



**APAT**

Agenzia per la protezione  
dell'ambiente e per i servizi tecnici

# Le biomasse legnose

---

**Un'indagine sulle potenzialità del settore  
forestale italiano nell'offerta di fonti  
di energia**

### **Informazioni legali**

L'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

### **APAT**

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici  
Via Viataliano Brancati, 48 – 00144 Roma

© APAT, Rapporti 30/2003

ISBN 88-448-0097-7

Riproduzione autorizzata citando la fonte

### **Elaborazione grafica**

Apat

Foto di copertina: P. Orlandi

### **Impaginazione e stampa**

I.G.E.R. srl - Viale C. T. Odiscalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TFC

Finito di stampare marzo 2004

Testo disponibile su sito *web internet*: [www.sinanet.apat.it](http://www.sinanet.apat.it)

**Elenco degli Autori (in ordine alfabetico):**

Lorenzo Ciccarese (APAT) ha curato la redazione dei capitoli 2 e 7; Enrico Spezzati (collaboratore presso l'Università di Padova) dei capitoli 4 e 5; Davide Pettenella (Università di Padova) dei rimanenti capitoli, oltre al coordinamento generale dell'indagine e alla revisione finale del testo. L'introduzione e le conclusioni sono state predisposte in comune dai tre autori.

Si ringrazia il prof. Bernardo Hellrigl (Università di Padova) per alcune preziose informazioni fornite nella predisposizione dei capitoli 1 e 4.

**APAT**

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici  
Dipartimento Difesa della Natura, Servizio Parchi, Ecosistemi e Biodiversità



# Indice

<b>SINTESI DEL RAPPORTO</b>		<b>1</b>
<b>INTRODUZIONE</b>		<b>3</b>
<b>1. ASPETTI ECONOMICI DEL MERCATO DELLE BIOMASSE LEGNOSE</b>		<b>5</b>
<b>2. CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE DELLE BIOMASSE LEGNOSE PER SCOPI ENERGETICI</b>		<b>11</b>
2.1	Le caratteristiche chimiche	11
2.2	Le caratteristiche fisiche	12
2.3	Le caratteristiche energetiche	13
<b>3. LE RISORSE FORESTALI NAZIONALI E L'ANDAMENTO STORICO DEI PRELIEVI</b>		<b>15</b>
<b>4. L'OFFERTA INTERNA ATTUALE DI BIOMASSE LEGNOSE A SCOPO ENERGETICO</b>		<b>23</b>
4.1	I prelievi secondo le stime ufficiali	24
4.2	Stima dei consumi reali	26
4.3	Stima della biomassa disponibile non utilizzata a fini energetici	31
4.4	Stima dei prelievi potenziali	34
<b>5. IL QUADRO NORMATIVO</b>		<b>43</b>
5.1	Strumenti di programmazione e di incentivazione dell'impiego di biomasse	43
5.2	Opportunità di espansione dell'offerta di biomassa: l'applicazione del Reg. 1257/1999	44
5.4	Tematiche-chiave che condizioneranno gli sviluppi futuri del mercato delle biomasse legnose	52
<b>6. IL MERCATO INTERNAZIONALE DELLE BIOMASSE LEGNOSE: UN'ANALISI DEI PROBLEMI E DELLE TENDENZE IN CORSO</b>		<b>57</b>
6.1	L'evoluzione della domanda di prodotti legnosi	59
6.2	L'evoluzione dell'offerta	62
6.3	L'andamento dei prezzi	64
6.4	Un quadro di sintesi dei problemi e delle potenzialità per le produzioni di biomasse	64

<b>7.</b>	<b>LO STATO ATTUALE DELLE POSSIBILI APPLICAZIONI DI TECNOLOGIE DI VALORIZZAZIONE ENERGETICA</b>	<b>67</b>
7.1	Tecniche di condizionamento	67
7.2	I processi di conversione	69
7.3	Gli inquinanti	89
	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>91</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>93</b>

## Sigle e acronimi

AAC	<i>Annual Allowable Cut</i>
ANPA	Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
CE	Commissione Europea
CEE	Comunità Economica Europea
CFS	Corpo Forestale dello Stato
CGA	Censimento Generale dell'Agricoltura
CIPE	Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CORINE	<i>COoRdination of INformation on the Environment</i>
DITESAF	Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali
Dir.	Direttiva
DL	Decreto Legislativo
DM	Decreto Ministeriale
DPR	Decreto del Presidente della Repubblica
ECE	<i>Economic Commission for Europe</i>
ENEA	Ente Nazionale per le nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente
ENEL	Ente Nazionale per l'Energia Elettrica
EUROSTAT	<i>Statistical Office of the European Communities</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FRA	<i>Forest Resources Assessment</i>
ha	ettaro/i
IFNI	Inventario Forestale Nazionale Italiano
INEA	Istituto Nazionale di Economia Agraria
ISTAT	Istituto Nazionale di Statistica
L.	Legge
M	milione/i
m	metro/i
MDF	<i>Medium Density Fibreboard</i>
Mi	massa del legno tal quale
Ma	massa del legno allo stato secco
mc	metro/i cubo/i
NAI	<i>Net Annual Increment</i>
n.d.	non disponibile
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
PCI	Potere Calorifico Inferiore
PCS	Potere Calorifico Superiore
PHL	<i>Potential Harvesting Level</i>
RDL	Regio Decreto Legislativo
Reg.	Regolamento
s.f.	sostanza fresca
SRF	<i>Short Rotation Forestry</i>
t	tonnellate
Tep	Tonnellate equivalenti di petrolio
UE	Unione Europea
UN	<i>United Nations</i>
UWET	<i>Unified Wood Energy Terminology, Definitions and Conversion Factors</i>
WEIS	<i>Wood Energy Information System</i>



## Sintesi del rapporto

Il presente rapporto costituisce l'elaborato finale di un incarico affidato dall'ANPA, nel 2001, al Professor Davide Pettenella, Università degli Studi di Padova, per la redazione di un'indagine finalizzata alla valutazione della capacità produttiva di biomasse legnose a fini energetici in Italia.

L'obiettivo centrale dell'indagine è stata la stima dei consumi effettivi di biomasse a fini energetici, dell'offerta reale valutata in termini di disponibilità effettiva di biomasse legnose sul mercato impiegate a fini energetici o destinate ad altro scopo (ivi compreso l'abbandono e la graduale degradazione) e della disponibilità potenziale.

Il campo di osservazione non si è limitato alle biomasse provenienti direttamente da formazioni forestali, ma si è allargato per includere i residui delle lavorazioni dell'industria del legno, i prodotti finali legnosi riciclabili derivanti da raccolta differenziata e, infine, le biomasse legnose derivanti da attività agricole (frutticoltura).

Il rapporto è organizzato in sette capitoli che si sviluppano a partire da considerazioni di carattere generale sul mercato sulle caratteristiche tecnico-economiche delle biomasse legnose, fino ad una stima dell'offerta interna nazionale e all'analisi delle politiche di valorizzazione della filiera legno-energia.

In particolare, il primo e il secondo capitolo illustrano in termini generali le caratteristiche economiche e tecnologiche delle biomasse legnose.

Nel terzo capitolo viene sinteticamente presentata la situazione strutturale del settore forestale italiano: superfici boscate e relativa composizione, localizzazione e struttura fondiaria.

Il quarto capitolo riporta una stima analitica dei consumi, dell'offerta e della disponibilità potenziale di biomasse legnose a fini energetici in Italia, giungendo alla conclusione che i dati ufficiali relativi ai consumi e alle produzioni di biomasse risultano fortemente sottostimati.

Nel quinto capitolo viene tratteggiato il quadro normativo degli impieghi di biomasse legnose a fini energetici, facendo riferimento alle politiche di settore e a quelle iniziative di programmazione ed incentivazione che influenzeranno il quadro delle convenienze per lo sviluppo della filiera legno-energia. Particolare attenzione è data all'analisi delle misure di sostegno alle attività forestali attivate dai Piani di Sviluppo Rurale di recente approvazione da parte delle Regioni in applicazione di Agenda 2000.

Dopo un breve inquadramento dello scenario di possibile sviluppo delle attività forestali a livello internazionale e delle relative ricadute su scala nazionale (capitolo sesto), vengono prese in esame, nel settimo capitolo, le tecnologie di valorizzazione energetica delle biomasse forestali.

Le conclusioni riportano alcune considerazioni sulle potenzialità e i rischi di insuccesso delle politiche di sviluppo della filiera legno-energia.



## Introduzione

Il ruolo attuale dell'energia derivante dalle biomasse e, in particolare, della dendro-energia (l'energia che deriva dalle biomasse ligno-cellulosiche) nel soddisfacimento della domanda complessiva di energia è un tema entrato nel dibattito politico ed economico internazionale, investendo questioni ambientali e sociali oltre che economiche. Le politiche energetiche tendono, in genere, a stimolare l'impiego di risorse rinnovabili, decentrate e con impatti ambientali non negativi e le biomasse legnose rispondono pienamente a questi requisiti; le politiche ambientali riconoscono la funzione di sostituzione di combustibili fossili che le biomasse possono assumere, con la conseguente riduzione delle emissioni in atmosfera di carbonio di origine fossile (Anonimo, 1996; Marland e Schlamadinger, 1997; Hall, 1998; Hall e Scarce, 1998; Tustin, 2000).

Vi sono altre ragioni che stanno stimolando un'attenzione crescente verso le biomasse: la prevalente localizzazione delle risorse forestali in aree interne svantaggiate fa sì che i problemi della valorizzazione delle biomasse legnose si colleghino a quelli delle politiche di sviluppo delle aree marginali, così come la ricerca di opportunità di utilizzo alternativo dei terreni attualmente destinati a produzione agricole eccedentarie porta a valorizzare le produzioni specializzate di biomasse legnose come strumento di diversificazione e stabilizzazione delle economie rurali. Per l'insieme dei problemi e delle potenzialità evidenziate (sintetizzate nella Figura 1), la quantificazione del ruolo e delle potenzialità delle produzioni di biomassa sono argomenti in grado di stimolare fortemente la curiosità dei ricercatori e l'attenzione dei *policy makers*.

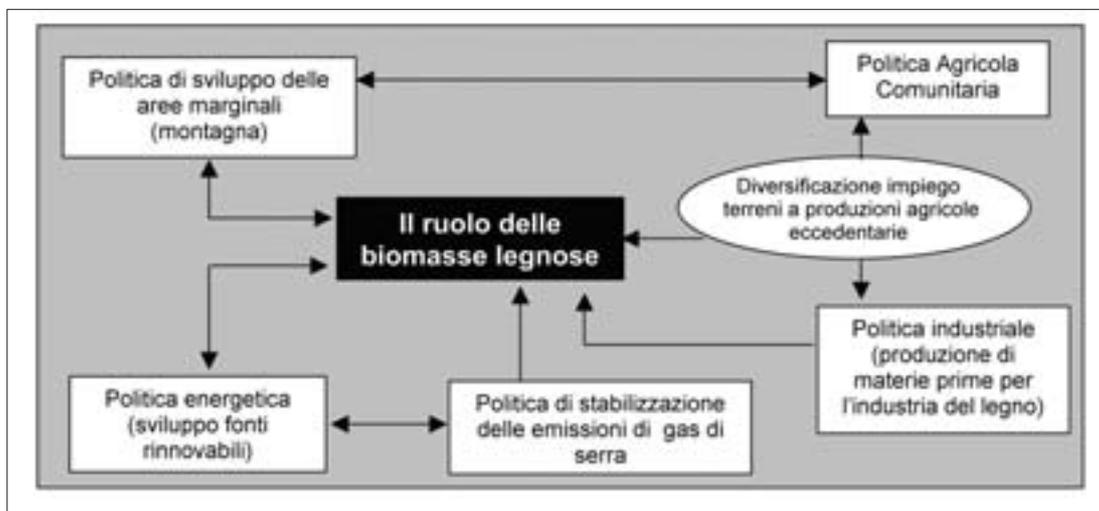


Figura 1: Le tematiche d'interesse connesse al ruolo attuale e potenziale delle biomasse legnose

Globalmente, la legna grezza costituisce una fonte primaria d'energia di grande rilevanza (7% del bilancio energetico complessivo per la *Food and Agriculture Organization*, 3% secondo l'*International Energy Agency*), specialmente nei paesi in via sviluppo, dove la legna contribuisce a soddisfare il 15% della domanda d'energia. Nei paesi più poveri le biomasse legnose non solo rappresentano la prima fonte energetica, ma costituiscono praticamente l'unica sorgente di energia per la popolazione rurale, con evidenti conseguenze di carattere sociale dal momento che la legna ha un ruolo essenziale per la copertura di bisogni di base, quali sono l'alimentazione (cottura dei cibi), l'illuminazione e il riscaldamento. Tuttavia, è proprio nei paesi occidentali, dove la legna contribuisce per il 2% alla richiesta

complessiva d'energia, che si registra di recente il maggiore interesse verso l'impiego della biomassa come fonte energetica ([www.fao.org/forestry/foris/webview/energy/](http://www.fao.org/forestry/foris/webview/energy/)).

Già a metà degli anni '70, in concomitanza con la prima crisi energetica, molti paesi sviluppati presero le prime iniziative per valorizzare la legna – e più in generale le biomasse – per produrre energia alternativa alle fonti fossili, avviando attività promozionali e finanziando investimenti in ricerca e sviluppo.

In Italia, pur riconoscendo il raggiungimento di qualche risultato lusinghiero e incoraggiante, a 25 anni di distanza dalla crisi energetica si può affermare che la bioenergia stenta ad affermarsi a scala industriale ed è rimasta ancora allo stadio di sviluppo, nonostante una considerevole serie di affermazioni programmatiche, qualche (limitato) investimento pubblico in attività di ricerca e un'adeguata politica tariffaria e fiscale per favorire l'uso del legno a fini energetici. A questo parziale insuccesso hanno contribuito la riduzione dei prezzi dei combustibili convenzionali verificatasi negli anni '80 e '90.

In effetti il mercato, dato un sistema di prezzi che solo parzialmente è in grado di internalizzare i costi e benefici sociali dell'impiego delle diverse fonti di energia, non è stato finora in grado di stimolare un utilizzo delle biomasse a fini energetici a scala industriale. Tuttavia, va registrato che - a livello di consumi domestici in aree rurali, soprattutto montane - l'impiego di legna come fonte di energia è andato in Italia gradualmente ma costantemente crescendo a partire dagli anni '70, anche per la spontanea diffusione di sistemi di conversione in energia termica più efficienti.

L'utilizzazione energetica della legna proveniente dai boschi è stata trascurata anche dalla politica forestale, che ha erroneamente ritenuto la legna da ardere un prodotto obsoleto, a domanda inelastica rispetto al reddito, destinato quindi ad essere emarginato dal mercato dalla diffusione di altre forme rinnovabili d'energia. Non ci si è così resi conto che la presenza e lo sviluppo di una domanda di legna da ardere poteva essere un potente stimolo alla realizzazione di interventi di miglioramento colturale di molti boschi degradati, riducendo, ad esempio, i costi di avviamento di cedui ad altofusti, oltre a poter sostenere un'economia forestale che, soprattutto in aree appenniniche e prealpine, era e rimane sostanzialmente collegata a forme di governo ceduo e, quindi, alla produzione di piccoli assortimenti.

Tuttavia, i recenti indirizzi di politica ambientale ed energetica scaturiti dagli accordi internazionali sullo sviluppo sostenibile (le Convenzione sui Cambiamenti Climatici, per la Biodiversità, per la Lotta contro la Desertificazione, i Principi Forestali e altri processi e accordi internazionali fino agli ultimi Accordi di Johannesburg), la necessità di ridurre la dipendenza energetica dall'estero (tra i Paesi più industrializzati, l'Italia è la nazione con il minor tasso di auto-approvvigionamento di energia), le politiche di diversificazione degli impieghi di terreni agricoli a produzioni eccedentarie e l'esigenza di valorizzare le fonti interne d'energia stanno aprendo prospettive interessanti per i sistemi d'energia rinnovabile e per le biomasse ligno-cellulosiche in particolare (Trossero, 2000).

Nei prossimi decenni, la crescente sensibilità delle collettività verso i temi ambientali, il temuto e verosimile incremento dei prezzi dei combustibili fossili, lo sviluppo della tecnologia di condizionamento e di conversione energetica del materiale ligno-cellulosico è possibile che portino ad una maggiore attenzione alla diffusione di questa forma di energia.

Alla luce di tali tendenze, l'indagine presentata nelle pagine che seguono intende definire l'attuale e il potenziale ruolo delle biomasse legnose di provenienza interna nel soddisfacimento della domanda nazionale di energia, prendendo in considerazione l'insieme delle tematiche tecniche, economiche e di politica energetica che possono contribuire allo sviluppo dell'impiego di queste fonti rinnovabili.

# 1. Aspetti economici del mercato delle biomasse legnose

Come si vedrà in dettaglio nel capitolo 2, per biomassa legnosa si intende la componente legnosa delle biomassa<sup>1</sup> ricca in lignina e cellulosa, impiegabile, sotto diverse forme, per la produzione di energia<sup>2</sup> (Anonimo, 1992).

La filiera degli impieghi energetici di biomasse legnose, contrariamente a quanto possa sembrare ad una prima valutazione è caratterizzata da notevoli elementi di complessità. Per un insieme diverso di ragioni, che si cercherà di evidenziare nel seguito, le caratteristiche economiche della domanda e dell'offerta, i canali di approvvigionamento, il sistema dei prezzi e, quindi, i margini di convenienza all'utilizzo delle biomasse sono, infatti, molto eterogenei. Innanzitutto si è in presenza di **impieghi finali diversi** delle biomasse legnose che, in alcuni casi, comportano forti condizioni di competizione (non sempre scevre da conflitti tra le organizzazioni in gioco, viste le politiche di incentivazione pubblica esistenti per alcune destinazioni finali). Come illustrato nella Figura 1.1, nel sistema foresta-legno si possono individuare diverse filiere; l'utilizzo a fini energetici di biomasse legnose si può, quindi, porre in competizione con:

- la produzione industriale di pannelli;
- la produzione di paste ad uso cartario;
- l'utilizzo in una serie molto articolata di nicchie di mercato (produzione di paleria, carbone vegetale attivato per filtri o impieghi farmaceutici, di tannino, di segatura per impieghi zootecnici, di prodotti compositi legno-plastica per la realizzazione di sedie da ufficio o cruscotti d'auto, ecc.).

Non di rado un impiego intensivo di biomasse può, inoltre, entrare in conflitto con politiche di tutela ambientale, ovvero di limitazione dei prelievi boschivi, ivi comprese le politiche di invecchiamento delle formazioni cedue per favorirne la conversione a fustaie.

Va, tuttavia, ricordato che – come meglio si vedrà in seguito – la produzione di biomasse a fini energetici ha nel sistema foresta-legno dei rapporti sinergici con le filiere di lavorazione di prodotti di maggior valore unitario (tronchi per segati, tranciati, compensati, ecc.) e, talvolta, anche con quello di materie prime legnose relativamente "povere" (si pensi, nelle produzioni cartarie, alla disponibilità di fanghi impiegabili a fini energetici). E' per questa ragione che paesi che tradizionalmente trasformano grandi quantità di tondame (Austria, Svezia, Finlandia, ecc.) sono anche paesi che hanno alti impieghi di biomasse ad uso energetico. Nella Figura 1.1 i flussi di sottoprodotti e scarti di lavorazione sono evidenziati con una linea tratteggiata. È importante rimarcare che tali flussi, nonostante tendano ad assumere una rilevanza in termini quantitativi sempre maggiore (vd. capitolo 6), spesso non sono oggetto di rilievi statistici accurati.

<sup>1</sup> Insieme di materie prime rinnovabili e prodotti energetici che traggono origine da materiale organico generato da un processo biologico. La biomassa per l'energia generalmente include residui agricoli e forestali, rifiuti solidi urbani, residui e rifiuti di processi biologici industriali e coltivazioni energetiche erbacee ed arboree dedicate. I prodotti energetici da biomassa includono combustibili liquidi o gassosi, biomassa grezza pretrattata, biogas, bio-olio grezzo o raffinato per la generazione di elettricità e/o calore.

<sup>2</sup> Nel 1988 la FAO e altre organizzazioni internazionali hanno promosso un programma, denominato *Unified Wood Energy Terminology, Definitions and Conversion Factors* (UWET) il cui obiettivo è consentire di avere dati su tutti i tipi di bio-energia, definizioni chiare dei termini e dei fattori di conversione che consentano di rendere comparabili le diverse fonti di bio-energia (Anonimo 1998).



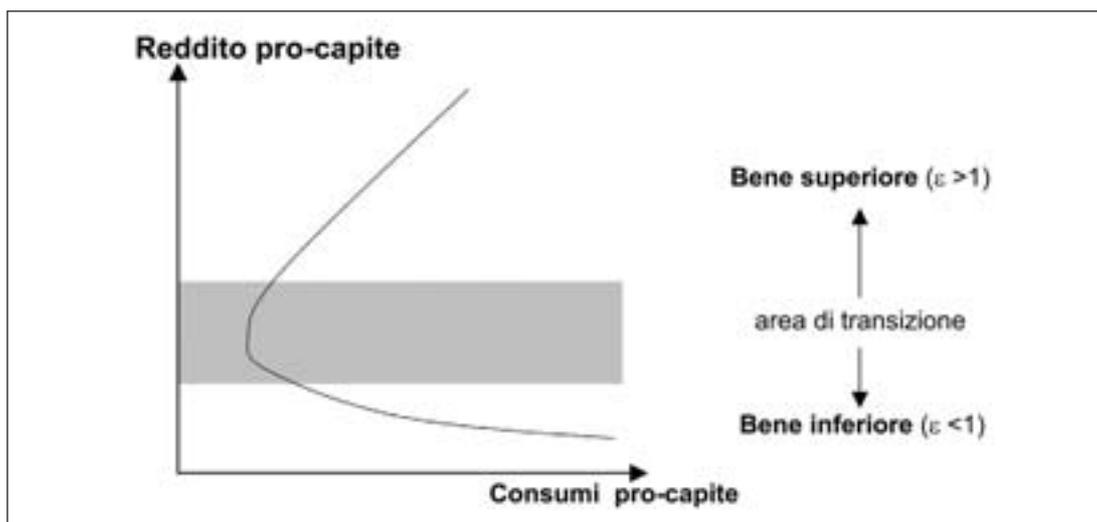


Figura 1.2: La domanda di legna da ardere rispetto al reddito

Sul lato dell'offerta, le biomasse legnose possono essere rese disponibili in diversi assortimenti, in differenti fasi del ciclo di vita del prodotto legnoso (vd. Figura 1.3), quindi con **costi di produzione estremamente disomogenei** (vd. Tabella 1.1).

In molti casi le biomasse legnose sono disponibili a costi nulli, come nell'assegnazione di piante in piedi ad Uso civico. Nelle situazioni non rare in cui le imprese di lavorazione del legno non siano in grado di sostenere gli ingenti costi per impianti di trasformazione energetica che rispettino la normativa sulle emissioni, lo smaltimento dei residui legnosi può comportare dei costi e, quindi, una disponibilità a pagare perché il materiale sia impiegato da terzi.

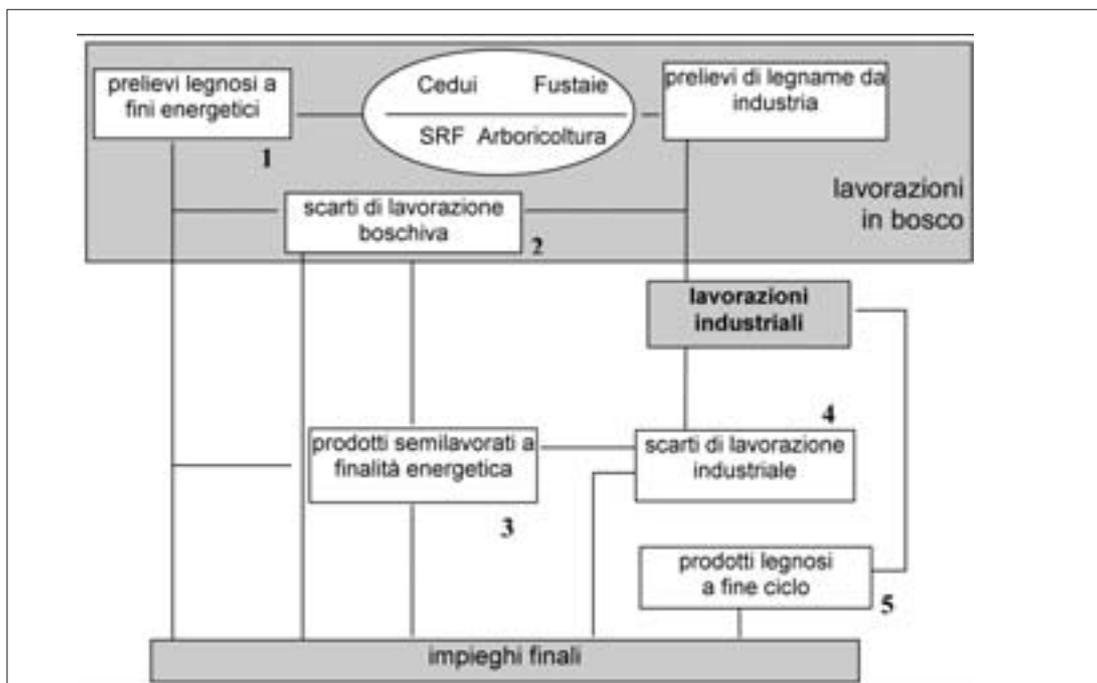


Figura 1.3: La filiera degli impieghi di biomasse legnose a fini energetici

Esempi:

1. legna da ardere; 2. ramaglia; 3. segatura e polveri di legno densificate, *pellets*, carbone;
4. refili, sciaveri, segatura, polvere di legno, fanghi di cartiera; 5. *pallets*, cassette da frutta

Tabella 1.1: Principali modalità di produzione di biomasse legnose e relativi costi della materia prima

	boschi cedui	cure culturali	filari	SRF	sottoprodotti industriali	raccolta differenziata
Produttività	2-3 t/ha/a	n.d.	8-11 t/100 ml (turno= 5 anni)	6-15 t/ha/a (sostanza secca)	(1,5-1,8 coef.convers.)	n.d.
Prezzi (Euro/ton)	40-60	n.d.	20-35	n.d.	15-20	2,5
Turni (anni)	12-25	ogni 5-15	4-...	3-5	n.d.	n.d.
Vincoli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diseconomie di scala nelle utilizzazioni (numero limitato di operai e imprese boschive)</li> <li>• impatti ambientali</li> <li>• accessibilità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diseconomie di scala nelle utilizzazioni (numero limitato di operai e imprese boschive)</li> <li>• accessibilità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• costi di sottrazione dei terreni agricoli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• costo opportunità terreni agricoli e risorse idriche</li> <li>• alti costi di impianto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• presenza colle e residui</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• selezione materiale</li> </ul>
Elementi di forza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grandi superfici disponibili</li> <li>• ridotti costi impliciti manodopera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grandi superfici</li> <li>• impatti ambientali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• impatti ambientali</li> <li>• ridotti costi impliciti manodopera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diversificazione uso</li> <li>• terreni agricoli</li> <li>• incentivi pubblici alla conversione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• materie prima secondarie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• riduzione costi smalti-mento</li> </ul>

Tabella 1.2: Prezzi medi della legna da ardere (specie "forti") in diverse condizioni di mercato

Assortimento	(Euro/ton)	Umidità %	Prezzo medio (Euro/ton; umid.12%)	Variazione (12,5=100)
In piedi	10-20	>30	12,5	100
Su strada forestale (tronchetti 1 m)	40-60	15-30	47,5	465
In paese (assortimento da stufa: 30-40 cm)	90-125	10-15	110,0	1.173
Grande distribuzione in aree urbane (assortimento da stufa: 30-40 cm, in confezioni da 10-15 kg)	350-500	10-15	450,0	4.800

Può essere utile ricordare una condizione analoga di disponibilità a pagare per la realizzazione di interventi con effetti sull'offerta di biomasse legnose: la realizzazione di interventi di gestione di piantagioni o formazioni naturali eccessivamente dense, con piante morte o deperenti, di interventi di prevenzione degli incendi o di ripristino di boschi danneggiati dagli incendi o da eventi naturali (schianti).

Frequente è il caso di impieghi di biomasse forestali per autoconsumo dove i costi sono fondamentalmente connessi all'utilizzo di manodopera aziendale non remunerata a costi di mercato, ma con un salario implicito. Dato il basso costo-opportunità dell'impiego di tale manodopera (ad esempio: un anziano agricoltore durante i mesi invernali, in un periodo di ridotta attività agricola), il costo complessivo del materiale legnoso alla bocca di un impianto termico può risultare molto contenuto.

Nel caso di produzioni forestali specializzate a turno breve (*short rotation forestry*: SRF), il costo del materiale prodotto può essere relativamente elevato. In queste situazioni, dal momento che gli investimenti sono realizzati soprattutto nell'ambito di progetti di riconversione di terreni agricoli a produzioni eccedentarie, assume grande importanza l'insieme dei contributi e delle compensazioni che possono essere rese disponibili dal settore pubblico.

A fronte di tecnologie consolidate ormai da decenni (i prelievi di legna da ardere nei cedui con esbosco tramite verricelli, canalette o animali), altre modalità di produzione sono, nel contesto italiano, ancora in fase pre-commerciale<sup>3</sup>. E' questo il caso delle SRF a taglio raso ogni 3-5 anni. Tale situazione è legata anche ad un impegno finanziario ancora limitato da parte degli operatori economici pubblici e privati nella ottimizzazione delle tecniche produttive e nella razionalizzazione della logistica.

La **convenienza all'utilizzo delle biomasse a fini energetici**, oltre evidentemente ad essere connessa ai costi di produzione della materia prima, dipende da almeno altri tre fattori:

- la logistica, ovvero i costi di trasporto e stoccaggio, che possono fortemente incidere sui costi del materiale alla bocca dell'impianto;
- i sistemi di produzione di energia, ovvero il tipo e le dimensioni degli impianti, le modalità di alimentazione degli stessi, l'assortimentazione del materiale (tronchetti formato stufa, *chips*, *pellets*, ecc.), il rendimento energetico;
- i costi di produzione di energia con combustibili convenzionali (in genere fossili) o con altre fonti energetiche rinnovabili, alternativa che si può porre nelle condizioni di applicazione di tecniche di *green pricing* o dei certificati verdi (vd. capitolo 5).

La Tabella 1.3, a titolo di esempio, sintetizza i costi di produzione di energia con diverse tipologie di impianti a piccola scala a biomasse e diversa predisposizione degli assortimenti, ponendo i risultati a confronto con quelli relativi all'impiego di combustibili convenzionali. La tabella fa riferimento alle condizioni di mercato austriache e, quindi, a costi di produzione - in tutti i casi considerati - relativi a modalità operative ordinarie, situazione che non sempre si riscontra in Italia. Ad esempio, il costo dei *pellets* è, nel nostro paese, in genere più alto che in Austria, vista l'area di mercato ancora abbastanza ridotta di questo assortimento. Analogamente, alcune tipologie di caldaie ad alto rendimento hanno in Italia costi di acquisto influenzati da una ridotta diffusione degli impianti termici a biomasse.

Per l'insieme dei fattori ricordati in queste pagine e per i veloci cambiamenti a cui si assiste nell'impiego di biomasse legnose in Italia, ma anche per ritardi da parte del settore pubblico nella creazione di osservatori di mercato e sistemi di monitoraggio dei prezzi, il mercato delle biomasse legnose è caratterizzato da una **scarsa trasparenza**. La natura stessa del prodotto (vd. diverso peso specifico, diversi gradi di umidità, diverso potere calorifico, diversa massa volumica degli assortimenti, ecc.) e la mancanza di chiari sistemi di classificazione delle biomasse, e perfino di assortimenti relativamente omogenei come il cippato, non favorisce il confronto delle quotazioni, non offre garanzie agli operatori economici, crea alti costi di transazione.

<sup>3</sup> Si stima che in Italia le SRF abbiano una estensione complessiva inferiore ai 5.000 ettari.

Tabella 1.3: Prezzi di produzione di energia con diversi impianti e assortimenti legnosi (Euro/kW; marzo 2001)

tipo di impianto	rendimento energetico	prezzo normale	ceppi formato stufa	prezzo ridotto*	legname densificato	chips	pellets
<b>Impianti ad alimentazione manuale</b>							
camino aperto (3-5 kW)	0,40	0,148-0,174	0,132-0,158	0,170-0,196	0,083-0,109	0,133-0,159	
cucina economica (3-8 kW)	0,60	0,115-0,141	0,104-0,130	0,130-0,156	0,072-0,098	0,105-0,131	
stufa-camino (3-8 kW)	0,60	0,133-0,167	0,122-0,156	0,148-0,181	0,090-0,124	0,123-0,157	
caldaia a ceppi	0,70	0,075-0,080	0,065-0,071	0,087-0,092	0,038-0,043	0,066-0,071	
stufe di maiolica (3-8 kW)	0,70	0,157-0,339	0,148-0,330	0,170-0,352	0,120-0,302	0,149-0,330	
<b>Caldaie alimentate a cippato</b>							
15 kW	0,75				0,082-0,100	0,108-0,126	
30 kW	0,75				0,061-0,098	0,088-0,12	
60 kW	0,75				0,047-0,063	0,073-0,089	
100 kW	0,75				0,043-0,048	0,069-0,075	
<b>Caldaie alimentate solo a pellets</b>							
15 kW	0,75					0,099-0,113	
30 kW	0,75					0,091-0,099	
60 kW	0,75					0,084-0,092	
100 kW	0,75					0,085-0,091	
<b>Caldaie ad alimentazione mista (pellets e ceppi)</b>							
15 kW	0,75	0,116-0,136	0,108-0,128	0,128-0,148		0,108-0,128	
30 kW	0,75	0,101-0,114	0,093-0,105	0,113-0,126		0,093-0,106	
60 kW	0,75	0,094-0,105	0,085-0,096	0,105-0,117		0,085-0,097	
100 kW	0,75	0,094-0,104	0,086-0,096	0,106-0,116		0,086-0,096	
<b>Caldaie ad olio combustibile</b>							
Caldaie a gas naturale	0,80			0,101-0,105			
	0,80			0,117-0,119			

\* Le condizioni di "prezzo ridotto" sono quelle legate alla presenza di forme di auto-approvigionamento o di diritto di accesso a prezzi agevolati al legname per i residenti in aree rurali.  
Fonte: Joanneum Research, Forschungsgesellschaft mbH, Steyrergasse 17, A-8010 Graz, Austria.

## 2. Caratteristiche tecnologiche delle biomasse legnose per scopi energetici

Prima di passare alla descrizione dei vari processi di conversione energetica è opportuno fare un breve richiamo ad alcune proprietà fisiche, chimiche ed energetiche della biomassa legnosa, importanti per interpretare i processi stessi.

### 2.1 Le caratteristiche chimiche

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

I principali polimeri delle biomasse forestali 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 un elevato grado di polimerizzazione. Presente nella parete cellulare primaria e, soprattutto, secondaria, conferisce resistenza al legno ed è particolarmente resistente agli agenti chimici (Browning, 1967; Timmell, 1986).

L'emicellulosa (costituente dal 10 al 30% del legno) è un polisaccaride a basso peso molecolare, presente nella parete cellulare delle piante, negli 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 acquosa alcalina (Browning, 1967).

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

La lignina si caratterizza per una bassa igroscopicità e per una suscettibilità agli agenti ossidanti (Robert, 1984; Sarkanen e Ludwig, 1971).

Oltre ai tre componenti principali, nel legno sono presenti numerosi altri composti organici, localizzati nel lume e nella parete cellulare: terpeni, resine, grassi, gomme, zuccheri non-strutturali, tannini, alcaloidi, cere, ecc.. Alcune di queste sostanze possono essere separate, attraverso l'impiego di mezzi chimici e fisici, e vanno sotto il nome di estrattivi (Hakkila, 1989).

Una frazione importante del legno è costituita dai composti inorganici (sali di calcio, magnesio, sodio, potassio, silicio, ecc.), che solitamente si ritrovano, in seguito alla combustione, nelle ceneri. La percentuale dei composti inorganici varia in funzione di diversi fattori (terreno, specie arborea, organo della pianta, ecc.). Si passa dallo 0,4% della base del tronco al 7% delle foglie e 10% della corteccia (Hakkila, 1989).

Riguardo alla sua composizione elementare (Tabella 2.1), il legno – anche se vi sono variazioni tra i diversi tipi – è composto quasi interamente da tre elementi: carbonio (49-51%), ossigeno (41-45%), idrogeno (5-7%). A differenza di altri combustibili (quali, ad esempio, il carbone), esso contiene relativamente basse quantità d'azoto, tracce di zolfo ed altri elementi minerali che vanno a costituire le ceneri (0,5-1,5%).

**Tabella 2.1: Composizione chimica elementare (%) di alcune specie forestali, allo stato secco, puro e senza ceneri**

Specie	C	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Leccio	48,9	5,2	43,1	2,1
Roverella	49,4	6,1	44,5	2,0
Faggio	48,3	6,0	45,1	0,6
Betulla	48,9	6,2	43,9	1,0
Carpino	48,1	6,1	44,9	0,9
Ontano	49,2	6,2	44,6	0,7
Frassino	49,4	6,1	44,5	-
Pioppo nero	49,7	6,3	44,0	-
Tiglio	49,4	6,9	43,7	0,6
Pino silvestre	49,9	6,3	42,0	0,7
Abete rosso	50,2	6,2	41,4	0,6

Fonti: Arola (1976), Robert (1984) e Matthews (1993)

Il rapporto percentuale tra i principali elementi (in particolare, i rapporti H/C e O/C) influiscono in maniera determinante sul valore del legno come combustibile: 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.

Un altro parametro di interesse per il valore combustibile del legno, direttamente correlato alla composizione chimica e alle modalità dei legami tra atomi e molecole del legno, è la volatilità, data dalla quantità di materiale volatile presente nel legno, espressa in percentuale sul peso secco. Rispetto agli altri combustibili, la volatilità del legno è molto elevata (dal 75% all'87%).

## 2.2 Le caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche del legno che svolgono una certa influenza sui processi di conversione energetica sono l'umidità e il peso specifico.

L'umidità assume una significativa importanza perché, oltre ad agire sui meccanismi di combustione, ha un'influenza sulle caratteristiche chimiche del legno e sul suo peso specifico.

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. In genere si hanno valori più bassi di umidità nelle latifoglie rispetto alle conifere, nelle parti basse rispetto alle parti alte della pianta, in estate rispetto all'inverno.

L'umidità esprime la quantità di acqua (libera e legata) presente nel legno, espressa come percentuale sia sul peso secco sia sul peso fresco del legno; nel primo caso si guarda al tenore in acqua in valore assoluto e in rapporto alla sua massa anidra:

$$H(\%) = (M_i - M_a) / M_a \times 100;$$

nel secondo caso, invece, si valuta il tenore in acqua in rapporto al peso tal quale:

$$h(\%) = (M_i - M_a) / M_i \times 100;$$

dove:  $M_i$  = massa del legno tal quale,

$M_a$  = massa del legno allo stato secco.

Quest'ultimo è, in genere, il metodo più frequentemente utilizzato.

La Tabella 2.2 presenta il contenuto medio di umidità (di legno e corteccia) di alcune specie di conifere e latifoglie, rilevato su piccoli assortimenti legnosi (4-8 cm).

**Tabella 2.2: Contenuto medio di umidità (di legno e corteccia) in alcune specie forestali**

Specie	Umidità, %
Pino silvestre	51,2
Abete rosso	40,5
Acerò rosso	46,8
Cerro	40,8

La densità rappresenta il più comune indicatore di qualità del combustibile legnoso. Infatti, il potere calorifico del legno è direttamente proporzionale ad essa. La densità è la massa per unità di volume e si misura in  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; la densità basale si esprime 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) e si distingue dalla densità di massa che indica il rapporto tra massa del legno con umidità e volume del legno con umidità. Il peso specifico si definisce, invece, come il rapporto tra la densità basale del legno e la densità dell'acqua a  $4^\circ\text{C}$ . Di conseguenza esso è indipendente dal sistema di misura.

La densità basale del legno varia da 0,3 a  $0,7 \text{ kg}/\text{m}^3$  in funzione delle condizioni stagionali, della specie, dell'età, della parte della pianta, della forma di governo boschivo e gestione e di altri fattori ancora (Akkila, 1979; Brown, 1997).

### 2.3 Le caratteristiche energetiche

Un indicatore efficace del valore combustibile di un vettore energetico è rappresentato dal potere calorifico, che si definisce come la quantità di calore prodotta dalla combustione completa di un'unità di peso di un materiale energetico. In genere si usa esprimere tale valore in  $\text{kcal}/\text{kg}$  oppure in  $\text{kJ}/\text{kg}$ .

Nel caso dei combustibili liquidi e solidi, il contenuto energetico può essere espresso in relazione al volume ( $\text{kcal}/\text{l}$  oppure  $\text{kcal}/\text{m}^3$ ): dalla conoscenza del peso specifico o della massa volumica apparente ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) si può risalire al potere calorifico.

La determinazione del potere calorifico avviene a volume costante, all'interno di una bomba calorimetrica (Potere Calorifico Superiore, PCS); nella pratica, avvenendo la combustione a pressione costante, il vapor d'acqua proveniente dalla combustione dell'idrogeno e dell'acqua contenuta nel combustibile non è condensato e, di conseguenza, il calore di condensazione non è recuperato. Il numero delle calorie risultante dalla combustione del legno è inferiore rispetto alla determinazione precedente di circa  $300 \text{ kcal}/\text{kg}$  (Potere Calorifico Inferiore, PCI).

Il poter calorifico delle biomasse forestali varia notevolmente in funzione delle caratteristiche fisiche e della composizione chimica del materiale. A parità di peso, il legno di conifere ha un potere calorifico maggiore rispetto a quello delle latifoglie: ciò è dovuto alla presenza di resine e a più elevate quantità di lignina. Infatti, mentre per le conifere si può raggiungere un PCI di  $5000 \text{ kcal}/\text{kg}$  (legno di pino), per le latifoglie il PCI non supera  $4500 \text{ kcal}/\text{kg}$ .

Nella Tabella 2.3 sono presentati valori approssimativi del potere calorifico delle due grandi

Tabella 2.3: Fonti energetiche e Potere Calorifico Inferiore (PCI)

Fonte energetica	PCI, $\text{kcal}/\text{kg}$
Latifoglie (20% d'umidità)	3400
Latifoglie (secco in stufa)	4540
Conifere (20% d'umidità)	3560
Conifere (secco in stufa)	4780
Paglia di frumento (10% d'umidità)	3700
Carbone (10% d'umidità)	6500
Petrolio	10500
Diesel	10150
Butano	10900
Propano	11900
Metano	12000
Gas naturale	8150
Elettricità	860 $\text{kcal}/\text{kwh}$

categorie legnose (conifere e latifoglie) con 2 diversi valori di umidità e, per confronto, quelli di altre fonti energetiche.

Ovviamente, una comparazione tra il valore di riscaldamento del legno e quello di altri combustibili non può basarsi solo sul potere calorifico, ma deve tener conto anche dell'efficienza di bruciatura, la quale è una misura della quantità di energia prodotta rispetto a quella consumata. Infatti, i processi di trasformazione da una forma di energia ad altre forme sono accompagnati da perdita di energia, la cui entità varia con il tipo di risorsa energetica, il tipo di conversione e le condizioni operative. Con i moderni sistemi a carbone e legno l'efficienza di produzione di calore varia dal 60 all'80% del potere calorifico, in relazione ad una serie di fattori, tra cui la misura e l'efficienza della caldaia. Per quelli a gas e petrolio è appena più alta, mentre per quelli a elettricità è superiore al 90%.

A questo proposito può essere utile fare il seguente esempio: l'unità di misura della elettricità è il kilowattora (kwh), la quale corrisponde a 860 kcal di energia calorica. Considerando un impianto di gasificazione accoppiato a un gruppo elettrogeno con un'efficienza di produzione di energia elettrica del 30% (vedi capitolo seguente), saranno necessari circa 2870 kcal per produrre 1 kwh di elettricità.

Altri parametri di caratterizzazione del valore combustibile di un legno sono la domanda di aria specifica di combustione, il volume del gas dei prodotti di combustione e l'infiammabilità.

### 3. Le risorse forestali nazionali e l'andamento storico dei prelievi

Il 22,7% del territorio italiano, pari a 6,8 milioni di ha, è coperto da boschi (Bortoluzzi *et al.*, 2000). Questa superficie, a partire dalla fine degli anni '40, è in graduale e continua crescita (vd. Figura 3.1 e la prima colonna della Tabella 3.5).

Tale dinamica è dovuta non solo ad interventi di rimboschimento, ma anche, in misura probabilmente crescente, alla ricolonizzazione naturale di terreni agricoli abbandonati. Le difficoltà nel monitorare quest'ultimo fenomeno possono spiegare l'apparente contrasto tra i dati delle fonti ufficiali dell'ISTAT e altre fonti, in particolare quella dell'Inventario Forestale Nazionale realizzato a metà degli anni '80, e la più recente indagine CORINE.

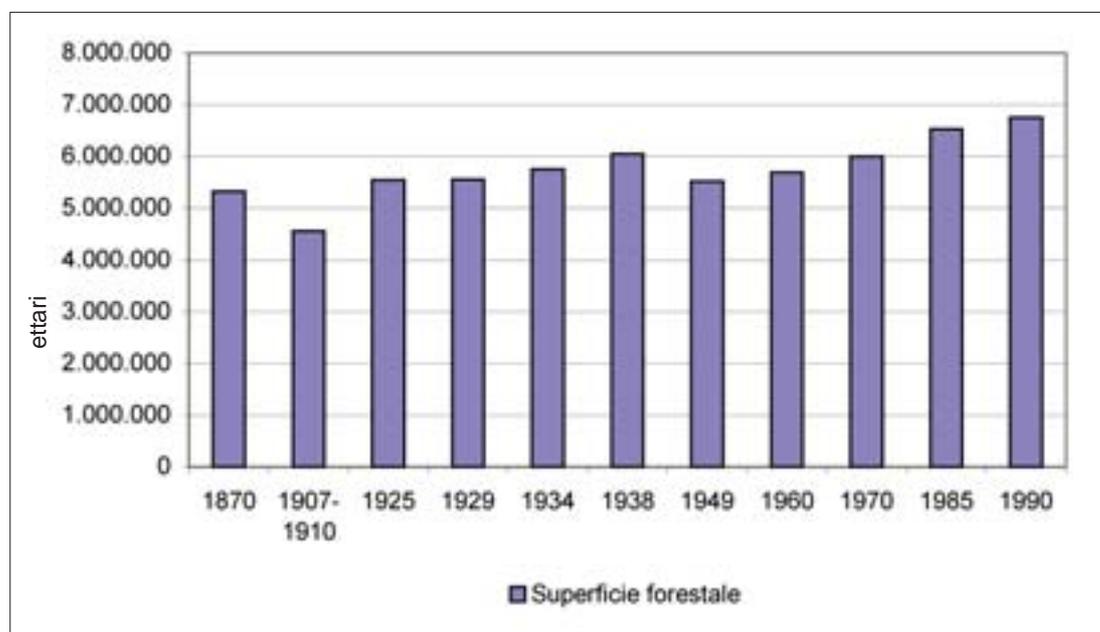


Figura 3.1: Evoluzione della superficie forestale italiana (1870-1990; dati in ettari).  
Fonte: dati ISTAT e altre fonti storiche

L'Inventario Forestale Nazionale Italiano (IFNI) a metà degli anni '80 aveva registrato una superficie di 6,5 milioni di ettari (Figura 3.2), alla quale si associavano 2,1 milioni di ettari di formazioni forestali minori.

Nei rilievi effettuati nell'ambito del progetto comunitario CORINE *Land-Cover*, la superficie forestale risulta pari a 7,2 milioni di ettari, alla quale può essere sommata un'area di formazioni minori pari a 2,5 milioni di ettari, per un totale di 9,7 milioni di ettari (Tabella 3.1). In particolare, l'area classificata "a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione, cioè formazioni che possono derivare dalla degradazione della foresta o da ricolonizzazione di aree non forestali" è di 1,6 milioni di ettari. Tali dati, rilevati nella prima metà degli anni '90 a scala 1:100.000, confermano quelli della mappatura dell'uso del suolo effettuata su scala 1:25.000 dall'ISTAT nel 1990-91.

In sintesi, da un'analisi incrociata delle fonti disponibili, è possibile ricordare che la superficie forestale ad alta densità di copertura, costituita da vegetazione prevalentemente arborea, è di 6,8-7,2 milioni di ettari. A tale superficie può essere sommata un'area difficilmente valutabile in quanto derivante da processi di ricolonizzazione naturale di aree non forestali o

dal degrado di aree forestali (incendi) o dalla presenza di vegetazione arborea a minor densità. Nell'ipotesi realistica che tale superficie di transizione sia intorno ai 2,5 milioni di ettari, poco meno di un terzo della superficie territoriale italiana può essere classificata come forestale.

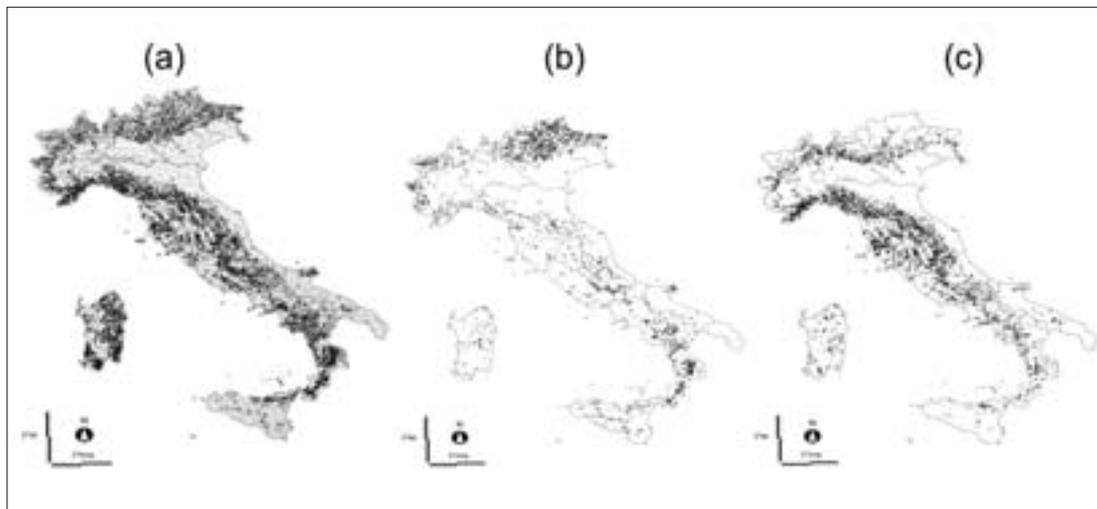


Figura 3.2: Distribuzione della superficie forestale italiana, restituita secondo i punti di sondaggio IFNI: (a) punti classificati a bosco; (b) punti classificati a fustaia; (c) punti classificati a ceduo.  
Fonte: elaborazioni su dati IFNI di Ciancio e Corona, 2000

Questi valori, comunque, non includono le formazioni lineari (filari, frangivento, siepi arboree, ecc.), tradizionale elemento costitutivo del paesaggio agrario italiano, anche di pianura. L'intensificazione dell'attività agricola, la meccanizzazione delle operazioni colturali e criteri di sistemazione idraulica non di tipo naturalistico hanno determinato fino agli anni '80 una forte contrazione di tali formazioni, soprattutto nelle aree di pianura. Negli ultimi anni, grazie ad una politica attiva di alcune amministrazioni regionali e locali (in Lombardia e Veneto, in particolare) e all'utilizzo dei fondi comunitari (Reg. 2078/1992), sono state effettuate diverse piantagioni lineari. Non esiste, tuttavia, una valutazione quantitativa esatta dell'estensione di tali piantagioni.

In contrasto con la dinamica espansiva delle superfici a bosco, la superficie forestale attivamente gestita è in progressiva diminuzione. Secondo il Censimento Generale dell'Agricoltura, nel 1990 la superficie forestale per la quale si è individuato un conduttore (pubblico o privato), anche *de facto*, risultava di 5,5 milioni di ettari. Dati più recenti, riferiti a un universo che esclude le realtà aziendali di estensione molto limitata, segnalano un ulteriore calo di tali superfici (Tabella 3.2).

Tabella 3.1: Superfici boscate in Italia (dati in migliaia di ettari, 1995)

	boschi latifoglie		boschi conifere		boschi misti		Totale		brughiere e cespuglieti		vegetaz sclerofilla		vegetaz in evoluz		Totale		superficie territoriale		coefficiente boscosità	
	A	B	C	D=A+B+C	E	F	G	H=E+F+G	I=D+H	L	M=D/L, %	N=G/L, %	O=I/L, %							
Piemonte	462	84	92	637	59	0	200	259	896	2.540	25,1	7,9	35,3							
Val d'Aosta	8	63	7	77	31	0	31	62	139	326	23,6	9,5	42,7							
Lombardia	316	159	131	606	10	0	47	56	662	2.386	25,4	2,0	27,7							
PA Bolzano	13	261	20	295	31	0	28	59	353	740	39,8	3,8	47,7							
PA Trento	42	171	99	312	26	0	53	79	391	621	50,3	8,6	63,0							
Veneto	164	132	44	341	25	0	74	99	439	1.836	18,5	4,0	23,9							
Friuli VG	142	32	151	325	5	0	52	56	381	784	41,4	6,6	48,5							
Liguria	274	36	23	334	15	7	13	35	369	542	61,6	2,4	68,0							
E. Romagna	346	9	36	390	12	0	84	96	486	2.212	17,6	3,8	22,0							
Toscana	778	48	124	950	42	46	81	168	1.119	2.299	41,3	3,5	48,6							
Umbri	298	5	7	310	6	0	28	34	344	846	36,7	3,3	40,7							
Marche	186	5	7	198	5	0	73	78	276	969	20,4	7,6	28,5							
Lazio	400	8	20	427	7	20	63	89	517	1.723	24,8	3,6	30,0							
Abruzzo	321	20	7	348	44	0	20	64	412	1.079	32,2	1,8	38,2							
Molise	110	2	1	113	21	1	34	55	168	444	25,5	7,6	37,9							
Campania	144	3	4	151	4	25	175	203	355	1.360	11,1	12,9	26,1							
Puglia	93	27	4	125	1	11	40	51	176	1.936	6,4	2,0	9,1							
Basilicata	230	6	0	236	0	0	114	114	350	999	23,6	11,4	35,1							
Calabria	270	151	93	514	0	4	68	72	586	1.508	34,1	4,5	38,9							
Sicilia	96	21	18	135	0	93	130	223	357	2.571	5,2	5,0	13,9							
Sardegna	215	67	86	368	0	353	229	583	951	2.409	15,3	9,5	39,5							
Italia	4.908	1.309	974	7.190	342	559	1.634	2.536	9.726	30.130	23,9	5,4	32,3							

Fonte: CORINE Land-Cover.

In colonna "F" sono riportate le aree a vegetazione sclerofilla (macchia e garigal); in colonna "G" sono invece riportate le aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione, cioè formazioni che possono derivare dalla degradazione della foresta o da ricolonizzazione di aree non forestali.

**Tabella 3.2: Superfici forestali nelle aziende agricole per le quali si è individuato un conduttore (dati in migliaia di ettari) e numero di aziende (dati in migliaia)**

	Superfici			Aziende		
	1990	1995	1997	1990	1995	1997
Pioppeti	79	67	73	33	22	n.d.
Formazioni naturali e seminaturali	4.603	3.891	3.630	643	560	537
<b>Totale</b>	<b>4.682</b>	<b>3.958</b>	<b>3.703</b>	<b>676</b>	<b>582</b>	<b>537</b>

*Nota: il campo di osservazione "universo CEE" è riferito ad aziende di una certa dimensione economica e fisica, e copre il 99,7% della superficie agricola e forestale.*

*Fonte: ISTAT (CGA)*

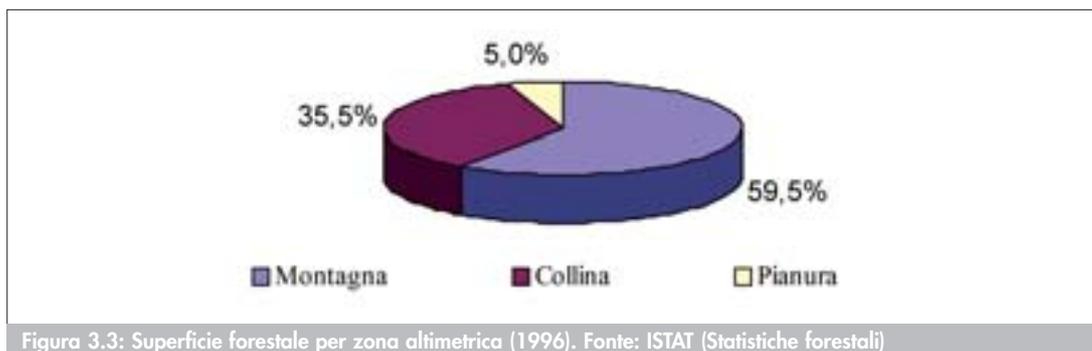
La struttura della proprietà fondiaria forestale è poco dinamica e la dimensione media delle aziende (pubbliche e private) con boschi è, nonostante il processo di abbandono e di estensivazione gestionale, molto ridotta. Nel 1982 la superficie forestale media per azienda censita era di 6,69 ettari, nel 1990 di 6,87 ettari. I dati medi di superficie sono tuttavia fortemente influenzati dalla diffusione delle piccole aziende: quelle con ampiezza inferiore ai cinque ettari sono il 59,7% del totale, anche se arrivano a coprire solo il 6,4% della superficie boscata. La superficie media delle aziende appartenenti alla categoria di aziende con superficie inferiore a cinque ettari è pari a 0,76 ettari. Si può supporre che molte di esse siano gestite in modo del tutto saltuario.

Le difficili condizioni orografiche costituiscono una delle principali ragioni del processo di abbandono gestionale. Attualmente il 59,5% della superficie boscata si trova in zone montane e solo il 5% in aree di pianura (vd. Tabella 3.3 e Figura 3.3). Una componente significativa, pari a circa un terzo dei boschi di pianura, è costituita da pioppeti specializzati e altri impianti da arboricoltura da legno. Mentre, quindi, nella gran parte delle aree montane e collinari la presenza di formazioni forestali è particolarmente significativa (tanto da incominciare a porre, in alcune regioni, il problema della difesa delle residue superfici agricole dalla diffusione spontanea del bosco), in pianura l'estensione di formazioni forestali non specializzate può essere ritenuta ancora molto ridotta.

**Tabella 3.3: Superficie forestale per zona altimetrica e tipo di bosco (1996, dati in migliaia di ettari)**

	Montagna	Collina	Pianura	Totale	Ripartiz.% di D	
	A	B	C	D=A+B+C	E=(A+B)/D, %	F, %
Fustaie	2.068	693	192	2.953	93,5	43,2
Cedui semplici	1.586	1.164	85	2.884	95,3	42,2
Cedui composti	386	364	33	784	95,8	11,5
Macchia mediterranea	27	205	34	266	87,1	3,9
<b>Totale</b>	<b>4.067</b>	<b>2.426</b>	<b>344</b>	<b>6.837</b>	<b>95,0</b>	<b>100,0</b>

*Fonte: ISTAT (Statistiche forestali)*



**Figura 3.3: Superficie forestale per zona altimetrica (1996). Fonte: ISTAT (Statistiche forestali)**

**LE RISORSE FORESTALI NAZIONALI  
E L'ANDAMENTO STORICO DEI PRELIEVI**

Il 60,0% dei boschi appartiene a privati e la proprietà privata ha un rilievo particolare per i cedui (Tabella 3.4). La proprietà pubblica è in misura molto elevata rappresentata dai demani comunali (27,4% della superficie forestale; 68,5% del totale della proprietà pubblica). Rispetto al 1990 la superficie forestale pubblica è aumentata dell'1,3%, rispetto all'1,1% della superficie privata. Tale incremento è dovuto in larga misura alla crescita della proprietà regionale e statale (che è aumentata del 5,0%).

Tabella 3.4: Superficie forestale per categoria di proprietà e tipo di bosco (1996, dati in migliaia di ettari)

	Stato e Regioni	Comuni	Altri Enti	Privati	Totale	Privati/totale
	A	B	C	D	E=A+B+C+D	F=D/E, %
Fustaie	286	1.104	162	1.401	2.953	47,5
Cedui semplici	157	573	158	1.946	2.884	67,5
Cedui composti	37	160	28	559	784	71,3
Macchia	30	37	4	195	266	73,4
Totale	509	1.874	352	4.102	6.837	60,0
%	7,4	27,4	5,2	60,0	100,0	-

Fonte: ISTAT (Statistiche forestali)

Nonostante il processo d'invecchiamento e la realizzazione di tagli di conversione, il 52,9% dei boschi italiani, pari a 3,6 milioni di ettari, è classificato come ceduo. Si tratta, in genere, di formazioni caratterizzate da minore complessità, diffuse sia per motivi economici (i forti legami con la piccola proprietà contadina in aree montane) che per le peculiari caratteristiche stazionali (elevate pendenze, ridotta potenza dei suoli, ecc.). Umbria, Emilia Romagna, Toscana e Lazio sono regioni a forte prevalenza di ceduo (oltre il 75%), mentre gli altofusti, in gran parte pubblici, si concentrano in Trentino, Friuli, Valle d'Aosta.

Tabella 3.5: Superficie forestale e prelievi di legname in Italia (1913- 2000; valori in migliaia di ettari o metri cubi)

	Superfici forestale (1.000 ha)	Legna uso energ. (1.000 mc)	Legname da opera (1.000 mc)	Prelievi totali (1.000 mc)	% energia/tot	mc/ha
1913	4564	10700	2100	12800	83,6	2,8
1925	5545	12600	2900	15500	81,3	2,8
1930	5562	13200	3300	16500	80,0	3,0
1935	5880	8500	3200	11700	72,6	2,0
1949	5617	10635	3964	14599	72,8	2,6
1950	5620	9593	3814	13407	71,6	2,4
1951	5630	8961	3832	12793	70,0	2,3
1952	5648	9679	4348	14027	69,0	2,5
1953	5710	8916	3941	12857	69,3	2,3
1954	5746	7994	3647	11641	68,7	2,0
1955	5761	7841	3786	11627	67,4	2,0
1956	5749	6658	3598	10256	64,9	1,8
1957	5781	6992	3444	10436	67,0	1,8
1958	5793	6919	3297	10216	67,7	1,8
1959	5812	6470	3195	9666	66,9	1,7
1960	5826	5918	3065	8983	65,9	1,5
1961	5847	6058	3255	9313	65,0	1,6
1962	5878	5336	3250	8586	62,1	1,5
1963	6029	5280	2980	8261	63,9	1,4
1964	6089	5781	3110	8891	65,0	1,5
1965	6089	4575	2833	7408	61,8	1,2
1966	6099	4669	2960	7629	61,2	1,3
1967	6107	4115	3268	7383	55,7	1,2

segue

**LE BIOMASSE LEGNOSE - UN'INDAGINE SULLE POTENZIALITÀ  
DEL SETTORE FORESTALE ITALIANO NELL'OFFERTA DI FONTI DI ENERGIA**

segue

	Superfici forestale (1.000 ha)	Legna uso energ. (1.000 mc)	Legname da opera (1.000 mc)	Prelievi totali (1.000 mc)	% energia/tot	mc/ha
1968	6146	3966	3904	7870	50,4	1,3
1969	6152	3619	4107	7725	46,8	1,3
1970	6162	3362	3580	6942	48,4	1,1
1971	6169	3280	4083	7363	44,5	1,2
1972	6210	3019	3448	6467	46,7	1,0
1973	6223	2651	3348	5999	44,2	1,0
1974	6292	2765	3234	5999	46,1	1,0
1975	6306	3017	2811	5828	51,8	0,9
1976	6313	2515	2664	5179	48,6	0,8
1977	6326	2783	3230	6012	46,3	1,0
1978	6346	2656	3292	5949	44,7	0,9
1979	6355	2964	3557	6521	45,5	1,0
1980	6363	3456	3906	7362	46,9	1,2
1981	6385	3861	3738	7600	50,8	1,2
1982	6393	3597	3757	7354	48,9	1,2
1983	6403	3721	3352	7073	52,6	1,1
1984	6414	4275	3569	7844	54,5	1,2
1985	6727	4393	3796	8190	53,6	1,2
1986	6735	4457	3916	8373	53,2	1,2
1987	6747	4440	3502	7942	55,9	1,2
1988	6750	4357	3677	8034	54,2	1,2
1989	6755	4111	3815	7926	51,9	1,2
199	6760	3637	3682	7319	49,7	1,1
1991	6762	4239	3369	7608	55,7	1,1
1992	6771	4832	3525	8357	57,8	1,2
1993	6776	4698	4120	8818	53,3	1,3
1994	6809	5481	3984	9465	57,9	1,4
1995	6821	5263	4473	9736	54,1	1,4
1996	6837	4958	4163	9121	54,4	1,3
1997	6842	5222	3924	9146	57,1	1,3
1998	6847	5183	4367	9550	54,3	1,4
1999	6852	6925	4213	11138	62,2	1,6
2000*	6857	6052	3682	9735	62,2	1,4

*Note: il dato della superficie forestale al 1913 è ripreso dall'Annuario Statistico Italiano del 1911; i valori al 1925 sono tratti da Carloni (1926) cit. da Patrone (1970), mentre i valori al 1930 e al 1935 sono interpolati sulla base dei dati disponibili al 1948-49. Dal 1948 al 1976 i dati si riferiscono al 31 marzo di ogni anno, dal 1977 al 31 dicembre. I valori dei prelievi totali al 1949 e al 1950 sono stati stimati convertendo i dati, espressi in quintali, del legname ad uso combustibile; sino al 1976 i dati si riferiscono all'anno statistico, dal 1976 a quello solare. Tutti gli altri dati sono di fonte ISTAT (Annuari di statistica forestale, Statistiche forestali e Sommario di statistiche storiche italiane 1861-1955), salvo i dati più recenti; in particolare i dati in corsivo sono di fonte ECE/FAO Timber Committee.*

*(\*) stime sui dati ISTAT (per i prelievi si è effettuata una proiezione sui dati del Bollettino mensile di Statistica relativi ai primi 9 mesi).*

L'importanza storica dei cedui risulta evidente alla luce dei dati sull'andamento dei prelievi riportato nella Tabella 3.5: nei primi anni del secondo dopoguerra la legna da ardere rappresentava più del 70% dei prelievi (9-10 M mc su un totale 12-14 M mc utilizzati). Tale percentuale è andata gradualmente diminuendo fino alla prima metà degli anni '70, raggiungendo un minimo relativo nel 1973 (44,2% dei prelievi totali); nel 1976 si è avuto il minimo storico dei prelievi di legna ad uso energetico, corrispondente a 2,5 M mc. Negli anni successivi le utilizzazioni di legna da ardere aumentano gradualmente finì ad arrivare ad un massimo di quasi 7 M mc nel 1999, riportando i prelievi di biomassa a fini energetici ai livelli della fine degli anni '50.

Come viene evidenziato nella Figura 3.4, l'andamento dei prelievi di legname in Italia è stato influenzato molto più dalla dinamica del mercato della legna ad uso energetico che da quello del legname da opera, situazione singolare se si pensa all'eccezionale sviluppo dell'industria italiana del legno negli ultimi 50 anni.

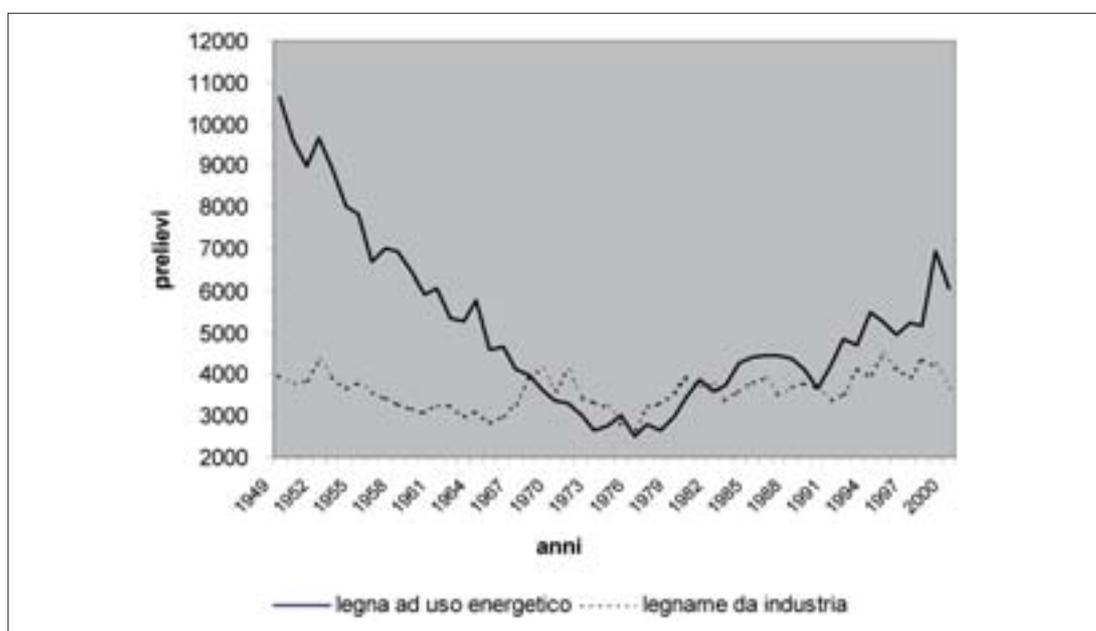


Figura 3.4: Andamento dei prelievi di legna ad uso energetico e di legname da industria (1949-2000; dati dei prelievi in migliaia di mc.). (Fonte: vd. Tabella 3.5)

Mentre il ruolo particolarmente significativo delle produzioni a fini energetici fino ai primi anni '50 era spesso connesso a un prelievo eccessivo rispetto alla capacità produttiva degli ecosistemi, dopo l'evidente rallentamento delle utilizzazioni negli anni '60, '70 e '80, la ripresa dei tagli avviene in un quadro complessivo di sostenibilità: l'utilizzazione di 1-1,5 mc/ha/anno (totale dei prelievi riferito alla superficie forestale ISTAT - vd. ultima colonna della Tabella 3.5) consente comunque un significativa crescita delle provvigioni medie unitarie. Se i prelievi venissero riferiti non alla superficie ISTAT, ma a quella rilevata in sede di indagine CORINE (vd. Tabella 3.1), tale azione di risparmio risulterebbe ancora più evidente.

In prospettiva, come evidenziato nella Figura 3.5, i prelievi di biomassa a fini energetici sembrano destinati a rappresentare ancora il mercato di riferimento sia in termini relativi che assoluti<sup>4</sup>. Se tale considerazione può apparire positiva in una ristretta prospettiva di politica energetica, facendo riferimento al valore aggiunto della selvicoltura italiana e ai problemi di approvvigionamento industriale le condizioni produttive del settore devono destare alcuni elementi di preoccupazione.

<sup>4</sup> Si tenga tra l'altro presente che i dati sui prelievi di legname da opera comportano la disponibilità di sottoprodotti industriali e scarti di lavorazione destinati a fini energetici: in questa prospettiva il bilancio legna da opera/legna da industria è ancora più pesante di quello descritto.

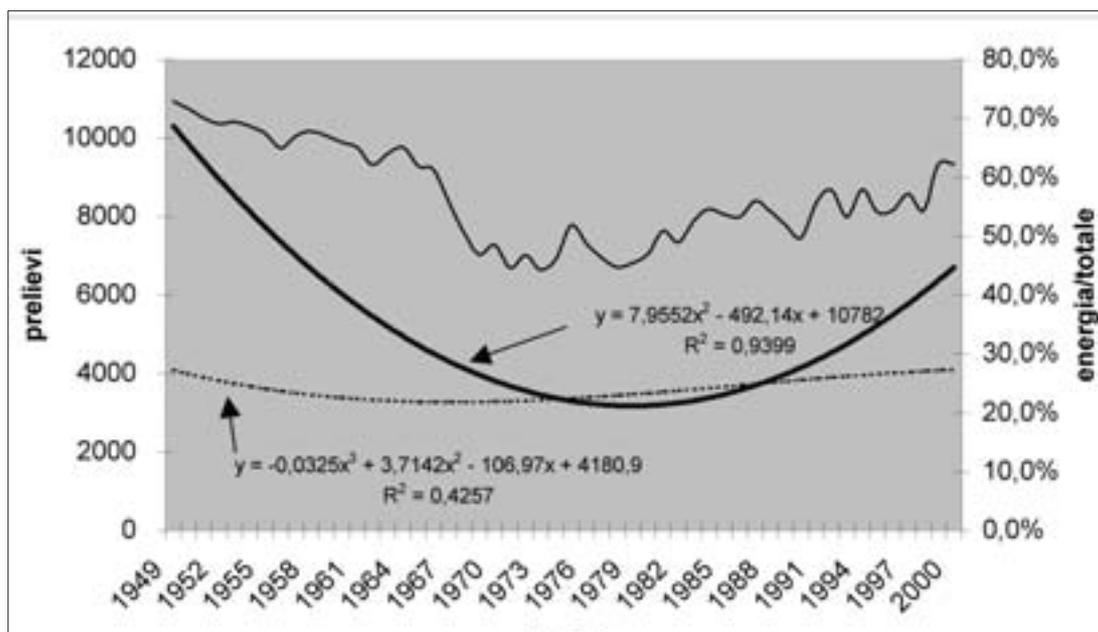


Figura 3.5: Andamento dei prelievi di legna ad uso combustibile, di legname da industria e del rapporto tra prelievi a fini energetici e prelievi totali) (1949-2000; dati dei prelievi in migliaia di mc). (Fonte: vd. Tabella 3.5)  
Note: le due curve sono state interpolate sui dati della Tabella 3.5 mediante una polinomiale di secondo (legna ad uso energetico) e di terzo (legna da industria) ordine.

## 4. L'offerta interna attuale di biomasse legnose a scopo energetico

Alla produzione di biomassa legnosa sono interessati il comparto agricolo, forestale e industriale, con sovrapposizioni e compenetrazioni tra i diversi settori, secondo lo schema riportato in Figura 4.1. La ripartizione tra settori produttivi presentata in Figura è alla base dell'impostazione metodologica data alla presente indagine.



In particolare, nel settore forestale, la produzione di biomassa ad uso energetico ha sempre avuto una notevole rilevanza, anche per la presenza di diverse fonti (vd. Figura 1.3). La tipologia tradizionale di biomassa ad uso energetico è rappresentata dalla legna da ardere, ricavata principalmente dall'utilizzazione dei boschi cedui.

La stima dell'offerta di biomassa a livello nazionale è condizionata da due elementi:

- la qualità e la disponibilità dei dati: i dati ufficiali (statistiche ISTAT) colgono solo parzialmente i fenomeni di utilizzo ai fini energetici dei prodotti legnosi, sottostimando decisamente alcune fonti, quali l'utilizzazione delle siepi e dei filari;
- il divario tra disponibilità e l'effettivo utilizzo energetico di alcune fonti di biomassa: alcune fonti non vengono, infatti, pienamente utilizzate sia per motivi strutturali (è il caso di molti boschi cedui non soggetti ad utilizzazione a causa di difficoltà di accesso, problemi legati alla proprietà e alla frammentazione), sia per la mancanza di un mercato per il prodotto, che non viene quindi raccolto e impiegato come biomassa, ma, in diversa misura, lasciato nell'ambiente (è il caso spesso dei residui delle potature).

Alla luce di queste considerazioni, nell'analisi dell'offerta interna è possibile distinguere i seguenti livelli di approfondimento, esaminabili separatamente anche se strettamente correlati:

1. **prelievi ufficiali:** è la biomassa forestale usata a fini energetici ufficialmente registrata e riportata nelle statistiche;

2. **consumi reali:** rappresentano il prelievo di biomasse legnose (agricole e forestali), sommato agli utilizzi di scarti di produzione e dei prodotti legnosi a fine ciclo impiegati a fini energetici. In linea teorica, una stima del consumo apparente dovrebbe tenere in considerazione anche il commercio internazionale di prodotti legnosi a fini energetici secondo la formula:

$$CA = P + R + I - E$$

dove: CA = consumo apparente di biomasse legnose a fini energetici,

P = prelievi di legna da ardere,

R = impiego energetico degli scarti di lavorazione e dei prodotti finiti,

I = importazione di biomasse legnose a fini energetici,

E = esportazione di biomasse legnose a fini energetici.

In effetti, nella stima dei consumi di biomasse legnose in Italia, l'inclusione dei dati del commercio internazionale, e in particolare di quelli di importazione (i flussi di esportazione sono poco rilevanti - vd. Tabella 6.1), rischia di inserire un ulteriore elemento di distorsione, dal momento che è noto che la gran parte del legno classificato all'importazione come legna da ardere viene effettivamente impiegata dall'industria dei pannelli e, in misura minore, della carta e secondariamente a fini energetici (nel capitolo 6 vengono comunque segnalati alcuni dati sull'interscambio con l'estero). Per questa ragione nella presente indagine si assume che:

$$CA \approx P + R$$

3. **biomassa disponibile non utilizzata a fini energetici:** comprende tutta la biomassa realmente prelevata, ma che per diversi motivi, legati soprattutto ai costi e all'organizzazione del mercato, non viene utilizzata ai fini energetici. Qualora le condizioni si modificassero, questa componente potrebbe essere recuperata molto rapidamente, essendo già disponibile (vedi residui di patate);
4. **prelievi potenziali:** è la biomassa che potrebbe essere immessa nel mercato qualora venissero utilizzate fonti al momento non sfruttate, evidentemente in una logica di gestione sostenibile delle risorse ovvero effettuando prelievi delle biomasse che non comportino un degrado nello stock di risorse. E' il caso dei cedui abbandonati, delle cure colturali e dei residui delle utilizzazioni nelle fustaie attualmente non utilizzate. Le condizioni per le quali tali risorse potrebbero effettivamente divenire accessibili sono molto diverse, e non sono legate esclusivamente al mercato delle biomasse ad uso energetico, ma anche a quello del legname da opera e, più in generale, a scelte di politica ambientale e forestale di ampia portata.

Quest'ultimo livello d'analisi dovrebbe considerare tre componenti:

- l'incremento netto annuale (NAI - *Net Annual Increment*), ovvero la variazione annuale nello stock di risorse;
- la disponibilità annuale di risorse a seguito di una stima che tenga conto di eventuali programmi di miglioramento dello stock (nella terminologia forestale: la "ripresa": l'AAC - *Annual Allowable Cut*);
- la disponibilità di risorse in una logica di condizioni di stabilità raggiungibili nel medio-lungo periodo (il PHL - *Potential Harvesting Level*).

Sfortunatamente la scarsa qualità dei dati e la carenza di strumenti di programmazione nel settore forestale impediscono l'approfondimento dell'analisi a questi tre livelli.

#### 4.1 I prelievi secondo le stime ufficiali

L'ammontare dei prelievi di legna a scopi energetici è ufficialmente registrato nelle statistiche dell'ISTAT. La pubblicazione di statistiche forestali annuali da parte dell'ISTAT prese avvio nel 1933, d'intesa con Ministero al tempo competente per il settore forestale. I dati si riferivano essenzialmente alla superficie boscata, così definita in base alle registrazioni effettuate nel-

**L'OFFERTA INTERNA ATTUALE DI BIOMASSE LEGNOSE  
A SCOPO ENERGETICO**

l'ambito del catasto forestale, dove realizzato, o del catasto agrario. Successivamente, nel 1947 venne promossa, sotto la supervisione della FAO (*Food and Agriculture Organization*), una iniziativa di rilevazione della superficie forestale e della provvigione per tipo di bosco. Oltre alle variazioni di superfici, l'ISTAT registra le utilizzazioni e i prezzi di macchiatico del legname da lavoro e da ardere all'imposto.

Attualmente l'ISTAT fornisce dati trimestrali e annuali relativi ai prelievi di legna per combustibile e legname da opera, distinti in utilizzazioni forestali e "fuori foresta"<sup>5</sup>. La categoria denominata *legna per combustibile* (legna da ardere, fasciname e legna che poi verrà sottoposta a carbonizzazione) viene poi suddivisa in relazione alle tipologie di boschi utilizzati, per cui sono disponibili dati su (vd. Tabella 4.1):

- legna per combustibile derivata dall'utilizzazione dei boschi cedui (semplici e composti);
- legna per combustibile ricavata dall'utilizzazione delle fustaie;
- legna per combustibile proveniente dal "fuori foresta".

*La produzione di legna per combustibile*

Secondo l'ISTAT nel 1997 (ultimo anno per il quale si dispone di dati di dettaglio) sono stati prelevati 5,1 M mc di legna a fini energetici (Tabella 4.1), ivi compresa quella destinata alla produzione di carbone, su una utilizzazione complessiva di legname di 8,9 mc<sup>6</sup>. La maggior parte della biomassa (78,1%) proviene dall'utilizzazione dei cedui, mentre solo l'8,6% è ricavata dalle formazioni "fuori foresta".

Tabella 4.1: Utilizzazioni a scopo energetico per forma di governo (valori in metri cubi)

Regioni	Fustaie	Cedui semplici	Cedui composti	Totale	Fuori foresta	Totale
Piemonte	15.557	144.106	18.953	178.616	38.920	217.536
Val. d'Aosta	15.195	553	855	16.603	717	17.320
Lombardia	52.314	206.477	176.706	435.497	124.903	560.400
Bolzano	107.170	4.823	4.511	116.504	4.266	120.770
Trento	138.609	52.386	0	190.995	1.405	192.400
Veneto	9.475	42.718	14.509	66.702	3.354	70.056
Friuli V. G.	46.274	55.879	13.695	115.848	8.766	124.614
Liguria	4.472	36.694	0	41.166	2.174	43.340
Emilia Romagna	1.713	256.506	5.090	263.309	14.514	277.823
Toscana	14.072	950.805	206.225	1.171.102	15.395	1.186.497
Umbria	75.153	179.717	55.808	310.678	9.565	320.243
Marche	1.297	214.088	14.695	230.080	20.581	250.661
Lazio	996	517.709	78.587	597.292	42.476	639.768
Abruzzo	42.564	52.804	8.464	103.832	21.055	124.887
Molise	12.073	70.414	35.693	118.180	27.032	145.212
Campania	6.521	239.319	2.049	247.889	18.680	266.569
Puglia	8.669	51.009	7.805	67.483	1.201	68.684
Basilicata	38.604	55.599	0	94.203	39.673	133.876
Calabria	39.064	138.028	4.550	181.642	11.798	193.440
Sicilia	7.408	27.516	1.722	36.646	6.055	42.701
Sardegna	43.670	48.068	21.854	113.592	29.447	143.039
Italia	680.870	3.345.218	671.771	4.697.859	441.977	5.139.836
%	13,25	65,08	13,07	91,40	8,60	100,00

Fonte: ISTAT - Annuario 1997

<sup>5</sup> Le utilizzazioni "fuori foresta" sono definite come quelle provenienti da piante legnose forestali presenti su superfici inferiori a 0,5 ettari, e/o su superfici con piante con area di insidenza inferiore al 50% della superficie stessa, e/o in filari con larghezza inferiore a 10 m o che occupano superfici inferiori a 0,5 ettari.

<sup>6</sup> I dati differiscono in parte da quelli riportati nella Tabella 3.5 in quanto questi ultimi sono di fonte FAO-ECE e tengono in diverso conto le produzioni "fuori foresta".

### L'andamento dei prelievi

I prelievi di legna per combustibile sono significativamente aumentati negli ultimi anni, un trend che evidenzia un mercato in espansione a fronte del mercato (complementare) della legna da opera che nell'ultimo decennio è rimasto, in termini di quantità utilizzate, stazionario. L'andamento dei consumi, fondamentalmente riconducibile - per le ragioni esposte in precedenza - a quello dei prelievi, è facilmente interpretabile: fino agli anni '40-'50 la legna da ardere rappresentava la principale fonte di energia per il riscaldamento. Dopo l'esodo degli anni '60 e la diffusione degli impianti di riscaldamento, prima a nafta, poi a gasolio e a gas, i consumi di legna sono crollati. Una leggera ripresa si è verificata negli anni '70 a seguito della crisi energetica del '73 e soprattutto del '79, con un ritorno di interesse verso questa fonte rinnovabile e l'inizio dell'impiego di sistemi di riscaldamento più efficienti (termocamini ad aria ed acqua).

Nell'ultimo decennio si è decisamente assistito ad un'inversione di tendenza (vd. Figure 3.4 e 3.5), legata presumibilmente ad una generale tendenza alla ricerca di fonti alternative al petrolio, all'aumento dei consumi da parte di alcuni specifici settori (ad esempio la ristorazione) e alla disponibilità di tecnologie in grado di aumentare le rese nel riscaldamento domestico e di consentire l'uso delle biomasse in impianti di medio-grandi dimensioni altamente automatizzati.

Tabella 4.2: Utilizzazioni forestali a scopo energetico per tipo di bosco (valori in metri cubi)

Regioni	Resinose	Latifoglie	Totale
Piemonte	863	177.753	178.616
Valle d'Aosta	14.473	2.130	16.603
Lombardia	9.380	426.117	435.497
Bolzano	104.399	12.105	116.504
Trento	106.259	84.736	190.995
Veneto	7.275	59.427	66.702
Friuli Venezia Giulia	2.350	113.498	115.848
Liguria	2.481	38.685	41.166
Emilia Romagna	390	262.919	263.309
Toscana	4.644	1.166.458	1.171.102
Umbria	21	310.657	310.678
Marche	409	229.671	230.080
Lazio	21.630	575.662	597.292
Abruzzo	619	103.213	103.832
Molise	-	118.180	118.180
Campania	100	247.789	247.889
Puglia	3.306	64.177	67.483
Basilicata	289	93.914	94.203
Calabria	11.196	170.446	181.642
Sicilia	1.810	34.836	36.646
Sardegna	9.268	104.324	113.592
Italia	301.162	4.396.697	4.697.859
%	6,41	93,59	100,00

Fonte: ISTAT - Annuario 1997

## 4.2 Stima dei consumi reali

Nella presente indagine, il consumo reale è dato dalla biomassa legnosa ad uso energetico che viene prodotta e quindi effettivamente consumata, sommata agli scarti di lavorazione industriale e all'impiego a fini energetici di prodotti legnosi a fine ciclo.

I dati ISTAT consentono di evidenziare le variazioni nella produzione di legna ad uso combustibile ma, come sottolineato da numerose ricerche indipendenti svolte nel corso degli anni, sottostimano notevolmente l'effettivo consumo, anche della sola parte di legna provenien-

**L'OFFERTA INTERNA ATTUALE DI BIOMASSE LEGNOSE  
A SCOPO ENERGETICO**

te direttamente da boschi o dal "fuori foresta" (Tommasetti, 2000). I dati ISTAT, infatti, sono in grado di cogliere solo una parte delle effettive utilizzazioni, con sottostime notevoli soprattutto per la componente "fuori foresta".

Un tentativo di stima del prelievo reale si può basare sulla quantificazione del consumo di biomasse legnose da parte delle famiglie. Trattandosi di un prodotto ancora a scarso impiego in impianti di media e grande scala, si può ipotizzare che tale tipologia di consumo rappresenti ancora quella prevalente in termini quantitativi.

I consumi a fini energetici di biomassa legnosa nel settore domestico

In occasione della Conferenza Nazionale per l'Energia e l'Ambiente del 1998, l'ENEA (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) ha commissionato al CIRM un'indagine per stimare il consumo di biomassa nel settore domestico (Gerardi *et al.*, 1998).

**Tabella 4.3: Consumi di biomasse nelle famiglie**

Regione	t/anno
Piemonte	1.873.212
Valle d'Aosta	99.066
Lombardia	2.966.934
Trentino Alto Adige	669.230
Veneto	1.826.565
Friuli Venezia Giulia	586.413
Liguria	618.627
Emilia Romagna	1.297.388
Toscana	1.295.090
Umbria	450.334
Marche	666.459
Lazio	1.670.366
Abruzzo	637.312
Molise	187.836
Campania	1.832.467
Puglia	1.082.205
Basilicata	369.820
Calabria	1.144.118
Sicilia	1.213.886
Sardegna	1.072.294
Italia	21.559.623

Fonte: Gerardi *et al.*, 1998.

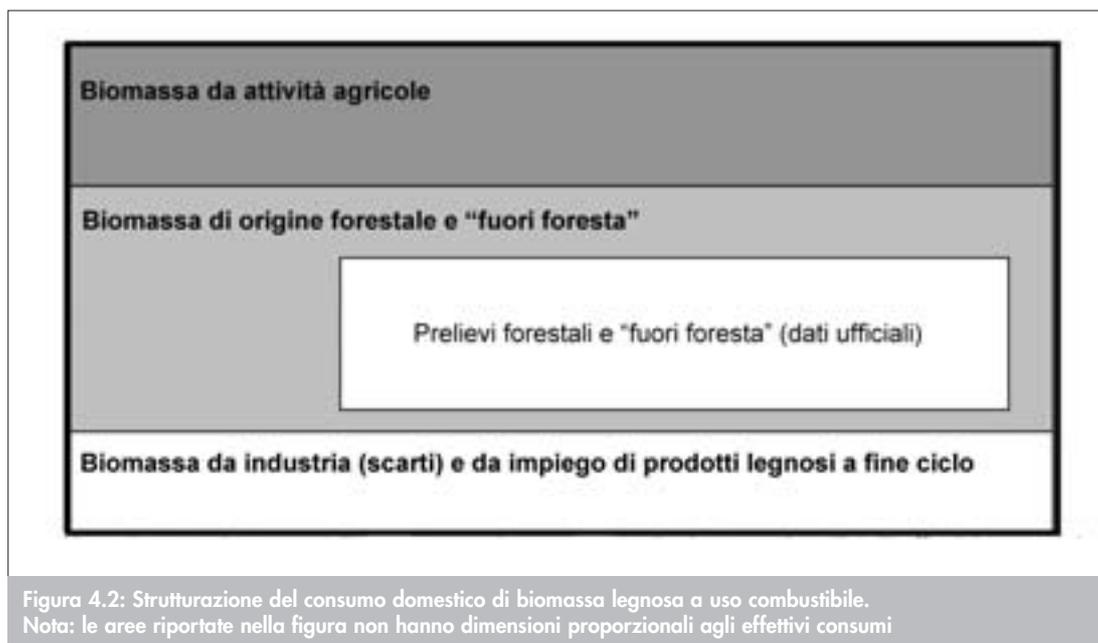
L'indagine è stata condotta mediante intervista telefonica a 1.727 famiglie utilizzatrici di biomassa legnosa (in prevalenza legna da ardere). Il campione è stato stratificato per tenere conto della distribuzione delle famiglie nelle varie regioni, della distribuzione per ampiezza del nucleo abitato, della distribuzione nelle varie altimetrie. I consumi di biomasse estrapolati a livello nazionale portano a stimare il consumo di biomasse pari a 21,5 milioni di tonnellate che, considerando una umidità media del 20% e una densità basale media di 600 kg/mc, equivalgono a 28,75 milioni di mc. Si tratta di un valore molto superiore a quanto stimato dall'ISTAT.

L'indagine CIRM-ENEA ha raccolto ulteriori informazioni sulle caratteristiche del consumo, evidenziando come, nella grande maggioranza dei casi (65% dei nuclei familiari intervistati), il consumo di legna sia complementare a quello di altri combustibili. La maggior parte della legna proviene da forme di auto-provvigionamento (il 49,3% nel caso di consumatori nelle case di abitazione ordinaria e il 63,9% nel caso di consumatori in seconde case).

L'indagine, avendo come obiettivo la stima dei consumi a livello familiare, non ha interessato altre componenti del mercato delle biomasse ad uso energetico, quali le industrie del le-

gno e della carta che reimpiegano a fini energetici gli scarti di produzione e le centrali per produzione di energia termica e/o elettrica.

Alla luce dei dati sopra esposti è evidente che esiste una discrepanza tra i consumi reali e i dati delle statistiche ufficiali sui prelievi (una parziale conferma di tale affermazione si ricava dai dati sui consumi pro-capite italiani confrontati a quelli in alcuni paesi confinanti riportati nel capitolo 6). Vi sono, infatti, alcuni aspetti della produzione di biomassa che sembrano sfuggire quasi del tutto alle statistiche.



Come evidenziato nella Figura 4.2, la biomassa effettivamente consumata dalle famiglie proviene:

- dalle utilizzazioni forestali e "fuori foresta", probabilmente quelle di maggiore rilevanza in termini quantitativi;
- dal settore agricolo (potature, piante a fine ciclo produttivo, gusci, ecc.);
- dagli scarti delle lavorazioni dell'industria del legno e dall'impiego energetico di prodotti legnosi a fine ciclo (cassettame, pallets, travame, mobili vecchi, ecc.).

I dati ufficiali, oltre - come già ricordato - a sottostimare le utilizzazioni forestali e "fuori foresta", non forniscono alcun dato sulla biomassa ricavabile dal settore agricolo e dagli scarti della lavorazione industriale del legname.

I motivi della sottostima dei dati ufficiali vanno ricercati nella difficoltà che si incontrano nella registrazione dei seguenti fenomeni:

- la raccolta informale (spesso autorizzata o quanto meno tollerata) degli scarti delle lavorazioni boschive (cimali, ramaglia, ecc.) da parte della popolazione locale, soprattutto in aree montane;
- la destinazione a fini energetici di assortimenti classificati a fini statistici come da opera (per esempio: una piccola partita di tronchi di faggio, tecnicamente impiegabile per la produzione di segati e come tale registrata nelle statistiche, che viene per esigenze di mercato destinata allo spacco e al successivo impiego a fini energetici);
- la raccolta (non registrata) di piante morte, di parti secche, di potature e di alberi schiantati, così come la biomassa (non registrata) ricavata dal taglio di siepi, filari e piante sparse - prevalentemente in aree di pianura - in particolare nelle forme di autoconsumo aziendale;
- la biomassa utilizzata oltre il limite del prelievo dichiarato e autorizzato dalle autorità competenti nei tagli per autoconsumo, ivi compreso in alcuni casi il godimento

- del diritto di legnatico in superfici pubbliche (Usi civici);
- la biomassa derivante da tagli non autorizzati e quindi non censita dall'autorità forestale.

Inoltre il metodo stesso di raccolta delle informazioni, basato su questionari compilati dagli organi periferici del Corpo Forestale dello Stato o dagli analoghi organismi periferici di Regioni o Province Autonome può essere fonte di inesattezze ed errori, demandando completamente ai compilatori il controllo della qualità dei dati, senza nessuna verifica da parte degli organismi a scala superiore, se non quella di una coerenza con i dati storici<sup>7</sup>.

#### *I consumi a fini energetici di biomassa legnosa da parte delle imprese*

Come accennato, legna da ardere o – meno frequentemente – prodotti *ad hoc* predisposti per l'impiego energetico (*pellets*, tronchetti di legname densificato, carbone di legna, ecc.) vengono impiegati da alcune imprese soprattutto nell'ambito della ristorazione e della panificazione (pizzerie, forni a legna, ristoranti con grill, ecc.).

Non esistono, a conoscenza degli autori, indagini o stime di riferimento in questo campo, salvo una ricerca su scala locale realizzata nella provincia di Brescia volta a valutare i consumi di legna da ardere nelle pizzerie e forni a legna (Cogoli, 1993). Dall'indagine è emerso un consumo medio per singola utenza di 19,6 t/anno<sup>8</sup> (range: 5,0-4,5; deviazione standard: 10,8) che, rapportato al numero di pizzerie a legna presenti in Italia<sup>9</sup>, porterebbe ad un consumo complessivo annuale nel settore di 301.840 t, pari a circa 344.000 mc (ipotizzando una umidità del 20% e una densità basale di 700 kg/mc).

Un'area di consumo di ben maggiori dimensioni è costituita dalle imprese di lavorazione del legno, ivi comprese le industrie delle paste e della carta, che producono scarti di lavorazione (più correttamente: materie prime secondarie) da impiegare internamente a fini energetici o da collocare (vendere) a imprese terze. In questo caso si tratta evidentemente non di materiale direttamente proveniente da bosco, talvolta – come si vedrà nel seguito –, caratterizzato da alcuni problemi d'impatto ambientale connessi ai possibili impieghi energetici.

#### *Biomassa legnosa di origine industriale e da raccolta di prodotti a fine ciclo*

Le biomasse legnose di origine industriale possono essere classificate, sulla base della presenza di materiale estraneo al legno quali colle vernici e preservanti, in:

- **Scarti di legno vergine** provenienti da imprese che lavorano tronchi o tavole o elementi in legno massiccio (segherie, carpenterie e falegnamerie, produzioni di imballaggi e di pannelli in legno compensato, attività di tornitura);
- **Scarti di legno trattato** proveniente da imprese che producono o lavorano pannelli a base legno producendo refili o scarti di legno con presenza di colle e vernici (compreso polverino di levigatura o sagomatura);
- **Scarti di legno impregnato** provenienti dalla lavorazione di manufatti particolari, quali - ad esempio - pali telefonici costituiti da residui legnosi impregnati con preservanti.

Ai fini energetici, salvo nel caso di impianti dotati di speciale tecnologia anti-inquinamento, possono essere utilizzati solo i residui privi di sostanze che nella combustione sviluppano gas nocivi.

<sup>7</sup> Frequente, tra gli operatori del settore, è il riferimento alle statistiche forestali sui prelievi di legna ad uso combustibile fatte "con la carta carbone" ovvero facendo riferimento ai dati riportati agli anni precedenti con un adeguamento per stima sintetica del dato da presentare all'ISTAT.

<sup>8</sup> Tale dato deriva dalla media tra due tipologie nettamente distinte: quelle delle utenze che mantengono il forno a temperatura più o meno costante per tutta la giornata (per esempio nel caso di attività di ristorazione anche per i pranzi) e quelle che fanno uso del forno solo per la preparazione delle cene. Va inoltre ricordato che alcune strutture della ristorazione utilizzano il forno a legna solo nei giorni festivi.

<sup>9</sup> Il dato è stato stimato riprendendo i dati dalla Guida alle pizzerie italiane (<http://www.pizza.it/>), assumendo che, su 22.000 pizzerie, il 70% abbia un forno a legna.

Per quanto riguarda la produzione di energia da scarti legnosi nel settore industriale, sono state recentemente realizzate alcune indagini nel Triveneto, un'area dove il comparto industriale del legno ha raggiunto un livello di alto sviluppo e di ampia diffusione territoriale. In particolare sono stati presi in considerazione i risultati di tre indagini realizzate dall'Associazione Industriali della Provincia di Treviso (1994), dal Dipartimento di Energetica e Macchine dell'Università di Udine (1997) e da Federlegno-Arredo Triveneto – ENEA (1998) miranti a quantificare la produzione e l'utilizzo a fini energetici degli scarti prodotti dalle industrie del legno. Sulla base di questi studi realizzati con metodo campionario è stata stimata una produzione di scarti per addetto variabile tra 13,2 e 20,6 t/anno. Di questi una percentuale variabile tra il 17 e il 65% viene destinata alla produzione di energia mentre la parte rimanente viene conferita in discarica.

Lo studio dell'ENEA condotto su 130 aziende del settore legno-arredo della Provincia di Treviso ha stimato che le aziende produttrici di mobili utilizzano mediamente a fini energetici il 25% degli scarti prodotti contro un valore del 10% delle aziende dedicate alla lavorazione del legno. La percentuale di riutilizzo s'innalza al 39% se l'analisi viene operata sulle sole aziende del campione con più di 50 addetti. La stessa indagine ha evidenziato che circa il 30% degli scarti viene venduta.

Estendendo questi risultati all'intero territorio nazionale si può stimare la produzione di scarti legnosi del settore dell'industria del legno variabile tra i 2.246.996 e 3.506.676 t/anno (Tabella 4.4).

Tabella 4.4: Produzione di scarti legnosi nel settore dell'industria del legno

Ripartizione territoriale	Imprese (n)	Addetti imprese (n)	Scarti legnosi (t/anno) per addetto da 13,2 a 20,6 (t/anno)	
Italia nord-occidentale	11.887	46.462	613.298	957.117
Italia nord-orientale	11.903	57.040	752.928	1.175.024
Italia centrale	9.560	30.037	396.488	618.762
Italia meridionale	10.141	24.896	328.627	512.858
Italia insulare	5.285	11.792	155.654	242.915
Totale	48.776	170.227	2.246.996	3.506.676

Fonte: ISTAT - Censimento dell'Industria (indagine inter-censuaria) 1996

La stima della componente effettivamente utilizzata per la produzione di energia varia con un range molto ampio tra 382.000 t/a e 2.279.000 t/a che, ad una umidità del 12% e con una densità basale media di 600 kg/mc, equivalgono a 0,46-3,50 M mc. Normalmente gli scarti vengono reimpiegati all'interno dell'azienda per il riscaldamento dei locali e nel processo produttivo. Gli scarti legnosi hanno anche un mercato, e le aziende compiono la scelta tra le diverse destinazioni sulla base di variabili quali le necessità energetiche degli impianti, le capacità di investimento in tecnologie per il riutilizzo, le condizioni di mercato degli scarti e gli obblighi di legge. Questo spiega almeno in parte l'alta variabilità del dato relativo all'impiego energetico. L'ultima componente da registrare per la stima dei consumi reali dovrebbe essere quella relativa ai prodotti a fine ciclo, derivanti dalla raccolta differenziata dei rifiuti. I quantitativi in questione sono significativi e crescenti, grazie anche alla creazione – in base al "Decreto Ronchi" (D.L. 22/97) – del Consorzio Rilegno e al progressivo miglioramento della capacità di raccolta differenziata da parte di molte società municipalizzate. Va, tuttavia, segnalato che l'impiego maggiore di tali prodotti avviene nella produzione di pannelli di particelle (il così detto "pannello ecologico") e solo una minima parte, peraltro non registrata a livello nazionale, viene destinata a fini energetici. In effetti il Consorzio del "pannello ecologico" (<http://www.pannelloecologico.com/home1.htm>), utilizzando in maniera in po' semplicistica tecniche di *green marketing*<sup>10</sup>, è riuscito a creare un importante sbocco commerciale per i prodotti legnosi a fine ciclo.

<sup>10</sup> L'opportunità di utilizzare il pannello ecologico viene motivata alla luce della necessità di salvare le foreste dalla distruzione, assumendo scorrettamente che ogni taglio di alberi sia un crimine ambientale.

Una crescita della capacità di raccolta differenziata, processo chiaramente prevedibile anche in Italia (vd. capitolo 6), non comporterà quindi necessariamente una maggiore disponibilità di legno a fini energetici.

### 4.3 Stima della biomassa disponibile non utilizzata a fini energetici

Come già accennato, la biomassa ad uso energetico rappresenta spesso un prodotto secondario di produzioni principali di tipo agricolo, forestale e industriale. In questi casi la biomassa è effettivamente disponibile, in quanto viene prodotta contemporaneamente al prodotto principale, ma spesso non viene effettivamente impiegata a fini energetici in quanto non sussistono le condizioni economiche e organizzative per la sua raccolta, stoccaggio e trasformazione.

In particolare si fa riferimento ai seguenti prodotti:

- gli scarti delle utilizzazioni forestali;
- gli scarti legnosi di origine agricola (residui potature, ceppaie, ecc.);
- gli scarti industriali della lavorazione del legno, per la componente attualmente non impiegata a fini energetici;
- residui delle operazioni di manutenzione del verde urbano.

In questo paragrafo si fornisce una stima di massima degli scarti delle utilizzazioni forestali e di origine agricola, tra i quali vengono inclusi quelli della pioppicoltura. Per quanto riguarda gli scarti industriali della lavorazione del legno si rimanda al capitolo 4.2 in cui sono presentate alcune indagini relative alle percentuali di residui legnosi reimpiegati a fini energetici.

Un problema particolare si presenta nella valutazione dei residui delle operazioni di manutenzione del verde urbano ossia dagli abbattimenti e dalle potature di piante in filari e parchi. Certamente una notevole quantità di biomassa è ricavabile da tali operazioni che vengono condotte con regolarità dalle Amministrazioni locali, ma mancano del tutto dati relativi alla consistenza di tale patrimonio (se si eccettuano alcune indagini condotte a livello locale), all'ammontare di biomassa ricavabile e alla destinazione finale di tale residui.

#### *Scarti delle utilizzazioni forestali*

Nella produzione di legname da lavoro gli scarti di lavorazione (rami, cimali, corteccia) possono essere interessanti per un impiego energetico. Secondo l'ISTAT nel 1997 (Tabella 4.5) si sono prodotti 3.788.309 mc di legname da lavoro, il 71% circa dei quali proveniente dalle fustaie, il 13% dai cedui e il 16% dalle utilizzazioni "fuori foresta".

Per stimare quale percentuale delle utilizzazioni complessive potrebbe essere utilizzata come biomassa, si è considerato che, nel passare dalle masse dendrometriche ai volumi commerciali, si hanno perdite per rami e cimale. L'aliquota dei rami e del cimale, espressa in percentuale del volume dendrometrico, non è una grandezza di facile individuazione, dato che dipende da molteplici fattori, tra cui la specie legnosa, le caratteristiche stagionali, l'età e la posizione sociale di ciascun albero. Il volume dei rami e dei cimali "in larghissima media per le latifoglie circa il 30-35% e per le conifere il 15-20% del volume dendrometrico" (Del Favero, 1978). Applicando quindi tali percentuali alle utilizzazioni effettuate nell'anno 1997 si ottiene una biomassa legnosa che varia da 970.766 a 1.156.733 mc (vd. Tabella 4.6).

LE BIOMASSE LEGNOSE - UN'INDAGINE SULLE POTENZIALITÀ  
DEL SETTORE FORESTALE ITALIANO NELL'OFFERTA DI FONTI DI ENERGIA

Tabella 4.5: Utilizzazioni forestali per la produzione di legname da lavoro (valori in metri cubi)

Regioni	Fustate				Cedui				Totale da		
	Resinose	Lattifoglie	Resinose e lattifoglie consociate	Totale	Cedui semplici	Cedui composti	Di cui con fustata di resinose	Totale	Foresta	Fuori foresta	Totale
Piemonte	11.971	240.406	1.897	254.274	25.634	12.418	32	38.052	292.326	188.353	480.679
Val. d'Aosta	8.897	136	67	9.100	135	215	0	350	9.450	233	9.683
Lombardia	38.432	941.642	759	980.833	10.405	20.133	4.970	30.538	1.011.371	127.355	1.138.726
Bolzano	320.629	99	3.737	324.465	1.172	3.863	3.821	5.035	329.500	2.730	332.230
Trento	323.333	204	21.135	344.672	0	13	13	13	344.685	939	345.624
Veneto	45.491	570	245	46.306	2.330	1.513	237	3.843	50.149	48.078	98.227
Friuli V. G.	39.738	48.701	31.553	119.992	6.212	1.737	50	7.949	127.941	40.701	168.754
Liguria	17.897	2.737	175	20.809	16.595	0	0	16.595	37.404	2.832	40.236
Emilia Rom.	4.962	193.913	3.716	202.591	3.314	0	0	3.314	205.905	57.380	263.285
Toscana	63.268	38.940	1.193	103.401	98.027	4.910	1.497	102.937	206.338	36.436	242.774
Umbria	2.331	70	0	2.401	4.619	5.357	124	9.976	12.377	23.464	35.841
Marche	0	725	0	725	2.680	135	0	2.815	3.540	8.523	12.063
Lazio	1.138	48.355	0	49.493	33.453	4.920	0	38.373	87.866	12.630	100.496
Abruzzo	500	13.315	80	13.895	545	1.288	638	1.833	15.728	10.225	25.953
Malise	120	5.105	170	5.395	0	0	0	0	5.395	905	6.300
Campania	9.155	17.045	1	26.201	89.821	0	0	89.821	116.022	19.798	135.820
Puglia	230	3.670	0	3.900	0	0	0	0	3.900	0	3.900
Basilicata	0	7.905	0	7.905	532	4.907	0	5.439	13.344	8.638	21.982
Calabria	75.377	86.981	3.955	166.313	117.786	1.420	0	119.206	285.519	14.247	299.766
Sicilia	1.538	752	40	2.330	18.170	12	0	18.182	20.512	2.276	22.788
Sardegna	1.947	480	110	2.537	205	0	0	205	2.742	440	3.182
Italia	966.954	1.651.751	68.833	2.687.538	431.635	62.841	11.382	494.476	3.182.014	606.183	3.788.309

Fonte: ISTAT - Annuario 1997

**L'OFFERTA INTERNA ATTUALE DI BIOMASSE LEGNOSE  
A SCOPO ENERGETICO**

Tabella 4.6: Biomassa di scarto ritraibile dal legname da lavoro (in metri cubi)

Origine	Massa utilizzata	da	Rami e cimali	a
Fustaie				
• Resinose	966.954		145.043	193.390
• Latifoglie	1.651.751		495.525	578.113
Cedui (latifoglie)	494.476		148.343	173.066
Fuori foresta (latifoglie)	606.183		181.855	212.164
<b>Totale fustaie</b>	<b>3.719.364</b>		<b>970.766</b>	<b>1.156.733</b>

Fonte: ISTAT - Annuario 1997

### *Biomasse legnose di origine agricola*

Le biomasse di origine agricola rappresentano un interessante fonte di biomassa, in quanto sono poco richieste, disponibili diffusamente sul territorio e il loro smaltimento, se non vengono reimpiagate, rappresenta un costo per le aziende agricole. Inoltre sono facilmente accessibili ed esistono già in commercio sistemi di raccolta e imballaggio che consentono di ridurre i costi facilitando l'immagazzinamento e il trasporto.

### *Residui di potature delle colture arboree*

La produzione di biomassa potenziale derivante da potature è stata stimata (Tabella 4.7) utilizzando i dati forniti dall'ISTAT sulle superfici agricole aggiornati al 1997 e i coefficienti di produzione di residui legnosi di potature ricavati da alcune sperimentazioni condotte sul campo (Lazzari, 2000; Spinelli e Spinelli, 2000). Complessivamente dalle colture legnose agrarie si possono ricavare 9.606.346 t di sostanza fresca, equivalenti - data una umidità del 20% e con una densità basale media di 600 kg/mc - a 12,8 M mc.

Tabella 4.7: Superfici a colture arboree e produzioni di potature

Coltura	Superfici (ettari)	Residui unitari di potature (t/ha)	Residui totali di potature (t)
Vite	909.839	4,40	4.003.292
Olivo per la produzione di olive	1.146.677	3,00	3.440.031
Arancio	112.280	3,00	336.840
Mandarino	11.359	3,00	34.077
Clementine	22.397	3,00	67.191
Limoni	35.874	3,00	107.622
Nettarine	33.856	3,00	101.568
Susino	13.737	5,50	75.554
Ciliegio	29.729	5,30	157.564
Albicocco	16.881	5,00	84.405
Pesco	71.277	6,00	427.662
Pero	50.092	5,40	270.497
Melo	71.106	5,40	383.972
Actinidia (kiwi)	18.424	6,30	116.071
<b>Totale</b>	<b>2.543.528</b>	-	<b>9.606.346</b>

Fonti: ISTAT - Annuario 1997

A queste quantità dovrebbero essere sommati i dati relativi alle biomasse disponibili nel momento dell'espianto, dati per i quali non sono disponibili informazioni o stime attendibili.

### *Biomassa da pioppicoltura*

I pioppeti sono in grado di fornire un notevole apporto di biomasse, sia come residui delle potature, che come scarti delle utilizzazioni finali. Nel 1997 (ISTAT) i pioppeti occupavano una superficie di 118.825 ettari (Tabella 4.8) da cui sono stati ricavati 1.427.406 mc complessivi di legname da lavoro e 47.824 mc di legna per combustibile.

Per la stima della biomassa disponibile si sono impiegati i dati relativi alla superficie occupata da tali formazioni. In tal modo si prescinde da eventuali sottostime delle produzioni fornite dalle statistiche (secondo alcune fonti – Senn e Lapietra, 1988 – la produzione dei pioppeti a livello nazionale sarebbe sottostimata almeno del 40%) e dagli effetti che le fluttuazioni del mercato possono avere sulla produzione dei singoli anni. Considerando che un pioppeto produce in media, per tutto il ciclo di produzione, 35 tonnellate di sostanza fresca ad ettaro di scarti di lavorazione (Spinelli e Spinelli, 1998a) e ipotizzando che le superfici a pioppeto siano assestate con un turno medio di 10 anni, ogni anno verrà tagliato 1/10 della superficie complessiva ottenendo 356.475 t di sostanza fresca (s.f.) di biomassa, equivalenti – data una umidità del 20% e con una densità basale media di 600 kg/mc - a 0,48 M mc.

**Tabella 4.8: Superfici e biomasse ricavabili dalla pioppicoltura**

Regioni e provincie	Superficie (in ettari)	Potature (t di s.f.)	Ceppaie (t di s.f.)	Totale
Piemonte	31.154	93.462	55.766	149.228
Valle d'Aosta	77	231	138	369
Lombardia	44.510	133.530	79.673	213.203
Provincia di Bolzano	39	117	70	187
Provincia di Trento	0	0	0	0
Veneto	6.873	20.619	12.303	32.922
Friuli Venezia Giulia	7.464	22.392	13.361	35.753
Liguria	204	612	365	977
Emilia Romagna	13461	40.383	24.095	64.478
Toscana	5.314	15.942	9.512	25.454
Umbria	887	2.661	1.588	4.249
Marche	522	1.566	934	2.500
Lazio	1.550	4.650	2.775	7.425
Abruzzo	1610	4.830	2.882	7.712
Molise	117	351	209	560
Campania	1217	3.651	2.178	5.829
Puglia	127	381	227	608
Basilicata	2031	6.093	3.635	9.728
Calabria	1.326	3.978	2.374	6.352
Sicilia	273	819	489	1.308
Sardegna	69	207	124	331
<b>Italia</b>	<b>118.825</b>	<b>356.475</b>	<b>212.697</b>	<b>569.172</b>

Fonti: ISTAT - Annuario 1997

A questa va aggiunta la biomassa ricavabile dall'estrazione delle ceppaie a fine turno che consentono di ottenere in media 17,9 t s.f./ha (Spinelli e Spinelli, 1998b) e quindi 212.697 t s.f. complessiva, equivalenti a 0,28 M mc.

Le utilizzazioni dei pioppeti rendono quindi disponibili in media 569.172 t/anno, pari a 0,76 M mc/anno.

#### **4.4 Stima dei prelievi potenziali**

Come già ricordato, la produzione potenziale è la biomassa che potrebbe essere ottenuta

qualora venissero utilizzate, in forme sostenibili, tutte le fonti di bioenergia, comprese quelle al momento non utilizzate. Il prelievo potenziale comprende quindi:

- prelievo di legna da ardere dai cedui in produzione;
- utilizzazione dei cedui abbandonati;
- cure colturali e i residui delle utilizzazioni delle fustaie in produzione;
- cure colturali e i residui delle utilizzazioni delle fustaie non in produzione;
- prelievo "fuori foresta";
- utilizzazione di siepi, filari e boschetti non in produzione;
- biomassa di origine agricola (potature e ceppaie di fruttiferi e pioppeti);
- biomassa di origine industriale.

Nel seguito si presentano i risultati di una stima della produzione di biomassa di origine forestale e da "fuori foresta" fornendo una valutazione complessiva (comprendente cioè anche la parte che effettivamente è utilizzata). Un'indicazione sulla potenzialità di produzione delle formazioni non in produzione potrebbe ricavarsi per differenza con i dati sul prelievo forniti dalle statistiche ufficiali.

#### Le utilizzazioni delle fustaie

In questo paragrafo si è cercato di stimare la biomassa che potrebbe essere ricavata qualora i tutti i boschi venissero utilizzati al massimo della loro potenzialità produttiva, ossia nel caso in cui si tagliasse annualmente l'incremento corrente. In tal modo si è venuto a definire un limite superiore teorico di disponibilità di biomassa, sopra il quale si andrebbe ad intaccare il capitale, ossia lo *stock* legnoso, innescando processi di degrado a carico dei boschi. Nel considerare le superfici forestali potenzialmente produttive si sono prese in esame le tutte le superfici forestali a fustaia riportate dall'ISTAT, operando quindi una semplificazione in quanto non si è stato possibile escludere formazioni che, per le loro caratteristiche strutturali o gestionali, non dovrebbero considerarsi produttive quali le formazioni ad alto valore naturalistico (riserve naturali), in fase di transizione (cedui in conversione), o boschi gestiti con altre finalità (boschi protettivi, ricreativi, ecc.).

Complessivamente in Italia nel 1997 erano presenti 2.958.946 ettari di fustaie (vd. Tabella 4.9).

Tabella 4.9: Superfici forestali a fustaia ripartite per tipo e regione o provincia autonoma (in ettari)

	Formazioni a conifere	Formazioni a latifoglie	Formazioni miste	Totale
Piemonte	112.458	105.431	12.232	230.121
Valle d'Aosta	64.017	2.392	3.668	70.077
Lombardia	135.113	62.25	10.561	207.931
Bolzano	284.412	450	6.365	291.227
Trento	213.960	1.837	38.384	254.181
Veneto	122.255	15.120	9.382	146.757
Friuli Venezia Giulia	42.280	34.138	44.822	121.240
Liguria	46.265	35.892	5.241	87.398
Emilia Romagna	28.993	49.545	16.798	95.336
Toscana	82.720	112.928	16.430	212.078
Umbria	12.765	7.781	4.685	25.231
Marche	10.455	6.075	13.504	30.034
Lazio	18.853	73.275	5.634	97.762
Abruzzo	13.212	75.244	14.998	103.454
Molise	3.739	14.450	2.857	21.046
Campania	15.308	79.559	6.240	101.107
Puglia	30.529	15.337	5.221	51.087
Basilicata	27.342	84.837	10.737	122.916

segue

**LE BIOMASSE LEGNOSE - UN'INDAGINE SULLE POTENZIALITÀ  
DEL SETTORE FORESTALE ITALIANO NELL'OFFERTA DI FONTI DI ENERGIA**

segue

	Formazioni a conifere	Formazioni a latifoglie	Formazioni miste	Totale
Calabria	100.585	168.743	33.238	302.566
Sicilia	31.234	36.314	72.644	140.192
Sardegna	43.030	176.738	27.437	247.205
Totale	1.439.525	1.158.343	361.078	2.958.946

Fonte: ISTAT – Annuario 1997

Considerando i dati incrementali medi regionali ricavati nel corso dell'Inventario Forestale Nazionale del 1985, le fustaie italiane complessivamente producono annualmente 22.605.695 mc. Come per l'analisi fatta nel paragrafo relativo alla stima della biomassa disponibile non utilizzata a fini energetici, occorre considerare la frazione di legname che viene lasciata in bosco nel corso delle utilizzazioni, sotto forma di rami e cimali, e che viceversa potrebbe essere utilizzata per la produzione d'energia. Assumendo quindi che l'aliquota dei rami e del cimale, espressa in percentuale del volume dendrometrico, vari dal 15 al 35%, a seconda della specie, e che tutti i boschi siano regolarmente assoggettati ad utilizzazioni (con asportazione dell'intero incremento), complessivamente i residui delle utilizzazioni potrebbero dare una produzione di biomassa massima variabile da 3.390.854 a 7.911.993 mc, mediamente 5.651.424 mc.

Pur considerando che nella presente indagine si sta effettuando una valutazione della potenziale disponibilità di biomassa, si è ritenuto opportuno fornire anche una valutazione della biomassa ottenibile detraendo la parte di incremento corrispondente alla percentuale di boschi di difficile esboscabilità. In tal modo si è cercato di tenere conto delle numerose situazioni in cui l'utilizzazione risulterebbe comunque estremamente difficile per motivi tecnici o economici. Il grado di esboscabilità è tratto dall'Inventario Forestale Nazionale (Tabella 4.10), ipotizzando quindi che la situazione, in merito a tale parametro, non si sia modificata nel tempo.

Tabella 4.9: Incrementi e biomassa da rami e cimale delle fustaie

Regioni	Superficie forestale a fustaia *	Incrementi correnti ** (mc/ha/anno)	Incremento totale(mc)	Rami e cimali (mc)	
				da	a
Piemonte	230.121	7,3	1.679.883	251.982	587.959
Valle d'Aosta	70.077	4,6	322.354	48.353	112.824
Lombardia	207.931	7,9	1.642.655	246.398	574.929
Provincia di Bolzano	291.227	6,6	1.922.098	288.315	672.734
Provincia di Trento	254.181	9,3	2.363.883	354.582	827.359
Veneto	146.757	9,1	1.335.489	200.323	467.421
Friuli Venezia Giulia	121.240	9,2	1.115.408	167.311	390.393
Liguria	87.398	6,2	541.868	81.280	189.654
Emilia Romagna	95.336	8,5	810.356	121.553	283.625
Toscana	212.078	9,9	2.099.572	314.936	734.850
Umbria	25.231	5,1	128.678	19.302	45.037
Marche	30.034	4,9	147.167	22.075	51.508
Lazio	97.762	8,3	811.425	121.714	283.999
Abruzzo	103.454	7,9	817.287	122.593	286.050
Molise	21.046	6,7	141.008	21.151	49.353
Campania	101.107	7,9	798.745	119.812	279.561
Puglia	51.087	7,6	388.261	58.239	135.891
Basilicata	122.916	5,9	725.204	108.781	253.822
Calabria	302.566	11	3.328.226	499.234	1.164.879
Sicilia	140.192	3,9	546.749	82.012	191.362
Sardegna	247.205	3,8	939.379	140.907	328.783
Italia	2.958.946	7,9	22.605.695	3.390.854	7.911.993

\* superficie a fustaia nell'anno 1997 secondo ISTAT \*\* incremento corrente delle fustaie a livello regionale (IFNI, anno 1985)

**L'OFFERTA INTERNA ATTUALE DI BIOMASSE LEGNOSE  
A SCOPO ENERGETICO**

Nella Tabella 4.11 sono riportate le biomasse mediamente ottenibili dagli scarti di lavorazione delle utilizzazioni boschive di superfici a diverso grado di accessibilità:

- nell'ipotesi che solo nelle **fustaie facilmente accessibili** si utilizzi l'incremento corrente, la biomassa ritraibile ammonterebbe a **3.424.762 mc**;
- considerando la possibilità anche di operare in situazioni ad esboscabilità intermedia la biomassa ritraibile stimata è di **4.922.390 mc**;
- nella situazione ideale di disponibilità ad utilizzare l'intero l'incremento corrente di tutti i boschi italiani la biomassa ottenibile raggiungerebbe i **5.651.423 mc**.

Tabella 4.10: Grado di esboscabilità delle fustaie (percentuale)

Regioni	Esbosco facile	Esbosco di media difficoltà	Esbosco difficile
Piemonte	42,9	32,7	24,4
Valle d'Aosta	35,4	36,9	27,7
Lombardia	42,3	23,3	34,4
Provincia di Bolzano	51,9	38,4	9,7
Provincia di Trento	61,7	24,6	13,7
Veneto	54,4	28,8	16,8
Friuli Venezia Giulia	48,4	32,3	19,3
Liguria	72,1	21,3	6,6
Emilia Romagna	81,8	18,2	-
Toscana	73,6	22,3	4,1
Umbria	83,8	16,2	-
Marche	75,0	21,4	3,6
Lazio	68,1	18,0	13,9
Abruzzo	56,2	34,7	9,1
Molise	72,7	18,2	9,1
Campania	58,9	27,4	13,7
Puglia	70,5	24,6	4,9
Basilicata	63,9	29,5	6,6
Calabria	71,1	20,9	8,0
Sicilia	96,3	3,7	-
Sardegna	76,0	16,0	8,0
Italia	60,6	26,5	12,9

Fonte: Inventario Forestale Nazionale relativo all'anno 1985

Tabella 4.11: Biomassa da rami e cimali per classi di esboscabilità (in metri cubi)

Regioni	Esbosco facile	Esbosco facile e intermedio	Totale
Piemonte	180.167,5	317.497,9	419.970,8
Valle d'Aosta	28.528,3	58.265,5	80.588,6
Lombardia	173.710,8	269.395,4	410.663,7
Provincia di Bolzano	249.392,2	433.913,7	480.524,6
Provincia di Trento	364.629,0	510.007,8	590.970,8
Veneto	181.626,5	277.781,6	333.872,2
Friuli Venezia Giulia	134.964,4	225.033,6	278.852,0
Liguria	97.671,6	126.526,1	135.466,9
Emilia Romagna	165.717,8	202.589,0	202.589,0
Toscana	386.321,3	503.372,4	524.893,1
Umbria	26.958,1	32.169,5	32.169,5
Marche	27.593,7	35.467,2	36.791,7
Lazio	138.145,0	174.659,1	202.856,2
Abruzzo	114.828,8	185.728,4	204.321,7
Molise	25.628,2	32.044,1	35.252,1

segue

**LE BIOMASSE LEGNOSE - UN'INDAGINE SULLE POTENZIALITÀ  
DEL SETTORE FORESTALE ITALIANO NELL'OFFERTA DI FONTI DI ENERGIA**

segue

Regioni	Esbosco facile	Esbosco facile e intermedio	Totale
Campania	117.615,2	172.329,3	199.686,3
Puglia	68.431,0	92.309,1	97.065,3
Basilicata	115.851,4	169.335,2	181.301,1
Calabria	591.592,2	765.492,0	832.056,5
Sicilia	131.629,8	136.687,2	136.687,2
Sardegna	178.482,0	216.057,2	234.844,8
Italia	3.424.762,8	4.922.390,1	5.651.423,8

Fonte: *Inventario Forestale Nazionale relativo all'anno 1985*

### Le utilizzazioni dei cedui

L'utilizzazione dei cedui fornisce come prodotto principale legna da ardere ed alcuni assortimenti di legname da lavoro (in particolare paleria). Come nel caso delle fustaie si è fatto riferimento ai dati ISTAT, riferiti al 1997, per le superfici (Tabella 4.12) e ai dati incrementali ricavati dall'Inventario Forestale Nazionale.

L'Inventario Forestale Nazionale fornisce relativamente ai cedui una generica informazione sui volumi/ettaro distinti per Regione. Nell'impiegare tale dato per ricavare le produzioni annue dei cedui si deve tenere presente che tali volumi sono il risultato di un progressivo invecchiamento delle formazioni. Infatti i cedui non vengono più utilizzati come un bene aziendale ordinato a produzione annua, ma hanno assunto il ruolo di una scorta patrimoniale da cui attingere senza regolarità (Piusi, 1994). Per tali motivi si è prudenzialmente stimato un turno di 25 anni. Complessivamente risulta quindi un incremento medio annuo complessivo utilizzabile pari a 16.549.004 mc. Dal calcolo sono stati escluse le formazioni a macchia mediterranea, che per il loro alto valore naturalistico non sono comunque assoggettabili a utilizzazioni regolari.

Tabella 4.12: Superfici e volumi dei cedui

	Superficie a ceduo semplice*	Superficie a ceduo composto*	Superficie totale *	Volume /ha**	Massa totale (mc)
Piemonte	292.365	146.338	438.703	132	57.908.796
Valle d'Aosta	4.717	3.340	8.057	160	1.289.120
Lombardia	178.242	107.656	285.898	130	37.166.740
Bolzano	10.650	6.979	17.629	118	2.080.222
Trento	69.002	0	69.002	97	6.693.194
Veneto	98.234	26.850	125.084	118	14.759.912
Friuli Venezia Giulia	36.334	26.626	62.960	132	8.310.720
Liguria	155.761	41.188	196.949	128	25.209.472
Emilia Romagna	291.720	16.352	308.072	118	36.352.496
Toscana	396.476	183.554	580.030	113	65.543.390
Umbria	195.074	43.374	238.448	96	22.891.008
Marche	118.526	11.376	129.902	96	12.470.592
Lazio	238.268	27.829	266.097	99	26.343.603
Abruzzo	76.198	46.446	122.644	132	16.189.008
Molise	24.498	25.442	49.940	97	4.844.180
Campania	173.029	8.760	181.789	102	18.542.478
Puglia	47.621	2.389	50.010	95	4.750.950
Basilicata	52.972	3.394	56.366	90	5.072.940
Calabria	134.407	31.987	166.394	120	19.967.280
Sicilia	66.615	9.297	75.912	123	9.337.176
Sardegna	173.050	14.469	187.519	96	18.001.824
Italia	2.833.759	783.646	3.617.405	115	413.725.101

\* superficie a ceduo nell'anno 1997 secondo ISTAT \*\* volume medio dei cedui a livello regionale (IFNI, anno 1985)

**L'OFFERTA INTERNA ATTUALE DI BIOMASSE LEGNOSE  
A SCOPO ENERGETICO**

**Tabella 4.13. Indici di esboscabilità dei cedui (dati percentuali)**

Regioni	Esbosco facile	Esbosco di media difficoltà	Esbosco difficile
Piemonte	56,3	30,3	13,4
Valle d'Aosta	37,5	37,5	25,0
Lombardia	51,4	30,6	18,0
Provincia di Bolzano	73,3	13,3	13,3
Provincia di Trento	64,8	27,3	7,9
Veneto	51,8	24,1	24,1
Friuli Venezia Giulia	63,9	22,9	13,2
Liguria	68,8	21,6	9,7
Emilia Romagna	70,8	23,1	6,1
Toscana	55,4	34,0	10,6
Umbria	64,5	26,8	8,7
Marche	55,7	38,3	6,0
Lazio	61,9	28,6	9,5
Abruzzo	55,0	29,5	15,5
Molise	63,1	33,3	3,6
Campania	59,9	21,3	18,8
Puglia	60,7	24,6	14,7
Basilicata	68,3	25,6	6,1
Calabria	70,2	19,6	10,5
Sicilia	78,6	21,4	-
Sardegna	64,6	19,5	15,9
Italia	60,7	27,8	11,5

Fonte: *Inventario Forestale Nazionale relativo all'anno 1985*

Analogamente all'analisi fatta per le superfici a fustaia si deve tenere conto dei diversi gradi di esboscabilità che influenzano in modo determinante la convenienza all'utilizzo dei boschi. Nella Tabella 4.13 sono riportati gli indici di esboscabilità elaborati in sede di Inventario Forestale Nazionale. Le condizioni di accesso e la localizzazione dei boschi condizionando notevolmente la possibilità di utilizzo, configurano i seguenti scenari:

- si utilizzano solo le superfici facilmente accessibili ottenendo una biomassa pari a **10.032.785 mc**;
- con la possibilità di operare in situazioni fino ad esboscabilità intermedia la biomassa aumenta a **14.583.492 mc**;
- nella situazione ideale di disponibilità ad utilizzare l'intero l'incremento corrente di tutti i boschi italiani la biomassa ottenibile raggiunge i **16.549.004 mc**.

**Tabella 4.14: Biomassa da ceduo per classi di esboscabilità (in metri cubi)**

Regioni	Esbosco facile	Esbosco facile e intermedio	Totale
Piemonte	1.304.106	2.005.961	2.316.352
Valle d'Aosta	19.337	38.674	51.565
Lombardia	764.148	1.219.069	1.486.670
Provincia di Bolzano	60.992	72.059	83.209
Provincia di Trento	173.488	246.577	267.728
Veneto	305.825	448.111	590.396
Friuli Venezia Giulia	212.422	288.548	332.429
Liguria	693.765	911.575	1.008.379
Emilia Romagna	1.029.503	1.365.400	1.454.100
Toscana	1.452.442	2.343.832	2.621.736
Umbria	590.588	835.980	915.640

segue

segue

Regioni	Esbosco facile	Esbosco facile e intermedio	Totale
Marche	277.845	468.894	498.824
Lazio	652.268	953.638	1.053.744
Abruzzo	356.158	547.188	647.560
Molise	122.267	186.792	193.767
Campania	444.278	602.260	741.699
Puglia	115.353	162.102	190.038
Basilicata	138.593	190.540	202.918
Calabria	560.681	717.225	798.691
Sicilia	293.561	373.487	373.487
Sardegna	465.167	605.581	720.073
Italia	10.032.785	14.583.492	16.549.004

### *Le cure colturali*

Le cure colturali consistono negli sfolli e nei diradamenti, che vengono effettuati prima della scadenza del turno nelle fustaie coetanee e in corrispondenza del taglio di curazione nelle fustaie disetanee. In molti casi le cure colturali non vengono realizzate in quanto i prodotti ritraibili da tali interventi difficilmente hanno un mercato, mentre i costi per le utilizzazioni sono elevati.

La valutazione delle masse ritraibili dalle cure colturali presenta notevoli difficoltà in quanto:

- gli interventi vengono stabiliti caso per caso, e dipendono dalle caratteristiche dei soprassuoli, dalla fertilità e dagli assortimenti che si vogliono ottenere;
- la semplificazione tipologica delle statistiche ufficiali non consente di ricavare alcune informazioni essenziali, quali la forma di gestione (coetaneo-disetaneo), le funzioni, il trattamento;
- le indicazioni bibliografiche (tavole alsometriche, piani d'assestamento, ecc.) si riferiscono a condizioni ottimali, in cui i trattamenti vengono eseguiti con regolarità, e a casi specifici.

Alla luce di tali considerazioni si è preferito fornire un'indicazione di massima su quale potrebbe essere la dimensione della massa ritraibile dalle cure colturali, senza entrare nel dettaglio delle produzioni delle singole formazioni forestali.

Dall'estrapolazione dei dati forniti dall'Inventario Forestale Italiano e dalle tavole alsometriche delle specie principali si desume che la biomassa ricavabile dalle cure colturali potrebbe essere compresa da un milione a due milioni di metri cubi.

### *Le utilizzazioni "fuori foresta"*

La biomassa disponibile nella componente "fuori foresta" dell'ISTAT, localizzata prevalentemente nelle zone di pianura e collina costituita da formazioni lineari e piccoli boschetti, è per la maggior parte utilizzata come approvvigionamento di legna da ardere da parte delle aziende agricole. Pur avendo un indubbio interesse, non solo per la possibilità di fornire combustibile, ma anche per le molteplici funzioni che assolvono, i dati e le informazioni quantitative sulla loro estensione sono scarsi e frammentari.

Secondo alcune recenti indagini ISTAT (non ancora pubblicate) l'estensione complessiva dei filari ammonta a 117.899.855 m mentre i boschetti occupano una superficie pari a 14.593 ha (Tabella 4.15).

Assumendo che mediamente la densità di una siepe si aggira attorno a 1 ceppaia ogni 2-3 metri, la produzione media di 100 m lineari di siepe può variare da 5 a 8 t di sostanza fresca all'anno (Serafin, 1997).

**L'OFFERTA INTERNA ATTUALE DI BIOMASSE LEGNOSE  
A SCOPO ENERGETICO**

**Tabella 4.15: Estensione delle superfici "fuori foresta"**

Regioni	Filari di alberi, siepi (km)	boschetti macchie di campo (ettari)
Piemonte	12.127	340
Valle d'Aosta	0	-
Lombardia	23.655	1.367
Trentino Alto Adige	621	63
Veneto	16.080	1.991
Friuli Venezia Giulia	4.619	380
Liguria	596	-
Emilia Romagna	7.872	2.456
Toscana	10.459	1.778
Umbria	1.771	567
Marche	4.906	1.176
Lazio	5.773	852
Abruzzo	938	81
Molise	647	175
Campania	3.729	976
Puglia	934	74
Basilicata	1.663	649
Calabria	6.769	609
Sicilia	2.429	210
Sardegna	12.312	854
Totale	117.900	14.598

Fonte: ISTAT

Considerando che parte della produzione ricavabile da queste formazioni viene utilizzata a sostegno delle attività agricole (paleria) ed una parte corrispondente al 60% viene impiegato per fini energetici e che il turno medio è di 10 anni, la biomassa potenzialmente disponibile dalle formazioni lineari varia da 353.699 a 565.919 t di sostanza fresca annua, pari (ad una umidità del 20% e data una densità basale media di 600 kg/mc) a 0,47 e 0,75 M mc. Assimilando le piccole superfici boscate ai cedui con un volume medio di 115 mc/ha e un turno di 25 anni, la produzione può essere stimata pari a 67.150 mc.

I risultati delle stime presentate nelle pagine precedenti sono riportati nella Tabella 4.16 che, evidentemente, offre un quadro di sintesi di qualità eterogenea e non completo. Anche per queste ragioni i dati segnalati non sono stati sommati per giungere ad un valore complessivo di riferimento, dal momento che – allo stato attuale delle informazioni disponibili – non sembra possibile arrivare ad una stima aggregata sufficientemente attendibile.

I dati riportati nella Tabella sono stati convertiti in Tep assumendo 1 Tep = 4,4 mc, assunzione, come noto, gravata da forti elementi di aleatorietà<sup>11</sup>. In ogni caso, alla luce dei dati relativi ai consumi e alle produzioni di biomasse legnose stimate nella presente indagine, risulta tutt'altro che ambizioso l'obiettivo di 8-10 M Tep di produzione di energia da biomasse definito nel Programma Nazionale per l'Energia Rinnovabile da Biomassa approvato dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali nel giugno 1998. In altri termini, un'analisi più accurata degli attuali livelli di produzione e consumo di biomasse legnose a fini energetici porterebbe almeno a due considerazioni operative:

- l'opportunità di riconoscere al settore delle biomasse legnose un'importanza maggiore in termini di politiche di razionalizzazione degli attuali impieghi energetici, ovvero un riconoscimento "politico" dell'importanza delle risorse forestali nei bilanci energetici nazionali e la conseguente assunzione di più efficaci linee di intervento nel settore;
- la necessità di definire obiettivi più congrui nello sviluppo dell'impiego delle biomasse legnose a fini energetici.

<sup>11</sup> Tommasetti (2000), ad esempio, nello studio CIRM-ENEA ha assunto 1 Tep = 4 t di biomassa che - ad una umidità del 20% e data una densità basale media del legname di 600 kg/mc - portano a stimare 1 Tep = 5,3 mc.

Tabella 4.16: Sintesi delle stime sui prelievi, i consumi e la disponibilità di biomasse legnose

	Anno di riferimento	Quantità (milioni t)	Quantità (milioni mc)	Equivalenti M Tep	Fonte
<b>Prelievi</b>					
- Prelievi di legna ad uso energetico	1997	n.d.	4,70	1,07	ISTAT
- Prelievi di legna ad uso energetico con il "fuori foresta"	1997	n.d.	5,14	1,17	ISTAT
- Prelievi di legna ad uso energetico con il "fuori foresta"	2000	n.d.	6,05	1,37	Ns. stime su dati ECE/FAO
<b>Consumi di biomasse legnose a fini energetici</b>					
- Consumi domestici	1997	21,56	28,75	6,53	ENEACIRIM
- Consumi nei forni a legna	2000	0,30	0,34	0,08	Ns. stime
- Consumi di scarti industriali	2000	0,38-2,28	0,46-3,50	0,10-0,79	Ns. stime
<b>Biomassa disponibile non utilizzata a fini energetici</b>					
- Biomassa di scarto derivante dalle lavorazioni forestali	1997	n.d.	0,97-1,16	0,22-0,26	Ns. stime su dati ISTAT
- Residui di potature delle colture arboree	1997	9,60	12,80	2,90	Ns. stime su dati ISTAT
- Residui dalla pioppicoltura	1997	0,35	0,48	0,11	Ns. stime su dati ISTAT
• potature	1997	0,21	0,28	0,06	
• ceppate	1997				
<b>Prelievi potenziali</b>					
- Residui delle utilizzazioni delle fustate	1997	n.d.	5,65	1,28	Ns. stime su dati IFNI e ISTAT
- Utilizzazioni dei cedui	1997	n.d.	16,55	3,76	Ns. stime su dati IFNI e ISTAT
- Cure colturali	2000	n.d.	1-2	0,23-0,45	Ns. stime su dati ISTAT
- Utilizzazioni "fuori foresta": filari	1999	0,35-0,56	0,47-0,75	0,11-0,17	Ns. stime su dati ISTAT
- Utilizzazioni "fuori foresta": piccole superfici boscate	1999	n.d.	0,07	0,02	Ns. stime su dati ISTAT

\* Nella stima si è assunto 1 Tep = 4,4 mc.

## 5. Il quadro normativo

L'analisi del quadro normativo verrà effettuata prendendo inizialmente in considerazione gli strumenti di programmazione e incentivazione recentemente attivati per lo sviluppo delle energie rinnovabili (vd. 5.1); successivamente, esaminando più in dettaglio il sistema di incentivi resi disponibili a seguito dell'applicazione delle nuove misure di intervento stabilite in attuazione di Agenda 2000 (vd. 5.2); e, da ultimo, cercando di definire le tematiche-chiave che condizioneranno gli sviluppi futuri del mercato delle biomasse legnose (vd. 5.3).

### 5.1 Strumenti di programmazione e di incentivazione dell'impiego di biomasse

Le politiche volte allo sviluppo della filiera delle biomasse legnose sono andate negli ultimi anni diversificandosi sia in termini di soggetti proponenti, sia per quanto riguarda le tipologie di sostegno (contributi, prezzi garantiti, assistenza tecnica, sgravi fiscali, accordi volontari, ecc.). Tale processo di diversificazione è dovuto al fatto che lo sviluppo della filiera delle biomasse viene incontro ad una serie abbastanza ampia di esigenze (Farinelli, 1998):

- la sostituzione di combustibili fossili con fonti rinnovabili, e quindi la riduzione della dipendenza dall'estero per quella che rappresenta, per l'Italia e per molti altri paesi europei, la più pesante voce passiva della bilancia commerciale;
- il contenimento delle emissioni di gas di serra nell'atmosfera e la conseguente riduzione dei problemi del *climate change* (l'impiego di biomasse forestali a fini energetici determina un bilancio del carbonio quasi nullo<sup>12</sup>, ma ha effetti sostitutivi del carbonio proveniente da fonti non rinnovabili);
- la diversificazione delle attività produttive in aree agricole, con lo sviluppo di coltivazioni non a fini alimentari; a sua volta tale processo di diversificazione, tramite la realizzazione di piantagioni, viene motivato da tre esigenze principali: la riduzione dei costi della tradizionale politica di sostegno di alcune coltivazioni eccedentarie, il miglioramento della qualità del paesaggio, lo sviluppo di forme di autoproduzione di fonti energetiche con positivi impatti sui redditi delle famiglie rurali;
- il recupero dei sottoprodotti delle lavorazioni industriali e dei contenitori in legno, iniziative sulle quali è venuto fortemente ad incidere il "Decreto Ronchi" (D.L. 22/97) e le successive norme di attuazione (vd. la creazione del consorzio Rilegno);
- il rafforzamento degli interessi ad una gestione attiva delle risorse forestali con la realizzazione di tagli di miglioramento e di rinnovazione di boschi altrimenti soggetti a processi di abbandono e degrado (incendi).

Per la contemporanea presenza di queste linee di intervento, una descrizione delle misure di sostegno della filiera delle biomasse forestali non può che essere estremamente schematica. La Tabella 5.1 cerca di sintetizzare le misure distinguendo tra due tipologie principali di interventi (vd. anche AAVV, 1998a; De Paoli e Lorenzoni, 1999; G.C.I. ATENER-BIOGUIDE, 1999):

- i **piani** e i **programmi** di sviluppo, normalmente volti a definire un quadro generico di impegni tra le parti coinvolte e di misure di sostegno, non sempre con impatti diretti di finanziamento di attività nella filiera (tali interventi sono con-

<sup>12</sup> Vd. nota 1.

- traddistinti, nella simbologia impiegata nella Tabella, con la lettera "P");
- le misure di **incentivazione** alle attività forestali o quelle connesse alla trasformazione energetica in impianti industriali o domestici ("I" nella Tabella).

Tabella 5.1: Sintesi dei principali strumenti di programmazione (P) e di incentivazione (I) per la valorizzazione delle biomasse forestali.

Strumenti	Settore forestale	Settore della trasformazione industriale	Tutta la filiera
Di iniziativa internazionale e comunitaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reg. 2078 e 2080/92 (contributi alla piantagione e gestione forestale) (I)</li> <li>• Nuove misure forestali previste dal Reg. sullo Sviluppo rurale di Agenda 2000 (Rg. 1257/99) (I)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmi SAVE II, THERMIE e ALTENER (sviluppo energie alternative) (I)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protocollo di Kyoto (riduzione emissioni gas di serra, anche tramite piantagioni e energie rinnovabili) (P)</li> <li>• Quinto Programma di Azione Ambientale e Libro Bianco della CE sulle risorse rinnovabili del 1998 (P)</li> <li>• Global Environmental Fund (GEF) (finanziamenti di interventi di filiera) (I)</li> </ul>
Di iniziativa nazionale e regionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmi regionali di attuazione Reg. 2078 e 2080/92 (contributi alla piantagione e gestione forestale) (P e I)</li> <li>• Programmi di sviluppo rurale approvati dalle Regioni in attuazione Reg. 1257/99 (contributi alla piantagione gestione forestale) (P e I)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delibera CIPE del nov. 1988 sullo sviluppo fonti rinnovabili (P)</li> <li>• L. 9 e 10/91 (sviluppo fonti energetiche rinnovabili) (I)</li> <li>• Provvedimento CIP 6/92 (criteri e prezzi di cessione energia da biomasse) e Decreto MICA 25.9.92 (I)</li> <li>• L. 173/1998 (riduzione dei costi di produzione in agricoltura) (I)</li> <li>• "Decreto Ronchi" (DL. 22/97) e successive norme in attuazione Dir. 156 e 689/91 e 62/94 (impiego energetico sottoprodotti e contenitori) (P)</li> <li>• "Decreto Bersani" del feb. 1999 (obbligo dei produttori di energia elettrica di x rinnovabili (P e I) almeno il 2% da fonti rinnovabili) (P e I)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piano Energetico Nazionale dell'agosto 1988 (P)</li> <li>• Cap. V del DPEF 1999-2001: politiche per riduzione gas di serra (P)</li> <li>• Programma Naz. per l'Energia Rinnovabile da Biomasse del Min. Politiche Agricole dell'ott. 1998 (P)</li> <li>• Libro Verde sulle Fonti Rinnovabili di Energia dell'ott. 1998 predisposto dall'ENEA (P)</li> <li>• Legge finanziaria 1999: introduzione della carbon tax (P)</li> <li>• DM 11.9.1999 per impiego fonti energetiche rinnovabili (P e I)</li> </ul>

## 5.2 Opportunità di espansione dell'offerta di biomassa: l'applicazione del Reg. 1257/1999

La politica di valorizzazione delle fonti di biomassa e più in generale delle risorse legnose intrapresa a livello comunitario, nazionale e regionale influenza con modalità diverse l'offerta di biomassa (vd. 5.3).

I regolamenti, i piani e gli altri strumenti attraverso cui si estrinsecano le politiche comunitarie incentivano, mediante specifiche misure, la realizzazione di interventi concreti nei settori interessati. Gli effetti della realizzazione di tali interventi sul settore delle biomasse possono essere diretti (comportando un aumento del prelievo reale) o indiretti, agendo con varie modalità sui diversi livelli in cui si struttura la produzione di biomassa.

Le modalità attraverso cui le diverse tipologie di misura agiscono sull'espansione dell'offerta di biomassa sono rappresentate nella Figura 5.1.

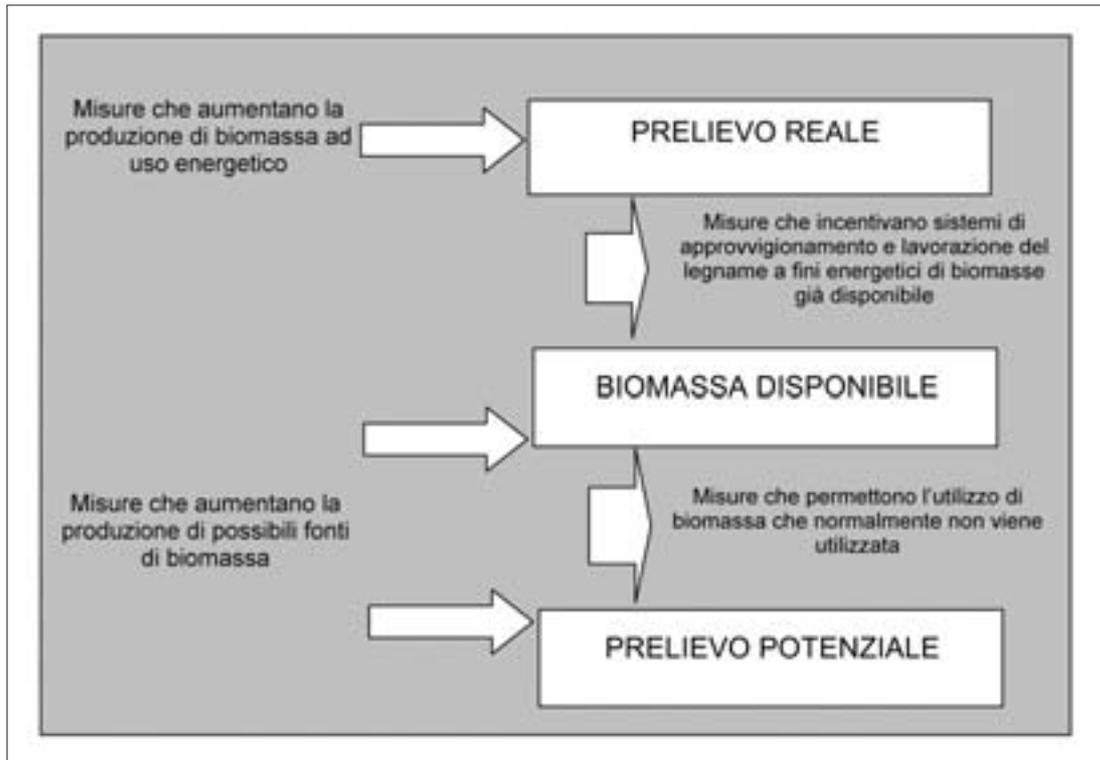


Figura 5.1: Modalità di espansione dell'offerta di biomassa

L'aumento di disponibilità delle biomasse, attraverso ad esempio nuovi imboschimenti (anche specializzati), non implica automaticamente un aumento dei prelievi reali; questi sono legati più all'evoluzione della domanda di mercato e della rete di commercializzazione e distribuzione.

Il **prelievo reale** può essere incrementato attraverso:

- un aumento della produzione, ottenuto mediante impianti altamente specializzati (ad esempio cedui a turno breve);
- l'utilizzo della biomassa disponibile, attraverso la pianificazione delle operazioni di raccolta e la meccanizzazione delle fasi di raccolta, lavorazione e trasformazione del legname.

La **biomassa disponibile** aumenta nel momento in cui aumentano le superfici destinate alle produzioni legnose, anche imboschite con finalità diverse (arboricoltura da legno, rimboschimenti, fasce tampone arbustive e/o arboree, frutteti, ecc.). Le operazioni colturali (potature, diradamenti, ceduzioni, ecc.) prelevano una biomassa legnosa che può essere utilizzabile anche a fini energetici.

Ad incrementare la biomassa disponibile concorrono anche le misure che permettono di utilizzare fonti al momento non utilizzate ed in particolare le superfici forestali abbandonate.

Tra le numerose linee finanziarie di interesse per l'ambiente e l'agricoltura che si stanno attivando nel periodo di programmazione 2000-2006, assume una rilevanza particolare per lo specifico settore della produzione di biomassa legnosa il Reg. 1257/1999 "sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo Europeo Agricolo di orientamento e di Garanzia".

Il Regolamento ha definito le modalità operative degli interventi nel campo rurale, e specificatamente della Politica Agricola Comunitaria, a seguito della presentazione e approvazione di Agenda 2000, lo strumento principale di programmazione strategica dell'Unione Europea. Gli articoli del Regolamento più interessanti per il comparto delle biomasse sono quelli che riguardano le misure agro-ambientali, l'imboschimento dei terreni agricoli e non agricoli e altre misure forestali.

Gli effetti che le singole misure del regolamento possono avere in termini di realizzazione di concreti interventi agro-ambientali e le conseguenze sull'offerta di biomasse legnose ad uso

energetico sono evidenziate nella Tabella 5.2. A seconda della tipologia d'intervento e dei meccanismi con i quali si verifica una ripercussione sul settore delle biomasse, gli effetti possono essere immediati, quando si forniscono gli strumenti per utilizzare risorse già disponibili; o di medio-lungo periodo, quando si prevede la produzione di biomassa *ex-novo* tramite appositi impianti.

La possibilità di un effettivo risultato è però influenzato dalle modalità con cui le singole regioni hanno recepito il Regolamento attraverso i propri Piani di Sviluppo Rurale (PSR). Infatti i PSR determinano nel dettaglio le misure, gli aiuti e i criteri di applicazione nel rispetto delle linee guida fissate dal Regolamento. L'esistenza di specifiche normative regionali, di programmi nel settore delle energie alternative e di scelte e interessi politici determinano una certa diversità di applicazione che si traduce in un diverso grado di importanza attribuito alle biomasse fini energetici.

A titolo esemplificativo si è proceduto a confrontare i criteri di applicazione delle misure di interesse per la produzione di biomasse tra un campione di regioni italiane. In particolare, si è concentrata l'attenzione sull'applicazione dell'articolo 31 "Sostegno per l'imboschimento delle superfici agricole" e dell'articolo 30.

Gli interventi previsti dall'art. 31 hanno effetti diretti sull'incremento di superfici destinate alla produzione di biomassa. E' sotto questa misura che si possono trovare esempi di incentivi alla costituzione di impianti di specie a rapido accrescimento a ciclo breve.

Tabella 5.2: Effetti delle misure del Regolamento 1257/1999 sull'offerta di biomasse

Articolo	Misura	Risultati concreti	Conseguenza sull'offerta di biomasse	Tempi
Art. 22	Misure agroambientali	Impianto e gestione di siepi e filari	Aumento del prelievo disponibile attraverso la ceduzione periodica	Medio periodo (mediamente dopo circa 10 anni)
Art. 30 Trattino 1	Imboschimento di superfici che non rientrano nell'ambito dell'art. 31	Nuova superficie rimboschita	Aumento del prelievo reale, disponibile e/o potenziale a seconda finalità dell'impianto	Medio periodo
Art. 30 Trattino 2 pianificazione forestale	Investimenti in foreste destinati ad accrescerne in misura significativa il valore economico, ecologico o sociale	Diradamenti cure culturali	Aumento del prelievo disponibile mediante i diradamenti e le potature	Lungo periodo (potature nei primi 10 anni, diradamenti dal 20° anno)
Art. 30 Trattino 3	Investimenti diretti a migliorare e a razionalizzare il raccolto, la trasformazione e la commercializzazione dei prodotti della silvicoltura; gli investimenti legati all'uso del legname come materia prima devono essere limitati alle operazioni precedenti la trasformazione industriale	Acquisto attrezzature e macchinari	Aumento del prelievo reale attraverso il miglioramento delle condizioni di lavoro e maggiore efficienza delle operazioni di taglio	Immediato (dall'acquisto dei macchinari)
Art. 30 Trattino 4	La promozione di nuovi sbocchi per l'uso e la commercializzazione dei prodotti della silvicoltura	Pianificazione delle operazioni acquisto caldate per biomassa		
Art. 31	Sostegno per l'imboschimento delle superfici agricole	Nuova superficie imboschita imboschimenti per la produzione di biomasse ad uso energetico SRF	Aumento del prelievo reale, disponibile e/o potenziale a seconda della finalità dell'impianto	Medio-lungo periodo (6-7 anni dall'impianto)

Tabella 5.3: Interventi compresi nell'art. 31 che prevedono aiuti alla produzione di biomassa a fini energetici in alcune regioni italiane.

Regione	Azione	Descrizione	Beneficiari	Entità Aiuto (Euro)
Emilia Romagna	Specie forestali a rapido accrescimento da utilizzare per la produzione di biomassa.	Costituzione di formazioni forestali a fini produttivi a ciclo breve (1,5 anni), composte da specie a rapido accrescimento costituite esclusivamente da latifoglie ad alta densità (2.200 piante/ha). La superficie investita viene assoggettata a utilizzazione periodica (da 6 a 8 volte), durante il ciclo minimo previsto.	Imprenditori agricoli	4.800 Euro per ettaro per il sostegno ai costi di impianto
Friuli Venezia Giulia	Impianti per produzione di biomassa (pioppo nero, pioppo bianco, salici, ontani, ecc.).	Non ulteriormente specificata	Imprenditori agricoli, singoli o associati Persone fisiche o giuridiche Enti pubblici	L'importo è commisurato ai costi effettivamente sostenuti e non può eccedere il massimale di 5.000 Euro/ha
Lazio	Arboricoltura a ciclo breve per produzione di biomassa	Non ulteriormente specificata	Imprenditori agricoli o associazioni di imprenditori agricoli	2.500 Euro/ha
Lombardia	Impianti con specie arboree per la produzione di biomassa (con ceduzione a turno ravvicinato)	Non ulteriormente specificata	Agricoltori singoli e associati, persone fisiche o giuridiche di diritto privato, Comuni e loro associazioni	5.000 per l'impianto; per manutenzione 620 (1°, 2° anno), 370 (3°, 4°, 5° anno); da 105 a 725 per mancato reddito a seconda del beneficiario e del tipo di terreno Marche creazione di siepi e filari a finalità diversa creazione di filari di alberi a turno breve (5 anni) per autoproduzione di energia con stufe ad alto rendimento (a fiamma inversa) Imprenditori agricoli e associati, Enti pubblici 950 per 300 mq di superficie investita; per manutenzione: 600 Euro nei primi tre anni e 360 Euro per altri due; da 185 a 720 Euro per mancato reddito
Piemonte	Impianti con latifoglie a ciclo breve (inferiore ai 1,5 anni) per la produzione di biomassa	Non ulteriormente specificata	Persone fisiche o giuridiche, enti pubblici	Max 5000 Euro per le spese d'impianto

segue

segue

Regione	Azione	Descrizione	Beneficiari	Entità Aiuto (Euro)
Toscana	Realizzazione di piantagioni su terreni agricoli per produzione di biomasse legnose per la produzione di energia	Pioppicoltura e altri impianti con specie a rapido accrescimento coltivate a breve durata (durata del ciclo produttivo uguale o inferiore a 15 anni). Gli impianti possono essere destinati anche alla produzione di biomasse a scopi energetici.	Imprenditori agricoli a titolo principale e enti pubblici	Tasso di contribuzione all'80% Importi massimi concedibili: contributo alle spese d'impianto 2.500 Euro ad ettaro
Veneto	Arboricoltura da legno	Non ulteriormente specificata	Persone fisiche o giuridiche, enti pubblici	Max 5000 Euro per le spese d'impianto

**Tabella 5.4: Interventi compresi nell'art. 30 che prevedono aiuti allo sviluppo del settore delle biomasse a fini energetici in alcune regioni italiane**

Regione	Azione	Descrizione	Beneficiari	Entità Aiuto (Euro)
Friuli Venezia Giulia	Raccolta, trasformazione e commercializzazione dei prodotti della selvicoltura	Acquisizione di macchinari per l'approvvigionamento ed il conferimento di biomasse forestali a fini energetici	Imprese boschive	La spesa di parte pubblica è il 40% della spesa ammissibile
Lazio	Raccolta, trasformazione e commercializzazione prodotti della selvicoltura	Investimenti materiali volti alla produzione, raccolta, stoccaggio, confezionamento, trasporto e fornitura di biomassa di origine forestale destinata ad impieghi energetici	Le imprese boschive consorzi, cooperative	40% del costo totale dell'investimento
Lombardia	Raccolta, trasformazione e commercializzazione prodotti della selvicoltura	Acquisto di macchine e attrezzature per la produzione di biomassa forestale destinata ad impieghi energetici	Associazione di proprietari, quali i Consorzi forestali Imprese forestali e di prima trasformazione	50% di contributo spesa max 200.000 Euro per investimento
Piemonte	Raccolta, trasformazione e commercializzazione prodotti della selvicoltura	Investimenti a favore delle fasi di raccolta, stoccaggio, lavorazione preliminare, classificazione e commercializzazione dei prodotti forestali ivi comprese le biomasse di diretta origine forestale destinate ad impieghi energetici	Privati e comuni proprietari e loro associazioni, operatori forestali, imprese di prima trasformazione, utilizzatori di legno, altre forme associative	40% della spesa ammissibile, 260.000 per beneficiario

segue

Regione	Azione	Descrizione	Beneficiari	Entità Aiuto (Euro)
Veneto	Progetti di filiera ed ecocertificazione (art. 30, par. 1, quarto trattino)	<p>Interventi culturali straordinari di messa a regime sui cedui abbandonati o sulle fustate in cui non si è proceduto ad attivare le consuete cure culturali attraverso adeguati progetti che coinvolgono i diversi segmenti della filiera bosco-legno, anche al fine di garantire la produzione di biomasse a fini energetici.</p> <p>Investimenti per la promozione all'utilizzo di impianti collettivi per lo sfruttamento delle biomasse forestali ai fini energetici.</p> <p>Progetti di pianificazione, in funzione accessoria agli investimenti previsti ai punti precedenti, per l'approvvigionamento del conferimento del combustibile con possibili risvolti nei confronti della pianificazione forestale. Viene sancito il principio di garantire un equilibrio tra le varie azioni di miglioramento e di incentivazione dell'uso della biomassa a fini energetici.</p>	<p>Il sostegno agli investimenti viene concesso ai privati proprietari di foreste o alle loro associazioni ed ai comuni proprietari di foreste o alle loro associazioni</p>	<p>Contributo pari all'80% della spesa ammessa</p>

Dalla lettura della Tabella 5.3 è evidente come la problematica della produzione di biomassa ad uso energetico sia sentita in modo diverso nelle varie realtà territoriali. Mentre infatti vi sono alcune regioni che descrivono nel dettaglio gli interventi finalizzati a sostenere questo comparto, vi sono casi in cui non vi è alcuna specifica menzione alla destinazione energetica dei prodotti degli impianti. Per quanto riguarda i massimali di spesa le differenze sono dovute alla scelta, effettuata da alcune regioni, di ridurre il massimale per le formazioni a ciclo breve, che almeno in linea teorica, dovrebbero in breve tempo assicurare un certo reddito ai beneficiari. Solo in alcuni casi sono previsti contributi per coprire i costi di manutenzione e il mancato reddito.

Gli interventi previsti dall'art. 30 hanno effetti non tanto sulla produzione di biomassa, quanto sul prelievo, consentendo l'impiego di biomassa disponibile o potenziale.

Tra le misure in cui l'articolo 30 del Regolamento (Tabella 5.4) è suddiviso, le Regioni campione hanno fatto rientrare provvedimenti in cui veniva esplicitamente citato il settore delle biomasse solo nelle due misure: "Raccolta, trasformazione e commercializzazione dei prodotti della selvicoltura" e "Promozione di nuovi sbocchi per l'uso e la commercializzazione dei prodotti della selvicoltura".

Le principali differenze a livello applicativo si riscontrano nelle categorie di beneficiari previste, che in alcune regioni sono solo le imprese boschive, mentre in altre si allargano a ricomprendere anche altre forme di utilizzatori boschivi (consorzi e cooperative). Interessante è il caso del Veneto in cui si è prevista una misura specifica di attivazione dell'intera filiera bosco-energia prevedendo aiuti sia all'utilizzo di superfici forestali abbandonate sia alla pianificazione dell'approvvigionamento. Negli altri casi vengono genericamente previsti dei contributi per l'acquisto di macchinari ed attrezzature per i lavori boschivi, compresi quelli necessari per l'impiego di biomasse a fini energetici. In ogni caso per accedere al contributo, secondo quanto già previsto dal regolamento, le imprese devono dimostrare una sufficiente redditività.

#### **5.4 Tematiche-chiave che condizioneranno gli sviluppi futuri del mercato delle biomasse legnose**

Da quanto riportato nelle pagine precedenti, risulta 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 (contributi alle piantagioni, vincoli ai prelievi, limiti alle emissioni, sostegno dei prezzi di produzione, ecc.). La presenza di notevoli effetti esterni nell'impiego di biomasse, soprattutto di carattere ambientale connessi alla produzione di energia, giustifica la serie di interventi di regolazione pubblica del mercato e consente di spiegare le ragioni della divergenza tra risultati dell'analisi finanziaria e quelli dell'analisi economica<sup>13</sup> nella valutazione della convenienza degli investimenti. Nel prossimo futuro gli sviluppi di mercato delle biomasse forestali saranno condizionati dalle scelte che si verranno a definire in merito a quattro campi di intervento, oltre a quello – evidentemente prioritario – della regolazione dei prezzi delle fonti convenzionali di energia:

- le politiche di conversione di terreni agricoli in piantagioni,
- le politiche di sostegno economico della produzione di energia da biomasse,
- le politiche di informazione,
- le politiche di *green pricing*,
- le politiche di valorizzazione dei cedui.

Avendo già richiamato le iniziative relative alle misure di conversione dei terreni agricoli nel capitolo precedente, è opportuno accennare alle altre quattro politiche che potranno influenzare l'impiego di biomasse legnose a fini energetici.

<sup>13</sup> Nell'Analisi Costi-Benefici l'analisi finanziaria permette di valutare l'investimento ai suoi costi e ricavi a prezzi di mercato, l'analisi economica internalizza gli effetti non di mercato e utilizza - ove necessario - "prezzi ombra" per i fattori produttivi e i prodotti al fine di rappresentare la convenienza pubblica dell'investimento.

Le **politiche di sostegno economico** diretto (incentivi e sgravi fiscali) e indiretto (quote di produzione, prezzi garantiti, ecc.) per la produzione di energia da biomasse legnose a fini energetici si sono caratterizzate per una grande varietà di iniziative, come ricordato nel capitolo precedente. Spesso, tuttavia, tali iniziative non sono riuscite ancora a passare dalla fase di enunciati, obiettivi programmatici, norme-quadro a quella di misure operative. Ad esempio, con il "Decreto Bersani", a partire dal 2002, tutti i produttori e gli importatori di elettricità dovranno immettere in rete un quantitativo di elettricità da fonti rinnovabili pari al 2% dell'energia prodotta o importata nell'anno precedente basata sull'impiego di fonti convenzionali. Per dare maggiore flessibilità alle imprese chiamate al rispetto di questa norma, il decreto prevede la possibilità di commercializzare dei "**certificati verdi**", emessi dal gestore della rete di trasmissione nazionale a favore dei produttori di fonti rinnovabili. Questi saranno quindi in grado di vendere tali certificati alle imprese chiamate al rispetto della quota di produzione del 2% ad un prezzo che, in quanto determinato dalle regole della libera offerta e domanda di mercato, dovrebbe rappresentare quello della maggiore efficienza produttiva. La norma non è, tuttavia, ancora operativa ed è improbabile che le scadenze definite dal Decreto Bersani siano rispettate, visti i non pochi adempimenti che la creazione di un mercato dei "certificati verdi" comporta.

In linea con tali strumenti vanno anche ricordati i **RECS** (*Renewable Energy Certification Systems*), una iniziativa sperimentale per la commercializzazione internazionale dei "certificati verdi" promossa in sede comunitaria, a cui hanno aderito anche alcuni paesi extracomunitari<sup>14</sup>. Tra pochi mesi l'iniziativa passerà dalla fase di *test* a quella operativa con la creazione di un mercato internazionale dei certificati verdi (vd. Figura 5.2). La data di avvio del sistema era prevista al 1.4.2001, ma è stata prorogata.



Figura 5.2: Il marchio dei "certificati verdi" RECS.

Per evitare problemi di *double counting/selling* (in pratica per far sì che ad ogni singola iniziativa di produzione di energia da rinnovabili sia associato un solo certificato e un solo acquirente), verrà istituita l'*Association of Issuing Bodies* come ente di controllo e garanzia e si andranno a costituire servizi di *trader* che si porranno come intermediari tra imprese che fanno uso di rinnovabili e produttori e fornitori di energia elettrica con fonti convenzionali che vogliono offrire ai consumatori finali "certificati verdi". Evidentemente la registrazione all'AIB potrà essere effettuata anche nel caso di auto-consumo di rinnovabili. In assenza delle norme di attuazione del Decreto Bersani, in Italia si potranno solamente esportare certificati verdi ad altri paesi nell'ambito del RECS.

Le **politiche di informazione**, come pure quelle a monte di ricerca e sviluppo, possono fortemente influenzare la domanda di biomasse. La categoria di soggetti economici più sensibile a tale politica è costituita da quegli operatori che non hanno possibilità di accedere immediata-

<sup>14</sup> Nel progetto RECS sono coinvolti Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Irlanda, Italia, Norvegia, Olanda, Spagna, Svezia e, inoltre, Australia, Giappone e Russia.

mente alle informazioni sulle tecnologie disponibili. Nell'ultimo decennio, ad esempio, si assiste ad un lento, spontaneo processo di diffusione di impianti termici su piccola scala<sup>15</sup> alimentati a biomasse, processo motivato dagli alti costi dei combustibili convenzionali e sorretto dalla diffusione di caldaie ad alto rendimento. Di grande importanza per lo sviluppo di questi impianti è l'offerta di informazioni ai potenziali utenti, oltre che evidentemente di incentivi economici, in modo da creare un clima di fiducia e garanzia rispetto agli investimenti da effettuare. C'è, in questo campo, un ritardo notevole che solo negli ultimi anni – grazie anche ad una attiva politica comunitaria nel settore – si tenta di colmare. L'impiego di caldaie con rendimenti termodinamici superiori al 70% ha, infatti, notevolmente ridotto i tempi e i disagi nelle operazioni di alimentazione e manutenzione, innalzando in maniera significativa i margini di convenienza alla sostituzione delle caldaie a combustibili convenzionali, soprattutto per quei nuclei abitativi in aree rurali che possono ricorrere all'autoproduzione di legna da ardere.

In base ad un recente studio sulla filiera basata su filari cedui di platano e caldaie aziendali ad alta resa nella pianura veneta (Serafin e Pettenella, 1999), il *break-even point* che rende l'impianto a biomasse meno conveniente rispetto a quello a combustibili convenzionali (metano) è rappresentato da un costo orario del lavoro pari a 10 Euro o da un costo della legna da ardere alla bocca dell'impianto di 12,4 Euro/quintale, con umidità inferiore al 20%<sup>16</sup>.

Le **politiche di green pricing**: in diversi paesi europei ed extra-europei le tecniche di *green marketing* si vanno diversificando, con la predisposizione di strumenti innovativi anche nel settore delle energie rinnovabili. In Olanda, Regno Unito, Svezia, Canada, Australia, Germania e negli Stati Uniti agli operatori economici è offerta la possibilità di acquistare energia elettrica proveniente (in parte o *in toto*) da fonti rinnovabili, evidentemente con un modesto sovrapprezzo variabile in relazione a diversi fattori. L'offerta viene differenziata in base alla percentuale di fonti rinnovabili sul totale dell'energia elettrica resa disponibile, alla specifica origine dell'energia (eolico, solare, geotermico, biomasse, ecc.) o al grado di "sostenibilità" delle fonti rinnovabili (l'energia da grandi bacini idroelettrici, dalla combustione di torba o da incenerimento di rifiuti non viene considerata sostenibile).

In particolare sono state sviluppate tre modalità di offerta di *green price*: (a) commerciale, collegata all'acquisto di energia elettrica; (b) commerciale, connessa all'acquisto di quote di capacità produttiva e (c) contributiva, finalizzata alla creazione e utilizzazione di un fondo per investimenti ambientali.

Le aziende "verdi", come quelle che si impegnano a programmi di "zero emission" o quelle che aderiscono ai Kyoto club, sono i soggetti preferenziali di tali politiche di offerta, ma nei mercati più avanzati anche i singoli utenti domestici sono interessati alle politiche di *green pricing*.

Quadro 5.1: Siti WEB che presentano informazioni sulle applicazioni dei certificati verdi, del green pricing e degli investimenti compensativi nel settore forestale:

Renewable Energy Certification Scheme	<a href="http://www.recs.org/">http://www.recs.org/</a>
European Renewable Electricity Certificate Trading Project	<a href="http://recert.energyprojects.net">http://recert.energyprojects.net</a>
Green Prices	<a href="http://www.greenprices.com">http://www.greenprices.com</a>
APX	<a href="http://www.apx.com/green_products.htm">http://www.apx.com/green_products.htm</a>
Prototype Carbon Fund	<a href="http://www.prototypecarbonfund.org/">http://www.prototypecarbonfund.org/</a>

Per approfondimenti di queste tematiche si rimanda ai Siti WEB riportati nel Quadro 5.1. Non si deve ritenere che il nostro Paese non sia maturo per iniziative analoghe. Il fatto che il più grande produttore italiano di energia da fonti rinnovabili abbia predisposto e registrato il bollino verde "100% energia verde"<sup>17</sup> e si appresti a vendere energia elettrica esclusiva-

<sup>15</sup> Si fa riferimento agli impianti con potenze al di sotto delle 120 kW/h, destinati prevalentemente ad utenze domestiche e caratterizzati dalla mancanza di sistemi di automazione delle operazioni (carico della legna manuale).

<sup>16</sup> Tali valori tengono conto dei costi di sottrazione dei terreni a coltivazioni agricole intensive necessari per la piantagione dei filari, dei maggiori costi di ammortamento e manutenzione delle caldaie a biomassa ma non contemplano i contributi erogati in base ai Reg. 2078 e 2080/92.

<sup>17</sup> Le imprese che utilizzeranno tale servizio avranno diritto di utilizzare il marchio "100% energia verde" sui propri prodotti commerciali.

mente proveniente da fonti rinnovabili utilizzando i RECS, testimonia che anche l'Italia è un mercato potenziale per queste nuove tecniche di *green marketing*.

Per l'Italia tali strumenti ampliano gli sbocchi di mercato di alcune attività nel sistema foresta-legno: i tagli dei boschi cedui, gli interventi di miglioramento nelle formazioni degradate e quelli di diradamento nelle fustaie, l'impiego degli scarti della prima e seconda lavorazione. Va tenuto in considerazione, tuttavia, che l'energia producibile da biomasse si trova, grazie a questi strumenti, a competere in termini di costi con l'energia producibile da altre fonti rinnovabili e spesso l'utilizzo di altre fonti è più economico.

Le **politiche di valorizzazione dei cedui** sono un *leit motiv* della politica forestale italiana da almeno venti anni<sup>18</sup>, anche se gli strumenti finanziari ed operativi messi in atto nel settore sono stati sempre molto limitati rispetto alla portata dei problemi relativi ai 3,6 milioni di ettari di boschi cedui italiani. Di recente c'è stata una rinascita di interesse per la produzione di legname da cippare o sfibrare per impieghi industriali, soprattutto per la produzione di pannelli truciolari<sup>19</sup>. Analizzando la domanda industriale risulta palese che, in linea teorica, i requisiti qualitativi (relativamente molto bassi) possono essere facilmente soddisfatti dall'offerta interna.

L'interesse recente del settore industriale alla valorizzazione dei cedui è ben testimoniato dal progetto "Restauro del bosco" promosso da Federlegno-Arredo, iniziativa che, con la stipula di convenzioni *ad hoc* con alcune Regioni, dovrebbe concretamente prendere avvio nei prossimi mesi. Rispetto ad ipotesi simili formulate nel passato, l'iniziativa del "Restauro del bosco" ha un elemento di diversità che evidentemente gioca un ruolo importante per il suo successo: l'impatto occupazionale positivo esplicitamente richiamato come motivazione dell'investimento (AAVV, 1998b)<sup>20</sup>.

Come nel caso degli impieghi in grandi impianti energetici, un problema fondamentale è costituito dai costi di taglio ed esbosco e dai volumi richiesti dalle singole industrie. Queste, in assenza di strutture di aggregazione dell'offerta e commercializzazione del legname grezzo, difficilmente hanno convenienza a contattare i singoli proprietari boschivi e a negoziare partite di legname molto contenute. Quanto forti siano questi ostacoli nella commercializzazione del legname dei cedui è ben dimostrato dal fatto che le industrie produttrici di pannelli hanno trovato maggiore convenienza ad organizzare (a spese proprie, e quindi ancor prima dell'attuazione del già citato "Decreto Ronchi" (D.L. 22/97) per il riciclo degli imballaggi) sistemi di raccolta dei sottoprodotti delle industrie del legno e l'importazione di scarti e tondelli dall'estero piuttosto che rivolgersi ai produttori interni di legname grezzo.

<sup>18</sup> Si ricordi l'ampia sperimentazione coordinata dall'Ente nazionale Cellulosa e Carta per l'utilizzazione industriale dei cedui di Borgovalditaro e di altre stazioni agli inizi degli anni '80.

<sup>19</sup> L'impiego per la produzione di paste ad uso cartario e in parte per pannelli MDF è negativamente condizionato dai relativamente alti contenuti di corteccia e/o dalla presenza di specie con caratteristiche indesiderate per le lavorazioni industriali (castagno ricco di tannino).

<sup>20</sup> Probabilmente il momento iniziale di maggior impatto sul grande pubblico dell'iniziativa del "Restauro del bosco" è stato il convegno di Parma del novembre 1997 nel corso del quale il progetto è stato per la prima volta collegato alla creazione "come minimo" di 40.000 nuovi posti di lavoro nel settore forestale (a titolo di confronto si ricordi che l'ultimo Censimento ISTAT del 1990 ha registrato la presenza in Italia di circa 7.000 addetti alle imprese di taglio ed esbosco).



## 6. Il mercato internazionale delle biomasse legnose: un'analisi dei problemi e delle tendenze in corso

In questo capitolo si cercheranno di evidenziare alcuni dei più significativi elementi di cambiamento strutturale del mercato del legno nel medio-lungo periodo, con specifico riferimento al ruolo e alla competitività delle foreste italiane e delle produzioni legnose da foreste seminaturali e da piantagioni. L'analisi viene condotta in quattro momenti, che costituiscono a grandi linee il percorso logico di ogni valutazione dei margini di convenienza degli investimenti: l'evoluzione complessiva della domanda di prodotti legnosi, la risposta del sistema produttivo in termini di capacità di offerta, il conseguente andamento dei prezzi dei prodotti e, nello specifico, il ruolo che i produttori italiani possono avere nel mercato internazionale.

Prima di analizzare l'evoluzione del mercato, è interessante evidenziare lo **stato attuale delle produzioni e dei consumi**. In Europa vengono attualmente prelevati 422 M mc di legname, di cui 83 M mc di legna da ardere (dati ECE/FAO); nelle lavorazioni delle industrie del legno sono prodotti 54 M mc, mentre le fibre legnose riciclate (carta, prodotto legnosi a fine ciclo) sono pari a 33 M mc. La disponibilità complessiva di biomasse, in base a tali dati, è quindi, di 510 M mc.

I valori ricordati nascondono **rilevanti differenze regionali**, come evidenziato nella Tabella 6.1. Confrontando la situazione italiana con quella di altri paesi europei è interessante rilevare i seguenti elementi caratterizzanti:

- i consumi di legna da ardere sono in Italia significativamente aumentati negli anni '90 (+37,4% nel 1999 rispetto alla media nel triennio 1993-95), analogamente a quanto avvenuto in Svizzera, Svezia e Spagna;
- in termini assoluti, l'Italia rappresenta uno dei più grandi utilizzatori di legna ad uso energetico in Europa (è, dopo la Francia, il secondo paese consumatore nel continente);
- la selvicoltura italiana è, ben più che in altri paesi, "de-specializzata" nella produzione di legname, dal momento che i prelievi si concentrano negli assortimenti ad uso energetico, notoriamente quelli a prezzi unitari minori e a minor valore aggiunto;
- in coerenza con quest'ultima considerazione i prelievi di legna da ardere per unità di superficie forestale produttiva sono in Italia in media nettamente superiori rispetto a quelli di altri paesi (1,2 mc/ha/anno rispetto a 0,7 in Francia, 0,9 in Austria e Svizzera, 0,3 in Germania);
- i consumi *pro-capite* sono in Italia (0,13 mc) molto inferiori rispetto a quelli di altri paesi con lunghe tradizioni forestali e che hanno recentemente investito nella valorizzazione della dendro-energia (Austria: 0,37; Finlandia: 0,83; Svezia: 0,68 mc *pro-capite*), ma sostanzialmente in linea con quelli di altri grandi paesi europei (Francia: 0,16; Spagna: 0,08).

Tabella 6.1: Prelievi di legna ad uso combustibile in alcuni paesi occidentali e relativi indicatori di consumo

	Austria	Finlandia	Francia	Germania	Italia	Spagna	Svezia	Svizzera
Prelievi legna uso energetico (media 1993-95)	3156	4119	9800	3795	5147	2338	3800	851
Consumo apparente (media 1993-95)	3421	4150	9500	3790	5306	2402	3808	838
Tasso auto-approvvigionamento	92,3	99,3	103,2	100,1	97,0	97,3	99,8	101,6
Prelievi legna uso energetico (1999)	3095	4112	9800	2571	6925	3338	5900	1000
Consumo apparente (1999)	3201	4243	9600	2559	7292	3288	6028	983
Tasso auto-approvvigionamento	96,7	96,9	102,1	100,5	95,0	101,5	97,9	101,7
variazione 1999-94, prelievi	-1,9	-0,2	0,0	-32,3	34,5	42,8	55,3	17,5
variazione 1999-94, consumo apparente	-6,4	2,2	1,1	-32,5	37,4	36,9	58,3	17,3
Superficie for. e altri terreni boscati (FRA 2000)	3877	22986	16874	11255	9532	25622	28007	1186
Superficie forestale utilizzabile (FRA 2000)	3330	18842	13919	10255	6011	6506	21843	1093
Popolazione	8,6	5,1	58,2	80,4	56,1	39,4	8,8	7,0
Superficie forestale pro-capite	0,45	4,5	0,29	0,14	0,17	0,65	3,17	0,17
Consumi legna ad uso energetico pro-capite	0,37	0,83	0,16	0,03	0,13	0,08	0,68	0,14
Prelievi legna uso energetico/sup. for utilizzabile	0,9	0,2	0,7	0,3	1,2	0,5	0,3	0,9

Fonte: FAO (Yearbook of forest products) ed ECE Timber Committee. Vd. Siti WEB: <http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.pl?subset=forestry> e <http://www.unece.org/trade/timber/welcome.htm>

FRA: Forest Resources Assessment (l'inventario forestale mondiale effettuato dalla FAO nel 2000)

Nota: i dati relativi ai prelievi in Francia al 1999 sono stati stimati in quanto le fonti consultate rendono pubblici solo dati parziali.

## 6.1 L'evoluzione della domanda di prodotti legnosi

Tre aspetti principali possono essere considerati nel tentativo di delineare l'evoluzione della domanda di biomasse a fini energetici: l'andamento dei consumi finali di prodotti a base di legno, i processi di globalizzazione del settore, i processi di sostituzione.

Tutti i recenti studi previsionali di settore riferiti a scala mondiale o a quella europea sono concordi nell'evidenziare una **tendenziale crescita dei consumi finali di prodotti legnosi**, sia per gli impieghi industriali sia per quanto riguarda la domanda di legname ad uso energetico (vd., in particolare, il *Global Forest Products Model – Zhu et al., 1999* – e l'*European Timber Trends and Prospects - ECE/FAO, 1996*)<sup>21</sup>. La crescita dei consumi sarà particolarmente accentuata per i prodotti cartari, per i pannelli e per la legna ad uso energetico, già caratterizzati nei decenni passati da uno sviluppo di uno o due punti percentuali superiore rispetto alla crescita dei consumi di segati, compensati e tranciati (Whiteman *et al.*, 1999).

Per i consumi energetici di biomasse legnose è prevista dall'ECE/FAO (1996) una crescita annua dei consumi europei (entro il *range* di 0,8-1,5% annuo nel periodo 1990-2020), in linea con la crescente disponibilità di materie prime. Tale previsione dovrebbe comportare una crescita dei consumi da 208 M mc del 1990 (residui industriali compresi), a 265-325 M mc nel 2020. La disponibilità di biomasse a fini energetici, come già accennato nel capitolo 1, è positivamente correlata alla disponibilità di residui dalle lavorazioni industriali di segati e di altri prodotti finiti (mobili, infissi, travatura, ecc.), mentre esiste una condizione di competitività con i settori d'utilizzo alternativo e, in particolare, con quelli dei pannelli e delle paste ad uso cartario. In Europa la crescita della domanda nelle filiere dei pannelli e della carta-cartotecnica-editoria è fortemente correlata all'andamento del Prodotto Interno Lordo, per il quale le previsioni nel medio-lungo periodo sono tutte di segno positivo (1,8-2,8% anno fino al 2005; 1,5% dal 2005 al 2020 secondo l'*Economic Commission for Europe*). Lo sviluppo economico avrà, quindi, effetti positivi sulla domanda soprattutto di carta e pannelli (vd. Tabella 6.2).

Tabella 6.2: Crescita dei consumi e della produzione in Europa, 1990-2020 (percentuali di crescita annua)

	Prodotto	cenario "basso"	Scenario "alto"
Consumi	Segati	0,8	1,0
	Pannelli	1,5	1,8
	Carta e cartoni	2,1	2,6
Produzione	Segati	0,9	1,1
	Pannelli	1,3	1,6
	Paste	0,7	0,9
	Carta e cartoni	1,7	2,1

Fonte: ECE/FAO, 1996

Quando si analizzano specifici segmenti di mercato, le previsioni si fanno più incerte e, talvolta, le opinioni degli esperti divergono. Ad esempio tra gli analisti del settore non c'è accordo sull'evoluzione che avrà l'impiego di legname in edilizia rispetto a prodotti concorrenti. Analogamente esistono opinioni opposte sugli effetti che la diffusione dell'informazione in linea avrà sui consumi di carta e quella che il commercio elettronico avrà sui consumi di imballaggi.

I consumi saranno fortemente influenzati dalle modalità di organizzazione delle imprese e dal processo di **globalizzazione dei mercati**. A questo riguardo un aspetto fondamentale è quello della concentrazione e internazionalizzazione delle imprese industriali (Hazley, 2000 – vd. Tabella 6.3), la conseguente integrazione verticale (gestione forestale associata alla trasformazione industriale) e orizzontale delle attività (produzione di paste e carta associata alla produzione di segati).

Il caso recente più noto di internazionalizzazione e integrazione è la creazione del più grande gruppo industriale europeo nel settore a seguito della fusione della Stora svedese con la

<sup>21</sup> Nel Sito WEB <http://www.fao.org/FORESTRY/fon/fons/outlook/default-e.stm> possono essere trovati diversi *link* agli studi previsionali relativi al mercato del legno.

Tabella 6.3: Dati di sintesi su alcuni grandi gruppi industriali nel settore forestale

	Fatturato (M Euro 1998)	Superficie for. (M ha)	Segherie	Addetti	Siti web
International Paper	23.200	3,1*	50	n.d.	<a href="http://www.internationalpaper.com">http://www.internationalpaper.com</a>
Weyerhaeuser	10.300	2,2**	34	35.800	<a href="http://www.weyerhaeuser.com">http://www.weyerhaeuser.com</a>
UPM-Kymmene	8.500	0,9	9	32.000	<a href="http://www.upm-kymmene.com">http://www.upm-kymmene.com</a>
Storenso	6.500	0,9	19***	40.000	<a href="http://www.stora.com">http://www.stora.com</a>
Södra	900	1,7****	6	2500	<a href="http://www.sodra.se">http://www.sodra.se</a>

\* a cui possono essere sommati 0,8 M ha di piantagioni di pino radiata in proprietà in Nuova Zelanda

\*\* a cui vanno sommati 11 M ha in concessione in Canada

\*\*\* con una capacità produttiva di 5 M mc di segati/anno

\*\*\*\* dei membri associati

Enso finlandese. La Storenso possiede 0,9 milioni di ettari di foreste, ha una capacità di lavorazione superiore ai 5 M mc di segati all'anno, ha industrie di produzione di paste nei paesi scandinavi ed iberici (vd. piantagioni di eucalitto in Portogallo e Spagna), trasforma paste in diversi prodotti cartari, gestisce direttamente la rete logistica. Poche grandi imprese multinazionali (oltre alla già citata Storenso, l'International Paper, la Weyerhouse, la Georgia Pacific, la UPM Kymmene, l'AssiDomäin, la Södra Timber, la SCA Timber, la Finnforest, ecc.) operano attualmente in diversi segmenti del mercato del legno realizzando forti sinergie ed economie di gestione. Si pensi alle possibilità date dall'integrazione tra attività di segheria, di produzione di paste, di energia e dalla gestione diretta della rete di trasporto delle materie prime e degli scarti di lavorazione.

La concentrazione industriale tra le industrie delle paste e carte era già un fenomeno evidente negli anni '70 e '80, nel settore dei segati è invece un fenomeno più recente e in grande progressione: nei cinque anni dal 1995 al 2000 i primi dieci gruppi industriali sono passati dal 16% al 24% della produzione europea di segati (Laakso, 2000). Nelle imprese multinazionali il volume medio di tondame lavorato per singolo impianto tende a passare dai livelli medi delle segherie svedesi di 150-250.000 mc/anno (ritenuto non adeguato a coprire al meglio i costi) a quello delle segherie centro-europee di 400-450.000 mc/anno.

Un effetto della globalizzazione dei mercati, che riguarda direttamente l'industria italiana del legno, è quello del trasferimento della capacità produttiva delle imprese nelle realtà territoriali caratterizzate da vantaggi comparati nella produzione e lavorazione dei prodotti legnosi (disponibilità di materie prime e di manodopera a bassi costi). Tale processo sta comportando la de-localizzazione di diverse imprese di prima e seconda lavorazione dei paesi dell'Unione Europea verso paesi dell'Europa orientale prossimi candidati all'entrata nell'Unione Europea (Polonia, Ungheria, Slovenia, Repubblica Ceca) o che sono destinati al successivo round di allargamento (Romania, Bulgaria, Repubbliche Baltiche). E' questo un aspetto che dovrebbe sollevare alcune preoccupazioni tra i responsabili del settore a livello nazionale in quanto condiziona le già labili forme di collegamento tra l'offerta interna di legname grezzo e il settore industriale italiano, riducendo ulteriormente i rapporti di reciproca attivazione, destrutturando un "sistema" produttivo che ha già scarsi legami e sinergie lungo le filiere.

Tale processo è, peraltro, coerente con la tendenza alla liberalizzazione dei mercati, con l'eliminazione delle residue barriere tariffarie, fenomeno ormai molto contenuto, soprattutto nei paesi ad alto tasso di sviluppo economico e nelle diverse aree di libero scambio presenti a livello internazionale (UE, NAFTA, APEC, ASEAN, MERCOSUR, CARICOM, ecc.). In alcuni paesi sviluppati persistono tasse all'importazione solo per compensati e mobili, comunque in genere inferiori al 15% (Bourke e Leitch, 1998).

L'apertura dei mercati, il venir meno delle funzioni di controllo pubblico, la necessità di finanziare il budget statale, l'alto valore di liquidazione di molte foreste sta inducendo una sovrutilizzazione di risorse forestali in molti paesi dell'Europa orientale. Secondo una stima ufficiale (ECE/FAO Timber Committee, 2000) nei paesi europei con economie in transizione tra i 20 e i 30 M mc di legname sono annualmente tagliati in forme illegali. Secondo Morozov (2000), almeno il 20% del legname utilizzato in Russia (circa 22 M mc) è utilizzato in modo completamente illegale o violando in qualche modo le leggi correnti. Rispetto a queste te-

matiche sta crescendo la sensibilità dei consumatori occidentali. A partire dall'incontro di Seattle dell'Organizzazione Mondiale per il Commercio (1999) si osserva, infatti, una crescente azione di contrasto rispetto a politiche che sostengono un mercato non regolato, che consente lo scambio di merci a prezzi che non internalizzano i costi ambientali e sociali della crescita economica.

Infine, un fenomeno da tenere presente per comprendere l'evoluzione del mercato del legno è quello dei **processi di sostituzione**, processi che possono assumere due modalità distinte: le sostituzioni "interne" di prodotti a base di legno tramite altri prodotti ottenuti con fibre vegetali legnose, le sostituzioni "esterne" che interessano altri materiali (alluminio, plastica, ferro, ecc.) in competizione con il legno (Burrows e Sanness, 1998).

I prodotti a base di legno hanno dimostrato in molti impieghi finali di reggere bene la concorrenza di prodotti non legnosi: effetti di sostituzione esterna non macroscopici si sono verificati negli impieghi cartari<sup>22</sup>, nei mobili, negli infissi, nei pavimenti, ecc. Più marcato, non solo nell'Europa mediterranea ma anche nel Nordamerica e nei paesi scandinavi, è stato il processo di sostituzione negli impieghi strutturali in edilizia, fenomeno peraltro non recente. Peraltro, in un mercato evoluto e fortemente competitivo come quello europeo, la rinnovabilità e riciclabilità dei prodotti legnosi rispetto ai sostituti potrebbero allargarne l'area di mercato, soprattutto se si andranno diffondendo strumenti corretti di valutazione degli impatti ambientali quali le tecniche di analisi del Ciclo di Vita dei Prodotti, accompagnati e sostenuti da un maggior sensibilità del pubblico, dei progettisti (vd. bio-architettura, bio-ingegneria, *eco-design*, ecc.) e del settore pubblico (vd. politiche di *public procurement* e di regolamentazione nel settore edilizio, nello smaltimento dei rifiuti, nella produzione di energia, ecc.).

Diverso è il problema della sostituzione interna. I prodotti legnosi sono stati erroneamente ritenuti nel passato prodotti tecnologicamente maturi, caratterizzati da un basso potenziale di innovazione. L'evoluzione recente del settore della lavorazione del legno ha invece dimostrato la possibilità di introdurre grandi innovazioni che valorizzano gli assortimenti di piccolo diametro, gli scarti delle lavorazioni industriali, i prodotti legnosi a fine vita riciclabili: paste ad altro contenuto di macero, *Medium Density Fibreboard*, *Oriented Strand Board*, strutture lamellari e altri prodotti legnosi ingegnerizzati, prodotti compositi legno-plastica, rivestimenti cartacei per la nobilitazione di pannelli, ecc. (ECE/FAO, 1996; Whiteman *et al.*, 1999). I consumi di sostituti interni si stanno sviluppando non solo perché meno costosi (ad esempio: un rivestimento cartaceo al posto di un tranciato), ma anche perché spesso caratterizzati da qualità prestazionali migliori (pavimenti in legno su supporti MDF), rendendo possibile, talvolta, l'allargamento degli impieghi finali del legno in campi di applicazione insperati con i prodotti tradizionali (è il caso delle strutture lamellari). L'Italia, trasformatrice ed esportatrice di prodotti legnosi ad alto valore aggiunto e soprattutto di mobili, ha – più che altri paesi – dimostrato una notevole capacità innovativa nelle tecnologie di sostituzione, stimolata proprio dalla ridotta disponibilità di materie prime e dalla necessità di contenere i costi dell'importazione. Tali innovazioni stanno ampliando l'area di mercato delle produzioni a ciclo breve, e quindi di una certa tipologia di arboricoltura da legno, a danno di quelle delle produzioni da foreste semi-naturali a ciclo lungo. Analogamente si va ampliando la possibilità di trovare forme remunerative di destinazione dei residui delle lavorazioni industriali e dei prodotti finali (per esempio gli imballaggi in legno e carta), proprio mentre a livello di UE si dà attuazione alla norme che impongono l'obbligo del riciclaggio dei rifiuti.

La crescente domanda di prodotti finali a base di legno non solo non si tradurrà, quindi, immediatamente in una domanda di materie prime grezze, ma soprattutto non influenzerà significativamente la domanda di legname di alto pregio proveniente foreste seminaturali, polispecifiche, gestite su turni lunghi, con boschi mai tagliati a raso su grandi estensioni e, quindi, caratterizzati da costi relativamente elevati delle utilizzazioni. L'evoluzione del mercato tende, infatti, a privilegiare il legname di basso costo che proviene da formazioni coetanee, monospecifiche, a turni brevi, altamente meccanizzabili, in altri termini i prodotti di piantagioni per arboricoltura da legno in aree pianeggianti.

---

<sup>22</sup> Le fibre da piante agrarie annuali (per il 46% paglia) sono arrivate a coprire l'8,3% della produzione mondiale di paste, per lo più concentrata in Cina, India e altri paesi del Sud-est asiatico (Bull *et al.*, 1998).

## 6.2 L'evoluzione dell'offerta

I prelievi di legname in Europa dovrebbero crescere dagli attuali 390 M mc a 480 M mc nel 2020 (vd. Tabella 6.4), in parallelo con la crescita dei consumi (vd. Tabella 6.2). Un andamento simile caratterizzerà il mercato mondiale (Zhu *et al.*, 1999), tuttavia il tasso di prelievo in Europa rimarrà intorno al 70% dell'incremento netto annuale, consentendo di arrivare a provvigioni medie di 173 mc/ha nel 2020 e di 197mc/ha nel 2040. Secondo lo studio previsionale dell'ECE/FAO (1996), "nel caso si verificasse una carenza di legname, ad esempio a seguito di una forte crescita dei consumi o per il venir meno della possibilità di importare prodotti da altre parti del mondo, esiste la potenzialità tecnica di espandere in termini significativi l'offerta europea di legname" fino ad un massimo, nel 2020, di 530 M mc (50 M mc sopra il livello massimo stimato dagli studi previsionali), senza ridurre ovviamente la capacità produttiva delle foreste europee.

Tabella 6.4: Previsioni relative all'offerta di biomasse legnose in Europa

	2000	2010	2020
prelievi complessivi di legname	422	452	480
- di cui legname ad uso energetico	83	89	95
- legname ad uso energetico/totale prelievi, %	19,7	19,7	19,8
residui della lavorazione delle industrie del legno	55	64	75
fibre recuperate	34	46	59
Totale offerta di biomasse legnose	511	562	614
- di cui residui e fibre recuperate, %	17,4	19,6	21,8

Fonte: Bull *et al.*, 1998

Anche a livello internazionale, come evidenziato da Whiteman *et al.* (1999, p. 97), la domanda cruciale non va posta per comprendere l'evoluzione futura del mercato non è quindi: "ci sarà abbastanza legno?", ma piuttosto "da dove potrà provenire e chi sarà in grado di competere nel produrlo?" A questo riguardo va ricordato che il 34%<sup>23</sup> dei prelievi di legname a livello mondiale proviene da piantagioni (123,7 M ha – di cui 103,3 a finalità produttiva – pari al 3,5% della superficie forestale mondiale), percentuale molto maggiore rispetto al passato e in continua crescita: secondo lo studio di Sedjo (2001), nel 2050 il 75% dei prelievi proverrà da piantagioni (vd. Tabella 6.5). Benché tali dati siano stime (peraltro autorevoli) gravate da grandi margini di incertezza, è interessante evidenziare che tutti i modelli previsionali predisposti a livello internazionale<sup>24</sup> sottolineano il ruolo crescente che avranno le piantagioni forestali in aree pianeggianti, facilmente meccanizzabili, nel soddisfare la domanda di legname. Secondo quanto affermato da Leslie (2001, p. 6) "l'effetto delle piantagioni molto presto porterà a raggiungere, a livello mondiale, l'equilibrio tra la domanda di legname per uso industriale e l'offerta se non addirittura un surplus dell'offerta stessa".

<sup>23</sup> In effetti altre fonti ufficiali, quali Brown (1999), riportano stime inferiori (22% dell'offerta di legname ad uso industriale e 4% della legna da ardere provenienti da piantagioni sul totale mondiale).

<sup>24</sup> Il *Global Fibre Supply Model* (Bull *et al.*, 1998), oltre ai già citati il *Global Forest Products Model* e l'*European Timber Trends and Prospects*.

Tabella 6.5: I prelievi di legname a livello mondiale per tipo di formazione forestale

	% sul totale dei prelievi	
	2000	2050
Foreste primarie	22	5
Foreste secondarie a gestione irregolare ed estensiva	14	10
Foreste secondarie gestite e ordinariamente utilizzate	30	10
Piantagioni industriali con specie autoctone	24	25
Piantagioni industriali a rapida crescita	10	50

Fonte: Sedjo, 2001

E' opportuno sottolineare che il ruolo crescente delle piantagioni è un fenomeno complementare a quelli della deforestazione nei paesi in via di sviluppo, della disponibilità di terreni agricoli nei paesi occidentali, della messa a riserva delle residue foreste primarie (come sta avvenendo per le foreste della costa occidentale nel Nordamerica), dell'espansione delle aree protette. In base ad una ricerca WCMC-CIFOR (1998), le aree forestali protette<sup>25</sup> erano al 1996 311,3 M ha, pari al 7,8% della superficie forestale mondiale (14,5 M ha in Europa; 8,0% della superficie forestale). La crescita delle superfici forestali protette è stata, negli ultimi anni, dell'ordine del 4% all'anno, pari a 150-200.000 ha/anno (Whiteman et al., 1999).

Quanto le piantagioni forestali siano in grado di cambiare, in termini relativamente brevi, il quadro dell'offerta è ben testimoniato non solo nell'esperienza di alcuni grandi paesi extra-europei (Cina, Cile, Nuova Zelanda, Sud Africa, Argentina, ecc.), ma anche dagli investimenti realizzati in alcune realtà europee (Irlanda, Scozia, Spagna, Portogallo). Peraltro, non va dimenticato che, nei limiti del nostro paese, su 70-80.000 ha di superfici piantati a pioppo si concentra il 42,8% della produzione di legname ad uso industriale (1,8 M mc nel 1999 - dati ISTAT). Anche in termini di piantagioni effettuate, il nostro paese ha dimostrato di recente una insperata capacità di intervento: con il Reg. 2080/92 sono stati piantati oltre 78.000 ha (superfici collaudate), ovvero in media 15.000 ha/anno.

Da ultimo, va segnalato un aspetto di una certa importanza nel cambiamento delle politiche di offerta delle imprese del sistema foresta-legno, aspetto che interesserà, più che gli aspetti quantitativi della produzione, gli aspetti di qualificazione del materiale che sarà reso disponibile. In coerenza con il clima molto più competitivo che caratterizza il mercato del legno, va infatti segnalato il cambiamento in alcune strategie del marketing da parte delle industrie del legno e della grande distribuzione. Il marketing tradizionale era fondamentalmente orientato a fornire prodotti e servizi per soddisfare solamente il cliente diretto. Ora anche le aziende del legno sempre più si preoccupano di informare e coinvolgere tutti gli *stakeholder*, i portatori di interessi che possono essere sensibili alle scelte aziendali ("marketing sociale").

Evidentemente, in una attività economica che interessa direttamente la gestione di ecosistemi semi-naturali, i primi soggetti da tenere in considerazione sono le consumatori "urbani" e le organizzazioni che su questi hanno capacità di informazione e rappresentanza, *in primis* quelle ambientaliste. Va, a questo riguardo, segnalato che, nonostante i fenomeni di urbanizzazione siano relativamente recenti in Italia e i legami tra aree urbane e mondo rurale siano stati particolarmente intensi fino al recente passato, il livello di disinformazione sulle modalità ordinarie di gestione forestale, i relativi impatti ambientali ed economici è, a differenza che in altri paesi (Francia, Austria, Finlandia, ecc.), molto carente.

L'offerta di informazioni sulla corretta forma di gestione delle risorse legnose, sugli impatti ambientali che il processo di trasformazione determina, è diventata peraltro un elemento fondamentale nelle strategie di comunicazione delle aziende e nell'acquisizione di vantaggi competitivi nei mercati più avanzati, dove la domanda di prodotti "verdi" sta aumentando sia tra i consumatori finali, che tra le organizzazioni pubbliche.

E' questo lo scenario che vede lo sviluppo delle tecniche di certificazione forestale, di *eco-la-*

<sup>25</sup> Categorie I-VI in base alla classificazione internazionale della IUCN.

*bellings* dei prodotti legnosi, scenario attualmente in forte evoluzione per la presenza di alcuni schemi internazionali di certificazione<sup>26</sup> e di circa 25 schemi nazionali di certificazione forestale di terza parte. La novità dello strumento della certificazione forestale e la presenza di interessi contrastanti tra proprietari di boschi, organizzazioni ambientaliste, istituzioni pubbliche, imprese industriali e della grande distribuzione non favorisce uno sviluppo coordinato delle iniziative in questo campo e non favorisce una comunicazione chiara tra imprese e consumatori. Bisognerà attendere ancora alcuni anni per vedere come il mercato e le istituzioni che lo governano saranno in grado di selezionare e promuovere gli strumenti più adeguati. Per ora la certificazione forestale ha avuto una rilevanza soprattutto come mezzo di comunicazione e di informazione, come strumento di promozione dell'immagine aziendale, ma non ha avuto un effetto dirompente sul sistema dei prezzi, cioè non si è ancora manifestata sul mercato una evidente disponibilità a pagare un *premium ambientale* per prodotti certificati (ECE/FAO Timber Committee, 2000; Rametsteiner *et al.*, 1998; Whiteman *et al.*, 1999).

### 6.3 L'andamento dei prezzi

In conseguenza del sostanziale equilibrio che viene previsto tra consumi e produzione di legname in Europa e nei paesi di recente industrializzazione, in diverse sedi ufficiali (ECE/FAO, 1996; Morell, 2001; Whiteman *et al.*, 1999) che i **prezzi reali del legname rimarranno stabili**.

Alcuni analisti, forse meno condizionati da considerazioni di opportunità e prudenza, formulano previsioni più pessimistiche. Secondo l'opinione di A. Laakso della più grande impresa di consulenza nel settore forestale a livello europeo (Jaakko Pöyry Consulting di Londra) *"rimane sicura in ogni caso la tendenza verso un aumento dell'offerta interna europea. Sembra comunque evidente dai dati relativi all'ultimo periodo che non esistono i presupposti affinché il consumo dimostri le potenzialità necessarie per seguire da vicino la crescita dell'offerta di segati. Che l'equilibrio di mercato veda prevalere l'aumento dell'offerta è evidenziato, per esempio, dalla costante caduta dei prezzi reali (...) Ci si può chiedere se questo calo sia conseguenza di una fluttuazione oppure costituisca un nuovo trend. E' opinione di chi scrive che si tratti di un nuovo trend"* (Laakso, 2000, p.12).

Valutazioni di medio-lungo periodo sono comunque incerte in quanto formulate sull'analisi di un andamento dei prezzi che nell'ultimo decennio è stato caratterizzato da una notevole instabilità, fenomeno da ricondurre ad eventi che in altri tempi si sarebbero definiti eccezionali ma che ora sembrano quasi assumere un carattere di ordinarietà: l'uragano Vivian nel 1990 e l'uragano Lothar nel 1999; il crollo dell'offerta russa nei primi anni '90; la notevole crescita dei consumi in Europa occidentale alla fine degli anni '90<sup>27</sup>; il significativo sviluppo dell'offerta polacca nella seconda metà degli anni '90; la crisi del mercato balcanico; ecc. E' probabile che questo quadro di instabilità caratterizzi anche il futuro e che, in un mercato sempre più interconnesso e dove operano pochi grandi gruppi industriali, gli effetti di crisi locali o regionali possano essere rapidamente trasmessi ad altri paesi.

### 6.4 Un quadro di sintesi dei problemi e delle potenzialità e per le produzioni di biomasse

Una caratteristica fondamentale delle risorse forestali italiane è la loro destinazione multi-funzionale e la contemporanea capacità di offrire beni commerciali e servizi pubblici, spesso senza prezzo. In altri termini, le risorse forestali sono beni misti, con valenza pubblica e privata: solo una parte dei prodotti e servizi hanno carattere pieno di escludibilità e rivalità nel consumo, sono cioè beni privati per i quali il mercato è in grado di esprimere un prezzo che è misura corretta della domanda e dell'offerta, inducendo tra i proprietari un interesse economico

<sup>26</sup> Attualmente a livello internazionale 85,7 M ha di foreste sono certificati secondo sistemi di parte terza (FSC, PEFC, CSA, SFI, American Tree Farm System); vd. Sito WEB: <http://www.pefc.org/news.htm>

<sup>27</sup> Negli ultimi due anni sono stati registrati volumi mai raggiunti in Europa sia nelle produzioni che nei consumi di legname.

alla gestione delle foreste. Molti servizi sono invece di interesse pubblico e privi di un mercato esplicito (tutela della biodiversità, offerta di aree turistico-ricreative, miglioramento del paesaggio, difesa idrogeologica, regolazione del ciclo dell'acqua, prevenzione dei cambiamenti climatici, ecc.). Le funzioni pubbliche offerte dai boschi, diversamente da quelle private, sono in forte crescita sia nella percezione che nell'esplicita domanda da parte dei consumatori.

Per la presenza di così rilevanti servizi d'interesse pubblico privi di mercato, gli strumenti prevalenti di gestione del settore sono stati fino al recente passato quelli di comando e controllo, per di più – visto il contesto socio-economico in cui tali strumenti sono stati applicati – con scarso ricorso a meccanismi di compensazione ed indennizzo. Tale situazione ha determinato un rapporto particolare tra istituzioni pubbliche di regolamentazione del settore e proprietari, improntato più che su criteri di coordinamento e reciproca collaborazione, sul controllo e la de-responsabilizzazione dei proprietari e, quindi, su una forma implicita di delega delle funzioni e responsabilità gestionali all'apparato amministrativo.

Evidentemente, alla luce delle valutazioni sopra riportate, non sarebbe corretto fare valutazioni molto ottimistiche sulle condizioni di mercato per gli investimenti volti ad aumentare significativamente l'offerta interna di biomasse a fini energetici in Italia. In sintesi possiamo descrivere il mercato del legno, e quello del legname per impieghi energetici in particolare, come un mercato sempre più aperto e competitivo, dove le produzioni specializzate (piantagioni a rapido accrescimento, *short rotation coppices*, arboricoltura da legno) tenderanno a sostituire le foreste semi-naturali nell'offerta di materie prime, entrando in diretta competizione con fonti alternative di biomasse (anche ad uso energetico) provenienti dagli scarti di lavorazione industriale e dal riciclaggio di prodotti finiti. Rimarranno i problemi strutturali dei "ritardi" nella velocità di adeguamento del settore: il mercato tenderà a mutare più rapidamente rispetto a quello delle istituzioni e delle politiche e soprattutto rispetto ai tempi dell'offerta, fortemente condizionata dai ritmi biologici.

Si svilupperà certamente una domanda di legname a prezzi molto contenuti per impieghi di massa. Nell'ampio segmento delle produzioni di assortimenti bassa qualità, probabilmente l'arboricoltura da legno italiana si troverà in notevoli difficoltà nel competere con i fornitori esteri di fibre vergini e con quelli interni di scarti di lavorazione industriale e di prodotti legnosi a fine ciclo di vita. L'alto livello di concentrazione industriale nel settore dei pannelli e delle paste implica la necessità per queste imprese di approvvigionarsi con continuità di quantità molto rilevanti di materie prime. La competizione, ancora prima che sui prezzi, si giocherà sulla capacità di aggregare l'offerta interna e sulla logistica, aspetti che rappresentano dei pesanti vincoli per le produzioni interne di legname grezzo, caratterizzate dalla frammentazione delle imprese.

Le produzioni di legname ad uso energetico tramite sistemi di arboricoltura da legno possono sfuggire a questi problemi dal momento che è ipotizzabile che si sviluppino anche a servizio di piccole e medie utenze, dove le quantità consumate rispondono facilmente alla scala degli investimenti concretamente realizzabili.

Un aspetto importante per l'arboricoltura da legno sarà la sua accettabilità dal punto di vista degli impatti ambientali. Nell'opinione pubblica occidentale l'arboricoltura da legno viene spesso identificata con piantagioni monospecifiche di pino o eucalipto, a turno relativamente breve, tagliate a raso, facilmente esposte ad agenti patogeni. Questa tipologia di piantagioni viene criticata per gli effetti negativi sulla biodiversità, i suoli, la disponibilità di acqua nelle zone a valle, la qualità del paesaggio. L'arboricoltura da legno basata su stretti criteri di tutela ambientale, oltre ad adattarsi al contesto fondiario italiano, rappresenta la corretta risposta alle critiche rivolte alle tecniche di piantagione tradizionali. Il nostro paese potrebbe sviluppare una capacità di produzione specifica in questo campo, rispondendo per primo in termini soddisfacenti al suggerimento proposto in sede internazionale: "la chiave per assicurare nel futuro l'accettabilità delle piantagioni forestali sarà legata alla possibilità che queste siano realizzate in un contesto di ampia sostenibilità (Whiteman *et al.*, 1999, p. 59).

"*Trends are not destiny*": per questo, da ultimo, è opportuno ricordare che il quadro previsionale del mercato delle biomasse a finalità energetica tratteggiato nelle pagine precedenti può essere e, in una certa misura, deve essere modificato e corretto dalle istituzioni pubbliche e dagli operatori economici che hanno a cuore uno sviluppo rispettoso dell'ambiente e socialmente equo. Gli strumenti non mancano: corretti sistemi di informazione del pubblico e di eti-

chettatura dei prodotti che premiano le materie prime rinnovabili, certificazione delle forme di gestione delle aziende forestali, politiche di *green public procurement* che amplino la domanda di prodotti legnosi da parte del settore pubblico, promozione dell'impiego di fonti energetiche rinnovabili tramite strumenti quali i "certificati verdi" o le tecniche di *green pricing* (AAVV, 2001), creazione di mercati per gli investimenti compensativi delle emissioni di carbonio in atmosfera, ecc. Sarà opportuno che anche chi investe nel settore forestale sappia stimolare e trarre beneficio da queste modalità di corretta regolamentazione del mercato.

## 7. Lo stato attuale delle possibili applicazioni di tecnologie di valorizzazione energetica

Per liberare e utilizzare l'energia contenuta nei materiali vegetali sono disponibili diverse tecnologie di conversione: alcune di queste costituiscono applicazioni ormai affidabili, economiche, comode e semplici nell'impiego, suscettibili di essere acquisite a livello sia individuale sia collettivo e industriale; altre, invece, sono ancora in fase di sviluppo, richiedono strutture ad elevata tecnologia e dimensioni industriali per essere economiche, anche se dallo sviluppo di queste ultime dipende un uso esteso in funzione energetica della risorsa biomassa.

Nel caso delle biomasse forestali, caratterizzate, tra le altre cose, da contenuti idrici relativamente bassi, sono utilizzati soprattutto i processi termo-chimici di conversione energetica ("via secca"), mentre gli altri processi riguardano in modo particolare le biomasse agricole, a più alto contenuto d'umidità ("via umida").

Nella prima parte di questo capitolo saranno presentati i trattamenti necessari per accrescere ed uniformare la qualità energetica di materiali legnosi, mentre nella seconda parte saranno descritte le tecnologie di conversione vere e proprie.

### 7.1 Tecniche di condizionamento

I prodotti legnosi potenzialmente utilizzabili per scopi energetici sono caratterizzati da un'estrema eterogeneità per composizione, misura e forma: si passa, infatti, 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 fisico-chimiche del materiale di cui si dispone e del tipo d'impianto che li utilizza. Il fine di queste operazioni è l'ottenimento di un combustibile a più alta qualità energetica e maggiore facilità d'impiego, che renda la dendro-energia il più comparabile possibile agli altri combustibili convenzionali.

#### 7.1.1 L'essiccazione e lo stoccaggio

Successivamente alle fasi taglio, allestimento ed esbosco, la legna non può essere «convenientemente» utilizzata tal quale a causa dell'elevata percentuale d'umidità; questa può assumere valori molto vari e, come detto nel capitolo 2 di questo rapporto, mediamente, in una pianta forestale appena tagliata si aggira intorno al 50%. In queste condizioni gran parte dell'energia contenuta nel legno sarebbe utilizzata per liberare l'acqua contenuta, con ovvie e considerevoli perdite dell'efficienza di conversione energetica.

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; questo, dopo il taglio, è solitamente stoccato in foresta, ai bordi della strada o in prossimità dei luoghi d'utilizzazione, all'aperto oppure al riparo.

Ovviamente la perdita d'umidità porta a un aumento del potere calorifico del legno, che raggiunge il valore più alto con contenuti d'umidità tra il 12 e il 15%. Infatti, un contenuto d'umidità del legno eccessivamente basso porterebbe, nella maggior parte degli impianti di combustione oggi disponibili, a una rapida combustione e i fumi evacuerebbero velocemente, prima di cedere il calore. A questi valori d'umidità corrisponde anche una migliore stabilità del materiale.

In realtà il guadagno non è così macroscopico, se consideriamo che il peso del legno dimi-

nuisce durante l'essiccazione; infatti, se – come è giusto che sia – considerassimo la variazione del potere calorifico sullo stesso volume, il guadagno in termini energetici risulterebbe più contenuto.

D'altra parte, occorre considerare anche che l'essiccazione del legno porta a 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.

### 7.1.2 La cippatura

Per rendere omogenea la composizione dei materiali legnosi si ricorre alla cippatura, un'operazione meccanica che riduce assortimenti legnosi di diversa misura in scaglie di piccole dimensioni (*chips*, da cui il nome).

In questo modo è notevolmente agevolata la movimentazione del materiale e l'alimentazione degli impianti.

La geometria dei *chips* varia con le tecniche di taglio; le dimensioni richieste sono in funzione del tipo di impianto e, soprattutto, del suo sistema di alimentazione: essi hanno una lunghezza che varia da 15 a 50 mm, una larghezza pari a metà e uno spessore pari a 1/5-1/10 della lunghezza (generalmente le dimensioni sono 40x20x3mm); la geometria, la dimensione, la densità sono caratteristiche importanti se i *chips* sono destinati all'industria del legno; l'omogeneità, invece, è il parametro più importante per i *chips* destinati alla combustione: la presenza di *chips* di dimensioni disomogenee provoca spesso fastidiosi bloccaggi dei sistemi d'alimentazione degli impianti automatici di alimentazione. L'omogeneità del materiale può essere ottenuta con la calibratura tramite vagli.

Un tenore di umidità del legno superiore al 40% può causare problemi al funzionamento della cippatrice: dopo il taglio si richiede, pertanto, uno stazionamento del materiale sul posto o ai bordi della strada o in piazzale; in ogni caso l'umidità del legno non deve scendere a valori inferiori al 25%.

Lo stoccaggio dei *chips* pone dei problemi per l'essiccazione, poiché possono intervenire deterioramenti e perdita di materiale a causa dei processi di respirazione e di fermentazione microbiologica, tanto più intensi quanto più è profonda la pila di ammasso, l'umidità del combustibile e la temperatura esterna (gli stessi processi di respirazione e fermentazione, d'altro canto, aumentando la temperatura e favoriscono l'evaporazione dell'acqua contenuta nei *chips*).

Sul mercato italiano esistono delle cippatrici di varia potenza fino a 15 MW, in grado di lavorare legname di varie dimensioni (con capacità di lavoro variabili da qualche tonnellata fino a qualche decina di tonnellate l'ora), sia automotrici sia portate da trattrici agricole (Spinelli, 2003).

Le prime sono in grado di lavorare legname di ogni tipo di specie, fino a un diametro di 30 cm e hanno dei costi elevati di investimento e di esercizio (l'affitto costa circa 150 Euro per un'ora di funzionamento), ma hanno il vantaggio di notevoli capacità di lavoro e basso impiego di manodopera. Le cippatrici portate ai tre punti della trattrice hanno costi d'investimento contenuti e costi di esercizio relativamente bassi, ma richiedono alimentazione manuale e offrono basse capacità di lavoro.

Esse si distinguono per il sistema di taglio: questo può essere a disco o a tamburo. Il primo, in genere usato nelle cippatrici portate di piccole potenze, presenta l'inconveniente di produrre delle code di cippatura che bloccano la vite senza fine dell'impianto di alimentazione delle caldaie, ma in compenso ha costi di investimento ragionevoli, semplicità d'uso, manutenzione relativamente facile, potenze richieste meno elevate. Il secondo sistema di taglio è più diffuso nelle macchine automotrici di potenza più elevata (Resch, 1989; Spinelli, 2003).

### 7.1.3 La densificazione

Ai differenti livelli industriali della filiera-legno sono prodotte ingenti quote di residui legnosi di piccola granulometria (trucioli, segatura, polvere di legno, ecc.) che non trovano una facile utilizzazione e, talvolta, pongono problemi di smaltimento.

La densificazione di questi materiali permette di ottenere un combustibile denso, in forma di cubetti, *pellets* (piccoli cilindri di 8-10 mm di diametro e 20-30 mm di lunghezza) e bricchet-

te (a forma di saponetta o di cilindro con lunghezza tra 50 e 300 mm), utilizzabile all'interno del processo produttivo o vendibili ad altri utilizzatori.

I prodotti densificati sono caratterizzati da elevata densità energetica, stabilità e uniformità delle dimensioni, bassa percentuale d'umidità. Essi, di conseguenza, hanno minori costi di trasporto e una maggiore facilità di immagazzinamento e uso, miglior controllo e maggiore efficienza di combustione.

La densità dei prodotti densificati varia da 0,9 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>, mentre la loro umidità può variare entro *range* molto estesi (generalmente dal 5% al 10%).

Il processo di produzione si articola in tre fasi: stoccaggio e preparazione del materiale, essiccazione, densificazione.

Inizialmente il legno è separato dalle impurità, ridotto in dimensioni più piccole e uniformi e stoccato su piattaforme; da qui è trasportato all'interno di forni di essiccazione, dove l'umidità è ridotta a valori intorno al 10%. Avviene quindi la densificazione del materiale per compressione (pressa a vite o a pistone) o estrusione. Le macchine che lavorano per estrusione riscaldano il materiale, provocando, dopo il raffreddamento, la formazione di una pellicola protettiva di lignina che si oppone ad un ritorno di umidità.

La qualità del prodotto e il costo energetico richiesto (mediamente il 20% dell'energia contenuta nel materiale da densificare) dipendono dalle caratteristiche chimico-fisiche del materiale grezzo e dal tipo di processo impiegato.

In Italia si è verificata una certa difficoltà dei prodotti di conquistare il mercato, prevalentemente a causa degli elevati investimenti di capitale e dei costi di processo.

Infatti per un impianto industriale di pelletizzazione con una capacità lavorativa di 10 t/h, si stima un investimento di capitale complessivo di circa 3 milioni di euro (comprensivo dell'acquisto delle superfici necessarie, delle apparecchiature per la movimentazione, essiccazione, ecc.) e circa 1,5 milioni di euro di spese annuali di esercizio per impianti che producono 160 t/g di *pellets*. Gli investimenti stimati per un impianto di bricchettaggio di 2 t ad ora ammontano a circa 0,8 milioni di Euro.

Speciali impieghi potrebbero aprire ai prodotti densificati spazi di mercato nuovi e interessanti, tra cui gli impieghi per *barbecue* e lettiera per piccoli animali domestici.

#### 7.1.4 Altre tecniche di condizionamento

Tra i prodotti di condizionamento vanno citati il legno torrefatto (una forma energetica intermedia tra il legno e il carbone, con potere calorifico superiore a 5000 kcal/h, ottenuto per trattamento del legno a temperature di circa 300 gradi, più stabile e più omogeneo del materiale di partenza e che crea minori problemi di stoccaggio e trasporto) e la miscela segatura-combustibile.

L'impiego di questi prodotti risponde, tuttavia, piuttosto a esigenze di smaltimento di residui di lavorazione che a necessità di valorizzazione energetica.

## 7.2 I processi di conversione

I processi che consentono di convertire l'energia chimica contenuta nelle biomasse in un'altra forma di energia si possono suddividere in due gruppi: processi termo-chimici e processi bio-chimici.

I primi impiegano le alte temperature per trasformare le biomasse direttamente in energia termica o produrre materiali e composti chimici ricchi di energia. In questo caso il prodotto finale varia in relazione alle condizioni del processo.

I processi biochimici trasformano le biomasse in composti chimici a più alta qualità energetica (principalmente biogas, alcoli e idrogeno) e comprendono la fermentazione aerobica, la fermentazione anaerobica, l'idrolisi acida e l'idrolisi enzimatica.

### 7.2.1 I processi termo-chimici

Gli impianti di conversione termochimica si basano sul processo di combustione, complessa

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  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (prodotti di reazione) e liberare calore. Si tratta, in sintesi, di una serie di reazioni esotermiche, inverse rispetto a quelle che si svolgono durante il processo di fotosintesi.

La combustione a carico dei materiali lignocellulosici risulta estremamente complessa, i cui meccanismi di reazione non sono, peraltro, completamente noti. Essa può, tuttavia, essere omologabile a quella di altri tipi di combustibili la cui reazione d'ossidazione è stata ampiamente investigata.

La combustione comporta, schematicamente, tre stadi (ovviamente all'interno del sito di combustione le tre fasi si sovrappongono), in ognuno dei quali è possibile ipotizzare una varietà pressoché infinita di percorsi una volta avviata la catena delle reazioni:

- **Riscaldamento ed essiccamento del materiale.** In questa fase l'umidità del materiale legnoso è convertita in vapore e la temperatura sale a circa  $200^\circ\text{C}$ . 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, anche se essa, in una certa misura, favorisce la conducibilità termica dall'esterno al centro del combustibile solido (Tillmann, 1981).
- **Distillazione.** Una volta che la temperatura ha raggiunto valori superiori a  $200^\circ\text{C}$  inizia la pirolisi a carico dell'emicellulosa e, successivamente ( $325\text{-}375^\circ\text{C}$ ), della cellulosa; la pirolisi della lignina prende avvio a temperature variabili da  $250^\circ\text{C}$  a  $500^\circ\text{C}$  (Shafizadeh e Chin, 1977). In questa fase assume rilevanza la dimensione del materiale, in quanto da esso dipende la ripartizione percentuale 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 per raggiungere quelle temperature favoriscono la formazione del carbone (Wenzl, 1970). 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  $630^\circ\text{C}$  e formano  $\text{CO}_2$  (Hutre, 1980). 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  $100^\circ\text{C}$ , è depositata come catrame o causa emissione di inquinanti e polveri sottili nell'aria.
- **Reazioni della fase gassosa e reazioni di ossidazione del carbonio.** Con la frammentazione dei prodotti di pirolisi (tramite de-carbossilazione e de-carbonilazione, si dà inizio alla catena di reazioni di quest'ultima fase (Edwards, 1974). 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 carbonio per dare ancora monossido di carbonio.

Una conoscenza più approfondita dei processi che avvengono nel corso della combustione è importante perché, a partire da questa, è possibile la manipolazione del processo, al fine di indirizzarlo nelle direzioni volute, massimizzare l'efficienza termodinamica, diminuire la produzione di inquinanti, ridurre l'usura e i guasti ed aumentare l'affidabilità degli impianti (Vogel, 2003).

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

A. La combustione diretta

Il più antico e conosciuto metodo di conversione energetica è senz'altro rappresentato dalla

combustione diretta, nel corso della quale il combustibile è bruciato in presenza di un eccesso di aria che ne assicura un'ossidazione completa. Diffusamente, la combustione diretta è praticata con le tradizionali installazioni (fornelli, focolari in materiale refrattario, caminetti, stufe, cucine economiche e impianti simili) per bruciare la legna da ardere, la cui efficienza di combustione difficilmente raggiunge il 30% e per i quali non sussistono particolari problemi di tipo tecnico-economico, se non quelli legati alla complessiva convenienza alla realizzazione dell'impianto in alternativa all'utilizzo di caldaie alimentate con combustibili fossili. In questo studio si è ritenuto opportuno tralasciare questo genere d'apparecchiature e soffermarsi, invece, su quelle che si differenziano dai sistemi tradizionali sostanzialmente per la presenza di una camera di combustione e un sistema di convezione.

Nella camera di combustione avviene la prima fase della combustione e il calore prodotto è trasferito dalla fiamma per radiazione alla sezione contenente il fluido utilizzatore; qui avviene la seconda fase della combustione e il calore dei gas caldi è trasferito per convezione al fluido contenuto nei tubi di scambio. In questo modo il calore assorbito può essere trasportato in luoghi diversi da quello di produzione.

Tali impianti sono in grado di raggiungere rendimenti termodinamici elevati, talvolta superiori all'80%, in virtù di una serie di innovazioni tecnologiche introdotte negli ultimi anni e rese possibili, in primo luogo, da più approfondite acquisizioni della dinamica di combustione.

Uno studio condotto agli inizi degli anni '90 (Ciccarese e Pettenella, 1992) aveva censito la presenza in Italia di 66 ditte produttrici di tecnologie di conversione termochimica di biomasse ligno-cellulosiche, differenziate per dimensione, potenza, livello di tecnologia, rendimento termodinamico, affidabilità, costo di installazione e gestione, tipo di materiale che potevano ricevere come combustibile disponibili sul mercato.

Lo studio aveva registrato un settore particolarmente attivo, caratterizzato da un elevato grado di specializzazione sia rispetto al materiale combustibile (producendo esclusivamente caldaie alimentate a legna o a biomasse in genere) sia rispetto alla potenza degli impianti. Infatti 2/3 delle ditte producevano esclusivamente caldaie alimentate a biomasse (o poli-combustibili), sulla base di ricerche da anni volte al miglioramento della propria offerta di mercato, spesso adattata ai bisogni specifici dell'utenza.

Si segnalava, inoltre, la presenza significativa di alcune ditte termotecniche impegnate nel comparto degli impianti di conversione energetica alimentati con combustibili fossili pure interessate a questa particolare fetta di mercato. Si tratta, in genere, di grosse industrie che si avvalgono della tecnologia sviluppata per impianti alimentati con combustibili tradizionali e della rete di commercializzazione per essere presenti anche sul più ristretto mercato delle caldaie alimentate con biomasse.

Tuttora, anche rispetto alla dimensione degli impianti, si registra una specializzazione produttiva: la maggior parte delle aziende, infatti, ha orientato la produzione verso il mercato delle utenze o domestiche o collettive e industriali.

Sviluppatesi prevalentemente a partire dalla crisi energetica della prima metà degli anni settanta, queste industrie hanno affrontato difficoltà di mercato nel periodo di basso prezzo dei combustibili tradizionali e di mancanza di incentivi pubblici all'acquisto di tecnologie facenti uso di biomasse, riducendo via via l'interesse verso questo settore produttivo.

Una classificazione degli impianti di combustione dei materiali ligno-cellulosici appare difficile e opinabile, a causa della estesa e diversificata gamma dei dispositivi prodotti. Un tentativo può essere fatto sulla base della potenza, distinguendo due categorie.

- **Gli impianti di piccole dimensioni** (al di sotto di 100.000 kcal/h), destinati alle utenze domestiche e private. In questa categoria d'impianti, il combustibile legnoso utilizzato è generalmente di provenienza aziendale, di grossa pezzatura (tronchi, ramaglie provenienti dal bosco o da residui di lavorazione di coltivazioni arboree), e gli impianti sono caratterizzati dalla mancanza di sistemi di automazione delle operazioni e da rendimenti più bassi rispetto agli impianti di potenza superiore. L'energia prodotta è prevalentemente usata per il riscaldamento di ambienti residenziali o di lavoro e per la produzione di acqua calda sanitaria;

- **Gli impianti di medie e grandi dimensioni** (al di sopra di 100.000 kcal/h e fino a qualche milione di kcal/h) per usi collettivi e industriali. Si tratta di dispositivi dotati di accorgimenti tecnologici più sofisticati rispetto ai primi, automatismi delle operazioni, maggiore sicurezza, migliore qualità di combustione e rendimenti termodinamici più elevati. Nella maggior parte dei casi sono impianti policombustibili. Le caldaie sono equipaggiate con un bruciatore a combustibile tradizionale (gas, gasolio, ecc.), montato fisso o retrattile, la cui funzione è limitata alla sola accensione e per garantire la temperatura minima di accensione oppure essere completamente alternativo alla combustione del materiale legnoso. L'utenza è rappresentata, tranne dei casi isolati (ma significativi) di consumo di legna prelevata direttamente dai boschi, quasi esclusivamente da industrie di lavorazione del legno e del settore agro-alimentare che dispongono di grosse quantità di scarti, prodotti all'interno dello stesso processo produttivo, o da industrie di altri comparti che possono acquistare il materiale a costo praticamente nullo o appena superiore al prezzo di trasporto. Essi utilizzano polvere di legno, segatura, trucioli, *chips*, cortecce, refili di legno, vinaccioli, farina di vinaccioli, vinaccia essiccata, sansa di olive, gusci di nocciole, lolla di riso, lignite, carbone, scarti di imballaggi o qualsiasi altro materiale lignocellulosico di umidità non eccessivamente alta. L'energia prodotta è utilizzata per la produzione di aria calda, acqua calda, acqua surriscaldata o vapore saturo a bassa pressione per il riscaldamento di ambienti industriali, serre, uffici e abitazioni e servizi tecnologici (presse a piani caldi e tutti quei processi lavorativi che richiedono impiego di acqua calda) e, in qualche caso, per la produzione di elettricità.

Di seguito, saranno descritte le principali caratteristiche delle caldaie disponibili sul mercato, facendo riferimento, in primo luogo, alle dimensioni e alla forma dei dispositivi, alle principali componenti di essi (sistema di alimentazione, camera di combustione, sistema di scambio, estrazione delle ceneri, automazione del funzionamento e controllo dell'emissione dei fumi), stabilendo volta per volta le differenze tra gli impianti di piccole dimensioni a uso privato e quelli di medie e grosse dimensioni a uso collettivo e industriale. Verranno, infine, fatte alcune brevi considerazioni su costi di impianto, manutenzione e garanzie offerte dalle ditte.

#### Dimensioni, forma e caratteristiche delle caldaie

Rispetto alla forma, le caldaie sono, essenzialmente, di due tipi: verticale e orizzontale, a seconda che la caldaia si sviluppi maggiormente in altezza o in profondità.

Gli impianti di piccole potenze sono, nella maggior parte dei casi, di tipo verticale; viceversa, gli impianti di grosse dimensioni sono associati a generatori orizzontali, con sezione cilindrica o rettangolare, anche se non mancano dispositivi di medie e grosse potenze di tipo verticale. Esternamente le caldaie si presentano ricoperte da una pannellatura in lamiera (mantello), spesso con una notevole cura degli aspetti estetici (in particolare nei dispositivi di piccole potenze, a uso domestico); i pannelli, in ferro o acciaio, fissati su un telaio per aumentare la robustezza, sono spesso smontabili, rendendo in tal modo possibile il montaggio della caldaia nel locale destinato all'installazione e una facilità di manutenzione e pulizia.

Il corpo caldaia è in acciaio o ghisa, anche se possono essere impiegati altri materiali per le caldaie ad uso domestico.

La coibentazione, per evitare perdite per irraggiamento, tra caldaia e lamiera, è realizzato con uno o più strati di materiali termoisolanti (lana di roccia, schiuma di polietilene espanso, ecc.), il cui spessore è stabilito da standard ben definiti. Coibentazione e pannellatura contribuiscono ad aumentare il rendimento delle caldaie.

Le dimensioni variano soprattutto in relazione alla potenza dell'impianto: per gli impianti di 50.000 kcal, l'altezza è di circa 1,5-1,7 m, la profondità di 0,6-0,9 m e la larghezza di 0,8-0,9 m; per potenze di circa 1.000.000 kcal/h si hanno 5-8 m di lunghezza, 2-4 m di larghezza, 2-4 m di altezza.

L'altezza della caldaia è importante rispetto al tipo di combustibile che si prevede di utilizza-

re: materiali con umidità superiore al 30% necessitano di una zona di pre-essiccazione e, conseguentemente, una maggiore altezza della caldaia.

### Il sistema di alimentazione

Gli impianti di piccole dimensioni non sono normalmente provvisti di sistemi automatici di alimentazione e richiedono un'alimentazione manuale e discontinua. Il caricamento avviene tramite una porta (o due porte di diametro diverso) di dimensioni tali da consentire a tronchi, tronchetti o ramaglie di essere introdotte nella camera di combustione.

La porta di caricamento è comunemente situata frontalmente o sul lato superiore: in questo secondo caso vi è maggiore facilità di inserimento del combustibile e in quantità superiori. Essendo la porta di carico soggetta a condense acide, dovute alla distillazione di legna con umidità elevata, in alcuni impianti la porta di caricamento è più spessa rispetto al resto della caldaia.

Per la porta si richiede una tenuta stagna, al fine di impedire la fuoriuscita di fumi e perdite passive di calore: a causa di ciò molti impianti sono forniti di una controportina di sicurezza.

L'alimentazione manuale rappresenta un grosso ostacolo alla diffusione di questi dispositivi, in quanto, oltre che costringere gli utenti a un certo numero di carichi giornalieri del combustibile (da 2 a 5 in relazione alla capacità della caldaia e al tipo di combustione), determina anche una perdita cospicua di rendimento e del livello di sicurezza generale dell'impianto. D'altro canto, occorre osservare che pur risolvendo problemi legati alla comodità, economia e sicurezza degli impianti, l'alimentazione meccanica associata a caldaie di potenza limitata aumenta enormemente il costo dell'impianto, fino a raddoppiarlo.

Quando presente, l'alimentazione automatica negli impianti ad uso individuale è affidata, nella quasi totalità dei casi, a una coclea, mossa da un gruppo moto-riduttore a velocità variabile per una regolazione della combustione, o un pistone. E' necessario, allora, disporre di materiale di pezzatura piccola e omogenea, quali *chips*, segatura, trucioli, sansa e materiali simili.

Una soluzione degna di nota è rappresentata da una coclea a passo variabile, posta al di sotto della griglia, che assicura il trasporto del materiale nella fornacella all'interno della caldaia. Al contrario, gli impianti di grossa taglia si servono di sistemi di alimentazione meccanici e continui: questi possono essere a coclea (negli impianti con potenza superiore a 150.000 kcal/h il sistema di alimentazione a coclea è adottato da oltre il 90% delle industrie costruttrici), idraulico, pneumatico, a caduta o per associazione dei precedenti e altri metodi, in relazione al combustibile impiegato e al sistema di combustione.

La scelta dell'automazione è vincolata alle caratteristiche fisico-chimiche del materiale di cui si dispone: l'alimentatore a coclea necessita di materiale sminuzzato (*chips*, trucioli, sansa, vinnaccioli, ecc.) e umidità non superiore al 30%; l'alimentazione per insufflaggio richiede materiale polverulento e umidità non superiore al 15%.

Una soluzione intermedia tra quella dei sistemi manuale e automatico, che potremmo definire meccanizzata, è rappresentata dall'alimentazione che si serve di paranchi, macchine semoventi, ecc. Questi consentono di meccanizzare il caricamento del materiale legnoso di media o grossa pezzatura, svincolandosi dalla necessità di dotarsi di impianti di condizionamento del materiale e utilizzando, pertanto, materiale di qualsiasi pezzatura.

Gli impianti dotati di alimentazione meccanica consentono di raggiungere rendimenti anche superiori all'80% e, in genere, sono dotati di un sistema elettronico di regolazione dell'alimentazione della caldaia, in grado di gestire parallelamente i sistemi di sicurezza antincendio. Negli impianti provvisti di alimentazione a coclea delle valvole di sicurezza, aperte solo per il passaggio del materiale dalla coclea al focolare, assicurano che non si verificino ritorni di fiamma nella tramoggia contenente il materiale combustibile.

I generatori con sistema di combustione a griglia, provvisti di alimentazione automatica, sono provvisti anche di un'ampia porta anteriore di caricamento manuale di pezzame e scarti di legno, con griglia inclinata.

La tramoggia di alimentazione è chiusa e separata dal sistema di caricamento per mezzo di una valvola che è aperta solo per il riempimento della tramoggia, al fine di prevenire ingressi di aria falsa che ridurrebbero l'efficienza globale di combustione.

### La camera di combustione

La camera di combustione rappresenta la zona in cui avviene la combustione primaria del combustibile. Essa è situata nella parte alta del corpo caldaia ed è in materiale refrattario (prevalentemente in ghisa o acciaio); alcune industrie costruttrici non forniscono le caldaie già corredate di materiale refrattario, per cui necessitano, nella zona dove si sviluppa la combustione, di una schermatura, per esempio, con tavole di materiale refrattario.

Negli impianti di bassa potenza che utilizzano materiale di grossa pezzatura la sezione della caldaia, solitamente quadrangolare, presenta, in qualche soluzione, le pareti divergenti verso il basso, in modo da impedire che pezzi di legno di grosse dimensioni possano bloccare l'alimentazione del focolare.

La camera di combustione varia in relazione al sistema di combustione impiegato, che può essere sostanzialmente di tre tipi: a griglia, a letto fluido, in sospensione.

#### B. La combustione a griglia

È il sistema di combustione certamente più diffuso, adottato sia negli impianti di basse sia di alte potenze. L'elemento principale è rappresentato dalla griglia: posta sul fondo della camera di combustione, la sua funzione principale è quella di separare la camera di combustione dal cenerario in cui si raccoglie la cenere; essa è costituita da barre in acciaio (soprattutto al cromo-nichel) o ghisa, piene di aria o acqua, fisse o smontabili; in alcuni casi, per facilitare le operazioni di pulizia e sostituzione, la griglia è costituita da elementi singoli interscambiabili. La griglia, impiegata in impianti ad alimentazione sia continua sia discontinua, è piana negli impianti di piccola potenza, fissa o, in alcuni casi, dotata di mobilità manuale per scuotere la cenere; essa è composta da elementi modulari, vuoti o riempiti d'acqua. Un particolare sistema prevede una serie di coltelli mobili (azionati da un motoriduttore accoppiato ad un sistema biella-manovella e con cilindri pneumatici o oleodinamici) che, penetrando ad intervalli regolari nella massa del combustibile cippato o ridotto a granulometria fine, con movimento lineare-rotativo, impedisce l'agglomerazione e favorisce la corretta permeabilità all'aria: in questo modo si ottiene una migliore combustione primaria e una riduzione delle perdite di materiale fra le ceneri.

La griglia inclinata, spesso in combinazione con una griglia piana, è installata in impianti di grosse dimensioni e consente di utilizzare materiale con umidità fino al 60%. Con essa, infatti, il combustibile entra dalla sommità della grata e subisce un'essiccazione man mano che scivola negli strati più bassi, finché la combustione non interviene. I tubi della griglia sistemati obliquamente favoriscono la circolazione dell'acqua allocata internamente.

Le griglie mobili, concepite inizialmente per impianti di incenerimento o centrali termoelettriche, assicurano la combustione completa del legname con lo spostamento del combustibile dalla parte alta al fondo della griglia. Ciò avviene grazie alla presenza di barre alternativamente fisse e mobili, funzionanti con movimento alternativo e azionate da dispositivi meccanici, pneumatici o idraulici. Nel complesso gli impianti che adottano questi sistemi di combustione si caratterizzano per la possibilità di utilizzare combustibili con elevata umidità e disomogenei; di fornire una buona qualità di combustione grazie all'avanzamento continuo e controllato del combustibile, a una buona aerazione del letto di combustione e alla mancata formazione di agglomerazione dello stesso.

La combustione a griglia, nel caso di materiale di piccola granulometria, comprende la combustione a pila (in cui il combustibile è introdotto dall'alto nella fornace a formare una pila conica sulla grata), *spreader-stoker*, in cui il sistema di alimentazione, a coclea, posto sopra la griglia forma un sottile strato di *chips*.

Inoltre, in relazione alla modalità di immissione dell'aria primaria di combustione, vi può essere una combustione montante, orizzontale o inversa. Mentre nel primo caso, di gran lunga il più diffuso, l'aria primaria investe la griglia dal basso, passa attraverso la legna e ne determina la combustione, nella combustione orizzontale la legna viene investita lateralmente. La combustione "a fiamma inversa" è senz'altro il sistema di combustione più interessante per gli impianti ad uso domestico: adottato ormai da diverse case produttrici, la fiamma, a differenza dei metodi tradizionali, si sviluppa verso il basso, essendo alimentata da un flusso d'aria

(prodotto da un elettro-ventilatore) opportunamente incanalato in direzione verticale discendente. In questo caso la funzione della griglia, oltre a quella descritta in precedenza, è anche quella di separare la camera (superiore) in cui è allocato il combustibile dalla camera di combustione vera e propria (inferiore) in cui il gas viene bruciato attraverso la griglia. I vantaggi che ne derivano sono la mancata formazione di catrame sulle pareti della camera superiore, minor rischi di surriscaldamento della griglia ed un effettivo aumento del rendimento.

Le ditte produttrici sostengono che le caldaie con questo sistema di combustione raggiungono rendimenti termodinamici prossimi al 90%. Ciò è dovuto, innanzi tutto, 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.

Alcuni impianti con potenza di alcuni milioni di kcal/h hanno la possibilità di utilizzare sia materiale di piccola pezzatura, introdotto nella camera di combustione per insufflaggio o tramite coclea, sia scarti di differente forma e dimensione, grazie alla presenza di un avanforno interrato e dotato di grande portellone per il caricamento manuale.

Nel caso di alimentazione a coclea, la griglia è situata su un basamento metallico o in muratura, rivestito da refrattari; quest'ultimo ha, pertanto, la duplice funzione di supporto alla caldaia e vano di raccolta delle ceneri.

Le caldaie policombustibili, funzionanti alternativamente o simultaneamente a legna e combustibili fossili posseggono due focolari distinti ed indipendenti e il passaggio da una forma di combustione a un'altra è affidato a meccanismi automatici. La portina del bruciatore dei combustibili fossili è, in genere, situata lateralmente rispetto al frontale dei solidi.

#### C. La combustione a letto fluido

Per gli impianti di grossa taglia, la necessità di utilizzare combustibili legnosi di caratteristiche fisiche e chimiche molto diversificate, in impianti alimentati in continuo, ha permesso di sviluppare soluzioni alternative alla combustione a griglia. Nella combustione a letto fluido, un flusso di gas e sabbia calda proveniente dal basso della caldaia investe i *chips* di legno che subiscono rapidamente il processo di ossidazione

Un flusso d'aria dal basso verso l'alto mantiene in costante movimento un letto di sabbia (o di altro materiale inerte, siliceo), la cui funzione è quella di mantenere una temperatura uniforme all'interno dell'impianto. Inoltre, quando il combustibile, giunto in un ambiente a temperature elevate (900-1000°C), subisce rapidamente il processo di pirolisi, la sabbia esercita un'azione di mescolio continuo e di abrasione sulle particelle legnose (necessariamente di diametro inferiore a 10 mm), col risultato che le superfici esterne combuste vengono continuamente rimosse ed il materiale incombusto viene esposto a ossidazione (Hos *et al.*, 1980; Hos e Groeneveld, 1987). Un ciclone provvede, poi, a separare la sabbia e altre particelle carboniose non gasificate dal gas in uscita. Tale sistema ha il vantaggio di una gasificazione più efficace, maggiore flessibilità rispetto al tipo di combustibile, possibilità di essere impiegato per impianti di grande scala e, data l'elevata temperatura dei gas in uscita, risulta bassa la quantità di composti condensabili e corrosivi.

Si tratta d'una tecnica di combustione in grado di usare combustibili variegati: umidi, secchi, ricchi di ceneri e di composti inorganici inquinanti. Rispetto alla combustione su griglia, presenta il vantaggio di una migliore qualità di combustione: le alte temperature che si raggiungono (900-1000°C) riducono le ceneri allo stato polverulento e limitano gli ossidi d'azoto a valori inconsistenti (Hakkila, 1989). Gli inconvenienti sono legati ai problemi di corrosione delle pareti dello scambiatore di calore e ad una mancanza di modulazione di potenza che non permette usi di potenza limitata.

#### D. La combustione in sospensione

Questa particolare forma di combustione richiede combustibile legnoso a fine granulometria (polverino di legno o, al massimo, segatura) e praticamente secco e una quantità di aria di combustione in forte eccesso. Il combustibile è iniettato, a grande velocità tramite azionamento pneumatico o per gravità, nella camera di combustione, dove, incontrando tempera-

ture considerevoli (circa 1000°C), si riscalda e si infiamma; le impurità si posano, quindi, sul fondo della griglia o fondono.

In questo caso la griglia, unica e piana oppure abbinata a una griglia obliqua, è alloggiata all'interno della caldaia, generalmente composta da elementi modulari di ghisa appoggiati sui tubi percorsi dall'acqua di caldaia.

Il calore che si sviluppa è utilizzato per particolari processi industriali (essiccazione del legname da opera, cottura di mattoni, ecc.) e, comunque, le applicazioni sono concepibili solo per utenze industriali che dispongono di materiale combustibile a basso prezzo o, addirittura, nullo (industrie di prima e seconda trasformazione del legno) e dimensionabili a seconda delle specifiche necessità delle utenze.

Questa tecnica presenta il vantaggio di utilizzare combustibili di qualità scadente o ricchi di contaminanti (anche se ciò comporta formazione di NO<sub>x</sub> nei fumi nel caso in cui si usano materiali ricchi di azoto) e il problema di onerosi costi di pre-trattamento.

Negli impianti dotati di questo sistema di combustione è spesso incorporata una griglia che permette la combustione di scarti o altro materiale di granulometria grossolana.

Quasi tutti questi impianti, inoltre, sono provvisti di un bruciatore a nafta o metano, per coprire le insufficienze del materiale legnoso e per funzionare, comunque, come bruciatore pilota nella fase d'accensione.

L'aria secondaria è introdotta in controcorrente allo scopo di ottimizzare la miscelazione con i prodotti della combustione.

Un'altra variante è rappresentata dalla forma a sezione circolare o rettangolare: la prima presenta il vantaggio di una minore superficie esposta (minore ingombro e maggiore isolamento), a parità di potenza fornita.

#### E. I metodi di scambio

La combustione diretta delle biomasse ligno-cellulosiche consente di produrre calore e/o vapore. Per disporre dell'energia prodotta in luoghi diversi da quelli di produzione è necessario affidarla a un fluido utilizzatore. Per questo scopo si sfrutta il sistema di trasferimento per conduzione (anche se una parte del calore si trasmette per irraggiamento), con metodi identici a quelli usati dalle caldaie alimentate con combustibili fossili: a tubi di fumo, a tubi d'acqua, a fluido diatermico.

Il banco di scambio risulta formato da tubi d'acciaio, orizzontali, inclinati o verticali, mandrinati (danno il vantaggio di una più facile sostituzione) o saldati (per potenze superiori) alle piastre tubiere, a un solo giro o due e più giri, in relazione alla potenza della caldaia; esso è collocato nella parte superiore del corpo caldaia, sopra la camera di combustione o disposto in corona circolare.

Gli impianti *dual-fuel*, in grado, cioè, di bruciare combustibili legnosi e fossili posseggono circuiti di scambio unici per i due tipi di combustione oppure dispongono di camere, camini e sistemi di scambio separati, con caratteristiche superfici ad elevata turbolenza per diminuire la velocità dei gas prodotti dai combustibili tradizionali; ampie sezioni e pareti lisce per aumentare la turbolenza e limitare gli inevitabili depositi provenienti dalla combustione della legna. Il sistema di scambio a tubi di fumo è il più frequente in tutti i gruppi di potenza.

I tubi in cui la miscela dei gas combusti si incanala, disposti verticalmente o orizzontalmente alla caldaia, sono a sezione circolare (più frequentemente) o di tipo differente. Una soluzione particolare di percorso dei fumi è costituito dall'unione di due profili sagomati, saldati al cielo del focolare, in cui il percorso dei fumi risulta completamente staccato dalle pareti bagnate. Ciò permette di elevare la temperatura delle facce rivolte verso i fumi e quindi di evitare la formazione di condensa e l'imbrattamento da catrame, con conseguenti vantaggi per l'efficienza dei fumi e, in generale, del rendimento.

I tubi ad acqua o a olio diatermico, scarsamente adottati negli impianti a uso familiare, sono invece abbastanza frequenti negli impianti industriali.

Un necessario requisito della batteria di scambio è quello che sia facilmente ispezionabile in ogni componente per facilitare le operazioni di pulizia; infatti, i fasci tubieri, soggetti a depositi di fuliggine e altre impurità, richiedono una frequente pulizia per mantenere elevata

l'efficienza di combustione. Una soluzione è rappresentata dalla possibilità che essa sia apribile su cardini. I tubi di fumo verticali favoriscono l'autopulizia dei tubi.

La ricerca dell'industria italiana sul gruppo di scambio è orientata verso il mantenimento di una costante velocità dei gas di combustione, l'uniforme scambio termico dei tubi, la possibilità di accedere al fascio tubiero con facilità per permetterne l'ispezione e la pulizia e sulle tecniche di saldatura.

Nel sistema di scambio a tubi di fumo, un altro inconveniente è legato alla formazione di condensa e corrosione acida dei tubi, dovuto alla temperatura bassa dei gas in uscita (la temperatura non dovrebbe scendere al di sotto di 160°C). Per risolvere tale problema, nelle batterie a tubi di fumo sono stati inseriti dei turbolatori elicoidali all'interno dei tubi allo scopo di creare turbolenza e obbligare i fumi a percorrere velocemente ed elicoidalmente la superficie interna dei tubi, attivando lo scambio termico con il fluido da riscaldare e sottraendo ulteriormente energia al fumo.

Il sistema di scambio a tubi d'acqua è adottato sia negli impianti domestici sia in quelli industriali; per via del costo del fluido, lo scambio a tubi d'olio è il meno diffuso dei tre sistemi: esso viene impiegato prevalentemente negli impianti di dimensioni industriali.

### L'estrazione delle ceneri

Le ceneri rappresentano i residui solidi 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 si ricorre ad un cassetto, posto al di sotto della griglia, estraibile, che raccoglie le ceneri prodotte e da qui rimosse manualmente.

Gli impianti che utilizzano grosse quantità di materiale, spesso disomogeneo e di basso valore combustibile, producono ingenti quantità di ceneri, tali da richiedere meccanismi automatici di rimozione. Tra questi la forma più frequente è costituita da griglie ribaltabili, disposte all'estremità della griglia di combustione, che scaricano ad intervalli regolari le ceneri in un vano di raccolta, da cui sono evacuate tramite una coclea.

### Gli automatismi del funzionamento

Un quadro di comando, posto sul pannello anteriore o superiore della caldaia, raggruppa la strumentazione necessaria per il funzionamento, la sicurezza e il controllo della caldaia. È evidente che il tipo e il numero di strumenti varia con il grado di automazione di ogni singolo dispositivo; più comunemente essi sono rappresentati da termometro e termostati di funzionamento (arrestano il funzionamento una volta raggiunta la temperatura voluta), da strumentazioni anticondensa (impediscono al circolatore di avviarsi prima che la caldaia abbia raggiunto una certa temperatura), da segnalatori di mancanza combustibile (che impedisce al ventilatore di girare a vuoto), da micro-interruttore di sicurezza (che interrompe il ventilatore quando si apre la porta di caricamento e lo riaccende automaticamente), idrometro, alloggiamento per l'eventuale termoregolazione automatica (regolatore di tiraggio, ventola per immissione di aria secondaria automatica, interruttore di commutazione solidi/liquidi, interruttore generale ed altra strumentazione che varia in relazione alle caratteristiche della caldaia).

La regolazione della temperatura e del funzionamento dei dispositivi di piccola taglia avviene agendo sulla quantità di aria primaria e secondaria di combustione. Le operazioni possono essere effettuate manualmente (tramite un regolatore di tiraggio termostatico che agisce sull'apertura della portina inferiore, posta sotto la griglia) o automaticamente, mediante un elettroregolatore. Lo stesso tiraggio può essere forzato, utilizzando un gruppo moto-ventilante e, in alcuni casi, l'aria per la combustione secondaria è in controcorrente al fine di ottimizzare la miscelazione con i prodotti della combustione.

### Rendimento e consumi

I rendimenti degli impianti di combustione variano entro limiti abbastanza ampi. I piccoli dispositivi, ad alimentazione manuale e discontinua, come detto in precedenza, posseggono

rendimenti non elevati (anche inferiori al 50%), anche se alcuni di loro, con alcune soluzioni tecniche innovative relative alla combustione o alla fase di scambio, raggiungono rendimenti anche superiori al 70%. Gli impianti automatici raggiungono invece valori più elevati e, in qualche caso, prossimi a quelli raggiunti da caldaie alimentate con combustibili fossili (superiori all'80%).

Il consumo di materiale varia, ovviamente, in funzione della potenza erogata, del rendimento della caldaia e, inoltre, in relazione alle caratteristiche fisiche e chimiche del materiale. Tenendo conto che il potere calorifico di un chilogrammo di legna con umidità del 30% si aggira intorno a 3.000 kcal, orientativamente si può calcolare un consumo orario di circa 23 kg di legna con la stessa umidità per alimentare una caldaia di 35.000 kcal con rendimento del 50%; di 160-170 kg per impianti automatici a cippato con potenze di circa 350.000 kcal/h e rendimenti del 70%, di 1350-1400 kg per impianti automatici ad alto rendimento e con potenza di 3.500.000 kcal/h.

### L'emissione dei fumi

Nella pratica lo svolgimento dei processi di combustione del legno non avviene mai nelle condizioni teoriche e ideali. Per effetto di una combustione non completa si ha la formazione di centinaia di composti diversi, liberati nell'ambiente sotto forma solida (particolato), liquida e gassosa (aerosol). Di questi il gruppo degli idrocarburi (soprattutto gli idrocarburi poliaromatici, quali il benzopirene), la formaldeide, il particolato respirabile, il monossido di carbonio, gli ossidi di azoto, e, talvolta, l'anidride solforosa, sono i composti che destano le preoccupazioni maggiori di ordine sanitario.

Il problema delle emissioni si pone con più evidenza quando, non rispettando la normativa in materia, sono usati sottoprodotti di processi di trasformazione in cui i prodotti sono stati trattati, impregnati o incollati con particolari prodotti chimici.

Negli impianti domestici l'emissione dei fumi avviene attraverso la canna fumaria, in cui la corretta installazione e il giusto dimensionamento sono importanti per lo stesso funzionamento dello stesso impianto; infatti se non è eseguita con gli opportuni criteri, si possono avere disfunzioni nel bruciatore, amplificazione dei rumori, formazione di fuliggine, condensazioni, incrostazioni.

I grossi impianti di conversione termochimica dei prodotti lignocellulosici, a causa di quanto detto in precedenza e per effetto delle grandi quantità di combustibile impiegato, devono essere dotati di aspiratori dei fumi e di filtri allo scopo di contenere entro i limiti fissati dalle normative specifiche i valori delle emissioni.

Per quanto riguarda l'emissione in atmosfera di particolati solidi, i sistemi inerziali (ciclone e multicyclone) sono normalmente sufficienti a ridurre drasticamente la concentrazione nei fumi. In alcuni impianti l'efficienza del ciclone viene mantenuta invariata al variare del carico per mezzo di un sistema di ricircolazione dei fumi sul ciclone stesso per mantenere costante la portata. Alcune ditte forniscono dei generatori provvisti di un sistema che fa ritornare in circolo gli incombusti recuperati. Sperimentalmente, in alcuni impianti sono stati installati dispositivi catalitici all'interno della camera di combustione.

Lo scarico delle polveri raccolte dal ciclone avviene manualmente o automaticamente a mezzo di sistemi elettromeccanici dimensionati in funzione delle esigenze dell'installazione.

### Costi di impianto

Rispetto agli impianti alimentati a combustibili fossili, a parità di potenza, gli impianti a legna hanno costi più elevati di investimento e manutenzione, a causa del costo più elevato della caldaia e delle spese necessarie per l'acquisto delle attrezzature annesse. A titolo orientativo, per un impianto di combustione diretta di potenza media, fornito delle attrezzature accessorie, possiamo considerare un costo medio di circa 120.000 Euro per kW di potenza termica prodotta, dove circa il 70% dei costi di investimento è assorbito dalle attrezzature, il 20% per l'installazione e le costruzioni accessorie, il 3% per la progettazione, il restante 7% per altri scopi.

### Manutenzione

La manutenzione ordinaria consiste essenzialmente nell'asportare le ceneri depositate sul focolare o nel cassetto sottostante la griglia. La manutenzione straordinaria consiste nel pulire i tubi di scambio (con apposite spazzole), nell'asportare ceneri e residui depositati nella camera fumi, nell'asportare le incrostazioni o il catrame dalla camera di combustione e dalle superfici lambite dalle fiamme.

### Garanzia

Le industrie produttrici di tecnologie di combustione diretta della legna forniscono un certificato di garanzia in cui viene assicurato il funzionamento per un periodo da 3 a 5 anni (ad esclusione delle componenti elettriche), in relazione al tipo di combustibile impiegato. Quando la caldaia viene alimentata con trucioli o *chips*, ad esempio, le ditte non forniscono un periodo di garanzia predeterminato.

### Costi e convenienze

Un calcolo puramente monetario non è sufficiente per motivare la scelta di impiegare il legno per finalità energetiche. Infatti il suo uso è legato, come nel caso della miriade di forni, camini, cucine, *barbecue*, a una serie di funzioni e vantaggi che gli altri combustibili non hanno: il legno brucia producendo luce e odori piacevoli, non genera composti di zolfo e cloro, non presenta rischi di esplosione, è stoccabile a lungo, può produrre calore a bassa temperatura, può essere usato per la cottura dei cibi, richiede tecnologia relativamente semplice, è rinnovabile e permette la produzione di un'energia locale decentralizzata.

È evidente che per impieghi che potremmo definire di piacere, "elitari", snobistici e di moda, il prezzo della caloria non è il criterio principale della scelta e, pertanto, non è logico impostare dei calcoli di convenienza economica del legno in rapporto alle altre forme di energia.

Quando, invece, il legno ha solo finalità energetiche e deve essere acquistato dagli utilizzatori allo stesso titolo di un combustibile tradizionale bisogna effettuare delle valutazioni monetarie, in rapporto agli altri combustibili alternativi; sarà necessario, in questo caso, considerare non solo il prezzo del combustibile, ma anche il suo tenore d'umidità, il rendimento della caldaia, il prezzo d'acquisto, la durata e le spese di manutenzione della caldaia e degli altri componenti dell'impianto.

A questo proposito va sottolineato che, rispetto agli impianti alimentati a gasolio o a gas, a parità di potenza, gli impianti a legna hanno costi più elevati di investimento e manutenzione, a causa del costo più elevato della caldaia e delle spese necessarie per l'acquisto delle attrezzature annesse. A titolo orientativo, per un impianto di combustione diretta di potenza media, fornito delle attrezzature accessorie, possiamo considerare un costo medio di circa 80 euro per kW di potenza termica prodotta, dove si calcola che circa il 70% dei costi di investimento è assorbito dalle attrezzature, il 20% per l'installazione e le costruzioni accessorie, il 3% per la progettazione, il restante 7% per altri scopi.

Un ostacolo alla diffusione degli impianti di combustione alimentati a legna è rappresentato dall'alimentazione, in quanto questi richiedono interventi giornalieri a causa della ridotta autonomia, maggiore impegno di manutenzione ordinaria e straordinaria per il controllo dell'efficienza degli automatismi, pulizia delle diverse componenti dell'impianto, estrazione delle ceneri e, infine, in quanto pongono problemi di pericolosità degli impianti (Riva, 1988). Appare, pertanto, evidente che l'automazione dell'alimentazione degli impianti risolverebbe notevoli problemi di economia e sicurezza degli impianti; occorre, però, rilevare che l'alimentazione meccanica associata a caldaie di potenza limitata aumenta enormemente il costo dell'impianto, fino a raddoppiarlo.

In generale, si può affermare che tanto più è avanzata l'automazione, tanto più è elevato il costo degli impianti e minori i costi di alimentazione.

Questi costi di investimento più elevati non sono, tra l'altro, compensati da più convenienti prezzi del combustibile-legno rispetto ai combustibili tradizionali. Infatti, il prezzo del com-

bustibile-legno risulta anelastico rispetto alla variazione del prezzo del petrolio e dei combustibili fossili. E ciò è dovuto a due motivi sostanziali: la rigidità dei costi di utilizzazione e trasporto e, gli usi alternativi del legname di piccole dimensioni rispetto all'uso come combustibile, il che ne impedisce un adattamento al prezzo del combustibile meno caro, cosa che ci si dovrebbe attendere in un regime di mercato.

D'altronde, la maggior parte delle applicazioni sono rappresentate da impianti di conversione individuali che utilizzano legname prodotto in azienda o da impianti collettivi e industriali che possono disporre di grandi quantità di combustibile prodotto all'interno del processo produttivo (scarti di lavorazione, sottoprodotti) o acquistate a costo molto basso, appena superiore al costo di trasporto.

### 7.2.2 Pirolisi

La distinzione tra i diversi processi di conversione termochimica finora sperimentati (combustione diretta, pirolisi, gasificazione, carbonizzazione, liquefazione e catramificazione) è veramente labile: essi sono estremamente variabili e flessibili, in relazione alla dimensione di alcuni parametri, quali temperatura, tempo di permanenza della biomassa a una determinata temperatura, rapporto ossigeno-biomassa, presenza di alcuni catalizzatori, ecc.; la selezione dei parametri citati e di altri ancora permette di stabilire le particolari condizioni di trattamento del materiale e, conseguentemente, dei prodotti finali (Soltes e Milnes, 1988).

Non essendo così evidente la differenza tra tali processi, ci sono spesso equivoci terminologici, così la pirolisi veniva equiparata, il più delle volte, alla carbonizzazione, processo in cui il prodotto principale è il carbone; oggi il termine "pirolisi" è usato per indicare un processo di trasformazione termochimica che consiste in una degradazione a carico dei polimeri organici e delle sostanze minerali del legno, sotto l'azione del calore e in assenza di ossigeno, in cui l'olio pirolitico (bio-olio), liquido, è il prodotto principale rispetto al carbone e al gas che si formano nel corso dello stesso processo (<http://www.iea.org/pubs/proc/files/bioend/52p6tro.pdf>).

Il bio-olio, di cui in letteratura esiste un'estesa varietà di sinonimi (olio pirolitico, bio-olio grezzo, olio bio-combustibile, olio pirolitico, catrame o acido pirolegnoso, liquido da legno, fumo liquido, distillato legnoso, legno liquido) è un liquido scuro, viscoso, con un caratteristico odore acre di fumo. Esso può essere usato in sostituzione dei combustibili convenzionali in diversi tipi di applicazioni (caldaie, motori, turbine), ha un potere calorifico pari a circa il 40% di quello del gasolio se riferito al peso e pari a circa il 60% se riferito al valore. Presenta gli inconvenienti di non essere miscelabile con altri idrocarburi e di non essere stabile.

La Tabella 7.2 riassume le principali caratteristiche degli derivati dal processo di pirolisi.

Tabella 7.2: Proprietà e caratteristiche dell'olio derivante dalla pirolisi del legno

Proprietà fisiche e chimiche	Valore tipico
Umidità, %	15 - 30
pH	2,2 - 2,5
Peso specifico	1,19 - 1,20
C (sul peso secco)	46,2 - 56,4
H, %	6,8 - 7,1
N, %	0,1
Ceneri, %	0,1
PCS (in relazione all'umidità)	16-19MJ/kg
Viscosità (a 40°C e 25% d'umidità)	40-100 centipoise
Solidi (catrame)	0,5
Distillazione, %	max. 50

Fonte: Bridgwater, 1999

Negli ultimi anni sono stati messi a punto diversi procedimenti di pirolisi che differiscono essenzialmente per i tempi e i modi in cui il riscaldamento della biomassa viene portato avanti, per il livello delle temperature raggiunto, per i valori di pressione all'interno del reattore. Naturalmente, variando le condizioni di processo si dà luogo a diversi rapporti percentuali

dei prodotti: così elevate temperature raggiunte in tempi ridotti (650°C in pochi decimi di secondo) aumentano la produzione di bio-olio e gas (con elevate percentuali di idrocarburi insaturi ed etilene) e riducono, invece, la produzione di carbone, considerato un sottoprodotto (pirolisi veloce). Al contrario basse temperature raggiunte in un tempo prolungato favoriscono la produzione di carbone (pirolisi lenta).

Gli impianti di pirolisi differiscono, inoltre, per:

- la flessibilità nei confronti del combustibile che possono utilizzare (dal materiale legnoso ai rifiuti solidi municipali ai rifiuti industriali);
- il grado d'automazione degli impianti;
- il tipo di reattore (pirolizzatore). Questo, di forma cilindrica, metallico, verticale o orizzontale, fisso o rotativo, stabilisce le condizioni operative, il tipo di materiale da impiegare e, di conseguenza, i rapporti quantitativi tra i prodotti finali. Il reattore di tipo verticale e fisso è più adatto per chips e materiale omogeneo in genere, mentre il reattore di tipo orizzontale e rotativo ha il vantaggio di utilizzare tipi di materiale differenti e disomogenei.

L'olio pirolitico è la frazione che caratterizza il processo. La sua percentuale varia entro limiti molto estesi (dal 20% al 65%), in relazione alle condizioni di temperatura e pressione nel corso del processo e, ovviamente, alla forma, dimensione e natura delle tecnologie usate. Basse pressioni e temperature al di sopra di 450°C raggiunte nel più breve tempo possibile favoriscono la formazione di precursori dell'olio pirolitico, prima che questi vadano a formare il carbone. Il potere calorifico del bio-olio è equi parabile a quello del petrolio (circa 7500 kcal/kg).

Il bio-olio è un liquido costituito da acqua (circa il 30% della frazione liquida totale), da una frazione di acidi pirolegnosi solubili in acqua (acidi e alcool) e da una di fenoli. I metodi di analisi (spettroscopia di risonanza magnetica del protone, spettroscopia fotoelettrica, ecc.) hanno evidenziato la presenza di almeno cento diversi composti, in cui i più rappresentati sono l'acido acetico, l'acido formico, l'acetone, il metanolo, l'acetaldeide, il metilglicolo, l'idroacetaldeide, il furfurolo e altri idrocarburi policiclici aromatici. La composizione e la qualità dell'olio pirolitico dipendono, in particolare, dalla temperatura di processo e dal materiale grezzo e, inoltre, dal tempo di residenza e dalla pressione. Basse temperature favoriscono la formazione di composti ossigenati (alcoli, aldeidi, chetoni, ecc.), mentre condizioni di temperature elevate portano alla formazione di idrocarburi policiclici aromatici (Elliott, 1988).

Il carbone è considerato un sottoprodotto della pirolisi, ma la sua percentuale può variare dal 15% al 50%, in relazione alle condizioni operative: i parametri che favoriscono la formazione di olio pirolitico, portano a basse quantità di carbone e viceversa. Le proprietà del carbone (contenuto di ceneri, tenore di carbonio, durezza, ecc.) ottenuto da pirolisi sembrano essere interessanti per le applicazioni commerciali più significative (domestiche, agricole, metallurgiche, chimiche) (Deglise e Magne, 1987).

Il potere calorifico dipende dal tenore in carbonio e si aggira intorno a 7200 kcal/kg. Il gas (PCS di circa 1300-1500 kcal/nm<sup>3</sup>) si forma in percentuali tra l'8% e il 15%. Nella composizione molecolare di esso entrano H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ed altri composti meno rappresentati.

### Considerazioni di carattere economico

Un impianto di pirolisi, qualunque sia il procedimento adottato, presuppone costi elevati di investimento e manutenzione. Orientativamente si considera un investimento di 500.000 Euro per una capacità lavorativa pari a 1 t/ora.

D'altronde, l'esistenza di numerosi problemi tecnologici non risolti e difficoltà di mercato per i prodotti, hanno impedito finora un'applicazione su larga scala d'impianti di pirolisi.

Come detto in precedenza, dal processo si ottengono, in proporzioni diverse in relazione al procedimento adottato e al materiale impiegato, tre prodotti con diverse caratteristiche di commerciabilità:

- Il gas non risulta stoccabile per problemi di carattere tecnico, ancor prima che economico, e richiede, pertanto, un'utilizzazione immediata nelle vicinanze dell'impianto (riscaldamento di serre, impianti sportivi, edifici, essiccatoi, ecc.; generazio-

ne di vapore o combustibile per motori) o all'interno dello stesso processo per l'essiccazione del materiale grezzo.

- Il carbone, anche se non rappresenta l'obiettivo primario del processo di pirolisi, è senz'altro il prodotto che presenta, allo stato attuale, maggiori possibilità di commercializzazione, a causa della estesa gamma di funzioni d'uso. Sui diversi possibili impieghi sarà fornita una maggiore trattazione nel paragrafo relativo alla carbonizzazione.
- Il bio-olio rappresenta senz'altro il prodotto principale del processo e gli stessi organismi nazionali e comunitari di ricerca e sviluppo per la valorizzazione delle risorse rinnovabili tendono a promuovere processi di pirolisi che privilegino la produzione di bio-olio rispetto alle altre frazioni; tale indirizzo è giustificato dai potenzialmente vasti e remunerativi spazi di mercato che ad alcuni composti del bio-olio vengono offerti dall'industria farmaceutica, alimentare e cosmetica.

Allo stato attuale delle conoscenze esistono alcuni problemi legati ad una composizione chimica estremamente complessa; alcuni dei composti hanno un alto valore commerciale (metano, acetone, diacetile, acetilpropionile, metilene, sodio-acetato, ecc.), ma sono presenti in basse percentuali, sì da renderne estremamente costosa l'estrazione.

Appare evidente, quindi, che la chiave per uno sviluppo commerciale del processo di pirolisi è rappresentata dal raggiungimento di una tecnologia economicamente competitiva per la produzione di composti chimici di alto valore.

L'olio pirolitico può essere utilizzato come combustibile; esso presenta, infatti, le stesse caratteristiche merceologiche (densità, liquidità, trasportabilità) e lo stesso potere calorifico del petrolio. Al contrario di questo, però, il bio-olio ha l'inconveniente di non essere stabile e, pertanto, non conservabile per un lungo periodo.

Trattandosi d'impianti non dimensionabili al di sotto di una soglia minima di capacità di lavoro (almeno 0,5 t/h) per motivi di natura tecnico-costruttiva l'impatto che può avere nella zona di installazione non deve essere trascurato. Bisogna, pertanto, valutare opportunamente la scelta della localizzazione dell'impianto, in funzione del contesto economico locale, della reperibilità del materiale, della commercializzazione e utilizzazione dei prodotti, e le compatibilità ambientali legate alle emissioni di particolato e altri agenti inquinanti e maleodoranti, il rispetto delle norme di sicurezza tramite il mantenimento di *standard* richiesti per la prevenzione della salute dei lavoratori.

### 7.2.3 Carbonizzazione

La carbonizzazione è un processo relativamente semplice: il legno, per effetto di una combustione in presenza di una modesta quantità d'ossigeno, subisce un'ossidazione incompleta e dà origine al carbone, combustibile caratterizzato da elevato potere calorifico (da 6.000 a 7.500 kcal/kg), spiccata leggerezza (densità variabile da 0,15 a 0,30 kg/l), basso tenore idrico, buona infiammabilità (brucia senza fiamma e senza rilasciare composti pirolignosi). Questo procedimento, praticato sin da tempi antichissimi, ha lo scopo di aumentare il potere calorifico per unità di massa e di ridurre il volume del legno; ovviamente nel corso del processo di carbonizzazione si registrano delle perdite, dovute all'assorbimento d'energia necessaria al processo stesso e alle perdite (almeno nella maggior parte degli impianti) dei sottoprodotti e del materiale a granulometria fine, tali da rendere svantaggioso il bilancio sotto l'aspetto energetico. Esse sono in parte compensate da minori costi di trasporto, conservazione e manipolazione rispetto al legno.

Le tecniche di carbonizzazione in uso sono molto diversificate: alcune sono di concezione elementare, artigianali e di facile impiego, altre, invece, di concezione più avanzata e basata su impianti di tipo industriale.

Ovviamente ai primi metodi sono associati rendimenti in carbone molto bassi (dal 10% al 20% rispetto al peso della materia prima), dovuti alla scarsa possibilità di controllo del processo e a perdite di carbone di granulometria fine, disperso nel terreno o abbandonato sul fondo della carbonaia. Si tratta di processi caratterizzati da costi d'investimento e gestione molto bassi, elevato impiego di manodopera, impossibilità di recuperare i sottoprodotti (p.e.

catrame), ristretta varietà di materiali che possono essere utilizzati, tempi lunghi di processo; questi comprendono la carbonaia in fossa, la carbonaia in elevazione, i forni in mattoni (tipo brasiliano, argentino, Missouri), i forni mobili.

All'estremo opposto, in termini d'efficienza di processo, si collocano gli impianti di dimensione industriale basati su processi di carbonizzazione in continuo. Fra questi sono da segnalare il processo *Sific* (ed altri da questo derivati), *Lambiotte*, caratterizzati da un alto grado d'automazione, basso impiego di manodopera, possibilità di recupero dei sottoprodotti (pirolegnosi, catrame, gas), ridotti tempi di processo, standardizzazione del prodotto e possibilità di usare materiali lignocellulosici molto vari. Essi richiedono, però, elevati investimenti e considerevoli consumi d'acqua ed elettricità (Carre *et al.*, 1985).

Come osservato nel paragrafo relativo alla pirolisi, l'uso del carbone ha subito una sostanziale evoluzione e un notevole ampliamento della gamma d'uso: impiegato, in passato, esclusivamente per il riscaldamento e la cottura degli alimenti, attualmente esso è largamente impiegato per i *barbecue* e per l'industria, principalmente siderurgica e chimica.

La convenienza economica del processo di carbonizzazione rispetto agli altri combustibili sostitutivi è alquanto dubbia. Infatti, con gli impianti attualmente a disposizione, ipotizzando un rendimento medio del 20% per il processo di trasformazione del legno in carbone, da 1 kg di legna con 15-20% d'umidità (PCI pari a circa 3.500 kcal/kg) si ottengono 200 g di carbone, per un potere calorifico di 1.300 kcal/h (considerando 6.500 kcal/kg), con un rendimento energetico del 43%. Il costo dell'energia prodotta tramite il processo di carbonizzazione è, quindi, da due a tre volte più alto rispetto a quella ottenuta con processi tradizionali di conversione.

Quando poi il carbone è impiegato (come avviene ancora in molti nei paesi in via di sviluppo), per la cottura di alimenti, utilizzando impianti il cui rendimento termodinamico difficilmente supera il 10%, il rendimento complessivo della catena di utilizzazione è notevolmente al di sotto del 10%.

Nella fase attuale, per le imprese nazionali che praticano la carbonizzazione, sia con impianti di piccole dimensioni sia industriali, le opportunità più favorevoli si presentano nei casi seguenti. Il carbone tal quale e le bricchette (ottenute per densificazione del carbone a granulometria fine) trovano un mercato favorevole per consumi energetici e, soprattutto, per *barbecue* e forni, con possibilità di spuntare prezzi elevati sul mercato al consumo (fino a 1 Euro/kg);

- l'industria chimica rappresenta un tradizionale utilizzatore del carbone vegetale per la produzione di carbone nero, di ammendanti, di composti quali disolfuro di carbonio, calciocarbide, sodiocianide, ecc.; la produzione di carbone attivo a partire da carbone vegetale potrebbe aprire interessanti spazi di mercato per la crescente domanda collegata all'utilizzo di filtri per ridurre il carico inquinante di fumi e liquidi derivanti da processi industriali e civili. Per orientare la produzione verso questo tipo di prodotto è necessario, però, perfezionare le tecnologie e renderle più economiche (infatti, con le tecnologie attualmente disponibili circa il 50% del carbone viene perso).
- l'industria metallurgica è una possibile utilizzatrice del carbone pirolitico (purché ad alto titolo di carbonio) per la produzione di acciaio, alluminio, nickel, ecc., in sostituzione del *carbon coke*;
- l'industria delle costruzioni rappresenta un ulteriore potenziale utilizzatore del carbone vegetale

Le difficoltà maggiori di mercato sono legate a:

- l'elevato costo della manodopera e del legname;
- la stagionalità delle vendite che obbliga a lunghi periodi di stoccaggio;
- le ripercussioni sui consumi di carbone vegetale a fini industriali derivanti dalla crisi strutturale della siderurgia.
- la possibile caduta della domanda di carbone per *barbecue* a causa della invasione sul mercato interno di prodotto proveniente da altri paesi, dove dell'industria siderurgica, ormai in crisi, non costituirà un potenziale assorbitore di carbone di legna;
- difficoltà di penetrazione sul mercato delle bricchette, ottenute dalla densificazione del carbone a granulometria più piccola e ritenute dai consumatori un

prodotto "non naturale", provocando con ciò la mancata valorizzazione o la perdita di una quota importante del prodotto;

- la mancanza di una normativa che regoli la produzione del carbone per *barbecue*: In Francia esiste da anni una normativa - al momento unica in Europa - che regola le caratteristiche relative, per esempio, alla granulometria, al tenore di carbonio, alle modalità di confezionamento.

I principali problemi tecnici sono rappresentati da:

- dall'automazione degli impianti, importante per ridurre i costi di gestione degli impianti;
- la fase di essiccazione, necessaria in quanto una minore presenza di umidità determina un aumento dei rendimenti e riduce i problemi di corrosione e cattrificazione delle pareti dei dispositivi;
- l'impiego di materiali più resistenti alla corrosione;
- la standardizzazione della produzione, importante per stabilire dei rapporti di fiducia con i consumatori, sia per il carbone da barbecue, sia per altre destinazioni.

#### 7.2.4 Gasificazione

La gasificazione è un processo termochimico di conversione di combustibili solidi (quali legna e carbone) in combustibili gassosi

Alcune peculiari proprietà chimico-fisiche delle biomasse forestali, quali l'elevata volatilità, la spiccata reattività del carbonio, il basso contenuto di ceneri e di zolfo, le rendono particolarmente adatte al processo di gasificazione (Hakkila, 1989). Inoltre, la gasificazione del legno, rispetto ad altri materiali (p.e. il carbone), ha il vantaggio di poter essere condotta a temperature più basse, in minor tempo, con minori problemi di emissioni e di corrosione delle pareti dell'impianto.

Viceversa, occorre segnalare che gli elevati indici di umidità e la bassa densità energetica del legno rappresentano degli svantaggi per la gasificazione rispetto ad altri combustibili solidi. La gasificazione è una speciale forma di combustione, rispetto alla quale, però, temperature più elevate e scarsa presenza di ossigeno (proveniente dall'aria o da una specifica fonte) conducono a una incompleta ossidazione dei composti volatili, con formazione di gas a basso potere calorico (da 1000 a 1500 kcal/nm<sup>3</sup>) o, in opportune condizioni (sotto ossigeno), a medio potere calorico (da 1500 a 4000 kcal/nm<sup>3</sup>). Alla produzione di gas si può anche associare la produzione di carbone di legna.

Il processo di gasificazione consiste in una prima fase di essiccazione del combustibile solido a cui segue un'ossidazione parziale, con formazione di prodotti pirolegnosi e residui carboniosi; successivamente ha luogo una rottura dei pirolegnosi e una complessa serie di reazioni che riguardano il carbone, i prodotti risultanti dalla combustione di una parte dei pirolegnosi, l'ossigeno e i vapori d'acqua introdotti nel gasogeno (Robert, 1984).

La composizione del gas prodotto varia in funzione del tipo di biomassa utilizzata, della temperatura e delle altre condizioni di processo. I composti più rappresentati sono: CO (13-30%), H<sub>2</sub> (12-20%), CH<sub>4</sub> (0-4%), CO<sub>2</sub> (8-18%), N<sub>2</sub> (45-60%), vapore, idrocarburi, altri componenti organici e, talvolta, tracce di composti dello zolfo.

Il sistema è in genere costituito dal gasogeno vero e proprio, da un sistema di filtrazione e raffreddamento del gas (la cui funzione è fondamentale per eliminare catrame e altre impurità generate dalla combustione, qualora il gas sia destinato alla produzione di elettricità), da un sistema di controllo e da un sistema di manipolazione e gestione dei residui liquidi e solidi.

##### I tipi di gasogeno

Sul mercato sono disponibili differenti tipi di gasificatori. Un sistema di classificazione può essere basato sul tipo di gasogeno, che sono descritti nei paragrafi seguenti.

I **gasogeni a letto fisso** sono impianti di concezione estremamente semplice, di scarso ingombro (le dimensioni di questo tipo di gasificatore devono essere necessariamente limitate, in quanto un diametro dell'apparecchio superiore a m 1,50 non consente una corretta pene-

trazione dell'aria all'interno della massa legnosa e, di conseguenza, si ha produzione di gas eccessivamente ricco di impurità e catrame; essi tuttavia presentano lo svantaggio di non poter utilizzare scarti vegetali a granulometria fine (scarti agricoli, segatura, ecc.) che, formando strati compatti e poco porosi, si oppongono al passaggio del gas e, a causa della formazione di idrocarburi condensabili, causano problemi di corrosione alle pareti metalliche. In questo tipo di gasogeno il legno (in forma di *chips* di grosse dimensioni) viene introdotto dall'alto, mentre la gasificazione avviene nella parte bassa, in corrispondenza della griglia, dove la temperatura raggiunge valori elevati. I gas sono raccolti alla base del gasogeno, dove avviene la separazione delle ceneri, e da qui risalgono, all'interno di una camera esterna al cilindro, verso il sistema di filtrazione. Ci sono tre variazioni del sistema a letto fisso in relazione all'introduzione dell'aria e al percorso che questa segue: in controcorrente, in co-corrente o a flusso trasverso. I primi sono i più flessibili, sembrano essere i più adatti alla combustione diretta e possono impiegare materiali con umidità elevate (fino al 50%); i gasificatori in co-corrente forniscono gas a più basso contenuto di catrame rispetto agli altri e sono la soluzione ideale per la produzione di potenza, ma presentano l'inconveniente di non poter utilizzare materiali con contenuto di umidità superiore al 30% e di fornire rendimenti energetici leggermente più bassi rispetto al precedente (non superiore all'80%). Gli ultimi hanno un'applicazione limitata a impianti alimentati a carbone. Si tratta, in ogni caso, di impianti di potenze limitate che hanno il vantaggio di essere relativamente economici.

Nei **gasificatori a letto fluido** una corrente di gas ascendente mantiene in costante movimento della sabbia (o altro materiale inerte, siliceo), la cui funzione è di mantenere una temperatura uniforme all'interno dell'impianto. Inoltre, quando il combustibile, giunto in un ambiente a temperature elevate (900-1000°C), subisce rapidamente il processo di pirolisi, la sabbia esercita un'azione di mescolio continuo e di abrasione sulle particelle legnose (necessariamente di diametro inferiore a 10 mm), col risultato che le superfici combuste esterne vengono continuamente rimosse ed il materiale incombusto viene esposto a ossidazione (Hos e Groeneveld, 1987). Un ciclone provvede, poi, a separare la sabbia e altre particelle carboniose non gasificate dal gas in uscita. Tale sistema ha il vantaggio di una gasificazione più efficace, maggiore flessibilità rispetto al tipo di combustibile, possibilità di essere impiegato per impianti di grande scala e, essendo il gas in uscita caldo, non produce gas con alto contenuto di composti condensabili e corrosivi.

Esistono altre configurazioni di reattori (per esempio, a letto trascinato), progettati per altre finalità (specialmente per lo smaltimento di rifiuti solidi urbani) che potrebbero essere convenientemente alimentati con materiali ligno-cellulosici. Al momento, tuttavia, non si conoscono applicazioni per biomasse forestali.

Il gas prodotto può trovare diverse e interessanti applicazioni, tra cui:

- **Combustione diretta del gas in un boiler o in una fornace per produrre calore.** Il gas a basso potere calorico ottenuto dalla gasificazione del legname può venire utilizzato per la produzione di calore accoppiando al gasificatore un boiler in cui il gas viene bruciato in presenza di aria secondaria. Tale applicazione richiede la separazione della frazione delle ceneri e delle particelle di carbone dal gas, mediante l'impiego di uno o più cicloni. La presenza del catrame, invece, non crea problemi; anzi, aumentando la luminosità della fiamma, favorisce il trasferimento del calore per radiazione. Ancora per produrre calore, una soluzione interessante e ormai largamente diffusa è rappresentata dalla possibilità di accoppiare la fase di gasificazione a quella di combustione. In pratica, in una prima camera di pre-combustione avviene una sorta di gasificazione del legno (ossidazione in difetto di ossigeno), mentre in una seconda camera, con funzione di scambiatore di calore, sono combusti i gas prodotti nella prima. Ciò consente, tra l'altro, di utilizzare *chips* con elevate umidità e, soprattutto, di "retrofitare" caldaie alimentate a combustibili fossili. Per la combustione diretta il gasogeno in controcorrente appare la soluzione ideale.
- **Produzione di energia meccanica ed elettrica.** Il gas può essere utilizzato per la produzione di potenza, alimentando un motore (a combustione interna o diesel modificati), eventualmente accoppiato a un gruppo elettrogeno. A differen-

za del caso precedente, in questo tipo di impiego il gas deve essere filtrato (per separare non solo le impurità più grossolane, ma anche il catrame e ogni altra impurità al di sopra di 3 $\mu$ ) e raffreddato, con conseguenti perdite dell'efficienza di gasificazione. I campi di applicazione riguardano soprattutto la produzione di energia meccanica o elettrica per piccole unità (pompe idrauliche, segatronchi, ecc.) (Anonimo 1992). I rendimenti dipendono da molti fattori specifici, ma approssimativamente si può calcolare che da 1 kg di legname secco si producono 0,8-0,9 kwh, con una efficienza termodinamica del 25% (Hakkila, 1989). Bisogna, in fatti, segnalare l'esistenza di problemi di natura tecnico-pratica, quali una riduzione intorno al 40% della potenza fornita dal motore e frequenti incrostazioni e corrosione delle pareti metalliche. Valori elevati di rendimento possono essere ottenuti con il recupero del calore perso con il raffreddamento dei gas e del calore dei gas di scarico dei motori.

- **Produzione di prodotti chimici.** Dal "gas a medio potere calorifico", ottenuto dalla gasificazione della biomassa, è possibile, ottenere composti per l'industria chimica e per applicazioni energetiche, quali metanolo, etanolo, ammoniaca e idrocarburi. La produzione di metanolo, senz'altro la più importante tra questo gruppo di composti, si fonda sull'impiego di ossigeno o miscele di ossigeno e vapore come agenti di gasificazione. Si tratta di una tecnologia sufficientemente collaudata, ma attualmente di scarso interesse pratico in virtù della competizione data dalle produzioni di questo alcool, su grande scala e a costi molto più bassi, da gas naturale o petrolio. La gasificazione del legno per la produzione di metanolo risulta meno costosa rispetto alla gasificazione del carbone in quanto i composti del legno sono altamente volatili. Inoltre il legno presenta il vantaggio di dar luogo a una bassa frazione di ceneri, la cui rimozione è molto semplificata e poco costosa, e di avere un basso contenuto di zolfo, con conseguenti minori effetti corrosivi del gas e riduzione dei costi di depurazione.

#### Considerazioni di carattere economico

A partire dalla seconda metà degli anni '70, nel periodo del forte aumento del prezzo dei combustibili fossili sui mercati internazionali, vi è stata una grande attenzione del mondo scientifico e, in parte, anche dell'industria intorno al processo di gasificazione.

Negli ultimi anni si assiste, invece, a una caduta degli interessi per effetto degli insuccessi economici più che tecnici, nei tentativi di sviluppare e commercializzare una tecnologia poco conveniente.

L'ambito di convenienza per installare impianti di gasificazione, il cui costo è dell'ordine di 1.000 Euro per kW installato, è molto limitato in Italia come nei paesi ad alto tasso di sviluppo, in quanto circoscritto alle località non allacciate alla rete elettrica (alcune zone di montagna, lontano dai centri abitati), prive di fonti rinnovabili più convenienti (energia idroelettrica) e dove si è in presenza di una notevole disponibilità di biomasse agroforestali o scarti di lavorazione delle industrie del legno, a costo basso o nullo, non altrimenti utilizzabili.

Situazioni più favorevoli all'installazione di gasogeni a legna per la produzione di elettricità si ritrovano, invece, con una certa frequenza in alcuni paesi in via di sviluppo dove il legname rappresenta una risorsa rinnovabile largamente disponibile (o come prodotto della foresta o, nei pressi dei centri di consumo, come sottoprodotto delle lavorazioni industriali (sciaveri, refili, segatura, ecc.) per la presenza di vaste aree non coperte da rete elettrica e per i costi elevati di utilizzo dei combustibili fossili.

Una possibile ripresa delle applicazioni degli impianti di gasificazione può essere ipotizzata sulla base dei punti seguenti:

- Installazione di impianti di grosse dimensioni in sostituzione di caldaie industriali alimentate con combustibili fossili, allo scopo di produrre energia meno inquinante per riscaldare complessi industriali o pubblici, utilizzando scarti legnosi che pongono problemi di smaltimento.

- La soluzione di problemi tecnici e l'introduzione di innovazioni tecnologiche che migliorino l'efficienza, la versatilità, l'automazione e l'affidabilità dei processi di gasificazione. In particolare, in questi anni, le ricerche sono state orientate al recupero del calore perduto nel corso del raffreddamento del gas attraverso l'impiego concomitante di calore e lavoro, alla realizzazione di gasogeni mobili e all'introduzione di catalizzatori (per esempio dolomite) per la riduzione del catrame nel gas.
- Produzione di metanolo dai materiali legnosi. Anche se attualmente tale produzione non risulta conveniente rispetto alla produzione da gas naturale e petrolio, questi nuovi processi potrebbero rappresentare una applicazione interessante, purché si riducano i costi di investimento e la produzione venga realizzata in impianti di grande scala e posti in grado di disporre di grosse concentrazioni di materiali legnosi.

Una valutazione economica accurata dipende, comunque, dalle particolari condizioni locali e, in particolare, dalla disponibilità di materia prima e dai costi di essa, i costi del gasificatore e del gruppo elettrogeno, dal costo del combustibile alternativo, dai costi di trasporto, dai costi di esercizio, e – fattore molto importante – dal numero di ore di funzionamento annuo.

### 7.2.5 Liquefazione

La liquefazione è un processo di conversione di combustibili solidi in combustibili liquidi. Diversi sono i processi di liquefazione fin qui sviluppati, distinti in relazione alle caratteristiche chimiche e fisiche dei differenti materiali; in particolare, per le biomasse agricole, umide e ricche di zuccheri e amidi, vengono impiegati i processi bio-chimici o bio-tecnologici; per le biomasse lignocellulosiche, invece, sono generalmente utilizzati procedimenti termo-chimici. Questi ultimi possono essere classificati in due gruppi: liquefazione indiretta e liquefazione diretta.

#### La liquefazione indiretta

Essa utilizza il gas povero elaborato nel corso della gasificazione (o di altri processi termo-chimici di conversione) della biomassa. Questo, purificato e spostato verso un rapporto volumetrico  $H_2/CO$  di circa 2/1, viene utilizzato per la sintesi catalitica di metanolo o, tramite il processo *Fischer Tropsch*, di idrocarburi e altri composti (Chornet e Overend, 1985). Il metanolo può essere impiegato direttamente, da solo (in motori modificati) o in miscela con altri carburanti, oppure essere convertito in idrocarburi, mediante il processo *Mobil Mtg*.

#### La liquefazione diretta

La liquefazione diretta converte la biomassa in un combustibile liquido in un solo passaggio, senza la formazione intermedia di gas.

La legna cippata o ridotta a granulometria finissima è sospesa in un vettore liquido acquoso o organico (eventualmente riciclato da precedenti trattamenti) all'interno di un reattore di liquefazione. La presenza di idrogeno o di una miscela di ossido di carbonio e idrogeno assicura un'atmosfera riducente nell'ambiente. Praticando alte pressioni (20 atmosfere) e rapidi aumenti di temperatura (fino a 300-400°C), la biomassa subisce in breve tempo una disgregazione e i suoi componenti una depolimerizzazione (McKeough *et al.*, 1988).

Il risultato di questo trattamento è la formazione di una fase liquida oleosa, un residuo solido e gas.

Il gas viene separato dal resto del miscuglio, purificato e i gas riducenti ( $H_2$  e  $H_2/CO$ ) vengono recuperati e rimessi in circolo. Successivamente si ha la separazione del residuo solido non degradato dalla fase liquida e, infine, della fase acquosa (contenente sostanze organiche idrosolubili, a basso peso molecolare) dalla fase oleosa.

Le reazioni che portano all'idrogenazione diretta della biomassa, favorite dalla presenza di catalizzatori (in genere carbonati metallo-alcilini), non sono perfettamente note e i prodotti

non sono ben caratterizzati; almeno un centinaio di composti sono stati individuati nel bio-olio grezzo derivante dall'idrogenazione diretta: fenoli e altri composti aromatici, pirani, olefine, chetoni, alcoli sono i composti presenti in maggiore quantità (Hakkila, 1989).

La composizione chimica è in relazione alle caratteristiche fisico-chimiche del materiale e alle condizioni operative: basse pressioni danno origine a maggiori quantità di composti ossigenati, rendendo il prodotto più instabile e più difficile e dispendiosa la formazione di idrocarburi; al contrario, l'applicazione di alte pressioni genera maggiore quantità di composti fenolici, più stabili, anche se, sul piano pratico, richiedono più elevati costi di esercizio.

Gli oli ottenuti dalla liquefazione diretta sono simili agli oli combustibili pesanti, caratterizzati da alta viscosità e bassa volatilità e contenuti energetici variabili da 5.500 kcal/kg a 8.500 kcal/kg. Ciò significa che essi possono essere utilizzati tal quali solo a scopi combustibili per la produzione di calore, mentre per essere destinati alla alimentazione di motori meccanici ci hanno bisogno di subire una serie di processi che riducano il grado di ossigenazione dei composti e la loro viscosità e ne aumentino la volatilità.

#### Considerazioni di carattere economico

La mancanza di una tecnologia ben sviluppata per applicazioni industriali rende, nel breve periodo, i combustibili liquidi e i prodotti chimici derivanti dalla liquefazione della legna assolutamente non competitivi rispetto ai prodotti petrolchimici. Gli ostacoli tecnologici e pratici più importanti da risolvere sono:

- gli elevati costi di investimento e di gestione degli impianti, economicamente concepibili solo su scala industriale;
- i considerevoli costi per isolare i diversi composti chimici derivanti dalla liquefazione;
- la scarsa conoscenza delle modalità di trasferimento del calore, delle reazioni di conversione e dei prodotti che si formano durante il processo di liquefazione;
- il miglioramento delle tecniche di separazione solido-liquido e liquido-liquido;
- la creazione di un mercato dei composti chimici ad alto valore aggiunto ottenibili per frazionamento (fibre, alimenti e combustibili di maggiore qualità energetica).

#### 7.2.6 Cogenerazione

La possibilità di usare le biomasse per la generazione combinata di elettricità, calore e freddo (quando applicabile) su piccola scala può essere interessante in alcune situazioni (scuole, ospedali, alberghi, ecc.) (Desideri, 2003; Gerardi, 2003). L'alta efficienza del sistema (80-85%) porta a elevati standard di economicità, nonostante la piccola dimensione dell'impianto. Il vapore è generato da una convenzionale caldaia di combustione che produce acqua surriscaldata (vapore a 16 bar e 360°C). Il vapore prodotto espande in un motore a vapore, generalmente dotato di 2 pistoni a doppia azione, e genera energia meccanica, che a sua volta è convertita in energia elettrica all'interno di un generatore. Il vapore esausto all'uscita del motore viene inviato in uno scambiatore di calore, da cui il calore è consegnato a un sistema di riscaldamento esterno.

#### 7.2.7 I processi bio-chimici

La produzione di combustibili liquidi quali l'etanolo e il metanolo a partire da materiali lignocellulosici è possibile grazie a processi fermentativi tradizionali e al determinante supporto delle biotecnologie (McCloy e O'Conner, 1998)

Le prospettive di fermentazione per la produzione di alcool a partire da materiali cellulosici o ligno-cellulosici di scarto e di basso costo e di ampia disponibilità presentano il vantaggio, rispetto ai materiali provenienti da coltivazioni agricole, di non sottrarre territorio a finalità alimentari (ciò rappresenta in effetti uno dei principali argomenti *contra* usato per contrastare le coltivazioni energetiche).

I prodotti che si ottengono possono essere usati in alternativa ai combustibili tradizionali (co-

me nel caso dell'alcool idrato) o integrativi della benzina, ma anche come composti di partenza per la produzione di butilene e etilene (componente importante per l'industria chimica). E' stato dimostrato che attraverso la gasificazione termica della cellulosa seguita dalla bioconversione, all'interno di un bio-reattore, del gas prodotto ( $H_2$ , CO,  $CO_2$ ) è possibile ottenere etanolo e altri composti liquidi ricchi d'energia.

La conversione della cellulosa in molecole ricche d'energia, come l'etanolo, si può ottenere dalla idrolisi (acida ed enzimatica) della cellulosa in zuccheri, seguita dalla loro fermentazione in etanolo (Kintisch, 2001).

La conversione in alcol etilico per fermentazione, destinabile a fini più pregiati della combustione, ha il vantaggio di una maggiore valorizzazione dell'energia trasformata (per esempio per la produzione di superbenzina, additivo antidetonante) che potrebbe compensare i maggiori oneri e le perdite nell'efficienza di trasformazione.

Un rigoroso calcolo di convenienza economica ed una analisi critica della utilizzabilità effettiva dell'alcool come carburante sono necessari per giudicare delle opportunità dell'operazione.

### 7.3 Gli inquinanti

#### 7.3.1 Le emissioni in atmosfera

Se lo svolgimento dei processi di combustione del legno avvenisse in condizioni ideali, si avrebbe la formazione di  $CO_2$ ,  $H_2O$ , e tracce di  $NO_x$ , CO,  $N_2$  (Smith, 1987). D'altronde, essendo un combustibile naturale, il legno non dovrebbe deviare sensibilmente i cicli ecologici dei principali elementi chimici.

In pratica, però, per effetto di una non completa combustione (dovuta alle basse temperature, ai tempi di reazione troppo corti, alla scarsa quantità di ossigeno) e la presenza di contaminanti non carboniosi, dalla combustione del legno si possono originare centinaia di composti diversi, liberati nell'ambiente sotto forma solida (particolato), liquida e gassosa (aerosol).

In assoluto, le emissioni inquinanti generate dalla combustione del legno sono poco significative soprattutto quando si considerino i consumi modesti rispetto ai consumi globali delle altre fonti energetiche non rinnovabili e convenzionali; tuttavia, studi recenti sulla qualità dell'aria in prossimità degli impianti di combustione (ma le stesse considerazioni possono essere estese agli altri processi di conversione termochimica del legno, poiché non esistono delle differenze sostanziali tra le emissioni) hanno dimostrato che l'uso del legno come combustibile può avere impatti significativi sull'ambiente per la formazione, nel corso del processo, di sostanze inquinanti.

Tra queste sostanze, il gruppo degli idrocarburi (soprattutto gli idrocarburi poliaromatici, quali il benzopirene), la formaldeide, il particolato respirabile (inferiore a  $2\mu$ ), il monossido di carbonio, gli ossidi di azoto e, talvolta, l'anidride solforosa, sono i composti che destano le preoccupazioni maggiori di ordine sanitario.

La natura e la quantità di tali emissioni dipendono dalla tecnica di riscaldamento e dallo stato dell'installazione. In generale le installazioni automatiche, caratterizzate da rendimenti elevati possono garantire una combustione povera in inquinanti; viceversa, gli impianti semplici e di piccola potenza, dotati di tecnologie obsolete di conversione energetica, causano un eccessivo inquinamento durante il periodo di funzionamento. Ciò riguarda soprattutto le caldaie semplici e i piccoli sistemi, che emettono delle quantità di inquinanti molto più elevate rispetto alle altre installazioni di media e alta potenza. In ogni caso, l'ottimizzazione del processo di combustione, oltre che aumentarne l'efficienza, consente di diminuire la formazione di inquinanti.

Un altro fattore rilevante per la qualità dei fumi in uscita è rappresentato dall'omogeneità del combustibile.

Un riferimento a parte va fatto per gli impianti di grosse dimensioni installati dalle imprese di lavorazione del legno, delle quali la maggior parte è fornita di impianti che utilizzano gli scarti di lavorazione prodotti all'interno dello stesso processo produttivo per la produzione di energia. Tali scarti, contenendo frequentemente delle sostanze di sintesi quali colle ureiche, melanine, polivinilcloruri, vernici, producono fumi inquinanti quando bruciano a basse tem-

perature. Per questo motivo è preferibile adottare unità di combustione in grado di sviluppare temperature elevate (950-1200°C).

### 7.3.2 *Le ceneri*

I residui solidi della combustione sono rappresentate dalle ceneri che, in caso di combustione perfetta, si compongono di sostanze minerali incombustibili. Infatti, la presenza di incombusti nelle ceneri è segno di cattiva combustione.

Allo stato attuale esse pongono solo questioni di smaltimento, tranne qualche limitato impiego nel settore agricolo e forestale (Ciccarese, 2000), anche se sono state svolte prove di utilizzo nel settore edilizio, per la produzione di calcestruzzi (in sostituzione parziale del cemento, sostituzione-integrazione della sabbia, proporzionamento del finissimo della miscela) o in altri settori industriali per la produzione delle cosiddette materie seconde.

## Considerazioni conclusive

Alla luce dei risultati dell'indagine effettuata si può affermare che l'attuale livello di utilizzo di biomasse ligno-cellulosiche a fini energetici è fortemente sottostimato dalle statistiche forestali e dai bilanci energetici nazionali. Tale situazione è in gran parte da ricollegare ad una presenza diffusa di piccoli utilizzatori domestici e dalla disponibilità e relativo impiego di residui di lavorazione del legno nei processi industriali, fenomeni entrambi di non facile registrazione statistica.

Se le valutazioni si allargassero a considerare non i consumi ma le quantità effettivamente disponibili e l'offerta potenziale di biomasse legnose, i dati potrebbero segnalare la possibilità di una significativa espansione della filiera bosco-energia. Queste ipotesi vanno, tuttavia, considerare con una certa prudenza, soprattutto quando collegate all'espansione dei livelli di consumo in impianti di scala industriale.

L'esperienza italiana in progetti di filiera foresta-legno di una certa consistenza finanziaria e territoriale è, infatti, costellata da numerosi e costosi insuccessi dei quali, secondo una frequente abitudine nazionale, si tende velocemente a perdere la memoria storica (Cartiere Burgo con il *Pinus strobus* in Piemonte, Arbatax con il *Pinus radiata* in Sardegna, SIACE con gli eucalipti siciliani, Cellulosa Calabria con i ricchi boschi calabresi, ecc.).

Nell'impostare politiche di valorizzazione delle biomasse legnose una variabile di fondamentale importanza è quella legata alla struttura fondiaria (Brun *et al.*, 1998) e quindi alla logistica delle modalità di approvvigionamento. Sarebbe, infatti, un errore dimenticare che la proprietà forestale italiana è estremamente frammentata, molto poco mobile, spesso caratterizzata da proprietari assenteisti e/o residenti in aree urbane, sottoposta ad una normativa che ne limita l'utilizzazione su ampia scala, comunque condizionata dalla stagionalità delle operazioni che possono essere condotte in bosco.

Tali fattori di condizionamento dovrebbero indurre una notevole cautela nell'ipotizzare lo sviluppo di attività di prelievo su ampie dimensioni, con la realizzazione di notevoli economie di scala. E' evidente che un elemento fondamentale di attenzione nella promozione di progetti di filiera deve essere quello delle modalità organizzative della concentrazione e distribuzione del legname. Se il settore industriale, cogliendo anche le opportunità dei finanziamenti attivati dai Piani di Sviluppo Rurale, è effettivamente interessato a creare rapporti di filiera con le produzioni interne di biomasse legnose, è fondamentale che prenda fattivamente in carico il problema dell'organizzazione della struttura di raccolta, della definizione di rapporti contrattuali con i fornitori, della loro informazione sistematica. In altri termini, vanno offerte quelle garanzie che sono indispensabili per produttori, in genere di piccole dimensioni operative, che sono chiamati a realizzare investimenti con anticipazioni finanziarie relativamente elevate. L'esperienza di diverse filiere nel settore dell'agroindustria create negli ultimi anni in Italia, anche se con alterni successi, potrebbe offrire utili elementi di riferimento.



## Bibliografia

A.A.V.V., 1998a. L'utilizzo energetico di biomasse e rifiuti nel quadro delle recenti normative: quali le possibilità pratiche? Atti della Tavola rotonda. Roma, 16.11.1998. ITABIA-ALTENER.

A.A.V.V., 1998b. Restauro del bosco, un investimento sociale: occupazione, ambiente, produzione. Atti del Convegno. Parma, 17.11.1997. Economia Montana - Linea Ecologica, 30 (3).

A.A.V.V., 1998c. Nuovi modelli di intervento per l'uso razionale dell'energia e la riduzione dell'impatto ambientale. Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Treviso. Pubblicazione n.78.

A.A.V.V., 1999a. Italia legno-energia: dal presente al futuro. Atti del Convegno, Fiera di Verona, 19.3.1999. PMT-CEAR, Padova.

A.A.V.V., 1999b. Studio di fattibilità: impianto per l'utilizzazione energetica degli scarti legnosi nel Distretto del legno-arredo della provincia di Treviso. Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Treviso. Pubblicazione n.90

A.A.V.V., 2001. Strumenti Innovativi per un mercato dell'energia verde. Atti del Convegno APER, Milano 30.3.2001. APER-Energia Blu, Milano.

Anderle A., Pettenella D., 1999. La valorizzazione dei sottoprodotti dell'industria del legno: un'indagine sugli effetti del Decreto Ronchi. Economia Trentina, 48 (1).

Anonimo, 1992. Electricity from Biomass – A Development Strategy. US Department of Energy, Washington D.C. 90p.

Anonimo, 1996. Renewable sources of energy with special emphasis on biomass: progress and policies. Report of the Secretary-General of the United Nations to the Economic and Social Council. Report EC13/1996/CRP.1.

Anonimo, 1998. Unified Wood Energy Terminology (UWET). Forest Energy Forum 3: 3-4. FAO Information Division.

Anonimo, 2000a. Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply. EU Green Paper COM (2000) 769 (final). Commission of the European Communities, Brussels. 90p.

Anonimo, 2000b. International Energy Outlook 2000: Energy Information Administration Report DOE/EIA-0484 US Dept of Energy, Washington D.C. 254p (disponibile sul Sito WEB: [www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html)).

Arola R.A., 1976. Wood-fuels - how do they stack up? In: Energy and the wood products industry. For. Prod.Res Soc. Proc.

Beckman D., Radlein D. 1999. Technical – economic assessment, slow-release fertilizer production plant from bio-oil. ZETON, Inc., Resource Transforms International Ltd. 20 p.  
Bernetti I., 1998. Il mercato delle biomasse a scopi energetici: un modello di offerta. Rivista di Economia Agraria, 53 (3).

Bortoluzzi B., Fedrigoli M., Pettenella D., Piccini C., Urbinati C., 2000 Indicatori di Gestione Forestale Sostenibile in Italia. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. Serie Stato dell'Ambiente 11/2000.

Bourke I.J., Leitch J., 1998. Trade restrictions and their impact on international trade in forest products. AO, Rome.

Bridgwater A. 1999. A Guide to Fast Pyrolysis of Biomass for Fuels and Chemicals. Pyne Newsletter No 8. Aston University, Birmingham, 6 p. ([www.pyne.co.uk](http://www.pyne.co.uk))

Browning B.L., 1967. Methods of wood chemistry. Interscience, New York, NY.

Brown C., 1999. The outlook for future wood supply from forest plantations. Global Forest Products Outlook Study Working Paper, GFPOS/WP/03. FAO, Rome.

Brown S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO-Forestry-Paper. 134, 55 p. Food and Agriculture Organization to the United Nations, Rome.

The outlook for future wood supply from forest plantations. Global Forest Products Outlook Study Working Paper, GFPOS/WP/03. FAO, Rome.

Brun F., Corona P., Pettenella D., 1998. Il bosco privato in Italia: caratteristiche organizzative, problemi e prospettive. Atti del Convegno dell'Associazione Nazionale dei Dottori in Scienze Forestali "Boschi privati: tutela e valorizzazione". Firenze, 2.10.1997. Economia Montana - Linea Ecologica, 30 (1).

Bull G., Mabee W., Scharpenberg R., 1998. Global Fibre Supply Study. FAO, Rome.

Burrows J., Sanness B., 1998. The competitive climate for wood products and paper packaging. The factors causing substitution with emphasis on environmental promotions. Joint FAO/ECE Team of Public Relations Specialists in the Forest and Forest Industries Sector. Living Forests, Oslo.

Carre J., Hebert J., Lacrosse L., Lecicq A., 1985. The Lambiotte continuous carbonisation process. In: Proceedings of the symposium on forest products research international, Vol. 5, 12-13. Pretoria, South Africa.

Chornet E., Overend R.P., 1985. Biomass liquefaction: prospects and problems. in: H. Egneus and A. Ellegard (eds), Bioenergy 84. Volume 1: Bioenergy state of the art: 276-296, 1985. Elsevier Applied Science Publishers, London.

Ciccarese L., 2000. Effetto della cenere di legna sul substrato d'allevamento e sullo sviluppo in semenzali di douglasia e orniello. *Sherwood* 53(2):39-46.

Cogoli M., 1993. Il mercato del legname ad usi energetici: un caso di studio nella provincia di Brescia. Università degli Studi di Padova; Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali; Tesi di laurea in Scienze Forestali; AA 1992-93.

De Paoli L., Lorenzoni A. (ed.), 1999. Economia e politica delle fonti rinnovabili e della cogenerazione. Franco Angeli, Bologna.

Deglise P., Magne P., 1987. Pyrolysis and industrial charcoal, biomass. *Regenerable energy*:221-235. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.

Del Favero R., 1978. Aspetti particolari della vendita del legname da parte di comuni ed enti. Padova.

- Del Favero R., 1998. Biodiversità e Indicatori nei tipi forestali del Veneto. ECE/FAO Timber Committee, 2000. Forest Products Annual Market Review 1999-2000. Timber Bulletin , Vol. LIII, ECE/TIM/BULL/53/3. UN, Geneva.
- Desideri U. 2003. L'utilizzo del legno come combustibile nella generazione. Legno Energia 1: 21-25.
- ECE/FAO, 1996. European Timber Trends and Prospects: into the 21<sup>st</sup> Century. Timber and Forestry Study Papers, ECE/TIM/SP/11. UN, Geneva.
- Elliott D.C., 1988. Relation of time and temperature to oil composition. Acs symposium series 376, American Chemical Society, Washington, DC.
- Ewards J., 1974. Combustion: formation and emission of trace species. Ann Arbor Science, Michigan.
- Farinelli U., 1998. Verso un modello energetico sostenibile. Alcune considerazioni sul quadro internazionale ed europeo in campo energetico in vista della Conferenza Nazionale Energia e Ambiente. Energia, Ambiente, Innovazione, 44.
- Federlegno-Arredo, 1999. Settore legno-arredamento. Importanza della combustione degli scarti. Federlegno-Arredo-Coordinamento Triveneto.
- Gerardi V., 1997. Il consumo di biomassa a fini energetici nel settore domestico. Risultati preliminari. ENEA, Roma.
- Gerardi V. 2003. Problemi nell'uso del legno nella cogenerazione. Legno Energia 1: 26-27.
- Gerardi V., Perrella G., Masia F., 1998. Il consumo di biomassa a fini energetici nel settore domestico. ENEA RT/ERG/98/9
- Gruppo di Coordinamento Italiano Progetto ALTENER-BIOGUIDE, 1999. Le coltivazioni da biomassa per un'energia alternativa. Agricoltura, 47 (293).
- Hakkila P., 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 96(3):1-59.
- Hakkila P., 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer-Verlag, Berlino. 568 p. ISBN 3-540-50299-8.
- Hall D.O., 1998. Biomass energy versus carbon sinks: trees and the Kyoto Protocol. Environment 1: 1/39.
- Hall D.O., Overend R.P. (eds) ,1987. Biomass. Regenerable energy. Wiley & sons, Chichester.
- Hall, D.O., Scrase I., 1998. Will biomass be the environment friendly for the future? Biomass & Bioenergy 15: 357-67.
- Hazley C.J., 2000. Forest-based and related industries of the European Union – Industrial districts, clusters and agglomerations. The Research Institute of the Finnish Economy, Helsinki.
- Hos J.J., Groeneveld M.J., van Swaai J., 1980. Gasification of organic solid wastes in co-current moving bed reactor. W.P.M.. IGT 33,351.
- IEA, 2000. World Energy Outlook 2000. International Energy Agency, Paris. 457p.

- ISAFSA, 1998. 2° Inventario Forestale Nazionale. Studio di Fattibilità. ISAFSA, Trento.
- ISTAT, 1991. 7° censimento generale dell'industria e dei servizi. ISTAT, Roma.
- ISTAT, 2000a. Coltivazioni agricole e forestali. Anno 1997. Roma.
- ISTAT, 2000b. Statistiche dell'agricoltura, Anno 1997. Roma.
- Kintisch E., 2001. Spirit of the Road. *New Scientist* 2274, 20 January 2001: 12-13.
- Klass D.L., 1987. *Energy from biomass and wastes*. Elsevier Applied Science Publishers and Institute Of Gas and Technology, London.
- Laakso A., 2000. Industria e mercato dei segati di conifere in Europa. In: M.Fonanive et al. "Mercato del legno: dal globale al locale". Programma Leader II Alto Bellunese, Azione 9. Centro Contabilità e Gestione Agraria, Forestale e Ambientale, Università di Padova.
- Lazzari P., 2000. L'utilizzo di residui agricoli ligno-cellulosici. *Sherwood*, 59.
- Leslie A.J., 2001. The uncompromising future. *Unasylva*, vol. 52 (204).
- Li J., Gifford G., Hooper G., 2000. Reconstituted Solid Fuels from Wood Wastes. MINZ 12th Annual Conference 1-3 Nov 2000. Sky City, Auckland New Zealand.
- Marland G., Schamadinger, B., 1997. Forest for carbon sequestration or fossil fuel substitution? A sensitivity analysis. *Biomass & Bioenergy* 13: 389-97.
- Marzetti P., Arnone R., 1988. Il legno come combustibile per il riscaldamento. *Risparmio Energetico* (19).
- Matthews, G. 1993. The carbon content of trees. *Forestry Commission Technical Paper* 4(21).
- McCloy B.W., O'Conner D.V., 1998. *Wood Ethanol: A BC Value Added Opportunity*. prepared for the Ministry of Environment, Land & Parks and Environment Canada- Pacific & Yukon Region.
- McKeough P., Nissilä M., Solantausta Y., Beckman D., Östman A., Bergholm A., Kannel A., 1988. Techno-economic assessment of selected biomass liquefaction processes. IEA Cooperative Project D1, Biomass Liquefaction Test Facility Project, Final Report. National Technical Information Service, Springfield, Virginia, USA. (DOE/NBM-1062).
- Menna P., 1998. Come sta l'Italia delle fonti rinnovabili. *Energia, Ambiente, Innovazione*, 44.
- Morrow F.W., Phillips K.F., Myers W., 1981. *Understanding Cost Growth Performance Shortfalls in Pioneer process Plants*. The Rand Corporation.
- Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, 1988. *Inventario Forestale Nazionale 1985*. M.A.F., I.S.A.F.A., Roma.
- Mitchell C.P., Bridgwater A.V., Stevens D.J., Toft A.J., Watters M.P., 1995. Technoeconomic Assessment of Biomass to Energy. pp205-226 in *Proceedings of IEA IBS Workshop, Graz, Austria*. September 1995.
- Morell M., 2001. Vision on forestry 50 years on. *Unasylva*, vol. 52 (204).
- Morozov A., 2000. Survey of Illegal Forest Felling Activities in Russia <http://www.forest.ru/eng/publications/illegal/>

- Nilsson S., 1996. Do we have enough forests? International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria 71p.
- Niskanen A., Saastamoinen O., Rantala A., 1996. Economic impacts of carbon sequestration in reforestation: Examples from boreal and moist tropical conditions. *Silva Fennica*. 30(2-3): 269-280.
- NOVEM, 1992. The Feasibility of Biomass Production for the Netherlands Energy Economy. Netherlands Agency for Energy and the Environment, Apeldoorn, Holland. 100p.
- OECD/IEA, 1994. Biofuels. International Energy Agency, Paris, France. 115p.
- Östman A., 1999. Comparison of alternative routes for biomass fuel: biomass (pellets), pyrolysis oil and tall oil pitch. Keminformation, AB, Sweden. 29p.
- Patrone G., 1970. *Economia forestale*. Coppini, Firenze.
- Pearce D., 1995. The development of externality adders in the United Kingdom, paper prepared for the European Commission, International Energy Agency, and Organization for Economic Co-operation and Development Workshop on "The External Costs of Energy", Brussels, Belgium, 30-31 January 1995.
- Pearce F., 2000. Knocking the habit. *New Scientist* 20 November 2000: 36-42.
- Pettenella D., 1999. Politiche di incentivazione del mercato del legname ad uso energetico in Italia. Atti del Convegno "Italia legno-energia: dal presente al futuro". Fiera di Verona, 19.3.1999. PMT-CEAR, Padova.
- Pettenella D., 2000. Costi di produzione e possibilità di marketing del legno cippato per impieghi energetici. *Sherwood*, 59.
- Pettenella D., Secco L., Zanuttini R., 2000. La certificazione della gestione aziendale e dei prodotti nel sistema foresta-legno. Regione Veneto, Dipartimento Foreste ed Economia montana, Mestre.
- Pimentel D., Rodrigues G., Wane T., Abrams R., Goldberg K., Staecker H., Ma E., Brueckner L., Trovato L., Chow C., Govindarajulu U., Boerke S., 1994. Renewable Energy: Economic and Environmental Issues. *BioScience* 44, 8 1-20.
- Piussi P., 1994. *Selvicoltura generale*. UTET.
- Radlein D., 1997. Chemicals and Materials from Bio-oil Part 1. pp 4-6 *Pyne Newsletter* No 4. Aston University, Birmingham, 24p ([www.pyne.co.uk](http://www.pyne.co.uk))
- Rametsteiner E., Schwarzbauer P., Justin H., Kärnä J., Cooper R., Samuel J., Becker M., Kühn T., 1998. Potential markets for certified forest products in Europe. European Forest Institute Discussion Paper, 2. EFI, Joensuu.
- Rawlins W.H.M., Karruish C.M., Horgan G.P., 1982. The potential costs of growing and harvesting wood for energy in Australia and New Zealand pp 39-49 in *Energy from Forest Biomass*.
- Renewable Fuels Association, 1999. Ethanol Industry Outlook 1999 and Beyond. Washington, D.C. 10p [www.ethanolrfa.org/outlook99/99industryoutlook.html](http://www.ethanolrfa.org/outlook99/99industryoutlook.html).
- Robert P., 1984. *De la forêt aux chaufferies à bois*. Idf, Parigi.
- Samson R., Girouard P., 1998. Bioenergy Opportunities from Agriculture. R.E.A.P. Canada Research Report presented to 24th Annual Conference of the Solar Energy Society of Canada, 'Re-

- newable Energy Technologies in Cold Climates'. 4-6 May. Montreal, Quebec, Canada. 5p.
- Sarkanen K.V., Ludwig C.H., 1971. Lignins. Occurrence, formation, structure and reactions 1. Wiley, New York.
- Sedjo R.A., 2001. From foraging to cropping: the transition to plantation forestry, and implications for wood supply and demand. *Unasylva*, vol. 52 (204).
- Senn L., Lapietra G., 1988. Problemi e prospettive della produzione ed utilizzazione del legno di pioppo in Italia. *Cellulosa e carta*, n. 4.
- Serafin S., Pettenella D., 1999. La convenienza economica nell'impiego di biomasse a fini energetici in impianti su piccola scala: i filari a ceduo di platano. *Sherwood*, 5 (50).
- Shafizadeh F., Chin P.S., 1977. Thermal deterioration of wood. In: I.S. Goldstein (ed.), *Wood Technology: Chemical Aspects*:57-81. Acs Press, Washington, D.C..
- Sharma N., Rowe R., Openshawand K., Jacobson M., 1992. World forests in perspective. In: N.Sharma (ed.) *Managing the World's Forests*. Kendall-Hunt Publishing, Dubuque, Iowa. pp 17-31.
- Shula R.G., 1990. A Selective Annotated Forest Energy Bibliography. FRI Bulletin No. 149. NZ Forest Research Institute, Rotorua. 62p.
- Sims R.E., 1996. The Potential for Biodiesel in New Zealand. pp 140 – 148 In Conference Papers for Applications of Bioenergy Technologies. NZ Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand.
- Sims R.E.H., Handford P., Weber J., Lynch R., 1991. The Feasibility of Wood-Fired Power Generation in New Zealand. Massey University, Palmerston North, New Zealand. 136p.
- Smith K.R., 1987. *Biofuels, air pollution and health*, 1987. Plenum Press, New York, NY.
- Solantausta Y., Diebold J., Douglas C., Bridgewater T., Beckman D., 1994. Assessment of liquefaction and pyrolysis systems. VTT Research Notes 1573. Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland. 123p + appendices.
- Solberg B. (ed.), 1996. Long-Term Trends and Prospects in World Supply and Demand for Wood and Implications for Sustainable Forest Management. European Forest Institute Research Report 6, Joensuu, Finland. 150p.
- Soltes J., Milne T.A. (eds), 1988. *Pyrolysis oils from biomass*. American chemical society, Washington, D.C.
- Spinelli R., 2000. Prove di imballatura delle potature di olivo. *Informatore agrario*, 4.
- Spinelli R., 2003. Il progetto ChipCost del CNR. Uno stato dell'arte su scala nazionale. *Legno Energia* 1: 38-41.
- Spinelli R., Spinelli R., 1998a. La raccolta della biomassa di scarto nella pioppicoltura. *Legno Cellulosa Carta*, 1.
- Spinelli R., Spinelli R., 1998b. La raccolta delle ceppaie di pioppo. *Legno Cellulosa Carta*, 3.
- Spinelli R., Spinelli R., 2000. Prove di imballatura delle potature di olivo. *Informatore agrario*, 4.

- Tillmann D.A., 1981. Review of mechanism associated with wood combustion. *Wood Science* 13(4): 21-34.
- Timmell T.E., 1986. *Compression wood in gymnosperms*. Springer, Berlin.
- Toft A.J., Bridgewater A.V., 1996. Biomass Gasification and Pyrolysis pp 78-90: in the Conference Papers for Applications of Bioenergy Technologies. NZ Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand.
- Tommasetti G., 2000. I consumi di legna nelle famiglie italiane. *Sherwood* 8 (59), p. 15-19.
- Trossero M., 2000. The current wood energy use in Europe. Lavoro presentato alla Conferenza woody biomass as an energy source challenges in Europe. EFI, University of Joensuu, Ita Bionergy, Cost E21, Silva Network. 25-28 Settembre 2000. Jaensum, Finlandia
- Turhollow. A., 2000. Costs of Producing Biomass from Riparian Buffer Strips. Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-1999/146 prepared for the US Department of Energy (contract DE-AC05-00OR22725), TN, USA. 60p.
- Tustin J. (ed.), 2000. IEA Bioenergy Annual Report 1999: ExCo 2000:01, Rotorua, New Zealand. 106p.
- van Campen B., Guidi D., East G., 2000. Solar Photovoltaics for sustainable Agriculture and Rural Development. Working Paper No 2 Environment and Natural Resources. FAO, Rome.
- Vogel M., 2003. Heating with Wood: Principles of Combustion. 2003 MSU Extension Service. MT198405 HR reprinted 3/2003. 2 p. Disponibile al sito: <http://www.montana.edu/wwwpb/pubs/mt8405.pdf>.
- Wenzl H., 1970. *The chemical technology of wood*. Academic press, New York, NY.
- Whiteman A., C.Brown, G. Bull, 1999. Forest product market developments: the outlook for forest product markets to 2010 and the implications for improving management of the global forest estate. FAO Working Paper FAO/FPIRS702. FAO, Rome.
- World Conservation Monitoring Centre, Center for International Forestry Research, 1998. A global overview of forest conservation. <Http://www.unep-wcmc.org/forest/data/cdrom2/index.html>.
- Zhu S., Tomberlin D., Buongiorno J., 1999. Global forest products consumption, production, trade and prices: global forest products model projections to 2010. GFPOS/WP/01, FAO, Rome.

