



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO
FACOLTÀ DI AGRARIA
Dipartimento Demetra

Dottorato di Ricerca in "Frutticoltura Mediterranea"
(SSD AGR03) Ciclo XXIII

**Valutazione dell'attitudine
delle sanse vergini
alla conversione in energia**

Dottorando:

Dott. Agr. Massimo Schirò

Tutor:

Prof.ssa Maria Antonietta Germanà

Co-tutor:

Ing. Antonio Messineo

Coordinatore del Dottorato:

Prof.ssa Maria Antonietta Germanà

ANNO ACCADEMICO 2010 – 2011

Indice

1. SVILUPPO SOSTENIBILE ED ENERGIA	3
1.1 Sviluppo sostenibile	3
1.2 Politiche di sviluppo sostenibile in campo energetico	6
1.3 Bioenergie e politica comunitaria	8
1.4 Normativa nazionale in campo energetico	12
1.5 Normativa regionale in campo energetico	15
1.6 Mercato delle energie rinnovabili	15
1.7 Incentivi alla produzione	19
1.8 Meccanismi di incentivazione	20
1.8.1 Il sistema delle quote obbligate	20
1.8.2 I certificati verdi	21
1.8.3 Il meccanismo delle tariffe onnicomprensive	25
1.8.4 Cumulabilità degli incentivi	27
2. UTILIZZO DELLE BIOMASSE LIGNO CELLULOSICHE A SCOPO ENERGETICO	28
2.1 Le Biomasse	28
2.2 Caratteristiche chimiche	29
2.3 Caratteristiche fisiche	30
2.4 Tipologie di biomassa legnosa	32
2.4.1 Biomassa di origine agricola: destinazione, problematiche e disponibilità sul territorio	33
2.4.2 Biomassa di origine agro-industriale	36
2.4.3 Biomassa di origine forestale	37
2.5 Trattamento dei biocombustibili solidi	38
2.6 Conversione della biomassa in energia	39
3. GENERALITÀ SULL'OLIVO E SULL'OLIO	44
3.1 Origini dell'Olivo	44
3.2 Il frutto dell'olivo	48
3.3 Proprietà dell'olio di oliva	50
3.4 I frantoi in Sicilia	53
3.5 Sistemi di estrazione dell'olio	55
3.5.1 Sistema tradizionale o classico	55
3.5.2 Sistema continuo	57
3.6 Proprietà delle sanse di oliva	59

3.7 Impieghi delle sanse.....	60
3.8 Utilizzazione agronomica dei sottoprodotti della lavorazione delle olive.....	61
3.9 Residui come soluzione energetica.....	62
4. CAPITOLO	65
Scopo della ricerca.....	65
5. CAPITOLO	67
Materiali e metodi	67
5.1 Introduzione	67
5.2 Prelevamento dei campioni.....	68
5.3 Prova 1-Valutazione del contenuto di umidità dei campioni	69
5.3.1 Analisi termogravimetrica	71
5.3.2 Analisi elementare	74
5.4 Prova 2 – Valutazione dei consumi di energia per la molitura della sansa ai fini della pellettizzazione.....	77
5.5 Prova 3 - Valutazione dei consumi di energia per la pellettizzazione	78
5.6 Prova 4 - Combustione dei pellet mediante l’impiego di bomba calorimetrica ai fini della determinazione del potere calorifico.	80
5.7 Bilancio energetico	84
6. CAPITOLO	85
Risultati e discussione.....	85
6.1 Introduzione	85
6.2 Contenuto di umidità	85
6.3 Macinazione.....	88
6.4 Pellettatura	89
6.5 Contenuto di umidità	91
6.6 Determinazione del Potere Calorifico Inferiore e Superiore	94
6.7 Bilancio energetico	95
6.8 Conclusioni	96
Bibliografia	98

1. CAPITOLO

Sviluppo sostenibile ed energia

1.1 Sviluppo sostenibile

La prima definizione in ordine temporale di sviluppo sostenibile è stata quella contenuta nel rapporto Brundtland (dal nome della presidente della Commissione, la norvegese Gro Harlem Brundtland) del 1987 e poi ripresa dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo dell'ONU (World Commission on Environment and Development, WCED) ed è la seguente:

“Lo sviluppo sostenibile è una forma di sviluppo (che comprende lo sviluppo economico, delle città, delle comunità eccetera) che non compromette la possibilità delle future generazioni di perdurare nello sviluppo preservando la qualità e la quantità del patrimonio e delle riserve naturali (che sono esauribili, mentre le risorse sono considerabili come inesauribili). L'obiettivo è di mantenere uno sviluppo economico compatibile con l'equità sociale e gli ecosistemi, operante quindi in regime di equilibrio ambientale.”

Sebbene questa definizione sintetizzi alcuni aspetti importanti del rapporto tra sviluppo economico, equità sociale, rispetto dell'ambiente, purtroppo non può essere implementabile. È la cosiddetta regola dell'equilibrio delle tre "E": ecologia, equità, economia. Tale definizione parte da una visione antropocentrica, infatti al centro della questione non è tanto l'ecosistema, e quindi la sopravvivenza e il benessere di tutte le specie viventi, ma piuttosto le generazioni umane.

Una successiva definizione di sviluppo sostenibile, in cui è inclusa invece una visione più globale, è stata fornita, nel 1991, dalla World Conservation Union, UN Environment Programme and World Wide Fund for Nature, che lo identifica come *“...un miglioramento della qualità della vita, senza eccedere la capacità di carico degli ecosistemi di supporto, dai quali essa dipende ”*

Nello stesso anno Hermann Daly ricondusse lo sviluppo sostenibile a tre condizioni generali concernenti l'uso delle risorse naturali da parte dell'uomo:

- il tasso di utilizzazione delle risorse rinnovabili non deve essere superiore al loro tasso di rigenerazione;
- l'immissione di sostanze inquinanti e di scorie nell'ambiente non deve superare la capacità di carico dell'ambiente stesso;
- lo stock di risorse non rinnovabili deve restare costante nel tempo.

In tale definizione, viene introdotto anche un concetto di "equilibrio" auspicabile tra uomo ed ecosistema.

Nel 1994, l'ICLEI (International Council for Local Environmental Initiatives) ha fornito un'ulteriore definizione di sviluppo sostenibile:

"Sviluppo che offre servizi ambientali, sociali ed economici di base a tutti i membri di una comunità, senza minacciare l'operabilità dei sistemi naturali, edificato e sociale da cui dipende la fornitura di tali servizi".

Ciò significa che le tre dimensioni economiche, sociali ed ambientali sono strettamente correlate, ed ogni intervento di programmazione deve tenere conto delle reciproche interrelazioni. L'ICLEI infatti, definisce lo sviluppo sostenibile come:

"lo sviluppo che fornisce elementi ecologici, sociali ed opportunità economiche a tutti gli abitanti di una comunità, senza creare una minaccia alla vitalità del sistema naturale, urbano e sociale che da queste opportunità dipendono".

Nel 2001, l'UNESCO ha ampliato il concetto di sviluppo sostenibile indicando che *"la diversità culturale è necessaria per l'umanità quanto la biodiversità per la natura (...) la diversità culturale è una delle radici dello sviluppo inteso non solo come crescita economica, ma anche come un mezzo per condurre una esistenza più soddisfacente sul piano intellettuale, emozionale, morale e spirituale"*. (Art 1 and 3, Dichiarazione Universale sulla Diversità Culturale, UNESCO, 2001).

In questa visione, la diversità culturale diventa il quarto pilastro dello sviluppo sostenibile, accanto al tradizionale equilibrio delle tre E.

Il rapporto Brundtland ha ispirato alcune importanti conferenze delle Nazioni Unite, documenti di programmazione economica e legislazioni nazionali ed internazionali.

Per favorire lo sviluppo sostenibile sono in atto molteplici attività ricollegabili sia alle politiche ambientali dei singoli stati e delle organizzazioni sovranazionali sia a specifiche attività collegate ai vari settori dell'ambiente naturale.

Lo sviluppo sostenibile, quale criterio con cui misurare i progressi della società, è stato accettato dalla comunità internazionale, come concetto base su cui costruire una teoria generale finalizzata a rendere compatibili ambiente ed economia. A seguito di ciò è stata osservata un' inversione di tendenza nella politica economica delle nazioni industrializzate nel tentativo di fondare lo sviluppo non esclusivamente su logiche di mercato, ma anche su criteri oggettivi di ecosostenibilità.

Le definizioni di sviluppo sostenibile che fa riferimento alla costanza del capitale naturale rinnovabile, spingono al non superamento della capacità di carico degli ecosistemi, ed all'uso prudente del capitale naturale non rinnovabile, di cui deve essere massimizzata l'efficienza d'uso e che deve essere consumato comunque in misura non superiore alla sua sostituibilità dimostrata. Pertanto diventa necessario capire come sia possibile rendere sostenibili gli attuali sistemi economici insostenibili. Non esiste, infatti, un'unica modalità secondo la quale un sistema economico è sostenibile, ma una serie di sostenibilità locali, che devono essere rese compatibili con alcune grandi questioni globali (Bresso 1993).

Secondo G.H. Brundtland (Brundtland 1988) esiste una sola strada per armonizzare la crescita economica con uno sviluppo che al tempo stesso rispetti le esigenze dell'ambiente e delle future generazioni, ovvero delineare strategie di progresso che portino ad una maggiore prosperità arricchendo l'ambiente e la vita delle persone. Obiettivi di queste strategie di progresso sono :la suddivisione delle risorse in modo che tutti i popoli possano godere di livelli di vita accettabili, il passaggio dall'approccio "usa e getta" a quello "dalla culla alla tomba" che presuppone l'incremento di prodotti durevoli e riciclabili, il passaggio dalle fonti energetiche non rinnovabili a quelle rinnovabili, l'accelerazione dello sviluppo di tecnologie che consentano un utilizzo efficiente dell'energia, il trasferimento di risorse tecnologiche e finanziarie ai Paesi in via di sviluppo (Brera 1994).

Una società può compromettere in vari modi la propria capacità di soddisfare in futuro i bisogni essenziali dei suoi membri, per esempio sfruttando eccessivamente le risorse. Lo sviluppo tecnologico può dare soluzione ad alcuni problemi immediati, ma aprirne di ancora maggiori. Numerosi interventi umani sui sistemi naturali (deviazioni di corsi d'acqua, estrazione di minerali, immissione di gas nocivi nell'atmosfera, ...) oggi sono assai più incisivi quanto a scala e impatto e rappresentano una grave minaccia per i cicli ecologici alla base della vita sul piano sia locale sia planetario. Uno sviluppo sostenibile deve, al minimo, non apportare danni ai sistemi naturali che costituiscono la base della vita sulla Terra, ovvero all'atmosfera, alle acque, al suolo e agli esseri viventi. Inoltre, non esistono precisi limiti alla crescita in termini di popolazione o uso di risorse superati i quali si verifichi il disastro ecologico. Per consumo di energia, materie prime, acqua e terra valgono limiti differenti; molti di essi si manifestano in forma di costi crescenti e profitti calanti. Per quanto riguarda le

risorse non rinnovabili, come combustibili fossili e minerali, il loro uso riduce le riserve di cui le future generazioni potranno disporre. Questo non significa che tali risorse non vadano usate: per esempio, nel caso di minerali e combustibili fossili, il ritmo di diminuzione e l'importanza da attribuire al riciclaggio e all'economia d'uso andrebbero calibrati in modo da assicurare che la risorsa non si esaurisca prima che siano disponibili sostituti accettabili. In sostanza, lo sviluppo sostenibile è un processo di cambiamento nel quale lo sfruttamento delle risorse, l'andamento degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i mutamenti istituzionali sono in reciproca armonia e incrementano il potenziale, attuale e futuro, di soddisfazione dei bisogni e delle aspirazioni umane.

Per quanto riguarda le tematiche energetiche, è essenziale trovare al più presto un accordo su un sistema di prezzi dell'energia che tenga conto dei costi ambientali, rendendo più costosi i consumi non sostenibili.

1.2 Politiche di sviluppo sostenibile in campo energetico

La produzione e l'uso dell'energia hanno un impatto molto elevato sull'ambiente naturale, per esempio:

- durante l'estrazione e il trasporto del petrolio possono avvenire incidenti capaci di provocare gravissimi fenomeni di inquinamento dei mari, dei fiumi, delle lagune;
- la costruzione di grandi dighe per la produzione di energia elettrica sconvolge l'ambiente di aree a volte immense, annientando interi ecosistemi e costringendo le popolazioni indigene a migrare altrove;
- la combustione di carbone e idrocarburi provoca le piogge acide che possono danneggiare, a volte in modo grave, le foreste, i laghi, i monumenti;
- le emissioni provocate dal traffico veicolare producono danni notevoli alla salute umana e al patrimonio storico-architettonico delle città;
- la produzione di energia elettrica nelle centrali nucleari crea rischi potenziali gravissimi sia durante la fase di esercizio delle centrali, sia durante la fase di smaltimento e di stoccaggio delle scorie radioattive;
- l'estrazione di gas naturale dal sottosuolo provoca fenomeni di abbassamento del terreno che, nelle zone costiere, può causare gravi danni all'agricoltura e ai centri abitati.

Inoltre, da alcuni decenni si parla di un fenomeno negativo legato all'uso delle fonti fossili di energia: l'effetto serra.

L'effetto serra è il risultato della presenza attorno ad un pianeta di un'atmosfera che assorbe parte dei raggi infrarossi emessi dal suolo riscaldato dalla radiazione ricevuta dalla stella.

Il nome deriva per similitudine con quanto avviene nelle serre per la coltivazione, anche se il meccanismo alla base è differente.

In tale situazione, una parte della radiazione emessa dal suolo viene assorbita dall'atmosfera e riemessa in tutte le direzioni, quindi in parte anche verso il suolo. Ciò comporta che l'equilibrio radiattivo del pianeta si fissi ad una temperatura maggiore di quella che si stabilirebbe in assenza dell'atmosfera.

L'effetto serra permette alla Terra di avere una temperatura media superiore al punto di congelamento dell'acqua, quindi consente la vita come noi la conosciamo.

Le sostanze che determinano l'effetto serra sul nostro pianeta, chiamati gas serra, sono principalmente vapore acqueo, anidride carbonica (CO₂), metano, ossido nitroso (N₂O) e ozono.

La Terra è investita da una enorme quantità di energia proveniente dal Sole in condizioni di equilibrio la quantità di radiazione ricevuta è bilanciata da una eguale quantità riemessa in due modi:

- riflessione (circa il 30% del totale, prevalentemente dalle nubi)
- riemissione come radiazione di corpo nero (il restante 70%).

La radiazione non riflessa viene assorbita dall'atmosfera (16%), dalle nubi (4%) e dalla superficie terrestre e dai mari (51%), dove si trasforma in calore.

La temperatura al suolo aumenta così fino a quando la quantità di radiazione che riesce a sfuggire compensa quella ricevuta dal Sole e nel corso di milioni di anni si è stabilizzata su valori che hanno permesso la vita.

Attualmente, il contenuto di anidride carbonica nell'atmosfera terrestre è circa dello 0,038% (o 380 ppm) in volume. Nonostante la sua piccola concentrazione, la CO₂ è un componente fondamentale dell'atmosfera terrestre.

Sono stati i vulcani le prime fonti di anidride carbonica atmosferica della Terra neonata. Oggi i vulcani rilasciano in atmosfera circa 130 - 230 milioni di tonnellate di anidride carbonica ogni anno, ma questa quantità rappresenta solo l'1% della quantità di anidride carbonica totale liberata in atmosfera dalle attività umane.

L'attività umana ha intensificato l'effetto serra a partire dalla rivoluzione neolitica, per via della diminuzione della biomassa degli ecosistemi artificiali agricoli e dei loro suoli.

Una maggiore impennata nella concentrazione di gas serra si è avuta tuttavia con l'utilizzo di combustibili fossili, che ha intaccato le riserve geologiche di carbonio, e con la maggior produzione di metano dovuta ad un'esplosione dell'allevamento e delle colture a sommersione (per esempio il riso).

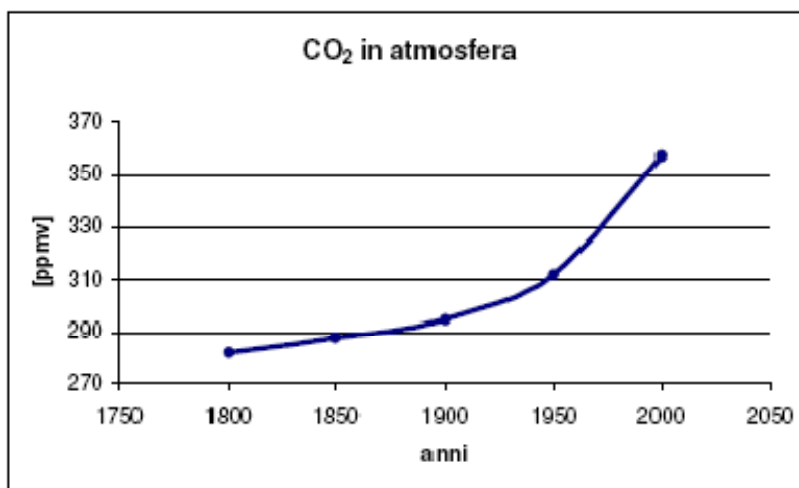
Anche prodotti di sintesi, quali i clorofluorocarburi, contribuiscono all'intensificazione dell'effetto serra, ed anche per questo motivo sono stati messi al bando.

I paesi che emettono la maggior parte dei gas serra sono i paesi industrializzati, ma anche paesi in via di sviluppo stanno svolgendo un ruolo significativo: al primo posto per quantitativi di gas serra ci sono gli Stati Uniti d'America (~30%) mentre la Cina è già al secondo posto.

Si stima che la concentrazione atmosferica di anidride carbonica sia aumentata del 35% dai tempi della rivoluzione industriale e del 20% dal 1958. La combustione dei combustibili fossili (carbone, petrolio) è la principale causa di questo aumento, la deforestazione è la seconda.

L'aumento della quantità di anidride carbonica nell'atmosfera contribuisce ad un rapido riscaldamento del pianeta al quale gli ecosistemi non hanno il tempo necessario per adattarsi. L'entità di questo effetto è ancora in discussione, ma la diffusissima convinzione che stiamo in effetti attraversando una fase di riscaldamento generalizzato del clima terrestre ha portato molti paesi nel mondo a siglare il protocollo di Kyōto, un accordo in cui le nazioni si impegnano a limitare e ridurre le emissioni di anidride carbonica.

Il maggior responsabile dell'effetto serra è l'anidride carbonica emessa durante tutte le combustioni, la cui concentrazione nell'atmosfera terrestre sta aumentando di anno in anno (vedi Fig. 1.1).

Figura.1.1 – Variazione della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera

1.3 Bioenergie e politica comunitaria

L'agricoltura incide per il 10,1% sul totale UE delle emissioni di gas serra (Agenzia Europea dell'Ambiente, 2005) ma, in realtà, può contribuire al loro contenimento, in termini di fissazione temporanea di carbonio nei suoli, nelle produzioni vegetali e arboree e, soprattutto, nella produzione di biomasse agro-forestali da impiegare a fini energetici, con effetti sostitutivi dei combustibili fossili e riduzione delle emissioni di CO₂.

Il crescente fabbisogno energetico comunitario ha superato i 1.750 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtep) nel 2004, scontando la forte dipendenza esterna (oltre il 50% è la media UE) per le forniture di petrolio e gas, l'emissione di gas clima alteranti, che nel 2004 si sono ridotti solo dello 0,9% nella UE-15 rispetto al 1990 (COM 195/2007), e le pratiche di consumo poco economiche. Il ruolo delle fonti rinnovabili e, tra queste, delle biomasse, è ancora piuttosto contenuto nel mix energetico complessivo, pari rispettivamente a 6,4 e 4,2%, ma la Commissione europea è sempre più convinta che le biomasse agro-forestali, tra le fonti "verdi", possano svolgere un ruolo importante sia per la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, sia nella lotta contro il cambiamento climatico (*"Una politica energetica per l'Europa"*, COM 1/2007; *"Limitare il surriscaldamento dovuto ai cambiamenti climatici a +2 gradi Celsius - La via da percorrere fino al 2020 e oltre"*, COM 2/2007).

Per questi motivi, negli ultimi anni, è andato crescendo l'interesse dell'UE per lo sviluppo di nuove filiere a partire da materie prime rinnovabili agricole e silvicole locali (*"Piano d'azione per la biomassa"*, COM 628/2005; *"Piano d'azione per le foreste"*, COM 302/2006) dal momento che un ulteriore beneficio è quello di creare innovazione,

nuovi settori di attività e occupazione nelle zone rurali.

Nella sessione primaverile del consiglio europeo, al quale annualmente la Commissione riferisce sui progressi ottenuti per il raggiungimento degli obiettivi di crescita, occupazione e sostenibilità definiti nei Consigli di Lisbona (2000) e Göteborg (2001), i Capi di Stato e di Governo sono giunti a conclusioni ambiziose per contrastare l'emergenza climatico-energetica, contenute nel Piano d'azione del consiglio europeo 2007-2009 "*Politica energetica per l'Europa*", che ricalcano quanto già proposto con l'altrettanto ambizioso pacchetto di misure presentate dalla stessa Commissione il 10 gennaio 2007 e approvato dal Consiglio in tale contesto.

Tali misure sono finalizzate, secondo un approccio integrato tra politiche (mercato interno, ambiente, clima, trasporti, grandi reti, agricoltura, ricerca scientifica e tecnologica, relazioni esterne) e uno sforzo congiunto degli Stati membri, al completamento del mercato interno dell'energia e al passaggio a un'economia a basse emissioni di carbonio, rafforzandone allo stesso tempo la competitività a livello globale.

Tradotto in obiettivi vincolanti, questo vuol dire che l'UE si è impegnata a ridurre le proprie emissioni di gas serra del 20% e ad aumentare l'efficienza energetica del 20% entro il 2020, inoltre, in meno di 15 anni, l'Europa dovrà contare su un mix energetico proveniente per il 20% da fonti rinnovabili, e tra queste l'8% dovrà essere generato proprio da biomasse e biocarburanti, arrivando a fissare per questi un minimo obbligatorio per l'utilizzo, pari al 10% del mercato dei carburanti e promuovendo biocarburanti di "seconda generazione" a minor impatto ambientale, provenienti da materiale forestale e graminacee, attualmente in fase di studio.

Gli obiettivi comunitari che si ispirano a questo "*principio del 20-20-20*", oltre a lasciare ai Paesi membri piena facoltà di scelta del proprio *mix* energetico, a fronte della messa a punto di Piani di azione nazionali con obiettivi specifici per elettricità, biocarburanti e riscaldamento, saranno ripartiti in maniera differenziata e ponderata sulla base del meccanismo *burden-sharing*, introdotto nell'ambito del protocollo di Kyoto, che tiene conto delle possibilità e delle posizioni di partenza dei singoli Paesi.

Una programmazione di lungo termine rappresenta il miglior contesto istituzionale per favorire le scelte di investimento sulle biomasse, aumentando allo stesso tempo la profittabilità delle attività di ricerca e sviluppo (Costantini, 2006). L'UE assegna una forte valenza al ruolo della ricerca per lo sviluppo delle tecnologie energetiche al fine

di ridurre i costi delle fonti rinnovabili di energia, aumentare l'efficienza energetica e assicurare la sostenibilità delle bioenergie, tanto che ha aumentato i bilanci per la ricerca energetica e l'innovazione nel VII "Programma Quadro" (886 milioni euro/anno) e nel programma "Energia intelligente per l'Europa" (100 milioni euro/anno), per il periodo 2007-2013.

Per assicurare una produzione e un uso sostenibile delle bioenergie dal lato economico, ambientale e sociale, ciascuno Stato membro dovrebbe definire criteri e disposizioni da "calibrare" in funzione delle biomasse da produrre, della loro destinazione d'uso e del mercato di riferimento, considerando tutta una serie di variabili raccolte nei gruppi di seguito elencati:

- benefici per la collettività: riduzione di CO₂, resa energetica, sicurezza di approvvigionamento, rispetto di norme ambientali e sociali, preservazione del sito di produzione, nuovi sbocchi produttivi per l'agricoltura, creazione di valore aggiunto a livello locale.
- Costi per la collettività: uso intensivo dei terreni, deforestazione, maggiore impiego di fertilizzanti e pesticidi, uso di risorse idriche, utilizzo di semi geneticamente modificati, perdita della biodiversità, sussidi all'agricoltura, misure fiscali.
- Disequilibri locali a causa del coinvolgimento economico e sociale di più settori (energia, ambiente, agricoltura) e degli interessi di gruppi di attori coinvolti (governo, popolazione rurale, agricoltori, industria automobilistica, cittadini, ambientalisti).
- Disequilibri globali a causa della domanda di terra e conflittualità con le produzioni agro-alimentari: la crescita della domanda energetica e la possibile convenienza a produrre materia prima *no food* può portare a una forte pressione sull'allocazione della terra a discapito delle produzioni agro-alimentari, con rischio di distorsione del mercato (aumento del prezzo dei cereali e degli alimenti), nonché rischio per la sicurezza alimentare in termini di approvvigionamento e rischio di instabilità politica in paesi a basso reddito che importano cereali.
- Progresso tecnologico: occorrono risorse e tempo da investire nella ricerca perché lo sviluppo tecnologico sia in grado di aumentare le rese, ridurre i costi di trasformazione, migliorare l'efficienza energetica, ridurre la domanda di

terra (ad es. produzione di etanolo da biomasse cellulosiche o ligno-cellulosiche).

Proprio recentemente, l'*ONU-Energy* ha evidenziato la necessità di definire i seguenti indicatori internazionali di sostenibilità riguardo alle bioenergie: povertà, sviluppo agro-industriale, salute, agricoltura, sicurezza alimentare, finanziamenti, commercio, biodiversità, cambiamenti climatici (UN-Energy, 2007).

1.4 Normativa nazionale in campo energetico

La mancanza di informazione e consapevolezza sulle bioenergie, sia a livello di classe politica sia a livello di opinione pubblica, e lo scarso interesse da parte del mondo imprenditoriale verso attività non ancora consolidate, hanno fatto maturare l'interesse del nostro Paese per lo sviluppo di fonti di energia rinnovabili - e in particolare per le biomasse - solo alla fine degli anni Novanta, sulla scia degli avvenimenti internazionali e delle direttive comunitarie

Nel Programma Nazionale Energia Rinnovabile da Biomasse del 1998, assume consistenza l'approccio integrato alle questioni energetiche (preservare l'ambiente, migliorare il rendimento delle fonti energetiche, evitare gli sprechi, razionalizzare l'uso delle risorse) attraverso la concertazione tra Pubblica Amministrazione e *stakeholders* nel definire azioni settoriali e territoriali per ridurre l'uso di fonti fossili e arrivare a produrre 8-10 Mtep di energia da biomasse agroforestali e zootecniche entro il 2012.

Con il suo strumento di attuazione, il Programma Nazionale Valorizzazione Biomasse Agricole e Forestali (giugno 1999), le azioni si focalizzano sullo sviluppo sostenibile delle filiere agro-energetiche (biocombustibili solidi destinati ad usi elettrici e termici e biocarburanti liquidi per autotrazione e riscaldamento) e, successivamente, sul coinvolgimento di amministrazioni locali e imprenditori agricoli e industriali in progetti pilota regionali e interregionali a carattere dimostrativo (Programma Nazionale biocombustibili PROBIO del 2000, tuttora attivo).

Nella successiva Tab. 1.1 sono elencate alcune fra le principali normative nazionali e comunitarie recepite.

Normativa	Campo di applicazione
<p>D.Lgs. 79/1999 D.Lgs. 164/2000 D.M. 8 marzo 2002</p>	<p>I primi 2 decreti disciplinano rispettivamente il settore dell'energia elettrica e del gas dando attuazione alle direttive europee che stabilivano la liberalizzazione di tali settori. I decreti legislativi dovranno essere parzialmente modificati per adeguarli alle Direttive 2003/54/CE e 2003/55/CE che hanno sostituito le precedenti.</p>
<p>D.M. del 21/12/2001</p>	<p>Il decreto promuove un programma destinato alla realizzazione di piani di diffusione di Fonti Energetiche Rinnovabili (F.E.R.), risparmio energetico e mobilità sostenibile nelle isole minori italiane sedi di aree naturali protette.</p>
<p>Direttiva 2002/91/CE Legge 10/91 D.P.R. 412/93 D.P.R. 551/1999 E seguenti</p>	<p>La direttiva disciplina l'uso razionale dell'energia negli edifici che, per gli immobili, pone limiti minimi di efficienza energetica, istituisce una certificazione energetica, dispone una serie di controlli. Il settore in Italia è disciplinato dalla legge 10/91 e dal D.P.R. 412/93 successivamente modificati per adeguarli alla Direttiva.</p>
<p>Legge 55/2002</p>	<p>La legge converte il D.L. 7/2002, noto sotto il nome di "sblocca-centrali", che istituisce per le centrali elettriche sopra i 300 MW termici l'autorizzazione unica statale con un'intesa regionale.</p>
<p>Direttiva 2003/96/CE</p>	<p>La direttiva ha il compito di armonizzare la fiscalità energetica. Essa si pone l'obiettivo di ristrutturare il quadro comunitario per la tassazione dei prodotti energetici e dell'elettricità. Le precedenti direttive in materia di armonizzazione della fiscalità energetica (1992/81/CEE e 1992/82/CEE) erano limitate agli oli minerali. L'obiettivo di tale direttiva è dunque fissare dei livelli minimi di tassazione per la maggior parte dei prodotti energetici, compresi l'elettricità, il gas naturale e il carbone e quindi cercare di armonizzare le notevoli differenze tra i livelli nazionali di tassazione applicati dagli Stati Membri.</p>

Legge 290/2003	La legge converte il D.L. 239/2003 (il cosiddetto “decreto antiblack out”), recante “disposizioni urgenti per la sicurezza del sistema elettrico nazionale e per il recupero di potenza di energia elettrica”. La legge disciplina anche l’autorizzazione unica statale per gli elettrodotti della rete di trasmissione nazionale.
D.Lgs. 387/2003 D.M. 24 ottobre 2005	Il decreto recepisce la Direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili. Tale decreto prevede misure sui certificati verdi (strumento istituito già con il D.Lgs. 79/99 e modificato tramite il D.M. 24 ottobre 2005) e prevede l’autorizzazione unica per gli impianti di produzione di elettricità da fonti rinnovabili.
Direttiva 2003/87/EC	La direttiva riguarda l’Emission Trading e ha l’obiettivo di istituire un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità al fine di promuovere la riduzione di tali emissioni secondo criteri di validità in termini di costi e di efficienza economica.
Direttiva 2004/98/CE	La direttiva si occupa di cogenerazione per accrescere l’efficienza energetica e migliorare la sicurezza dell’approvvigionamento energetico, creando un quadro per la promozione e lo sviluppo della cogenerazione ad alto rendimento di calore ed energia, basata sulla domanda di calore utile e sul risparmio di energia primaria.
D.M. 20 luglio 2004	I nuovi decreti sull’efficienza energetica negli usi finali di energia, previsti ai sensi dell’ art. 9 comma 1 del D.Lgs. 16 marzo 1999, n. 79 (Decreto Bersani) e art. 16 comma 4 del D.Lgs. 23 maggio 2000, n. 164 (Decreto Letta), sostituiscono quelli del 21 aprile 2001. I decreti individuano obiettivi di efficienza energetica a carico dei distributori da conseguirsi tramite il meccanismo dei titoli di efficienza energetica, detti anche Certificati Bianchi.
Legge 239/2004	La legge disciplina il riordino del settore energetico, fissando i principi fondamentali in materia, nonché individuando obiettivi nazionali e funzioni esercitate dallo Stato (sostituendo di fatto buona parte degli articoli del D.L. 112/98).

Legge 125/ 2007	misure urgenti per l'attuazione di disposizioni comunitarie in materia di liberalizzazione dei mercati dell'energia, al fine di favorire la liberalizzazione del mercato dell'energia e lo sviluppo del mercato dei servizi energetici. il Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, semplifica le procedure e favorisce il ricorso a servizi energetici volti all'efficienza energetica.
-----------------	--

1.5 Normativa regionale in campo energetico

Il bilancio energetico della Regione Sicilia conferma, in termini di consumi finali, la prevalenza dei prodotti petroliferi (64%), sull'energia elettrica (19%) e sul gas naturale (in crescita), con una quota ancora residuale di fonti rinnovabili (2,5%) fortemente in ritardo rispetto ai valori dell'area Convergenza (7,2%), alla quota del 16,9% dell'Italia in complesso e infine ai valori osservati a livello UE25 (13,9%,).

Stesso profilo rivestono i consumi regionali d'energia elettrica coperti da fonti rinnovabili. Pertanto, il cammino verso il raggiungimento dell'obiettivo di Lisbona appare molto arduo. Il dato disponibile (APAT 2004) relativo alle emissioni di CO₂eq complessivo si assesta per l'anno 2000 a 50.552.048 t, ponendosi al di sopra dei limiti di emissioni dettati dal Protocollo di Kyoto.

Le emissioni di CO₂ fanno registrare per l'anno 2000 un totale di 46.136.072 t. Tali emissioni sono prodotte principalmente (57,82%) dal settore combustione nell'industria e impianti energetici e dal settore trasporti (30% circa). Il dato mostra una tendenza accelerativa nella crescita di tali valori, poiché se rispetto al 1990 i valori di CO₂eq complessivo del 1995 erano cresciuti del 5,2%, nel 2000 questi sono cresciuti del 20%.

Relativamente al consumo d'energia elettrica, l'industria (42,8%) è il settore che in assoluto consuma più kWh, seguito dagli usi domestici (33,7%) dal Terziario (27,1%) e infine dall'Agricoltura (2,3%). Il peso dell'industria tende comunque a calare compensato in questo dall'aumento relativo dei settori terziario e usi domestici. Se riferito però al totale nazionale possiamo osservare che rispetto ad un consumo totale pari al 6%, il consumo per usi domestici giunge alla quota dell'8,7%, l'agricoltura al 7,4%, il terziario al 5,7% e l'industria solo al 4,9%. In termini di tonnellate equivalenti di petrolio, si registra nel 2004 un aumento della quantità complessiva pari al 12%, che ha

coinvolto tutti i settori economici ad esclusione del settore agricolo.

Nell'ottica dell'autonomia locale e del decentramento, ciascuna Regione ha specifiche competenze in ambito energetico e deve pertanto prevedere specifici piani attuativi.

Nell'ambito dei Fondi strutturali (*Regolamento CE n. 1083 del 2006*), Quadro Strategico Nazionale per le regioni italiane dell'obiettivo Convergenza (2007-2013), il programma Operativo Regionale FESR 2007-2013 prevede all'asse 2 (uso efficiente delle risorse naturali) l'obiettivo specifico 2.1: *Promuovere la diffusione delle fonti rinnovabili e favorire la razionalizzazione della domanda di energia, adeguare e monitorare gli impianti di produzione e le reti di distribuzione*. Nell'ambito di questo obiettivo specifico sono definiti i seguenti obiettivi:

Obiettivo operativo 2.1.1: Favorire la produzione di energia da fonti rinnovabili, attivando filiere produttive di tecnologie energetiche, agroenergetiche e biocarburanti

In assenza di un Piano Energetico Regionale, la Misura 1.17 del POR 2000-2006 ha prodotto risultati poco incisivi in termini di incremento dell'energia da fonti rinnovabili, conseguente riduzione delle emissioni climalteranti e impatto economico sul territorio.

In considerazione dell'evoluzione dello stato dell'arte e del superamento della soglia di competitività di diverse tecnologie di sfruttamento di fonti rinnovabili e di efficienza energetica negli usi finali, in linea con il Protocollo di Kyoto, la strategia di Göteborg e le Direttive Comunitarie di settore (specie la 2001/77/CE sulle fonti rinnovabili, la 2003/30/CE sui biocarburanti), l'obiettivo operativo 2.1.1 intende sostenere la realizzazione di impianti alimentati da fonti rinnovabili, privilegiando gli interventi in grado di attivare filiere produttive di ambito regionale riguardanti tecnologie energetiche, agroenergetiche e biocarburanti da collegare all'incremento strutturale della quota di energia da fonti rinnovabili nel bilancio energetico regionale.

L'obiettivo sarà attuato, in sinergia con le azioni di incentivazione alla produzione di colture energetiche *no food*, già previste nell'ambito della PAC, anche unitamente ad altri provvedimenti a carattere nazionale, rafforzando un approccio integrato che rispetti la natura multidisciplinare (industria, agricoltura, ricerca) delle iniziative volte alla trasformazione di tali produzioni ed alla incentivazione della loro utilizzazione finale.

Il sostegno in particolare sarà orientato verso l'attivazione di specifiche filiere

agroenergetiche, di ambito regionale identificate come sistemi produttivi caratterizzati da intese di cooperazione territoriale, dirette alla lavorazione, conservazione, trasformazione, commercializzazione e valorizzazione dei prodotti ottenuti prevalentemente dalla coltivazione agricolo-forestale, dell'allevamento del bestiame, che possono anche essere utilizzati per scopi energetici, nonché le attività connesse, compresa la produzione energetica da altre fonti rinnovabili.

L'impatto atteso punta all'incremento della quota di fonti rinnovabili sul bilancio energetico regionale, nonché alla costituzione di un significativo comparto produttivo in un settore ad elevato valore aggiunto.

Obiettivo operativo 2.1.2: Sostenere l'incremento dell'efficienza energetica negli usi finali e la riduzione delle emissioni climalteranti.

La strategia di progressiva conversione del modello di produzione e consumo di energia comprende, a differenza della programmazione 2000-2006, questo obiettivo operativo, che risulta centrato sulla razionalizzazione della domanda di energia ed espressamente volto a sostenere l'incremento dell'efficienza energetica negli usi finali e la riduzione delle emissioni climalteranti, anche attraverso la predisposizione ed attuazione di programmi integrati a livello locale, incentivando le diverse forme di cogenerazione.

Esso prevede la piena attuazione del D.M. 20 luglio 2004, con l'assunzione di un significativo ruolo da parte della Regione, in termini di programmazione (artt.3, 4), controllo (art.7), misure di accompagnamento e comunicazione (art.13), al fine di favorire l'efficienza energetica.

Tale obiettivo operativo dovrebbe creare una forte relazione con l'obiettivo operativo 2.1.1 sulle filiere produttive energetiche, in modo da favorire lo sviluppo di un mercato crescente - anche per fattori congiunturali - di tecnologie in grado di determinare significativi effetti di risparmio energetico ed emissioni climalteranti.

Risulta peraltro evidente lo stretto collegamento di tale obiettivo con gli strumenti di governance per il monitoraggio delle informazioni, inerenti le applicazioni che riguardano il risparmio energetico e l'efficienza energetica negli usi finali.

L'impatto di questo obiettivo operativo dovrebbe sostanziarsi nell'ottenimento di risparmi di energia primaria, da certificare in "titoli di efficienza energetica".

L'obiettivo dovrebbe essere accompagnato da azioni concertate di informazione e dimostrative mirate alla crescita della consapevolezza diffusa e alla promozione dell'efficienza energetica negli usi finali, nonché da azioni volte a sostenere il ruolo regionale di coordinamento degli interventi per lo sviluppo dell'efficienza energetica.

Le azioni dimostrative saranno sviluppate in coerenza ai contenuti e alle opportunità previste dalla legge finanziaria del 2007 e per favorire anche il conseguimento di titoli di efficienza energetica di cui al D.M. 20/07/2004.

Si evince una relazione con gli obiettivi relativi all'adeguamento a criteri di qualità ambientale delle infrastrutture (specie le pubbliche) e alla promozione della mobilità sostenibile.

Si riscontra anche un elevato grado di trasversalità con i programmi di sviluppo industriale e di ricerca e innovazione e complementarietà con la politica agricola. L'obiettivo sostiene parimenti le azioni mirate all'autosufficienza energetica e l'integrazione della produzione energetica da fonti rinnovabili, anche con azioni di tipo dimostrativo, nell'ambito di programmi di intervento integrati.

1.6 Mercato delle energie rinnovabili

È evidente che la convenienza alla produzione di biomasse legnose a fini energetici è fortemente condizionata dalle modalità produttive e dal livello di regolamentazione pubblica delle singole attività di settore. È possibile ipotizzare che nel prossimo futuro gli sviluppi di mercato delle biomasse legnose saranno condizionati da 5 campi di intervento, oltre a quello della regolazione dei prezzi delle fonti convenzionali di energia, ovvero:

- a. le politiche di conversione dei terreni agricoli in piantagioni,
- b. le politiche di sostegno economico alla produzione di energia da biomasse,
- c. le politiche di informazione,
- d. le politiche di green pricing,
- e. le politiche di valorizzazione dei cedui.

Le politiche di sostegno economico diretto (incentivi e sgravi fiscali) e indiretto (quote di produzione, prezzi garantiti, ...) per la produzione di biomasse legnose a fini energetici sono molteplici, tuttavia in alcuni casi il passaggio dalla fase di enunciati, obiettivi programmatici, norme quadro a quella di misure operative presenta ancora

diverse difficoltà.

La normativa per l'incentivazione delle fonti rinnovabili fa riferimento al Decreto Bersani (D.Lgs. 79/1999) dove è stabilito che il settore dell'energia è soggetto ai poteri di regolazione e controllo dell'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas (AEEG), struttura amministrativa indipendente con il compito di garantire la promozione della concorrenza e dell'efficienza, nonché di assicurare adeguati livelli di qualità dei servizi. Inoltre, il Decreto ha fornito alcune indicazioni per incentivare l'utilizzo delle fonti rinnovabili, creando una domanda certa e prestabilita: ha posto l'obbligo per gli importatori e i produttori di energia elettrica, a decorrere dal 2002, di immettere nel sistema elettrico nazionale una quota dell'energia, prodotta o importata nell'anno precedente, derivante da impianti alimentati da fonti rinnovabili.

L'obbligo si applica alle importazioni e produzioni di energia elettrica eccedenti i 100 GWh annui al netto della cogenerazione, degli autoconsumi di centrale e delle esportazioni. Il Decreto ha identificato l'oggetto di incentivazione nelle sole fonti rinnovabili (inclusa la parte non biodegradabile dei rifiuti), a differenza del CIP6/92 che prevedeva un ambito di applicazione esteso sia alle fonti rinnovabili che alle assimilate a cui, peraltro, destinava la quota più consistente di incentivi.

Tuttavia, i meccanismi di mercato, già operativi e collaudati per produttori medio-grandi di energia da fonti rinnovabili, non sono ancora facilmente accessibili per i piccoli produttori che si limitano a realizzare impianti finalizzati all'autoconsumo.

1.7 Incentivi alla produzione

Il D.Lgs. 79/1999 ha introdotto il meccanismo dei certificati verdi (CV) per l'incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Prima della Legge Finanziaria 2008 i certificati verdi erano titoli attribuiti in misura proporzionale all'energia prodotta, indistintamente per le diverse fonti, per un periodo di dodici anni. Il ricavo derivante dalla loro vendita, in un mercato garantito da un certo livello di domanda obbligata, rappresentava l'incentivo alla produzione di energia da fonti rinnovabili. Separatamente dalla vendita dei certificati verdi, la valorizzazione dell'energia immessa in rete forniva la seconda voce di ricavo per gli impianti alimentati da fonti rinnovabili e l'unica al termine del periodo di incentivazione.

Tabella 1.2 - Voci di ricavo per gli impianti a fonti rinnovabili entrati in esercizio entro il 31/12/2007

Periodo di esercizio	Incentivo	Valorizzazione energia
Primi 12 anni	Vendita CV attribuiti all'energia prodotta (indistintamente per le diverse fonti)	Autoconsumo e libero mercato oppure ritiro dedicato ¹ oppure scambio sul posto ²
Dopo		

1. Di potenza non superiore a 10 MVA o di potenza qualsiasi nel caso di fonti rinnovabili non programmabili.
2. Di potenza non superiore a 20 kW

La Legge Finanziaria 2008 ha apportato delle modifiche sostanziali allo schema descritto, a beneficio degli impianti entrati in esercizio successivamente al 31/12/2007.

Le principali novità riguardanti il sistema dei certificati verdi sono due: il periodo di incentivazione sale a quindici anni e il numero dei certificati verdi attribuiti all'energia prodotta viene differenziato a seconda della fonte rinnovabile.

Accanto a questa revisione, a beneficio esclusivo degli impianti più piccoli viene introdotto un nuovo schema di incentivazione, cui è possibile aderire in alternativa al sistema dei certificati verdi. A tali impianti è concessa la facoltà di optare per delle tariffe di ritiro dell'energia immessa in rete, differenziate per fonte, anch'esse riconosciute per un periodo di quindici anni. Tali tariffe sono denominate "onnicomprensive" poiché includono sia la componente incentivante sia la componente di vendita dell'energia elettrica.

Tabella 1.3 - Voci di ricavo per gli impianti a fonti rinnovabili, diverse dalla fonte solare, entrati in esercizio dopo il 31/12/2007

Periodo di esercizio	A) Qualsiasi taglia di potenza		B) Solo per gli impianti più piccoli (in alternativa allo schema A)	
	Incentivo	Valorizzazione energia	Incentivo	Valorizzazione energia
Primi 15 anni	Vendita CV attribuiti all'energia prodotta (indistintamente per le diverse fonti)	Autoconsumo e libero mercato oppure ritiro dedicato ² oppure scambio sul posto ³	Tariffe onnicomprensive di ritiro dell'energia immessa in rete (distinte per le diverse fonti)	
Dopo	-		-	Autoconsumo e libero mercato oppure ritiro dedicato oppure scambio sul posto ³

2. Di potenza non superiore a 10 MVA o di potenza qualsiasi nel caso di fonti rinnovabili non programmabili.
3. Di potenza non superiore a 200 kW

1.8 Meccanismi di incentivazione

1.8.1 Il sistema delle quote obbligate

L'art. 11 del D.Lgs. 79/1999 ha introdotto l'obbligo, a carico dei produttori e degli importatori di energia elettrica prodotta da fonti non rinnovabili, di immettere nel

sistema elettrico nazionale, a decorrere dal 2002, una quota minima di energia elettrica prodotta da impianti alimentati a fonti rinnovabili entrati in esercizio dopo l'1/4/1999.

La quota percentuale è calcolata sulla base delle produzioni e delle importazioni da fonti non rinnovabili dell'anno precedente, decurtate dell'energia elettrica prodotta in cogenerazione ai sensi della delibera AEEG 42/2002 e successive modifiche e integrazioni, degli autoconsumi di centrale e delle esportazioni, con una franchigia di 100 GWh per ciascun operatore. Tale quota inizialmente era fissata al 2%; il D.Lgs. 387/2003 ha stabilito un progressivo incremento annuale di 0,35 punti percentuali nel triennio 2004-2006.

La Legge Finanziaria 2008 ha elevato l'incremento annuale a 0,75 punti percentuali per il periodo 2007-2012; successivi decreti ministeriali potranno stabilire ulteriori incrementi per gli anni successivi al 2012.

I soggetti sottoposti all'obbligo possono adempiervi immettendo in rete energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili oppure acquistando da altri produttori titoli, chiamati certificati verdi (CV), comprovanti la produzione dell'equivalente quota. I certificati verdi sono lo strumento con il quale tali soggetti devono dimostrare di avere adempiuto al proprio obbligo e quindi costituiscono l'incentivo alla produzione da fonte rinnovabile. Si crea infatti un mercato, in cui la domanda è data dai soggetti sottoposti all'obbligo e l'offerta è costituita dai produttori di energia elettrica con impianti aventi diritto ai certificati verdi.

1.8.2 I certificati verdi

Taglia

I certificati verdi sono titoli comprovanti la produzione di una certa quantità di energia da fonti rinnovabili. La loro taglia, inizialmente fissata in 100 MWh, è stata progressivamente abbassata dalla normativa: prima a 50 MWh dalla L. 23/8/2004 n. 239 ed infine a 1 MWh dalla Legge Finanziaria 2008. Dal primo gennaio 2009, dunque, il numero di CV che un soggetto obbligato deve possedere per dimostrare di aver adempiuto all'obbligo introdotto dal D.Lgs. 79/1999, è uguale al proprio obbligo espresso in MWh.

Modalità di calcolo

I CV vengono rilasciati in funzione dell'energia netta prodotta dall'impianto (E_A), che è l'energia lorda misurata ai morsetti dei gruppi di generazione, diminuita dell'energia elettrica assorbita dai servizi ausiliari, delle perdite nei trasformatori e delle perdite di linea fino al punto di consegna dell'energia elettrica alla rete con obbligo di connessione di terzi.

L'energia netta prodotta tuttavia non costituisce sempre direttamente il termine di riferimento per il calcolo del numero di certificati verdi spettanti.

Esistono diversi tipi di interventi impiantistici (nuova costruzione, riattivazione, potenziamento, rifacimento totale o parziale) che danno diritto a ottenere l'incentivazione di tutta o parte dell'energia elettrica prodotta. Ad ogni categoria di intervento, infatti, corrisponde una diversa formula che lega l'energia riconosciuta come incentivabile E_I all'energia netta prodotta E_A (ad esempio, nel caso di interventi di nuova costruzione tutta l'energia netta prodotta è incentivabile, mentre nel caso dei potenziamenti generalmente è incentivabile solo l'incremento di produzione).

In base a quanto previsto dalla normativa antecedente la Legge Finanziaria 2008, l'energia corrispondente al numero di certificati verdi riconosciuti (E_{CV}) coincide esattamente con l'energia riconosciuta come incentivabile (E_I), la quale, come detto, dipende dall'energia netta prodotta (E_A) in modo differente a seconda dell'intervento realizzato.

Riassumendo, per gli impianti entrati in esercizio entro il 31/12/2007, per tutto il periodo di incentivazione (12 anni) si ha:

$$E_{CV} = E_I \quad \text{essendo } E_I \text{ funzione della categoria di intervento e di } E_A$$

La Legge Finanziaria 2008 e il suo collegato fiscale (Legge 29/11/2007 n. 222) hanno introdotto un nuovo principio, a beneficio degli impianti entrati in esercizio successivamente al 31/12/2007, consistente nel differenziare l'entità dell'incentivazione in base alla fonte rinnovabile. Il numero di certificati verdi riconosciuti dipende, oltre che dal tipo di intervento realizzato e dall'energia netta prodotta, anche dal tipo di fonte rinnovabile che alimenta l'impianto.

I CV sono attribuiti moltiplicando l'energia riconosciuta come incentivabile (E_I) per un coefficiente K , il cui valore è differenziato in base alla fonte rinnovabile utilizzata, e che nel caso di Biomasse e biogas derivanti da prodotti agricoli, di allevamento e

forestali, ottenuti nell'ambito di intese di filiera, contratti quadro, o filiere corte risulta essere pari a 1,80

Sinteticamente, per gli impianti entrati in esercizio dopo il 31/12/2007, per tutto il periodo di incentivazione (15 anni) si ha:

$$E_{CV} = K \times E_I \quad \text{essendo } E_I \text{ funzione della categoria di intervento e di } E_A$$

Il D.M. 2/3/2010 del Ministro delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, di concerto con il Ministro dello Sviluppo Economico, ha disciplinato che le biomasse e i biogas per accedere ad un coefficiente di 1,8 devono essere costituite esclusivamente dalla parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura, comprendente sostanze vegetali e animali, e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse. Le suddette biomasse devono inoltre rientrare in una delle due seguenti tipologie:

- biomassa da intese di filiera, cioè biomasse prodotte nell'ambito di intese di filiera o contratti quadro di cui agli articoli 9 e 10 del D.Lgs. 27/7/2005 n. 102;
- biomassa da filiera corta, cioè biomassa prodotte entro il raggio di 70 km dall'impianto di produzione dell'energia elettrica.

Periodo di riconoscimento e periodo di validità

Il periodo di riconoscimento dei certificati verdi, inizialmente fissato in otto anni, è stato in un primo tempo elevato a dodici anni dal D.Lgs. 3/4/2006 n. 152; la Legge Finanziaria 2008 ha peraltro chiarito che tale prolungamento si applica a tutti gli impianti alimentati da fonti rinnovabili entrati in esercizio dopo l'1/4/1999 ed entro il 31/12/2007.

La medesima legge ha altresì disposto che l'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili in impianti entrati in esercizio in data successiva al 31/12/2007 possa godere dei CV per un periodo di quindici anni.

I certificati verdi hanno validità triennale: quelli rilasciati per la produzione di energia elettrica in un dato anno (anno di riferimento dei CV) possono essere usati per ottemperare all'obbligo introdotto dall'art. 11 del D.Lgs. 79/1999 relativo anche ai successivi due anni.

Prezzo

La valorizzazione economica dei certificati verdi costituisce l'incentivo alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

Definito P_{CV} il prezzo dei CV venduti, espresso in €/MWh, il valore dell'incentivazione, I_{CV} , espresso in €, è dato dalla seguente relazione:

$$I_{CV} = P_{CV} \times E_{CV}.$$

Il valore dell'incentivo, cioè il prezzo dei certificati verdi, si forma in base alla legge della domanda e dell'offerta. Le transazioni dei CV possono avvenire sul mercato organizzato dal Gestore dei Mercati Energetici (GME) o mediante contratti bilaterali. Il GME registra, oltre alle transazioni dei certificati che avvengono sul mercato, anche le transazioni bilaterali.

Sia per fornire agli operatori indicazioni utili ai fini della valutazione del possibile prezzo di collocamento dei loro certificati verdi sia per coprire una domanda inizialmente superiore all'offerta, il D.Lgs. 79/1999 ha assegnato al GSE il compito di offrire, sul mercato organizzato dal GME, certificati verdi relativi all'energia prodotta dagli impianti CIP 6/1992, alimentati a fonti rinnovabili, entrati in esercizio dopo l'1/4/1999.

Prima della Legge Finanziaria 2008 il prezzo dei CV offerti dal GSE era calcolato come differenza tra l'onere di acquisto, da parte del GSE, dell'energia elettrica prodotta dagli impianti CIP 6/1992 alimentati da fonti rinnovabili e i proventi derivanti dalla vendita di tale energia.

La Legge Finanziaria 2008 ha introdotto una nuova modalità di calcolo del prezzo di offerta dei CV del GSE: a partire dal 2008 essi sono collocati sul mercato a un prezzo pari alla differenza tra 180 €/MWh e il valore medio annuo del prezzo di cessione dell'energia elettrica registrato nell'anno precedente. L'applicazione di questa nuova modalità di calcolo ha dato luogo a valori di offerta dei CV del GSE pari a 112,88 €/MWh per l'anno 2008, 88,66 €/MWh per l'anno 2009 e 112,82 €/MWh per l'anno 2010.

Il prezzo dei certificati verdi del GSE rappresenta un prezzo massimo per l'intero mercato.

Mentre fino al 2005, a causa della scarsità di offerta, i certificati venivano scambiati a un prezzo prossimo a quello del GSE, dall'anno 2006 l'offerta di CV dei produttori qualificati IAFR ha superato la corrispondente richiesta necessaria alla copertura dell'obbligo; tale situazione ha provocato una diminuzione dei prezzi di vendita dei certificati verdi.

Al fine di evitare l'eccessiva perdita di valore dei certificati verdi in situazioni di eccesso di offerta, sono state introdotte due disposizioni normative.

La prima, contenuta nella Legge Finanziaria 2008 (art. 2, comma 149), prevede che dal 2008, su richiesta dei produttori, il GSE ritiri i CV in scadenza nell'anno a un prezzo pari al prezzo medio registrato l'anno precedente, relativo alle contrattazioni di tutti i certificati verdi, indipendentemente dall'anno cui essi si riferiscono, effettuate sia sulla borsa del GME sia mediante contrattazioni bilaterali.

La seconda disposizione, introdotta dal D.M. 18/12/2008 (art. 15), stabilisce che, nel triennio 2009-2011, su richiesta dei detentori, il GSE ritiri i CV rilasciati per le produzioni relative agli anni fino al 2010. Il prezzo di ritiro dei predetti certificati è pari al prezzo medio di mercato del triennio precedente all'anno nel quale viene presentata la richiesta di ritiro. Nel 2010 il prezzo di ritiro dei CV da parte del GSE in attuazione di tale disposizione è pari a 88,91 €/MWh al netto di IVA, corrispondente al prezzo medio ponderato delle contrattazioni di tutti i certificati registrate dal GME nel triennio 2007-2009.

Concludendo questo paragrafo ricordiamo quanto detto al capitolo 2: la vendita dei certificati verdi non costituisce l'unica fonte di remunerazione della generazione elettrica da fonti rinnovabili, in quanto a essa si va a sommare la valorizzazione dell'energia elettrica (vendita dell'energia elettrica immessa in rete, autoconsumo o scambio sul posto). Tale forma di remunerazione permane ovviamente anche al termine del periodo di incentivazione.

1.8.3 Il meccanismo delle tariffe onnicomprensive

La Legge Finanziaria 2008 ha introdotto un nuovo schema di incentivazione (poi disciplinato dal D.M. 18/12/2008 e dalla delibera AEEG ARG/elt 1/09), cui è possibile aderire in alternativa al sistema dei certificati verdi, a beneficio esclusivo degli impianti entrati in esercizio dopo il 31/12/2007, aventi potenza nominale media annua non superiore a 1 MW (200 kW nel caso degli eolici).

Ai suddetti impianti è concessa la facoltà di optare per tariffe di ritiro dell'energia immessa in rete, differenziate per fonte, riconosciute per un periodo di quindici anni. Tali tariffe sono dette "onnicomprensive" (TO) in quanto il loro valore include sia la componente incentivante sia la componente relativa alla remunerazione derivante dalla vendita dell'energia immessa nella rete elettrica.

Sino al termine del periodo di incentivazione, dunque, le tariffe costituiscono l'unica fonte di remunerazione della generazione elettrica da fonte rinnovabile. Terminato il periodo di incentivazione permane naturalmente la possibilità di valorizzare l'energia elettrica prodotta (vendita dell'energia elettrica immessa in rete, autoconsumo o scambio sul posto).

Mentre i certificati verdi sono riconosciuti sulla base dell'energia netta prodotta (E_A) e quindi premiano anche l'eventuale quota di produzione autoconsumata, le tariffe onnicomprensive sono riconosciute in funzione della sola energia netta immessa in rete (E_R).

Anche nel caso delle TO, così come nel caso dei CV, in base al tipo di intervento impiantistico eseguito cambia l'entità dell'incentivazione. In particolare, nel sistema delle tariffe onnicomprensive, a seconda della categoria di intervento, cambia la quota di energia netta immessa in rete (E_R) che può essere incentivata: è su tale quota di energia (energia incentivata E_I) che vengono erogate le tariffe.

Definito V_{TO} il valore della tariffa in €/MWh (funzione della fonte rinnovabile) e I_{TO} il valore in € della remunerazione riconosciuta, possiamo scrivere:

$$I_{TO} = V_{TO} \times E_I \quad \text{essendo } E_I \text{ funzione della categoria di intervento e di } E_R$$

L'articolazione delle tariffe in funzione della fonte che alimenta l'impianto è illustrata nella tabella 1.4.

Tabella 1.4 - Tariffe onnicomprensive riconosciute all'energia incentivata E_I

(Tabella 3 allegata alla Legge Finanziaria 2008, così come modificata dalla Legge 99 del 23/7/2009).

Numerazione L.244/2007	Fonte	Tariffa (€/MWh)
1	Eolica per impianti di taglia inferiore a 200 kW	300
3	Geotermica	200
4	Moto ondoso e maremotrice	340
5	Idraulica diversa da quella del punto precedente	220
6	Biogas e biomasse, esclusi i biocombustibili liquidi ad eccezione degli oli vegetali puri tracciabili attraverso il sistema integrato di gestione e di controllo previsto dal regolamento (CE) 73/2009 del Consiglio, del 19 gennaio 2009	280
8	Gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biocombustibili liquidi ad eccezione degli oli vegetali puri tracciabili attraverso il sistema integrato di gestione e di controllo previsto dal regolamento (CE) 73/2009 del Consiglio, del 19 gennaio 2009	180

1.8.4 Cumulabilità degli incentivi

Ai sensi dell'art. 18 del D.Lgs 387/2003, la produzione di energia elettrica che ottiene i certificati verdi non può ottenere anche i titoli di efficienza energetica; inoltre la produzione di energia elettrica da impianti alimentati da biodiesel che abbia ottenuto l'esenzione dall'accisa non può ottenere anche i certificati verdi.

Ai sensi dell'art. 2 comma 152 della Legge Finanziaria 2008, come modificato dalla L. 99/2009, in linea generale la produzione di energia elettrica da impianti alimentati da fonti rinnovabili, entrati in esercizio in data successiva al 30 giugno 2009, ha diritto di accesso ai certificati verdi o alle tariffe onnicomprensive a condizione che i medesimi impianti non beneficino di altri incentivi pubblici di natura nazionale, regionale, locale o comunitaria in conto energia, in conto capitale o in conto interessi con capitalizzazione anticipata, assegnati dopo il 31 dicembre 2007.

2. CAPITOLO

Utilizzo delle biomasse ligno cellulosiche a scopo energetico

2.1 Le Biomasse

Per biomassa si intende un materiale organico di natura vegetale. La biomassa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare (tramite la fotosintesi), energia che consente alle piante di convertire la CO₂ atmosferica in materia organica durante la loro crescita.

La biomassa è considerata una risorsa rinnovabile, ovvero inesauribile nel tempo nel caso in cui non venga impiegata ad un ritmo superiore alle capacità di rinnovamento biologico.

Il conteggio della quantità di biomasse comprende sia le masse in piedi degli alberi in foresta, sia il legno di estrazione forestale nelle sue varie forme di utilizzazioni industriali e civili, sia i prodotti ed i residui dell'agricoltura e delle lavorazioni agro-alimentari. Fanno parte delle biomasse anche i residui costituiti da ramaglie o il legno proveniente dal circuito dell'uso ottenuto in seguito alla raccolta differenziata e alle successive operazioni di separazione, nonché le colture dedicate, ovvero Short Rotation Crops o Forestry (SRC e SRF).

La Commissione Europea ha promosso la predisposizione di specifiche norme tecniche per i biocombustibili solidi, ottenuti oltre che dalle biomasse residuali sopra citate, anche da prodotti agricoli e forestali. Le norme tecniche, approvate lo scorso dicembre 2004 da parte del CEN/TC 335 "Solid Biofuels", secondo la Commissione dovranno essere il supporto tecnico fondamentale per la futura legislazione comunitaria e nazionale del settore.

In sostanza, per biomassa si intende la materia prima di origine biologica dalla quale è possibile ottenere un biocombustibile., rispondente alle specifiche definite dalle norme elaborate dal CEN/TC 335.

In Italia la collocazione normativa della biomassa vegetale, destinata all'utilizzo energetico, è catalogabile come segue:

Biomasse vergini

Il materiale vegetale rispondente alla descrizione inclusa nell'Allegato IX alla Parte V del D.Lgs 152/2006, (ex DPCM 08/03/2002), può essere inquadrato come un combustibile e la sua conversione energetica è regolamentata nell'ambito della normativa sui combustibili; si tratta sostanzialmente di "biomassa vergine" quindi che non ha subito alcun trattamento chimico.

Il criterio distintivo delle biomasse combustibili è la qualità dei materiali all'atto della conversione energetica, pertanto l'appartenenza di un materiale alle "biomasse combustibili" non esclude il fatto che debba essere trattato come un rifiuto, qualora rientri in tale definizione, nelle fasi di gestione precedenti alla conversione.

Materiale residuale biogenico che ha subito un trattamento chimico

Il materiale biogenico difforme dai suddetti requisiti, sostanzialmente quindi quello che ha subito un qualsivoglia trattamento chimico, rimane collocato, almeno ai fini della regolamentazione della conversione energetica, nell'universo "rifiuti"; il suo utilizzo energetico è disciplinato dal Decreto Ministeriale (DM) 05/02/98 e modifiche, in attesa di una revisione ai sensi dell'Art. 214 del D.Lgs 152/2006, e dal D.Lgs 133/2005.

2.2 Caratteristiche chimiche

Dal punto di vista energetico, le biomasse possono essere considerate come energia solare radiante trasformata dalle piante in energia chimica e stoccata sotto forma di molecole complesse (polimeri) ad alto contenuto energetico.

I principali polimeri delle biomasse legnose sono la cellulosa, l'emicellulosa e la lignina.

La cellulosa è il principale componente del legno, di cui costituisce circa il 50% del peso secco. In forma di microfibrille, essa è costituita da una catena lineare di monomeri (molecole di glucosio) con elevato grado di polimerizzazione. Presente nella parete cellulare primaria e soprattutto secondaria conferisce al legno la resistenza meccanica nonché una buona resistenza agli agenti chimici.

L'emicellulosa, costituente dal 10% al 30% del legno, è un polisaccaride a basso peso molecolare, presente nella parete cellulare delle piante in corrispondenza degli spazi

lasciati liberi dalla cellulosa. Per idrolisi acida libera i suoi costituenti, esosi (glucosio, galattosio e mannosio) e pentosi (xilosio e arabinosio), insieme a acido glucuronico.

L'emicellulosa, come la cellulosa, è insolubile in acqua, ma, al contrario di essa, è solubile in soluzione alcalina.

La lignina è il costituente che differenzia il legno dagli altri materiali vegetali. Costituita da una miscela di polimeri fenolici a basso peso molecolare, la cui unità di base è il fenil-propano, è presente in percentuali che variano dal 20 al 30 % del peso secco del legno, nella lamella mediana e nella parete cellulare, conferendo rigidità alla pianta. La lignina è caratterizzata da bassa igroscopicità e suscettibilità agli agenti ossidanti.

Oltre ai 3 componenti principali nel legno sono presenti numerosi altri composti organici, localizzati nel lume e nella parete cellulare, nonché alcuni composti inorganici, quali sali di calcio, magnesio, sodio, potassio, silicio, ..., che solitamente in seguito alla combustione si ritrovano nelle ceneri. La percentuale dei composti inorganici varia in funzione di diversi fattori, ovvero terreno, specie arborea, organo della pianta, ..., passando dallo 0,4% della base del tronco al 7% delle foglie e al 10% della corteccia.

Per quanto riguarda la composizione chimica elementare, il legno è costituito da carbonio per il 49-51%, da ossigeno per il 41-45%, e da idrogeno per il 5-7%. Inoltre, il legno contiene basse quantità di azoto, tracce di zolfo ed altri elementi minerali.

Ovviamente un alto contenuto di carbonio e idrogeno determina un più alto potere calorifico, mentre elevate presenze di ossigeno, azoto e ceneri hanno un effetto opposto, limitando il valore energetico del legno. Un altro parametro interessante direttamente correlato alla composizione chimica e alle tipologie di legame tra atomi e molecole del legno, è la volatilità, data dalla quantità di materiale volatile presente nel legno ed espressa in percentuale sul peso secco. Rispetto ad altri materiali la volatilità del legno è molto elevata e varia dal 75% all'85%.

2.3 Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche delle biomasse che influenzano processi di conversione energetica sono l'umidità e la massa volumica.

Ad umidità costante la massa volumica del legno è funzione della percentuale di vuoti presenti al suo interno riferita al volume geometrico del pezzo ovvero alla

cosiddetta porosità 'z' del legno. Per questo motivo, non ha senso parlare di massa volumica del legno se non si fa riferimento alla sua umidità.

In particolare, l'umidità assume una significativa importanza perché, oltre ad agire sui meccanismi di combustione, condiziona le caratteristiche chimiche del legno e la sua massa volumica. La quantità d'acqua nel legno è estremamente variabile: al momento del taglio può assumere valori diversi in funzione della specie, dell'età, della diversa parte della pianta, della stagione. Solitamente è possibile riscontrare valori più bassi di umidità nelle latifoglie rispetto alle conifere, nelle parti basse rispetto alle parti alte della pianta, durante l'estate rispetto all'inverno.

L'umidità esprime la quantità di acqua, libera e legata, presente nel legno, espressa come percentuale sia sul peso secco (w_{ss}) sia sul peso fresco (w_{sf}) del legno, ovvero

$$w_{sf} [\%] = \frac{(M_F - M_S)}{M_F} \times 100$$

$$w_{ss} [\%] = \frac{(M_F - M_S)}{M_S} \times 100$$

dove M_F è la massa del legno tal quale e M_S è la massa del legno allo stato secco.

La densità, rappresenta il più comune indicatore di qualità del combustibile legnoso, essendo il potere calorifico direttamente proporzionale ad essa.

La densità è la massa per unità di volume, mentre la densità basale è espressa in tonnellate al metro cubo e indica il rapporto tra la massa del legno secco e il volume del legno con umidità (esclusa la corteccia). La densità basale del legno varia da 300 a 700 kg/m^3 in funzione della specie, dell'età, della parte della pianta, della forma di governo boschivo e di gestione, nonché di altri fattori.

Parlando di conversione energetica delle biomasse, la grandezza fisica di principale importanza è il potere calorifico, inteso come la quantità di energia (in Joule o Kcal o kWh) che è possibile ottenere da un kg di sostanza, intesa come sostanza fresca (SF), come sostanza secca (SS) o come sostanza secca e priva di ceneri (DAF), e, nel sistema internazionale di misure è espresso in kJ/kg.

La determinazione del potere calorifico (vedi Capitolo 4) avviene a volume costante, all'interno di una bomba calorimetrica (Potere Calorifico Superiore, PCS). Tuttavia, nella pratica, avvenendo la combustione a pressione costante, il vapor d'acqua proveniente dalla combustione dell'idrogeno e dell'acqua contenuta nel combustibile non si condensa e, di conseguenza, il calore di condensazione non è recuperato.

Pertanto, il numero delle calorie risultante dalla combustione del legno è inferiore rispetto alla determinazione precedente (Potere Calorifico Inferiore, PCI).

Il potere calorifico delle biomasse varia notevolmente in funzione delle caratteristiche fisiche e della composizione chimica del materiale. Per esempio, a parità di peso, il legno di conifere ha un potere calorifico maggiore rispetto a quello delle latifoglie, a causa della presenza di resine e a più elevate quantità di lignina.

Infatti, mentre per le conifere è possibile raggiungere un PCI di 5.000 kcal/kg per legno di pino, per le latifoglie il PCI non supera le 4.500 kcal/kg.

2.4 Tipologie di biomassa

Esistono diverse tipologie di biomassa ligneo-cellulosica utilizzabile per scopi energetici. Una categorizzazione può partire dalla provenienza: dagli scarti delle lavorazioni agricole, dagli scarti delle lavorazioni agro-industriali, dalla gestione dei boschi.

Infatti le principali tipologie di biomassa comunemente impiegate a fini energetici possono essere distinte in:

- colture energetiche (dedicate) sia arboree che erbacee (ad esempio, Short Rotation Forestry.) Tra le colture erbacee si ricordano, ad esempio, il Sorgo da fibra, la Canna comune, il Miscanto. Tra le colture arboree si ricordano, ad esempio, il Pioppo e la Robinia;
- residui agricoli, agroindustriali, artigianali, industriali, civili (esempi: paglia, sansa di oliva, legna vecchia, vinacce, buccette, gusci di frutta secca, stocchi di mais, lolla di riso, particolari frazioni di rifiuti urbani (RU) e di rifiuti assimilabili agli urbani (A));
- residui forestali, legna da ardere, altri prodotti ligneo-cellulosici puri.

2.4.1 Biomassa di origine agricola: destinazione, problematiche e disponibilità sul territorio

Le biomasse combustibili provenienti dall'agricoltura sono costituite dai residui colturali ovvero da tutte quelle parti della pianta che non riguardano il "prodotto principale" generalmente destinato ad usi alimentari.

I residui agricoli, generalmente costituiti dalle strutture di supporto e protezione degli organi di riproduzione della pianta oltre che dalle foglie, derivano dall'operazione di taglio a fine ciclo colturale per le colture annuali (ad esempio cereali) e dalle operazioni di potatura effettuate con varia periodicità sulle colture poliennali (ad esempio frutteti). Tali residui possono essere costituiti da:

- steli,
- foglie,
- organi di supporto del seme (ad esempio i raspi, ...),
- organi di protezione del seme (ad esempio brattee, lolla, ...),
- rami e ramaglia fine (ad esempio potature di vite),
- legno (ad esempio potature, espianzi e sostituzioni di fruttiferi).

La quantità di residui colturali recuperabile e, quindi, la stima della disponibilità territoriale di biomassa dipendono da numerosi fattori, quali l'estensione delle superfici coltivate, la produttività delle colture, le caratteristiche agronomiche della coltura, la modalità di raccolta, le condizioni di operatività, la stagionalità della raccolta, lo stoccaggio del sottoprodotto, l'organizzazione aziendale e i possibili utilizzi del sottoprodotto.

Infatti, i residui agricoli trovano in alcuni casi qualche forma di impiego all'interno dell'azienda stessa per scopi diversi oppure entrano in qualche mercato locale. Nella Tabella 2.1 sono mostrate le principali destinazioni di alcuni residui agricoli.

I residui colturali possiedono caratteristiche intrinseche che li rendono diversi sia dai prodotti principali stessi sia da altri sottoprodotti:

- composizione della sostanza secca;
- contenuto di acqua al momento della raccolta;
- massa volumica apparente;
- volume medio unitario;

- potere calorifico inferiore (PCI);
- contenuto di ceneri ed altri minerali.

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

Tabella 2.1 – Categorie di residui delle colture tradizionali e loro attuale utilizzo (ITABIA 2003)

La problematica più critica nell'ambito dei residui agricoli è la loro raccolta organizzata, che non appare proponibile in aziende di piccole dimensioni perché il basso valore del prodotto non giustifica il costo d'acquisto delle macchine.

Dalla fine degli anni '70 l'industria meccanica nazionale ha iniziato a sperimentare macchine per la raccolta delle potature, ma solo negli scorsi anni si è registrato un primo impegno commerciale di alcune ditte derivante da una certa richiesta di fascine o balle di potature destinate soprattutto ai forni; la gran parte delle macchine vendute si colloca nel mercato del contoterzismo.

Quest'ultimo è il settore che andrebbe valorizzato in quanto solo strutture specializzate ed organizzate possono offrire adeguate capacità di raccogliere e trasportare questa tipologia di biomassa. Per quanto riguarda la paglia di cereali, di cui vi è ampia disponibilità sul territorio nazionale, è noto come una parte di essa, (circa il 40-45%) sia destinata ad usi zootecnici (lettieria per i bovini per la conseguente formazione di letame da utilizzare maturo come ammendante nei terreni agricoli).

Una quota marginale di paglia viene reinterrata, come raccomandato da alcuni

esperti, in quanto fonte di sostanza organica per il suolo agrario; va però ricordato che l'elevato rapporto C/N della paglia altera l'equilibrio del terreno e rende necessario l'apporto di concimi azotati che, viceversa, sono di origine chimica.

In sostanza si tratta di una pratica valida, ma non in senso assoluto, e va valutata con attenzione in funzione delle specifiche esigenze dei suoli. La parte rimanente è frequentemente bruciata con l'effetto di sterilizzare la parte superficiale del terreno e lasciare comunque sul terreno la cenere che, però, viene in buona parte dispersa dagli agenti meteorici. Tale pratica, in molte Regioni vietata, è quindi ampiamente sconsigliabile.

Anche per le potature della vite (sarmenti), dell'olivo e degli alberi da frutto, che vengono effettuate con turni variabili in funzione della tipologia della coltivazione, si pone il problema dell'eliminazione di tale materiale dai filari: questo viene infatti generalmente raccolto e portato a bordo campo per poi essere bruciato o utilizzato; la parte costituita da materiale legnoso trova spesso reimpiego come legna da ardere mentre la parte più minuta è scarsamente utilizzata.

Il reinterro delle potature, operato generalmente da trinciatrici che sminuzzano le biomasse e le mescolano con la parte superficiale del terreno, ha il vantaggio di apportare sostanza organica al terreno (con problematiche simili alla paglia) e lo svantaggio di lasciare nel suolo sia le eventuali sostanze chimiche utilizzate nella lotta antiparassitaria, sia gli eventuali parassiti vegetali e/o animali presenti sulle potature stesse. Anche in tal caso quindi si tratta di una pratica da valutare con attenzione.

Nella Tabella 2.2 sono riportati i quantitativi in migliaia di tonnellate, di residuo delle produzioni agricole, della legna e degli scarti provenienti dall'industria agro-alimentare

	Residui agricoli	Legna	Scarti agro industriali	Totale
NORD	3.468	3.529	789	7.786
CENTRO	1.513	2.425	313	4.251
SUD	2.868	1.764	537	5.169
TOTALE	7.849	7.718	1.639	17.206

Tabella 2.2 – Disponibilità annua di residui (kt Sostanza Secca) (Banca Dati Biomasse, ENEA – AIGR, 1991)

Analisi più recenti (ITABIA, 2003) riportano i quantitativi di biomasse agricole e residuali, distinguendoli in “disponibilità potenziale” e “disponibilità effettiva”. Tale distinzione viene fatta in base alla considerazione che nel breve termine, e per fattori economici e di mercato oggi difficilmente valutabili, l’uso di solo una parte di tali residui possa essere destinato ad impieghi energetici.

Colture	Dipsonibilita' potenziale	Disponibilita' effettiva
ERBACEE	10.500	6.000
INDUSTRIALI	500	350
ARBOREE	3.200	1.600
TOTALE	14.200	7.950

Tabella 2.3 – Quantitativi annui di residui agricoli (kt SS) (ITABIA, 2003)

2.4.2 Biomassa di origine agro-industriale

Gli scarti derivanti dalle attività agro-industriali sono così schematizzabili:

- RESIDUI DELLA PRIMA LAVORAZIONE DEL LEGNO
 - segatura, corteccia, trucioli, refili, intestature e altro
- RESIDUI DELLA SECONDA LAVORAZIONE DEL LEGNO
 - segatura, trucioli, refili e altro, derivanti dalla produzione di mobili, imballaggi (pallets e cassetame), infissi, pali/travi/strutture lignee, compensati, impiallacciati, ecc.
- RESIDUI DELL'INDUSTRIA DELLA CARTA
 - cortecce, refili, pulper
- LEGNO RICICLATO
 - imballaggi (pallets e cassetame)
 - demolizioni e dismissioni (pali/travi, infissi, mobili, compensati, altro)
- INDUSTRIA OLEARIA
 - sanse vergini
 - sanse esauste
 - acque di vegetazione
- INDUSTRIA BEVANDE ALCOLICHE
 - vinacce fresche

- vinacce esauste
- borlande di distilleria
- INDUSTRIA RISIERA
 - pula, lolla, ecc
- INDUSTRIA CONSERVIERA
 - noccioli di frutta fresca
 - gusci di frutta secca
 - semi e bucce di frutta e di ortaggi

Tra questi scarti ve ne sono alcuni (legno da demolizioni, ecc.) che non sono considerabili “biomasse vergini”, avendo subito trattamenti chimici di vario tipo, e pertanto possono essere valutati come combustibili solo a determinate condizioni.

2.4.3 Biomassa di origine forestale

La superficie forestale è quella porzione di territorio su cui sono presenti piante legnose arboree e arbustive. L'insieme della superficie del suolo e delle specie legnose prende comunemente il nome di bosco o foresta.

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

Le quantità e le qualità della biomassa ottenibile dalle foreste dipendono da una serie di fattori la cui analisi non può prescindere da una chiara visione del sistema foresta e delle sue modalità di governo.

In particolare, il governo a ceduo sfrutta la proprietà più o meno spiccata di alcune specie di latifoglie (querce, faggio, castagno, eucalipto, robinia, ...) di rigermogliare una volta che sono state tagliate alla base del tronco (ceppaia); le nuove gemme si accrescono rapidamente fino a divenire nuove piante (polloni).

Il governo a fustaia sfrutta, invece, la naturale capacità di tutte le piante di riprodursi per seme; quindi il taglio delle piante di una fustaia implica che ci siano dei nuovi individui pronti a sostituire le piante asportate o in alternativa il ricorso alla semina o alla piantagione diretta da parte dell'uomo.

Un altro concetto molto importante per la selvicoltura è il turno che è il tempo necessario affinché un bosco torni ad essere nuovamente sfruttato. Il turno è legato sia alla forma di governo, sia alla forma di trattamento che alla specie forestale. Il bosco,

quale che sia la sua forma di gestione, si rinnova lentamente ma costantemente nel tempo, la durata dei turni varia nell'ordine dei 20 anni per i boschi cedui e degli 80-100 anni per le fustaie. Per altre formazioni forestali come l'arboricoltura da legno di pioppo e di latifoglie nobili (noce, ciliegio, frassino, ...) i turni oscillano tra i 20 e i 50 anni.

I sottoprodotti del bosco sono costituiti da tutti quei residui che risultano dalle operazioni di utilizzazione delle piante (taglio, allestimento, sramatura, scortecciatura, depezzatura, ...) e sono identificabili in ramaglia, cimali, corteccia, foglie e radici. Parte di questi sono pressoché non raccogliabili da un punto di vista tecnologico (ad esempio le radici) o comunque di scarso o nullo interesse (ad esempio le foglie); la parte rimanente è, invece, frequentemente lasciata in bosco e costituisce un pericoloso innesco per gli incendi, dolosi o meno, e per tale motivo è una pratica generalmente vietata o disincentivata.

2.5 Trattamento dei biocombustibili solidi derivati da biomassa

I prodotti legnosi utilizzabili per scopi energetici sono caratterizzati da un'estrema eterogeneità per composizione, misura e forma, passando dalla polvere di legno alla segatura, dai trucioli alle ramaglie e ai tronchi.

Al momento di destinarli alla conversione energetica, essi richiedono trattamenti che sono variabili a seconda delle caratteristiche chimico-fisiche del materiale in questione e del tipo di impianto di utilizzazione. Il fine di queste operazioni è ottenere un combustibile a più alta qualità energetica e maggiore facilità d'impiego, che renda la dendroenergia il più comparabile possibile con gli altri combustibili convenzionali.

Successivamente alle fasi di taglio, la legna non può essere convenientemente utilizzata tal quale a causa dell'elevata percentuale d'umidità. Una soluzione semplice ed economica per ridurre il tenore idrico del legno da bruciare è l'essiccazione per traspirazione o biologica.

Essa consiste in una stagionatura del legno, la cui durata può variare da pochi mesi a più di un anno, in relazione all'andamento climatico stagionale e al tipo di legno: la biomassa legnosa dopo il taglio è solitamente stoccata in prossimità dei luoghi di utilizzazione, all'aperto oppure al riparo.

Ovviamente la perdita d'umidità porta ad un aumento del potere calorifico del legno, che raggiunge valori più alti con contenuti di umidità tra il 15 e il 20%. Scendere al di

sotto di tali valori comporterebbe oltre che notevoli problemi tecnico-economici, anche una rapida combustione negli impianti attualmente disponibili con conseguente rapida evacuazione dei fumi senza possibilità di cedere il calore, nonché difficoltà in fase di ignizione a causa della maggiore stabilità del materiale.

L'essiccazione naturale del legno porta ad una migliore qualità di combustione, a una minore produzione di fumo e catrame, a una minore usura delle apparecchiature e a più alti rendimenti termodinamici.

2.6 Conversione della biomassa in energia

Gli impianti di conversione termochimica si basano sul processo di combustione, reazione di ossido-riduzione, esotermica, consistente in una serie di reazioni fisiche e chimiche, nel corso della quale il carbone e l'idrogeno del combustibile reagiscono con l'ossigeno (comburente) per formare CO_2 e H_2O (prodotti di reazione) e liberare calore.

La combustione a carico dei materiali legnosi risulta estremamente complessa e i meccanismi di reazione non sono peraltro completamente noti. La combustione comporta schematicamente i seguenti tre stadi :

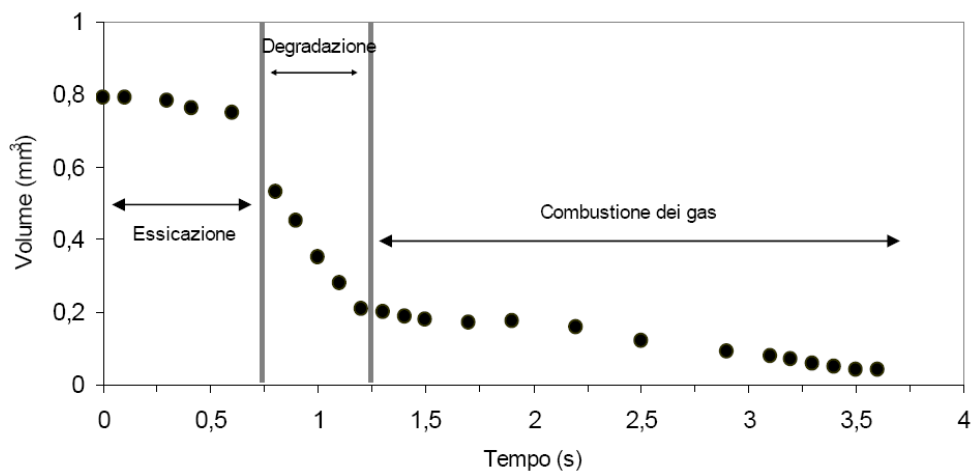


Figura 2.1 – Stadi della combustione del legno.

Essiccazione

In questa fase l'umidità del materiale legnoso è convertita in vapore e la temperatura sale a circa 200°C. Le reazioni fisiche prevalgono su quelle chimiche e la percentuale di umidità gioca un ruolo importante in termini energetici: il calore richiesto in questa

fase aumenta all'aumentare della percentuale di umidità del materiale, tuttavia, in una certa misura, l'umidità favorisce la conducibilità termica dall'esterno al centro del combustibile solido.

Degradazione

Una volta che la temperatura ha raggiunto valori superiori a 200°C inizia la pirolisi a carico dell'emicellulosa e successivamente (325-375°C) della cellulosa; la pirolisi della lignina prende avvio a temperature variabili da 250 a 500°C.

In questa fase assume rilevanza la dimensione del materiale, in quanto da esso dipende la ripartizione finale di gas, di carbone e di catrame. In genere piccole pezzature portate a temperature elevate in breve tempo danno origine ad alte percentuali di prodotti volatili; al contrario più grosse dimensioni del combustibile, temperature più basse e tempi più lunghi favoriscono la formazione del carbone.

Combustione dei gas

I composti volatili, principalmente composti organici assai complessi, sono liberati sotto forma di gas. Se è presente una sufficiente quantità di ossigeno, i composti volatili si combinano con esso, bruciano a 630°C e formano CO₂. In questo stadio un'insufficiente quantità di aria riduce l'energia calorica e produce fuliggine, che brucia più tardi, oppure, se la temperatura è inferiore a 100°C, è depositata come catrame o causa emissioni di inquinanti e polveri sottili nell'aria.

Attraverso innumerevoli reazioni di propagazione, con la formazione intermedia di radicali ossidrilici estremamente reattivi, il carbonio è fissato e rimosso come monossido di carbonio, bruciando con ossigeno per formare anidride carbonica. Parte di questa all'aumentare della temperatura, reagisce con il carbonio per dare ancora monossido di carbonio.

Trattandosi di una serie di reazioni soprattutto chimiche si intuisce l'importanza della temperatura, del tempo e della turbolenza.

Naturalmente i dispositivi atti alla combustione del legno sono svariati in forma, dimensione ed utilizzo. La descrizione dettagliata del funzionamento di tali dispositivi esula dallo scopo del presente lavoro. Nel presente studio ci limitiamo quindi a rappresentare schematicamente la caldaia per pellet comunemente in uso per impianti domestici o per la piccola azienda.

I pellet

I pellet di materiali ligno-cellulosici rappresentano una valida alternativa ai combustibili fossili; permettono, infatti, senza che si debba rinunciare ad un riscaldamento domestico automatizzato, la loro sostituzione con un vettore energetico rinnovabile di origine biologica. Rispetto ad altro tipo di biocombustibili, i pellet offrono i seguenti vantaggi: la massa volumica più elevata e la maggiore densità energetica si traducono, rispettivamente, in minori costi di trasporto e migliore efficienza energetica; il più basso contenuto idrico (10% circa) incrementa la possibilità di stoccare il materiale per periodi lunghi (Holm *et al.*, 2006).

Il pellet di legno in Italia può ancora essere considerato un combustibile “nuovo”, infatti, nonostante sia presente sul mercato da alcuni anni, e pur avendo proprietà fisiche ed energetiche apprezzabili, non ha ancora raggiunto le dimensioni di un prodotto di massa, disponibile su tutti i mercati e/o canali distributivi diversificati. Lo sviluppo di questo combustibile legnoso nel mercato italiano è condizionato soprattutto da adeguate disponibilità di biomassa da impiegare come materia prima. I materiali attualmente impiegati per la produzione di pellet di materiale ligno-cellulosico sono, in prevalenza, rappresentati da residui di segheria e delle industrie di lavorazione e trasformazione del legno (scarti di legno vergine costituiti da residui di legno naturale di varia pezzatura). Ciò ha comportato un progressivo incremento del loro valore di mercato fino a livelli che i produttori di pellet non riescono più a sostenere (Zaetta *et al.*, 2004), con la necessità per questi ultimi di trovare materiale di provenienza alternativo.

I residui della coltivazione di colture agricole erbacee ed arboree rappresentano una risorsa naturale convenientemente sfruttabile per la produzione di pellet a patto che, su tali materiali vengano eseguiti test rigorosi.

La nuova norma UNI/TS 11263:2007 “Biocombustibili solidi - Caratterizzazione del pellet a fini energetici”, definisce i criteri per una facile caratterizzazione del pellet per usi energetici mediante l’individuazione di quattro classi, definite in funzione della materia prima d’origine e delle caratteristiche fisiche e chimiche del prodotto finito. Tra queste i principali indicatori della qualità fisica del pellet sono la durabilità e la densità (Temmerman *et al.*, 2006). La durabilità è la capacità di un combustibile densificato di

resistere a sollecitazioni meccaniche e/o abrasioni di varia natura che si verificano nelle diverse fasi di vita del prodotto (UNI/TS 11263:2007; UNI CEN/TS 15210-1:2006).

La densità è un altro parametro fisico caratteristico dei pellet, in genere direttamente correlato alla durabilità.

Le caratteristiche finali del pellet sono notevolmente influenzate dalle condizioni di esercizio e dalla tipologia di materia prima. Vari autori hanno fino ad oggi analizzato l'effetto di tali parametri sulle proprietà meccaniche del pellet prodotto da residui di colture agricole erbacee (Jannasch et al., 2001; Mani et al., 2006; Shaw and Tabil, 2007; Tabil, 1996) o residui della prima lavorazione del legno (Holm et al., 2006; Rhen et al., 2005).

Caldaia per pellet

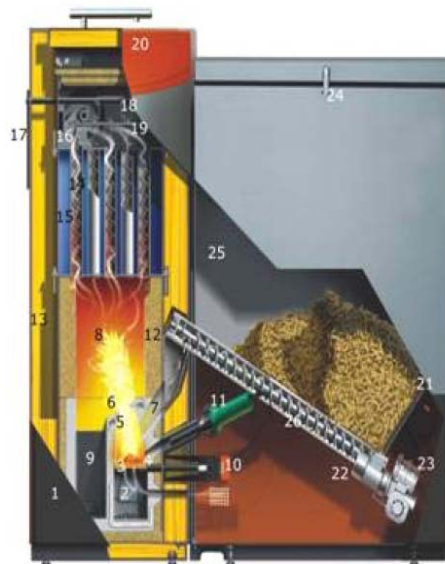


Figura 2.2- caldaia per pellet

Nella Figura è rappresentata una caldaia per pellet in cui sono riconoscibili le seguenti zone 1. Portello per le ceneri, 2. Griglia di pulizia del piatto, 3. Aria primaria, 4. Griglia autopulente, 5. Aria secondaria, 6. Piastra concentrazione di fiamma, 7. Condotto di caduta contro il ritorno di fiamma, 8. Zona di distensione, 9. Contenitore per le ceneri, 10. Servomotore per la pulizia della griglia, 11. Soffiante per l'accensione automatica, 12. Isolamento in ceramica, 13. Isolamento totale, 14. Scambiatore di calore, 15. Tubi scambiatori di calore, 16. Ventilatore per il tiraggio, 17. Leva per la pulizia, 18. Sonda dei fumi, 19. Sonda lambda, 20. Comandi con interfaccia utente, 21. Sonda per

mostrare il livello di riempimento, 22. Motore, 23. Ingranaggio, 24. Apertura per il riempimento, 25. Serbatoio di scorta settimanale, 26. Coclea di trasporto dei pellet.

I rendimenti degli impianti di combustione variano entro limiti abbastanza ampi.

Le ditte produttrici sostengono che le caldaie a fiamma inversa raggiungono rendimenti termodinamici prossimi al 90%. Ciò è dovuto a una riduzione dei consumi in quanto brucia solo il materiale strettamente necessario al mantenimento della combustione, senza intaccare la scorta di legna sovrastante, e in secondo luogo, a un preriscaldamento della stessa.

I piccoli dispositivi ad alimentazione manuale e discontinua posseggono rendimenti non elevati anche inferiori al 50% e al massimo del 70% nel caso di soluzioni tecniche innovative relative alla combustione o alla fase di scambio. Gli impianti automatici raggiungono invece valori più elevati e in qualche caso prossimi a quelli raggiunti da caldaie alimentate con combustibili fossili, anche superiori all'80%.

Le ceneri rappresentano il residuo solido della combustione, in cui sono presenti sia sostanze minerali incombustibili sia, in relazione alla qualità della combustione stessa, residui incombusti. Per gli impianti di piccole dimensioni soluzioni di estrazione automatica delle ceneri non sono giustificate economicamente; pertanto è necessario ricorrere ad un cassetto posto al di sotto della griglia estraibile che raccoglie le ceneri prodotte da rimuovere poi manualmente.

3. CAPITOLO

Generalità sull'Olivo e sull'olio

3.1 Origini dell'Olivo

L'Olivo (*Olea europea L.*) è una pianta tipicamente mediterranea, particolarmente adatta a regioni con clima temperato caldo caratterizzate da stagioni estive lunghe e asciutte .

La coltivazione dell'olivo ha avuto origine circa 5000 anni fa nella regione geografica che va dal sud Caucaso (Iran) alla Mesopotamia e alla Palestina.

Attraverso vari popoli mediterranei (**Fenici, Cartaginesi, Greci, Romani**), l'olivo si è diffuso in tutto il bacino del Mediterraneo soprattutto nelle fasce collinari e montane, quale elemento integrante e caratteristico del paesaggio, in quanto ha trovato le condizioni ideali per il suo sviluppo vegetativo e riproduttivo (Fig. 3.1).



Figura 3.1- Diffusione Dell'Olivo nel bacino del Mediterraneo

La presenza dell'olivo nel bacino del Mediterraneo risale ad una fase avanzata dell'ultima glaciazione. Resti carbonizzati di alberi di olivo risalenti a circa 4.300 anni fa sono stati scoperti in Palestina, mentre nel Mediterraneo occidentale, tracce di olivo selvatico sono state evidenziate in Spagna, sui Pirenei orientali, in alcuni giacimenti del

paleolitico superiore. Coerenti a questo quadro paleo-botanico sono le foglie fossili di olivo imprigionate nei tufi dell'Etna e nei travertini quaternari di Monreale segnalate già agli inizi del novecento, mentre più recenti sono i noccioli di olivo provenienti dagli strati mesolitici (8000-6000 A.C.), della grotta dell'Uzzo, in provincia di Trapani, che documentano il particolare interesse suscitato da questi frutti sui gruppi di cacciatori-raccoglitori dell'età preistorica presenti nell'Isola. Come nei casi citati in precedenza l'olivo documentato nella grotta dell'Uzzo è della specie selvatica, *Olea europea L. silvestris*, meglio nota con il nome di oleastro.

La coltivazione dell'olivo appare costantemente nella storia agricola di diverse Regioni tra le quali è compresa anche la Sicilia. Dalle cronache di storia antica è emerso che l'olio siciliano è stato commercializzato in gran parte dei Paesi dell'area del Mediterraneo sin dal IV secolo A.C.. sia per la sua "bontà" che per l'affermazione della civiltà greca dapprima, e dell'espansione dell'impero romano poi. L'importanza dell'olivo riguarda sia l'aspetto commerciale - sin dall'antichità l'olio è stato considerato una preziosa merce di scambio - che per l'aspetto religioso, infatti tale prodotto è entrato a far parte di diversi rituali religiosi non solo cristiani.

Attualmente la superficie olivicola mondiale è di circa 9.53 milioni ettari con una produzione mondiale pari a 2.16 milioni di tonnellate (dati FAO 2010, www.faostat.fao.org) di olio di oliva.

Circa i tre quarti della produzione si concentrano nell'Unione Europea che registra un livello produttivo pari a 2.144 milioni di tonnellate di cui l'Italia con una media di 610 mila tonnellate/anno è il secondo produttore al mondo, dopo la Spagna con circa 2.28 milioni di tonnellate.

Per quanto riguarda l'Italia, la superficie olivicola in produzione ammonta a poco più di 1.17 milioni ettari (7% della S.A.U. nazionale). La produzione media annua mondiale di olio di oliva si stima in 14 milioni di tonnellate, di cui 1.2 - 1.3 milioni di tonnellate sono utilizzate come olive da mensa, mentre la restante parte è destinata all'estrazione, con una produzione media annuale di olio nell'ordine di 2.4 milioni di tonnellate.

Per l'Italia, e in particolare per alcune regioni del meridione, l'olivicultura riveste un valore storico, essendo parte integrale della cultura, del paesaggio e dell'attività agricola e l'utilizzazione dell'olio d'oliva per scopi alimentari, energetici, medicamentosi ed anche religiosi si perde nella notte dei tempi. Tutte le regioni, ad esclusione del Piemonte e della Valle d'Aosta, sono interessate alla coltivazione

dell'olivo, anche se la stessa si concentra maggiormente nel sud e nelle isole, dove le condizioni ambientali hanno favorito una maggiore diffusione della specie.

L'Italia importa olio di oliva per oltre 500 mila tonnellate all'anno (dati ISMEA 2010, *www.ismea.it*), ma è anche il principale esportatore verso i Paesi non produttivi con una media di 300 mila tonnellate all'anno (dati ISMEA 2010, *www.ismea.it*). Tali scambi alimentano diverse attività legate alla lavorazione, confezionamento e commercializzazione.

Regioni	Superficie totale	Superficie in produzione	Produzione Totale olive	Produzione Totale olive da olio	Resa di produzione	Produzione Totale Olio
Sicilia	162.767	159.442	3.451.314	2.939.569	16,5 %	484.673
ITALIA	1.190.694	1.166.942	34.041.592	3.048.1410	16,8 %	5.130.672

Tabella 3.1- Superficie (ettari) e produzione (quintali): olivo,olive da olio,olio di pressione - Anno 2010 – Fonte ISTAT

In Sicilia la coltura dell'olivo ha una tradizione plurisecolare e occupa attualmente una superficie di circa 159 mila ettari. Nel territorio esistono circa 19 milioni di piante che svolgono un ruolo di rilievo sull'intero territorio nazionale, rappresentandone il 14% della superficie totale investita ad olivo e l'11% del numero complessivo di piante. Questi dati conferiscono all'isola il terzo posto a livello nazionale per produzione d'olio (dopo Puglia e Calabria). In Sicilia, oltre che per la produzione, la coltivazione dell'olivo, viene effettuata a scopo paesaggistico e di difesa idrogeologica dell'ambiente, si pensi ad esempio alle zone montane.

L'olivicoltura in Sicilia rappresenta una delle poche attività in grado di valorizzare aree non diversamente utilizzabili, a causa della povertà dei terreni e delle limitate alternative colturali, zone che altrimenti verrebbero abbandonate con conseguenze negative a livello sociale, ambientale e paesaggistico.

L'olivicoltura siciliana è tuttavia caratterizzata da una forte parcellizzazione della produzione:quasi il 70% delle aziende insiste su una superficie minore di 2 ettari. Solo il 6,2% delle aziende olivicole isolate possono contare su superfici olivetate superiori ai 10 ettari. La frammentazione della struttura produttiva spesso accompagnata da una considerevole variabilità sia qualitativa che quantitativa delle produzioni, ha riflessi negativi sulla competitività dell'intero comparto.

In Sicilia, la coltivazione dell'olivo trova la sua maggiore concentrazione nelle province di Messina, Palermo, Trapani e Agrigento. In particolare nelle province di Trapani e Palermo, grazie anche alla presenza di piante secolari l'olivicoltura contribuisce ad aumentare valore paesaggistico storico e naturalistico.

La forte pressione demografica dei secoli scorsi, ha spinto l'uomo a colonizzare aree impervie e poiché l'olivo è una specie "rustica", è stato possibile insediare anche in ambienti pedologici ed orografici difficili. Tali impianti, però, con il passare degli anni, sono stati via via abbandonati, perché i limiti fisici (orografia, natura del terreno, caratteristiche dei profili, del clima, etc.) incidono notevolmente sulle potenzialità produttive della coltura. Tuttavia, il recupero ed il mantenimento di alcuni oliveti marginali risulterebbe molto interessante, non soltanto perché essi svolgono un importante ruolo di protezione del suolo e conservazione del paesaggio, ma anche perché forniscono oli tipici, con caratteristiche organolettiche apprezzate dal mercato. In tal senso, il futuro dell'olivicoltura marginale va ricercato, certamente, nella qualità e nella diversità delle produzioni tipiche.

La ricchezza dell'olivicoltura siciliana è attestata dalle numerose varietà presenti (Cerasuola, Nocellara del Belice e Biancolilla, nella Sicilia occidentale; Moresca, Tonda Iblea e Nocellara Etnea, nella Sicilia orientale), le quali, assieme, raggiungono l'80% di tutte le cultivar di olivo coltivate in Sicilia. Sono altresì rappresentate altre sette cultivar (Brandofino, Crastu, Giarraffa, Minuta, Pidicuddara, Verdello, Zaituna) con diffusione più limitata, ma che, nei comprensori di pertinenza, riscontrano ancora un certo favore per alcuni caratteri agronomici. A completare il germoplasma indigeno siciliano contribuiscono altre venti cultivar circa. Queste, anche se scarsamente importanti in termini di diffusione territoriale e di quantità prodotte, rivestono una considerevole importanza per la tutela della diversità biologica.

Ad oggi la Sicilia conta ben otto Denominazioni di Origine Protetta (DOP) per la produzione di olio: di queste, sei ("Monti Iblei", "Valli Trapanesi", "Val di Mazara", "Monte Etna", "Valle del Belice", "Valdemone") sono state riconosciute dalla Comunità Europea e due ("Colli Nisseni" e "Colline Ennesi") risultano ancora in attesa di riconoscimento.

Per quanto invece riguarda la produzione di olive da mensa sul territorio isolano, emerge un'elevata qualità merceologica e organolettica grazie alla coltivazione della "Oliva Nocellara del Belice", una DOP particolarmente diffusa a Castelvetro,

Campobello di Mazara e Partanna, ed di una IGP in corso di riconoscimento (Oliva Giarrappa di Giuliana).

Negli ultimi anni il comparto olivicolo è interessato da una profonda crisi economica a causa del basso livello tecnologico degli impianti, e della presenza nel mercato di prodotto di scarsa qualità proveniente da Paesi terzi.

Gli alti costi di produzione e la concorrenza dei prezzi esercitata sui mercati interni ed esteri da parte delle produzioni provenienti da altri Paesi mediterranei, rendono, soprattutto nelle aree marginali, la coltivazione dell'olivo poco remunerativa, rischiando di indurre i produttori ad abbandonare gran parte delle superfici olivetate.

Per evitare ciò, l'obiettivo comune deve essere quello di garantire il rilancio del settore. Ciò può avvenire solo se si realizza un monitoraggio continuo del mercato dell'olio d'oliva soddisfacendo le richieste del consumatore con un prodotto di qualità, valorizzando, in tal senso, le numerose produzioni siciliane DOP.

Altro obiettivo deve essere quello di operare un'azione complessiva di ristrutturazione in termini di qualità delle produzioni e di miglioramento delle tecniche di coltivazione, trasformazione e commercializzazione del prodotto.

Particolare attenzione, infine, dovrebbe essere dedicata all'utilizzo a scopi energetici degli stessi prodotti di scarto dell'industria molitoria (sanse e acque di vegetazione), che, utilizzati e riconvertiti, potrebbero trasformarsi, per le strutture di trasformazione, oltre che in una possibilità di abbattimento dei costi energetici anche in una ulteriore fonte di reddito.

3.2 Il frutto dell'olivo

L'olivo è una pianta sempreverde di medio sviluppo (4-8 metri di altezza), che però può raggiungere e superare, in dipendenza della cultivar, dell'ambiente e delle condizioni colturali, anche i quindici metri di altezza ed il diametro di 1,5-2 metri.

In genere, lo sviluppo assunto dalle piante diminuisce parallelamente al crescere delle condizioni limitanti .

La forma della chioma è generalmente arrotondata o globosa, abbastanza densa, con una tendenza ad assumere con gli anni un profilo emisferico, in ragione di una espansione della chioma maggiore in senso radiale piuttosto che in altezza.

Nel tempo la fruttificazione tende a concentrarsi nelle porzioni più esterne della chioma per effetto dell'intristimento delle parti più interne.

Il frutto dell'oliva è una drupa di forma ovoidale. I caratteri morfologici, quali forma, colore e dimensioni dipendono sia da fattori genetici, che dall'epoca media di maturazione, dalla forza di attacco peduncolare, dalla resa in polpa, dal contenuto in olio e dalla sua composizione chimica.

Nell'oliva si distinguono:

- Un **Epicarpo** sottile e membranoso (esocarpo o buccia);
- Un **Mesocarpo** carnoso (polpa);
- Un **Endocarpo** legnoso (nocciolo).

Nell'insieme questi tessuti sviluppatasi dalle pareti dell'ovario costituiscono il **Pepicarpo** che avvolge e racchiude il **seme** (o mandorla).

Epicarpo	1,5% – 2,5%
Mesocarpo o polpa	75%-85%
Endocarpo o nocciolo	15%-20%
Seme	2%-4%

Tabella 3.2 - Percentuale delle parti che compongono la drupa – INDUSTRIE AGRARIE, Vito Sciancalepore

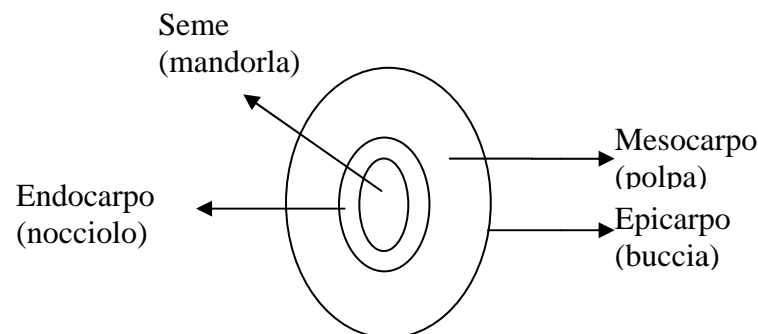


Figura 3.2 - Schema della sezione longitudinale dell'oliva

L'epicarpo resta molto saldato al mesocarpo (o polpa).

Il mesocarpo rappresenta il 70-85% del peso del frutto intero e costituisce la parte commestibile del frutto nelle olive da tavola ed il tessuto in cui si realizza l'accumulo di olio in percentuali tra il 12 ed il 25% del peso fresco del frutto.

A maturazione l'epicarpo passa dal colore (dovuto alle clorofille) verde tenero (oliva verde) al colore (dovuto alle Antocianine) violetto o rosso (oliva cangiante) e poi alla colorazione nerastra (oliva nera).

I frutti pesano da 2 a 8 grammi e maturano a partire da Ottobre.

Contemporaneamente al viraggio del colore si svolge la maturazione o "inoleazione", durante la quale nella polpa diminuisce il contenuto di acqua, zucchero e acidi ed aumenta quello dell'olio.

L'endocarpo, invece, a maturazione è costituito da un nocciolo fusiforme, molto duro, che protegge un solo seme con albume cellulare (mandorla).

Questo nocciolo composto interamente da cellule sclerificate ad alto contenuto di lignina nella parete secondaria, è di forma molto variabile ed è caratteristico della varietà da cui proviene, infatti presenta dimensioni finali che possono variare grandemente tra le cultivar, oscillando tra 1 e 2 cm di lunghezza, mentre il peso è variabile tra 0,20 e 0,60 grammi. Inoltre, la forma che può essere allungata, ellittica o ovoidale è strettamente connessa a quella della drupa.

Le dimensioni finali raggiunte dal frutto, dipendono direttamente dalla crescita del mesocarpo, e risultano correlate principalmente col numero di cellule che in esso si sono formate.

	Drupa intera	Polpa (mesocarpo)	Nocciolo (endocarpo)	Seme
Acqua	50	59	15	35
Olio	21	25	0,5	28
Sostanza azotate*	1,5	2	3	8
Estratti inazotati	18	7	38,5	24
Fibra grezza	8	6	40	4
Ceneri	1,5	1	3	1

*(Nx6,25)

Tabella 3.3 - Composizione percentuale dei costituenti dell'oliva – INDUSTRIE AGRARIE, Vito Sciancalepore

Il 96-98% dell'olio è contenuto nella polpa, mentre solo il 2-4% è contenuto nel seme di cui l'1-1,5 è contenuto nell'embrione ed è difficilmente estraibile.

3.3. Proprietà dell'olio di oliva

Così come quella dell'oliva, la composizione chimica dell'olio è influenzata dalla varietà dell'olivo, dal grado di maturazione della drupa, dal clima, dal periodo, dal metodo di raccolta.

L'olio d'oliva è un grasso che si presenta liquido alla temperatura ambiente (20°C). I costituenti fondamentali dell'olio di oliva sono i trigliceridi (98-99%) che rappresentano la frazione saponificabile mentre numerose sostanze, presenti in quantità notevolmente inferiore (0,5-1,4%), costituiscono la frazione insaponificabile

La frazione saponificabile è composta dagli acidi grassi saturi ed insaturi e sono questi ultimi, caratterizzati da uno o più doppi legami, a rendere l'olio d'oliva facilmente attaccabile dall'ossigeno.

I trigliceridi sono per il 55 % semplici per il 45 % misti, ma si rilevano anche minime quantità di mono e digliceridi.

La composizione acidica dell'olio d'oliva è costituita prevalentemente (fino all'83%) dall'acido oleico, che è un acido grasso monoinsaturo, e da altri acidi grassi presenti in percentuali molto inferiori come ad esempio il Palmitico (5,7-18,6%) e lo Stearico (0,5-4,0%) che sono acidi grassi saturi, cioè senza doppi legami.

La frazione acidica è completata dall'acido linolenico (0,1- 0,6%) e linoleico (3,5-20,0%), che sono acidi grassi polinsaturi chiamati anche "acidi grassi essenziali" (AGE) perchè indispensabili per l'accrescimento e la funzionalità dei tessuti dell'uomo che non è in grado di sintetizzarli.

L'alto contenuto in acidi grassi monoinsaturi presenti nell'olio d'oliva è la principale caratteristica che lo differenzia dagli altri grassi di origine vegetale.

La composizione degli acidi grassi cambia notevolmente in base alla varietà dell'olivo, al grado di maturazione della drupa, al clima, al periodo. In particolare cambia la composizione percentuale dei tre acidi grassi più rappresentati: Palmitico, Oleico e Linoleico.

In un olio di oliva di buona qualità l'acido Oleico non dovrebbe essere inferiore al 73% e l'acido Linoleico non dovrebbe superare il 10% con un rapporto Oleico/Linoleico $> 0 = a 7$.

Acido Miristico	%	0,0- 0,1
Acido Palmitico	%	7-20
Acido Palmitoleico	%	0,3-3,5
Acido Margarico	%	0,0-0,4
Acido eptadecenoico	%	0,0-0,4
Acido Stearico	%	1-4
Acido Oleico	%	56-84
Acido Linoleico	%	3-21
Acido Linolenico	%	0,2-1,5
Acido Arachico	%	0,1-0,7
Acido Eicosonoico	%	0,1-0,5
Acido Behenico	%	0,0-0,3
Acido Lignocerico	%	0,0-0,4

Tabella 3.4 - Composizione acidica media degli oli vergini di oliva – OLEA, P. Fiorino

La Frazione insaponificabile è costituita da un numeroso gruppo di componenti minori (circa 220 sostanze), che complessivamente costituiscono circa l'1-3% del totale e svolge un ruolo molto importante sia dal punto di vista nutrizionale salutistico che organolettico, oltre che rappresentare un prezioso riferimento analitico per il controllo di genuinità del prodotto. I principali componenti sono i tocoferoli, gli steroli, i polifenoli, i pigmenti, gli alcoli, ecc..

- *Tocoferoli*: I tocoferoli sono antiossidanti naturali che inibiscono il processo di irrancidimento del prodotto. Sono presenti in diverse forme e quella biologicamente più attiva, nota come vitamina E, costituisce circa il 90% del totale.

- *Steroli*: La componente sterolica è diversa per ciascuna specie oleaginosa. Questi componenti svolgono un ruolo importante per accertare la genuinità del prodotto poiché la frazione sterolica di un olio di oliva è tipica e non confondibile con quella di altri olii. Alcuni steroli identificati nell'olio d'oliva sono: colesterolo (solo tracce), campesterolo, stigmasterolo, clerosterolo e β -sitosterolo, quest'ultimo non deve essere inferiore al 93% del totale.

- *Composti fenolici*: La composizione fenolica dell'olio di oliva è fortemente condizionata dalla varietà, dalla disponibilità idrica, dallo stadio di maturazione del frutto e dal processo di estrazione. Essendo idrosolubili, durante il processo di estrazione una parte consistente dei polifenoli, presenti nei frutti, viene allontanata con le acque di vegetazione.

L'olio extra vergine di oliva è l'unico grasso vegetale che contiene quantità apprezzabili di sostanze fenoliche oscillanti mediamente tra 60 e 400 mg/kg. Il potere antiossidante dei polifenoli ha una forte influenza sulla conservazione dell'olio impedendone l'irrancidimento.

Il contenuto in polifenoli ha una notevole influenza su alcune diffuse patologie come l'ipertensione, l'arteriosclerosi, la prevenzione di alcuni tipi di tumore ed un forte impatto sulle caratteristiche del prodotto relative alle sensazioni di amaro e piccate

- *Pigmenti colorati*: Sono composti da clorofille e carotenoidi. Le clorofilla conferiscono agli olii il colore verde intenso e variano anch'esse in relazione alla cultivar ed allo stadio di maturazione dei frutti. Queste sostanze in presenza di luce agiscono sull'olio favorendo l'ossidazione mentre al buio, in sinergia con i fenoli, lo proteggono dall'ossidazione.

- *Alcoli*: Nell'olio sono presenti sia alcoli alifatici che triterpenici. Rivestono importanza analitica per poter individuare gli oli ottenuti mediante estrazione con solvente oppure mediante pressione meccanica.

- *Altri composti*: Sono costituiti da cere, aldeidi, esteri, chetoni, ecc. Alcuni di questi influenzano la nota aromatica dell'olio e quindi sono composti coinvolti nella valutazione edonistica del prodotto.

Le caratteristiche di un olio extra vergine di oliva dipendono da molti fattori a cominciare dalla materia prima influenzata dall'ambiente di coltivazione, dalle cultivar utilizzate, dal sistema di coltivazione, dall'epoca e dal sistema di raccolta delle olive. Altro fattore decisivo è la successiva fase di lavorazione, rappresentata dal sistema di molitura e dalla conservazione e confezionamento del prodotto.,

Va rilevato inoltre che la naturale presenza della Vitamina "E" (19 mg in 100 g di olio), a cui viene riconosciuto il ruolo di nutriente e antiossidante naturale, e il giusto apporto di acidi grassi monoinsaturi e polinsaturi, fanno dell'Olio Extravergine di Oliva un prodotto dietetico insostituibile.

3.4 I frantoi in Sicilia

In Sicilia l'industria di prima trasformazione delle olive pur presentando caratteri strutturali migliori di quelli medi nazionali continua a manifestare evidenti ritardi sia di ordine tecnologico che soprattutto di ordine organizzativo, in conseguenza della spinta frammentazione e dello scarso livello di integrazione e coordinamento sia in

senso verticale che orizzontale. La capillare presenza sul territorio degli impianti di molitura, tuttavia, attenua le conseguenze della polverizzazione agricola. In media nelle ultime dieci campagne per cui si dispone dei dati, in Sicilia sono rimasti attivi 687 frantoi.

Le capacità di lavorazione dei frantoi con impianti tradizionali a pressione sono legate al numero di linee di lavorazione presenti: normalmente una linea, costituita da una molazza e da 4 presse, possiede una capacità lavorativa che va da 0,2 a 0,3 t/h (Sciancalepore, 1998). Molto più diversificata è la situazione degli impianti continui che, in quanto modulari, presentano capacità lavorative variabili tra un minimo di 0,4 t/h ed un massimo di oltre 4 t/h.

Il sistema di lavorazione tradizionale, con una o due spremiture, una volta utilizzato dalla totalità dei frantoi della regione, è stato man mano sostituito dai sistemi ad estrazione continua e semi automatica, soprattutto negli oleifici con maggiori volumi di prodotto trasformato.

Prendendo in esame i dati disponibili delle ultime due campagne, risulta che in Sicilia la maggior parte degli impianti (il 70% circa) oggi è di tipo continuo. Tra le province siciliane, Agrigento è quella che presenta la quota più elevata di frantoi a ciclo continuo (93%); al contrario Ragusa è quella che detiene la più alta quota (circa il 50%) di frantoi tradizionali.

Analizzando inoltre la distribuzione territoriale degli impianti di molitura si può notare come la loro localizzazione sia strettamente connessa alla produzione agricola; il maggior numero di frantoi è infatti concentrato nelle province di Agrigento, Catania, Messina, Palermo e Trapani.

Passando ad esaminare le caratteristiche dimensionali degli impianti, secondo i dati delle ultime dieci campagne forniti dall'Agecontrol in Sicilia gli impianti più diffusi sono quelli di dimensione media, che potenzialmente possono lavorare tra 4 e 10 t di olive in otto ore (0,5-1,25 t/h), i frantoi compresi in questa classe costituiscono in media il 48-50% del numero complessivo regionale, ma trasformano solo il 38% delle olive.

Un'analisi più approfondita dei dati dà una misura del, sia pur lento, processo di ristrutturazione che sta interessando questo segmento della filiera determinando una diminuzione del peso dei frantoi di minori dimensioni a vantaggio di quelli più grandi. Nel corso del periodo in esame ha subito un consistente ridimensionamento la classe che comprende i frantoi che lavorano da 2 a 4 tonnellate di olive in otto ore (0,25-0,5

t/h) che si sono più che dimezzati passando dal 14,7% del numero totale nella campagna 91/92 al 6,2% nell'ultima campagna; inoltre risulta consistente anche la contrazione dei quantitativi lavorati che sono diminuiti dal 7,3% della prima campagna in esame a circa il 4% della campagna 2000/01. Consistente è stata la crescita dei frantoi delle due classi di maggiori dimensioni; infatti, i frantoi che lavorano da 10 a 25 tonnellate in otto ore passano da 123 a 262, mentre quelli che lavorano oltre 25 tonnellate passano da 6 a 26 unità nell'arco di tempo considerato. È da notare che il numero maggiore di questi impianti si trova nelle province di Agrigento e Trapani.

Il grado di utilizzazione degli impianti è condizionato dalla disponibilità di materia prima oltre che dalla durata della campagna di lavorazione che varia a seconda delle aree di produzione. La capacità produttiva complessiva di questo segmento della filiera appare sovradimensionata ma non si può effettuare una esatta valutazione di questo aspetto perché la lavorazione riveste un carattere stagionale che risente della variabilità della produzione olivicola annua. Inoltre, le campagne di lavorazione sono molto concentrate. I frantoi, infatti, per ottenere oli di qualità devono assicurare una rapida trasformazione delle olive e pertanto vengono dimensionati sulla base dei volumi di lavorazione delle annate di maggiore produzione.

L'elevato numero di frantoi in passato trovava una giustificazione nella necessità di trasformare rapidamente le olive pur in presenza di scarse capacità di lavorazione legate alle tecnologie a pressione; la diffusione delle tecnologie di estrazione continua ha reso disponibili impianti con elevate capacità lavorative in grado, quindi, di smaltire giornalmente i notevoli quantitativi di olive che vengono conferiti ai frantoi anche nelle annate di maggiore produzione. Purtroppo i dati attualmente disponibili non sono sufficienti per delineare chiaramente i connotati tecnici di questo segmento della filiera. È indubbio, tuttavia, che esiste una consistente parte della struttura produttiva di questo segmento che risulta superata da un punto di vista tecnologico e che viene utilizzata solo nelle campagne di maggiore produzione.

3.5 Sistemi di estrazione dell'olio

3.5.1 Sistema tradizionale o classico

Si chiama tradizionale perchè questo sistema tuttora in uso nell'industria olearia era praticato in passato, anche se oggi il progresso tecnologico ha modificato

profondamente le varie fasi della lavorazione. Infatti l'antico frantoio in pietra (con un solo macello) azionato dal mulo ed il vecchio torchio a mano, a vite di legno, sono stati sostituiti con moderni macchinari costituiti da frantoi a due, tre e perfino 4 macelli, con gramolatrici per la preparazione della pasta, con presse idrauliche di diverse dimensioni per la torchiatura della pasta ed infine con un separatore centrifugo per la separazione dell'olio dalle acque di vegetazione.

Il sistema tradizionale è caratterizzato da una linea di lavorazione costituita essenzialmente da tre fasi :

1) **Preparazione della pasta** (molazza - lavorazione discontinua o frangitura e gramolatura-lavorazione continua)

Si tratta di operazioni che consistono nella frantumazione delle olive ed in un delicato rimescolamento della pasta oleosa che unitamente al riscaldamento della pasta stessa (25-30°C) provoca la rottura delle emulsioni dell'acqua in olio e dell'olio in acqua, consentendo alle goccioline oleose di riunirsi in gocce più grosse che si separano facilmente dalla fase acquosa.

2) **Separazione della frazione liquida (olio-mosto) dal materiale solido** (pressatura).

E' una operazione discontinua che si basa sull'utilizzo di presse idrauliche. Infatti la pasta viene distribuita su dischi di fibra (oggi sintetica, una volta di fibra vegetale) chiamati **fiscoli**, che vengono messi uno sopra l'altro in pila su un carrello che viene poi portato alla pressa per ottenere l'olio con spremitura meccanica.

3) **Separazione dell'olio dalle acque di vegetazione** (centrifugazione).

Operazione realizzata mediante l'impiego di centrifughe a piatti, adatte a separare miscugli con peso specifico compreso tra 1,05 ed 1,15.

Come qualsiasi altra lavorazione industriale anche la lavorazione delle olive prevede delle operazioni preliminari che consistono nel lavaggio e mondatura delle olive, operazioni effettuate contemporaneamente con una lavatrice automatica.

I vantaggi di un frantoio tradizionale (in minoranza ormai rispetto al frantoio ciclo continuo) sono:

- il costo dei macchinari contenuto
- il consumo di energia elettrica minimo
- il contenimento dell'emulsione

- i tempi ridotti di gramolazione della pasta olive
- un minore riscaldamento della pasta olive.

Gli Svantaggi:

- maggiori tempi di lavorazione, l'intero processo viene frenato dai tempi maggiori di lavorazione nei vari comparti che sono discontinui
- la pulizia dei macchinari non spesso eseguita a dovere, con l'inevitabile inquinamento tra una partita di olive e l'altra (specialmente per tutti quei frantoi che lavorano per conto terzi, che sono la maggioranza)
- i fiscoli devono essere lavati spesso, operazione in alcuni casi sottovalutata o evitata con frequenti lavaggi, per ridurre i tempi di attesa
- durante tutto il processo di lavorazione interviene un'altro fattore svantaggioso, il lungo tempo di esposizione della pasta all'aria e alla luce (fenomeno che si riduce un pò con l'ausilio di gramolatrici). Questo comporta fenomeni di ossidazione ed un inizio di decomposizione dei polifenoli (che sono molto importanti). Le conseguenze possono essere l'aumento di acidità, del numero dei perossidi, l'irrancidimento, e le perdite di colore.

Un inconveniente da sempre additato dai denigratori del sistema classico è rappresentato dalla mancanza di una lavorazione continua che questo sistema necessariamente comporta nelle sue fasi di lavorazione. Per questa ragione si è puntato a rendere continua la lavorazione dell'olio.

3.5.2 Sistema continuo

Il frantoio di tipo continuo (detto anche moderno) è il risultato di una esigenza per ottenere sempre più alta la qualità del prodotto olio di oliva, attraverso la tecnologia e l'innovazione. L'elemento che contraddistingue un impianto a ciclo continuo e senza dubbio il **Decanter** (organo principale, il cuore di un frantoio).

Esso rappresenta un'importante innovazione tecnologica del settore. Rispetto al sistema di estrazione classico (per pressione) ha infatti comportato notevoli vantaggi soprattutto sotto il profilo economico perché, trattandosi di un sistema di lavorazione continua, richiede meno manodopera e quindi meno costi per l'estrazione dell'olio dalle olive.

Il principio di funzionamento del decanter consiste nell'estrazione dell'olio dalle olive per centrifugazione della pasta ben gramolata e diluita con acqua con l'impiego di un separatore centrifugo ad asse orizzontale.

La continua ricerca di soluzioni che premiano maggiormente la qualità di un olio (olio di qualità), ha spinto i costruttori di macchine olearie ad inserire sul mercato frantoi con fasi di lavorazione che presentano alcune varianti a seconda del tipo di **decanter** usato:

- Decanter a tre uscite (olio/acqua/sansa; detto a tre fasi)

Le olive vengono lavate e defogliate, quindi inviate al frangitore (in alcuni frantoi le olive vengono frantumate con il vecchio sistema, le macine di pietra dette molazze), che rilascia una formazione continua di pasta olive che va alla gramolatrice; la pasta di olive, addizionata opportunamente di acqua (caratteristica del ciclo a 3 fasi), viene inviata alla centrifuga (decanter), che separa la pasta nei suoi tre componenti, sansa, acqua di vegetazione e mosto olio. L'olio e l'acqua di vegetazione sono inviati ai separatori centrifughi per estrarre l'olio.

- Decanter a due uscite (olio/sanse umide; detto a due fasi o integrale).

Il processo di lavaggio, frantumazione, e gramolazione delle olive resta sostanzialmente simile a quello su indicato.

La tecnologia a due fasi denominata "Integrale" non utilizza l'aggiunta di acqua di diluizione, al fine di evitare il dilavamento dell'olio, preservando le sue parti aromatiche di maggior pregio, e di operare a basse temperature per ottenere un prodotto di alta qualità.

- Decanter a tre uscite A.R.A. (simile a quello con tre uscite, ma con un sistema di risparmio di acqua).

Tipologia di estrazione	Olive	Acqua aggiunta	Sansa	Acqua di vegetazione
Due fasi tradizionale	100	0-10	75-80	-
Tre fasi Tradizionale	100	50	55-57	80-110
Tre fasi a risparmio di acqua	100	10-20	56-60	33-35

Tabella 3.5 - Produzioni di acque reflue con le diverse tecnologie di estrazione - Ammirante 1999

I vantaggi che spingono a scegliere un frantoio a ciclo continuo piuttosto che un frantoio tradizionale sono:

- limitato ingombro di tutte quei macchinari che compongono il frantoio
- tutte le fasi di lavorazione e trasformazione delle olive avviene in un ciclo continuo (esistono frantoi che in soli 24h riescono a lavorare 500 - 1000 quintali di olive), da sottolineare anche una notevole riduzione di manodopera
- altro vantaggio molto importante è la pulizia dei macchinari, con la possibilità di un lavaggio programmabile in automatico o manuale, che evita rischi di inquinamento tra una partita di olive e l'altra (specialmente per tutti quei frantoi che lavorano per conto terzi, che sono la maggioranza). Il risultato è un olio di migliore qualità e igiene;

Gli Svantaggi:

- elevato costo dei macchinari (principalmente il decanter)
- elevato consumo di energia elettrica
- elevato costo di manutenzione e ricambio macchinari

Altri metodi di pressatura intermedia, tra l'impiego delle presse idrauliche a lavoro discontinuo e l'estrazione per centrifugazione mediante decanter, comunque in disuso, consistono nell'utilizzo di:

- Presse continue;
- Sistema di estrazione per tensione superficiale

3.6 Proprietà delle sansa di oliva

Come tutte le lavorazioni industriali anche l'oleificazione presenta i suoi sottoprodotti costituiti da sansa e acqua di vegetazione, intesa quest'ultima come acqua di costituzione dell'oliva e perciò detta di vegetazione.

A seconda del sistema di oleificazione, la sansa in qualità e quantità è decisamente diversa.

Pochè i sistemi di oleificazione più diffusi nel nostro paese sono essenzialmente due (sistema classico discontinuo e sistema continuo a tre fasi) si riportano nella seguente tabella le composizioni immediate della sansa proveniente dai due sistemi di estrazione.

La composizione della sansa vergine ottenuta con questo sistema di estrazione è la seguente:

	Sistema di estrazione classico	Sistema di estrazione continuo a tre fasi
Acqua	20-30	50-60
Olio	5-10	3-6
Residuo	65-75	40-60

Tabella 3.6- Composizione acidica media degli oli vergini di oliva – OLEA, P. Fiorino

Il materiale solido della sansa è costituito da:

- Frammenti di nocciolo: 30-40%
- Polpa :30-60%

3.7 Impieghi delle sanse

Il ciclo di lavorazione delle olive porta alla produzione, come sottoprodotto solido, di sansa vergine umida.

La sansa è costituita da frammenti legnosi del nocciolo, dalla polpa e dall'epicarpo delle drupe.

La qualità e quantità di sansa vergine dipende sostanzialmente dal ciclo di lavorazione impiegato (vedi Tabella 3.6).

Tradizionalmente, per l'alta percentuale di olio ancora presente, la sansa viene sottoposta, in appositi centri di lavorazione (sansifici) ad un processo chimico con solvente facendo ottenendo olio ed un prodotto biomassico (sansa esausta) a bassa umidità (7-10%) con un potere calorifico inferiore di circa 4000 Kcal/Kg equivalente a 18,84MJ/kg.

Il mercato della sansa esausta si presenta abbastanza variegato con volumi di vendita limitati che non consentono di raggiungere la giusta valorizzazione di tale prodotto.

Gli impieghi delle sanse sono molteplici e, tra i più significativi, vi sono quelli come fertilizzante (integrata al fosforo), in mangimistica (per il discreto contenuto in ceneri) o mescolata all'argilla nell'industria dei laterizi.

In passato la sansa esausta era largamente impiegata nei cementifici ma tale mercato si è andato via via affievolendo.

Vi sono inoltre molti usi civili per riscaldamento domestico e nell'industria dei laterizi.

3.8 Utilizzazione agronomica dei sottoprodotti della lavorazione delle olive

I sottoprodotti derivati dalla trasformazione delle olive sono costituiti da acqua di vegetazione (refluo liquido) e da sansa vergine (refluo solido).

Le acque di vegetazione, anziché essere sottoposte a trattamenti di depurazione, possono essere smaltite su terreno agrario (fertirrigazione); anche le sansi vergini, che fino al recente passato sono state prevalentemente destinate ai sansifici per l'estrazione mediante solventi chimici dell'olio che ancora contengono (olio di sansa) e successivamente (sansa esauste) utilizzate come combustibile (destinazione non consentita per le sansi vergini), possono essere impiegate, come ammendante, in agricoltura.

Il decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali del 6 luglio 2005 istruisce sui "Criteri e sulle norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari".

Quanto disciplinato in questo decreto ministeriale "concerne l'intero ciclo (produzione, raccolta, stoccaggio, trasporto e spandimento) dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione dei frantoi oleari e delle sansi umide".

Secondo l'articolo 1 (Campo di applicazione), comma 2 "lo spandimento delle acque di vegetazione e delle sansi umide deve essere praticato nel rispetto di criteri generali di utilizzazione delle sostanze nutritive ed ammendanti e dell'acqua in esse contenute che tengano conto delle caratteristiche pedogeomorfologiche, idrologiche ed agroambientali del sito e che siano rispettosi delle norme igienico-sanitarie, di tutela ambientale ed urbanistiche".

Secondo l'articolo 1, comma 3 l'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle sansi umide è disciplinata dalla legge n. 574 del 1996.

Per quanto riguarda le sansi umide il comma 2 dell'articolo 1 (Utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle sansi umide) della legge n. 574 del 1996 così recita: "...ai fini dell'applicazione della presente legge le sansi umide provenienti dalla lavorazione delle olive e costituite dalle acque e dalla parte fibrosa di frutto e dai frammenti di nocciolo possono essere utilizzate come ammendanti in deroga alle caratteristiche stabilite dalla legge 19 ottobre 1984, n. 748, e successive modificazioni...". In riferimento a quest'ultima legge la sansa è considerata come un ammendante vegetale semplice non compostato (quindi applicata al terreno senza specifici limiti quantitativi) se risponde ai requisiti di umidità (massimo 50%), pH (compreso tra 6 e 8,5), carbonio organico sul secco (minimo 40%), azoto organico sul secco (almeno 80% dell'azoto totale), rame totale sul secco (massimo 150 ppm), zinco

totale sul secco (massimo 500 ppm), contenuto in torba sul tal quale (massimo 20% sul tal quale). Sono altresì fissati i seguenti tenori massimi in metalli pesanti, espressi sulla sostanza secca: piombo totale 140 ppm, cadmio totale 1,5 ppm, nichel totale 50 ppm, mercurio totale 1,5 ppm.

Lo spandimento delle sanse umide sui terreni aventi destinazione agricola, deve avvenire secondo le modalità previste dall'articolo 4 della legge 11 novembre 1996, n. 574, ovvero "*...lo spandimento delle acque di vegetazione deve essere realizzato assicurando una idonea distribuzione ed incorporazione delle sostanze sui terreni in modo da evitare conseguenze tali da mettere in pericolo l'approvvigionamento idrico, nuocere alle risorse viventi ed al sistema ecologico;...lo spandimento delle acque di vegetazione si intende realizzato in modo tecnicamente corretto e compatibile con le condizioni di produzione nel caso di distribuzione uniforme del carico idraulico sull'intera superficie dei terreni in modo da evitare fenomeni di ruscellamento*".

Con decreto 17 gennaio 2007 la regione Sicilia ha approvato la disciplina regionale relativa all'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari e della disciplina regionale relativa all'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue provenienti dalle aziende di cui all'art. 101, comma 7, lett. a), b) e c), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e da piccole aziende agroalimentari recependo così il decreto legislativo n. 152 del 1999.

3.9 Residui come soluzione energetica

L'industria della produzione dell'olio di oliva è caratterizzata da rilevanti quantità di sottoprodotti liquidi e solidi e da limiti economici, tecnici ed organizzativi che rendono difficoltosa l'adozione di sistemi sostenibili di smaltimento dei sottoprodotti.

In questo contesto, il trattamento degli scarti finalizzato alla recupero di energia rappresenta una alternativa interessante.

La quantità e la qualità dei residui solidi costituiti prevalentemente dal nocciolino, usualmente chiamati OH (Olive Husk), e dei residui liquidi, generalmente nominati OMW (olive mill wastewater), è fortemente influenzata dal sistema di estrazione dell'olio, dalla varietà, dalla gestione del suolo e dall'uso di pesticidi o fertilizzanti.

Comparando il sistema di pressatura tradizionale, con l'impiego del decanter a tre fasi, in quest'ultimo caso si produce una quantità doppia di OMW, ne consegue che la

concentrazione dei costituenti solidi nelle acque di vegetazione provenienti dal decanter a tre fasi è ridotta della metà.

Gli OMW sono caratterizzati da un elevato livello di inquinanti organici (rapporto BOD /COD compreso tra 2,5 e 5), pH leggermente acido, alto contenuto di polifenoli. La presenza dei polifenoli e di sostanze organiche rende il trattamento di questi scarti liquidi piuttosto problematico.

Dall'altro lato i residui OH vergini sono fortemente inquinati da polifenoli e grassi e sono costituiti da quantità variabili di polpa, nocciolino, residui di olio e residui di acqua in funzione al metodo di estrazione adottato.

Gli OH sono caratterizzati da un elevato potere calorifico, con un range di 14-18 Mj/kg, mentre gli OMW presentano una elevata carica inquinante sia chimica che biologica (Biochemical Oxygen Demand in un range di 23-100 g/l) che è 25-80 volte maggiore del livello inquinante di un comune scarto liquido.

In merito allo smaltimento dei sottoprodotti dell'industria olearia, gioca un ruolo negativo la diffusione di tanti piccoli frantoi nel territorio e la produzione stagionale, fattori che si traducono in limiti economici, tecnici ed organizzativi che rendono difficile l'adozione di un approccio compatibile con l'ambiente per uno smaltimento sostenibile di questi scarti.

Tradizionalmente la sansa vergine viene venduta dai frantoi ai sansifici dove viene sottoposta ad un processo chimico con solvente facendo sì che si ottenga olio e sansa esausta.

Mentre in passato esisteva un mercato delle sansi vergini economicamente remunerativo per i frantoi, oggi il numero dei sansifici è diminuito e generalmente il sansificio ritira la sansa vergine dai frantoi senza alcuna retribuzione per questi ultimi.

In ogni caso il mercato della sansa esausta non consente di raggiungere la giusta valorizzazione di tale prodotto.

Bisogna ancora rilevare che, per quanto concerne l'uso agronomico dei residui, quello che avviene spesso è che questi sono fatti scolare in maniera incontrollata, causando un importante inquinamento del terreno e della falda acquifera per l'elevata carica organica e per la presenza di sostanze tossiche come i polifenoli.

In un futuro scenario legislativo sempre più restrittivo sullo smaltimento della frazione liquida OMW che tenderà ad incrementare i costi di smaltimento il recupero

di energia può rappresentare una valida alternativa per uno smaltimento sostenibile dei residui dell'industria olearia, consentendo di ridurre l'impatto ambientale e di generare energia elettrica per soddisfare i fabbisogni energetici dei frantoi stessi, facendo sì che quello che oggi rappresenta una fonte minima di reddito o un problema legato allo smaltimento possa rappresentare una fonte certa di energia.

4. CAPITOLO

Scopo della ricerca

Il settore agroindustriale olivicolo assume rilevante importanza in tutta la Sicilia e nel bacino del Mediterraneo.

Considerando che la produzione totale annua siciliana di olio di oliva e di circa 48,000 t ottenute da circa 294,000 t di olive. Ne consegue che vengono prodotti ogni anno più di 246,000 t di OME (Olive Milling Effuents) come sottoprodotti, che potrebbero essere potenzialmente convertiti in biocarburante solido a basso costo. Ciascuno dei 687 frantoi presenti in Sicilia produce mediamente 358 t di OME (Olive Milling Effuents).

Lo smaltimento degli OME è sempre stato un problema per il settore olivicolo siciliano. Tradizionalmente i produttori hanno smaltito i loro sottoprodotti vendendo gli OME ai sansifici.

Oggi il mercato della sansa di oliva si è significativamente contratto e vendere gli OME è diventato sempre più difficile.

Quindi, mentre negli anni passati lo smaltimento degli OME era una risorsa di reddito, oggi è divenuto un problema significativo per quasi tutti i frantoi.

Considerando che le sanse sempre più difficilmente sono collocabili presso i sansifici, e che quindi stanno diventando un sottoprodotto da smaltire, e tenendo conto della scarsità di studi volti a definirne le potenzialità e le migliori modalità d'uso agronomico, che può rappresentare un'ottima alternativa al sansificio, emerge l'importanza di ampliare le conoscenze sull'utilizzo alternativo di tali sottoprodotti.

Le bioenergie infatti possono rappresentare oggi un valida alternativa per lo smaltimento degli OME che possono essere usati come biocarburanti a basso costo per la produzione di energia rinnovabile, consentendo ai frantoi di accedere ad una nuova fonte di reddito.

L'interesse per l'impiego a scopo energetico delle biomasse è un tema di grande attualità.

Oltre all'insieme di normative nazionali e sovranazionali che ne incentivano la diffusione, l'utilizzo delle biomasse a scopi energetici offre la reale possibilità di diversificare le attività produttive in aree agricole, contribuendo a migliorare

l'economia delle aziende, per le quali la 'bolletta energetica' costituisce una voce di costo importante, e la vendita di energia un potenziale di ricavo non indifferente.

Tuttavia la conversione in energia degli OME è piuttosto problematica a causa del suo alto contenuto in umidità e della stagionalità della produzione concentrata in soli 2 o 3 mesi all'anno.

Pertanto condizione imprescindibile al fine di preservare le proprietà energetiche del sottoprodotto e permettere lo stoccaggio per tutto l'anno è la stabilizzazione che consiste in tre fasi: 1) essiccazione, 2) macinatura e 3) pelletta tura.

Se la stabilizzazione è un processo necessario per la conversione degli OME in energia, questo potrebbe rappresentare un processo con alto consumo di energia. Per questa ragione, la valutazione dei consumi di energia nei tre stadi di stabilizzazione, è fondamentale per valutare la convenienza della conversione in energia degli OME.

La ricerca si propone di valutare l'attitudine delle sanse vergini alla conversione in energia.

In particolare, nella presente tesi, l'attenzione è stata incentrata a valutare:

- I vantaggi energetici raggiungibili con l'utilizzo delle sanse di Olive ai fini della produzione di energia elettrica procedendo alla determinazione dell'energia necessaria per la stabilizzazione (perdita di umidità, macinazione e pellettizzazione) delle sanse di Olive ed alla determinazione del potere calorifico dei pellet di sansa;
- Le variazioni dei vantaggi ottenuti in termini energetici al variare del materiale di partenza, sansa con nocciolo e sansa denocciolata.

5. CAPITOLO

Materiali e metodi

5.1 introduzione

Per calcolare il contenuto energetico delle biomasse si possono seguire due metodologie una analitica, l'altra sperimentale:

L'energia recuperata dalla combustione del legno è ottenuta mediante ossidazione dei componenti chimici del materiale, pertanto può essere calcolata analiticamente una volta che sia nota la composizione chimica del materiale.

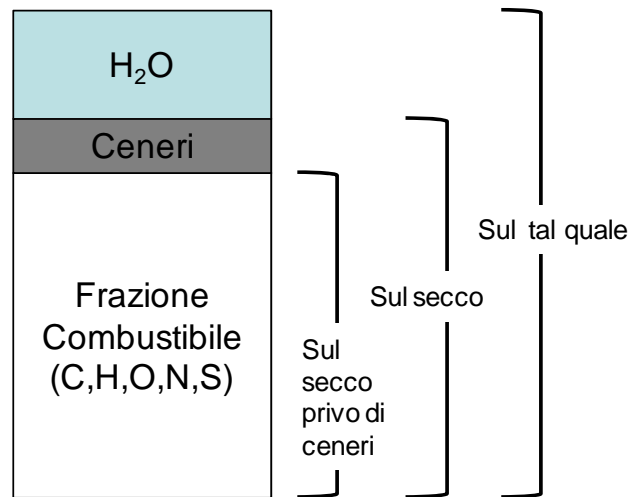
Per comodità descrittiva, finalizzata all'interpretazione delle prove di laboratorio, il "combustibile biomassa", analogamente ai combustibili solidi fossili, può essere suddiviso in due frazioni: una combustibile, costituita da una frazione idrocarburica (C, H), nella quale sono presenti anche ossigeno (O) e altri eteroatomi (N, S, Cl, ecc.) quantitativamente meno rilevanti, una seconda, non combustibile, costituita da umidità e ceneri.

Questa chiave di lettura, semplificata ed empirica, consente di esprimere i risultati delle prove di laboratorio su basi diverse - identificate dalle definizioni sotto riportate - che vengono comunemente riportate sui certificati di analisi:

- *sul campione tal quale* (talvolta indicato come *t.q.*);
- *sul campione secco* (*s.s.*);
- *sul campione secco e privo di ceneri* (*d.a.f.*).

Si tratta nella pratica di modi diversi, mutuati dall'analisi del carbone, di esprimere i risultati analitici. Il dato di un'analisi (ad esempio, il potere calorifico), riferito al campione tal quale, fornisce il valore della proprietà considerata nelle condizioni in cui il campione è pervenuto in laboratorio.

Un'analisi riferita al campione secco è calcolata al netto dell'umidità; infine, l'analisi riferita campione secco e privo di ceneri è calcolata al netto di umidità e ceneri, si riferisce cioè alla "frazione combustibile".



Un confronto tra combustibili diversi è dunque significativo solo se i dati vengono espressi su base omogenea, che dovrebbe essere sempre precisata.

La sansa può essere caratterizzata energeticamente conoscendo alcuni parametri, quali il Potere Calorifico Superiore (PCS) ed Inferiore (PCI), le caratteristiche chimiche (contenuto di Carbonio, Idrogeno e Azoto) e le caratteristiche fisiche (contenuto di umidità, ceneri, sostanze volatili e carbonio fisso).

La ricerca ha previsto diverse prove:

- **Prova 1** - Determinazione del contenuto di umidità dei campioni di sansa ai fini della determinazione della Energia impiegata per l'essiccazione;
- **Prova 2** - Molitura di campioni di sansa preventivamente essiccata ai fini della determinazione della Energia impiegata per la molitura;
- **Prova 3** - Pellettizzazione di campioni di sansa preventivamente essiccata e molita ai fini della determinazione della Energia impiegata per la stabilizzazione;
- **Prova 4** - Combustione dei pellet mediante l'impiego di bomba calorimetrica ai fini della determinazione del potere calorifico.

5.2 Prelevamento dei campioni

I campioni utilizzati per le prove di laboratorio sono stati prelevati in tre diversi frantoi di seguito indicati:

- *Frantoio Oleario Di Miceli Maria* sito in Contrada Don Paolo in Marineo (Pa);
- *Frantoio Oleario Di Sergio Turturici* sito in Via Ventimiglia n. 6 in Trabia (PA);

▪ ***Oleificio Fratelli Bacchi sas di Bacchi Francesco*** sito in Via Randazzo n. 7 in Partinico (PA).

Tra i frantoi sopra elencati esclusivamente l' ***Oleificio Fratelli Bacchi sas di Bacchi Francesco*** produce olio da olive denocciolate delle cultivar Cerasuola, Nocellara del Belice e Biancolilla da cui sono stati prelevati, in data 16/12/2011, un campione di circa 25 Kg di sansa denocciata proveniente dalla molitura di una partita mista di olive delle cultivar *Nocellara del Belice e Biancolilla* ed un campione di 25 Kg di solo nocciolino.

In data 18/12/2011 è stato prelevato un campione di circa 25 Kg di sansa di olive della varietà *Nocellara del Belice e Biancolilla* dal ***Frantoio Oleario Di Sergio Turturici*** di Trabia ed in data 20/12/2011 è stato prelevato un campione di circa 25 Kg di sansa di olive delle varietà *Nocellara del Belice e Biancolilla* dal ***Frantoio Oleario Di Miceli Maria*** sito in Marineo.

Sono stati così ottenuti quattro differenti campioni provenienti da tre diversi frantoi.

I campioni di cui sopra, in attesa delle indagini di laboratorio, sono stati conservati in fusti di polivinilcloruro sigillati ermeticamente per limitarne i processi di ossidazione e la perdita del contenuto di umidità.

5.3 Prova 1-Valutazione del contenuto di umidità dei campioni

Per umidità si intende la quantità di acqua (libera e legata) presente nel materiale (ad una data temperatura). In laboratorio il contenuto di umidità viene determinato calcolando la perdita in massa di un campione sottoposto ad essiccamento, in condizioni normalizzate, alla temperatura di 105 °C fino a peso costante.

L'umidità delle biomasse, materiale fortemente igroscopico, può raggiungere valori superiori al 50%.

L'intervallo tipico per le biomasse è compreso tra circa 5% e 70 % (European Bioenergy Networks, 2003).

L'umidità è un fattore molto importante sotto il profilo economico: viene infatti considerato un parametro del valore energetico/commerciale della biomassa e come tale può influire sul prezzo.

Può essere suddivisa in *umidità inerente*, propria della struttura della biomassa, e *umidità superficiale*, fortemente influenzata dalla pezzatura e dalla condizioni ambientali.

L'umidità della biomassa è una proprietà dinamica: tende a portarsi in equilibrio con l'ambiente e varia in maniera consistente in funzione del tipo di biomassa, del terreno di coltivazione, delle condizioni ambientali, delle modalità e dei tempi di trasporto e stoccaggio. Il contenuto di umidità, generalmente espresso come percentuale in massa, è un parametro importante sia sotto il profilo tecnico-operativo sia in relazione ad alcune caratteristiche qualitative del materiale.

Un'elevata umidità superficiale, ad esempio, è particolarmente negativa sul funzionamento dei polverizzatori (diminuisce la capacità effettiva), sui trasportatori meccanici e, più in generale, può creare inconvenienti nella movimentazione della biomassa, in particolare nelle fasi di carico e scarico in caso di gelate o nel caso di approvvigionamento in caldaia nel caso di fermentazione.

Per quanto riguarda altri effetti indesiderati, il contenuto di umidità influenza fortemente la densità e il potere calorifico.

L'umidità infatti incide sfavorevolmente sul peso del prodotto e sui costi di trasporto e di essiccamento, e soprattutto abbassa il contenuto energetico della biomassa. Per quanto riguarda le prestazioni in impianto, in generale si osserva un calo dell'efficienza di combustione all'aumentare dell'umidità.

Dati sperimentali indicano un'efficienza massima di combustione per un contenuto di umidità attorno a circa il 5%: l'acqua eserciterebbe un'azione moderatrice nella combustione, creando condizioni più favorevoli al trasferimento di calore rispetto al brusco passaggio in presenza di legno molto secco. Del resto l'umidità influisce su numerose proprietà termiche e fisiche (anisotrope) delle biomasse (conducibilità, permeabilità, diffusione termica, densità).

Le analisi, finalizzate alla determinazione del contenuto in umidità, sono state condotte su 12 campioni ciascuno di circa 10g.

Per ciascuno dei quattro campioni prelevati direttamente dai frantoi, infatti, sono state effettuate 3 repliche.

Il contenuto in umidità è stato calcolato come la perdita di peso allorché i campioni sono stati posti in Stufa, a temperatura costante di 105°C fino a peso costante per circa 48 ore effettuando pesate intermedie di circa 8-10 ore.

Calcolato il contenuto in umidità è stato possibile desumere l'energia necessaria per l'essiccazione dei campioni.

Avendo determinato il contenuto di umidità di ciascun campione essiccato è stato possibile determinare il calore necessario per l'essiccazione della massa e quindi determinare l'energia impiegata.

5.3.1 Analisi termogravimetrica

Per una più completa caratterizzazione ai fini energetici del materiale prelevato al fine di determinare il contenuto in ceneri e le sostanze volatili si è altresì proceduto presso il *Laboratorio del Centro di Ricerca sulle Biomasse C.R.B.* dell'Università degli Studi di Perugia all'**Analisi Termogravimetrica** dei campioni prelevati.

L'analisi termogravimetrica consente di determinare contenuto di umidità, ceneri e sostanze volatili presenti nei campioni in esame.

Ceneri

Nelle prove di laboratorio, per *ceneri* si intende il materiale inorganico che rimane dopo la combustione (a circa 600 °C in condizioni normalizzate) di un campione di biomassa.

Il campo di variabilità del contenuto in ceneri delle biomasse è compreso tra poco più di 0% e 5%. (European Bioenergy Networks 2003).

Le ceneri derivano direttamente dai costituenti inorganici presenti nella biomassa di partenza. L'origine del materiale inorganico può essere duplice: inerente - cioè costituzionale o di natura accidentale; vale a dire che il materiale inorganico può venire incorporato dalla biomassa attraverso i vari stadi della lavorazione, in particolar modo durante la raccolta. Tra gli elementi quantitativamente più abbondanti vanno segnalati alcuni macronutrienti, come calcio, potassio, magnesio e fosforo, i quali, esercitano un ruolo importante sulle prestazioni in impianto e, in particolare, sul comportamento delle ceneri dopo e durante la combustione.

Sebbene il valore di ceneri che si determina in laboratorio non corrisponda né in qualità né in quantità al materiale solido scaricato, con lo stesso nome, da una combustione in impianto reale (materiale che contiene ancora incombusti), il dato analitico, è comunque in relazione con alcuni parametri principali: potere calorifico, quantità di materiale solido da scaricare, materiale particellare nei gas di combustione, fenomeni di erosione, corrosione e incrostazioni.

La quantità di cenere prodotta in impianto dipende dal tipo di biomassa, dalla tecnologia impiegata per la conversione energetica, dalle condizioni e dall'efficienza di combustione. Mediamente le biomasse presentano un contenuto di ceneri relativamente basso (per esempio rispetto al carbone) tenori elevati sono riscontrabili solo per alcune specie come, ad esempio, la lolla di riso.

L'influenza delle ceneri sul comportamento della biomassa nella combustione e sull'esercizio dell'impianto, è legata, oltre che alla quantità, alla qualità delle ceneri, cioè alla loro composizione che, a sua volta, influenza in maniera significativa il *comportamento alla fusione* delle ceneri.

Composizione e comportamento alla fusione possono fornire importanti indicazioni sulla propensione delle ceneri a formare scorie e depositi in impianto.

Per lo svolgimento dell'analisi termogravimetrica è stato utilizzato un Analizzatore termogravimetrico LECO TGA-701, strumento che viene impiegato nella determinazione del contenuto di umidità, ceneri e sostanze volatili nei campioni di biomassa, oltre ad avere applicazioni relative alla valutazione della stabilità termica, della velocità di reazione, delle transizioni di fase.

Tali proprietà sono misurate in funzione della temperatura e del tempo, sottoponendo il campione, in un ambiente controllato, ad un programma di temperatura che può avere fasi di riscaldamento e mantenimento di una temperatura costante (isoterma) o una combinazione di esse.

L'analizzatore termogravimetrico misura la perdita di peso di un campione in funzione della temperatura in un ambiente controllato in presenza di aria, azoto o ossigeno. Lo strumento è costituito da un forno, che può raggiungere la temperatura massima di 1000 °C e che può alloggiare fino a 19 campioni più 1 di riferimento, e da un computer che gestisce e controlla tutte le parti dell'analizzatore quali: il forno, il carosello e la bilancia interna.

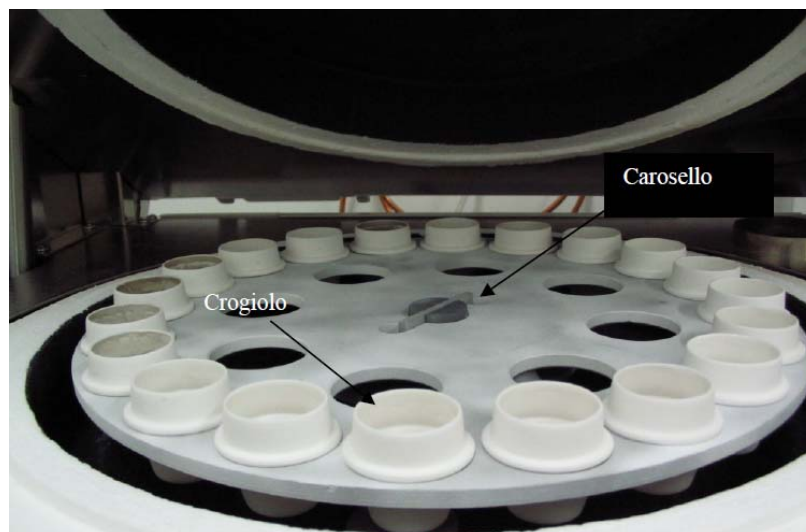


Figura 5.1 - Carosello a 19 posizioni dell'Analizzatore termo gravimetrico LECO TGA-701

Per ciascun campione di sansa prelevato in frantoio sono state effettuate 3 repliche.

I campioni da analizzare sono stati posti all'interno di crogioli ceramici i quali sono stati posizionati su un carosello (figura 5.1) anch'esso ceramico che, grazie ad una alimentazione pneumatica, può girare consentendo di posizionare, uno alla volta, i crogioli sopra il piedistallo della bilancia. Il campione è pesato ed il peso memorizzato. Lo strumento impiega una bilancia Sartorius con una precisione di 0,0001 g.

La massa di campione impiegata nelle misure è stata pari a 10 grammi. Lo strumento è controllato da un software sviluppato in ambiente Windows, che consente di monitorare per via grafica la percentuale della perdita di peso in funzione della temperatura e del tempo. L'analizzatore consente di impiegare metodi di analisi rispondenti alla normativa ASTM, CEN, UNI o di creare metodi personalizzati. La temperatura del forno, la velocità di riscaldamento del forno, l'atmosfera così come i flussi di gas (aria, azoto o ossigeno) sono selezionabili in maniera indipendente per ogni step di analisi. Le caratteristiche tecniche dell'analizzatore termogravimetrico sono riportate nella Tabella 5.1.

Tabella 5.1 – Caratteristiche tecniche dell'analizzatore termo gravimetrico TGA-701

<i>Specifiche</i>	Valori di riferimento
<i>Massa campione</i>	10 grammi (massimo)
<i>Numero di campioni</i>	19 (+1 di riferimento)
<i>Precisione</i>	0,02 %RSD
<i>Precisione bilancia</i>	0,0001 g
<i>Temperatura minima del forno</i>	Temperatura ambiente
<i>Temperatura massima del forno</i>	1000 °C
<i>Accuratezza temperatura</i>	±2 °C
<i>Stabilità temperatura</i>	±2 °C
Velocità riscaldamento forno da temp. ambiente a 104 °C da 104 °C a 1000 °C	15°C/min 50°C/min
<i>Flussi dei gas</i>	
Basso	3,5 lpm
medio basso	5,0 lpm
medio	7,0 lpm
medio alto	8,5 lpm
alto	10,0 lpm
<i>Purezza minima dei gas</i>	
Aria	99,5 %, secca e priva di olio
Azoto	99,9%
Ossigeno	99,5%
<i>Dimensioni</i>	52 cm (H) x 61 cm (L) x 56 cm (P)
<i>Peso</i>	110 kg

Ogni analisi eseguita per la caratterizzazione energetica della biomassa è stata effettuata in conformità con le normative italiane ed internazionali.

Le principali normative osservate per la preparazione dei campioni sono riportate in Tabella 5.2.

Per l'Analisi Prossima, più precisamente per le determinazioni dell'umidità e delle ceneri contenute nel campione, si è fatto riferimento alle normative indicate in Tabella 5.3. Per la determinazione delle sostanze volatili si è fatto riferimento alla normativa italiana UNI 9903-3 [9].

Tabella 5.2 – Preparazione del campione

Analisi	Metodo
Preparazione del campione	pr CENT/TS 14778-1 pr CENT/TS 14779 pr CENT/TS 14780 UNI 9903-3

Tabella 5.3 – Determinazione dell'umidità e delle ceneri

Analisi	Metodo
Umidità	CENT/TS 14774-1 CENT/TS 14774-2 CENT/TS 14774-3
Ceneri	CENT/TS 14775

5.3.2 Analisi elementare

Per una più completa caratterizzazione ai fini energetici del materiale prelevato al fine di determinare il contenuto di Carbonio e Idrogeno si è altresì proceduto presso il *Laboratorio del Centro di Ricerca sulle Biomasse C.R.B.* dell'Università degli Studi di Perugia ad effettuare l'analisi elementare dei campioni prelevati.

La determinazione del contenuto di idrogeno, infatti, come riportato in seguito, assieme alla determinazione sperimentale del potere calorifico superiore (a volume costante) è la sola prova di laboratorio in grado di fornire la misura del valore energetico intrinseco di un materiale.

Il contenuto percentuale di carbonio, idrogeno, azoto e ossigeno rappresenta la cosiddetta *analisi elementare*. Tali elementi, ai quali per integrare l'informazione analitica viene spesso aggiunta la determinazione di zolfo e cloro, costituiscono la parte organica della biomassa.

Il contenuto di ossigeno viene generalmente calcolato per differenza, sottraendo a 100 i contenuti di carbonio, idrogeno, azoto, zolfo, cloro e ceneri.

Rispetto al carbone (il combustibile solido più vicino alle biomasse) le biomasse sono caratterizzate da più elevati contenuti di ossi-geno, elemento presente nei macrocostituenti della biomassa vegetale (cellulosa, emicellulosa, ligni-na), da una minor presenza di carbonio e da un esiguo contenuto di zolfo. Il contenuto di idrogeno è molto simile. Azoto e cloro, presenti in quantità variabili in funzione della tipologia della biomassa, solo occasionalmente superano l'1%.

Le informazioni che è possibile trarre dall'analisi elementare sono molteplici: si basano sostanzialmente sul rapporto percentuale tra i principali elementi e, anche se non esaurienti, contribuiscono a definire il più corretto utilizzo della biomassa. Un elevato rapporto carbonio/azoto ($C/N > 30$), ad esempio, è indice di un materiale con elevata attitudine alla combustione e come tale idoneo alle conversioni termochimiche.

L'analisi elementare viene inoltre utilizzata come supporto per valutare la qualità energetica della biomassa. Come andamento generale, ad alti contenuti di carbonio e idrogeno corrispondono elevati poteri calorifici; elevate concentrazioni di ossigeno e azoto hanno un effetto opposto.

Azoto, zolfo e cloro infine, sono importanti soprattutto ai fini della valutazione delle emissioni inquinanti, delle prestazioni in impianto (con particolare riferimento a fenomeni corrosivi) e delle problematiche connesse.

Il cloro in particolare, oltre ad essere un precursore per la formazione di diossina durante la combustione, svolge un ruolo primario anche nella formazione di ceneri particolarmente corrosive.

Sui campioni è stato determinato il contenuto di Carbonio e Idrogeno mediante l'impiego di un Analizzatore elementare LECO Truspec CHN.

Per ciascun campione di sansa prelevato in frantoio sono state effettuate 3 repliche del peso di 0,35 grammi ciascuna.

Il principio di funzionamento di questo strumento prevede una combustione rapida e completa (Flash) del campione all'interno di una fornace, alla temperatura di 950 °C in eccesso di Ossigeno. I prodotti della combustione sono fatti passare attraverso una seconda fornace (Afterburner) ad 850 °C per una ulteriore ossidazione e rimozione del particolato. I gas sono poi raccolti in un contenitore detto Ballast, di volume pari a 4,5 litri, all'interno del quale sono omogeneizzati ed inviati ai rivelatori ad assorbimento infrarosso per la misura della CO₂ e dell'H₂O; infatti il Carbonio è misurato sotto forma di CO₂ e l'Idrogeno sotto forma di H₂O. Un'aliquota dei gas di combustione, pari a 3 cc, è invece trasferita in un flusso di elio e fatta passare attraverso un catalizzatore di rame caldo per la rimozione dell'ossigeno e la conversione degli NO_x ad azoto elementare N₂ ed attraverso altri filtri per la rimozione dell'anidride carbonica e dell'acqua. Infine un rivelatore a termocoducibilità è usato per determinare il contenuto di azoto. Ha tempi di analisi molto brevi: per una determinazione occorrono circa 4 minuti. Tale strumento è perfettamente rispondente alla norma di riferimento per l'analisi elementare delle biomasse, l'ASTM D 5373. In tabella 5.4 sono descritte le principali caratteristiche dello strumento.

Tabella 5.4 – Caratteristiche tecniche dell'analizzatore elementare LECO Truspec CHN

Specifiche	Valori di riferimento
Range	
Carbonio	50 ppm o da 0,005% a 50%
Idrogeno	200 ppm o da 0,02% a 50%
Azoto	80ppm o da 0,008% a 100%
Precisione	
Carbonio	0,3 ppm o 0,5% RSD
Idrogeno	100 ppm o 1,0% RSD
Azoto	40 ppm o 0,5 % RSD
Rivelabilità	0,0001 ppm
Tempo di analisi	4 minuti
Dimensione del campione	Fino a 1 grammo
Metodo di rivelazione	
Carbonio	Rivelatore ad assorbimento infrarosso
Hydrogen	Rivelatore ad assorbimento infrarosso
Nitrogen	Rivelatore a termoconducibilità
Gas richiesti	
Carrier	Elio (purezza 99,9 %)
Combustione	Ossigeno (purezza 99,99 %)
Pneumatica	Aria compressa (secca e priva di olio)
Fornace	Massima temperatura 1050 °C
Autocampionatore	30 posizioni
Dimensioni	69 cm (L) x 79 cm (H) x 71 cm (P)
Peso	113 kg

La determinazione del contenuto di idrogeno è stata finalizzata alla determinazione del numero di moli di acqua presenti nella massa ai fini della determinazione, noto il potere calorifico superiore (PCS), del *potere calorifico inferiore (PCI)*, che comprende il calore di condensazione dell' acqua contenuta nel combustibile o formatasi durante la combustione.

5.4 Prova 2 – Valutazione dei consumi di energia per la molitura della sansa ai fini della pellettizzazione

Per ciascun campione di sansa prelevato in frantoio sono state effettuate 3 repliche.

I campioni allo stato secco, del peso medio di 40 grammi, sono stati conservati in essiccatoio in vetro collegato a una pompa da vuoto con silicagel in attesa di essere sottoposti a molitura.

La molitura è stata effettuata utilizzando un Mulino di marca Retsch Type ZM1 N° 29907 della potenza di 600 watt, 220 volts, mediante l' utilizzo di un Mantello con grana 1 mm.

Ciascun campione prima di essere sottoposto a molitura è stato pesato.

Al termine della macinazione di ciascun campione si è provveduto ad una accurata pulizia del mulino.

Il tempo impiegato per macinare ciascun campione è stato determinato mediante l' utilizzo di un cronometro.

Essendo a conoscenza della potenza elettrica impiegata dal mulino, utilizzato per le moliture dei campioni di sansa, ed avendo determinato il tempo di molitura di ciascun campione si è reso possibile determinare l'energia impiegata per la molitura di ciascun campione di sansa

$$E = P \times t$$

dove P è la potenza del mulino e t il tempo di macinazione.

5.5 Prova 3 - Valutazione dei consumi di energia per la pellettizzazione

Le prove di compattazione sono state condotte utilizzando tre diverse pellettatrici di piccole dimensioni generalmente impiegate per usi domestici, di seguito meglio descritte.

- **Pellettatrice Bremana**

Si tratta di una pellettatrice professionale adatta alle piccole e medie falegnamerie, utile per trasformare in combustibile ecologico tutti i cascami come segatura, trucioli e polvere prodotti dalle macchine per la lavorazione del legno.

Tabella 5.5 – Caratteristiche Tecniche Pellettatrice Bremana

Dati Tecnici		
Larghezza	cm.	100
Lunghezza	cm.	205
Altezza	cm.	180
Potenza totale installata	KW	4
Tensione alimentazione	V-Hz	380-50
Potenza motore principale	KW.	3
Potenza motore coclea alimentazione	KW.	0,75
Potenza motore agitatore	KW.	0,25
Capacità contenitore truciolo	lt.	1000
Peso	Kg.	410



Figura 5.2 – Pellettatrice Bremana

Questa macchina produce Pellet di ottima qualità con diametro 6 mm. La produzione oraria oscilla da 40 a 60 Kg/h a ciclo continuo, con umidità massima della segatura del 15% senza aggiunta di additivi o collanti.

- **Pellettina - Macpellet**

Si tratta di una pellettatrice con motorizzazione da 5,5 kW.

Questa macchina è ideale per gli scarti di produzione delle piccole falegnamerie, così come i residui delle lavorazioni agricole, i foraggi, i mangimi, i composti per il giardinaggio nonché i fertilizzanti come pollina, letame, etc.



Si è avuto cura che il materiale da pellettizzare fosse secco (10-15%, ottimo 12%).

La macchina è equipaggiata con matrice da 6 mm, imbuto di caricamento, scivolo di caduta per il prodotto finito e pesa circa 120 kg. La produzione oraria dipende dal tipo di materiale utilizzato e dalla motorizzazione e può arrivare fino a 120 kg/ora.

Figura 5.3 – Pellettina – Macpellet

- **SKJ200ELETTRICA**

Pellettatrice con motorizzazione da 7,5 kW .

La macchina è equipaggiata con matrice da 6 mm e la produzione oraria dipende dal tipo di materiale e può arrivare fino a 120 kg/ora. La motorizzazione è a 380V/50Hz.



Figura 5.4 – Pellettatrice SJK2003L3TTRICA

La prova 3 è stata condotta, come per la prova 1, su 12 campioni del peso medio di circa 5 kg per ciascuna pellettatrice. La durata della pellettatura di ciascun campione è stata cronometrata con un cronometro digitale e moltiplicata con la potenza della pellettatrice al fine di calcolare l'energia consumata durante il processo

$$E = P \times t$$

dove P è la potenza della pellettatrice e t il tempo di pellettatura.

I consumi di energia per la pellettizzazione ricavati effettuando la media dei dati ottenuti dalle tre pellettatrici usate per le prove sono stati utilizzati per ipotizzare l'impiego di una pellettatrice ideale.

5.6 Prova 4 - Combustione dei pellet mediante l'impiego di bomba calorimetrica ai fini della determinazione del potere calorifico.

Il potere calorifico indica la quantità di calore che si sviluppa dall'unità di massa (peso) di un materiale nella sua combustione completa con ossigeno in un *calorimetro normalizzato*. Viene generalmente espresso in kcal/kg o in MJ/kg.

Sotto il profilo energetico, il potere calorifico è uno dei parametri più significativi di un combustibile.

Il potere calorifico viene distinto in:

- *potere calorifico superiore (PCS)*, che comprende il calore di condensazione dell'acqua contenuta nel combustibile o formatasi durante la combustione (si considera l'acqua ottenuta allo stato liquido);

- *potere calorifico inferiore (PCI)*, che non comprende il calore di condensazione dell'acqua (considera l'acqua ottenuta allo stato vapore).

La prova di laboratorio, comunemente effettuata con un calorimetro adiabatico (bomba di Mahler), serve a determinare il PCS. Le condizioni nella bomba infatti sono tali per cui, al termine della prova, l'acqua presente nel combustibile o formatasi durante la combustione si trova allo stato liquido.

La determinazione sperimentale del potere calorifico superiore (a volume costante) è la sola prova di laboratorio in grado di fornire la misura del valore energetico intrinseco di un materiale.

Assieme alla determinazione del contenuto di idrogeno, il PCS serve per calcolare il potere calorifico inferiore.

Il PCI viene calcolato al *netto* del contributo dell'umidità del combustibile e dell'acqua che si forma nella reazione di combustione; si considera cioè che tutta l'acqua, presente nel combustibile e quella formatasi nella combustione, rimanga allo stato va-pore. Per questo calcolo si sottrae dal PCS il calore di condensazione dell'acqua prodotta nella combustione mediante la seguente formula :

$$PCI \text{ (kcal/kg)} = PCS - 51,14 \times H_{\text{tot}}$$

dove: PCS = potere calorifico superiore (kcal/kg); H_{tot} = idrogeno totale (%), che comprende anche l'idrogeno dell'umidità presente nel campione

In alternativa alla determinazione sperimentale, il potere calorifico può essere calcolato mediante equazioni empiriche, gran parte delle quali si basano sulla composizione elementare del combustibile.

$$PCS[Btu/lb] = 85.65 + 137.04 C + 217.55 H + 62.56 N + 107.73 S + 8.04 O - 12.94 Ceneri$$

Il potere calorifico è strettamente legato al contenuto di carbonio e di idrogeno e rispecchia le proporzioni dei diversi macrocostituenti presenti nella biomassa: cellulosa, emicellulosa e lignina assieme a terpeni, sesquiterpeni e resine aventi caratteristiche chimiche e poteri calorifici diversi.

Nel caso delle biomasse forestali, ad esempio, il PCI delle conifere (19,5-20,0 MJ/kg *daf*) è maggiore di quello delle latifoglie (18,4-19,1 MJ/kg *daf*) grazie ad un maggior contenuto di composti resinosi (terpeni e sesquiterpeni) a maggior potere calorifico (CTI Energia e Ambiente,2004)

Nella pratica, per valutare il rendimento di combustione in impianto, ci si riferisce al potere calorifico inferiore: in impianto, infatti, i gas di combustione non vengono mai scaricati a temperatura tanto bassa da far condensare l'acqua presente e quindi non viene recuperato il calore di condensazione. Bisogna tuttavia tener presente che il calore reale prodotto in impianto, per quanto sia legato al PCI, dipende da numerosi altri fattori, quali: mezzo di combustione (aria, altro), sistema di combustione e disegno costruttivo, condizioni di esercizio dell'impianto, altre caratteristiche chimiche e fisiche del combustibile. Tra i fattori che influenzano maggiormente il potere calorifico delle biomasse particolare importanza rivestono l'umidità e le ceneri.

Nella presente ricerca la determinazione del Potere Calorifico Superiore è stata effettuata mediante l'impiego di un Calorimetro LECO AC-350, strumento che consente di misurare il potere calorifico delle biomasse con metodo isoperibolico su solidi e liquidi, in accordo con le norme ASTM, ISO, DIN, BSI. Il potere calorifico è determinato bruciando il campione in un ambiente controllato (Bomba di Mahler, figura 5.5) ed il calore che si sviluppa è trasmesso all'acqua del vaso calorimetrico in cui è immersa la bomba. La temperatura dell'acqua è misurata con un termometro elettronico, con risoluzione pari a 0,0001 °C. Il microprocessore misura la temperatura dell'acqua del secchiello della bomba ogni 6 secondi. Lo strumento registra ed elabora

le differenze di temperatura tra le fasi di prefire e postfire, presentando risultati corretti per la lunghezza del filo o per il contenuto di zolfo, azoto, umidità e ceneri del campione.

In Tabella 5.6- Caratteristiche tecniche del calorimetro LECO AC-350

Specifiche	
Metodo	Isoperibolico
Peso nominale campione	1 g (0,6 – 1,4 g)
Range	6000 BTU/lb a 15000 BTU/lb (per 1 grammo di campione)
Precisione	<=0.05% RSD (Acido Benzoico)
Risoluzione	1 BTU/lb; 0.001 MJ/kg; 0.1 cal/g; 0.1 Kcal/100g.
Tempo di analisi	Regnault-Pfuandler - 20 minuti Precision Mode - 8 minuti Predictive Mode - 4.5 to 7.5 minuti
Misura della temperatura	
Risoluzione	0,0001 °C
Temperatura ambiente	13 °C – 33 °C
Gas	
Ossigeno	Purezza 99,99 % Pressione 28,9 bar
Acqua	
Requisiti	Solo distillata
Volume di riserva	16 litri
Display	
Tipo	A cristalli liquidi
Dimensioni	8 cm x 10 cm
Capacità di memoria	5 metodi 10 valori di peso 100 risultati
Dimensioni	61 cm (H) x 42 cm (L) x 41 cm (P)

Nel presente lavoro l'Analisi Ultima è stata effettuata in osservanza della direttiva procedurale indicata nella norma ASTM D-5373.

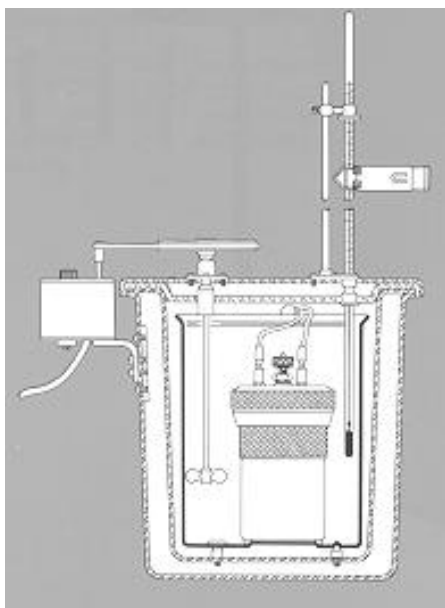


Figura 5.5 - Schema di bomba calorimetrica a bagno d'acqua (Bomba di Mahler)

L'aumento di temperatura del bagno d'acqua nel tempo della combustione consente di calcolare il quantitativo di energia ceduto, dal quale è possibile risalire al potere calorifico della massa combusta.

Durante l'esperimento, le temperature si mantengono su valori molto al di sotto della temperatura di vaporizzazione dell'acqua, così l'acqua formata durante l'ossidazione dell'idrogeno presente nel campione condensa cedendo il calore latente di condensazione. In questo modo viene calcolata la quantità di energia per unità di massa rappresenta il potere calorifico superiore del campione.

Da questo, noto il quantitativo di idrogeno presente nella biomassa in esame (determinata con l'analisi termo gravimetrica), è possibile risalire al potere calorifico inferiore calcolando il numero di moli di acqua formatesi e sottraendo il relativo calore latente di vaporizzazione.



Figura 5.6 – Pellet impiegato per la prova di laboratorio con il calorimetro



Figura 5.7 – Pressa impiegata in laboratorio per formare i Pellet

Le analisi, finalizzate alla determinazione del Potere calorifico Superiore, sono state condotte su 12 campioni ciascuno di circa 1g.

Per ciascuno dei quattro campioni prelevati dai frantoi essiccati e successivamente macinati, infatti, sono state effettuate 3 repliche.

Ciascuno di questi campioni è stato quindi posto in una apposita pressa per ricavarne una pastiglia molto compatta da inserire nella bomba calorimetrica a sua volta

immersa in un bagno di acqua della quale è stata misurata la temperatura mediante l'impiego del Calorimetro LECO AC-350.

5.7 Bilancio energetico

In seguito alla determinazione di tutti i costi energetici necessari alla stabilizzazione dei campioni di sansa vergine di oliva ed al campione di nocciolino, si è provveduto ad effettuare un bilancio energetico.

Tutte le voci del bilancio sono state riferite ad Energia elettrica [$J_{el\ gssemp}^{-1}$] giungendo infine alla determinazione dell' Energia netta [$kWh\ Kg_{ss}^{-1}$] ottenibile dalla combustione dei pellet ottenuti dalla stabilizzazione di sansa vergine e di nocciolino di olive.

6. CAPITOLO

Risultati e discussione

6.1 Introduzione

Allo scopo di redigere un bilancio per valutare i vantaggi energetici ottenibili con l'utilizzo delle sansa di Oliva ai fini della produzione di energia elettrica, tutti i dati raccolti in ciascuna delle fasi di stabilizzazione della sansa vergine sono stati convertiti in energia elettrica equivalente.

L'energia totale necessaria per la stabilizzazione è stata comparata con il PCI (*Potere calorifico inferiore*) della biomassa.

Questo confronto ha permesso di calcolare l'energia elettrica netta derivata dalla combustione dei campioni di sansa vergine.

$$En = PCI - (Ee + Em + Ep)$$

Dove:

En è l'energia netta ottenibile dalla combustione della sansa vergine

PCI è il Potere Calorifico Inferiore

Ee è l'energia necessaria per l'Essiccazione

Em è l'energia necessaria per la Molitura

Ep è l'energia necessaria Pellettatura.

6.2 Contenuto di umidità

L'energia necessaria per allontanare tutta l'umidità dalla massa è stata determinata basandosi sul calore latente di vaporizzazione alla pressione atmosferica.

La tabella 6.1 mostra il contenuto di umidità determinato per le singole repliche effettuate e le relative perdite % di peso dei campioni.

Tipo	Rep.	Peso umido[g]	Peso secco [g]	Contenuto in umidità	Perdita peso %	Media perdita di peso
Frantoio n. 1 campione nocciolato	I	8,8473	4,7605	4,0868	46,19%	46,66%
	II	9,1710	4,9678	4,2032	45,83%	
	III	9,3721	4,8782	4,4939	47,95%	
Frantoio n. 2 campione nocciolato	I	8,0315	4,2285	3,8030	47,35%	48,41%
	II	9,0817	5,163	3,9187	43,15%	
	III	8,5512	3,8723	4,6789	54,72%	
Frantoio n. 3 campione denocciolato	I	9,4184	3,9614	5,4570	57,94%	58,14%
	II	9,8379	4,0165	5,8214	59,17%	
	III	9,2870	3,9658	5,3212	57,30%	
Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	I	8,0526	7,1125	0,9401	11,67%	12,03%
	II	9,5734	8,4567	1,1167	11,66%	
	III	9,0708	7,9134	1,1574	12,76%	

Tabella 6.1-Determinazione del contenuto di umidità

Il contenuto di umidità è risultato sensibilmente superiore nel campione di sansa denocciolata, in cui è stata, rilevata una perdita di peso media tra le repliche del 58,14%, rispetto ai campioni di sansa con nocciolino (46,66% e 48,41%), mentre il contenuto di umidità del campione composto di solo nocciolino è risultato il più basso tra tutti i campioni (12,03%).

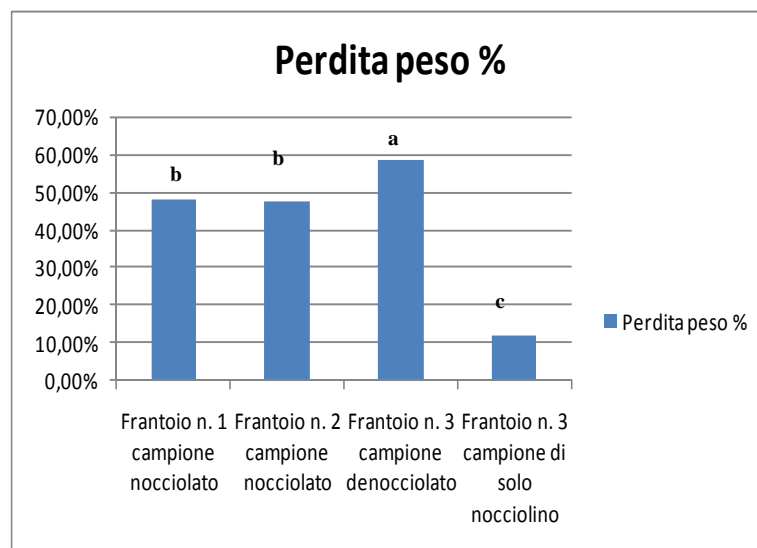


Figura 6.1- Determinazione del contenuto di umidità

L'osservazione della figura 6.1 consente di individuare con facilità le differenze rilevate tra i diversi campioni analizzati.

La tabella 6.2 riporta tutti i passaggi attraverso i quali, a partire dal contenuto di umidità rilevato sui campioni, si è giunti a determinare la mancata produzione di energia elettrica [kJ_{el}·kg_{ss}⁻¹] poiché impiegata per l'essiccazione dei campioni stessi.

Tipo	Rep.	Contenuto in umidità	clv H ₂ O [J/g H ₂ O]	Calore perso [J]	Calore teoricamente perso [kJ _{th} ·kg _{ss} ⁻¹]	Media repliche [kJ _{th} ·kg _{ss} ⁻¹]	Efficienza stufa	Energia elettrica [kJ _{el} ·kg _{ss} ⁻¹]	Energia elettrica [kJ _{el} ·kg _{ss} ⁻¹]
Frantoio n. 1 campione nocciolato	I	4,0868	2272	9285,21	1950,47	1988,60	90%	1755,42	1789,74
	II	4,2032	2272	9549,67	1922,31			1730,08	
	III	4,4939	2272	10210,14	2093,01			1883,71	
Frantoio n. 2 campione nocciolato	I	3,8030	2272	8640,42	2043,38	2171,02	90%	1839,04	1953,92
	II	3,9187	2272	8903,29	1724,44			1552,00	
	III	4,6789	2272	10630,46	2745,26			2470,73	
Frantoio n. 3 campione denocciolato	I	5,4570	2272	12398,30	3129,78	3157,09	90%	2816,80	2841,38
	II	5,8214	2272	13226,22	3292,97			2963,67	
	III	5,3212	2272	12089,77	3048,51			2743,66	
Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	I	0,9401	2272	2135,91	300,30	310,87	90%	270,27	279,79
	II	1,1167	2272	2537,14	300,02			270,01	
	III	1,1574	2272	2629,61	332,30			299,07	

Tabella 6.2-Determinazione dell'energia elettrica impiegata per l'essiccazione dei campioni

Partendo dal contenuto di umidità, infatti, basandosi sul calore latente di vaporizzazione alla pressione atmosferica, si è determinato il Calore teoricamente perso al fine di ottenere l'essiccazione dei campioni.

Ipotizzando infine un'efficienza della stufa impiegata per l'essiccazione dei campioni del 90% è stato possibile determinare il consumo in Energia elettrica necessaria per l'essiccazione dei campioni stessi.

Come per il contenuto di umidità, la mancata produzione di energia elettrica ricavata dal calore teoricamente perso per l'essiccazione dei campioni è risultata sensibilmente superiore nel campione di sansa denocciolata (2841,38[kJ_{el}·kg_{ss}⁻¹]) rispetto ai campioni di sansa con nocciolino (1789,74 [kJ_{el}·kg_{ss}⁻¹] e 1953,92 [kJ_{el}·kg_{ss}⁻¹]), mentre dal campione composto di solo nocciolino (279,79 [kJ_{el}·kg_{ss}⁻¹]) si è avuto il consumo minimo di energia.

Tabella 6.3 - Analisi statistica

Tipo	Frantoio n. 1 campione nocciolato		Frantoio n. 2 campione nocciolato		Frantoio n. 3 campione denocciolato		Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	
Energia elettrica umidità [kJ _{el} ·kg _{ss} ⁻¹]	1789,737	b	1953,923	b	2841,377	a	279,7833	c

I valori contrassegnati da lettere diverse differiscono per P = 0,05

L'analisi statistica ha evidenziato che le differenze tra i due campioni di sansa con nocciolino non sono statisticamente significative, mentre differenze significative sono state rilevate tra i due campioni di sansa denocciolata e di solo nocciolino e tra questi ed i campioni di sansa con nocciolino.

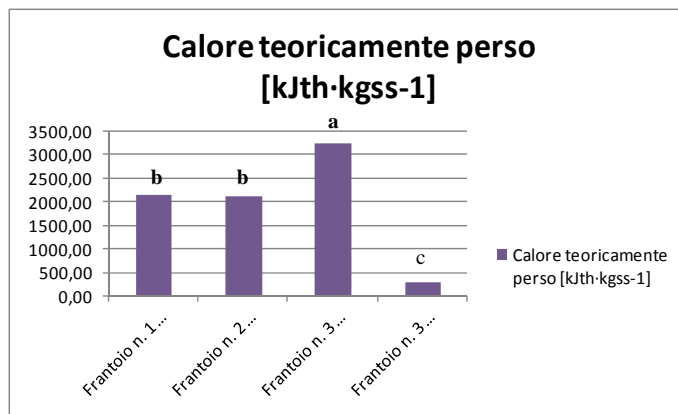


Figura 6.2- Calore Teoricamente perso

L'osservazione della figura 6.2 consente di individuare con facilità le differenze rilevate tra i diversi campioni analizzati.

6.3 Macinazione

La tabella 6.4 riporta i dati relativi alla macinazione, ovvero i valori dell'energia elettrica spesa per la macinazione dei campioni ricavati a partire dal tempo di macinazione e dalla potenza impegnata dal mulino.

Tipo	Rep.	Peso [g]	TIMER	h (ore)	Watt	Watt*ora	(Watt*ora) g ⁻¹	[kJ·kg ⁻¹]	Media replica [kJ _{el} ·kg _{ss} ⁻¹]
Frantoio n. 1 campione nocciolato	I	33,5269	00,26,67	0,0044	600	2,667	0,080	286,37	245,15
	II	43,3809	00,23,75	0,0040	600	2,375	0,055	197,09	
	III	42,1345	00,29,49	0,0049	600	2,949	0,070	252,00	
Frantoio n. 2 campione nocciolato	I	41,3869	00,28,97	0,0048	600	2,897	0,070	252,00	238,80
	II	41,2399	00,28,46	0,0047	600	2,846	0,069	248,40	
	III	42,3498	00,25,41	0,0042	600	2,541	0,060	216,00	
Frantoio n. 3 campione denocciolato	I	40,1456	00,08,03	0,0013	600	0,803	0,020	72,00	76,80
	II	41,3839	00,09,52	0,0016	600	0,952	0,023	82,80	
	III	41,0019	00,08,61	0,0014	600	0,861	0,021	75,60	
Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	I	42,8521	00,59,56	0,0099	600	5,956	0,139	500,40	474,00
	II	40,0984	00,52,13	0,0087	600	5,213	0,130	468,00	
	III	41,5911	00,52,40	0,0087	600	5,240	0,126	453,60	

Tabella 6.4 – Macinazione dei campioni

Relativamente all'energia impiegata per la molitura i campioni hanno risposto in maniera differente.

Un valore maggiore di energia è stata richiesta dal campione di sansa con solo nocciolino (con valori medio tra le repliche del campione di 474,00 [kJ_{el}.kg_{ss}⁻¹]). Consumi intermedi sono stati rilevati per i due campioni di sansa nocciolata (con valori medi tra le repliche di ciascun campione di 245,15 e 238,80 [kJ_{el}.kg_{ss}⁻¹]), mentre il minore consumo di energia è stato richiesto dal campione composto di solo nocciolino (con valori medi per ciascun campione di 76,80 [kJ_{el}.kg_{ss}⁻¹]).

Le differenze tra i campioni di sansa denocciolata e di solo nocciolino sono risultate statisticamente significative.

Anche le differenze dei campioni di sansa denocciolata e di solo nocciolino rispetto ai due campioni di sansa con nocciolino sono risultate significative, mentre i due campioni con nocciolino non hanno evidenziato tra loro differenze statisticamente rilevanti.

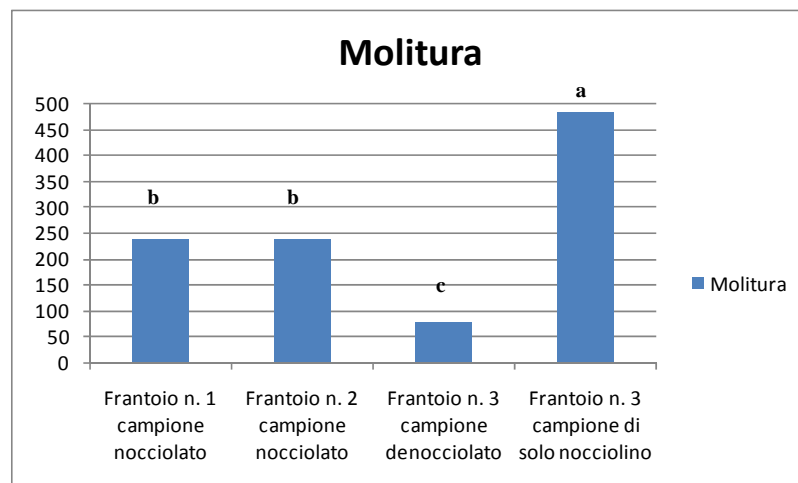


Figura 6.3- Energia impiegata per la molitura

L'osservazione della figura 6.3 consente di individuare con facilità le differenze rilevate tra i diversi campioni analizzati.

6.4 Pellettatura

La tabella 6.5 riporta i consumi di energia necessaria per la pellettizzazione dei campioni macinati mediante l'impiego di tre differenti pellettatrici.

Inoltre, ipotizzando l'impiego di una pellettatrice ideale, sono descritti i consumi di energia per la pellettizzazione ricavati effettuando la media dei dati ottenuti dalle tre pellettatrici usate per le prove.

La convalida dell'ipotesi dell'utilizzo di una pellettatrice ideale (media valori ottenuti dalle tre pellettatrici) viene data dal fatto che il confronto tra i valori ottenuti dalle tre pellettatrici non evidenzia differenze statisticamente significative.

Tipo	Rep.	Peso [g]	Pellettatrice - Brembana [kJ·kg ⁻¹]	Pellettatrice Pellettina-Macpellet [kJ·kg ⁻¹]	Pellettatrice SKJ200ELETTRICA [kJ·kg ⁻¹]	Pellettatrice ideale [kJ·kg ⁻¹]	MEDIA
Frantoio n. 1 campione nocciolato	I	4948,67	288,00	219,60	230,40	246,00	264,40
	II	5222,00	277,20	291,60	291,60	286,80	
	III	5218,33	298,80	241,20	241,20	260,40	
Frantoio n. 2 campione nocciolato	I	5169,67	280,80	295,20	280,80	285,60	284,40
	II	4493,33	324,00	295,20	270,00	296,40	
	III	5283,33	324,00	244,80	244,80	271,20	
Frantoio n. 3 campione denocciolato	I	5514,33	270,00	234,00	313,20	272,40	259,60
	II	4645,33	252,00	313,20	306,00	290,40	
	III	4841,33	216,00	212,40	219,60	216,00	
Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	I	5335,33	259,20	298,80	291,60	283,20	287,60
	II	4897,00	248,40	331,20	324,00	301,20	
	III	4762,33	324,00	255,60	255,60	278,40	

Tabella 6.5 – Pellettatura

Relativamente all'energia impiegata per la pellettatura per i due campioni con nocciolino sono stati rilevati valori di 264,40 [kJ·kg⁻¹] e 284,40 [kJ·kg⁻¹] mentre per il campione di sansa denocciolata l'energia richiesta è stata mediamente di 259,60 [kJ·kg⁻¹] e per il campione di solo nocciolino l'energia necessaria per la pellettatura è risultata di 287,60 [kJ·kg⁻¹].

I dati ottenuti dalle prove di pellettatura non hanno manifestato differenze statisticamente significative tra i due campioni con nocciolino ed il campione con sansa denocciolata, mentre i dati ricavati per il campione di solo nocciolino sono risultati statisticamente differenti da quelli ottenuti dagli altri tre campioni presi in esame.

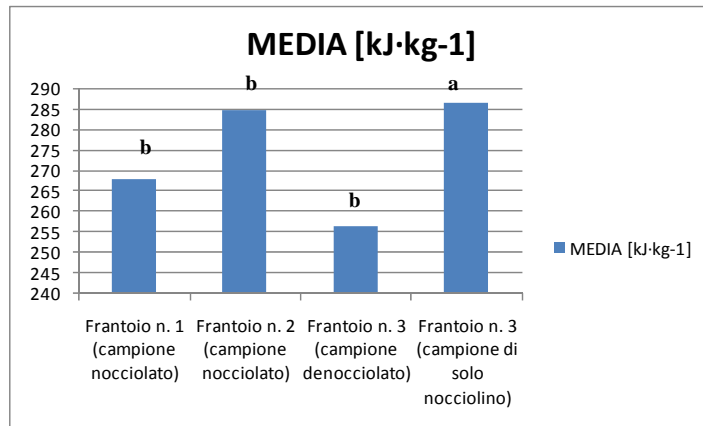


Figura 6.4- Energia impiegata da una pellettatrice ideale

L'osservazione della figura 6.4 consente di individuare con facilità le differenze rilevate tra i diversi campioni analizzati.

6.5 Determinazione del Potere Calorifico Superiore ed Inferiore

La tabella 6.6 riporta il contenuto di Idrogeno rilevato con l'analisi elementare, parametro fondamentale ai fini della determinazione dell'energia [J] ceduta dalla condensazione dell'H₂O legata, necessaria per il calcolo del potere calorifico inferiore.

Campione	Replica	Peso [g]	Carbon %	Peso C [g]	Hydrogen%	Peso H [g]
Frantoio n. 1 campione nocciolato	I	0,2279	60,784	0,1385	7,5067	0,0171
	II	0,1802	62,812	0,1132	7,539	0,0136
	III	0,1844	62,788	0,1158	7,593	0,0140
Frantoio n. 2 campione nocciolato	I	0,1723	63,209	0,1089	7,638	0,0132
	II	0,1956	62,094	0,1215	7,5776	0,0148
	III	0,2054	62,088	0,1275	7,6172	0,0156
Frantoio n. 3 campione denocciolato	I	0,1886	63,634	0,1200	7,9044	0,0149
	II	0,1845	64,546	0,1191	8,0721	0,0149
	III	0,1857	64,032	0,1189	7,9859	0,0148
Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	I	0,3317	50,079	0,1661	6,2414	0,0207
	II	0,3578	49,99	0,1789	6,2591	0,0224
	III	0,3542	50,394	0,1785	6,2753	0,0222

Tabella 6.6 – Dati Analisi Elementare

Una volta determinato, con l'analisi elementare, il contenuto di H [g] dei diversi campioni di sansa presi in esame, noto il peso molecolare dell'idrogeno è stato possibile calcolare il numero di moli di H₂ e successivamente il numero di moli di H₂O contenuto nei campioni.

Quindi si è ottenuto il peso dell' H₂O [g], conseguentemente, basandosi sul calore latente di vaporizzazione alla pressione atmosferica, è stata determinata (Tabella 6.7) l'energia [J] ceduta dalla condensazione dell'H₂O legata necessaria per il calcolo del potere calorifico inferiore.

Campione	Peso H [g]	p.m. H ₂	moli di H ₂	moli di H ₂ O	p.m. H ₂ O	Peso H ₂ O [g]	clv h ₂ o [J/g H ₂ O]	[J] energia ceduta dalla condensazione H ₂ O legata	J/g
Frantoio n. 1 campione nocciolato	0,0171	2,016	0,0085	0,0085	18,0160	0,1529	2272	347,35	1524,14
	0,0136	2,016	0,0067	0,0067	18,0160	0,1214	2272	275,83	1530,70
	0,0140	2,016	0,0069	0,0069	18,0160	0,1251	2272	284,28	1541,66
Frantoio n. 2 campione nocciolato	0,0132	2,016	0,0065	0,0065	18,0160	0,1176	2272	267,20	1550,80
	0,0148	2,016	0,0074	0,0074	18,0160	0,1325	2272	300,94	1538,54
	0,0156	2,016	0,0078	0,0078	18,0160	0,1398	2272	317,67	1546,58
Frantoio n. 3 campione denocciolato	0,0149	2,016	0,0074	0,0074	18,0160	0,1332	2272	302,68	1604,89
	0,0149	2,016	0,0074	0,0074	18,0160	0,1331	2272	302,38	1638,94
	0,0148	2,016	0,0074	0,0074	18,0160	0,1325	2272	301,10	1621,44
Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	0,0207	2,016	0,0103	0,0103	18,0160	0,1850	2272	420,34	1267,24
	0,0224	2,016	0,0111	0,0111	18,0160	0,2001	2272	454,70	1270,83
	0,0222	2,016	0,0110	0,0110	18,0160	0,1986	2272	451,29	1274,12

Tabella 6.7 – Energia ceduta dalla condensazione H₂O legata

Nella tabella 6.8 sono riportati i valori di Potere calorifico Superiore ottenuti facendo bruciare i campioni di sansa nella Bomba calorimetrica, quindi sottraendo al PCS l'energia ceduta dalla condensazione H₂O legata si giunge alla determinazione del PCI.

Dall'osservazione dei dati si evince che sono stati rilevati valori di PCI maggiori per il campione di sansa di oliva denocciolata (con un valore medio tra le repliche rispettivamente di 23788,25 [Jth gss-1] e 5709,18 [Jel gss-1]).

Dati poco inferiori sono stati ottenuti per i due campioni di sansa con nocciolino (con un valore medio tra le repliche rispettivamente di 23589,17 e 23583,03 [Jth gss-1] e 5661,40 e 5659,93 [Jel gss-1]).

Infine valori più bassi sono stati riscontrati per il campione di solo nocciolino (con un valore medio tra le repliche rispettivamente di 19190,27 [Jth gss-1] e 4605,66 [Jel gss-1]).

Statisticamente significative, sono risultate le differenze tra i campioni di sansa denocciolata e di solo nocciolino e tra questi ed i due campioni di sansa con nocciolino, i quali tra loro non hanno evidenziato differenze statisticamente rilevanti.

Tipo	Replica	Peso [g]	PCS [J _{th} g _{ss} ⁻¹]	[J] energia ceduta dalla condensazione H ₂ O legata	PCI [J g _{ss} ⁻¹]	Media PCI [J _{th} g _{ss} ⁻¹]	Efficienza elettrica turbina	Perdite	Energia elettrica [J _{el} g _{ss} ⁻¹]	Energia elettrica [J _{el} g _{ss} ⁻¹]	Energia termica residua [J _{th} g _{ss} ⁻¹]
Frantoio n. 1 campione nocciolato	I	1,0186	25169	1524,14	23644,86	23589,17	24%	3%	5674,766	5661,4	17220,09
	II	1,0061	25192	1530,7	23661,3				5678,712		
	III	1,0369	25003	1541,66	23461,34				5630,721		
Frantoio n. 2 campione nocciolato	I	1,1896	25103	1550,8	23552,2	23583,03	24%	3%	5652,528	5659,93	17215,61
	II	1,0769	25148	1538,54	23609,46				5666,271		
	III	1,0737	25134	1546,58	23587,42				5660,982		
Frantoio n. 3 campione denocciolato	I	0,8679	25433	1604,89	23828,11	23788,25	24%	3%	5718,747	5709,18	17365,42
	II	0,8725	25535	1638,94	23896,06				5735,055		
	III	0,9451	25262	1621,44	23640,56				5673,735		
Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	I	0,8952	20353	1267,24	19085,76	19190,27	24%	3%	4580,583	4605,66	14008,9
	II	0,5187	20831	1270,83	19560,17				4694,44		
	III	0,8772	20199	1274,12	18924,88				4541,971		

Tabella 6.8 – Dati relativi a PCS e PCI

L'energia potenzialmente disponibile dalla combustione della sansa stabilizzata, corrispondente al PCI della biomassa, è sensibilmente ridimensionata dalla efficienza termica ed elettrica della turbina che ha un rendimento termico del 90% ed un rendimento elettrico del 24%.

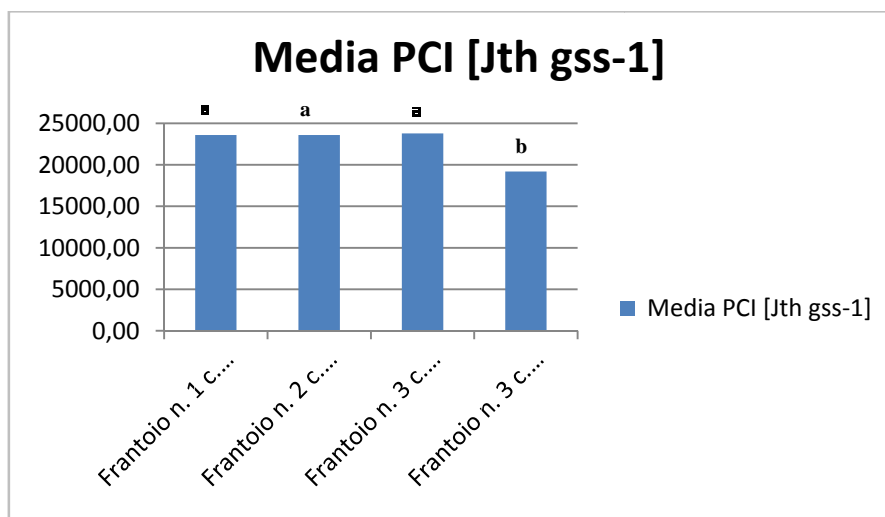


Figura 6.5- Media PCI

6.6 Bilancio energetico

La tabella 6.9 riporta i bilanci energetici effettuati per ciascun campione di partenza.

Il risultato di ciascun bilancio energetico è il valore dell'energia netta ottenuta dalla conversione in energia dei campioni di sansa, espressa in kg di sostanza secca, calcolata facendo la media dei dati ricavati dalle repliche effettuate per ciascuno dei quattro campioni di partenza.

Energia netta %

Tabella 6.9 – Bilancio Energetico

Nei bilanci energetici riportati nella tabella di cui sopra non viene sottratta al PCI l'energia termica necessaria per la fase di essiccazione poiché in una eventuale applicazione del processo a livello industriale il calore necessario per la fase di essiccazione verrebbe recuperato dalla Turbina che ha rendimento del 24%, pertanto escluse le perdite teoriche in calore teoriche del 3% si avrebbero a disposizione il 73% del calore ottenuto dalla combustione della sansa già stabilizzata per la fase di essiccazione.

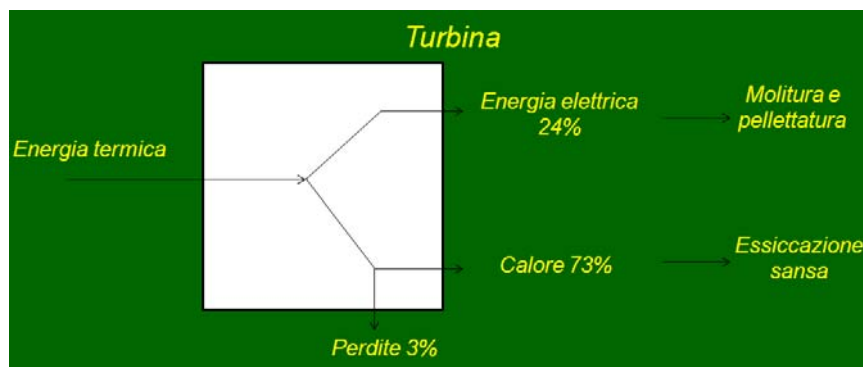


Figura 6.6- Bilancio conversione energia termica in energia elettrica

Dall'osservazione dei dati ottenuti si evidenzia che sono stati ottenuti valori maggiori di energia al netto dei costi energetici per la stabilizzazione di (valore medio di 1,49 kWh Kg_{ss}-1).

Dati poco inferiori sono stati ottenuti per i due campioni di sansa con nocciolino (con un valore medio tra le repliche rispettivamente di (valori medi di 1,43 kWh Kg_{ss}-1).

Infine valori più bassi sono stati riscontrati per il campione di solo nocciolino (con un valore medio tra le repliche rispettivamente di 1,07 kWh Kg_{ss}-1).

Statisticamente significative, sono risultate le differenze tra i campioni di sansa denocciolata e di solo nocciolino e tra questi ed i due campioni di sansa con nocciolino i quali tra loro non hanno evidenziato differenze statisticamente rilevanti.

6.7 Analisi statistica

I dati relativi alle prove svolte sono stati sottoposti all'analisi della varianza e alle medie è stato applicato il test di Duncan.

Tabella 6.10 – Analisi statistica

	Frantoio n. 1 campione nocciolato		Frantoio n. 2 campione nocciolato		Frantoio n. 3 campione denocciolato		Frantoio n. 3 campione di solo nocciolino	
Energia elettrica [J _{el} g _{ss} ⁻¹]	5661,40	a	5659,93	a	5709,18	a	4605,66	b
Energia molitura [J _{el} g _{ss} ⁻¹]	245,15	b	238,80	b	76,80	c	474,00	a
Energia molitura %	4,33	b	4,22	b	1,35	c	10,29	a
Energia pellettatura [J _{el} g _{ss} ⁻¹]	264,40	a	284,40	a	259,60	a	287,60	a
Energia pellettatura %	4,67	b	5,02	b	4,54	b	6,24	a
Energia netta [J _{el} g _{ss} ⁻¹]	5151,84	b	5136,73	b	5372,78	a	3844,06	c
Energia netta %	91,00	b	90,76	b	94,11	a	83,46	c
Energia netta [kWh Kg _{ss} ⁻¹]	1,43	b	1,43	b	1,49	a	1,07	c

I valori contrassegnati da lettere diverse differiscono per P = 0,05

6.8 Conclusioni

L'industria della produzione dell'olio di oliva è caratterizzata da rilevanti quantità di sottoprodotti liquidi e solidi e da limiti economici, tecnici ed organizzativi che rendono difficoltosa l'adozione di sistemi sostenibili di smaltimento dei sottoprodotti.

Dall'altro lato, laddove esiste, vi è un mercato dei sottoprodotti dell'industria olearia che non consente di raggiungere la giusta valorizzazione di tali prodotti.

Questi aspetti associati al sempre crescente costo dell'energia, legato sempre più a congiunture internazionali, agli incentivi alla produzione di energia da fonti rinnovabili, alle elevate quantità di biocombustibile che i frantoi stessi producono, e che non utilizzano a scopi energetici, possono giustificare l'impiego delle sanse vergini alla conversione in energia.

I risultati ottenuti dalla presente ricerca consentono di affermare che gli OME possono essere usati come biomassa per la produzione di energia rinnovabile.

Affinchè vengano usati per la produzione di energia, gli OME devono tuttavia essere stabilizzati. La ricerca mostra che i tre stadi del processo di stabilizzazione sono sostenibili sia per quanto riguarda il consumo di energia del processo stesso sia per l'energia elettrica ottenibile dalla combustione diretta della biomassa.

A scopo puramente esemplificativo si è ipotizzata una applicazione pratica del processo di produzione di energia dalla combustione delle sanse vergini.

La Tabella 6.11 evidenzia che i frantoi potrebbero avere una ulteriore fonte di reddito derivante dalla produzione di energia dalla sansa vergine.

Prod. annua sansa vergine [kg]	Sansa essiccata [kg]	Energia netta [kWh Kg _{ss} ⁻¹]	kWh anno	N. ore funzionamento macchina	Potenza macchina	Tariffa incentivante Euro/kWh	Ricavo Annuo Euro
400000	192000	1,43	274560	8000	34,32	0,28	76876,8

Tabella 6.11 – Ricavo annuo dalla conversione in energia delle sanse vergini

Infatti, secondo la tabella sopra riportata, considerata la produzione media annua di un frantoio e l'energia netta ricavabile dalla combustione della sansa stessa già stabilizzata, dimensionato l'impianto di produzione di energia per una potenza di 34,34 kWp e tenuto conto della tariffa incentivante si ipotizza un ricavo annuo di Euro 76.867,8.

I risultati ottenuti suggeriscono di approfondire la ricerca focalizzando principalmente l'attenzione sui seguenti aspetti:

- Mettere a punto un metodo scientifico per il calcolo dell'energia consumata per la pellettatura;
- Determinare l'energia per la molitura a partire dalla composizione chimica e trovare una formula matematica empirica;
- Comparare i risultati ottenuti mediante combustione diretta con altre tecnologie impiegate per la conversione in energia come la pirolisi e la digestione anaerobica.

Bibliografia

AMBIENTE ITALIA (2002) Programma di azioni a supporto dell'iniziativa delle amministrazioni locali in attuazione della convenzione quadro sui cambiamenti climatici. Ed. Ambiente Italia.

APAT (2002) Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia. Rapporti 21/2002.

APAT (2003) - Le biomasse legnose: un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia. Rapporti 30/2003.

APAT (2004) Emissioni di CO2 equivalente.

AUSTRALIAN GREENHOUSE OFFICE (1998) Workbook for NonCarbon Dioxide Gases from the Biosphere., Workbook 5.1 with Supplements. AA.VV. (1986) Impieghi dei sottoprodotti agricoli ed agroindustriali. CESTAAT.

AA.VV. (1994) Potenzialità energetica da biomasse nelle regioni italiane. AIGRENEA.

AA.VV. (1999) Handbook of Agricultural Engineering. Pubblicazione ASAE, ed. CIGR.

AA.VV. (2000) Proceedings of Workshop "Bioenergy for mitigation of CO2 emissions: the power, transportation and industrial sector", Gatlinburg, IEA Bioenergy Task 25.

AA.VV. (2001) Studio per la valorizzazione energetica dei residui colturali arborei in Calabria e Sicilia. SOAT n. 21, Catania.

AA.VV. (2002) – Riscaldamento dei grandi edifici con combustibili legnosi: informazioni tecniche di base. Pubblicazione ENEA nell'ambito del progetto BIOHEAT (contratto n. 4.1030/Z/00163/2000) finanziato mediante il programma ALTENER della Commissione Europea.

AA.VV. (2002) Gli indicatori della sostenibilità: un manuale. Pubblicazione a cura di Provincia di Siena, ARCA Onlus, Fondazione Monte dei Paschi, Dip. di Scienze e Tecnologie chimiche e dei biosistemi dell'Università di Siena.

AA.VV. (2002) Biomass residues utilization as fossil fuel substitute for power generation and district heating, in the Mediterranean region. RenagriCRES.

AA.VV. (2003) IEA STATISTICS 2003 Renewable Information.

AA.VV. (2003) Libro bianco per la riduzione dell'effetto serra in Italia. Documento Tecnico Scientifico del Coordinamento delle Associazioni per la COP 9.

AA.VV. (2004) BIOSIT: una metodologia GIS per uno sfruttamento efficiente e sostenibile della risorsa biomassa a fini energetici. Pubblicazione realizzata nell'ambito del progetto BIOSIT (LIFE00 ENV/IT/000054) con il supporto della Commissione Europea, programma LIFE III Ambiente.

APAT - Le biomasse legnose Un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia – Rapporti 30 2003

BECHIS S., BERRUTO R. (1997) Il legno come scelta energetica. Seminario "Approvvigionamento e gestione degli impianti termici alimentati a cippato di legno", Cuneo, 10 febbraio 1997.

BERTON M. Introduzione alle politiche di supporto e sviluppo. Lezione tenuta nell'ambito del corso Impianti a Biomassa: dal reperimento della risorsa alla generazione di energia. Verona 2006 AIEL, Associazione Italiana Energie Agroforestali.

BRERA A. (1994) Lo sviluppo sostenibile presuppone consumi sostenibili. Inquinamento, 10 (Anno XXXVI).

BRESSO M. (1993) Per un'economia ecologica. Ed. La Nuova Italia Scientifica.

BRUNDTLAND G.H. (1988) Il futuro di noi tutti (Our Common Future). Ed. Bompiani.

BOUSTEAD CONSULTING LTD. (1997) – Il Boustead Model. Ufficio italiano, Torino.

BASTIANELLI F. (2006), "La politica energetica dell'Unione europea e la situazione dell'Italia", *La comunità internazionale: rivista trimestrale della Società Italiana per l'Organizzazione Internazionale*, fasc. 3, pp. 443-468.

CAPPELLI , P., VANNUCCHI, V., Chimica degli alimenti – Conservazione e Trasformazione, Cap. 23.

CAPUTO, A.C., SCACCHIA, F., PELAGAGGE, P.M. (2002) Disposal of bio-products in olive oil industry: waste-to-energy solutions, *Applied Thermal Engineering*, 23, pp. 197-214.

CELMA A.R, ROJAS, LOPEZ-RODRIGUEZ F. Waste-to-energy possibilities for industrial olive and grape by-products in Extremadura *BIOMASS AND BIOENERGY* 31 (2007) 522–534

CHIARIGLIONE I combustibili legnosi tipologie, tecnologie di produzione e pretrattamento. Presentazione tenuta nell'ambito del corso Impianti a Biomassa: dal reperimento della risorsa alla generazione di energia. Verona 2006 AIEL, Associazione Italiana Energie Agroforestali.

CHIARAMONTI D. Energia da biomassa Presentazione tenuta nell'ambito del corso Impianti a Biomassa: dal reperimento della risorsa alla generazione di energia. Verona 2006 AIEL, Associazione Italiana Energie Agroforestali.

CORERAS,(Rapporto 2003), *La filiera olivicola olearia*.

COSTANTINI V. (2006), "Sicurezza degli approvvigionamenti energetici: una priorità per l'Europa e l'Italia" in Jodice R., Masini S., (a cura di), *L'energia del nostro futuro, La seconda vita dell'agricoltura*, Procom Edizioni, Roma, pp. 89-113.

CTI Energia e Ambiente, Raccomandazione CTI R03/1, maggio 2004.

ENEA (2007), *Rapporto energia e ambiente 2006, Analisi e scenari*, Roma.

EUROBSERV'ER (2006), *Etat des énergies renouvelables en Europe, Observatoire des énergies renouvelables*, Paris.

EUROBSERV'ER (2006), *Le baromètre biomasse solide, Observatoire des énergies renouvelables*, Paris.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2005), *The European Environment. State and Outlook 2005*, Copenhagen, Denmark.

EUROPEAN BIOENERGY NETWORKS Biomass co-firing - an efficient way to reduce greenhouse gas emissions, (2003).

FAGARAZZI C. Produzione di Biomasse. Lezione tenuta nell'ambito del corso Impianti a biomassa: dal reperimento della risorsa alla generazione di energia. Verona 2006. AIEL, Associazione Italiana Energie Agroforestali.

FAO, Dati relativi alla produzione di olio nel mondo nell'anno 2010, www.faostat.fao.org

FIORINO, P., (2003) *Olea*, Trattato di olivicoltura.

FRANCESCATO V. Tecnologie per la conversione energetica del legno– AIEL, Associazione Italiana Energie Agroforestali.

GSE, (Maggio 2010), *Guida agli incentivi per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili*, www.gse.it

ISTAT, stima delle superfici e produzioni delle coltivazioni agrarie, <http://agri.istat.it/>.

ITABIA, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (2003), *Le biomasse per l'energia e l'ambiente*, Roma.

NOMISMA ENERGIA, GSE (2007), *Le nuove fonti rinnovabili per l'energia elettrica in Europa*, Bologna.

DACLON CORRADO MARIA, *Mediterraneo, ambiente e sviluppo*, Maggioli, Rimini, 1993

DE JOUVENEL BERTRAND, *The Art of Conjecture*, New York, Basic Books, 1967

DI GIULIO A., TRUCCO P. (1997) Analisi del ciclo di vita: finalità, caratteristiche e ambiti di applicazione della LCA. *Impiantistica Italiana*, 3 (anno X).

HOLM J.K., HENRIKSEN U.B., HUSTAD J.E., SORENSEN L.K., Toward an Understanding of Controlling Parameters in Softwood and Hardwood Pellets Production, *Energy & Fuels* 20 (2006), 2686- 2694.

ISMEA, Dati import export dell'olio di oliva nel Mondo negli anni 2009 e 2010, www.ismea.it

ITABIA (2002) Caldaie a biomassa per impianti di riscaldamento domestico. Quaderno Progetto RES&RUE Dissemination.

ITABIA (2003) Rapporto sullo stato della bioenergia in Italia al 2002. Ed. realizzata in collaborazione con il Ministero delle Politiche Agricole e con l'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, Roma.

JANNASCH R., QUAN Y., SAMSON R., A Process and Energy Analysis of Pelletizing Switchgrass. Final Report, Resource Efficient Agricultural Production (REAP Canada), Ste. Anne deBellevue, 2001.

JIMENEZBELTRAN D. (1997) – Methodological Framework and Applications of LCA. European Environment Agency Report, Bruxelles.

JUNGMEIER G., RESCH G., SPITZER J. (1998) Environmental burdens over the entire life cycle of a biomass CHP plant. *Biomass and Bioenergy*, 15: 311-323.

LINDGREN, MATS ET. AL., *The MeWe Generation*, Bookhouse Publishing, Stockholm, 2005

LINDGREN, MATS AND BANDHOLD, HANS, *Scenario Planning-the link between future and strategy*, Palgrave Macmillan, Hampshire and New York 2003

LUCIA F. (2004) Potenzialità dei biocombustibili solidi nelle Province italiane: metodologia e stima. Tesi di Laurea presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli, Relatori: Prof. Ing. F. Reale e Dott. E. Scoditti, A.A. 2003/2004.

MANI, S., TABIL, L.G., SOKHANSANJ, S (2006) Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses, *Biomass and Bioenergy*, 30, pp. 648-654.

MANZINI E., VEZZOLI C. (1998) *Lo sviluppo di prodotti sostenibili: i requisiti ambientali dei prodotti industriali*. Ed. Maggioli Editore.

NASTRI, A., RAMIERI, N.A., ABDAYEM, R., PICCAGLIA, R., MARZADORI, C., CIAVATTA, C. (2006) Olive pulp and its effluents suitability for soil amendment, *Journal of Hazardous Materials A*, 138, pp. 211-217.

NICOLETTI, G., ANILE, F., MARANDOLA, C., *Sanse esauste da lavorazione olearia in Calabria. Aspetti tecnici ed economici*.

OLIVIERI Mercato elettrico, certificati verdi e titoli di efficienza energetica (certificati bianchi) per la bioenergia Presentazione tenuta nell'ambito del corso Impianti a Biomassa: dal reperimento della risorsa alla generazione di energia. Verona 2006 AIEL, Associazione Italiana Energie Agroforestali.

PANNELLI G. (2004) Valorizzazione agronomica dei residui. *OlivoeOlio*, ed. Edagricole, 2: 38-42.

PETTENELLA D., ZANCHI G., CICCARESE L. (2006), Il settore primario e la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, *Politica Agricola Internazionale*, n. 3, pp. 27-48, Edizioni L'informatore Agrario, Verona.

PROIETTI, P., NASINI, L. (2004) L'utilizzo dei reflui oleari nel nuovo panorama normativo, www.unaprol.it.

RETZBACH, ROMAN, Future-Dictionary - Encyclopedia of the future, New York, 2005

RHEN, C., ROLF, G., SJOSTROM, M., WASTERLUND, I. (2005) Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets, *Fuel Processing Technology*, 87, pp. 11-16.

ROBERTSON K.A., SCHLAMADINGER B. (1999) Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems. Workshop Bioenergy for mitigation of CO2 emissions: the power, transportation and industrial sectors, IEA Bioenergy Task 25, Gatlinburg, Tennessee, USA, 27–30 September 1999.

ROSSI, R., NICOLINI, A., FILIPPONI, M. (2005) Analisi dei fabbisogni energetici di un'azienda agroalimentare, V Convegno Nazionale CIRIAF, Perugia, 8-9 aprile.

SALTINI ANTONIO, Politica del territorio in Emilia Romagna. La chimera dello sviluppo "sostenibile", in *Spazio rurale*, n. 8-9, ago-sett 2006

SALTINI ANTONIO, Due rivali contendono il Pianeta: l'uomo e l'automobile. Gli esiti del match non sono prevedibili, in *Spazio rurale*, LII, n. 5, maggio 2007

SCHLAMADINGER B., APPS M., BOHLIN F., GUSTAVSSON L., JUNGMEIER G., MARLAND G., PINGOUDT K., SAVOLAINE I. (1997) Towards a standard methodology for greenhouse gas balances of bioenergy systems in comparison with fossil energy systems. *Biomass and Bioenergy*, 13: 359375.

SCIANCELEPORE, V., Industrie agrarie, olearia, enologica, lattierocasearia

SJAW M.D., TABIL L.G., Compression, Relaxation, and Adhesion Properties of Selected BiomassGrinds, *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript FP 07 006.Vol. IX. April, 2007.SPSS, SPSS 16.0 brief Guide, SPSS Inc. (2007).

SLAUGHTER, RICHARD A., The Knowledge Base of Futures Studies Professional Edition CDROM, Foresight International, Indooroopilly 2005

TABIL L.G., Binding and pelleting characteristics of alfalfa, PhD thesis, Saskatoon, SK: Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan (1996).

TEMMERMAN M., RABIER F., JENSEN P.D., HARTMANN H., BOHM T., Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes, *Biomass and Bioenergy* 30 (2006) 964 – 972.

UN-ENERGY, *Sustainable Bioenergy: a framework for decision makers*, Maggio 2007

UNI CEN/TS 15210-1:2006, Solid biofuels. Methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes. Part 1: Pellets.

UNI/TS 11263:2007, Biocombustibili solidi - Caratterizzazione del pellet a fini energetici.

US EPA (1997) – Global Warming and Climate Change. U.S. EPA WWW-Report, Boston (MA, USA).

VOLPE, G., VOLPE, R. Agriculture in the mediterranean basin atti del convegno “International cooperation in the mediterranean basin” Gulotta 2007

VOLPE, R., MATTEI, G., DI MARCO, L. (2008) Evaluation of energy content of the wood agri-residuals for auto sustainability of a medium sized farm in Sicily, Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition, Valencia 2-6 June 2008.

VOLPE, R., MATTEI, G. VOLPE G. Evaluation of Energy content of Agri-residuals for auto sustainability of medium size farms in Sicily – Proceeding of XVI European Biomass Conference.

VOLPE, R. Impresa e ambiente: efficienza ed efficacia nello sviluppo rurale. In “Animare il mediterraneo” Franco Angeli 2008.

WOODGATE, DEREK WITH PETHRICK, WAYNE R., Future Frequencies, Fringecore, Austin, Texas 2004

ZAETTA C., PASSALACQUA F., TONDI G., The pellet market in Italy: main barriers and perspectives, 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.