettrica².

² La modalità più conveniente e redditizia di produzione di energia elettrica è la cogenerazione, processo che sfrutta l'energia intrinseca della biomassa, per produrre elettricità e calore.



Figura 28: caldaia a cippato

2.4.2. - Pellet

Il termine **pellet** deriva dall'inglese *pellet*, che vuol dire pallino. Esso è un piccolo cilindretto prodotto con gli scarti della lavorazione del legno naturale .

Ha solitamente forma cilindrica, un diametro variabile tra i 5 e gli 10 mm circa, e una lunghezza che va da 10 a 40 mm.



Figura 29: aspetto del pellet

Viene utilizzato in particolari tipi di impianti per la produzione di calore, ovvero le stufe o caldaie a pellet, e si caratterizza per un basso contenuto di umidità e per l'assenza di sostanze esterne quali vernici, colle, residui di componenti derivanti dal trattamento del legno.

Per questo motivo il pellet, ad esempio, non può essere ricavato dalla macinatura del truciolo o dalla segatura di scarti di mobilifici, ma deve essere costituito da legno naturale con un buon livello di purezza.

Diversi sono i tipi di legno utilizzati per la sua produzione: abete, larice, pino, faggio, etc. Possono anche essere caratterizzati dalla presenza di un legante, come il mais, che contribuisce alla compattazione e ad aumentare il potere calorifico del pellet stesso.

Queste essenze hanno diverse caratteristiche che le rendono preferibili o meno: si nota che larice, pino e abete hanno poteri calorifici superiori rispetto al faggio. Questo è dovuto principalmente alla presenza di resina, che se da un lato va ad aumentare il calore prodotto in funzione della massa introdotta, dall'altro, nel lungo periodo, può provocare incrostazioni e malfunzionamenti della caldaia, rimediabili con una manutenzione leggermente più frequente.

Si tratta quindi di una scelta personale, legata alla disponibilità (e al costo) del pellet.

Esso costituisce un combustibile con eccellenti performance ambientali, un elevato potere calorifico (pari a 4200- 4500 kcal/kg) e, aspetto da non trascurare, di facile stoccaggio e movimentazione, che lo rende competitivo con gli altri combustibili tradizionali.

Il mercato dei pellets può essere un vettore di sviluppo rilevante di attività tra loro correlate come, ad esempio, le attività di raccolta e di conversione delle biomasse, sostituzione, retrofitting e manutenzione dei sistemi di riscaldamento privati, pubblici (scuole, piscine, palestre) ed industriali; realizzazione e gestione di centrali per la produzione di energia.

Capitolo 3 - Materiali e metodi

3.1. - Metodologia per il calcolo del costo di esercizio delle macchine

Non esistendo un unico protocollo ufficiale, l'analisi dei costi è avvenuta considerando i principali metodi proposti in bibliografia da vari autori [11] [19] [21] [26], apportando delle modifiche a parametri e coefficienti, ritenute opportune per l'adattamento alle macchine prese in esame. I costi di acquisto dei macchinari presenti nell'impianto sono stati forniti dall'ufficio amministrativo così come il prezzo corrisposto agli associati per l'approvvigionamento delle materie prime (40 €/t) e quello per la manodopera (8 €/h).

Il costo di esercizio delle macchine, così come quello della maggior parte delle attrezzature, risulta formato da due componenti principali: di queste, una comprende voci di spesa costanti o fisse ed indipendenti dall'utilizzo, mentre l'altra è variabile e proporzionalmente legata all'impiego, cioè alle unità di lavoro svolto (ha, Kg, hl).

Nella componente fissa sono compresi la reintegrazione del capitale investito, gli interessi (costo d'uso del capitale) e le spese inerenti ad assicurazione, ricovero e tasse.

La componente variabile comprende riparazioni, manutenzioni, consumo di materiali, manodopera addetta alla conduzione e al servizio della macchina e le spese di direzione ed amministrazione.

I materiali di consumo includono, a loro volta, combustibili, lubrificanti (oli e grassi), energia elettrica e i materiali aggiuntivi eventualmente necessari alla macchina [13].

3.1.1. - Costi fissi

Ammortamento

L'ammortamento rappresenta la quota annuale da accantonare per poter recuperare il capitale iniziale investito nella macchina. Viene spesso indifferentemente definita anche reintegrazione, ma sarebbe meglio precisare che questa seconda definizione rappresenta l'operazione finanziaria per ricostruire il capitale iniziale mediante rate costanti e posticipate, quindi sempre comprendenti una parte di interessi insieme alla quota capitale.

Per avere un valore riferito ad un'annata media, sarebbe utile che il criterio di calcolo fosse scelto tra quelli che forniscono un valore costante: i due più utilizzati sono quello aritmetico e quello finanziario. Entrambi i sistemi di calcolo valutano il rapporto fra una

differenza di valori (nuovo e di recupero) e del numero di anni di vita utile della macchina; a differenza del primo, però, il secondo, contemplando nozioni di matematica finanziaria, considera sempre gli interessi come se effettivamente si fosse fatto ricorso a credito esterno. Dal momento che in assenza di ricorso al credito esterno difficilmente si procede ad accantonamenti annuali, per questo lavoro si è preferito adottare il procedimento aritmetico. Questo anche perché, secondo gli economisti, la reintegrazione rappresenta proprio la quota di valore perso durante il processo produttivo.

Formula per il calcolo della quota di reintegrazione:

$$\text{Quota di reintegrazione (Qa)} = \frac{V_o - V_r}{n}$$

V_o = valore a nuovo

V_r = valore di recupero

n = vita utile

Per utilizzare questo metodo è necessario quantificare due parametri fondamentali non sempre facilmente determinabili: il valore di recupero e la vita utile delle macchine. Il primo è stato assunto pari al 15%. Questa considerazione si basa sul fatto che il tessuto produttivo dell'Italia è caratterizzato da piccole e medie aziende le quali danno vita ad un mercato dell'usato molto fiorente. Infatti difficilmente una macchina dismessa da una azienda non viene rivenduta ad un'altra, magari più piccola, che beneficia quindi della possibilità di acquisire dispositivi necessari alla propria attività produttiva senza sostenere il pesante onere dell'acquisto di nuovi macchinari. L'altro parametro, la vita utile della macchina, è stato differenziato in funzione del mezzo analizzato. Per la maggior parte delle macchine si è adottato un range di valori variabile da 8 a 10 anni. Valori più bassi sono stati attribuiti ai bracci idraulici (7 anni) e alla trattrice Fiat 100/90 (5 anni).

Interessi

Gli interessi possono essere quantificati secondo due metodologie: in presenza di finanziamento viene adottato il saggio realmente corrisposto all'ente erogatore, altrimenti vengono valutati i saggi riscontrabili in impieghi alternativi scelti dall'operatore. In questo

lavoro si è adottato un saggio di interesse pari al 2,5 % valutato come tasso opportunità di un investimento alternativo.

Comunque, rappresentando gli interessi il costo del capitale investito sono stati calcolati sul valore medio investito nella macchina.

Formula per il calcolo degli interessi:

$$\text{Interessi (Qi)} = [(V_o + V_r)/2] \times i$$

V_o = valore a nuovo

V_r = valore di recupero

i = saggio di interesse

Spese varie (ricoveri, assicurazione, tasse)

Per la determinazione di questi costi è stato utilizzato un procedimento sintetico che prevede il calcolo di queste voci di spesa come una percentuale (k) del prezzo a nuovo della macchina; la percentuale può variare dallo 0,5% al 2%. Il valore più basso è stato attribuito ai dispositivi, per così dire, accessori dell'impianto (coche, pinze caricatori, insaccatrici, ecc.) mentre per le macchine principali (trattrici, cippatrici, gruppo pressa ecc..) la percentuale adottata è dell' 1%.

Formula per il calcolo dei ricoveri:

$$\text{Ricoveri, assicurazioni, tasse} = k \times V_o$$

k = variabile (0,5% - 2%)

V_o = valore a nuovo

3.1.2. - Costi variabili

Manutenzione e riparazioni

Riguardo alle spese di manutenzione e riparazione, occorre precisare che mentre le prime rappresentano l'esborso necessario per mantenere inalterate le caratteristiche funzionali della

macchina in funzione dell'uso e dell'età, le seconde servono a ripristinare l'efficienza perduta in seguito ad eventi casuali o non direttamente riconducibili all'uso.

Nel nostro caso, le spese di riparazione sono state determinate in funzione di un coefficiente di riparazione, del valore a nuovo e della durata fisica della macchina. Il coefficiente di riparazione (r), normalmente è variabile dal 50% all'150% del prezzo a nuovo della macchina. Nell'analisi effettuata, in alcuni casi, la soglia inferiore è stata ulteriormente abbassata fino ad un valore del 30%. Ciò si è verificato per le insaccatrici, le cocle e per i dispositivi costituenti il sistema di aspirazione, in quanto si tratta di macchine che solo raramente necessitano di essere riparate. Per le altre sono stati adottati valori di r variabili dal 50% al 120%. Per la determinazione della durata fisica si è ricorso a casi analoghi riportati in bibliografia [15].

Formula per il calcolo delle spese di riparazione:

$$\text{Spese per riparazioni} = r \times V_o / N_h$$

r = coefficiente di riparazione (varia da 0,5 a 1,5, adimensionale)

V_o = valore a nuovo

N_h = durata fisica (in ore)

La manutenzione è stata determinata prendendo in esame un coefficiente di manutenzione e la retribuzione oraria dell'addetto a tale funzione. Il coefficiente, indicato con β , varia dal 5 al 10% (il valore più alto si attribuisce alle macchine soggette a forte usura): ciò significa che vengono considerate 5, 10 ore di manutenzione ogni 100 ore di funzionamento della macchina [11]. Come in precedenza, per alcune mezzi, si è ricorsi a valori più bassi del limite inferiore ed in particolare:

- 0,02 per le insaccatrici, le coclee ed i silos;
- 0,03 per l'essiccatoio e per il sistema di aspirazione;

Per le altre macchine i valori adottati rientrano all'interno del range 0,05 - 0,1.

Sono stati trascurati i materiali utilizzati, quali oli, grassi, etc. in quanto contemplati in altre voci (lubrificanti e carburanti).

Poiché la manutenzione è effettuata dagli stessi operai che lavorano presso l'impianto, il costo orario complessivo applicato è stato di 8 €/h.

Formula per il calcolo delle spese di manutenzione:

$$\text{Spese di manutenzione (Qm)} = \beta \times M$$

β = coefficiente di manutenzione (5%-10%, adimensionale)

M = mercede oraria manodopera

Consumi di energia, combustibili, lubrificanti

L'incidenza del carburante sui costi variabili delle macchine è stato calcolato con un conto preventivo del consumo medio di combustibile dei motori considerando, orientativamente, un utilizzo medio di circa i 2/3 della potenza massima, con un consumo specifico medio (C_s) pari a circa:

$C_s = 200 - 220 \text{ g/kWh}$ per i motori Diesel; $280 - 300 \text{ g/kWh}$ per i motori a Benzina;

Per la motosega è stato considerato un consumo di 290 g/kWh . Alla trattrice Fiat 100/90 è stato attribuito un valore di $C_s = 210 \text{ g/kWh}$, visto che rappresenta, come verrà specificato in seguito, un usato. Per le altre macchine alimentate a gasolio, trattandosi di mezzi nuovi, un $C_s = 200 \text{ g/kWh}$.

Per il consumo dei lubrificanti sono stati presi valori di circa $2 - 4 \text{ g/kWh}$ della potenza massima.

Il costo del gasolio è stato assunto pari a $0,83 \text{ €/kg}$, quelle della benzina $1,66 \text{ €/kg}$, mentre quello dei lubrificanti in $2,50 \text{ €/kg}$.

Formula per il calcolo del consumo di combustibili:

$$\text{Consumo di combustibili (Q'c)} = \frac{2}{3} P_{\max} \times C_s \times C_{\text{gasolio}}$$

$P_{\max}$ = potenza massima

C_s = consumo specifico

C_{gasolio} = costo del gasolio

Formula per il calcolo del consumo di lubrificanti:

$$\text{Consumo di lubrificante (Q''c)} = P_{\max} \times Cl \times \text{Club.nte}$$

Cl = consumo lubrificante

Club.nte = costo lubrificante

Il costo dell'energia è stato considerato pari a 0,18 €/kW. Gli accorgimenti adottati per valutare il consumo di energia elettrica verranno spiegati nel paragrafo 5.3.

Formula per il calcolo del consumo di elettricità per le macchine dotate di propulsore elettrico:

$$\text{Energia elettrica (Qc)} = (n^{\circ} \text{ kWh} \times \text{costo kWh})/h = n^{\circ} \text{ kW} \times \text{costo kWh}$$

Per il trasporto su gomma della materia prima e del prodotto finito sono stati considerati il costo e la durata dei pneumatici.

$$\text{Spese pneumatici Q''c} = C_{\text{pneum.}} / d$$

$C_{\text{pneum.}}$ = costo pneumatici

d = durata

3.1.3. - Relazione tra costi fissi e variabili

Va sottolineato che mentre i costi fissi vengono calcolati in €/anno, quelli variabili sono valutati in €/ora. Bisogna considerare che i livelli di impiego annuo molto bassi non sempre influenzano positivamente la vita utile (durata) della macchina a causa di possibili fenomeni di obsolescenza economica (macchina non più valida per motivi indipendenti dall'usura, come per esempio cambi di tecnica). D'altra parte, impieghi annui particolarmente elevati possono non risultare convenienti, in quanto l'accentuato deperimento economico dei primi anni ripartito su

un limitato periodo di impiego (riduzione del tempo di ammortamento) può innalzare significativamente i costi fissi.

I costi fissi e quelli variabili non possono considerarsi completamente indipendenti, specialmente se valutati durante l'intera vita del mezzo.

L'esecuzione più o meno accurata della manutenzione, infatti, oltre ai positivi riscontri che si possono avere sul contenimento dei costi di riparazione, ripercuotendosi sull'affidabilità del mezzo, può influenzare la vita utile, il valore di recupero e quindi, di conseguenza, la quota di ammortamento e gli interessi.

Le spese di utilizzazione annue di ogni macchina sono ottenute effettuando il prodotto tra le ore di utilizzazione annue (U) e la somma dei valori dei costi fissi (C_{uh}).

$$\text{Spese di utilizzazione annue (C}_{ua}\text{)} = C_{uh} \times U \quad [€/a]$$

Quindi il costo totale d'impiego annuo (C_a) è pertanto la somma dei costi fissi annui (C_{fa}) e le spese di utilizzazione annua (C_{ua}):

$$C_a = C_{fa} + C_{ua} \quad [€/a]$$

Per risalire al costo orario (C_h) si applica la seguente formula:

$$C_h = C_{fa}/U + C_{uh} \quad [€/h]$$

Per calcolare il costo unitario in peso (C_u) è stata applicata la seguente formula:

$$C_u = C_h/P_{or} \quad [€/t]$$

P_{or} = produttività oraria media

3.2. - Suddivisione del ciclo produttivo in fasi e costo dei macchinari

Per arrivare all'obiettivo finale della conoscenza dei costi di produzione dei singoli prodotti realizzati dall'impianto, in primis sono stati individuati ed elencati tutti i passaggi produttivi:

Fase 1: depezzatura, accatastamento e carico del legname sul rimorchio con braccio idraulico Dalla Bona AS 410 azionata da una trattrice Fiat 100/90 DT da 100 CV;

Fase 2: trasporto legname dal piazzale di stoccaggio al capannone di trasformazione con rimorchio trainato dal trattore Mc Cormik 85 CV;

Fase 3: trasformazione fisica del materiale mediante la linea di triturazione (braccio idraulico, cippatrice, trituratore, silos-vaglio, quattro coclee);

Fase 4: operazione di insacchettamento e imballaggio del materiale cippato;

Fase 5: trasporto del cippato (confezionato ed in big-bag) al magazzino di stoccaggio con carrello elevatore;

Fase 6: trasporto del cippato grezzo e della polvere alla serra di accumulo con carrello elevatore;

Fase 7: trasporto del cippato grezzo dalla serra di accumulo al silos di caricamento esterno con BOBCAT;

Fase 8: processo di trasformazione mediante la linea di raffinazione (silos esterno, gruppo mulino a martelli, n°2 coclee, essiccatoio);

Fase 9: processo di pressatura del materiale;

Fase 10: operazione di imballaggio ed insacchettamento del prodotto finito, pellet;

Fase 11: trasporto del pellet al magazzino di stoccaggio;

Fase 12: Impianto di aspirazione.

Si è provveduto, in seguito, a ricercare i costi d'acquisto di ogni singolo macchinario: ciò è stato reso possibile grazie alla collaborazione dell'ufficio amministrativo che ha messo a disposizione i costi sostenuti per ciascuna macchina (tab 1).

Tipologia di macchinario	Costo al netto d'IVA
Motosega Husqvarna	€ 800,00
Braccio idraulico attaccato alla PTO mod. AS 410 Dalla BONA	€ 11609,00
Trattore Fiat 100/90 DT ⁽³⁾	€ 10000,00
Trattore Mc Cormik 85 CV + rimorchio	€ 32500,00
Braccio idraulico elettrico mod. AS 31 Dalla BONA	€ 9600,00
Cippatrice	€ 69500,00
Trituratore	€ 48800,00
Silos-Vaglio (prootipo)	€ 13600,00
Coclea con motore + riduttore	€ 1700,00
Dosatrice insacatrice per cippato	€ 19200,00
Termosaldatrice	€ 3290,00
Carrello elevatore	€ 23500,00
Bobcat	€ 36480,00
Silos esterno con agitatore (prototipo)	€ 3901,00
Essiccatoio	€ 30000,00
Gruppo mulino a martelli	€ 40636,00 ⁽⁴⁾
Gruppo pressa	€ 127800,00 ⁽⁵⁾
Bilancia insacatrice	€ 6250,00
Compressore	€ 3600,00
Sistema aspirazione	€ 8200,00

Tabella 1: Costi d'acquisto al netto d'IVA dei macchinari dell'impianto

I Costi riportati in tabella, rappresentano i valori iniziali a nuovo (Vo) delle macchine presenti nelle linee di trasformazione, i quali sono stati utilizzati per l'analisi del costo di esercizio di ciascuna macchina.

³ La trattrice è un usato con 5700 ore di lavoro

⁴ Comprende: silos di alimentazione, valvole stellari, mulino a martelli, ciclone aria forzata

⁵ Comprende: pressa, alimentatore, condizionatore, alimentazione forzata, raffreddatore, setacciatore, silos, coclee, vagli, elevatori a tazze e gruppo di lubrificazione olio e grasso

3.3. - Valutazione del consumo di energia elettrica

Un ulteriore parametro indispensabile per la valutazione e per l'analisi del sopraccitato costo è l'indicazione della potenza massima dei motori dei singoli macchinari, che compongono le linee di lavorazione.

La linea di prima trasformazione⁽⁶⁾, considerando solo i motori alimentati ad energia elettrica, va dal caricamento idraulico della macchina cippatrice all'insaccamento del materiale finito (cippato), dettagliatamente riportato nella seguente tabella:

Componente	Potenza max. motore (kW)
Pompa oleodinamica braccio idraulico per alimentazione cippatrice	4
Cippatrice	90
Primario trituratore	50
Centralina olio trituratore	5
Coclea di caricamento silos	1,5
Vaglio vibrante	0,4
Agitatore silos	1,5
Coclea I scarico	1,5
Coclea II scarico	1,5
Coclea III scarico	1,5
Termosaldatrice	0,6
Totale	157,5

Tabella 2: elenco dei componenti della linea di prima trasformazione del cippato

Per quanto riguarda la linea di trasformazione del pellet, essa inizia con la fase di alimentazione dell'essiccatoio ad opera del silos esterno e termina, poi, con quella di insaccamento ed imballaggio del prodotto finito

⁶ La linea di prima trasformazione comprende le macchine impiegate per la produzione del cippato sfuso, del cippato in big-bag e del cippato in confezionato

Componente	Potenza max. motore (kW)
Agitatore silos esterno	1
Coclea esterna–interna	1,5
Essiccatoio	2,0
Agitatore silos di alimentazione del mulino a martelli	0,75
Valvola stellare	1,5
Mulino a martelli	75
Ciclone aria forzata	5,5
Valvola stellare inferiore ciclone	5
Coclea di caricamento silos pressa	1,5
Agitatore silos pressa	2,2
Alimentatore	2,2
Condizionatore	5,5
Alimentazione forzata	0,75
Pressa	110
Coclea carico elevatore	1,5
Elevatore a tazze I	1,5
Coclea carico raffreddatore	1,1
Ciclone aria forzata raffreddatore	7,5
Valvola stellare scarico ciclone	1,1
Motore vaglio I	0,2
Motore vaglio II	0,2
Elevatore a tazze II	1,5
Gruppo lubrificazione olio	0,25
Gruppo lubrificazione grasso	0,18
Termosaldatrice	0,6
Totale	230,03⁽⁷⁾

Tabella 3: elenco dei componenti della linea di trasformazione del pellet

Per il funzionamento delle linee di cui si è parlato precedentemente, risulta indispensabile il sistema d’aspirazione e di aria compressa, poiché il primo è utilizzato per l’aspirazione delle

⁷ NB. Nelle tabelle 2 e 3 non sono riportate le potenze delle insaccatrici di ogni singola linea produttiva, in quanto le suddette sono azionate da aria compressa.

polveri provenienti dalle macchine stesse, mentre il secondo, serve per il funzionamento delle insaccatrici.

Componente	Potenza max. (kW)
Aspirazione principale	18,5
Coclea aspirazione	1,5
Valvola stellare di scarico	1,5
Modulo compressore	11
Totale	32,5

Tabella 4: *elenco dei componenti degli impianti di aspirazione e di produzione di aria compressa*

Le tabelle 2, 3, 4, riportano, quindi, il valore della potenza massima dei motori elettrici di ogni singolo componente dell'impianto.

Partendo dal presupposto che per il consumo di carburante dei motori endotermici vengono considerati i 2/3 della potenza massima, si è voluto accertare che questo stesso valore fosse applicabile anche ai motori elettrici.

Per effettuare questa operazione si è ricorso all'uso di uno strumento molto preciso, la sonda amperometrica, la quale riesce a misurare all'istante il flusso di elettroni dell'energia elettrica che una qualsiasi utenza assorbe al momento dell'esercizio.

Tale misuratore è a forma di pinza, con un display disposto nella parte anteriore, il quale permette di visualizzare il valore di amperaggio assorbito dall'utenza.

Al momento della messa in moto di un qualsiasi motore, si nota il raggiungimento di un valore di assorbimento molto elevato, in quanto la resistenza è maggiore, ciò è dovuto al fatto che gli organi di rotazione partono da una situazione statica.

Non appena il propulsore raggiunge la velocità di rotazione massima, l'amperaggio si stabilizza e rimane tale fino a quando non si mette in esercizio la macchina.

Infatti, quando la macchina svolge un lavoro, si nota che l'amperaggio subisce di nuovo un ulteriore aumento, in modo proporzionale al tipo di sforzo richiesto.

Conoscere i dati di assorbimento amperometrico, di ogni componente, permette di venire a conoscenza anche della potenza realmente sfruttata dagli stessi.

Tutto ciò è possibile grazie all'applicazione della legge di Ohm la quale mette in relazione la differenza di potenziale (V), la resistenza (R) e l'intensità (I).

$$V = R \times I$$

Dove :

V = differenza di potenziale elettrico [V]

R = resistenza elettrica [O]

I = intensità elettrica [A]

Nel nostro caso, però, si deve citare anche un'altra relazione fisica, la quale definisce la potenza [P] in base alla differenza di potenziale [V] e l'intensità [I] :

$$P = ? V \times I$$

Da questa formula è possibile estrapolare la reale potenza assorbita da un motore elettrico, conoscendo due parametri: potenziale e intensità.

Prendendo in esame, ad esempio, il motore primario della macchina cubettatrice, è stato rilevato che in condizioni di massima produzione assorbe circa 195 Å.

Considerando che il potenziale elettrico è di 380 Volt in trifase, si può giungere alla potenza reale, richiesta per la suddetta lavorazione.

$$P = 380 \text{ V} \times 195 \text{ Å}$$

$$P = 74100 \text{ w o } 74,1 \text{ kW}$$

Dato che, la potenza massima del sopraccitato motore è di 110 kW, si arriva alla conclusione che per questa lavorazione vengono realmente sfruttati circa 2/3 della potenza massima.

Questo procedimento è stato effettuato per tutti i componenti delle linee di produzione, constatando che per tutte le utenze valeva la suddetta relazione.

Per essere più sicuri ed avere un'ulteriore conferma di tale corrispondenza, si è realizzata un'altra prova: conoscendo la potenza massima delle diverse linee di lavorazione come nelle tabelle 2, 3, 4, si è posizionata la sonda amperometrica nei cavi a monte di tutto l'impianto, constatando per l'ennesima volta che la reale potenza richiesta dall'intero gruppo di lavorazione al massimo della produzione è pari ai 2/3 della P max. totale.

Nello specifico la linea di lavorazione del cippato in massima produzione sfrutta circa 127 kW, mentre quella di produzione del pellet ne richiede circa 175 kW.

Capitolo 4 - Risultati

4.1. - Costi di ogni singola fase produttiva

I dati descritti rilevati nel periodo di studio, sono stati poi analizzati e sviluppati, sulla base della metodologia sopra descritta, per ogni singolo componente dell'impianto. Seguendo dettagliatamente i vari passaggi produttivi di ogni singolo macchinario si è giunti al seguente quadro:

Fase 1: depezzatura, accatastamento, e carico del legname sul rimorchio con braccio idraulico Dalla Bona AS 410 azionato da una trattrice Fiat 100/90 DT da 100 CV;

Braccio idraulico AS 410 Dalla Bona	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 11.609,00
Potenza (kW)	0
Durata fisica (ore)	5.000
Vita utile (anni)	7
Utilizzazione annua (ore)	600
Valore residuo (%)	10
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	1
Coefficiente di manutenzione (β)	0,09
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo combustibile (€/kg)	€ 0,00
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	€ 0,00
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 1.492,59
Qi (quota interessi)	€ 159,62
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 58,05
Cfa	€ 1.710,25
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 1,86
qm (quota manutenzione)	€ 0,72
qc (combustibile)	€ 0,00
ql (lubrificanti)	€ 0,00
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 2,58
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 1.546,46
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 3.256,72
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 5,43

Trattore Fiat 100/90	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 10.000,00
Potenza (kW)	73
Durata fisica (ore)	6.000
Vita utile (anni)	5
Utilizzazione annua (ore)	600
Valore residuo (%)	8
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1,5
Coefficiente di riparazione (r)	1,20
Coefficiente di manutenzione (β)	0,10
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo combustibile (€/kg)	€ 0,83
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 2.000,00
Durata pneumatici (h)	3.000
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 1.840,00
Qi (quota interessi)	€ 135,00
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 150,00
Cfa	€ 2.125,00
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 2,00
qm (quota manutenzione)	€ 0,80
qc (combustibile)	€ 8,48
ql (lubrificanti)	€ 0,55
qp (pneumatici)	€ 0,67
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 12,50
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 7.498,06
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 9.623,06
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 16,04

Motosega Husqvarna	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 800,00
Potenza (kW)	3
Durata fisica (ore)	2.000
Vita utile (anni)	3
Utilizzazione annua (ore)	1200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	1,5
Coefficiente di manutenzione (β)	0,12
Costo orario manodopera (€/h)	€ 8,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo combustibile (€/kg)	€ 1,66
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	€ 0,00
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 226,67
Qi (quota interessi)	€ 9,20
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 4,00
Cfa	€ 239,87
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,60
qm (quota manutenzione)	€ 0,96
qc (combustibile)	€ 0,96
ql (lubrificanti)	€ 0,03
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 8,00
Cuh	€ 10,55
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 12.663,36
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 12.903,23
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 10,75

La prima fase racchiude la preventiva depezzatura e sistemazione del legno in cataste e la successiva operazione di carico del legname sul rimorchio. Tranne l'allestimento, che viene realizzato con la motosega, gli altri lavori sono eseguiti con il caricatore idraulico azionato dalla trattrice Fiat 100/90; grazie alla ricerca economica effettuata presso l'ufficio di amministrazione e consultando il contratto d'acquisto del braccio idraulico e della trattrice, sono stati ottenuti i parametri applicati nella valutazione. La motosega è un modello Husqvarna dal costo di 800 €. Poiché il motore di questa macchina lavora ad elevati giri al minuto è stata considerata una vita utile di soli 3 anni.

La trattrice Fiat 100/90 rappresenta un usato con 5700 ore di lavoro. Per questo il valore residuo della macchina è stato assunto pari all'8% di Vo.

Per quanto riguarda il braccio idraulico, il Valore residuo (Vr) e la Durata economica (N) sono stati determinati mediante una consultazione effettuata presso alcune ditte forestali, le quali hanno esposto il loro parere professionale in funzione dell'utilizzo medio previsto.

Il coefficiente di riparazione (r) adottato è pari al 1 per il braccio idraulico, ed a 1,2 per la trattrice. Quest'ultima, essendo una macchina usata, può richiedere la sostituzione di vari componenti con maggiore frequenza rispetto ad un nuovo modello. Le stesse considerazioni sono state adottate per il calcolo del coefficiente di manutenzione.

Fase 2: trasporto legname dal piazzale di stoccaggio al capannone di trasformazione con rimorchio trainato dal trattore Mc Cormik 85 cv

Trattore Mc Cormik	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 32.500,00
Potenza (kW)	63
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	600
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,50
Coefficiente di manutenzione (β)	0,08
Costo orario manodopera (€/h)	€ 8,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo combustibile (€/kg)	€ 0,83
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 2.000,00
Durata pneumatici (h)	3.000
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 2.762,50
Qi (quota interessi)	€ 467,19
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 487,50
Cfa	€ 3.717,19
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (riparazioni straordinarie)	€ 1,35
qm (quota manutenzione)	€ 0,64
qc (combustibile)	€ 6,92
ql (lubrificanti)	€ 0,63
qp (pneumatici)	€ 0,67
qo (manodopera)	€ 8,00
Cuh	€ 18,20
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 10.921,50
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 14.638,69
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 24,40

Il trattore Mc Cornick è una macchina di nuovo acquistato. Per questo i valori dei coefficienti di manutenzione e riparazione sono stati considerati pari a 0,5 e 0,08, inferiori rispetto a quelli adottati per la trattrice fiat 100/90. Le spese relative al rimorchio sono state conglobate in quelle della trattrice.

Fase 3: trasformazione fisica del materiale mediante la linea di triturazione (braccio idraulico, cippatrice, trituratore, silos-vaglio, quattro coclee);

Braccio idraulico elettrico mod. AS 31 Dalla Bona	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 9.600,00
Potenza (kW)	4
Durata fisica (ore)	5.000
Vita utile (anni)	7
Utilizzazione annua (ore)	1200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	1
Coefficiente di manutenzione (β)	0,09
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 0,00
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	€ 0,00
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 1.165,71
Qi (quota interessi)	€ 138,00
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 48,00
Cfa	€ 1.351,71
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 1,54
qm (quota manutenzione)	€ 0,72
qc (combustibile)	€ 0,47
ql (lubrificanti)	€ 0,00
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 2,72
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 3.267,20
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 4.618,91
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 3,85

Cippatrice	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 69.500,00
Potenza (kW)	90
Durata fisica (ore)	10.000
Vita utile (anni)	8
Utilizzazione annua (ore)	1200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1,5
Coefficiente di riparazione (r)	1,00
Coefficiente di manutenzione (β)	0,10
Costo orario manodopera (€/h)	€ 8,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 7.384,38
Qi (quota interessi)	€ 999,06
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 1.042,50
Cfa	€ 9.425,94
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 6,95
qm (quota manutenzione)	€ 0,80
qc (combustibile)	€ 10,50
ql (lubrificanti)	€ 0,90
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 8,00
Cuh	€ 27,15
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 32.580,00
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 42.005,94
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 35,00

Trituratore	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 48.800,00
Potenza (kW)	55
Durata fisica (ore)	10.000
Vita utile (anni)	8
Utilizzazione annua (ore)	1200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1
Coefficiente di riparazione (r)	1,00
Coefficiente di manutenzione (β)	0,10
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 5.185,00
Qi (quota interessi)	€ 701,50
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 488,00
Cfa	€ 6.374,50
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 4,88
qm (quota manutenzione)	€ 0,80
qc (energia elettrica)	€ 6,42
ql (lubrificanti)	€ 0,41
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 12,51
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 15.011,00
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 21.385,50
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 17,82

Silos-vaglio	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 13.600,00
Potenza (kW)	2
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	1200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1
Coefficiente di riparazione (r)	0,50
Coefficiente di manutenzione (β)	0,02
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 1.156,00
Qi (quota interessi)	€ 195,50
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 136,00
Cfa	€ 1.487,50
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,57
qm (quota manutenzione)	€ 0,16
qc (energia elettrica)	€ 0,22
ql (lubrificanti)	€ 0,01
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 0,96
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 1.149,40
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 2.636,90
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 2,20

Coclea con motore + riduttore	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 1.700,00
Potenza (kW)	1,5
Durata fisica (ore)	10.000
Vita utile (anni)	8
Utilizzazione annua (ore)	1200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,30
Coefficiente di manutenzione (β)	0,02
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 180,63
Qi (quota interessi)	€ 24,44
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 8,50
Cfa	€ 213,56
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,05
qm (quota manutenzione)	€ 0,16
qc (energia elettrica)	€ 0,18
ql (lubrificanti)	€ 0,01
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 0,39
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 472,20
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 685,76
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 0,57

La fase 3 consiste nella trasformazione del materiale dalla forma compatta solida alla forma disgregata. Le macchine coinvolte in queste operazioni sono il braccio idraulico, la cippatrice, il trituratore, il silos-vaglio, la coclea di carico e le tre coclee di scarico, tutte azionate elettricamente. Per la cippatrice e il trituratore è stato considerato un valore del coefficiente di riparazione pari ad 1 e manutenzione pari a 0,1, in quanto si tratta di macchine soggette a forte usura.

Per quanto riguarda i parametri di valore residuo, durata economica e coefficienti di riparazione e manutenzione per il silos-vaglio, purtroppo non si è potuto ricorrere a fonti e casistiche certe, in quanto tale macchina è semplicemente un prototipo. Si è quindi avviato a tale

inconveniente prendendo in considerazione schede tecniche di vagli con similari caratteristiche. Per quanto riguarda le coclee si è tenuto conto del fatto che questi dispositivi hanno un basso consumo di lubrificante (considerato pari a 0,02 g/kWh) e che richiedono rari interventi di manutenzione e riparazione.

Tra i parametri fondamentali per il calcolo dei costi d'esercizio delle macchine compare la voce U "ore d'utilizzo annuo", che risulta come una costante per la macchina cippatrice, il trituratore e il silos vaglio.

Fase 4: operazione di insacchettamento e imballaggio del materiale cippato;

Dosatrice insaccatrice per cippato	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 21.000,00
Potenza (kW)	5,5
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,30
Coefficiente di manutenzione (β)	0,02
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 0,00
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 1.785,00
Qi (quota interessi)	€ 301,88
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 105,00
Cfa	€ 2.191,88
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,53
qm (quota manutenzione)	€ 0,16
qc (energia elettrica)	€ 0,64
ql (lubrificanti)	€ 0,00
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 1,33
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 265,33
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 2.457,21
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 12,29

Termosaldatrice	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 3.290,00
Potenza (kW)	0,6
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,30
Coefficiente di manutenzione (β)	0,02
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 0,00
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 279,65
Qi (quota interessi)	€ 47,29
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 16,45
Cfa	€ 343,39
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,08
qm (quota manutenzione)	€ 0,16
qc (energia elettrica)	€ 0,07
ql (lubrificanti)	€ 0,00
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 0,31
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 62,45
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 405,84
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 2,03

Per questa valutazione sono state effettuate le seguenti considerazioni. Il compressore presente nell'impianto, della potenza di 11 kW, è utilizzato per fornire la forza pneumatica necessaria all'azionamento dell'insaccatrice del cippato e del pellet. Il costo e la potenza inerenti a questo dispositivo sono stati quindi ripartiti tra le due dosatrici. In questo modo il prezzo riportato in tabella si riferisce al costo dell'insaccatrice del cippato, al quale è stato aggiunto metà del costo sostenuto per l'acquisto del compressore. Il valore di 5,5 kW corrisponde alla metà della potenza massima erogata dal generatore di aria compressa. Le rimanenti voci di costo del compressore sono state considerate al momento della valutazione dell'insaccatrice del pellet. Infine, sia per la dosatrice che per la termosaldatrice sono stati considerati valori molto bassi del coefficiente di manutenzione e riparazione.

Fase 5: trasporto del materiale cippato imballato al magazzino di stoccaggio con carrello elevatore;

Carrello elevatore	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 23.500,00
Potenza (kW)	40
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	800
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,60
Coefficiente di manutenzione (β)	0,08
Costo orario manodopera (€/h)	€ 8,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo combustibile (€/kg)	€ 0,83
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 1.000,00
Durata pneumatici (h)	3.000
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 1.997,50
Qi (quota interessi)	€ 337,81
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 117,50
Cfa	€ 2.452,81
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 1,18
qm (quota manutenzione)	€ 0,64
qc (combustibile)	€ 4,43
ql (lubrificanti)	€ 0,20
qp (pneumatici)	€ 0,33
qo (manodopera)	€ 8,00
Cuh	€ 14,78
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 11.820,00
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 14.272,81
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 17,84

I costi descritti nello schema precedente specificano le spese relative al carrello elevatore, il quale viene impiegato per le seguenti operazioni:

- trasporto del cippato confezionato al magazzino di stoccaggio;
- trasporto del cippato in big-bag al magazzino di stoccaggio;
- trasporto del cippato sfuso alla serra di stoccaggio;
- trasporto del pellet al magazzino di stoccaggio

La fonte dei dati tecnico-economici riportati nello schema, derivano dalla scheda delle caratteristiche tecniche e funzionali del carrello stesso, rapportate al reale utilizzo annuo del mezzo. Il dato delle ore di utilizzazioni totali annue deriva dall'osservazione del conta ore in dotazione della macchina.

Fase 6: trasporto del cippato grezzo e della polvere alla serra di accumulo con carrello elevatore;

In questa fase avviene il trasferimento del cippato grezzo, separato dal vaglio vibrante, e della polvere, accumulata dal sistema di aspirazione, presso la serra di accumulo. I costi di esercizio della fase 6 sono come quelli della fase 5.

Fase 7: trasporto materiale cippato grezzo dalla serra al silos n°1 di caricamento esterno con bobcat;

Bobcat	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 36.480,00
Potenza (kW)	42
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	800
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,60
Coefficiente di manutenzione (β)	0,08
Costo orario manodopera (€/h)	€ 8,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo combustibile (€/kg)	€ 0,83
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 1.500,00
Durata pneumatici (h)	2.000
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 3.100,80
Qi (quota interessi)	€ 524,40
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 547,20
Cfa	€ 4.172,40
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 1,82
qm (quota manutenzione)	€ 0,64
qc (combustibile)	€ 4,65
ql (lubrificanti)	€ 0,42
qp (pneumatici)	€ 0,75
qo (manodopera)	€ 8,00
Cuh	€ 16,28
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 13.025,60
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 17.198,00
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 21,50

Per il calcolo dei costi di esercizio del bobcat, è stato considerato il 15% di Vo e una vita utile di 10 anni. Nonostante la macchina risulti complessa ed i relativi pezzi di ricambio molto costosi è stato applicato un coefficiente di riparazione pari a 0,5, che risulta esserne il minimo del range. Tale scelta è stata effettuata considerando il tipo di lavorazione svolta dal mezzo, la quale non provoca eccessivo logorio delle parti meccaniche, incidendo in maniera limitata sui costi di riparazione e di manutenzione.

Fase 8: processo di trasformazione mediante la linea di raffinazione (silos esterno, gruppo mulino a martelli, n°2 coclee, essiccatoio)

Silos esterno con agitatore (prototipo)	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 3.901,00
Potenza (kW)	1,0
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	800
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1
Coefficiente di riparazione (r)	0,50
Coefficiente di manutenzione (β)	0,02
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 331,59
Qi (quota interessi)	€ 56,08
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 39,01
Cfa	€ 426,67
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,16
qm (quota manutenzione)	€ 0,16
qc (energia elettrica)	€ 0,12
ql (lubrificanti)	€ 0,01
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 0,44
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 355,37
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 782,04
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 0,98

Essiccatoio prototipo	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 30.000,00
Potenza (kW)	3,0
Durata fisica (ore)	10.000
Vita utile (anni)	8
Utilizzazione annua (ore)	800
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1
Coefficiente di riparazione (r)	0,50
Coefficiente di manutenzione (β)	0,03
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 3.187,50
Qi (quota interessi)	€ 431,25
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 300,00
Cfa	€ 3.918,75
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 1,50
qm (quota manutenzione)	€ 0,24
qc (energia elettrica)	€ 0,35
ql (lubrificanti)	€ 0,02
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 2,11
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 1.684,00
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 5.602,75
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 7,00

Gruppo mulino a martelli	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 40.623,00
Potenza (kW)	88
Durata fisica (ore)	10.000
Vita utile (anni)	8
Utilizzazione annua (ore)	500
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1,5
Coefficiente di riparazione (r)	1,00
Coefficiente di manutenzione (ß)	0,10
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 4.316,19
Qi (quota interessi)	€ 583,96
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 609,35
Cfa	€ 5.509,49
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 4,06
qm (quota manutenzione)	€ 0,80
qc (energia elettrica)	€ 10,24
ql (lubrificanti)	€ 0,66
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 15,76
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 7.878,96
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 13.388,46
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 26,78

Il mulino a martelli è una macchina dotata di un organo di rotazione ad alta velocità, il quale incide sulla durata fisica e quindi anche sul deprezzamento, per cui sono stati adottati valori dei parametri simili a quelli della cippatrice.

Bisogna evidenziare, però, che le ore di utilizzo annuo del mulino a martelli, non sono uguali a quelle di tutto il resto della linea. Questo è determinato dal fatto che la produzione oraria di tale componente risulta essere maggiore di quella della pressa, quindi grazie ai silos di passaggio tra una componente e l'altro, che fanno in un certo senso da polmone per il materiale,

il raffinatore viene sfruttato per un numero di ore inferiore rispetto agli altri componenti della linea.

La fase 8 è caratterizzata da un passaggio che si individua nell'essiccazione del materiale raffinato attraverso un asciugatoio a ciclo continuo.

L'essiccatoio in analisi è un prototipo realizzato artigianalmente. Azionato da un motore di 3 kW di potenza massima, dispone di determinate caratteristiche tecniche che permettono di avere un costo di esercizio pari a 7 €/h.

Fase 9: processo di pellettizzazione;

Gruppo pressa	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 127.800,00
Potenza (kW)	137
Durata fisica (ore)	10.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	800
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	1,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,92
Coefficiente di manutenzione (β)	0,09
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 2,50
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 10.863,00
Qi (quota interessi)	€ 1.837,13
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 1.917,00
Cfa	€ 14.617,13
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 11,76
qm (quota manutenzione)	€ 0,73
qc (energia elettrica)	€ 15,98
ql (lubrificanti)	€ 1,37
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 29,84
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 23.871,15
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 38.488,27
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 48,11

Per quanto riguarda questa fase, purtroppo, non si è potuto risalire al costo delle singole apparecchiature componenti il gruppo pressa, in quanto si è avuto a disposizione solamente il totale complessivo. La potenza considerata in tabella deriva quindi dalla somma delle potenze delle singole macchine. Ovviamente i componenti minori del complesso (coclee, silos, elevatori a tazze) hanno costi di esercizio più bassi rispetto ai dispositivi impiegati nel carico, nella pressatura, nel raffreddamento e nel setacciamento del materiale legnoso. Infatti quest'ultime sono macchine che hanno dei costi fissi e variabili simili a quelli della cippatrice, del trituratore e del mulino a coltelli. Per tenere conto di questa differenza, al momento della scelta dei coefficienti di variazione e manutenzione, parametri che incidono direttamente sul costo unitario medio per ora di utilizzo, si è effettuata una media ponderata tra i coefficienti e le potenze delle singole macchine interessate, ottenendo dei valori medi che sono stati applicati nel calcolo.

Fase 10: operazione di imballaggio ed insacchettamento prodotto finito, pellet;

Bilancia insaccatrice pellet	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 8.050,00
Potenza (kW)	5,5
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	600
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,30
Coefficiente di manutenzione (β)	0,02
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 0,00
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 684,25
Qi (quota interessi)	€ 115,72
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 40,25
Cfa	€ 840,22
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,20
qm (quota manutenzione)	€ 0,16
qc (energia elettrica)	€ 0,64
ql (lubrificanti)	€ 0,00
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 1,00
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 601,75
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 1.441,97
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 2,40

Termosaldatrice	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 3.290,00
Potenza (kW)	0,6
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	600
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,30
Coefficiente di manutenzione (β)	0,02
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 0,00
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 279,65
Qi (quota interessi)	€ 47,29
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 16,45
Cfa	€ 343,39
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,08
qm (quota manutenzione)	€ 0,16
qc (energia elettrica)	€ 0,07
ql (lubrificanti)	€ 0,00
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 0,31
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 187,35
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 530,74
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 0,88

Valgono le stesse considerazioni effettuate per l'insaccatrice del cippato.

Fase 11: trasporto del materiale pellet al magazzino di stoccaggio

I costi di esercizio della fase 11 sono come quelli della fase 5.

Fase 12: processo di aspirazione e produzione di aria compressa

Aspirazione	
PARAMETRI	
Prezzo (€)	€ 8.200,00
Potenza (kW)	22
Durata fisica (ore)	12.000
Vita utile (anni)	10
Utilizzazione annua (ore)	1200
Valore residuo (%)	15
Saggio di interesse (%)	2,5
Quota spese varie (%) K	0,5
Coefficiente di riparazione (r)	0,30
Coefficiente di manutenzione (β)	0,03
Costo orario manodopera (€/h)	€ 0,00
Costo orario manutenzione (€/h)	€ 8,00
Costo energia elettrica (€/kg)	€ 0,18
Costo lubrificante (€/kg)	€ 0,00
Costo treno gomme (€)	€ 0,00
Durata pneumatici (h)	0
Manodopera (N°)	1
COSTI FONDAMENTALI ANNUI (€/a)	
Qa (quota ammortamento)	€ 697,00
Qi (quota interessi)	€ 117,88
Qv (spese varie:ricoveri, assicurazione, tasse)	€ 41,00
Cfa	€ 855,88
COSTI DI UTILIZZAZIONE ORARIA (€/h)	
qrs (quota riparazioni)	€ 0,21
qm (quota manutenzione)	€ 0,24
qc (energia elettrica)	€ 2,51
ql (lubrificanti)	€ 0,00
qp (pneumatici)	€ 0,00
qo (manodopera)	€ 0,00
Cuh	€ 2,95
COSTO DI UTILIZZAZIONE ANNUA (€/anno)	
Cua	€ 3.544,00
COSTO TOTALE DI IMPIEGO ANNUO (€/anno)	
Ca	€ 4.399,88
COSTO UNITARIO MEDIO PER ORA DI UTILIZZO (€/h)	
Ch	€ 3,67

Come già detto questa fase serve per eliminare la polvere dal locale di produzione. La potenza mostrata in tabella, si riferisce alla somma delle potenze di ogni singolo componente del sistema di aspirazione (vedi tab. 4), con esclusione dei parametri relativi al compressore, la cui incidenza è già stata considerata nel calcolo dei costi delle insaccatrici. Poiché il lavoro di questo sistema si riflette su tutte le linee di produzione, i costi dell'aspiratore sono stati ripartiti sul costo dei tre prodotti realizzati nell'impianto.

4.2. - Valutazione della produttività

Nell'impianto esaminato la valutazione della produttività media delle macchine è avvenuta sulla base dell'analisi delle schede di produzione giornaliera che il responsabile del cantiere deve compilare al termine di ogni turno di lavorazione. In queste schede vengono riportati i quantitativi di produzione e le ore effettive di lavorazione per ogni linea di produzione, dal caricamento del materiale grezzo nel piazzale di stoccaggio, al deposito del prodotto finito in magazzino, comprese le fermate effettuate, il tempo e la motivazione. La stessa analisi dei fogli di produzione ha consentito la definizione quantitativa del materiale lavorato nell'unità di tempo lungo le linee di trasformazione (tab.5) e la determinazione dell'utilizzazione annua che è un parametro fondamentale ai fini del calcolo dei costi di esercizio. In questo modo si è potuto constatare che l'impianto lavora annualmente 4500 tonnellate di materia prima, la quale viene trasformata in tre prodotti principali per rispondere alla diverse esigenze della clientela (tab.6).

Tipo di linea	Produttività media (t/h)
Linea cippato sfuso o in big-bag	3,55
Linea cippato in confezione singola	3,10
Linea pellet in confezione singola	2,20

Tabella 5: produttività media delle linee di produzione del pellet

Materia prima lavorata		4.500 (t/anno)
Assortimento ottenuto	⁽⁸⁾ Cippato in big-bag:	300 (t/anno)
	⁽⁹⁾ Cippato in sacchetti:	700 (t/anno)
	⁽¹⁰⁾ Pellet in sacchetti:	3.500 (t/anno)

Tabella 6: Tonnellate di materia prima lavorate annualmente e ripartizione in assortimenti

⁸ Cippato confezionato in big-bag dal peso di 1 t all'origine (materiale: conifere e latifoglie U = 25%).

⁹ Cippato in confezione singola dal peso di 12,5 kg all'origine oppure disposto su euro pallet per un peso complessivo pari a 1 t all'origine (materiale: conifere e latifoglie U = 25%)

¹⁰ Pellet in confezione singola dal peso di 15 kg all'origine oppure disposto su euro pallet per un peso complessivo pari a 1 t all'origine (materiale: conifere e latifoglie U = 10%)

4.3. - Costi orari, costi unitari in peso e prezzo di vendita dei prodotti

Nella tabella 7 viene riportato il riepilogo generale dei costi di esercizio di ogni singola fase lavorativa risultante dall'analisi tecnico-economica dei parametri inerenti le macchine impiegate nella trasformazione della materia prima. Sommando i costi relativi alle fasi che caratterizzano ogni singola linea di produzione, si ottengono i costi totali orari di lavorazione afferenti ad ogni prodotto fabbricato. Al fine di determinare il costo di produzione reale di una tonnellata di materiale, tenendo conto della specifica produttività che caratterizza ogni linea di lavorazione, sono stati definiti anche i costi unitari in peso (tab.8).

N°	FASE	COSTO ORARIO (€/h)
1	depezzatura, accatastamento, carico del legname sul rimorchio con braccio idraulico Dalla Bona AS 410 azionata da una trattrice Fiat 100/90 DT da 100 CV;	53,69
2	trasporto legname dal piazzale di stoccaggio al capannone di trasformazione con rimorchio trainato dal trattore Mc Cormik 85 CV	24,40
3	trasformazione fisica del materiale mediante la linea di triturazione (braccio idraulico, cippatrice, trituratore, silos-vaglio, quattro coclee)	61,16
4	operazione di insacchettamento e imballaggio del materiale cippato	14,32
5	trasporto del cippato (confezionato ed in big-bag) al magazzino di stoccaggio con carrello elevatore	17,84
6	trasporto del cippato grezzo e della polvere alla serra di accumulo con carrello elevatore	17,84
7	trasporto del cippato grezzo dalla serra di accumulo al silos di caricamento esterno con BOBCAT	21,50
8	processo di trasformazione mediante la linea di raffinazione (silos esterno, gruppo mulino a martelli, n°2 coclee, essiccatoio)	35,90
9	processo di pressatura del materiale	48,11
10	operazione di imballaggio ed insacchettamento del prodotto finito, pellet	3,29
11	trasporto del pellet al magazzino di stoccaggio	17,84
12	impianto di aspirazione	3,67

Tabella 7: costo orario delle singole fasi di lavoro comprensivo di 5 operai (al netto d'IVA)

Totale costi di lavorazione	Costo orario [€/h]	Costo unitario in peso ⁽¹¹⁾ [€/t]
Triturato sfuso (cippato in big-bag) [FASI 1-2-3-5-12]	158,30	44,59
Triturato in confezione singola (cippato in sacchi) [FASI 1-2-3-4-5-12]	172,62	55,68
Pellet in confezione singola (pellet in sacchi) [FASI 1-2-3-6-7-8-9-10-11-12]	284,94	129,52

Tabella 8: costo totale orario e unitario in peso per ogni linea di lavorazione

¹¹ Determinati in funzione delle produttività riportate in tabella 5

Oltre ai costi di trasformazione bisogna tenere conto anche delle spese sostenute per i materiali necessari al confezionamento ed all'imballaggio del materiale prodotto, le quali sono mostrate nel prospetto seguente (tab.9):

	Bancali (100 x 120 cm)	Sacchetti con logo per pellet e cippato	Big-bag (90 x 90 x 120 cm)	Regetta + film Estensibile in polietilene
N° di pezzi	4.500	289.000	300	4.200
Costo unitario (€)	3,5	0,12	4	0,60

Tabella 9: costo dei materiali per il confezionamento e l'imballaggio (al netto d'IVA)

Considerando tutte le voci sopra riportate si arriva alla definizione del costo di produzione di ogni tipo di assortimento realizzato, il quale prende in considerazione i costi sostenuti per la produzione di ogni tonnellata, comprensivi delle spese per le materie prime, la manodopera ed i materiali per il confezionamento e l'imballaggio, in funzione della potenzialità effettiva dell'impianto, nel periodo di analisi preso in esame (tab.10):

Assortimenti	Incidenza costo lavorazione (€/t)	Incidenza bancale (€/t)	Incidenza sacchetti (€/t)	Incidenza regetta + film (€/t)	Incidenza materia prima (€/t)	Totale (€/t)
Cippato in big-bag	44,59	3,5	⁽¹²⁾	-	30	78,09
Cippato in sacchetti	55,68	7 ⁽¹³⁾	9,6	0,60	30	102,88
Pellet in sacchetti	129,52	3,5	8	0,60	30	171,62

Tabella 10: costo totale degli assortimenti (al netto d'IVA)

I prezzi di vendita dei prodotti variano in funzione degli accordi commerciali e dei prezzi di mercato annuali. Quest'ultimi sono soggetti a fluttuazioni dovute alla scarsa conoscenza del prodotto da parte del consumatore, alle caratteristiche stesse del mercato che è ancora confuso e disordinato e infine all'andamento stagionale.

Mediamente essi vengono commercializzati ai prezzi mostrati in tabella:

Assortimenti	Totale (€/t)
Cippato in big-bag	80-90
Cippato in sacchetti	100-110
Pellet in sacchetti	190-200

Tabella 11: prezzi di commercializzazione dei biocombustibili (al netto d'IVA)

¹² Big-bag concessi in comodato d'uso

¹³ Per una tonnellata occorrono due bancali

4.4. - Proposte di miglioramento

L'analisi svolta ha evidenziato come i costi sostenuti nell'impianto per la realizzazione dei prodotti sopra citati siano limitatamente competitivi, determinando o margini di guadagno minimi o addirittura perdite. Questa situazione è resa evidente dal confronto tra le spese di produzione ed i prezzi di vendita ma anche dai dati riportati da altri autori, che indicano costi di produzione più contenuti.

Il Comitato Termotecnico Italiano (CTI) segnala infatti un costo di produzione del pellet variabile tra i 50 e i 160 €/t, che può essere venduto all'ingrosso ad un prezzo compreso tra 110 e i 210 €/t e al dettaglio tra 210 e 300 €/t [2] [5].

Il cippato derivante da boschi cedui ha invece un costo compreso tra i 35 ed i 75 €, a fronte di un prezzo di vendita all'ingrosso tra i 50 e i 90 € ed al dettaglio tra gli 80 ed i 110 € [1] [4] [16] [22] [23] [39].

I range di valori presi come riferimento presentano un'ampia forbice, la quale è dovuta alle diverse condizioni in cui si svolgono le operazioni di cantiere e alle differenti piazze di vendita.

Per contenere i costi di lavorazione è possibile effettuare degli interventi rivolti prima di tutto al miglioramento della produttività lungo le linee di trasformazione ed in secondo luogo verso una gestione razionale dell'utilizzo delle macchine. Si daranno di seguito alcune suggerimenti che potrebbero indirizzare le decisioni degli amministratori dell'impianto.

4.4.1. - Interventi di miglioramento

Attualmente il materiale legnoso di partenza viene depezzato in assortimenti della lunghezza di circa un metro. In questo modo, al momento dell'alimentazione della cippatrice, si crea una discontinuità dovuta al fatto che il braccio idraulico deve compiere molti movimenti. Ad esempio, una pianta che presenta una lunghezza utile del fusto di circa 5 metri, una volta allestita darà 5 topi di circa 1 metro. Il braccio idraulico, per caricare la cippatrice, dovrà compiere 5 movimenti dando luogo, in questo modo, a numerosi tempi morti che si ripercuotono sul rendimento della linea. Per ovviare a questo spreco si potrebbero lavorare topi legnosi della lunghezza di circa 2-2,5 metri, ovvero lasciare intatto il materiale che viene scaricato dai fornitori nel piazzale di stoccaggio. Per prima cosa tale scelta avrebbe delle ripercussioni dirette sulla produttività delle macchine impiegate, soprattutto per quanto riguarda il braccio idraulico.

Ritornando all'esempio precedente, i movimenti che dovrebbe compiere la pinza idraulica passerebbero da 5 a 2 ed inoltre si ottimizzerebbe il lavoro svolto dalle rimanenti macchine della linea, soprattutto quello della cippatrice e del tritatore. Il tempo impiegato a cippare una tonnellata di legname è infatti inversamente proporzionale alla potenza della cippatrice e alle dimensioni del pezzo medio. Lo stesso volume di legno è lavorato tanto più rapidamente, a parità di potenza della cippatrice, quanto più alta è la velocità di conferimento del legname alla bocca di alimentazione, la quale, come noto, aumenta all'aumentare delle dimensioni del legname. Prove effettuate presso l'impianto, confrontate con esperienze simili reperite in bibliografia [26], hanno messo in evidenza come la lavorazione di materiale lungo 2,5 metri può portare ad un aumento della produttività variabile dall'8% al 10%. Utilizzando il valore più basso, la produttività risultante sarebbe quella mostrata in tabella 12:

Tipo di linea	Produttività media con topi da 1 metro (t/h)	Produttività media con topi da 2,5 metri (t/h)
Linea cippato sfuso o in big-bag	3,55	3,83
Linea cippato in confezione singola	3,10	3,35
Linea pellet in confezione singola	2,20	2,38

Tabella 12: incremento della produttività media in seguito all'utilizzo di topi da 2,5 metri

Quindi il costo totale risulterebbe il seguente:

	Totale con topi da 1 metro (€/t)	Totale con topi da 2,5 metri (€/t)	Differenza (€/t)
Cippato in big-bag	78,09	74,79	3,30
Cippato in sacchetti	102,88	98,76	4,12
Pellet in sacchetti	171,62	162,03	9,59

Tabella 13: riduzione del costo di produzione degli assortimenti in seguito all'utilizzo di topi da 2,5 metri

Il secondo vantaggio derivante da questa scelta è quello dell'eliminazione delle spese dovute all'utilizzo della motosega durante l'allestimento dei topi. Come in precedenza tale beneficio si ripercuote su tutte e tre le linee perché la deppezzatura, come già detto, rappresenta l'operazione a monte di tutto il processo. Il costo totale dei due tipi di cippato prodotto e quello del pellet si ridurrebbe della quantità mostrata in tabella 14:

	Totale con la depezzatura (€/t)	Totale senza la depezzatura (€/t)	Differenza (€/t)
Cippato in big-bag	74,79	71,99	2,80
Cippato in sacchetti	98,76	95,55	3,21
Pellet in sacchetti	162,03	157,50	4,53

Tabella 14: riduzione del costo di produzione degli assortimenti in seguito all'eliminazione della depezzatura

Inoltre appare superfluo il passaggio del materiale attraverso il trituratore. Infatti la cippatrice produce scaglie di varie dimensioni e in varia percentuale. Sarebbe quindi sufficiente separare le scaglie regolari, commercializzate, dalle altre più grossolane che servono per produrre il pellet. Siccome tale operazione già avviene all'interno del silos-vaglio, l'utilizzo del trituratore rappresenta un costo inutile che andrebbe eliminato. Inoltre, le scaglie irregolari destinate alla pellettizzazione non necessitano di essere lavorate dal trituratore, in quanto la raffinazione del cippato necessaria alla cubettatrice è comunque realizzata dal mulino a martelli. Apportando questa ulteriore modifica i costi risultanti sarebbero quelli indicati in tabella 15:

	Totale con trituratore (€/t)	Totale senza trituratore (€/t)	Differenza (€/t)
Cippato in big-bag	71,99	67,34	4,65
Cippato in sacchetti	95,55	90,22	5,32
Pellet in sacchetti	157,50	150,00	7,50

Tabella 15: riduzione del costo di produzione degli assortimenti in seguito all'eliminazione della triturazione

Altri miglioramenti apportabili sono i seguenti. Come abbiamo visto la linea del pellet è caratterizzata da sistemi che provocano una rilevante movimentazione del materiale legnoso. Ci si riferisce in particolare all'uso del carrello elevatore impiegato nel trasporto del cippato grossolano alla serra di accumulo e a quello del bobcat per il trasferimento del materiale disgregato dalla serra al silos esterno di alimentazione. Tutti questi passaggi richiedono l'utilizzo di macchine il cui costo orario condiziona il costo finale di produzione. Per semplificare queste fasi si potrebbero installare dispositivi di trasferimento quali coclee, sistemi pneumatici ecc. che renderebbero meno onerosa l'alimentazione della linea del pellet. In particolare sarebbe sufficiente posizionare questi sistemi di trasferimento in prossimità del silos-vaglio e nella serra di accumulo. Il silos vaglio in questo modo, anziché riversare le scaglie grossolane all'interno delle sacche prelevate e movimentate dal carrello elevatore, potrebbe direttamente convogliare il cippato da pellettizzare in questi nuovi sistemi di trasporto affinché possano essere trasferiti, con un minor costo, alla serra di accumulo. Mediante dispositivi analoghi, da posizionare all'interno

della serra, si potrebbe sostituire il silos esterno di alimentazione della linea del pellet attualmente caricato tramite il bobcat.

Supponendo di impiegare, per queste modifiche, delle semplici coclee, il costo di tali interventi può essere stimato in circa 10000,00 €, con un costo di esercizio di circa 2 €/h. Eliminando quindi i costi relativi all'uso del carrello elevatore, del bobcat e del silos esterno ed aggiungendo quelli delle nuove apparecchiature, i costi risultanti sarebbero:

	Totale con carrello elevatore, silos esterno e bobcat (€/t)	Totale senza carrello elevatore, silos esterno e bobcat (€/t)	Differenza (€/t)
Cippato in big-bag	67,34	67,34	0
Cippato in sacchetti	90,22	90,22	0
Pellet in sacchetti	150,00	133,87	16,13

Tabella 16: riduzione del costo di produzione del pellet

C'è inoltre da sottolineare l'aumento della produttività che queste modifiche potrebbero apportare, purtroppo in questa sede difficilmente valutabili a causa dello stravolgimento che subirebbe l'intera organizzazione del processo lavorativo.

Infine bisognerebbe prendere in considerazione l'impiego del solare fotovoltaico. Infatti la maggior parte delle macchine sono alimentate elettricamente e inoltre l'impianto possiede varie tettoie sulle quali si potrebbe posizionare questa tecnologia. Oggi attraverso il conto energia è possibile, per venti anni, usufruire delle tariffe incentivanti erogate da gestore dei servizi elettrici, che permettono di recuperare in breve tempo il capitale investito.

5 - Conclusioni

Riuscire ad immettere sul mercato un prodotto economico e funzionale, quindi competitivo, è l'obiettivo a cui deve puntare ogni azienda. Tutto ciò è possibile esaminando con attenzione i dati tecnici che riguardano sia i tempi sia i costi di produzione del prodotto. Tali aspetti vanno necessariamente ad incidere sulle decisioni e sulle scelte tecnico organizzative che un'azienda deve prendere affinché venga garantito il funzionamento e il buon andamento della stessa. Ponendo l'attenzione sui risultati finali, quindi sui reali costi di produzione dei prodotti sopra citati, si ritiene, in funzione dell'analisi realizzata in questa sede, che essi potrebbero essere maggiormente contenuti. Questa supposizione deriva dalla constatazione dell'inadeguatezza di alcuni componenti dell'impianto stesso, i quali sono caratterizzati da costi di esercizio estremamente elevati che contribuiscono, di conseguenza, ad un aumento delle spese di produzione. Facendo un raffronto tra i costi di produzione e i prezzi di vendita può succedere, secondo l'andamento del mercato, che i due tipi di cippato vengano venduti sotto costo.

In seguito allo studio tecnico effettuato sono state formulate quindi delle proposte che potrebbero consentire la riduzione, almeno in parte, dei relativi costi di produzione dei biocombustibili. Un parametro a cui bisogna prestare attenzione è la massimizzazione della produttività oraria delle macchine che come noto consente di abbassare di molto i costi. Per quanto riguarda l'operazione di cippatura, per aumentare la redditività in questa fase, bisognerebbe lavorare un legname con dimensioni differenti rispetto a quello attualmente utilizzato. Nello specifico, oggi viene manipolato legno di un metro di lunghezza che provoca grande dispendio di tempo nella fase di caricamento, dovuto al fatto che l'operatore è costretto ad effettuare molti movimenti che interrompono la continuità di alimentazione della macchina. Al contrario, per raggiungere il risultato di massimo rendimento, basterebbe effettuare la fase di caricamento con un assortimento di legname lungo 2-2,5 metri: tale modifica, che permetterebbe anche di eliminare il costo sostenuto per la depezzatura, consentirebbe un'alimentazione costante che ridurrebbe i tempi morti. C'è inoltre da ricordare l'inutilità del passaggio di triturazione sia perché le scaglie regolari da confezionare possono essere reperite dalla separazione operata dal silos-vaglio sul legno prodotto dalla cippatrice e sia perché la preparazione del materiale per la produzione del pellet viene realizzata dal mulino a martelli che ha la capacità di lavorare senza problemi anche scaglie molto grezze.

È possibile inoltre effettuare dei miglioramenti lungo la linea di produzione del pellet, eliminando alcune fasi della lavorazione che si pensa siano estremamente superflue e antieconomiche. In primis va sottolineata l'inutilità del trasporto del cippato sfuso nella serra di

stoccaggio tramite il carrello elevatore e la successiva movimentazione dello stesso, mediante il bob-cat, dalla serra al silos di caricamento esterno. Tali fasi in un impianto ben concepito non dovrebbero assolutamente essere presenti, ne tanto meno essere effettuate con i mezzi sopra citati, per il semplice fatto che ogni minima movimentazione del materiale comporta un notevole dispendio energetico, soprattutto se si usano macchine non concepite per effettuare tale tipologia di lavoro. Questi processi potrebbero essere sostituiti da specifiche attrezzature per il trasferimento del materiale disagregato, come trasportatori pneumatici, aspiratori o semplici coclee che diminuirebbero i costi e aumenterebbero la velocità e la continuità di funzionamento della linea di trasformazione, inducendo un aumento dell'efficienza dell'impianto.

In definitiva, se venissero realizzate le modifiche sopra elencate si potrebbe abbassare il costo di produzione del cippato in big-bag di 10,76 €/t, quello del cippato confezionato di 12,66 €/t ed infine quello del pellet di ben 37,75 €/t.

Prendendo in considerazione l'analisi effettuata si può quindi affermare che qualsiasi tipo di investimento, soprattutto in un settore come quello delle biomasse, cresciuto negli ultimi anni ma ancora caratterizzato da un mercato in equilibrio precario, va valutato in maniera corretta ponderando ogni scelta soprattutto sulla base del numero di processi che la materia prima deve subire. Ogni business è caratterizzato da delle regole fondamentali che bisogna seguire per permettere a tutto il sistema di funzionare nel migliore dei modi e per produrre ricchezza e benessere. Amministratori e titolari hanno il dovere di controllare e garantire nel tempo la continuità della produzione e la competitività dei prodotti immessi sul mercato. Questa è la più semplice regola a cui un imprenditore deve far riferimento per raggiungere l'esito prefissato. Tutto ciò è possibile esaminando con attenzione i dati tecnici che riguardano sia i tempi sia i costi di produzione del prodotto. Tali risultati vanno necessariamente ad incidere sulle decisioni e sulle scelte tecnico organizzative che l'azienda deve prendere per garantire il funzionamento e il buon andamento della stessa. Quindi dovere di un imprenditore è mettere a sistema le spese sostenute per la produzione con i dati di una connessa indagine di marketing, espletata da personale competente del settore, che abbia il compito di ricercare il prezzo base garantendo un margine di guadagno adeguato. Investire sulle biomasse è quindi possibile, ma tale obiettivo può essere raggiunto solo perfezionando e ottimizzando le prestazioni delle tecnologie e dei processi di trasformazione della materia prima, in modo da ridurre i costi di produzione ed ottenere quindi biocombustibili che possano essere commercializzati ad un prezzo concorrenziale.

Bibliografia

- [1] AIEL (2008) - La produzione di combustibili legnosi dalla Selvicoltura urbana
- [2] AA.VV., (2004) - Attività PROBIO 2000 (II° anno) della Regione Lombardia. Energia dall'agricoltura - Pellet. Allegato 3: La produzione del pellet di legno - Analisi tecnico-economica di una filiera per la produzione del pellet di legno. Gennaio 2004
- [3] AA.V.V., (2007) - Cippato forestale: Tecniche e costi della produzione. Camera dell'Agricoltura Austria Inferiore
- [4] AA.VV., (2004) - Convegno di Studi "Le biomasse agricole e forestali nello scenario energetico nazionale". Progetto fuoco, Verona, 18-19 marzo 2004
- [5] AA.VV., (2006) - Energia dalle biomasse: le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici ed ambientali. Consorzio per l'AREA di ricerca scientifica e tecnologica di Trieste; AREA Science Park
- [6] AA.VV., (2003) - Le biomasse per l'energia e l'ambiente. ITABIA (Italian Biomass Association). Rapporto 2003: 57-60
- [7] AA.VV., (2004) - L'osservatorio delle fonti rinnovabili in Italia·2004. ISES ITALIA.Roma, maggio, 2004
- [8] AA.VV., (2003) - L'utilizzo del legno come fonte di calore. Regione Piemonte – IPLA (istituto per le piante da legno e l'ambiente). Pubblicazione 2003.
- [9] AA.VV., (2002) - Modello per lo studio di fattibilità e per la gestione di un distretto e energetico basato sull'impiego di cippato. Regione Piemonte, Guida, novembre 2002
- [10] AA.VV., (2005) - Preparazione razionale del cippato nell'ambito della raccolta del legname. Energia legno Svizzera
- [11] Biondi P., (1999) - Meccanica agraria. Le macchine agricole. UTET, Torino 1999
- [12] CTI (2003) - R03/01 Raccomandazione del Comitato Termotecnico Italiano sui biocombustibili solidi: specifiche e raccomandazioni. Milano
- [13] Costo di esercizio delle macchine agricole, C.R.P.A. s.p.a. Centro Ricerche Produzione Animali
- [14] Dickson M. H., Fanelli M., (2004) - Cos'è l'Energia Geotermica? Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy
- [15] Franco S., Monarca D., (1998) - La valutazione preventiva dei costi di riparazione e manutenzione delle trattrici. Rivista di Ingegneria Agraria: 3/98, pp.138-147
- [16] Guidi D., Cesano D., (2006) - Opportunità di sviluppo della filiera bosco-legno-energia nel territorio del mugello. Servizio Ambiente e Territorio della Comunità Montana Mugello
- [17] ENEA (2003) - L'energia Eolica

- [18] Hellrigl B., (2003) - Il pellet: notizie e informazioni sulla produzione e l'impiego. Aula magna N.3
- [19] Hippoliti G., (1997) - Appunti di meccanizzazione forestale. Studio Editoriale Fiorentino, Firenze.
- [20] Jonas a., Haneder h., Furtner k., (2006) - Energie aus Holz. Landwirtschaftskammer, Austria
- [21] Miyata E.S. (1980) - Determining fixed and operating costs of logging equipment. North Central Forest Experiment Station, Forest Service, USDA. St.Paul, MN. 14 pp
- [22] Neri F., Piegai F., (2007) - Produttività e costi di trasformazione nell'utilizzazione di materiale legnoso in biomassa (chips). Progetto miur prin 2005 bio_for_energy
- [23] Nocentini G., (2008) - "La filiera foresta-legno-energia e i risultati del progetto interregionale WoodLand energy. ARSIA Regione Toscana
- [24] Obernberger I., Thek G., (2002) - "Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour", Proceedings of the 1st World Conference on Pellet, Sept 2002, Stockholm, Sweden, pp. 115-122, Swedish Bioenergy Association (ed), Stockholm
- [25] Sheoran S., Yadav B.S., Nigam P., Singh D., (1999) - "Continuous ethanol production from sugarcane molasses using a column reactor immobilized *Saccharomyces cerevisiae* HAU-1", Journal of basic microbiology, vol. 38, issue 2, pp. 123-128.
- [26] Spinelli R., Hartsough B., (2001) - Indagine sulla cippatura in Italia. Contributi scientifico pratici: per una migliore conoscenza ed utilizzazione del legno. Firenze, IRL. - CNR. Vol. XLI.
- [27] Spinelli R., Hartsough B., Magagnotti N., (2004) - Qualità del cippato: confronto tra nove cippatrici mobili in commercio in Italia. Sherwood N.99, aprile 2004: 13-18
- [28] Spinelli R., Nati C., Agostinetto L., Francescato V., Antonini E., (2004) - Produzione di cippato ottenuto dal diradamento di un arboreo per la produzione di legname di pregio. Azienda Regionale Veneto Agricoltura: Settore Ricerca e Sperimentazione Agraria e Ittica. Pordenone, 2004.
- [29] Privato C., (2007) - Lo sviluppo del fotovoltaico in Italia e le tecnologie proposte dall'enea. editore ENEA

Siti internet consultati:

- [30] www.aiel.cia.it
- [31] www.caemaenergia.com
- [32] www.ct.infn.it
- [33] www.cti2000.it
- [34] www.enel.it
- [35] www.energialab.it
- [36] www.generaldies.com
- [37] www.gsel.it
- [38] www.isesitalia.it/
- [39] www.laroveresnc.com
- [40] www.pezzolato.com
- [41] <http://rssnews.renewable-energy-sources.com>

Ringraziamenti

Desidero ringraziare, il Prof. Danilo Monarca, il Dott. Massimo Cecchini e il tecnico di laboratorio Francesco Colopardi, nonché tutto il dipartimento Gemini dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.

Un ringraziamento speciale anche a coloro che pur non facendo parte dell'organico del dipartimento hanno contribuito in vario modo alla realizzazione di questo lavoro. Mi riferisco in particolare al dottor Corrado Gualfetti, la cui esperienza lavorativa presso l'impianto ha contribuito in maniera determinante allo sviluppo di questo lavoro.