

I GEORGOFILI

Quaderni
2002-VIII



RECUPERO DEL LEGNO COME MATERIA PRIMA SECONDARIA RIPETIBILE

Firenze, 2003

SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

I GEORGOFILI

Quaderni
2002-VIII



Giornata di Studio

**RECUPERO DEL LEGNO COME MATERIA PRIMA
SECONDARIA RIPETIBILE**

Firenze, 12 dicembre 2002

SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

Copyright © 2003
Accademia dei Georgofili
Firenze
<http://www.georgofili.it>

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili»
Anno 2002 - Settima Serie - Vol. XLIX (178° dall'inizio)

Responsabile redazionale: dott. Paolo Nanni

Servizi redazionali, grafica e impaginazione
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA
Via G. Benivieni 1 - Firenze
Tel. 055 5532924
Fax: 055 5532085
e-mail: info@sefeditrice.it
www.sefeditrice.it

INDICE

LUCA UZIELLI, <i>Introduzione</i>	7
SERGIO MIELE, ALESSANDRO MASONI, SILVIA PAMPANA, <i>Aspetti agroambientali della produzione primaria di legno</i>	13
SANZIO BALDINI, GIANLUCA PIOVESAN, RODOLFO PICCHIO, <i>La produzione primaria di legno da boschi e da coltura specializzata</i>	37
MARCO FIORAVANTI, PAOLO FRANKL, <i>Il ruolo dei prodotti legnosi come serbatoio di carbonio: situazione e prospettive</i>	89
MAURO SAVIOLA, <i>Un esempio di tecnologia e organizzazione per il recupero del legno come materia prima secondaria ripetibile</i>	105
<i>Considerazioni conclusive</i>	119

LUCA UZIELLI*

INTRODUZIONE

Questa giornata di studio vuole fornire un contributo di conoscenza sulle possibilità di recupero degli scarti e dei residui legnosi, con particolare riferimento al loro impiego come materia prima per la produzione di semilavorati per l'industria del legno.

A tal fine non si può prescindere dal formulare alcune considerazioni legate ai due opposti ruoli che il legno ed i materiali ligno-cellulosici possono svolgere nell'ambito di quel particolare aspetto delle attività umane riguardante le emissioni dei cosiddetti gas serra:

- da un lato tali materiali possono sequestrare per lunghi periodi il carbonio atmosferico fissato mediante il processo fotosintetico, contribuendo così alla riduzione delle emissioni, secondo le intenzioni e le raccomandazioni del protocollo di Kyoto;
- dall'altro lato, il loro uso come fonte di energia rinnovabile, vigorosamente incoraggiato dalle recenti direttive della Commissione Europea, comporta inevitabilmente l'inconveniente di rimettere in tempi brevi nell'atmosfera il carbonio precedentemente fissato dagli alberi.

A seconda delle politiche di incentivazione attuate, sul piano dei costi e degli approvvigionamenti ciò può comportare una competizione fra le diverse destinazioni dei residui legnosi. Una ampia ed approfondita valutazione dei vantaggi e degli svantaggi di queste diverse destinazioni deve naturalmente tenere conto non soltanto del

* *Dipartimento di Scienze e Tecnologia Ambientali Forestali, Università degli Studi di Firenze*

bilancio del carbonio, che già di per sé è argomento estremamente complesso, ma anche di numerosi aspetti economici, sociali ed ambientali, diretti ed indiretti; tutti aspetti che dovrebbero essere valutati accuratamente nei diversi contesti, allo scopo di contribuire a definire i relativi orientamenti politici, a tutti i livelli.

Questi aspetti non sono così semplici e banali come potrebbero sembrare, o come vengono presentati dagli slogan coniatati e diffusi di volta in volta per sostenere i diversi punti di vista. Pur non essendo uomo di marketing, mi rendo conto che in determinati contesti il marketing è essenziale, ed è fatto anche di slogan; ma in questa giornata di studio l'Accademia dei Georgofili non ha voluto basarsi sugli slogan, ha riunito e messo a confronto competenze ed esperienze diverse, per contribuire ad una migliore conoscenza, basata sul metodo scientifico e su valide, concrete realizzazioni. Il metodo scientifico non significa soltanto laboratori e camici bianchi, significa anche e soprattutto analisi critica ed onesta delle premesse, dei fatti, delle conclusioni – non necessariamente complete e definitive – cui si perviene.

Nei suoi incontri preparatori il Gruppo di Studio ha esaminato vari aspetti connessi sia alla produzione primaria di materiale ligno-cellulosico, sia al recupero ed alla riutilizzazione dei residui legnosi (materia prima secondaria, appunto, caratterizzata dalla possibilità di essere riutilizzata: “ri-petibile” come iterativo di *petere*).

Tali aspetti sono trattati, con tagli ed approcci diversi, dalle relazioni che oggi vengono presentate.

Miele e Masoni richiamano l'opportunità di promuovere – pur nel rispetto dall'ambiente e del paesaggio, sovente trascurati nel recente passato – sia le colture agricole intensive, aventi elevata capacità di fissare il carbonio atmosferico, sia gli interventi agronomici volti a migliorare il tenore di sostanza organica nel suolo. Esaminando in particolare alcuni aspetti agronomici ed ambientali della produzione primaria di materiale ligno-cellulosico fuori foresta, sottolineano che l'agricoltura può in vari modi contribuirvi, purché ne risulti chiara la convenienza economica.

Baldini, Piovesan e Picchio esaminano lo stato dell'arte sui bilanci del carbonio nella produzione di legno, la produzione primaria italiana di legno dai boschi, i motivi che rendono desiderabile l'attuazione di pratiche selvicolturali rispettose dell'ambiente e della perpe-

tuità del bosco, ed i sistemi di utilizzazione forestale a basso impatto; trattano infine anche l'arboricoltura da legno, con particolare riferimento agli impianti specializzati per la produzione di biomasse.

Entrando più specificamente nel tema della giornata, Fioravanti e Frankl esaminano il ruolo dei prodotti legnosi come “serbatoio” di carbonio ai fini ambientali, applicando a tali prodotti i metodi dell'ecobilancio, e precisando i concetti – fra loro distinti e complementari – del *carbon-sink* (fissazione del carbonio, attuata dagli alberi e da altri vegetali) e del *carbon pool* (serbatoio di carbonio, costituito dai prodotti legnosi fino a che non vengono combusti od altrimenti degradati). In particolare evidenziano come sia necessario, per avere la possibilità di confrontare riciclaggio e combustione con metodo obiettivo e rigoroso, impostare a livello nazionale rilevamenti e studi di settore sui flussi; la disponibilità di dati ampi e realistici consentirà sia di disporre di corrette metodologie per applicare la LCA (*Life Cycle Assessment*) al settore del legno, sia di quantificare il credito che potenzialmente l'Italia potrebbe vantare in sede di applicazione del protocollo di Kyoto, sia infine di migliorare tale applicazione rappresentando più realisticamente e quindi incoraggiando la funzione di “serbatoio di carbonio” svolta dai prodotti legnosi.

Infine Saviola presenta un esempio di tecnologia e la relativa organizzazione per il recupero del legno finalizzato alla produzione di pannelli di particelle, destinati alla produzione industriale di mobili e arredi: una testimonianza imprenditoriale su come il rifiuto legnoso è trasformato da problema a risorsa, attraverso una filiera di cui illustra gli aspetti tecnici, organizzativi, economici e ambientali. Egli dissente quindi dagli specifici aspetti della politica europea delle RES (*Renewable Energy Sources*) che portano ad incentivare l'impiego a fini energetici di quelle biomasse legnose che potrebbero invece essere riciclate ricavandone semilavorati tecnologicamente avanzati.

Prima di lasciare la parola ai Relatori, come tecnologo del legno desidero esporvi un breve “elogio” dei pannelli di particelle, dei quali l'Italia è un importante produttore ed utilizzatore.

I pannelli derivati dal legno (ed in particolare quelli di particelle) rappresentano una categoria di semilavorati di grande importanza nella moderna industria del legno e del mobile; non un ma-

teriale di ripiego, ma un insieme di materiali che spesso per certe loro caratteristiche vengono addirittura preferiti al legno massiccio. Per quanto spesso fabbricati a partire da residui e scarti legnosi, si tratta di prodotti tecnologicamente evoluti, le cui caratteristiche e prestazioni sono specificate da numerose ed accurate normative (oggi soprattutto norme europee EN curate dal Comitato Tecnico CEN/TC 112 “Pannelli derivati dal legno”).

Rispetto al legno massiccio, i pannelli presentano vari vantaggi tecnici ed economici, fra cui tipicamente i seguenti: ridotta anisotropia – possibilità di superare le limitazioni dimensionali e di forma dei tronchi – maggiore omogeneità sia estetica, sia della struttura e delle proprietà – possibilità di escludere anomalie o difetti localizzati, altrimenti inevitabili nel legno massiccio – possibilità di ridurre od eliminare alcuni aspetti caratteristici del legno (p.es. suscettibilità agli agenti del degradamento, insoddisfacente reazione al fuoco, ecc.) mediante l’aggiunta di opportuni additivi – possibilità di utilizzare materia prima lignocellulosica di varie tipologie e qualità, compresi i residui e gli scarti di altre lavorazioni.

A seconda delle tecnologie produttive e degli adesivi con cui sono agglomerati, i pannelli di particelle possono presentare vari livelli di lavorabilità, resistenza meccanica, resistenza all’umidità.

La pessima qualità di alcuni di questi pannelli, prodotti soprattutto in passato, ha spesso portato gli utenti a considerarli un prodotto dalle caratteristiche necessariamente scadenti, facilmente degradabile se esposto all’umidità: in realtà tali caratteristiche poco desiderabili costituiscono puramente e semplicemente il risultato di una scelta di carattere economico-industriale. Un pannello ha le caratteristiche che gli vengono conferite – più che dalla materia prima impiegata – dagli adesivi e dai processi di fabbricazione. Oggi vengono prodotti e commercializzati ottimi pannelli, idonei a soddisfare i requisiti delle norme tecniche più stringenti, formulate a livello europeo.

Anche per quanto riguarda la materia prima occorre ridimensionare certi timori. Se è vero che nel legno recuperato e riciclato potrebbe teoricamente essere compreso legno trattato con preservanti (traverse ferroviarie, pali telegrafici...), con vernici o colle, con altre sostanze tossiche o comunque indesiderabili, è altrettanto vero che nessun produttore serio ha interesse a cadere in tali trabocchetti, violando le severe normative vigenti.

Infine, raccomando un atteggiamento cauto e critico nei riguardi degli slogan che implicano che “tagliare alberi” sia in sé un’operazione sempre negativa, nemica dell’ambiente. Come insegnamo ai nostri studenti di Scienze Forestali e Ambientali, è infatti soprattutto importante assicurare la perpetuità dell’ecosistema bosco, piuttosto che dei singoli alberi; e la selvicoltura si attua anche, se non soprattutto, tagliando alberi, quando e dove necessario.

Ringrazio il Presidente, Franco Scaramuzzi, che con l’impegno e la passione che lo caratterizzano ha attivato e coordinato questo Gruppo di studio, e ha promosso lo svolgimento di questa giornata. Ringrazio i Relatori, e ringrazio tutti voi che siete intervenuti.

SERGIO MIELE*, ALESSANDRO MASONI*, SILVIA PAMPANA*

ASPETTI AGROAMBIENTALI DELLA PRODUZIONE PRIMARIA DI LEGNO

I. INTRODUZIONE

L'accordo raggiunto nel 1997 alla conferenza di Kyoto ha formalmente impegnato i Paesi firmatari del mondo industrializzato a rivedere profondamente le politiche ambientali e la gestione delle fonti energetiche. L'obiettivo principale era quello di sviluppare un sistema di gestione dell'energia in grado di contribuire, su scala mondiale, al ripristino, entro il 2012, del livello dei "gas serra" a una quota inferiore al 5% di quello rilevato nell'anno 1990. Negli ultimi tempi i mass-media hanno riportato con evidenza le difficoltà che si sono di recente manifestate a Johannesburg per trovare un nuovo punto di intesa sulle misure riguardanti il rispetto di tale accordo.

La recente evoluzione dell'attività primaria, condizionata dalla situazione internazionale e vincolata dal quadro comunitario, ha causato la rinuncia alla coltivazione di molti terreni agrari e si prevede che questa situazione diverrà ancora più preoccupante con l'ampliamento della UE ai Paesi dell'Est europeo. In realtà molti suoli abbandonati presentano, comunque, una fertilità discreta o buona e potrebbe essere opportuno e auspicabile valorizzarli con produzioni diverse da quelle eccedentarie. Tra queste ultime non è possibile annoverare il legno, infatti, la quasi totalità dei Paesi europei ne è deficitaria in quanto il legno sta divenendo sempre più una materia prima rara. È quindi sensato valutare la possibilità di produrlo nei terreni agrari, oltre che nei boschi; tra l'altro non si tratta di un aspetto innovativo per la

* *Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Università degli Studi di Pisa*

PRODUZIONI VEGETALI	SUPERFICIE (ha)
Seminativi	7.340.221
Coltivazioni legnose	2.457.994
Prati permanenti e pascoli	3.414.437
Totale SAU	13.212.652
Pioppeti	82.950
Altro	79.702
Totale Arboricoltura da legno	162.652
Fustaie	1.837.122
Cedui	2.272.213
Macchia mediterranea	438.823
Totale Boschi	4.548.159
Altra superficie	1.683.631
Totale	19.607.094

Tab. 1 *Superfici destinate alle produzioni vegetali in Italia*

nostra agricoltura che nella pioppicoltura ha una vecchissima tradizione. Oltre alla pioppicoltura anche altre alternative sono state oggetto di valutazione nel nostro Paese, come ad esempio la produzione di legname dai frangivento in zone di bonifica, rimboschimenti con conifere e latifoglie ecc. L'agricoltura può quindi offrire un contributo alla fornitura di materiali legnosi ottemperando, contemporaneamente, anche alla tutela ambientale ed alla salvaguardia degli equilibri ecologici. La ripartizione delle superfici italiane è sintetizzata nella tabella 1. Come è possibile osservare, l'arboricoltura da legno supera di poco i 160.000 ha, mentre il totale dei boschi si assesta intorno ai 4,5 milioni di ha. In termini di quantitativi disponibili, dunque, la produzione di legno proveniente direttamente dall'esercizio dell'agricoltura attualmente non assume grande rilevanza, mentre non trascurabili sono i benefici ambientali che tali coltivazioni possono assicurare. Infine, nel contesto della politica futura dell'UE, le prospettive di diffusione delle colture da legno sono destinate a incrementare; per questo motivo è opportuno procedere all'analisi degli aspetti agroambientali connessi all'introduzione di queste coltivazioni all'interno degli ordinamenti produttivi, in maniera da favorirne la diffusione.

2. EFFETTO SERRA

Il principale aspetto ambientale che riguarda la produzione e il consumo di legno è rappresentato dall'effetto serra, espressione larga-

mente usata per indicare il fenomeno che produce un innalzamento della temperatura degli strati più bassi dell'atmosfera, come conseguenza dell'aumento della quantità di biossido di carbonio e di altri gas presenti nell'atmosfera stessa. Il termine deriva dal fatto che questi gas svolgono una azione simile a quella dei pannelli di vetro delle serre, e cioè permettono alla radiazione di entrare nella serra stessa, ma ne impediscono l'uscita.

L'effetto serra è perciò un fenomeno naturale. L'anidride carbonica è il principale responsabile della variazione del flusso energetico in uscita: essa è altamente trasparente alle radiazioni corte ed è invece fortemente assorbente nei confronti delle radiazioni infrarosse. Oltre all'anidride carbonica, vi sono altri gas minori, alcuni dei quali di origine antropica, che contribuiscono all'alterazione del bilancio radioattivo; i più importanti sono gli ossidi di azoto, il metano, l'ozono, l'ammoniaca e l'anidride solforosa.

L'effetto serra, di per sé, è un processo favorevole per la vita sulla Terra, essendo parzialmente responsabile della temperatura atmosferica. È stato stimato che se l'atmosfera fosse completamente priva di anidride carbonica, la temperatura dell'aria a contatto con la superficie terrestre sarebbe di circa 33 °C più bassa di quanto è attualmente e la vita, così come la conosciamo, potrebbe non essersi mai formata. I problemi che si originano con l'effetto serra sono legati alla continua immissione nell'atmosfera di CO₂ derivante dalla combustione di materiali organici fossili, che innalza progressivamente la temperatura dell'aria. Verso la metà del prossimo secolo è previsto un aumento della temperatura dell'aria di circa 5 °C, il che significa un incremento dieci volte superiore a quello medio, dovuto ai cambiamenti naturali. L'innalzamento termico provocherà forti variazioni a livello climatico modificando gli schemi abituali delle piogge, della siccità, del susseguirsi delle stagioni, del livello del mare, ecc.

Complessivamente, si stima che negli ultimi 150 anni la temperatura media del sistema terra-atmosfera sia cresciuta di circa 0,45 ± 0,15 °C, ma un incremento di questa entità rientra nel dominio di variabilità naturale, se si tiene conto anche di eventi naturali imprevedibili quali le grandi eruzioni vulcaniche. Probabilmente la tendenza all'innalzamento di temperatura che l'arricchimento di determinati gas nell'atmosfera potrebbe produrre viene in gran par-

te tamponato da due processi endotermici: lo scioglimento dei ghiacciai e la maggiore evaporazione delle acque che assorbono grandi quantità di calore determinando un processo a feedback: lo scioglimento dei ghiacciai mette a nudo le rocce sottostanti che hanno un minore potere riflessivo dei ghiacci, portando, così, ad un ulteriore aumento della temperatura. I ghiacciai artici si sarebbero ridotti, negli ultimi 11 anni, del 15%. Il loro scioglimento porta inevitabilmente all'aumento del livello dei mari che nel corso dell'ultimo secolo sarebbe stato di 12 cm. Le previsioni per il futuro variano in un dominio di incertezza compreso tra un minimo di 3 e un massimo di 10 cm al decennio. La stima più bassa non comporterebbe conseguenze apprezzabili per parecchi decenni, mentre quella più alta porterebbe, nell'arco di un secolo, a un metro di sollevamento delle acque marine con 360.000 km di coste che verrebbero sommersi. Occorre però considerare anche altri processi a feedback: la maggiore evaporazione delle acque, facendo salire l'umidità atmosferica, innesca sia una retroazione positiva (ulteriore incremento dell'effetto serra) che una negativa (riduzione dell'irraggiamento solare al suolo).

Sono state formulate molte critiche sull'accuratezza delle determinazioni strumentali della temperatura che possono aver portato a una sovrastima o a una sottostima dei valori. Inoltre esiste la possibilità che l'impatto di queste variazioni sul riscaldamento globale possa essere stato ridotto dagli aerosol di solfati prodotti dall'uomo, derivanti dalla combustione dei prodotti fossili e componenti delle piogge acide. In questo modo paradossalmente una forma di inquinamento può aver ridotto gli effetti di un'altra.

L'incremento della concentrazione di anidride carbonica migliora la produttività primaria degli ecosistemi. Per esempio, in studi di laboratorio con atmosfere arricchite di anidride carbonica sono stati registrati incrementi produttivi per le colture da granella fino al 36% e per il cotone del 100%. Questi elevati incrementi di resa, tuttavia, sono stati raramente osservati nelle colture in pieno campo, per le quali anzi sono state registrate diminuzioni comprese tra il 25 e il 33%. Questo perché gli esperimenti in ambiente controllato non prendono in esame altri effetti del riscaldamento, quali quello sull'umidità del terreno e sullo sviluppo di agenti patogeni.

3. CARBONIO

I materiali legnosi sono costituiti per circa il 50% da carbonio. I composti del carbonio conosciuti sono più di un milione, e di questi circa un migliaio sono di fondamentale importanza per la vita. L'atomo del carbonio ha la caratteristica capacità di instaurare legami chimici stabili formando molecole di dimensione elevata, ed è per questo che rappresenta l'elemento fondamentale della chimica organica e della biochimica. In natura il carbonio elementare si trova in tre forme allotropiche: carbonio amorfo, grafite e diamante. Gli stati di ossidazione dell'atomo di carbonio possono variare da +4 a -4, il più comune dei quali è il primo (+4), come quello assunto nella CO_2 e nei carbonati.

Il ciclo biogeochimico del carbonio è molto complesso e include tutte le forme di vita presenti sulla Terra e numerosissimi composti inorganici (fig. 1). Le principali riserve del carbonio si trovano nella atmosfera, nella idrosfera, nella biosfera e nella litosfera. Il ciclo del carbonio è di tipo gassoso, infatti, il pool di riserva è costituito dalla anidride carbonica presente nell'atmosfera e dai carbonati che si trovano in due riserve principali: negli oceani, come carbonio disciolto e, nella litosfera, come carbonato minerale [CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, FeCO_3]. Il ciclo si svolge per la maggior parte grazie all'attività biologica e procede, nel breve periodo, essenzialmente attraverso la fotosintesi e la respirazione.

La scala dei tempi è molto importante per i processi coinvolti nel ciclo del carbonio, in quanto si hanno variazioni di diversi ordini di grandezza con scambi, come la fotosintesi o la diffusione fra il mare e l'atmosfera, che avvengono in pochi secondi, processi che richiedono anni per essere completati (umificazione e mineralizzazione della sostanza organica del terreno) e processi che durano per secoli in quanto dipendono dai movimenti della crosta terrestre (formazione del carbone e del petrolio).

Il carbonio è presente nell'atmosfera principalmente sotto forma di anidride carbonica, in quantità pari a circa 725 Pg, e in misura minore come metano (CH_4), ossido di carbonio (CO) e altri gas. L'atmosfera funziona da tramite tra la parte inorganica e quella organica (vivente) del ciclo del carbonio. I rapporti tra la prima e la seconda avvengono attraverso:

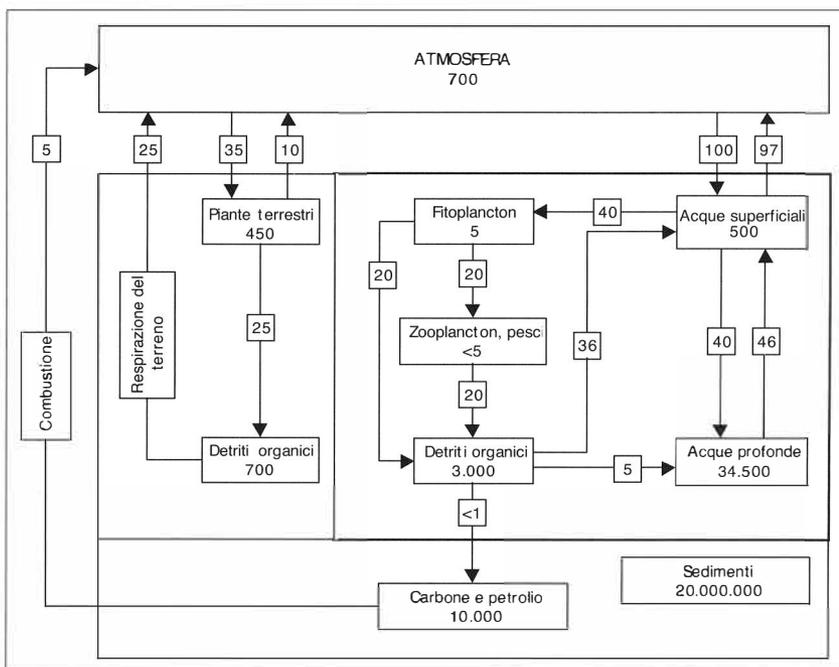
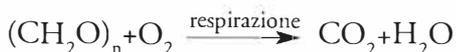


Fig. 1 Ciclo del carbonio su scala planetaria (Gt)

- la fotosintesi, con la quale l’anidride carbonica dell’atmosfera viene ridotta dagli organismi autotrofi in una vasta gamma di sostanze organiche attraverso la reazione:



- la respirazione, mediante la quale si produce anidride carbonica attraverso la reazione:



Nel periodo pre-industriale la concentrazione di CO_2 dell’atmosfera, determinata in base a prelievi di bolle di aria “imprigionata” nei ghiacciai dell’Antartide e della Groenlandia, era pari a circa 290 mg L^{-1} . Nell’anno 1988 la concentrazione di CO_2 dell’atmosfera era di 351 mg L^{-1} , mentre nel 1959 era pari a 316 mg L^{-1} , per cui in

trent'anni ha subito un incremento medio annuo di circa $1,2 \text{ mg L}^{-1}$ a causa sia della combustione dei combustibili fossili, sia della distruzione di ampie superfici occupate da ecosistemi naturali spesso caratterizzati da biocenosi di tipo forestale, allo scopo di destinarle alla coltivazione o ad insediamenti umani (abitazioni, strade, fabbriche, ecc.). In quest'ultimo caso l'aumento della concentrazione di anidride carbonica nella atmosfera deriva da due processi diversi e precisamente dalla eliminazione di una quantità di biomassa, la biocenosi, che fungeva da deposito per il carbonio (le piante) e dall'aumento del tasso di mineralizzazione della sostanza organica del terreno con produzione di CO_2 .

L'aria è in diretto contatto con il mare e nell'interfaccia aria-mare si verifica scambio di CO_2 . Gli oceani mantengono una grande quantità di CO_2 in soluzione, sotto forma dei vari ossidi, quantità equivalente a circa 50 volte il contenuto atmosferico. Gli oceani quindi agiscono come un enorme ammortizzatore per l'aria e sono a loro volta tamponati grazie a meccanismi largamente sotto il controllo biologico che depositano l'eccesso di CO_2 disciolta come rocce carbonatiche.

L'aumento della CO_2 nella atmosfera ammonta solo a circa un terzo dell'anidride carbonica effettivamente liberata con le combustioni. Benché la maggior parte dei restanti due terzi si sia presumibilmente disciolta nei mari, è anche ragionevole supporre che una significativa frazione di CO_2 abbia contribuito ad aumentare la quantità di vegetazione presente sulla Terra. Una grande quantità di carbonio si trova negli ecosistemi terrestri e c'è un rapido scambio fra l'atmosfera, gli organismi viventi e il suolo (tab. 2).

La produzione primaria lorda terrestre ammonta a circa 120 Pg di C per anno. Di questi circa la metà vengono immediatamente consumati per respirazione, per cui la produzione primaria netta ammonta a circa 60 Pg di C per anno.

La quantità di carbonio presente nella biomassa terrestre è pari a circa 560 Pg e quella contenuta nell'humus a circa 1500 Pg. Le foreste contengono il 90% di tutto il carbonio presente negli organismi viventi terrestri. Il tempo di turnover del carbonio dei fusti legnosi è di circa cinquant'anni mentre quello delle foglie, dei frutti, dei fiori ecc. è di circa uno-due anni.

Nell'humus confluiscono sostanze di non facile decomposizione che quindi ne fanno una riserva con turnover lungo che va da alcu-

ECOSISTEMI	CO ₂ fissata (g m ⁻² y ⁻¹)
Foreste tropicali	1000-200
Tundra e regioni desertiche	10-20
Foreste e campi coltivati	200-400
Oceano antartico	3000
Oceani	300
Le terre emerse fissano annualmente da 20 a 30 miliardi di tonnellate di carbonio.	

Tab. 2 *Quantità di CO₂ fissata dai principali ecosistemi*

ne decine di anni, per le sostanze direttamente provenienti dalla lettiera indecomposta, alle centinaia di anni per gli acidi fulvici, alle migliaia di anni per gli acidi umici.

4. ANIDRIDE CARBONICA

L'anidride carbonica è il più importante dei gas a effetto serra contribuendo, da sola, al 50% del riscaldamento globale del pianeta. L'influenza attuale dell'agricoltura sulla concentrazione di CO₂ atmosferica è di difficile quantificazione in quanto, per questo gas, il pool del carbonio organico dei terreni agrari può costituire, a seconda delle situazioni, una pericolosa sorgente oppure diventare un importante deposito. Escludendo i depositi di materiale geologico profondo, che molto difficilmente entrano nel ciclo del carbonio in tempi medi, i terreni agrari contengono, infatti, in forma organica, il 3,3% del carbonio totale presente sulla Terra, e cioè poco più del doppio di quello contenuto nell'atmosfera.

Esistono due modi per aumentare il sequestro del carbonio dal terreno e precisamente attraverso il recupero dei terreni degradati e mediante l'intensificazione dell'attività agricola. Nel primo caso si tratta essenzialmente di aumentare la fertilità del terreno, mediante l'apporto di fertilizzanti minerali e organici, la gestione razionale dell'irrigazione, la coltivazione di specie con elevata produzione di biomassa e un apparato radicale profondo. Nel secondo caso si tratta quantomeno, di non diminuire la fertilità esistente, mediante l'adozione di pratiche agronomiche che prevedano sistemi di lavorazione conservativi, un'attenta gestione dei residui colturali, l'utilizzazione di cover crops, idonei avvicendamenti ed elevate concimazioni minerali e organiche.

D'altra parte la crescita sia delle superfici coltivate sia delle produzioni unitarie conseguite, in parte dipendenti anche dalla più elevata concentrazione di CO₂ atmosferica, ha senz'altro aumentato la quantità di carbonio allontanata dall'atmosfera. Secondo i dati ISTAT i cambiamenti dell'uso del suolo e delle foreste hanno portato in Italia a un assorbimento di CO₂ pari a 23.567 t, equivalenti al 4,4% delle emissioni totali italiane.

La quantità di anidride carbonica fissata varia notevolmente passando da un tipo di vegetazione a un altro. Contrariamente a quanto si crede, l'assorbimento netto di CO₂ da parte delle più comuni colture agrarie risulta della stessa entità di quello delle foreste, considerando la situazione italiana media. Nel caso delle condizioni ambientali più favorevoli, tuttavia, le colture agrarie superano decisamente la foresta media, sino a oltre due volte nel caso del mais. Tutto ciò concorda con la ben nota superiorità organicatrice delle piante nell'ambito di una moderna agricoltura intensiva che, nel corso del proprio ciclo colturale (spesso di solo pochi mesi), corrisponde a una efficienza di trasformazione dell'energia solare di circa l'1% contro un valore dello 0,1% della media mondiale delle colture, ma con punte del 3,4% nel caso della canna da zucchero in condizioni ottimali.

Le piante, infatti, agiscono sul ciclo del carbonio attraverso due meccanismi:

- come “deposito” in quanto sequestrano temporaneamente l'elemento per scopi strutturali;
- per combustione relativamente neutra, dato che liberano CO₂ in pari quantità a quella sottratta anni prima dall'atmosfera al momento dell'organizzazione del carbonio.

Inoltre le piante arboree da legno, a livello di prodotto finito, generano una filiera a basso rischio d'impatto ambientale. Infatti le fasi di produzione, trasporto e stoccaggio comportano ridotti rischi, contrariamente a quanto avviene soprattutto con i prodotti petroliferi.

La degradazione dei residui vegetali o animali si verifica perché gli organismi del terreno li utilizzano come fonte di cibo e di energia per la loro crescita. I macroorganismi “rompono” i grandi pezzi dei residui vegetali e animali e poi una successione di microrganismi differenti provoca la loro ulteriore demolizione. Il risultato finale di questa azione combinata è la completa degradazione dei ma-

teriali organici, cosicché i nutrienti in essi contenuti possano essere resi disponibili per la loro riutilizzazione da parte delle piante e degli animali che vivono sia sopra che nel terreno. Alcuni prodotti della demolizione sono usati dagli organismi per la sintesi di nuovo protoplasma, alcuni vengono convertiti in nuovi prodotti, alcuni rimangono effettivamente inalterati e altri vengono trasformati in prodotti semplici (come CO_2 e H_2O) che possono essere rimossi dal terreno.

I positivi effetti della sostanza organica sulla fertilità del terreno sono ben noti e non è il caso di richiamarli in questa sede. Riteniamo però di segnalare che la riduzione del contenuto di sostanza organica dei terreni agrari può avere pesanti ripercussioni ambientali, in quanto provoca:

1. aumento dell'erosione;
2. aumento della compattazione;
3. diminuzione del contenuto di elementi nutritivi;
4. aumento della lisciviazione dell'azoto;
5. diminuzione della biodiversità tellurica.

Nella grande maggioranza dei terreni agrari la sostanza organica è stata consumata, e spesso lo è ancora, in maniera nettamente superiore alla sua disponibilità. Loveland (2001) riporta che, mediamente, nelle attuali condizioni di coltivazione, il livello di sostanza organica dei terreni arati presenta una diminuzione dello 0,5%, in valore assoluto, in un arco di quindici anni, e l'ECAF (1999) suggerisce che la maggior parte dei terreni agrari perde il 50% del loro carbonio organico, in valore relativo, in un arco di vent'anni.

La perdita di sostanza organica dipende da un insieme complesso di fattori che determina il tasso di ossidazione dei composti organici e la loro mineralizzazione, con rilascio di anidride carbonica. Il tasso di mineralizzazione della sostanza organica è legato alla presenza di aria, alla temperatura e al contenuto di umidità del terreno, risultando quindi superiore nei terreni più sciolti e, a parità di tessitura, dipende principalmente dalla modalità e dalla profondità di esecuzione delle lavorazioni del terreno. In letteratura sono riportati valori di mineralizzazione variabili da 0,7% a 3,7% per anno.

La perdita di sostanza organica conseguente l'erosione del terreno può superare le 3 t ha^{-1} ed essere equivalente a quella perduta per

mineralizzazione. Mediamente il 70-80% della sostanza organica del terreno viene mineralizzata e il 20-30% viene erosa, ma secondo altri autori i due processi sono praticamente equivalenti e pari al 50-60% la prima e al 40-50% la seconda.

L'accumulo di carbonio organico nel terreno dipende dalla quantità e dalla qualità degli input organici, quali i residui colturali, gli essudati radicali e i concimi e gli ammendanti organici (letame, liquame, compost). Dal 65% all'80% della sostanza organica aggiunta al terreno viene mineralizzato nel primo anno e non contribuisce ad aumentare il contenuto di humus del terreno, mentre il resto ha una vita di cinque-sei anni. Jenkinson et al. (1991) riportano che il 70% finisce nella atmosfera, il 13% non viene decomposto, il 6% è trasformato in biomassa, il 10% è fisicamente protetto negli aggregati del suolo e l'1% è chimicamente resistente.

A causa della diversa importanza quantitativa delle entrate e delle uscite, aumentare il contenuto di sostanza organica del terreno esclusivamente mediante l'apporto di materiale organico dall'esterno può richiedere tempi lunghissimi. Risultati apprezzabili, in tempi più brevi, possono però essere ottenuti abbinando alla concimazione organica dei metodi di coltivazione conservativi che prevedano la riduzione dell'impatto ossidante ed erosivo delle lavorazioni del terreno.

Con questi ultimi, cambiamenti avvertibili del contenuto di sostanza organica del terreno possono richiedere un periodo compreso tra cinque e venti anni.

5. IL CONTRIBUTO DELL'AGRICOLTURA AL RECUPERO DEL LEGNO

L'agricoltura, oltre al fondamentale ruolo fin qui descritto, può anche contribuire, al pari di altri comparti produttivi, alla determinazione dei quantitativi di materiale legnoso disponibile mediante una funzione che consiste nel recupero del legno di scarto.

La presenza diffusa sul territorio delle aziende agrarie, infatti, costituisce sicuramente un'agevolazione al servizio di raccolta dei materiali legnosi a fine ciclo. I limiti per un decollo immediato di tale attività sono però legati all'esigenza di adeguata logistica per il re-

VOCE DI MERCATO	ANNO	
	1999	2000
Produzione	299	282
Importazioni	52	51
Esportazioni	57	66
Immessi al consumo	294	267

Tab. 3 Mercato degli imballaggi legnosi ortofrutticoli in Italia (Kt). Per il 2001 e 2002 le stime danno valori in aumento

cupero, alla difficoltà di definire precisamente le quantità disponibili, alla necessità di valutazione dei costi.

Una stima dei quantitativi in gioco può essere effettuata mediante l'analisi della tabella 3, dove sono stati riportati i dati relativi alle quantità prodotte e immesse al consumo di imballaggi legnosi ortofrutticoli, che costituiscono la fonte più immediata di materiale legnoso di scarto proveniente dall'attività agricola.

Tali imballaggi presentano numerose caratteristiche che ne incrementano l'utilizzo:

1. igroscopicità: consentono a frutta e verdura uno scambio di umidità;
2. biodegradabilità: anche se abbandonati, sono soggetti a degradazione biologica (humus);
3. facile lavorabilità: il legno non presenta difficoltà a essere lavorato nei più svariati modi;
4. basso consumo energetico per la produzione;
5. recuperabilità: sia gli scarti di lavorazione che gli stessi imballaggi possono essere reimpiegati per produrre energia;
6. riciclabilità: anche in questo caso sia gli scarti di lavorazione che gli imballaggi possono essere reimpiegati per produrre nuovi prodotti come pannelli e compost.

Sono presenti sul mercato in diverse tipologie: *plateaux*, cassette aperte, gabbie, sovra-imballaggi, cestini e vassoi. Negli ultimi decenni si è avuto un ridimensionamento della loro quota di mercato (45% nel 1999). Le produzioni si assestano tra 270-300 migliaia di t, con stime per l'anno 2002 in aumento. In ogni caso i quantitativi avviati a recupero sono stati elevati nel recente passato, mentre ultimamente si è fatto strada anche il recupero energetico (tab. 4).

	ANNO		
	1999	2000	2001
Riciclo	910	868	980
Recupero energetico	0	0	238
Recupero totale	910	868	1218

Tab. 4 *Recupero d'imballaggi in legno in Italia (Kt)*

Un'ulteriore possibile fonte di legno da recuperare è rappresentata dai residui di potatura delle colture arboree da frutto. Una stima da noi effettuata a questo riguardo indica che, anche facendo riferimento a valutazioni basate sulle rese massime, queste si assestano su poco più di 5 milioni di t (fig. 2).

Stime recenti (proiezione fine 2002) valutano che il quantitativo totale di legno recuperato si assesti intorno ai 2,5 milioni di t pari al 57% di quanto prodotto, di cui si valuta che solo l'8-10% derivi dal settore agricolo e dalle sue filiere.

L'agricoltura ha quindi solo un modesto ruolo nel recupero del legno, di conseguenza l'apporto più consistente può venire prevalentemente dalla produzione primaria.

6. FITODEPURAZIONE

La bonifica dei siti inquinati in passato e lo smaltimento dei rifiuti prodotti dalle attività umane sono due dei maggiori problemi che i Paesi industrializzati devono risolvere in tempi brevi.

I siti che necessitano di bonifica a breve termine negli Stati Uniti sono oltre 1000 per un costo di 300 miliardi di dollari, in Europa sono valutati in alcune migliaia e in Italia superano le 1600 unità per un costo di oltre 8 miliardi di euro.

Stime dell'Agenzia Europea per l'Ambiente del 1999 indicano che gli spazi disponibili per le discariche si esauriranno in Europa mediamente entro quindici anni.

Obiettivi delle Leggi europee (Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche, GU n. 182 del 16/7/1999) e italiane (Decreto Ronchi, DL n. 22 del 5/2/1997) in materia di rifiuti sono:

- prevenire la produzione di rifiuti;

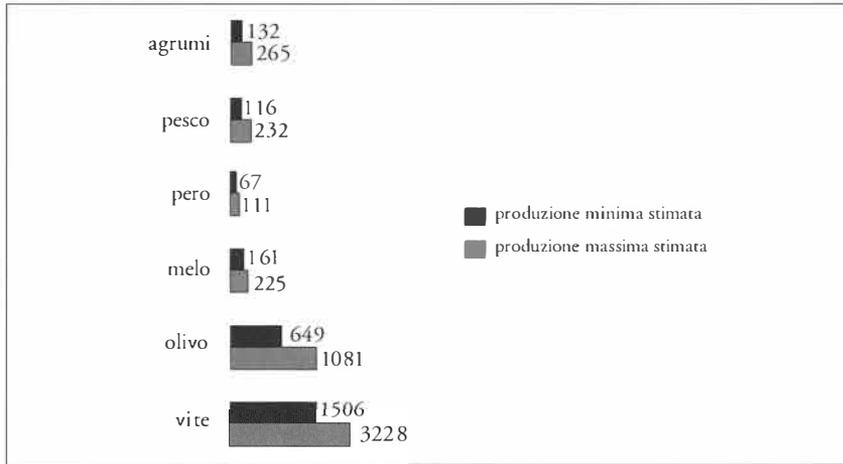


Fig. 2 *Stima delle produzioni di residui legnosi ottenibili dalla potatura di specie arboree (Kt)*

- ridurre il loro contenuto di composti nocivi;
- ridurre progressivamente i quantitativi di rifiuti urbani biodegradabili destinati alla discarica.

Quali mezzi per perseguire questi obiettivi vengono indicati, tra l'altro:

1. lo smaltimento mediante biodegradazione nel terreno dei rifiuti liquidi e/o dei fanghi provenienti da processi di depurazione;
2. lo smaltimento mediante lagunaggio, ovvero lo scarico di rifiuti liquidi e/o di fanghi in stagni o lagune;
3. il recupero di una frazione dei rifiuti mediante spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia.

Queste operazioni prevedono l'impiego di tecniche di biodepurazione e di fitodepurazione che coinvolgono a pieno titolo le attività di tipo agronomico (fig. 3).

La biodepurazione è rappresentata da tutte quelle modalità di depurazione che si fondano su processi biologici, e che quindi prevedono l'utilizzazione degli organismi o delle loro biomasse, per l'eliminazione di un inquinante.

Il controllo dell'inquinamento ambientale può avvenire mediante la rimozione della sostanza inquinante o mediante la riduzione della sua pericolosità attraverso processi di stabilizzazione.

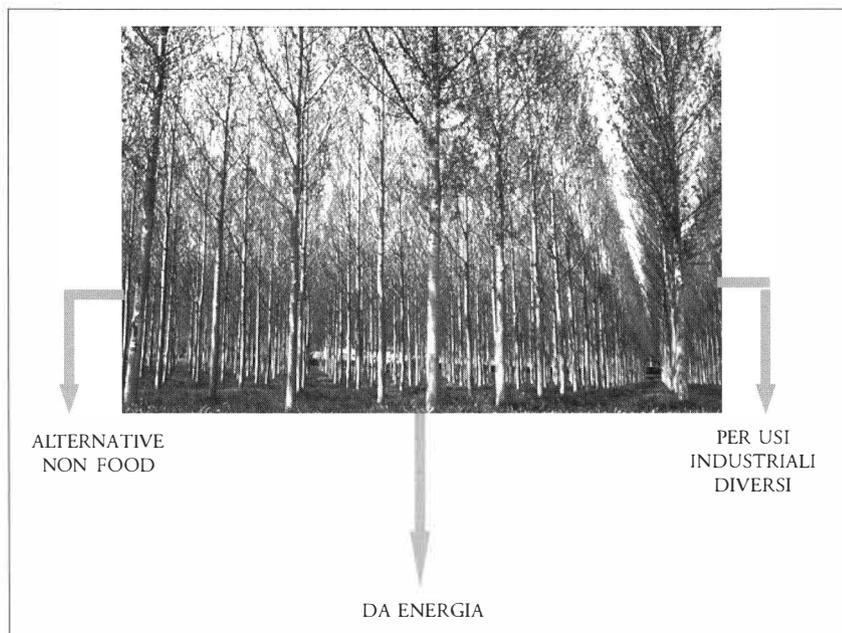


Fig. 3 *Tipi di colture per la fitodepurazione*

La fitodepurazione è quella tecnica che utilizza le piante verdi e/o i microrganismi a esse associati, per la rimozione, la degradazione, o la immobilizzazione dei contaminanti presenti in un substrato (suolo, acqua, aria) attraverso processi biologici, fisici e chimici. Potenzialmente le piante sono in grado di decontaminare il terreno sia dai contaminanti organici che da quelli inorganici, ivi compresi i radionuclidi.

Rispetto ad altre tecniche di depurazione ambientale la fitodepurazione presenta alcuni aspetti positivi e precisamente interferisce limitatamente con la funzionalità dell'ecosistema, in quanto non prevede l'asportazione del substrato e ne altera poco profondamente le caratteristiche biologiche, crea una copertura vegetale che conferisce un valore estetico al paesaggio, e rappresenta una tecnica relativamente economica.

Negli USA il costo per la fitodepurazione che nel 1997 ammontava a 7-14 milioni di dollari, salirà a ben 214-370 milioni già nel 2005. In Europa il costo degli interventi di fitodepurazione è di poco inferiore alla metà di quello statunitense ed è anch'esso in co-

stante crescita. Le tecniche per le quali è prevista la maggiore espansione sono quelle per la fitodepurazione del terreno e delle acque sotterranee da metalli, radionuclidi e contaminanti organici.

I costi di coltivazione e raccolta delle piante sono relativamente ridotti, alcune delle specie vegetali utilizzabili possiedono un loro valore commerciale, che riduce il costo dell'intero processo di depurazione, le piante concentrano il contaminante nei loro tessuti riducendo il volume della biomassa inquinata richiedendo attrezzature di recupero piccole e poco costose per l'eventuale estrazione del contaminante stesso.

Le tecniche di fitodepurazione sono proponibili per diversi tipi di interventi quali:

1. bonifica: che comprende le tecniche miranti al recupero di bacini idrici o di terreni contaminati, quali le discariche, i depositi minerari, i corsi d'acqua, i laghi eutrofizzati e le aree degradate in genere;
2. trattamento: che comprende le tecniche volte a eliminare o ridurre il potenziale inquinante dei rifiuti di varia origine, composizione e forma fisica (gassosi, liquidi o solidi) prima della loro immissione nell'ambiente e alla creazione di barriere filtranti di vegetazione in grado di ridurre o eliminare l'apporto ai corpi idrici di nutrienti e/o contaminanti in genere, provenienti dai terreni agrari, dalle discariche, ecc.;
3. smaltimento: che comprende i processi alternativi alla discarica e all'incenerimento per rifiuti organici, contenenti o meno sostanze inquinanti accumulabili.

Sulla base di quanto precedentemente riportato è prevedibile che nei prossimi anni le aziende agrarie possano parzialmente trasformarsi, in aziende di biodepurazione, nelle quali buona parte della loro superficie verrà destinata al trattamento biologico dei residui organici non agricoli i quali, grazie all'azione delle piante, della loro rizosfera e della carica microbica del terreno potranno essere degradati in maniera biologica e senza causare danni all'ambiente. A questo scopo è possibile ipotizzare due diversi sistemi di fitodepurazione applicabili sui terreni agrari, uno basato sui normali avvicendamenti e l'altro costruito *ad hoc*. In entrambi i casi, al fine di evitare che nel terreno si accumulino metalli pesanti o altri prodotti, è necessario calibrare attentamente la dose di refluo da distribui-

re in modo tale che la coltivazione estragga una quantità di contaminante equivalente a quella distribuita.

Nella fitodepurazione inserita negli avvicendamenti possono essere applicate tecniche di fitoestrazione e di fitodegradazione, inserendo periodicamente negli avvicendamenti la o le piante che devono operare questo tipo di fitodepurazione, sulla base della concentrazione raggiunta dagli elementi tossici nel terreno. Le caratteristiche principali delle specie idonee per questa tecnica sono ciclo colturale annuale, elevato assorbimento e accumulo di contaminanti inorganici (metalli pesanti soprattutto), notevole capacità di degradazione e metabolizzazione dei contaminanti inorganici, alto tasso di traslocazione dei contaminanti alla parte aerea e agli organi facilmente asportabili.

Nell'impianto di colture *ad hoc* per lo smaltimento si prevede invece la sottrazione di una parte della superficie coltivabile all'interno dell'azienda dai normali avvicendamenti colturali e la sua destinazione a sito di smaltimento pluriennale o permanente. A seconda della coltura impiegata e del tipo di prodotto da smaltire, quest'ultimo può essere applicato in un'unica dose al momento dell'impianto della coltura, oppure periodicamente, sulla base delle capacità depurative delle piante utilizzate. Sono applicabili per questo processo tutte le tecniche di fitodepurazione, fitodegradazione, fitostabilizzazione e fitoestrazione. Tuttavia, se queste ultime prevedono una elevata traslocazione dei contaminanti alla parte aerea, è necessario utilizzare specie che consentano la periodica asportazione della biomassa aerea al fine di evitare il trasferimento dei contaminanti ad altre componenti dell'agroecosistema. Le caratteristiche principali delle specie adatte per questa tecnica sono ciclo poliennale, tolleranza ai contaminanti, soprattutto se l'applicazione avviene in un'unica dose, notevole efficacia di degradazione e metabolizzazione di contaminanti organici, capacità di immobilizzare e stabilizzare i contaminanti nel terreno o nei propri tessuti, possibilità di asportare con relativa facilità l'intera pianta al termine del ciclo colturale.

Le piante utilizzabili nei processi di smaltimento/fitodepurazione su terreni agrari possono appartenere sia alle colture tradizionali o alternative già in uso nelle diverse zone, sia essere individuate e/o selezionate appositamente fra le specie spontanee che presentano le caratteristiche più idonee ai diversi scopi. Un requisito essenziale per la

diffusione di queste pratiche in agricoltura rimane, comunque, la possibilità di ottenere da esse un prodotto commerciabile. In molti casi, infatti, i processi di fitodepurazione comportano l'assorbimento e l'accumulo di un contaminante da parte della vegetazione. Ciò esclude la possibilità che la biomassa ottenuta possa essere utilizzata per scopi alimentari o come apportatrice di sostanza organica al terreno. Inoltre, una eventuale destinazione della biomassa verso un impiego che le garantisca un prezzo di mercato, nonostante il suo carico inquinante, porterebbe a un aumento del reddito ottenibile dalla unità di superficie utilizzata per la fitodepurazione o, almeno, a una riduzione dei costi dell'intero processo. Le specie vegetali più adatte sono quindi da ricercare fra le colture alternative ed essenzialmente fra quelle da energia e da usi industriali diversi (produzione di carta, di legname, di olio industriale, di coloranti, di fibre, ecc.).

Tra queste, al momento attuale, le piante da energia sembrano le più promettenti. In esse l'intera biomassa viene destinata alla combustione mediante processi di incenerimento controllato, per cui l'eventuale inquinante, se non è volatile, si concentra nelle ceneri da cui può essere recuperato con relativa facilità e con costi relativamente ridotti. In ogni caso, il processo porta a una notevole riduzione dei volumi di prodotto contaminato e, di conseguenza, dei costi di smaltimento in discarica. Le piante adatte alla produzione di bioenergia sono, in genere, specie poliennali quali il *Miscanthus* spp., specie arboree a rapida crescita allevate per la short-rotation forestry (*Populus* spp., *Salix* spp.), ma anche colture annuali quali *Sorghum* spp. e *Hibiscus cannabinus* (tab. 5).

7. PRODUZIONE PRIMARIA DI MATERIALE LEGNOSO

Dal punto di vista tecnico-agronomico non si ritiene ci siano particolari problemi a dare sviluppo a questa opportunità produttiva, piuttosto s'intravedono limiti di natura economica. Infatti, tutte le principali colture, sono più o meno sostenute dalla UE a livello di OCM, mentre per il legno non esistono condizioni di questo tipo, soprattutto in riferimento alle grandi superfici che potrebbero da subito, nell'ambito della fitodepurazione, essere coinvolte con palesi vantaggi sia di natura ambientale che econo-

CONTAMINANTE	SUBSTRATO
As, Cd	Scorie minerarie
Atrazina, Nitrati	Acque di dilavamento da terreni agrari
BTEX, TPH (prodotti petroliferi)	Acque sotterranee e terreno
Cd, Pb, Zn	Terreno intorno a fonderia (Pb-Zn > 20.000 ppm)
PCP, PAH (reflui conservanti del legno)	Acque sotterranee e terreno
TCE, PCA	Acque sotterranee

Tab. 5 Esempi di utilizzazione del pioppo per la fitodepurazione

mica. In attesa che l'Unione Europea predisponga specifici interventi d'incentivazione, riteniamo comunque legittimo affermare che questo tipo di produzione potrebbe in tempi brevi interessare tutti i terreni marginali in un quadro di un razionale recupero agro-ambientale a fini multifunzionali. A tale riguardo un ruolo fondamentale potrà essere giocato dall'allargamento dell'Unione Europea programmato per il 2007. Tutto questo, probabilmente, porterà a una radicale modifica della politica di sostegno all'agricoltura attraverso una riduzione dei prezzi d'intervento delle colture di pieno campo.

A fianco delle produzioni primarie di legno che, facendo riferimento al nostro Paese, raggiungono nel complesso un'estensione territoriale piuttosto limitata, si affacciano di recente prospettive di produzione di biomassa legnosa attraverso approcci produttivi diversi, quali le colture a rapido ciclo di utilizzo. Si tratta della *Short Rotation Forestry* (SRF), termine con il quale si intende la coltivazione, per la produzione di biomassa a fini energetici, di specie forestali a rapido accrescimento che, impiantate con un elevato grado di fittezza e gestite con idonee tecniche colturali, vengono ceduate e raccolte con cicli di taglio assai più frequenti rispetto alle più tradizionali utilizzazioni del prodotto legnoso. Le specie utilizzabili in ambiente mediterraneo per SRF sono: pioppo (*Populus* spp.: *alba*, *nigra*, *deltoides*, *populus x euramericana*), salice (*Salix alba*), eucalipto (*Eucalyptus* spp.: *globosus*, *bicostata*, *camaldulensis*), robinia (*Robinia pseudoacacia*). Al contrario di altri tipi di biomasse legnose, per le quali il costo di utilizzazione comprende prevalentemente la raccolta e il trasporto, le biomasse provenienti da cedui a turno breve in coltura specializzata si confrontano con i costi dell'intero ciclo

produttivo. Lo scopo principale, quindi, deve essere la minimizzazione dei costi unitari e ciò può essere ottenuto incrementando le produzioni e innalzando l'efficienza dell'intero sistema colturale. Anche in questo caso i principali limiti alla diffusione sono rappresentati dall'economicità delle produzioni, infatti esse risultano convenienti solo in presenza di un'adeguata domanda di mercato e in un quadro di filiera organizzata. Attualmente, però si ha una carenza di impianti di conversione in energia termica ed elettrica e il prezzo della biomassa risulta di frequente più elevato rispetto ai residui agricoli, forestali e agro-industriali. Questi due aspetti rappresentano il motivo della ancora scarsa diffusione degli impianti di SRF e della loro localizzazione in zone specifiche. Le piantagioni di SRF specificatamente destinate a fini energetici, quindi, presentano densità iniziali di 10000-20000 piante ha⁻¹, con cicli produttivi (taglio) di 2-4 anni; le specie coltivate, inoltre, sono rappresentate per lo più da latifoglie governate a ceduo per sfruttare la loro capacità pollonifera.

La Svezia è l'unico Paese europeo in cui tali piantagioni (attuate con varie specie del genere *Salix*) costituiscono già una realtà economica consolidata. La superficie impiegata, di circa 18000 ha, è in costante aumento, mentre i modelli colturali sono in continuo perfezionamento, grazie all'intensa attività di sperimentazione attuata in questo settore. Anche in altri Paesi del Nord-Europa, quali Danimarca, Norvegia e Austria, la SRF è definitivamente uscita dalla fase sperimentale e ha assunto un'importanza "strategica" nell'ambito della produzione di energia da fonti rinnovabili.

Nel nostro Paese, la SRF, quindi, potrebbe rappresentare una valida alternativa ad alcune colture "sostenute", quali, ad esempio, girasole, barbabietola da zucchero, riso, mais e soia, in molte regioni del Centro-Nord. Tuttavia, la scarsità di dati sperimentali sulla produttività di queste colture nei diversi ambienti costituisce a oggi una delle maggiori difficoltà alla loro diffusione su larga scala, non consentendo una corretta pianificazione degli impianti. I dati attualmente disponibili, comunque, indicano come esista una notevole variabilità nelle rese che, in certi ambienti, possono non raggiungere il limite della convenienza economica.

Proprio l'elevato valore delle colture alternative nelle aree più fertili può essere uno dei maggiori ostacoli a tale forma di silvicol-

tura. Ciò rende indispensabile la presenza di contributi pubblici per la realizzazione e la gestione degli impianti, al fine di assicurarne la convenienza economica rispetto alle tradizionali produzioni agricole “sostenute” dalla UE. Tali contributi rappresenterebbero, pertanto un “costo sociale” che la collettività nazionale e internazionale dovrebbe sostenere, in considerazione dell’utilità ambientale di queste colture.

8. CONCLUSIONI

Le fitocenosi sono essenziali per mantenere adeguati livelli di CO₂ nell’atmosfera e di biodiversità sul pianeta.

L’agricoltura, al momento, non appare in grado di assicurare significative quantità di materiale legnoso recuperabile per gli esigui quantitativi disponibili, per l’assenza di un’adeguata struttura logistica e per la mancanza di un’idonea incentivazione economica per l’imprenditore agricolo.

L’agricoltura può essere invece coinvolta da subito nei processi produttivi di specie legnose per il recupero sia dei siti inquinati (fitodepurazione), che dei terreni marginali, dando luogo a un significativo contributo a livello di produzione primaria di legno, purché ne risulti chiara la convenienza economica per l’operatore.

La possibile affermazione di sistemi agroforestali dovrebbe, quindi, passare attraverso nuovi modelli colturali e forme di produzione a più elevato grado di diversificazione, in modo da ottemperare alle nuove esigenze di mercato e alla invocata sostenibilità ambientale.

RIASSUNTO

Gli autori dimostrano che l’agricoltura può avere solo una modesta incidenza nel recupero del legno, mentre può giocare un ruolo fondamentale nella produzione primaria.

La possibile affermazione di sistemi agroforestali dovrebbe passare attraverso un razionale sviluppo di nuovi modelli colturali e di forme di produzione a più elevato grado di diversificazione, in modo da ottemperare alle nuove esigenze di mercato e alla invocata sostenibilità ambientale.

L’agricoltura può essere coinvolta da subito nei processi produttivi di specie

legnose per il recupero sia dei siti inquinati (fitodepurazione), che dei terreni marginali, dando luogo a un significativo contributo a livello di produzione primaria di legno, purché ne risulti chiara la convenienza economica.

SUMMARY

Authors prove that agriculture can play only a limited role in wood recovery, so a substantial contribution can come only from wood primary production.

The possibility of spreading agroforestry systems should pass through a functional development of new and more varied cropping models and methods of production, in order to meet new market requirements and the invoked sustainability.

Anyway, present agriculture can be right now involved in woody species production for the remediation of polluted sites (phytodepuration) or for the recovery of frange soils, contributing in this way to wood primary production, as long as profitable cropping models can be provided.

BIBLIOGRAFIA

- BONARI E., PAMPANA S., SILVESTRI N. (1999): *Prime analisi di impatto ambientale della selvicoltura e breve rotazione (SRF) negli ambienti litoranei toscani*, Accademia dei Georgofili, Quaderni 1999-IV, *Valorizzazione energetica delle biomasse agro-forestali*, pp. 135-145.
- BONARI E. (2001): *Potenzialità e problematiche agronomiche della silvicoltura a breve rotazione come coltura da energia negli ambienti mediterranei*, «Rivista di Agronomia», 3, pp. 188-199.
- FACCIOTTO G. e SCHENONE G. (1998): *Il pioppo fonte di energia rinnovabile*, «Sherwood», 4, 6, pp. 19-26.
- ITABIA ed. (1999): *Linee guida per la produzione di energia da coltivazioni legnose a turno breve*.
- JENKINSON D.S., ADAMS D.E., WILD A. (1991): *Global warming and soil organic matter*, «Nature», 351, pp. 304-306.
- LOVELAND P.J. (2001): *The impact of farming practices on sustainable use of soil*, MAFF Report, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
- MAZZONCINI M., BENVENUTI S., GINANNI M., SILVESTRI N., PAMPANA S., SCHENONE G. (1999): *Aspetti agronomici e colturali dell'introduzione della silvicoltura a breve rotazione (SRF) nella Toscana litoranea*, Poster presentato al 33° Convegno SIA, Padova, 20-23 settembre.
- MCALPINE R.G., BROWN C.L., HERRICK A.M., RUARK H.E. (1996): *"Silage" sycamore*, «Forest Farmer», 26, 1, pp. 6-16.
- RANNEY J.W. e MANN L.K. (1994): *Environmental considerations*, in *Energy Crop Production*, «Biomass and Bioenergy», 14, 15, pp. 15-38.

SAGE R.B. (1998): *Short rotation coppice for energy: towards ecological guidelines*, «Biomass and Bioenergy», 15, 1, pp. 39-47.

SCHENONE G., FACCIOTTO G., GROPPI F., MUGHINI G., PARI L. (1997): *Short Rotation Woody Crops for energy: the research program of ENEL (Italian Electric Company)*, in OVEREND R.P., CHRONET E. (ed.), *Making a business from biomass*, Proceedings of the Third Biomass Conference of the Americas, vol. 1, pp. 237-245.

www.ecaf.org

www.istat.it

SANZIO BALDINI*, GIANLUCA PIOVESAN*,
RODOLFO PICCHIO*

LA PRODUZIONE PRIMARIA DI LEGNO DA BOSCHI E DA COLTURA SPECIALIZZATA

INTRODUZIONE

La produzione di legno rappresenta da sempre un'esigenza importante per il mantenimento e lo sviluppo di molte società umane. Nel corso della storia l'uomo ha ideato e affinato tecniche di utilizzazione delle foreste con l'obiettivo di rendere questa risorsa perpetua. È nata così la selvicoltura che recentemente ha recepito anche i problemi della conservazione della biodiversità, con l'obiettivo di garantire alle generazioni future, non solo una produzione legnosa costante, ma anche ecosistemi a elevata naturalità.

È ben noto che oltre alla produzione di legno le foreste esplicano una serie complessa di funzioni utili alla società. Tra queste è ormai stato accertato dalla comunità scientifica che i territori boscati possono contribuire, almeno nel medio periodo, alla mitigazione dell'incremento di CO₂ nell'atmosfera. In realtà è alquanto complesso definire in dettaglio il ruolo delle foreste e delle attività forestali nel ciclo del carbonio, o più in generale sul clima. Comunque è ormai assodato che in alcune aree del pianeta la deforestazione è causa delle emissioni di notevoli quantitativi di CO₂ (soprattutto tropici, ma anche territori boreali), mentre in altri contesti (soprattutto nelle zone temperate) l'aumento delle provvigioni legnose e la riespansione del bosco in ambiti abbandonati dall'agricoltura assorbono dall'atmosfera notevoli quantitativi di carbonio.

* *Dipartimento di tecnologie, ingegneria e scienze dell'Ambiente e delle Foreste, Università degli Studi della Tuscia*

Nel bilancio globale del ciclo del carbonio, calcolato negli anni '80, le attività umane nel settore agricolo-forestale sono state riconosciute responsabili di circa il 25% ($2 \pm 0,8$ Gt C anno⁻¹) delle emissioni totali antropiche di CO₂ nell'atmosfera (Houghton, 2001; Houghton e Hackler, 2002). Il disboscamento e la messa a coltura di territori forestali risulta l'attore principale. D'altro canto per chiudere il bilancio globale sul ciclo del carbonio bisogna far confluire circa il 30% delle emissioni antropiche in processi fino a pochi anni fa neppure inquadrati (*missing sink*), ma che contribuiscono a un più che significativo abbattimento delle emissioni (Fung, 2000). Oggi inizia a esserci nella comunità scientifica un comune accordo nell'attribuire agli ecosistemi terrestri dell'emisfero nord, in primo luogo alle foreste, un ruolo importante di accumulatori di carbonio (Houghton, 2001; Myneni et al., 2001; Schimel et al., 2001), anche se rimane aperta la completa comprensione dei meccanismi coinvolti (Adams e Piovesan, 2002). Va precisato, infatti, che i bilanci del carbonio mostrano, a tutte le scale, ancora un notevole margine di incertezza dovuto a un'apprezzabile fluttuazione temporale dei termini in gioco (ad esempio flussi sotto controllo climatico). Inoltre, alcuni processi coinvolti devono ancora essere individuati o, per lo meno, i meccanismi necessitano di un ulteriore inquadramento e di una quantificazione più dettagliata. Così, ad esempio, i bilanci regionali per i tropici sembrano evidenziare che in questo bioma gli ecosistemi terrestri svolgono un'azione di *sink* di carbonio che tende a compensare le emissioni provenienti dalla deforestazione (Canadell e Pataki, 2002).

Già da questi accenni risulta facile desumere come le foreste e le attività forestali giochino un ruolo di primo piano nel ciclo del carbonio, a tal punto da diventare uno degli argomenti nodali e di discussione nei vari incontri che i governi stanno svolgendo da anni, nel tentativo di attuare il protocollo di Kyoto, trattato che per essere efficace necessita ancora di ulteriori norme, anche in difesa della biodiversità (Ciccarese e Pettenella, 2002; Shulze et al., 2002). Uno dei principali, problemi a tutt'oggi aperto, è quali metodologie utilizzare per monitorare le variazioni negli *stock* di carbonio degli ecosistemi terrestri su scala nazionale. È ormai chiaro che contabilizzare tutte le fonti e i *sink* di carbonio risulta un lavoro improponibile per motivi tecnici ed economici; inoltre non esistono metodi di-

sponibili per quantificare in maniera separata le variazioni negli stock terrestri di carbonio da imputare alle attività antropiche e ai processi naturali (Houghton, 2001). Per questo si stanno studiando nuovi metodi per calcolare i cambiamenti degli *stock* di carbonio, dovuti all'azione antropica, basati non su specifici inventari puntuali, ma su una casistica, in cui per ciascun tipo, individuato sulla base dell'uso del suolo e dei fattori ambientali, viene calcolata una densità media (Kirschbaum et al., 2001). Ogni transizione da un determinato tipo di uso del suolo a un altro, o cambiamento dello stock medio di carbonio all'interno di uno specifico tipo dovuto a scelte gestionali, verrebbe così accreditato o addebitato alla nazione responsabile. Anche questo approccio però presenta dei punti deboli poiché i flussi di carbonio negli ecosistemi sono molto condizionati dalle variazioni climatiche (Damiani, 2001; Adams e Piovesan, 2002). Più in generale la gestione dei flussi come strumento per aumentare gli *stock* di carbonio negli ecosistemi terrestri rimane un approccio ad alto rischio poiché molte comunità possono essere interessate da disturbi (ad esempio incendi, uragani, pandemie) che determinano un rapido rilascio di ingenti quantità di carbonio nell'atmosfera (McNulty, 2001; Breshears e Allen, 2002; Page et al., 2002). Così la speranza per attuare il protocollo di Kyoto è che la comunità internazionale concentri in questa prima fase la propria attenzione alle azioni previste nell'articolo 3.3 (Afforestazione, Riforestazione e Disboscamento, ARD), mentre molta più cautela dovrebbe essere utilizzata nell'accreditare le attività agro-forestali rientranti nell'articolo 3.4 (ad esempio aumenti degli *stock* di carbonio in seguito alla gestione forestale). Interessante a questo proposito sono i bilanci del carbonio dell'attività forestale in Cina dal 1949 al 1998 da dove emerge che si è riusciti, attraverso vasti progetti di recupero ambientale, a ripristinare la capacità di *sink* dei territori forestali, nonostante sia avvenuto un considerevole aumento demografico (Fang et al., 2001).

Va a questo punto precisato che a livello politico non viene ancora riconosciuto il ruolo dei prodotti legnosi nello stoccare il carbonio, pur essendo il loro monitoraggio relativamente semplice se paragonato ai complessi processi degli ecosistemi forestali. La produzione primaria di legno mostra infatti interessanti sfaccettature. Le foreste contengono notevoli quantitativi di carbonio per unità di

superficie (molto elevati nel caso delle foreste vetuste) e le utilizzazioni forestali portano nel breve periodo a emissioni di CO₂ tanto più importanti quanto più i sistemi di utilizzazione sono stati invasivi e il popolamento era prossimo a una condizione di elevata naturalità. Così ad esempio il taglio raso con bruciatura della biomassa residua in popolamenti a elevata naturalità, e quindi ricchi di biomassa, lettiera e humus (ad esempio foreste vetuste o “vergini”), comporta l’emissione di elevati quantitativi di CO₂ per unità di superficie. Tuttavia va rilevato che sovente una parte rilevante della produzione legnosa e dei prodotti che da essa derivano non viene ossidata nel breve periodo (ad esempio travi, pannelli, libri) e va a costituire uno *stock* di carbonio apprezzabile di cui si deve tenere conto per chiudere i bilanci del carbonio (300-400 Mt C anno⁻¹) (IPCC, 2000; WHRC, 2002). Non va inoltre dimenticato che la sostituzione del legno con altri materiali da costruzione o con combustibili fossili può comportare un serio aggravio alle emissioni antropiche di CO₂ nell’atmosfera. Inoltre, spostando l’attenzione nel medio periodo emerge in maniera chiara che spesso gli ecosistemi forestali hanno la capacità di riorganizzarsi anche in seguito ai disturbi più intensi e l’attuale capacità di *sink* delle foreste temperate è soprattutto una risposta all’intensa utilizzazione passata di questi territori (Houghton et al., 1999; Caspersen et al., 2000). Per questi motivi le utilizzazioni forestali quando scaturite dall’applicazione dei trattamenti selvicolturali possono a ragion veduta essere considerate neutre in relazione al ciclo del carbonio. Al contrario le emissioni provenienti dalle attività di disboscamento e di messa a coltura di territori forestali, che oggi caratterizzano soprattutto le regioni tropicali, hanno un effetto duraturo nel tempo poiché si tratta di un cambiamento di uso del suolo (Potter, 1999).

In attesa che gli studi facciano ulteriore luce sul ciclo del carbonio, vi è oggi consapevolezza della possibilità di rimuovere parte del carbonio proveniente dai combustibili fossili fissandolo nelle foreste e nei prodotti legnosi. Per questo la società dovrà necessariamente porre in futuro maggiore attenzione alla risorsa legno attuando una strategia vincente che preveda azioni precauzionali basate su meccanismi ben identificati e tracciati. Sicuramente dovrà essere messo un freno alla deforestazione nei paesi emergenti, mentre estese campagne di rimboschimento dovranno interessare buo-



Fig. 1 *Fustaia di «Pinus pinea» L*

na parte dei territori marginali all'agricoltura con l'obiettivo di fornire legname di qualità e biomasse, a scopo energetico o come materia prima, a breve distanza dalle sedi di impiego. Allo stesso tempo sarebbe auspicabile una rinaturalizzazione dei territori forestali esistenti non solo lasciando evolvere autonomamente i popolamenti forestali, ma anche guidando l'aumento degli *stock* di carbonio attraverso calibrati interventi selvicolturali. Infine una ottimizzazione dei sistemi di utilizzazione, sia in termini energetici sia di impatto sull'ambiente, e dei processi industriali di trasformazione del legno contribuirebbe a rallentare l'aumento di CO₂ nell'atmosfera (Houghton, 1997; Kauppi et al., 2001).

Una politica forestale di lungo termine basata su questi principi,



Fig. 2 *Ceduo matricinato oltretorno di «Fagus sylvatica» L.*

esaltando tutte quelle funzioni che le foreste esplicano autonomamente (ad esempio produttiva, idrogeologica, conservazione della biodiversità, ricreativa), aiuterà nel tentativo di raggiungere uno sviluppo sostenibile della nostra società. In quest'ottica, lo scopo di questo lavoro è di tracciare alcune considerazioni sulle relazioni che intercorrono in Italia, tra la produzione primaria di legno, la selvicoltura e il ciclo del carbonio.

I. LA PRODUZIONE DI LEGNO IN ITALIA: STIMA DEL CARBONIO CONTENUTO

Secondo le più recenti stime la superficie forestale italiana, tuttora in lenta, ma continua espansione (Corona e Nocentini, 2002), è di circa 10.000.000 di ettari (UN-ECE/FAO, 2000). Tuttavia sebbene una consistente parte del territorio nazionale risulti boscato (coefficiente di boscosità del 37%) i boschi atti all'approvvigionamento di legname sono circa 6 milioni di ettari, di cui il 43% è governato a fustaia (Corona e Nocentini, 2002).

Le foreste italiane presentano una provvigione legnosa di oltre 1 miliardo di m³ (1,5 secondo UN-ECE/FAO, 2000), che si accresce annualmente di circa 30 milioni di m³ (CFS, 2002; UN-ECE/FAO, 2000). Tale produzione biologica viene solo parzialmente utilizzata a causa di un quadro in cui si assiste a una congettura di vari fattori (ad esempio difficoltà di accesso, rispetto delle aree protette, boschi caratterizzati da basse densità, scarso valore economico del legname ottenibile, alti costi di utilizzazione, ecc.). Inoltre va sottolineato che a tutt'oggi la politica forestale italiana è generalmente orientata a continuare quell'operazione di risparmio di una buona parte dell'incremento legnoso che, iniziata negli anni del boom economico, ha portato a un notevole incremento delle provvigioni dei nostri boschi.

In media si utilizzano ogni anno 9 milioni di m³ di legno (circa il 30% dell'incremento corrente complessivo delle foreste) (CFS, 2002) di cui 5,4 milioni di m³ sono di legna da ardere, mentre i restanti 3,6 milioni di m³ di legname da opera. Andando ad analizzare più nel dettaglio il materiale utilizzato vediamo che dei 5,4 milioni di m³ di legna da ardere solo il 5,3% proviene dall'utilizzo di

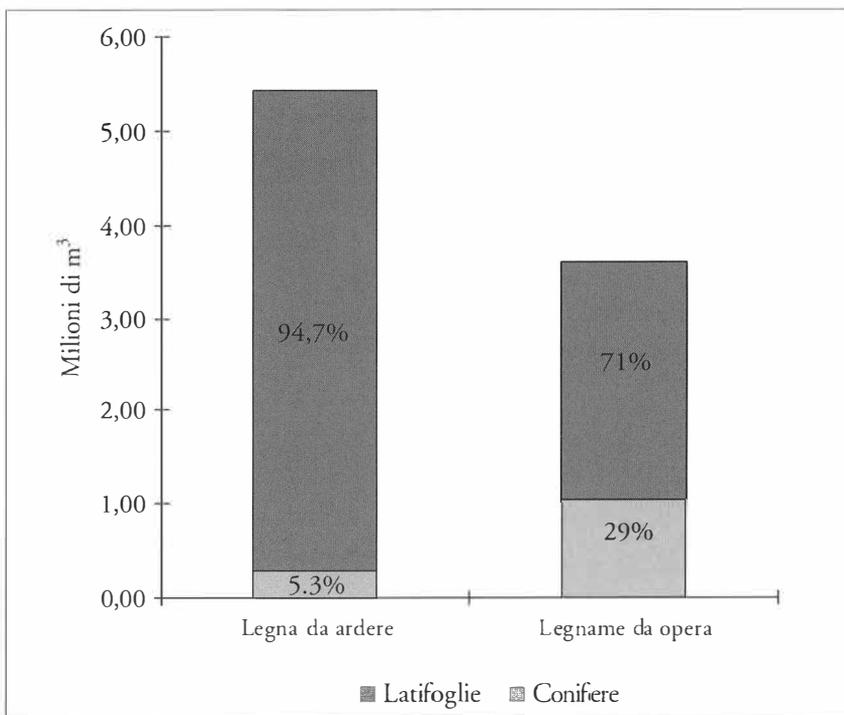


Fig. 3 *Materiale legnoso utilizzato annualmente in Italia, distinto per destinazione d'uso e composizione (dati CFS, 2002)*

conifere, mentre il restante 94,7% proviene dai boschi di latifoglie, in massima parte governati a ceduo (fig. 3). La legna da ardere proveniente da cedui è composta soprattutto da specie quercine, con una piccola frazione di faggio e altre specie complementari (ad esempio carpini, aceri).

Per quello che riguarda il legname da opera questo è ripartito nel seguente modo: dei 3,6 milioni di m³ il 29%, proviene da fustaie di conifere, mentre il 71% da boschi o colture specializzate di latifoglie (fig. 3). Il legname da lavoro proveniente da fustaie di conifere, pari a circa 1 milione di m³, è costituito per il 74% da abete rosso e bianco, per il 17% da pini e per il restante 9% da larice (fig. 4); quello di latifoglie, pari a circa 2,6 milioni di m³, è così suddiviso: 61% pioppo, 26% castagno, 5% da faggio e per il restante 8% da cerro e altre specie quercine (fig. 5). La pioppicoltura, quindi, con

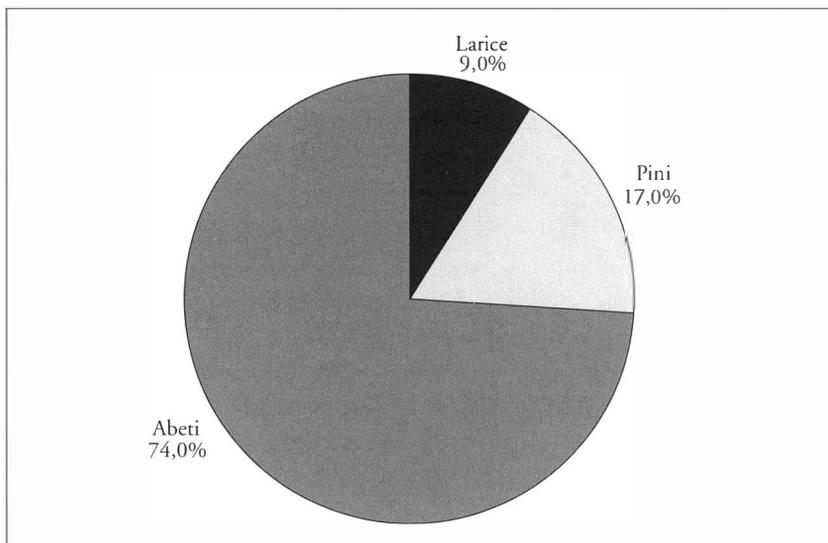


Fig. 4 Distribuzione percentuale del legname da opera di conifere distinto per gruppi di specie; sotto il termine abeti sono stati considerati l'abete bianco e l'abete rosso (dati CFS, 2002)

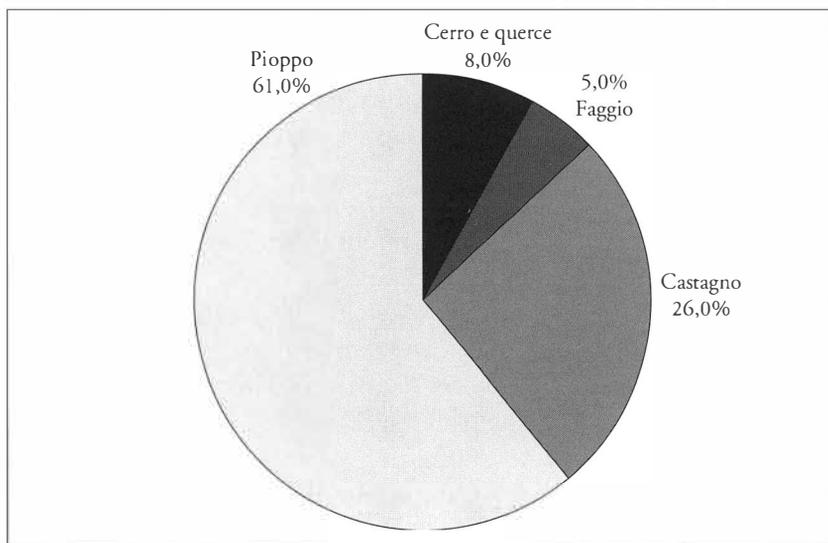


Fig. 5 Distribuzione percentuale del legname da opera di latifoglie distinto per gruppi di specie; sotto il termine querce sono raggruppate rovere e farnia (dati CFS, 2002)

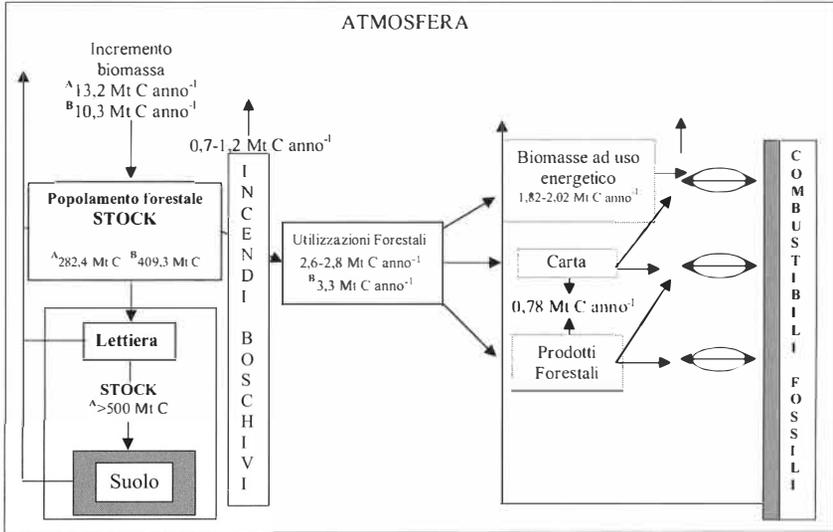


Fig. 6 Ciclo del carbonio nelle foreste italiane. Questo quadro, prodotto con l'obiettivo di attribuire un ordine di grandezza ai principali flussi e stock di carbonio, scaturisce tuttavia da stime effettuate con differenti metodologie e riferite a periodi diversi. A) Dati tratti da Corona et al, 1997, inventario di riferimento MAF 1988, con rilievi riferiti al 1985. B) Dati tratti da UN-ECE/FAO, 2000, inventario di riferimento anno 1995

solo il 3% della superficie boscata, fornisce quasi la metà della produzione nazionale di legname da lavoro (cfr. anche Corona e Nocentini, 2002).

Partendo da questi dati sulla produzione legnosa nazionale è stato possibile calcolare il carbonio contenuto nel legno asportato annualmente dalle utilizzazioni forestali: 2,6-2,8 Mt di C (tabb. 1-2). A questo proposito bisogna rilevare che l'inventario UN-ECE/FAO 2000 ha prodotto stime considerevolmente maggiori (più di 10 Mm³ pari a 3,3 Mt di C) (fig. 6). Sebbene questi ultimi dati si riferiscano al 1995, anno di massimo nella serie storica delle utilizzazioni (Corona e Nocentini, 2002), non va tuttavia escluso che le recenti statistiche sulle produzioni legnose potrebbero essere sottostimate (Corona, *in verbis*).

Il confronto delle utilizzazioni legnose con l'assorbimento annuale di carbonio mette in evidenza, come ogni anno, si assiste a un incremento consistente dello *stock* esistente nelle nostre foreste (fig. 6).

SPECIE	VOLUME (m ³)	DENSITÀ BASALE (g cm ⁻³)	MASSA ASPORTATA (t)	CARBONIO (t)
Abeti	740.000	0,374	276.760	138.380
Pini	170.000	0,465	79.050	39.525
Larice	90.000	0,524	47.160	23.580
Pioppo	1.586.000	0,377	597.922	298.961
Castagno	676.000	0,485	327.860	163.930
Faggio	130.000	0,617	80.210	40.105
Querce e cerro	208.000	0,682	141.856	70.928
Totale legname da opera	3.600.000		1.550.818	775.409
Legna da ardere	5.400.000		3.639.600	1.819.800

Tab. 1 *Conversione dei volumi in massa e relativo quantitativo di carbonio contenuto (dati CFS 2002, riferiti anno 2000). Le densità basali sono state tratte da Giordano, 1986 e da Hellrigl, 2001*

SPECIE	VOLUME (m ³)	DENSITÀ BASALE (g cm ⁻³)	MASSA ASPORTATA (t)	CARBONIO (t)
Abeti	700.000	0,374	261.800	130.900
Pini	270.000	0,465	125.550	62.775
Larice	65.000	0,524	34.060	17.030
Pioppi	1.920.000	0,377	723.840	361.920
Castagno	580.000	0,485	281.300	140.650
Faggio	117.000	0,617	72.189	36.095
Querce e cerro	77.000	0,682	52.514	26.257
Totale legname da opera	3.729.000		1.551.253	775.627
Legna da ardere	5.980.000		4.030.520	2.015.260

Tab. 2 *Conversione dei volumi in massa e relativo quantitativo di carbonio contenuto (dati statistiche ISTAT, 2001, riferimento anno 1998). Le densità basali sono state tratte da Giordano, 1986 e da Hellrigl, 2001*

Tuttavia l'entità del *sink* stimata da Corona et al. 1997 differisce sensibilmente da quella UN-ECE/FAO 2000. Si tratta di dati che scaturiscono da metodologie molto differenti con rilievi effettuati a distanza di un decennio. La caduta della capacità di assorbire CO₂ avvenuta nel periodo più recente, sorprendente se messa in relazione alla maggiore estensione della superficie boscata riportata dall'inventario UN-ECE/FAO 2000 rispetto all'IFN, potrebbe essere dovuta anche al persistere della *North Atlantic Oscillation* in una fase positiva che portando un clima più caldo e siccitoso ha fatto cadere la produttività delle nostre foreste (Piovesan e Schirone, 2000). Il nuovo in-

ventario nazionale in fase di realizzazione permetterà di verificare questa ipotesi e più in generale l'attuale consistenza del nostro patrimonio forestale in termini di estensione e provvigione.

Il carbonio contenuto nel legname da opera risulta pari a circa 0,8 Mt C anno⁻¹ (sia considerando i dati CFS, 2002 sia quelli ISTAT, 2001) (tabb. 1-2). In Italia quindi i prodotti legnosi di provenienza nazionale lavorati annualmente contengono un quantitativo di carbonio che corrisponde a circa lo 0,6 % delle emissioni antropiche totali¹, anche se va rilevato che si tratta di una stima per eccesso poiché non si è tenuto conto delle perdite di lavorazione che in alcuni casi vengono utilizzate come combustibile. Tuttavia in seguito alla Conferenza di Marrakech (ottobre 2001) i prodotti legnosi non possono essere inclusi nella lista degli stoccaggi da monitorare per ottenere quei benefici derivati dalle attività forestali nel contenimento dei gas serra. Anzi nello scenario attuale, le utilizzazioni forestali, diminuendo lo stock di biomassa di un popolamento, abbassano necessariamente la quota di *sink* forestali che una nazione può portare in bilancio a contropartita delle emissioni. Come accennato nell'introduzione, il legno, quando utilizzato per fare manufatti di lunga durata, sottrae per diversi decenni CO₂ all'atmosfera a tal punto che per cercare di chiudere i bilanci del carbonio su scala continentale si è dovuto tenere conto di questo specifico *pool* (Wofsy, 2001). Le produzioni legnose sono infatti parte fondamentale per chiudere il ciclo del carbonio nei sistemi forestali e nelle colture specializzate (fig. 6). Nell'ambito dell'attuazione del protocollo di Kyoto se anche a livello politico verrà riconosciuta ai prodotti legnosi "durevoli" il ruolo di *pool* del carbonio, allora sarà possibile contabilizzare e monitorare le variazioni degli *stock* nazionali dei prodotti legnosi durevoli, operazione che alcuni paesi come l'Australia hanno già iniziato (Richards, 2001). Con riferimento all'Italia, va così sottolineato che il carbonio contenuto nel legname di provenienza nazionale, annualmente lavorato dall'industria, è pari a circa 4 volte il limite del credito raggiungibile attraverso la gestione forestale².

¹ Nel 2000, anno a cui si riferiscono le statistiche forestali del CFS, sono state immesse nell'atmosfera 126.468.613 tonnellate di carbonio (o 126,5 Mt C) (dati APAT, 2002).

² In base agli accordi Marrakech l'Italia può contabilizzare nella gestione foresta-

La legna da ardere, con 1,8 Mt C anno⁻¹ (secondo i dati forniti dal CFS riferiti al 2000) o 2 Mt C anno⁻¹ (secondo i dati ISTAT riferiti al 1998), e, più in generale, le biomasse a uso energetico vengono comunemente considerate a effetto neutro sul ciclo del carbonio. In realtà anche in questo caso vi sono diversi aspetti che necessitano di ulteriori approfondimenti tecnico-scientifici e politici. Infatti le biomasse a uso energetico non sempre hanno un ruolo neutro nel ciclo del carbonio perché quando vengono rispettate alcune condizioni (ad esempio vedi paragrafo successivo a proposito del materiale proveniente da impianti di *short-rotation* effettuati in ambiente e con tecniche colturali idonee) contribuiscono a un abbattimento del consumo dei combustibili fossili. Per questo motivo andrebbero premiati quei paesi che usano e/o stanno investendo capitali nell'uso di fonti energetiche rinnovabili, come la risorsa legno, che comportano bassissime emissioni di combustibile fossile per unità di energia fornita (fig. 7).

2. L'ARBORICOLTURA E LA SELVICOLTURA IN RELAZIONE AL MERCATO DEL LEGNO E AL CICLO DEL CARBONIO

I principali aspetti del protocollo di Kyoto riguardanti le colture specializzate per la produzione di legno, le foreste e la gestione forestale sono affrontati negli articoli 3.3 e 3.4 dove ricadono i provvedimenti riguardanti *Land Use, Land Use Change and Forestry* (LULUCF). L'articolo 3.3 tratta degli impianti forestali realizzati, a partire dal 1990, su terreni che non erano forestati da almeno 50 anni (afforestazione) o già forestati (riforestazione). Sempre nello stesso articolo viene affrontato il tema della deforestazione, pratica che qualora venga attuata deve essere riportata in bilancio. L'articolo 3.4 invece prende in considerazione, tra l'altro, la possibilità di ottene-

le un credito massimo di 0,18 Mt C, pari cioè al 15% dell'incremento netto annuo degli *stock* di carbonio nelle foreste gestite. Va sottolineato che si tratta di un limite probabilmente molto sottodimensionato e che potrà essere rivisto entro il 31 dicembre 2006 (proposta di revisione della delibera CIPE 19 novembre 1998) alla luce dell'aspettato rapporto IPCC sui sistemi di monitoraggio e contabilizzazione degli *stock* di carbonio nel settore agricolo e forestale.

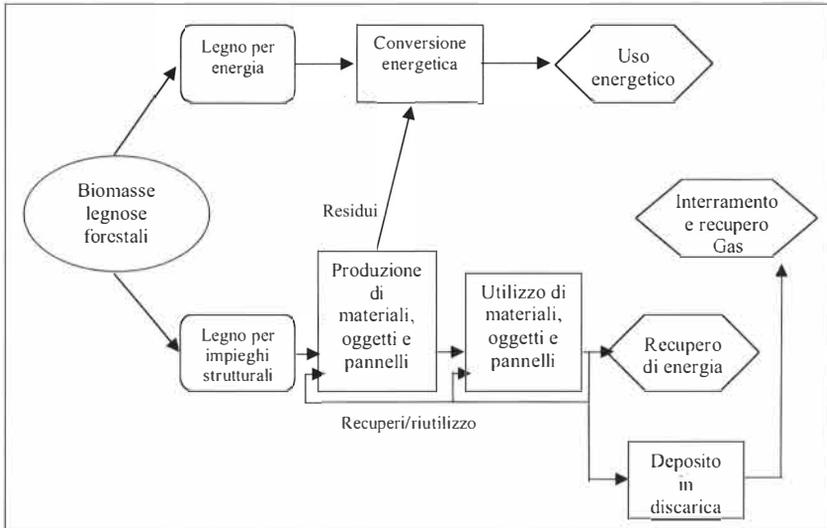


Fig. 7 *Strutture del modello biomasse settore forestale (cf. Gielen et al., 2001)*

re crediti per quei quantitativi di carbonio stoccati attraverso l'applicazione di specifiche pratiche selvicolturali su boschi esistenti nel 1990. Inoltre sempre nell'ambito dello stesso articolo viene data la possibilità di accreditare quei territori interessati da processi di riforestazione naturale (successioni secondarie) che stanno trasformando il paesaggio rurale di molte nazioni occidentali.

Il protocollo di Kyoto riconosce, quindi, uno specifico ruolo alle attività forestali nei seguenti settori:

- arboricoltura da legno (o afforestazione);
- rimboschimento (o riforestazione);
- pratiche selvicolturali (comprehensive degli interventi di ricostituzione e ricomposizione boschiva).

Con specifico riferimento alla realtà forestale italiana si può affermare che ormai da diversi decenni la deforestazione non viene più attuata, se non in casi puntuali di limitata estensione (ad esempio elettrodotti, piste da sci, ecc.). Anche i processi di recessione e degrado della copertura forestale indotte da intense utilizzazioni sono ormai una memoria del passato. Al contrario le nostre foreste si stanno in molti casi ricostituendo da uno stato originario caratte-

rizzato da basse provvigioni, il che comporta l'assorbimento di notevoli quantitativi di CO_2 . Il bosco, inoltre, soprattutto nei territori montani sta rioccupando in massa quelle aree marginali abbandonate dall'agricoltura e anche questo processo porta alla fissazione di apprezzabili quantitativi di carbonio dall'atmosfera. Infine, grazie agli incentivi comunitari, a partire dagli anni novanta l'arboricoltura da legno ha ricevuto un nuovo impulso che ha portato le piantagioni da legno oltre la classica pioppicoltura. Da questo quadro emerge chiaro l'incremento di biomassa nei territori forestali che, pur tenendo conto dell'effetto negativo degli incendi, sottrae all'atmosfera più del 10% delle emissioni annuali di CO_2 (Corona et al., 1997). Si tratta probabilmente di una stima approssimata per difetto poiché è a tutt'oggi difficile, se non impossibile, considerare le variazioni di stock che avvengono nel suolo.

Va a questo punto precisato che i crediti di carbonio derivanti dalle attività ricadenti sotto l'articolo 3.3 (ARD) potranno essere utilizzati completamente, mentre quelli ottenuti tramite la gestione forestale potranno essere utilizzati per pareggiare eventuali debiti derivanti dalle azioni ARD e/o nella misura del 15% dell'incremento netto degli stock di carbonio nei popolamenti forestali gestiti (vedi nota n. 2). Tuttavia, come sopra accennato, uno dei problemi a tutt'oggi aperti rimane la scelta dei metodi di monitoraggio dei quantitativi di carbonio stoccati nel soprassuolo e nel sottosuolo. Si tratta di studi laboriosi data la notevole complessità dell'ecologia delle foreste (eterogeneità ambientale, vasta estensione spaziale e cicli di sviluppo lunghi). A oggi nel tentativo di applicare il protocollo di Kyoto ci si trova, quindi, di fronte a scelte non facili poiché alcuni aspetti del ciclo del carbonio negli ecosistemi forestali necessitano di ulteriori approfondimenti tecnico-scientifici, soprattutto in relazione ai processi ipogei, con particolare attenzione al ciclo dell'acqua (Damiani, 2001).

In attesa che la comunità internazionale produca in un rapporto le procedure per l'identificazione e la stima degli stock di carbonio, è dall'altro canto quasi certo che nel breve periodo si apriranno nuovi orizzonti per le attività forestali. Così ad esempio in Italia nell'economia della produzione legnosa entreranno in gioco i capitali provenienti dall'attuazione del protocollo di Kyoto (ad esempio *carbon tax*). Nei paragrafi successivi verranno richiamati alcuni criteri

RAPIDO ACCRESCIMENTO			RESINOSE		
<i>Previsti</i>	<i>Realizzati</i>	<i>%</i>	<i>Previsti</i>	<i>Realizzati</i>	<i>%</i>
34.741	22.730	65,43	22.352	3.049	13,64
LATIFOGIE O MISTE			TOTALE		
<i>Previsti</i>	<i>Realizzati</i>	<i>%</i>	<i>Previsti</i>	<i>Realizzati</i>	<i>%</i>
84.328	78.362	92,93	141.421	104.141	73,64

Tab. 3 *Ettari di impianti previsti e realizzati nel periodo 1994/2000 in Italia usufruendo dei contributi stanziati dal regolamento CEE 2080/92 (da Colletti, 2001)*

e indicatori a cui fare ricorso in campo forestale per utilizzare al meglio queste risorse disponibili con l'obiettivo prioritario di contrastare l'aumento di CO₂ nell'atmosfera in uno scenario di gestione sostenibile del territorio forestale.

2.1 L'arboricoltura da legno e gli impianti forestali a breve rotazione: il loro ruolo nel ciclo del carbonio. Il caso della produzione di biomasse fuori foresta

Dai dati sulle produzioni legnose l'arboricoltura da legno in Italia sembra identificarsi con la pioppicoltura. Tuttavia nel medio periodo tale scenario subirà interessanti cambiamenti. Infatti grazie agli incentivi previsti dal regolamento CEE 2080/92 sono stati effettuati più di 100.000 ha di impianti in gran parte su terreni agricoli (Colletti, 2001). L'uso delle conifere è stato marginale, mentre nella maggior parte degli impianti si è fatto ricorso a latifoglie "nobili" lasciando così in secondo piano specie a rapido accrescimento come i pioppi (tab. 3). Attualmente nell'ambito dell'Agenda 2000 il regolamento CEE 1750/99 sta dando un nuovo impulso all'arboricoltura da legno. In base all'articolo 3.3 del protocollo di Kyoto questi impianti hanno i requisiti per essere presi in considerazione come attività di afforestazione.

Le esperienze scaturite dall'applicazione del regolamento CEE 2080/92 hanno confermato come la scelta della specie, in base alle caratteristiche pedo-climatiche della stazione, e l'applicazione di



Fig. 8 *Impianto di Short Rotation Forestry con robinia («Robinia pseudoacacia» L.), effettuato su suoli marginali abbandonati dalle comuni pratiche agricole, in cui sono state riscontrate produttività medie variabili da 3,8 a 6,5 t s.s. ha¹ anno⁻¹ (Paris et al., 2002)*

specifiche tecniche colturali siano momenti fondamentali per la riuscita di un impianto (Ciancio et al., 1992; Mercurio e Minotta, 2000).

D'altro canto, soprattutto con riferimento all'Italia peninsulare, resta a tutt'oggi da esplorare la possibilità di impiego della *Short Rotation Forestry* (fig. 8).

Gli impianti forestali a breve ciclo (*Short Rotation Forestry*; SRF) rientrano nel settore dell'arboricoltura da legno e possono quindi essere inquadrati nelle attività previste nell'articolo 3.3 del protocollo di Kyoto. Infatti la realizzazione di impianti forestali a breve ciclo per la produzione di biomasse a scopo energetico può contribuire all'abbattimento delle emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera attraverso l'immagazzinamento di carbonio nel suolo e nel soprasuolo, ma soprattutto attraverso la sostituzione dei combustibili fossili con una fonte energetica rinnovabile: le biomasse legnose.

Nei climi temperati le *short rotation* trattate con un turno di 3 anni forniscono mediamente una produttività intorno alle 10 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹ (Grubb et al., 2001). Tuttavia il ruolo nel ciclo del car-

bonio degli impianti SRF può essere molto variabile poiché è il risultato di complessi processi dove la scelta delle specie e dei sistemi colturali giocano un ruolo chiave accanto ai fattori ecologici (climatici e stazionali). In sintesi possono essere individuati quattro fattori: tipo di suolo e precedente uso, produttività, tecniche colturali (comprensive del turno).

Il confronto tra i vari fattori che controllano la produttività per la ricerca delle stazioni, delle specie e dei moduli colturali più efficienti ai fini dell'abbattimento della CO₂ va fatto sulla base di bilanci energetici e del carbonio: nel primo si deve tener conto di tutti i flussi energetici necessari per la produzione delle biomasse (bilanci energetici) (Bagnaresi et al., 1987; Mattews, 2001), mentre nel secondo vanno computati tutti i flussi di CO₂ (bilanci del carbonio) (Barford et al., 2001). In particolare, realizzare il bilancio del carbonio a livello di popolamento forestale è un compito tutt'altro che semplice poiché la quantificazione dei processi naturali coinvolti è molto laboriosa e dispendiosa, soprattutto per quello che riguarda la componente edafica. Va tenuto presente, infatti, che un bilancio energetico positivo non necessariamente implica un'azione mitigatrice verso l'incremento di CO₂ nell'atmosfera. Si tratta comunque di un primo passo necessario per poter concentrare le ricerche ecologiche su un territorio più ristretto caratterizzato dai migliori bilanci energetici.

Dal confronto dei bilanci energetici di una casistica sulle SRF si nota che l'efficienza energetica è molto variabile (output/input da 2 a 46) (tab. 4). Fattori che controllano l'efficienza energetica di un impianto sono: la scelta della specie, il sistema colturale, la tecnologia utilizzata per la coltivazione e la trasformazione. In generale sembra conveniente, anche in termini energetici, ridurre le fertilizzazioni e le irrigazioni al minimo (cfr. anche Scholz e Ellerbrock, 2002) e ricorrere quando possibile anche a concimazioni organiche (ad esempio smaltimento dei liquami) per mantenere un buon livello di fertilità edafica nei cicli successivi (Mattews, 2001).

È quindi auspicabile l'avvio di un progetto di ricerca nazionale con l'intento di mettere a punto, sulla base dei bilanci energetici, del carbonio ed economici, integrati dall'analisi del ciclo di vita (LCA), sistemi colturali per le diverse realtà ambientali, economiche e sociali. Infatti, seguendo un simile approccio metodologico, la realizzazione di una casistica su scala nazionale permetterebbe di de-

SPECIE	I.M.A. [t s.s.ha ⁻¹ anno ⁻¹]	FATTORI DI INPUT ENERGETICI				OUTPUT/ INPUT	FONTE
		fertiliz- zazione	irriga- zione	smiuz- zatura	condizio- namento		
Pioppo/salice	12	-	-	#	#	2-5	Mattews 1992
Misto	8-17	#	#	#	#	3-9	Herendeen e Brown 1987
Misto	4-9	#	-	#	#	4-7	Herendeen e Brown 1987
Pioppo	10	#	#	#	-	9-9	Balsari e Airoldi 2002
Misto conif./ latif.	8-18	#	#	#	-	9-17	Herendeen e Brown 1987
Misto latif.	12-30	#	#	-	-	11-16	Fege et al. 1979
Pioppo/salice	14-22	-	-	#	-	14-19	Turhollow e Perlack 1997
Pioppo	10-15	#	-	#	-	22-26	Dubuisson e Sintzoff 1998
Pioppo/salice	8-12	#	-	#	-	24	Mattews 2001
Salice	9	#	-	#	-	25	Borjesson 1996
Salice	-	-	-	-	-	26	Gustavsson et al. 1995
Pioppo/salice	8-12	-	-	#	-	29	Mattews 2001
Misto conif./ latif.	4-9	-	-	#	-	42-46	Herendeen e Brown 1987

Note: # = eseguita; i.m.a. = incremento medio annuo

Tab. 4 Bilanci energetici riguardanti le S.R.F. Comparazione tra produttività dell'impianto, input energetici derivanti dalle cure colturali e dai processi di trasformazione. Tabella tratta da Mattews (2001), integrata e riorganizzata

limitare gli ambiti in cui risulta più conveniente in termini ambientali, energetici ed economici convogliare le risorse finanziarie per le attività di afforestazione e riforestazione (proposta di revisione della delibera CIPE 19 novembre 1998). Vengono di seguito riportati degli esempi di bilanci energetici e del carbonio.

Un caso di studio sui bilanci energetici e del carbonio in Belgio (Dubuisson e Sintzoff, 1998)

Lo studio ha preso in esame tre realtà di SRF in Belgio, diversificate dalla fertilità stazionale e dal livello di intensità delle pratiche col-

	UNITÀ DI MISURA	"LOW"	"MEDIUM"	"HIGH"
<i>Dopo il taglio</i>				
Output/Input	MJoutMJin ⁻¹	22,7	26,3	30,3
Emissione di C	kg GJ ⁻¹	1,3	1,7	0,9
<i>Dopo il trasporto locale</i>				
Output/Input	MJoutMJin ⁻¹	21,6	24,7	27,8
Emissione di C	kg GJ ⁻¹	1,3	1,7	1,0
<i>Dopo lo stoccaggio ed il condizionamento</i>				
Output/Input	MJoutMJin ⁻¹	21,5	23,0	25,6
Emissione di C	kg GJ ⁻¹	1,3	2,3	1,5
<i>Dopo il trasporto finale</i>				
Output/Input	MJoutMJin ⁻¹	17,2	18,4	20,0
Emissione di C	kg GJ ⁻¹	1,7	2,7	1,9

Tab. 5 Bilanci energetici e carbonio fossile emesso per i tre modelli di S.R.F. studiati in varie fasi del ciclo di vita delle biomasse prodotte (tratta da Dubuisson e Sintzoff, 1998)

turali, in termini di meccanizzazione e materiali usati (ad esempio uso di fertilizzanti, pesticidi, recinzioni) (tab. 5).

Nel primo scenario, denominato *low*, la coltivazione è relativamente estensiva, con minimi interventi colturali e basso livello di fertilizzazione. La stazione di impianto non garantisce un'alta fertilità, con incrementi di 10 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹. Le macchine utilizzate per i lavori richiedono basse potenze di alimentazione (un unico trattore da 59 kW). Lo stoccaggio e relativa essiccazione del materiale tagliato avviene a bordo campo, quindi viene sminuzzato in loco con una apposita macchina alimentata dal trattore.

Nel secondo scenario, denominato *medium*, la coltivazione è intensiva con cure colturali e fertilizzazione intensa. A delimitare l'impianto è stata posta una recinzione elettrica anti-mammiferi. Il livello di meccanizzazione è molto prossimo a quello del precedente, ma con un trattore di 82 kW che per la raccolta è equipaggiato con una raccogli-sminuzzatrice (fig. 9). La stazione di impianto garantisce una buona fertilità, con incrementi di 12 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹.

Nel terzo scenario, denominato *high*, la coltivazione è molto intensiva. Le macchine utilizzate sono un trattore da 112 kW e per la raccolta e sminuzzatura viene impiegata una macchina semovente per la raccolta del foraggio opportunamente modificata. A delimi-



Fig. 9 Prototipo di costruzione italiana per la raccolta e sminuzzatura meccanizzata delle Short Rotation Forestry

tare l'impianto è stata posta una recinzione permanente. La stazione d'impianto garantisce ottima fertilità, con incrementi di 15 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹.

Dopo il taglio in tutti i casi è stato considerato un trasporto locale dello sminuzzato con un trattore e rimorchio (5 km), un periodo di stoccaggio e condizionamento (variabile a seconda dei differenti livelli di umidità) e un successivo trasporto fino al luogo di utilizzo (30 km).

Dalla tabella 5 si osserva che non necessariamente il sistema colturale con il rapporto energetico più efficiente è anche quello a più bassa emissione di carbonio per unità di energia fornita. Così a fine ciclo produttivo lo scenario *low* risulta il più conveniente per contrastare l'aumento di CO₂ nell'atmosfera. In realtà per chiudere il bilancio del carbonio bisogna tener conto anche dei flussi naturali nell'ecosistema *short rotation* poiché non è corretto considerare la produzione legnosa neutra nei confronti del ciclo del carbonio. Infatti a seconda delle condizioni ecologiche e dei moduli colturali utilizzati un appezzamento interessato da un impianto di *short rotation* può a fine ciclo risultare *sink* di carbonio o, in alcuni casi, una sorgente (*source*).

Un caso di studio italiano sui bilanci energetici
(Balsari e Airoidi, 2002)

Sulla base dei modelli di coltivazione scandinava a elevata densità di impianto, è stata effettuata una valutazione energetica ed economica di una SRF di pioppo nell'Italia settentrionale. È stata considerata una piantagione di pioppo posta nella Pianura Padana occidentale con sesto di 2,15 x 0,5 m (9300 talee ha⁻¹), sottoposta a turno di ceduzione di 2 anni. È stata inoltre ipotizzata una durata dell'impianto di 8 anni che permette di effettuare tutti gli interventi colturali con trattori convenzionali. Sono state considerate tutte le operazioni colturali eseguite sia nel vivaio, sia nella coltivazione a pieno-campo, sia durante le fasi di raccolta e trasformazione.

Le cure colturali previste nel primo anno di ognuno dei quattro turni sono:

- un trattamento erbicida in pre-emergenza; due trattamenti erbicidi in post-emergenza; un intervento di concimazione di fondo; un intervento di concimazione in copertura; quattro interventi per il controllo meccanico delle malerbe nell'interfila; due interventi irrigui.

Nel secondo anno del turno:

- due trattamenti erbicidi in post-emergenza; un intervento di concimazione in copertura; due interventi per il controllo meccanico delle malerbe nell'interfila; due interventi irrigui; la raccolta della biomassa.

Per la raccolta della biomassa è stato ipotizzato l'impiego di un cantiere di lavoro costituito da una taglia-trincia-caricatrice semovente, dotata di testata per il taglio e la raccolta delle pioppelle in grado di raggiungere una capacità di lavoro teorica di 58 t h⁻¹ di sminuzzato, e da due trattori per il traino di altrettanti rimorchi adibiti al trasporto dello sminuzzato all'interno del centro aziendale.

I costi energetici sono stati riferiti sia alle singole operazioni, sia all'insieme di operazioni in grado di costituire una fase colturale: vivaio, impianto (aratura, concimazione di fondo, erpicatura, messa a dimora delle talee), operazioni colturali (trattamento erbicida in preemergenza, concimazione di copertura, trattamenti erbicidi in post-emergenza, lavorazione del terreno nell'interfila, irrigazione, fresatura delle ceppaie), raccolta della biomassa (trinciatura e



Fig. 10 Elenco dei costi energetici in MJ ha⁻¹ anno⁻¹, delle operazioni effettuate nel ciclo produttivo della S.R.F. di pioppo (da Balsari e Airoidi, 2002)

trasporto in azienda) nel caso della coltivazione di pieno campo (fig. 10).

Il costo energetico annuale per la coltivazione e gestione dei 100 ha di SRF di pioppo risulta essere pari a poco meno di 1,9 TJ che, nell'ipotesi considerata, rappresenta poco meno del 10% dell'ener-



Fig. 11 *Prototipo di cesoie idrauliche spalleggiate, di costruzione italiana, per l'abbattimento semiccanico delle Short Rotation Forestry (da Baldini et al., 2002)*

gia contenuta nello sminuzzato raccolto (rapporto output/input = 9,9). Le operazioni colturali richiedono anche in questo caso la maggior parte degli input energetici (63% del costo energetico complessivo). In particolare, le irrigazioni si caratterizzano per l'elevato costo energetico diretto, mentre le concimazioni per gli input energetici indiretti necessari. Segue la messa a dimora con il 24% e, quindi, la raccolta e il trasporto della biomassa (13% del totale). Dall'analisi delle varie fasi di coltivazione della SRF, il costo energetico del vivaio (meno del 0,3% del totale) risulta essere marginale.

Nella Pianura Padana la realizzazione di una SRF di pioppo, nelle ipotesi di coltivazione e produzione considerate, è sicuramente interessante dal punto di vista energetico, mentre senza il ricorso a contributi pubblici (ad esempio regolamento 1257/99 di Agenda 2000) l'impianto non risulta economicamente conveniente. Inoltre, moduli colturali intensivi, come quello analizzato, non migliorano di molto il rapporto tra sistemi agro-forestali e ambiente, quindi, è auspicabile individuare delle soluzioni colturali a più basso impatto e se possibile, a maggiore efficienza energetica. Così, ad esempio,

andrebbero sperimentate le produzioni ottenibili da cicli produttivi più lunghi, facendo ricorso anche a specie differenti dal pioppo, più rustiche e frugali (ad esempio robinia e ontani), gestite con moduli colturali meno intensivi. Anche l'impiego di una meccanizzazione spinta in medio piccole realtà marginali, va debitamente valutato onde evitare rischi di sbilanci economici ed energetici (Baladini et al., 2002) (fig. 11-12). È ormai chiaro, infatti, che gli aspetti energetici e ambientali rappresentano temi prioritari di sperimentazione delle varie tecniche di SRF

Le SRF e il ciclo del carbonio

Per comprendere più a fondo il ruolo delle SRF nel ciclo del carbonio andrebbero effettuati dei bilanci complessivi di tutti i flussi positivi e negativi che interessano il sistema ecologico-produttivo. Come è stato sopra accennato si tratta di studi complessi per cui la maggior parte degli autori hanno considerato solo le emissioni di CO₂ provenienti dai combustibili fossili, supponendo che la CO₂ emessa dall'uso delle biomasse sia a effetto neutro. In realtà un appezzamento coltivato a SRF potrebbe svolgere un'azione di *sink* del carbonio, a condizione che avvenga un accumulo di carbonio anche a livello edafico.

Un esempio di bilancio del carbonio in piantagioni SRF del genere *Salix* su ex terreni agricoli è fornito da uno studio sviluppato dalle Università di Göteborg e Lund (Berndes e Börjesson, 2002) (tab. 6). Lo scopo principale di questo studio è stato quello di analizzare i benefici ambientali che le coltivazioni di biomassa a breve rotazione possono fornire in aggiunta all'impiego come fonte energetica rinnovabile in sostituzione dei combustibili fossili. Alcuni di questi comprovati benefici sono: la riduzione dei fenomeni erosivi e della percolazione dei nutrienti nel suolo, immagazzinamento del carbonio nel soprassuolo e nel terreno, miglioramento delle qualità fisiche e chimiche del suolo.

Il risultato di questo studio ha dimostrato che le piantagioni di *Salix* in Svezia possono contribuire significativamente nel raggiungere la soglia di abbattimento delle emissioni di C stabilita dal protocollo di Kyoto: questo attraverso l'effetto di sostituzione verso i



Fig. 12 *Motosega munita di telaio per l'abbattimento semiccanico delle Short Rotation Forestry (da Baldini et al., 2002)*

	TIPOLOGIA	
	1	2
Durata della piantagione [anni]	24	24
Intervallo di ceduzione [anni]	4	4
Produzione ottenuta dal primo taglio [t s.s. ha ⁻¹]	27	40
Produzione media ottenuta dai successivi tagli [t s.s. ha ⁻¹]	32	48
Quantità media di C stoccato nel soprassuolo [t ha ⁻¹]	7,8	11,7
Quantità di C accumulato nel suolo [t ha ⁻¹ anno ⁻¹]	0,5	0,5

Tab. 6 *Caratteristiche colturali, produzioni e carbon sink delle piantagioni di Salix studiate da Berndes e Börjesson, 2002*

combustibili fossili e, secondariamente, attraverso la creazione di nuovi *carbon sink* (tab. 6).

L'importanza delle biomasse nell'impiego energetico, quali sostitute dei combustibili fossili e la relativa incidenza sul ciclo del carbonio, è inoltre molto influenzata dal tipo di combustibile che si andrà a sostituire e dal tipo di energia che si produrrà. I due grafici nelle figure 13 e 14 mostrano l'andamento del carbonio accumulato per piantagioni di SRF destinate alla produzione di biomasse a fini energetici, in un caso sostituendo il carbone fossile (fig. 13), nell'altro il gas naturale (fig. 14). Dall'analisi dei due grafici si nota immediatamente la sostanziale differenza, riguardo al ciclo del carbonio, tra l'abbattimento delle emissioni, nel caso dell'utilizzo di un impianto di SRF per la sostituzione del carbone fossile nella produzione di energia termica o di gas naturale nella produzione di energia elettrica. Infatti nel valutare le scelte possibili sull'utilizzo delle biomasse ottenute da SRF vanno anche considerati i differenti livelli di efficienza nelle varie tipologie di trasformazione dell'energia. Utilizzando carbone fossile, o biomasse a uso riscaldamento, le tecnologie odierne consentono livelli di efficienza prossimi al 90%. Ben diverso è il discorso nel caso dell'energia elettrica, dove l'utilizzo del gas naturale ha un'efficienza del 50%, mentre con le biomasse si raggiunge al massimo il 35%.

2.2 *Il rimboschimento*

I naturali processi di rivegetazione (successioni secondarie) che stanno interessando il nostro paesaggio montano svolgono senza

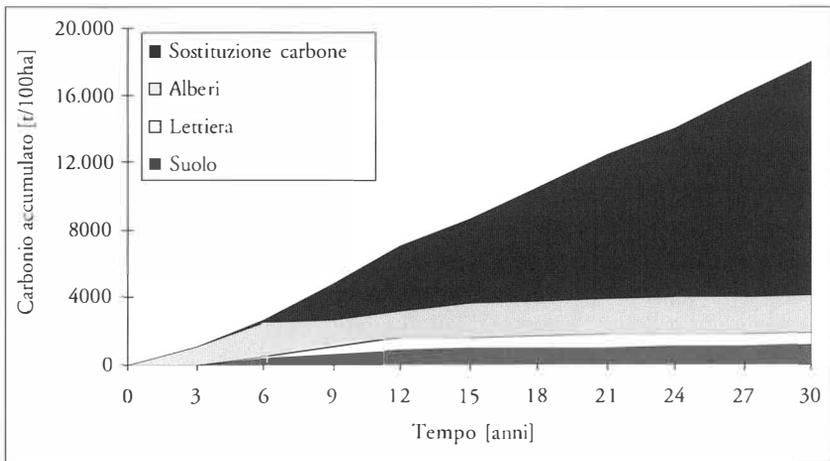


Fig. 13 *Andamento degli stock di carbonio in un impianto di biomasse per la sostituzione del carbone fossile nella produzione di energia termica (tratto da Grubb et al., 2001)*

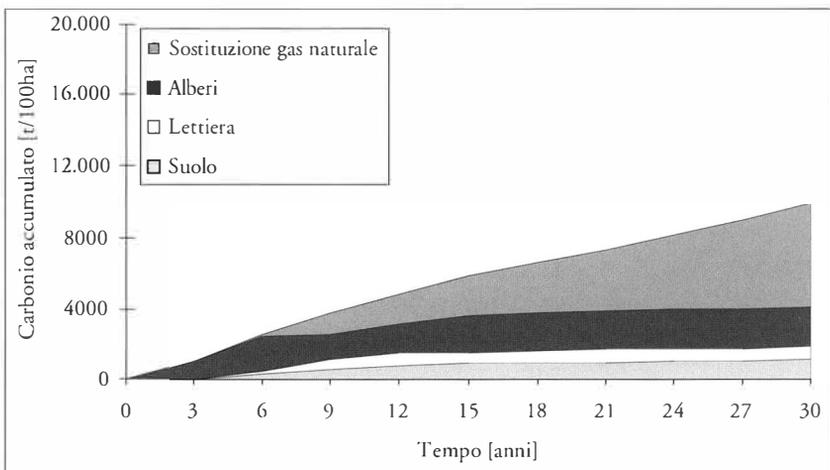


Fig. 14 *Andamento degli stock di carbonio in un impianto di biomasse per la sostituzione di gas naturale nella produzione di energia elettrica (tratto da Grubb et al., 2001)*

dubbio una apprezzabile funzione di assorbimento di CO₂ dall'atmosfera che può essere contabilizzata in base all'articolo 3.4 del protocollo di Kyoto.

Tuttavia, soprattutto sull'Appennino, in diversi casi l'azione di



Fig. 15 Panoramica di un rimboscimento nell'Italia centro meridionale, su suoli fortemente degradati dall'azione antropica

disturbo antropica è stata così intensa che ha arrecato un notevole degrado all'ambiente, a tal punto che dopo diversi decenni i segni di recupero sono ancora scarsi. Si tratta di versanti completamente denudati dalla copertura forestale, situazioni a lenta evoluzione naturale, in cui il ricorso al rimboscimento può accelerare notevolmente il ritorno della foresta in questi ambiti ormai marginali alle attività antropiche (figg. 15-16). A partire dalla fine della seconda guerra mondiale fino al 1983 in Italia sono stati rimboschiti 850.000 ha (La Marca, 1998), mentre negli ultimi decenni si è assistito a una notevole diminuzione delle attività di rimboscimento a differenza di quanto è accaduto in altre nazioni europee (Schiro- ne, 1998). Il problema è appunto l'attuale marginalità economica di questi territori denudati. Il loro recupero richiede, quindi, un investimento pubblico, opportunità che viene ora offerta dai capitali provenienti dal mercato dei crediti di carbonio (proposta di revisione della delibera CIPE 19 novembre 1998).

Così lo scenario politico nazionale prevedrebbe nei prossimi anni vaste campagne di rimboscimento su aree soggette a rischio



Fig. 16 *Particolare di una buca dove è stata posta la piantina di un anno, in un rimboschimento nell'Italia centro meridionale, su suoli fortemente degradati dall'azione antropica*

idrogeologico. Anche in questo caso è auspicabile una ottimizzazione delle tecniche di rimboschimento dal punto di vista ecologico e energetico, tenendo presente cosa attualmente è noto sul ciclo del carbonio. Si tratta di tematiche che per il territorio italiano sono ancora in una fase esplorativa (Schirone, 1999). Ad esempio un punto nodale consiste nella scelta delle specie da utilizzare (rustiche e frugali) con sistemi di impianto il meno invasivi possibili. L'obiettivo è un'azione a basso impatto ambientale che acceleri le successioni naturali. Inoltre, andranno previsti piani colturali così da non cadere nell'errore delle campagne dei decenni precedenti quando i rimboschimenti sono stati abbandonati al loro destino. In particolare l'attuazione di periodici diradamenti, oltre che favorire lo sviluppo del popolamento con l'innesco di processi di rinnovazione naturale, rappresenta una pratica preventiva dall'incendio, rischio che in ambiente mediterraneo risulta piuttosto elevato (vedi paragrafo successivo).

Dal punto di vista del ciclo del carbonio il rimboschimento si

MIGLIORAMENTO BOSCHIVO E FRANGIVENTI (ha)			STRADE FORESTALI (km)			FASCE TAGLIAFUOCO E PUNTI D'ACQUA (ha SERVITI)		
<i>Previsti</i>	<i>Realizzati</i>	<i>%</i>	<i>Previsti</i>	<i>Realizzati</i>	<i>%</i>	<i>Previsti</i>	<i>Realizzati</i>	<i>%</i>
34.741	22.730	65,43	22.352	3.049	13,64	84.328	78.362	92,93

Tab. 7 *Lavori di miglioramento boschivo previsti e realizzati in Italia per il periodo 1994/2000 (da Coletti, 2001)*

differenza dall'arboricoltura da legno per una minore capacità di *sink* iniziale, ma anche per il perdurare di questa funzione nel corso dei decenni fino al raggiungimento degli elevati stock di carbonio per unità di superficie che caratterizzano le foreste. Grazie a questi effetti di medio-lungo periodo la riforestazione risulta quindi un'azione complementare all'arboricoltura da legno, necessaria in una strategia in cui anche l'uso del suolo deve contribuire al contenimento della crescita di gas serra nell'atmosfera.

2.3 *La selvicoltura*

In base all'articolo 3.4 del protocollo di Kyoto le scelte gestionali nel settore forestale che hanno determinato a partire dal 1990 un aumento degli stock di carbonio possono essere accreditate nei bilanci nazionali. Così, ad esempio, potranno essere prese in considerazione quelle aree interessate dai miglioramenti boschivi effettuati grazie ai contributi della 2080/92 (tab. 7), mentre rimane aperta la questione delle foreste che risultano gestite senza uno specifico piano (cfr. nota n. 2).

Prima di affrontare il tema dei trattamenti selvicolturali, va innanzitutto rilevato che ancora oggi numerosi popolamenti boschivi, soprattutto nell'Italia peninsulare, sono in una fase di ricostituzione e ricomposizione boschiva (Corona et al., 1997). Si tratta di formazioni boschive frammentate e lacunose che si estendono per diverse centinaia di migliaia di ettari in situazioni stazionali spesso caratterizzate da una scarsa fertilità (Schirone e Piovesan, 1992). Il recupero di queste formazioni, caratterizzate da basse provvigioni, richiede tempi medio-lunghi poiché è necessario attendere il decorso dei processi pedo-

genetici. La selvicoltura in questi ambiti può attraverso rinfoltimenti, infrasemine e specifiche operazioni culturali (ad esempio tramarratura, diradamenti nei nuclei eccessivamente densi) tentare di abbreviare questi tempi di attesa, ma si tratta pur sempre di attendere diversi decenni prima di ottenere diffusi benefici produttivi e ambientali da questi investimenti. Tuttavia, come nel caso dei rimboschimenti, una corretta politica forestale è bene che prenda in considerazione anche opere di ricomposizione e ricostituzione boschiva.

Oggi, è richiesto ai tecnici forestali di prescrivere trattamenti selvicolturali nel rispetto della biodiversità, dell'ambiente e dell'evoluzione dei boschi, per continuare a fornire il legno richiesto dalla società. Molteplici sono i trattamenti applicabili e la possibilità di scelta varia anche in funzione dei vari tipi forestali (cfr. Del Favero e Lasen, 1993).

Premettendo che qualsiasi azione volta al disturbo dell'ecosistema bosco porta a inevitabili emissioni di CO_2 nell'atmosfera, è bene comunque ricordare l'importanza dei prodotti legnosi nell'attuale società (La Marca, 1991). La produzione o il consumo di materiali che possano prendere il posto del legno – ammesso che sia possibile la sua sostituzione! (Harvey et al., 2002) – è spesso fonte di problematiche ambientali – ed emissioni di CO_2 – ben più gravi. Inoltre nel caso di popolamenti forestali italiani i trattamenti selvicolturali garantiscono non solo la produzione legnosa, ma anche uno sviluppo armonico di soprassuoli che quasi sempre si trovano in una condizione ben lontana da quella potenziale. Certamente l'allungamento dei turni nei boschi coetanei e prelievi più modici nelle formazioni disetanee portano diffusi vantaggi ambientali anche in termini di immagazzinamento di CO_2 . Va tuttavia osservato che tali scelte non sempre possono essere supportate dalle varie realtà economiche e sociali che cercherebbero il prodotto legnoso altrove con il conseguente aggravio energetico. Inoltre per allungamento del turno non si dovrebbe intendere, come attualmente purtroppo è stato spesso fatto, l'abbandono del bosco all'evoluzione naturale.

Interventi culturali come le ripuliture, i diradamenti e, in alcune realtà, le potature possono risultare utili per accelerare lo sviluppo dei popolamenti forestali ed evitare eventi distruttivi dei processi evolutivi (Corona e Nocentini 2002). Inoltre, il materiale ricava-

bile da simili operazioni selvicolturali è ottimamente sfruttabile dalle industrie dei pannelli e per la produzione di energia. Nel primo caso il carbonio viene stoccato per diversi decenni invece di essere degradato, per la maggior parte, come necromassa; nel secondo va a sostituire i combustibili fossili.

Per la corretta attuazione delle pratiche selvicolturali c'è, inoltre, la necessità dello sviluppo di infrastrutture forestali e di impiego di adeguate tecnologie con manodopera appositamente formata, per rendere energeticamente ed economicamente vantaggiosi questi interventi e ridurre, nel contempo, al minimo i danni ambientali. Inoltre, queste operazioni colturali possono rappresentare, in diversi casi, un efficiente mezzo di prevenzione degli incendi boschivi. Con specifico riferimento all'Italia, gli incendi boschivi sono responsabili dell'emissione di 0,7-1,2 Mt C anno⁻¹ (Bovio 1996; Bovio e Leone in stampa), un quantitativo di C per lo meno pari a quello presente nel legname da lavoro (di provenienza nazionale) annualmente utilizzato. Allo stesso tempo le pratiche culturali in alcuni casi possono svolgere un'azione preventiva sull'esplosione di epidemie e infestazioni, che alterando la funzionalità degli ecosistemi forestali riducono la loro capacità di assimilare carbonio.

Un'altra azione auspicabile è la conversione a fustaia di quei popolamenti cedui (ad esempio faggeti e lecceti) che ormai da diversi decenni sono lasciati alla loro naturale evoluzione. Da questi interventi derivano vantaggi economici e ambientali (Hermanin, 1988). In particolare, grazie al cambiamento di governo, l'aumento della biomassa e la ripresa dei processi pedogenetici garantirebbero l'assorbimento di notevoli quantitativi di carbonio per unità di superficie. Infine una ripresa di attente utilizzazioni nelle fustaie potrebbe fornire quel legname da lavoro richiesto dall'industria del legno e diversificare quelle strutture che a oggi, in diversi casi, risultano monotone.

Il punto nodale dell'applicazione dei trattamenti selvicolturali passa attraverso lo studio di sistemi di utilizzazione a basso impatto ambientale e maggiormente efficienti dal punto di vista energetico. I sistemi di utilizzazione attualmente impiegati in Italia hanno scarsa considerazione verso le problematiche ambientali e non tengono in alcun conto i bilanci energetici. Fenomeni quali l'impatto delle macchine sul suolo forestale, a oggi quasi del tutto trascurati, an-

dranno presi in debita considerazione, anche in relazione alle notevoli emissioni di CO₂ che possono causare. Quindi l'impiego di tecnologie adeguate ai lavori svolti, immesse in un contesto infrastrutturale idoneo, consentirebbe, a personale adeguatamente formato, lo svolgimento delle più comuni pratiche selvicolturali nel pieno rispetto dell'ambiente. Inoltre da come possiamo evincere da alcuni cantieri sperimentali che verranno riportati in seguito, spesso le metodologie di lavoro a basso impatto, se adeguatamente programmate, consentono anche l'ottenimento di validi bilanci energetici.

Nei paragrafi successivi vengono delineati alcuni schemi di trattamento già sperimentati con l'obiettivo di ottenere una maggiore efficienza energetica. Molto, invece, rimane da studiare sull'effetto dei trattamenti selvicolturali sul ciclo del carbonio.

Un esempio di bilanci energetici in cantieri di utilizzazione boschiva in Italia (Baldini et al., in stampa)

Gli obiettivi della ricerca sono stati rivolti alla valutazione delle produttività, relative al grado di meccanizzazione dei cantieri di lavoro e ai rilevamenti energetici, relativi alle macchine, alle attrezzature impiegate, ai combustibili e lubrificanti consumati (input), e al legname ricavato dai tagli (output), al fine di ricavare il bilancio energetico dell'intervento eseguito.

Tre sono state le tipologie boschive analizzate, una pecceta (*Picea abies* (L.) Karst.) di 30-35 anni, una pineta di pino marittimo (*Pinus pinaster* Aiton) di 50-55 anni e un ceduo matricinato di faggio (*Fagus sylvatica* L.) di 32 anni. Altrettanti sono stati i sistemi di lavoro presi in considerazione, il *Full Tree System* (FTS) o della pianta intera, il *Tree Length System* (TLS) o del legno lungo e lo *Short Wood System* (SWS) o del legno corto.

I consumi di carburanti e lubrificanti sono stati valutati dal peso del numero di pieni fatti. Per le stime degli input energetici è stato adottato il metodo della Richiesta Lorda di Energia (RLE o GER, ossia *Gross Energy Requirement*). La RLE è un criterio operativo abbastanza pratico, che considera soltanto il calcolo dei flussi di energia fossile, diretta e indiretta, in un sistema, tralasciando l'input energetico dovuto alla manodopera.



Fig. 17 *Macchina allestitrice azionata tramite la presa di potenza del trattore, dotata di verricello per il concentramento delle piante*

Per i combustibili e i lubrificanti, ossia l'energia diretta impiegata, è stato usato il potere calorifico superiore come misura dell'energia utilizzabile nel processo di conversione termica. Per la stima degli input indiretti (relativi alle macchine e alle attrezzature) sono stati usati dei valori energetici, espressi in MJ h^{-1} , che caratterizzano il valore energetico del materiale di cui è fatta la macchina, considerando il suo peso e la sua durata tecnica.

Il popolamento di *Picea abies* (L.) Karst., di 1,06 ha, è stato suddiviso in cinque aree sperimentali dove è stato effettuato un diradamento, che ha portato il popolamento a una densità di 1.427 piante ha^{-1} , asportando una massa di 50,43 t ha^{-1} .

Analizzando le produttività e i consumi energetici riportati nelle tabelle 8 e 9, si può affermare che il sistema di lavoro applicato nell'area n. 2 è il migliore, anche se da un punto di vista energetico quello riscontrato nell'area n. 1 presenta il miglior bilancio. Con specifico riferimento alle operazioni di concentramento, esbosco e allestimento una considerazione a parte merita l'area n. 5, dove i lavori

AREA N.	FASI DI LAVORO	N. DI OPERAI	PRODUTTIVITÀ MEDIA LORDA [m ³ h ⁻¹ sq. ⁻¹]		CONSUMO ENERGETICO MEDIO [MJ m ⁻³]	
E.T.S.						
1	Abbattimento con motosega e telaio	1	2,110	0,610	16,02	96,92
	Concentramento con K.B.F.	2	1,720		18,77	
	Esbosco con trattore e verricello	1	4,040		29,42	
	Allestimento con macc. sram.- sezioni.	1	2,980		32,71	
E.T.S.						
2	Abbattimento con motosega	1	2,700	0,850	12,47	116,52
	Concen. ed esbosco con trat. e verr.	2	1,880		70,82	
	Allestimento con macc. sram.- sezioni.	1	3,550		33,23	
T.L.S.						
3	Abbattimento e sramatura con motos.	1	0,650	0,340	63,24	201,42
	Concen. ed esbosco con trat. e verr.	2	1,080		113,53	
	Sezionatura con motosega ed accatastamento con pinze	2	2,060		24,65	
T.L.S.						
4	Abbattimento e sramatura con motos.	1	0,720	0,430	68,58	186,20
	Concentramento con K.B.F.	2	2,930		41,56	
	Esbosco con trattore e verricello	1	3,600		55,51	
	Sezionatura con motosega ed accatastamento con pinze	2	3,160		20,55	
E.T.S.						
5	Abbattimento con motosega	1	0,960	0,330	25,44	199,66
	Concen., esb. ed allest. con macc. Sram.- sezioni.	1	0,500		174,22	

Tab. 8 *Popolamento di Picea abies (L.) Karst., di 1,06 ha, suddiviso in cinque aree sperimentali, sottoposte a diradamento, con asportazione di 50,43 t ha⁻¹. Schematizzazione delle operazioni svolte con le relative macchine impiegate, in riferimento alla composizione delle squadre, alle produttività medie e ai consumi energetici medi*

sono stati svolti dalla stessa macchina. È così risultata una produttività molto bassa e un consumo energetico più elevato rispetto agli altri casi; questo è dovuto alla lentezza del verricello nello strascico indiretto e alla scarsa esperienza dell'operatore. Si può quindi affermare con cognizione di causa, che la macchina sramatrice – sezionatrice (fig. 17) è da usare solo nell'allestimento delle piante all'imposto.

In sintesi, si può notare che i valori del rapporto output/input (tab. 9) più alti e pertanto più favorevoli, appartengono alle aree dove è stata raccolta la pianta intera di chioma (FTS).

Il popolamento di *Pinus pinaster* Aiton è stato suddiviso in otto

AREA N.	OPERAZIONE	SISTEMA	OUTPUT [MJ ha ⁻¹]	INPUT			OUTPUT/ INPUT
				Indiretti	Diretti	Totali	
1	diradamento	F.T.S.	490.192	1.404	4.360	5.764	85,0
2	diradamento	F.T.S.	470.511	1.952	5.718	7.680	61,3
5	diradamento	F.T.S.	308.472	2.132	3.435	5.568	55,4
3	diradamento	T.L.S.	157.865	1.215	6.133	7.348	21,5
4	diradamento	T.L.S.	277.093	1.022	15.663	16.684	16,6

Tab. 9 Popolamento di *Picea abies* (L.) Karst., di 1,06 ha, suddiviso in cinque aree sperimentali, sottoposte a diradamento, con asportazione di 50,43 t ha⁻¹. Bilanci energetici calcolati, differenziati per tipo di intervento (operazione) e sistema di lavoro

aree sperimentali (tabb. 10-11). Sono stati eseguiti, su una superficie di 4,30 ha, due tipi di interventi: taglio raso nelle aree sperimentali n. 1, 2, 3, 4, 5 e 6 e taglio di sementazione nelle aree 7 e 8, che ha interessato circa il 60% delle piante presenti.

Nel caso del taglio di sementazione il concentramento con il miniverricello KBF (area n. 7) nonostante la minore produttività ha consentito il miglior bilancio in termini energetici.

Tra i cantieri trattati a taglio raso l'area n. 4, dove è stato usato il rimorchio con verricello forestale (fig. 18) e la gru meccanica, si evidenzia per un consumo energetico elevato, rispetto agli altri sistemi. Va, tuttavia, considerato che è stato effettuato anche il trasporto del materiale a una distanza di 2.200 m, mentre nei restanti casi il materiale era accatastato sulle piste a bordo area.

Anche per questa tipologia boschiva i bilanci energetici più alti, e pertanto più favorevoli (tab. 11), si sono riscontrati nelle aree dove è stata fatta l'utilizzazione delle piante intere di chioma (FTS).

Il ceduo matricinato di *Fagus sylvatica* L., di 1,30 ha, è stato suddiviso in sei aree sperimentali. Gli interventi eseguiti sono stati due: taglio di avviamento all'alto fusto, nelle aree sperimentali n. 1, 2 e 5; taglio raso con rilascio di matricine, per favorire la rinnovazione naturale, nelle aree n. 3, 4 e 6. Il taglio di avviamento all'alto fusto è stato essenzialmente un diradamento selettivo dal basso, con il quale si è asportato il 53% dei polloni, corrispondenti a 5.608 polloni ha⁻¹. Il taglio raso con rilascio di matricine è risultato utile sia per la rigenerazione delle ceppaie, sia per il miglioramento del ceduo stesso; sono state rilasciate 140 matricine ha⁻¹.



Fig. 18 Rimorchio forestale dotato di gru meccanica e verricello, agganciato ad un trattore agricolo

Nella ceduzione, confrontando le operazioni di abbattimento (tab. 12), si nota che nelle aree n. 4 e 6, dove è stato applicato il FTS, si sono riscontrate minori produttività e più alti consumi energetici rispetto all'area dove è stato applicato il sistema SWS. Il sistema con consumi energetici più elevati, è quello che ha previsto l'impiego del verricello forestale nel concentramento ed esbosco (fig. 19) del pollone intero di chioma. Anche nelle conversioni lo SWS si è confermato il sistema di utilizzazione più efficiente.

Dal presente studio si evince chiaramente, come sono molteplici i fattori che influenzano la produttività e l'efficienza energetica

AREA N.	FASI DI LAVORO	N. DI OPERAI	PRODUTTIVITÀ MEDIA LORDA [m ³ h ⁻¹ sq. ⁻¹]		CONSUMO ENERG. MEDIO [MJ m ³]	
T.L.S.						
1	Abbattimento e sramatura con motosega	1	2,770		30,86	
	Concen. ed esbosco con tratt. e verricello	1	4,120	1,520	21,39	67,35
	Sezion.ed accatas. con motos. e pinze	2	16,740		15,10	
FT.S.						
2	Abbattimento con motosega	1	12,200		12,49	
	Concen. ed esbosco con trat. e verr.	1	4,820		18,35	
	Allest. ed accatas. con motosega e pinze	3	7,470	2,360	16,09	46,93
T.L.S.						
3	Abbattimento e sramatura con motosega	1	4,010		21,65	
	Concentramento ed esbosco con K.B.F.	2	3,010	1,490	12,95	48,30
	Sezion.ed accatas. con motos.e pinze	2	11,280		13,70	
T.L.S.						
4	Abbattimento e sramatura con motosega	1	3,520		27,09	
	Concentram. ed esb. con trattore, rimorchio e verricello forestale	1	1,370	0,900	72,44	114,78
	Sezion.ed accatas. con motos. e pinze	2	9,790		15,25	
T.L.S.						
5	Abbattimento e sramatura con motosega	1	3,190		34,49	
	Concentramento ed esbosco con K.B.F.	2	2,290	1,130	13,84	63,27
	Sezion.ed accatas. con motos.e pinze	2	7,550		14,94	
FT.S.						
6	Abbattimento con motosega	1	8,940		12,42	
	Concen. ed esbosco con tratt. e verricello	1	4,460	2,180	20,74	48,12
	Allestim.ed accatast. con motos. e pinze	3	8,220		14,96	
T.L.S.						
7	Abbattimento e sramatura con motosega	1	1,600		64,05	
	Concentramento ed esbosco con K.B.F.	2	1,010	0,580	35,82	132,13
	Sezion.ed accatas. con motos.e pinze	2	8,680		32,26	
T.L.S.						
8	Abbattimento e sramatura con motosega	1	1,500		67,27	
	Concen. ed esbosco con tratt. e verricello	1	2,010	0,780	51,26	150,12
	Sezion.ed accatas. con motos.e pinze	2	8,140		31,59	

Tab. 10 *Popolamento di Pinus pinaster Aiton, suddiviso in otto aree sperimentali, dove sono stati eseguiti, su una superficie di 4,3 ha, due tipi di interventi: taglio raso nelle aree sperimentali n. 1, 2, 3, 4, 5 e 6 e taglio di sementazione, con asportazione di circa il 60% delle piante presenti, nelle aree 7 e 8. Schematizzazione delle operazioni svolte con le relative macchine impiegate, in riferimento alla composizione delle squadre, alle produttività medie e ai consumi energetici medi*

AREA N.	OPERAZIONE	SISTEMA	OUTPUT [MJ ha ⁻¹]	INPUT [MJ ha ⁻¹]			OUTPUT /INPUT
				<i>Indiretti</i>	<i>Diretti</i>	<i>Totali</i>	
2	taglio raso	F.T.S.	1.669.992	1.277	6.782	8.059	207,2
6	taglio raso	F.T.S.	1.552.498	1.298	6.480	7.778	199,6
3	taglio raso	T.L.S.	1.572.374	212	8.602	8.814	178,4
5	taglio raso	T.L.S.	1.004.813	180	7.348	7.528	133,5
1	taglio raso	T.L.S.	1.234.014	1.267	8.509	9.776	126,2
4	taglio raso	T.L.S.	1.607.602	5.025	16.383	21.408	75,1
7	taglio di sementazione	T.L.S.	502.389	196	7.462	7.658	65,6
8	taglio di sementazione	T.L.S.	327.359	675	5.074	5.749	56,9

Tab. 11 *Popolamento di Pinus pinaster Aiton, suddiviso in otto aree sperimentali, dove sono stati eseguiti, su una superficie di 4,3 ha, due tipi di interventi: taglio raso nelle aree sperimentali n. 1, 2, 3, 4, 5 e 6 e taglio di sementazione, con asportazione di circa il 60% delle piante presenti, nelle aree 7 e 8. Bilanci energetici calcolati, differenziati per tipo di intervento (operazione) e sistema di lavoro*

dei lavori di utilizzazione forestale. È da notare, infatti, come le produttività, i consumi, i bilanci energetici, variano in funzione dell'orografia, del clima, del soprassuolo, del tipo di macchina e attrezzatura utilizzati, delle metodologie di lavoro, del sistema di trasformazione e destinazione del prodotto e dello stesso fattore umano. Infine va osservato che non sempre il sistema più produttivo è anche il più efficiente dal punto di vista energetico. È quindi opportuno tenere sempre in debita considerazione quanto sopra, ogni qualvolta si intraprendono studi del settore.

Un esempio di bilancio del carbonio nell'impiego dei residui di utilizzazione in Finlandia (Palosuo e Wihersaari, 2000)

La ricerca in questione è stata svolta su soprassuoli di *Pinus sylvestris* L. e *Picea abies* (L.) Karst. Quando i residui delle utilizzazioni vengono lasciati sul letto di caduta, circa il 90% del carbonio in essi contenuto viene rilasciato nell'atmosfera entro i primi 20-30 anni. Rimane, quindi, circa un 10% della biomassa iniziale che diminuisce molto lentamente nell'arco di un centinaio di anni, che è quindi il carbonio effettivamente stoccato nei residui delle utilizzazioni (fig. 20). Quando si mette a confronto la parcella dove i residui di



Fig. 19 *Trattore agricolo con verricello forestale ad un tamburo dotato di piedi telescopici stabilizzanti*

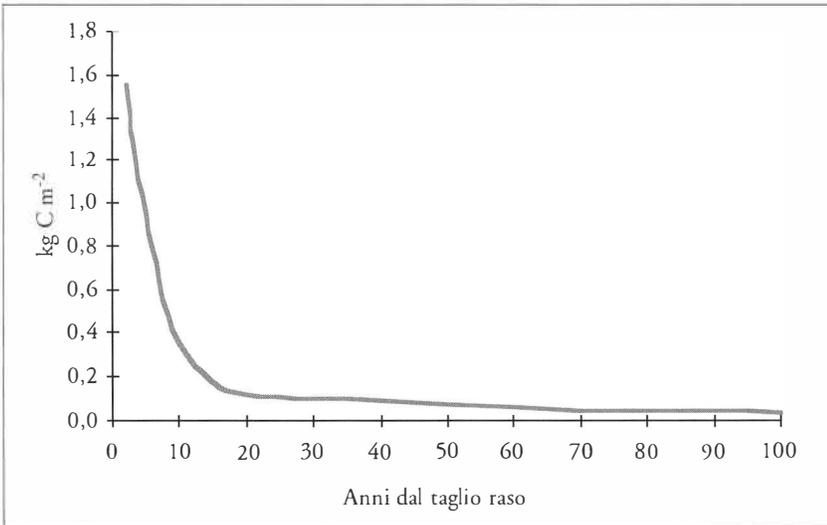


Fig. 20 *Decadimento del carbonio nei residui delle utilizzazioni lasciati in bosco dopo un taglio raso in una pecceta trattata con un turno di 100 anni (tratto da Palosuo e Wihersaari, 2000)*

AREA N.	FASI DI LAVORO	N. DI OPERAI	PRODUTTIVITÀ MEDIA [m ³ h ⁻¹ sq. ⁻¹]		CONSUMO ENERGETICO MEDIO [M] m ⁻³	
S.W.S.						
1	Abbatt. ed allestimento con motosega Concen., esbos. ed accatastam. con canalette In PVC e pinze	2	8,180	5,240	7,55	9,49
		4	14,580		14,58	
S.W.S.						
2	Abbatt. ed allestimento con motosega Concen., esbosco ed accatastamento con canalette in PVC e pinze	2	7,870	4,830	6,69	8,88
		4	12,470		2,19	
S.W.S.						
3	Abbatt. ed allestimento con motosega Concen., esbosco ed accatastamento con canalette in PVC e pinze	2	14,910	7,490	5,20	7,03
		4	15,060		1,48	
F.T.S.						
4	Abbattimento con motosega Concen. ed esbosco con tratt.e verr. Allest. ed accatas. con moto. e pinze	2	28,620	5,360	2,48	13,79
		2	12,930		7,17	
		2	13,440		4,14	
T.L.S.						
5	Abbatt. e sramatura con motosega Concen. ed esbosco con tratt.e verr. Sezion. ed accatas. con motos. e pinze	2	11,350	4,780	5,63	13,12
		2	13,790		5,68	
		2	20,700		1,81	
F.T.S.						
6	Abbattimento con motosega Concen. ed esbosco con tratt.e verr. Allest. ed accatas. con motos. e pinze	2	24,690	4,410	2,96	18,48
		2	10,250		8,45	
		2	11,280		7,07	

Tab. 12 *Ceduo matricinato di «Fagus sylvatica» L., di 1,30 ha, suddiviso in 6 aree sperimentali. Interventi eseguiti: taglio di avviamento all'alto fusto, nelle aree sperimentali n° 1, 2 e 5; taglio raso con rilascio di matricine nelle aree n. 3, 4 e 6. Con il taglio di avviamento all'alto fusto si è asportato il 53% dei polloni. Nel taglio raso con rilascio di matricine sono state rilasciate 140 matricine ha⁻¹. Schematizzazione delle operazioni svolte con le relative macchine impiegate, in riferimento alla composizione delle squadre, alle produttività medie e ai consumi energetici medi*

utilizzazione vengono lasciati in bosco con quella dove vengono rimossi e bruciati, la differenza esistente (pari all'11% del contenuto di carbonio iniziale presente nei residui) viene definita e considerata come un'emissione indiretta nell'atmosfera.

Nel caso di una pecceta standard, con 200 m³ ha⁻¹ di volume e 15 t C ha⁻¹ di residui delle utilizzazioni, le emissioni indirette sono di 1,7 t C ha⁻¹. Considerando che l'energia ottenuta è pari a 135-150 MWh ha⁻¹, le emissioni indirette di carbonio, che sarebbe stato stoccato nel suolo, corrispondono a 11-13 kg C/MWh. Aggiungendo questa emissione indiretta ai gas serra derivanti dai lavori di

AREA N.	OPERAZIONE	SISTEMA	OUTPUT [MJ ha ⁻¹]	INPUT [MJ ha ⁻¹]			OUTPUT/ INPUT
				<i>Indiretti</i>	<i>Diretti</i>	<i>Totali</i>	
3	taglio raso con rilascio di matricine	S.W.S.	1.383.964	1.115	5.335	6.450	214,6
4	taglio raso con rilascio di matricine	F.T.S.	1.852.016	2.796	11.088	13.884	133,4
6	taglio raso con rilascio di matricine	F.T.S.	2.357.181	4.666	19.966	24.632	95,7
2	avviamento	S.W.S.	806.249	1.125	4.330	5.455	147,8
1	avviamento	S.W.S.	744.813	793	4.343	5.136	145,0
5	avviamento	T.L.S.	760.693	1.515	6.101	7.616	99,9

Tab. 13. Ceduo matricinato di «*Fagus sylvatica*» L., di 1,30 ha, suddiviso in 6 aree sperimentali. Interventi eseguiti: taglio di avviamento all'alto fusto, nelle aree sperimentali n. 1, 2 e 5; taglio raso con rilascio di matricine nelle aree n. 3, 4 e 6. Con il taglio di avviamento all'alto fusto si è asportato il 53% dei polloni. Nel taglio raso con rilascio di matricine sono state rilasciate 140 matricine ha⁻¹. Bilanci energetici calcolati, differenziati per tipo di intervento (operazione) e sistema di lavoro

utilizzo e combustione si ottiene un maggior impatto sul ciclo del carbonio. Per le peccete standard considerate, l'emissione totale corrisponde così a circa 13,5-16,5 kg C/MWh. Per fare un confronto, le emissioni di C in Finlandia provenienti dalla combustione del carbone fossile sono circa 90 kg C/MWh. Quindi se i combustibili fossili – ad esempio il carbone – vengono rimpiazzati dalle biomasse provenienti dai residui di utilizzazione, l'effetto positivo ottenibile è nonostante tutto molto elevato.

CONCLUSIONI

Le scelte sulla produzione legnosa che saremo chiamati a fare nei prossimi anni richiedono una pianificazione ecologica del territorio forestale nazionale dove una prima zonizzazione d'uso individui in maniera chiara gli ambiti della conservazione, della selvicoltura e delle colture specializzate. Non vi è dubbio che in un futuro sem-

pre più prossimo, le aree boschive saranno interessate da una gestione sostenibile delle risorse attraverso l'applicazione di quei criteri e indicatori messi a punto dalla comunità internazionale e che ora stanno trovando una prima applicazione nei processi di ecocertificazione (Ciancio et al., 2002a).

Dal quadro presentato sulle foreste italiane, selvicoltura, colture specializzate, produzione legnosa e ciclo del carbonio emergono chiare le seguenti tendenze e indicazioni:

- 1) negli ambiti della conservazione (ad esempio aree protette) si assisterà a un continuo aumento degli stock di carbonio poiché gli interventi, quando necessari, verranno condotti in base ai principi della selvicoltura sistemica (Ciancio et al., 2002b).
- 2) Negli ambiti della selvicoltura tradizionale una ulteriore diminuzione delle utilizzazioni legnose non è auspicabile. Anzi una ripresa delle attività selvicolturali, purché condotte con sistemi innovativi e nel rispetto delle naturali tendenze evolutive dei popolamenti (ad esempio diradamenti, conversioni, tagli di rinnovazione), assicurerebbe un maggiore sviluppo armonico dei soprassuoli e una produzione legnosa che, come si è visto, contribuisce a ridurre l'emissione di CO₂ nell'atmosfera. Inoltre il recupero a bosco delle aree degradate attraverso campagne di rimboschimento e di ricostituzione boschiva garantirebbe una espansione della superficie boscata e nel medio-lungo periodo anche la possibilità di immettere sul mercato altra materia prima legno. Infine il miglioramento e la pianificazione delle nostre fatiscenti infrastrutture forestali, con particolare riferimento alla viabilità, permetterebbe una più corretta e attenta gestione del patrimonio forestale, con gli indubbi vantaggi economico-ambientali a essa connessi.
- 3) Dovrebbe essere ulteriormente incentivato il passaggio delle aziende all'agro-selvicoltura. Queste colture specializzate, non solo per la produzione di legname di qualità, ma anche per bioenergia, dovranno essere realizzate seguendo moduli colturali da sperimentare nel breve periodo per le diverse realtà ambientali e sociali. Infine è bene ricordare che anche le formazioni arboree a sviluppo lineare possono giocare un ruolo attivo nell'agro-selvicoltura (ad esempio frangiventi, vegetazione ripariale utile anche per la fitodepurazione).

Non ultima è la problematica della mancanza di un'ideale e sta-



Fig. 21 Corso di formazione per teleferisti, stazione motrice costituita da argano montato su slitta

bile rete di formazione professionale per tecnici e operatori (figg. 21-22) che, se ben programmata, permette un armonico impatto della selvicoltura e delle utilizzazioni sull'ambiente. La corretta programmazione ed esecuzione dei lavori agro-forestali porta, infatti, a una maggiore salvaguardia ambientale (con tutte le ricadute a essa connesse), un minor dispendio in termini energetici e, quindi, una diminuzione delle emissioni di carbonio con una minimizzazione del costo totale (costi sociali, ambientali e di utilizzo).

Nel medio periodo il perseguimento di una tale politica forestale permetterà di ottenere diffusi vantaggi ambientali, ma anche produttivi. In questa fase l'ostacolo principale all'attuazione di un tale programma forestale è solo economico e dovrebbe, comunque, essere sorpassato con l'entrata in vigore della *carbon tax*. Infatti, al momento lo spazio per le attività dell'arboricoltura da legno e di riforestazione non manca, soprattutto nelle aree marginali ormai abbandonate da anni dall'agricoltura.

Rimane però il problema dei conflitti tra le destinazioni d'uso della materia legno: pannelli o energia? A tal proposito si dovrebbe



Fig. 22 Aula attrezzata per la formazione di operatori e tecnici forestali, Scuola Forestale di Ossiach, Austria

analizzare quanto brevemente di seguito proposto e scaturito dall'esame della realtà forestale italiana.

- a. Le tipologie di biomassa legnosa impiegabili per la produzione di pannelli sono:
 - scarti delle lavorazioni del comparto legno, quando non preventivamente impiegati a uso energetico interno;
 - materiale ottenibile dalle utilizzazioni di boschi di conifere che non abbiano altri usi tecnologici (ad esempio pinete);
 - materiale ottenibile dai primi diradamenti in giovani fustaie;
 - legno recuperato una volta terminata la vita utile delle strutture di cui faceva parte.
- b. Le tipologie di biomassa legnosa impiegabili in campo energetico sono:
 - legna ricavata dall'utilizzo dei boschi cedui e dalle conversioni, che ha un solido e ben conformato mercato nel quale difficilmente le industrie dei pannelli potrebbero entrare;
 - scarti delle utilizzazioni (ramaglie, cimali) che a oggi vengono o bruciati in bosco o all'imposto o lasciati tal quali sul letto di caduta della pianta;

- legna ricavata da impianti a breve ciclo (SRF) che per la tipologia di materiale prodotto mal si adatta ad altri usi.

Rimanendo fermi i punti sopra esposti sembra che effettivamente non vi debbano essere degli imminenti conflitti tra le due tipologie di filiera, questo anche in considerazione di un aumento del tasso di utilizzazione ampiamente possibile vista la realtà del nostro patrimonio forestale. Infatti l'attuale utilizzo del solo 30% di incremento annuo potrebbe tranquillamente essere portato a un 50%, con un aumento di ben 6 milioni di m³ di materia prima legno, attraverso una più attenta e diffusa selvicoltura.

RIASSUNTO

Questo lavoro presenta alcune considerazioni sulle relazioni che intercorrono in Italia tra la produzione primaria di legno, la selvicoltura e il ciclo del carbonio. In Italia le utilizzazioni forestali, prelevando circa un terzo dell'incremento legnoso delle nostre foreste (9 Mm³; 2,6-2,8 Mt di C), risultano una componente fondamentale per chiudere il ciclo del carbonio nei sistemi forestali e nelle colture specializzate. In particolare, viene sottolineato come la materia prima legno, quando viene prodotta seguendo i trattamenti della selvicoltura e dell'arboricoltura da legno, può contribuire a rallentare l'aumento di CO₂ nell'atmosfera attraverso la sostituzione dei combustibili fossili o lo stoccaggio del carbonio nei manufatti lignei di lunga durata. Vengono presentati alcuni esempi di bilanci energetici per la selezione dei sistemi colturali e di utilizzazione più efficienti. Si evidenzia l'opportunità di un aumento della produzione legnosa sul territorio nazionale negli ambiti della selvicoltura e delle colture specializzate attraverso appositi programmi di intervento di breve (ad esempio *Short Rotation Forestry*; applicazione delle pratiche colturali) e medio-lungo periodo (ad esempio arboricoltura da legno di qualità; rimboschimenti e ricostituzione boschiva). L'informazione e la formazione professionale per tecnici e operatori forestali e lo sviluppo di adeguate infrastrutture garantiscono un armonico impatto della selvicoltura e delle utilizzazioni sull'ambiente.

ABSTRACT

The primary wood production by forests and wood arboriculture

In this paper some considerations are produced about the relationships between the primary wood production, the silviculture and the carbon cycle. Forest utilization withdraws around a third of the woody increment of Italian woodlands

(9 Mm³; 2.6-2.8 Mt of C) and therefore they are a fundamental component to close the forest systems and the specialized crops carbon cycle. The wood, when produced following the silviculture and the wood arboriculture treatments, it may contribute to slow down the CO₂ increase in the atmosphere through the fossil combustibles substitution or the carbon stock in the durable wooden manufactured articles. Some energetic budget examples are introduced for the selection of the most efficient cultivation systems including logging. The opportunity of an increase of the woody production on the national territory is underlined through special programs of intervention on short (p.e. Short Rotation Forestry; regular application of the cultivation practices) and middle-long period (p.e. the quality wood arboriculture; reforestation and wood restoration). The information and the professional formation for forest technicians and operators and the development of suitable infrastructures guarantee a harmonic impact of the silviculture and the utilization on the environment.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS J.M., PIOVESAN G. (2002): *Uncertainties in the role of the land vegetation in the carbon cycle*, Chemosphere, 49, 805-819.
- APAT (2002): *Emissioni in Atmosfera*, <http://www.sinanet.anpa.it/aree/atmosfera/emissioni/emissioni.asp>.
- BAGNARESI U., BALDINI S., BERTI S., MINOTTA G. (1987): *Ricerche sui bilanci energetici e sui costi di utilizzazioni forestali*, CNR-CSP XXXVI, 159 pp.
- BALDINI S., CALVANI P., PICCHIO R. (2002): *Abbattimento semimeccanico su impianti di robinia a ciclo breve*, Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi, n. 81 (8/02), pp. 39-44.
- BALDINI S., PICCHIO R., RUOCCO T. (in stampa): *Analisi delle produttività e dei bilanci energetici in tre cantieri di utilizzazioni*, Workshop AIIA 2001 Vieste.
- BALSARI P., AIROLDI G. (2002): *Prime valutazioni sui costi economici ed energetici di una coltivazione a ciclo breve di pioppo*, Atti Convegno: Biomasse agricole e forestali a uso energetico, Allerona (TR) 2000, pp. 35-46.
- BARFORD C.C. ET AL. (2001): *Factors controlling long and short term sequestration of atmospheric CO₂ in a mid-latitude forest*, Science, vol. 294, pp. 1688-1691.
- BAUEN A., GRUBB M. (2000): *Impact and opportunities from agenda 2000 and the Kyoto protocol*, International Workshop on Integrating biomass energy with agriculture, forestry and climate change policies in Europe, 9 pp.
- BERNDES G., BÖRJESSON P (2002): *Crediting of carbon accumulation arising from the establishment of bioenergy plantations: the case of Salix production in Sweden*, 6 pp., <http://www.rite.or.jp/GHGT6/pdf/J4-4.pdf>.
- BERTI S., DE LUCA L., EDLMANN M.L., GAMBETTA A., ORLANDI E. (1991): *Per una migliore utilizzazione del legno ritraibile dal bosco ceduo*, C.N.R. I.R.L. Firenze, C.S.P. XXXV, n. 86, 106 pp.
- BOVIO G. (1996): *Stima della biomassa bruciata e della CO₂ prodotta da incendi boschivi in Italia*. Schweiz. Z. Forstwes., 147, 4, pp. 281-292.

- BOVIO G., LEONE V. (in stampa): *Incendi forestali e impatto sul ciclo del carbonio*, Atti del seminario "Le foreste italiane e la convenzione sul clima: il loro contributo per la riduzione dei gas di serra nel rispetto del protocollo di Kyoto". Acc. Nazionale delle Scienze. Roma.
- BRESHEARS D.D., ALLEN C.D. (2002): *The importance of rapid, disturbance-induced losses in carbon management and sequestration*, *Global Ecology & Biogeography* 11, pp. 1-5.
- CANADELL J.P., PATAKI D. (2002): *New advances in carbon cycle research*, *TRENDS in Ecology & Evolution* Vol. 17 No. 4, pp. 156-158.
- CASPERSEN J.P., PACALA S.W., JENKINS J.C., HURTT G.C., MOORCROFT P.R., BIRDSEY R.A. (2000): *Contributions of land-use history to carbon accumulation in U.S. forests*, *Science* 290, pp. 1148-1151.
- CFS (2002): *La produzione di legno*, <http://www.corpoforestale.it/foreste&forestale/index.htm>
- CIANCIO O., LA MARCA O., MERCURIO R., SANESI G. (1992): *Le problematiche dell'arboricoltura da legno di qualità e di quantità*, *Cellulosa e Carta*, vol. 3, pp. 19-32.
- CIANCIO O., CORONA P., MARCHETTI M. (2002a): *Basi tecnico scientifiche per l'ecocertificazione della gestione forestale*, *L'Italia Forestale e Montana*, 1, pp. 40-57.
- CIANCIO O., CORONA P., MARCHETTI M., NOCENTINI S. (2002b): *Linee guida per la gestione sostenibile delle risorse forestali e pastorali nei Parchi Nazionali*, *Accademia Italiana di Scienze Forestali*, 300 pp.
- CICCARESE L., PETTENELLA D. (2002): *Il protocollo di Kyoto dopo Marrakesh*, *Sherwood*, 80, pp. 5-9.
- COLLETTI L. (2001): *Risultati dell'applicazione del Regolamento CEE 2080/92 in Italia*, *Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi*, n.70 (8), pp. 23-31.
- CORONA P., FERRARA A., LA MARCA O. (1997): *Sustainable management of Forests for Atmospheric CO₂ Depletion: The Italian Case*. *Journal of Sustainable Forestry*, Vol. 5 (3/4), pp. 81-91.
- CORONA P., NOCENTINI S. (2002): *Biomasse e residui legnosi dei boschi italiani*, atti Convegno: Biomasse agricole e forestali a uso energetico, Allerona (TR) 2000, pp. 24-34.
- DAMIANI, G. (ed.) (2001): *New horizons in the study of the global carbon cycle, Scientific outcomes and insights for policymakers*, International symposium, 24-25 October, 2000. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. Rome, Italy, 6 pp.
- DEL FAVERO R., LASEN C. (1993): *La vegetazione forestale del Veneto*, II edizione, Progetto Editore, Padova, 313 pp.
- DUBUISSON X., SINTZOFF I. (1998): *Energy and CO₂ balances in different power generation routes using wood fuel from short rotation coppice*, *Biomass & bioenergy* Vol. 15, pp. 379-390.
- FANG J., CHEN A., PENG C., ZHAO S., CI L. (2001): *Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998*, *Science* 292, pp. 2320-2322.
- FUNG I. (2000). *Variable carbon sink*, *Science* 290, 1313.
- GIELEN D.J., FEBER DE M.A.P.C., BOS A.J.M., GERLAGH T. (2001): *Biomass for*

- energy or materials? A Western European systems engineering perspective*, Energy Policy 29, pp. 291-302.
- GIORDANO G. (1986): *Tecnologia del legno*, collana UTET, 3 vol., 5 parti.
- GRUBB M., ET AL. (2001): *Carbon sinks and biomass energy: a study of linkages, options and implications*, Climate strategies, 8 pp.
- GRUBB M., BAUEN A., SCHLAMADINGER B., AZAR C., BERNDES G., JOURDAIN C. (2001): *Carbon sinks and biomass energy: A study of linkages, options and implications*, Climate Strategies, Imperial College, 8 pp.
- HARVEY J.T. ET AL (2002): *An analysis of the forces required to drag sheep over various surfaces*, Applied Ergonomics, 33, pp. 523-531.
- HELLRIGL B. (2001): *Numeri per la dendroenergetica*, Edizione provvisoria, 34 pp.
- HERMANIN L. (1998): *Considerazioni sul costo degli interventi per la conversione dei cedui di faggio*, L'Italia Forestale e Montana, 1, pp. 4-20.
- HOUGHTON J. (1997): *Global Warming. The Complete Briefing*. Cambridge University Press, Cambridge, UK., 251 pp.
- HOUGHTON R.A. (2001): *Counting terrestrial source and sinks of carbon*, Climatic Change 48, pp. 525-534.
- HOUGHTON R.A., HACKLER J.L., LAWRENCE K.T. (1999): *The U.S. carbon budget: contribution from land-use change*, Science 285, pp. 574-578.
- HOUGHTON R.A., HACKLER J.L. (2002): *Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes*, In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/landuse/houghton/houghton.html>.
- IPCC (2000): *Land use, land use change, and forestry*, Special Report, Cambridge University press, 337 pp.
- ISTAT (2001): *Statistiche dell'agricoltura anno 1998*, Poligraf. Ruggero S.r.l., 333 pp.
- KAUPPI P., SEDJO R.J., APPS M., CERRI C., FUJIMORI T., JANZEN H., KRANKINA O., MAKUNDI W., MARLAND G., MASERA O., NABUURS G.J., RAZALI W., RAVINDRANATH N.H. (2001): *Technical and economic potential of options to enhance, maintain and manage biological carbon reservoirs and geo-engineering*, In: Metz et al. (Eds.), Mitigation, IPCC Third assessment report, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 302-343.
- KIRSCHBAUM M.U.F., SCHLAMADINGER B., CANNELL M.G.R., HAMBURG S.P., KARJALAINEN T., KURZ W.A., PRISLEY S., SCHULZ E.D., SINGH T.P. (2001): *A generalised approach of accounting for biospheric carbon stock changes under the Kyoto Protocol*, Environmental Science & Policy 4, pp. 73-85.
- KORPILAHTI A. (1998): *Finnish forest energy systems and CO₂ consequences*, Biomass & bioenergy Vol. 15, pp. 293-297.
- LA MARCA O. (1991): *Riflessioni sulla gestione dei boschi italiani*, L'Italia Forestale e Montana, 1, pp. 61-74.
- LA MARCA O. (1998): *La rinaturalizzazione dei boschi Italiani*, II Congresso Nazionale di Selvicoltura, Venezia Giugno 1998, Volume II, pp. 381-396.
- LUNDBORG A. (1998): *A sustainable forest fuel system in Sweden*, Biomass & bioenergy Vol. 15, pp. 399-406.

- MATTEWS R.W. (2001): *Modelling of energy and carbon budgets of wood fuel coppice systems*, Biomass & bioenergy, 21, pp. 1-19.
- MC NULTY S.G. (2001): *Hurricane impacts on US forest carbon sequestration*, Environmental Pollution 116, pp. 17-24.
- MERCURIO R., MINOTTA G. (2000): *Arboricoltura da legno*, in collaborazione con, Ed.Club, Bologna, 203 pp.
- MYNENI R.B., DONG J., TUCKER C.J., KAUFMANN R.K., KAUPPI P.E., LISKI J., ZHOU L., ALEXEYEV V., HUGHES M.K. (2001): *A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests*, PNAS, 98, pp. 14784-14789.
- PALOSUO T., WIHERSAARI M. (2000): *Energy use of forest residues-impact on soil carbon balance*, VTT Eneergian raportteja. <http://www.vtt.fi/ene/ej/greenh/poster1.pdf>
- PAGE S.E., SIEGERT F., RIELEY J.O., BOEHM H.-D.V., JAYA A., LIMIN S. (2002): *The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997*, Nature, 420, pp. 61-65.
- PARIS P., MUSICANTI A., MALVOLTI M.E., PISANELLI A., CANNATA F. (2002): *Ricerche sulla Robinia pseudoacacia L. nell'arboricoltura a turno breve*, atti Convegno: Biomasse agricole e forestali a uso energetico, Allerona (TR) 2000, pp. 52-65.
- PIOVESAN G., SCHIRONE B., (2000): *Winter North Atlantic Oscillation effects on Italian beech (Fagus sylvatica L.)*, International Journal Biometereology 44, pp. 121-127.
- POTTER C.S. (1999): *Terrestrial biomass and the effects of deforestation on the global carbon cycle*, BioScience Vol. 49 No. 10, pp. 769-778.
- RICHARDS G.P. (2001): *The FullCAM Carbon Accounting Model: Development, Calibration and Implementation for the National Carbon Accounting System*, National Carbon Accounting System technical report no. 28, 58 pp.
- SCHIMEL D.S. ET AL. (2001): *Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems*, Nature 414, pp. 169-172.
- SCHIRONE B. (1998): *Le attività di rimboschimento in Italia: situazione attuale e prospettive*, II Congresso Nazionale di Selvicoltura, Venezia Giugno 1998, Volume II, pp. 347-355.
- SCHIRONE B. (1999): *Teoria e pratica dl rimboschimento. Alcune prospettive possibili*, Nuove frontiere nelòla gestione forestale, a cura di O. Ciancio, Accademia Italiana di Scienze Forestali, pp. 101-115.
- SCHIRONE B., PIOVESAN G. (1992): *La frammentazione forestale e la conservazione della biodiversità*, "Ambiente Italia 1992" a cura di G. Melandri e G. Con- te, Vallecchi, Firenze, pp. 170-179.
- SCHOLZ V., ELLERBROCK R. (2002): *The growth productivity and environmental impact of the cultivation of energy crops on sandy soil in Germany*, Biomass & bioenergy 23, pp. 81-92.
- SCHULZE E.-D., VALENTINI R., SANZ M.-J. (2002): *The long way from Kyoto to Marrakesh: Implications of the Kyoto Protocol negotiations for global ecology*, Global Change Biology, Volume: 8, Issue: 6, pp. 505-518.
- UN-ECE/FAO (2000): *Forest resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zeland*, Main report, Geneva Timber and Forest Study Papers, 17, 445 pp.

- WHRC (2002): *Carbon Cycle*, The Woods Hole Research Center, www.whrc.org/science/carbon/carbon.htm.
- WIHERSAARI M., PALOSUO T. (2000): *Greenhouse gas emissions from final harvest fuel chips production*, VTT Energian raportteja. <http://www.vtt.fi/ene/ej/greenh/poster2.pdf>
- WOFSY S.C. (2001): *Where has all the carbon gone?*, *Science* 292, pp. 2261-2263.

MARCO FIORAVANTI*, PAOLO FRANKL**

IL RUOLO DEI PRODOTTI LEGNOSI
COME SERBATOIO DI CARBONIO:
SITUAZIONE E PROSPETTIVE

INQUADRAMENTO GENERALE DELLA PROBLEMATICAZIONE

La foresta, o meglio l'ecosistema forestale, in molte sue componenti si accresce e si sviluppa grazie alla ben nota funzione della fotosintesi clorofilliana la quale, impiegando la CO₂ atmosferica per la costituzione di molecole più complesse, fa sì che possa essere attribuita agli alberi e a tutti gli organismi autotrofi una funzione di assorbimento e di immagazzinamento del Carbonio, comunemente indicata come *carbon sink*. Se il prelievo che viene fatto della biomassa è pari a quello che è stato il tasso di accrescimento nell'unità temporale di riferimento, la foresta si dice, in maniera forse troppo semplicistica, gestita in maniera sostenibile (tradotto in termini di bilancio del carbonio questo vuol dire che ogni anno viene asportato un quantitativo inferiore o uguale a quello fissato dal sistema con il suo accrescimento nella stessa unità di tempo). Con il taglio dell'albero la funzione di *carbon sink* si interrompe, e quello che viene ricavato può essere considerato allo stesso tempo sia come una *materia prima rinnovabile*, sia come una *fonte di energia primaria rinnovabile*. Questi due aspetti se da un lato stanno aumentando l'interesse intorno alle biomasse forestali e al legno in particolare, dall'altro aprono una dicotomia nelle potenzialità di impiego.

I vantaggi ambientali che possono essere attribuiti a questi im-

* Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Forestali, Università degli Studi di Firenze

** Ecobilancio Italia srl, Roma

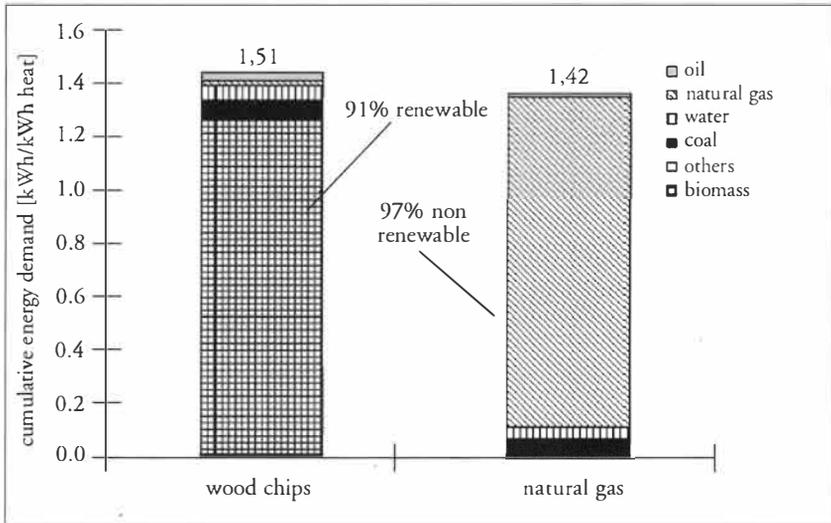


Fig. 1 Energia cumulativa per la produzione di 1 kWh calore (Fonte: report finale Azione COST E9 LCA Wood and wood products)

pieghi del legno, e delle biomasse in genere, sono di pari rilevanza sia che questi siano utilizzati come materia prima, sia che questi siano impiegati come fonte di calore ed energia.

Nel primo caso può essere riconosciuto un risparmio sulle materie prime rinnovabili, un basso consumo energetico di processo rispetto a quello necessario per altri materiali e l'effetto di immobilizzazione nel tempo della CO₂ (effetto *carbon pool*).

A vantaggio degli usi energetici deve essere invece ascritto il risparmio che può essere fatto sui combustibili fossili, impiegando una fonte di energia che, se certi equilibri vengono rispettati, può essere considerata a bilancio nullo, nel senso che la quantità di CO₂ emessa è pari a quella che i sistemi biologici, forestali e non, sono capaci di riassorbire. Se paragonato ad altre fonti fossili, quindi, l'impiego delle biomasse per usi energetici (fig. 1), a fronte di un rendimento leggermente inferiore, mostra una quota di energia rinnovabile di oltre il 90%. Resta comunque il fatto che, anche se il bilancio è nullo, l'emissione di CO₂ avviene.

Andando a esaminare con maggiore dettaglio i due principali scenari di impiego del legno e delle biomasse, si evidenzia come l'andamento dei flussi di massa ed energia che vengono a stabilir-

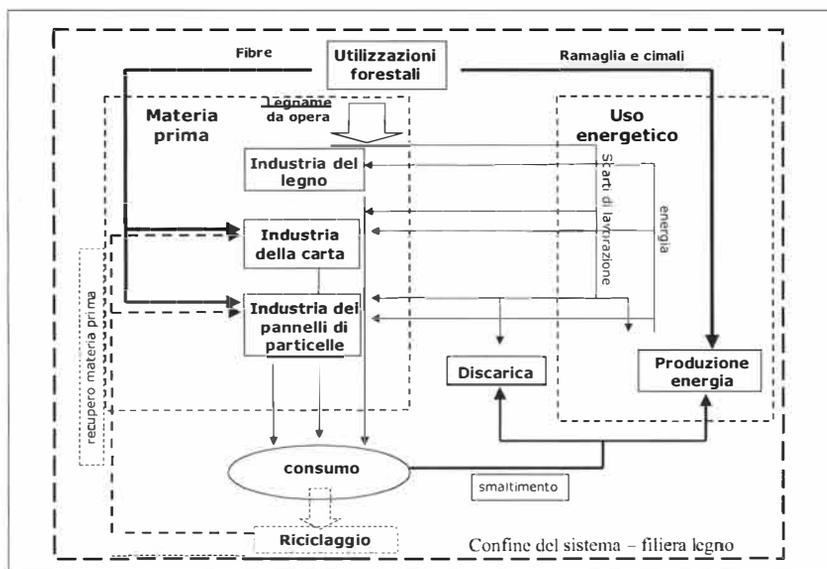


Fig. 2 *Rappresentazione schematica del sistema legno*

si, siano estremamente complessi e fra loro interconnessi (fig. 2).

In linea generale si può affermare che i principali prodotti derivabili dalle utilizzazioni forestali sono indirizzati verso la trasformazione industriale per la realizzazione di prodotti derivati dal legno. Alcuni sottoprodotti (cimali e ramaglie), insieme a materiale di dimensioni ridotte o di scarsa qualità, possono essere invece indirizzati sia alla produzione di carta e pannello truciolare sia alla produzione di energia. Allo stesso tempo però, i processi di produzione e il fine vita di prodotti derivati dal legno, possono fornire materia prima per la produzione di energia rinnovabile o per la realizzazione di co-prodotti (come ad esempio carta o pannelli di fibre o particelle). Questa stessa energia prodotta dalla biomassa può a sua volta alimentare fasi diverse dei cicli produttivi (ad esempio, fornire calore per l'essiccazione artificiale del legno).

Le numerose interazioni che si possono instaurare fra i due rami principali della filiera, quindi, fanno sì che questi non possano essere considerati come due sistemi isolati, ma che debbano essere visti come parte di un unico sistema complesso.

In questa condizione non è facile affrontare in maniera rigorosa

e oggettiva la questione dei rapporti, anche di potenziale competizione, che si possono instaurare per l'impiego degli scarti di lavorazione e per quello dei prodotti a fine ciclo.

Nella valutazione degli effetti ambientali prodotti dalle diverse destinazioni d'uso delle biomasse uno strumento di grande utilità è rappresentato dalla LCA (*Life Cycle Assessment*), una metodologia comunemente riconosciuta dalla comunità scientifica come utile strumento di valutazione della eco-efficienza produttiva al fine di realizzare una riduzione del consumo di risorse ed energie e minimizzare gli impatti ambientali.

Con questa metodica i processi produttivi vengono esaminati seguendo passo dopo passo il percorso seguito dalle materie prime dalla loro estrazione, attraverso le trasformazioni e i trasporti che queste subiscono fino allo smaltimento finale del prodotto a conclusione del suo ciclo di vita, con un approccio che viene definito dalla "culla alla tomba". Nella LCA vengono infatti determinati i flussi in ingresso di materie prime, acqua ed energia, mentre in uscita si considerano le emissioni, i rifiuti e i co-prodotti.

È importante sottolineare che la LCA nasce e si sviluppa come metodo applicato allo studio del singolo prodotto e non di sistemi allargati, questo come si vedrà in seguito può rappresentare, soprattutto nel caso del legno, un limite alla corretta applicazione della metodica, limite per altro di cui la comunità scientifica dell'LCA è ben conscia e che sta attentamente valutando nella ricerca di soluzioni scientificamente rigorose.

Ai fini degli studi applicati alla filiera del legno gli aspetti critici per un esame corretto e rigoroso dei diversi scenari di utilizzo alternativi possono essere identificati nel problema della definizione e nel calcolo dei flussi di CO₂, che vengono distinti a seconda che questa sia di origine biologica o di origine fossile, e nella complessità della gestione dei co-prodotti che nel caso del legno possono raggiungere il 60-70 % della massa in ingresso.

IL BILANCIO DELLA CO₂ BIOLOGICA

La CO₂ biologica è la parte di anidride carbonica sottratta all'atmosfera e fissata nelle fibre degli organismi vegetali attraverso la fo-

tosintesi. Può quindi essere quantificata e associata a ogni prodotto derivante da fotosintesi e considerata come una "dotazione" di quel determinato materiale, come un vero e proprio *carbon stock*. Si distingue dalla CO₂ fossile, termine con il quale si indica l'anidride carbonica derivante dalla mineralizzazione della sostanza organica e contenuta nei combustibili fossili (petrolio, carbone, ecc.), che la sprigionano in seguito alla loro combustione. Quest'ultima viene utilizzata come unità di misura per la quantificazione della emissioni in atmosfera associate all'uso di energia nei processi produttivi. L'importanza di questo parametro deriva dal fatto che l'anidride carbonica è il principale gas serra, almeno per quantità, e a esso vengono riportati i valori degli altri inquinanti.

Secondo quanto attualmente previsto dal Protocollo di Kyoto¹, riguardo alla contabilizzazione degli scambi dei gas serra, gli ecosistemi forestali sono considerati dei *carbon sink*. Nello specifico questi ultimi sono equiparati a serbatoi attivi in grado cioè di fissare anidride carbonica in ragione del loro accrescimento. Proprio per questo motivo il Protocollo prevede che a *ogni prelievo in foresta venga associata un'emissione equivalente di CO₂ pari al quantitativo stoccato nella biomassa utilizzata*. In base a questa considerazione a ogni Paese viene assegnato un credito o un debito in base all'uso, più o meno sostenibile, che esso fa delle risorse forestali. Se si preleva per quanto la foresta è in grado di accrescersi periodicamente, il bilancio viene considerato nullo. Se i prelievi superano la capacità di rigenerazione dell'ecosistema questi tenderanno nel tempo a esaurire la risorsa e quindi a essi viene associato un debito. Al contrario, se i prelievi sono minori del tasso di accrescimento, al produttore spetta un credito. Il Protocollo prevede quindi l'adozione del cosiddetto *bilancio nullo, non attribuisce cioè nessun credito al legno in quanto contenitore di CO₂ immobilizzata, ma addirittura considera ogni prelievo di biomassa dalla foresta come un'emissione equivalente*.

Questo tipo di allocazione risulta sicuramente efficace da un

¹ Il Protocollo adottato a Kyoto nel dicembre del 1997 obbliga i Paesi industrializzati a ridurre globalmente le proprie emissioni di gas serra del 5,2% rispetto al livello delle emissioni del 1990. L'impegno di riduzione può essere perseguito attraverso l'adozione di politiche di riduzione delle emissioni e l'incentivazione delle attività di fissazione naturale del carbonio atmosferico.

punto di vista applicativo, ma riserve sempre più forti sussistono circa l'attendibilità nella valutazione dei fenomeni studiati.

Con questo metodo infatti la valutazione comparativa degli scenari di fine vita porta a considerare come soluzione ottimale la combustione. Questo perché, qualunque sia la destinazione d'uso del legno se a esso viene comunque associata un'emissione equivalente, anche quando questa di fatto non si realizza, la soluzione più "redditizia" è rappresentata dalla combustione con recupero energetico che permette, in linea teorica, un risparmio in combustibili fossili.

Se invece si considera che la CO_2 contenuta nel legno non è ancora un'emissione, ma un quantitativo di carbonio congelato, e si attribuisce a questo un credito per la CO_2 biologica che ivi rimane fissata, i risultati cambiano radicalmente (fig. 3). Introducendo infatti il criterio del credito della CO_2 biologica, il riciclaggio, che consente di mantenere la CO_2 fissata nel legno per tempi diversamente lunghi, diventa uno scenario di fine vita che può produrre significativi benefici ambientali sia rispetto alla combustione, che porta all'immediata liberazione della CO_2 con perdita dello stock a esso associato, sia rispetto al conferimento a discarica controllata, che produce sostanzialmente lo stesso effetto ma con tempi più lunghi poiché la liberazione in atmosfera dell'anidride carbonica avviene per effetto della lenta degradazione della sostanza organica (circa il 33% del contenuto iniziale di carbonio viene rilasciato in cento anni, sotto forma di metano, che produce un effetto serra 21 volte superiore a quello della CO_2).

Implicitamente quindi il metodo del bilancio nullo, attualmente previsto dalle Linee Guida dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), assume che la funzione *tempo*² non abbia importanza e che gli scenari tecnologici e ambientali si mantengano tali anche in futuro. Ma il fatto che un'emissione avvenga *prima* o *poi* non è completamente indifferente, in primo luogo perché in certi casi il tempo di vita di un prodotto in legno può essere anche superiore alla base

² Trattandosi di processi che contemplano trasformazioni energetiche di tipo termodinamico (degradamento dell'energia conseguente alla combustione), la mancata considerazione dell'effetto del tempo rappresenta di fatto un grave errore concettuale.

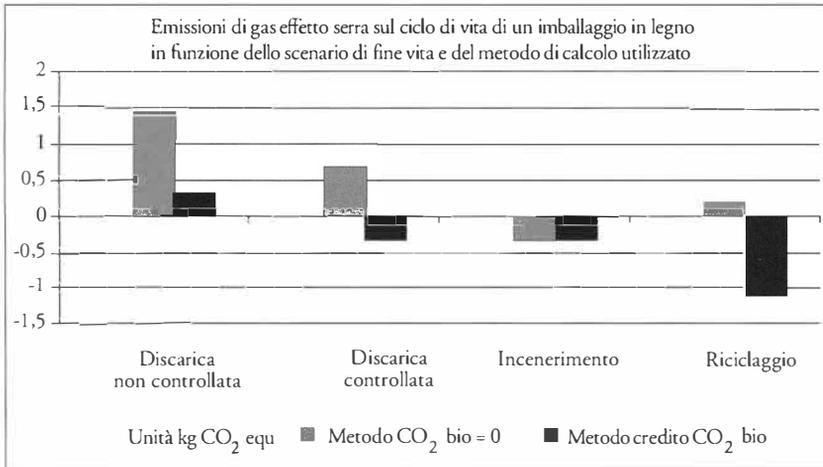


Fig. 3 Comparazione dei due metodi di calcolo a confronto: con il metodo del bilancio nullo la combustione risulta lo scenario di fine vita più vantaggioso, mentre introducendo il criterio del credito di CO₂ i vantaggi del riciclaggio risultano evidenti (Fonte: Consorzio Rilegno - Ecobilancio prodotti in legno)

di calcolo impiegata per il ciclo del carbonio (cento anni), in secondo luogo perché l'effetto marginale della stessa emissione effettuata fra dieci o venti anni potrebbe essere profondamente diverso.

Se si considera invece il potenziale credito di CO₂ dei prodotti in legno, è possibile evidenziare come insieme ai grandi *sink*, rappresentati dalle foreste, esistono di fatto anche dei *pool* (serbatoi inattivi di carbonio) la cui importanza è tutt'altro che trascurabile.

Nel maggio del 1998 a Dakar, in Senegal, è stato fatto il primo passo in direzione del riconoscimento dei limiti delle Linee Guida dell'IPCC sul problema dei prodotti legnosi (HWP, harvested wood products) con la proposta dello stesso IPCC di tre nuovi approcci per l'allocazione del carbonio contenuto nel legno, denominati rispettivamente *stock change*, *production* e *atmospheric flow* (fig. 4).

Stock change approach

Questo criterio stima le variazioni nette negli stocks di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi. Le variazioni dello stock di car-

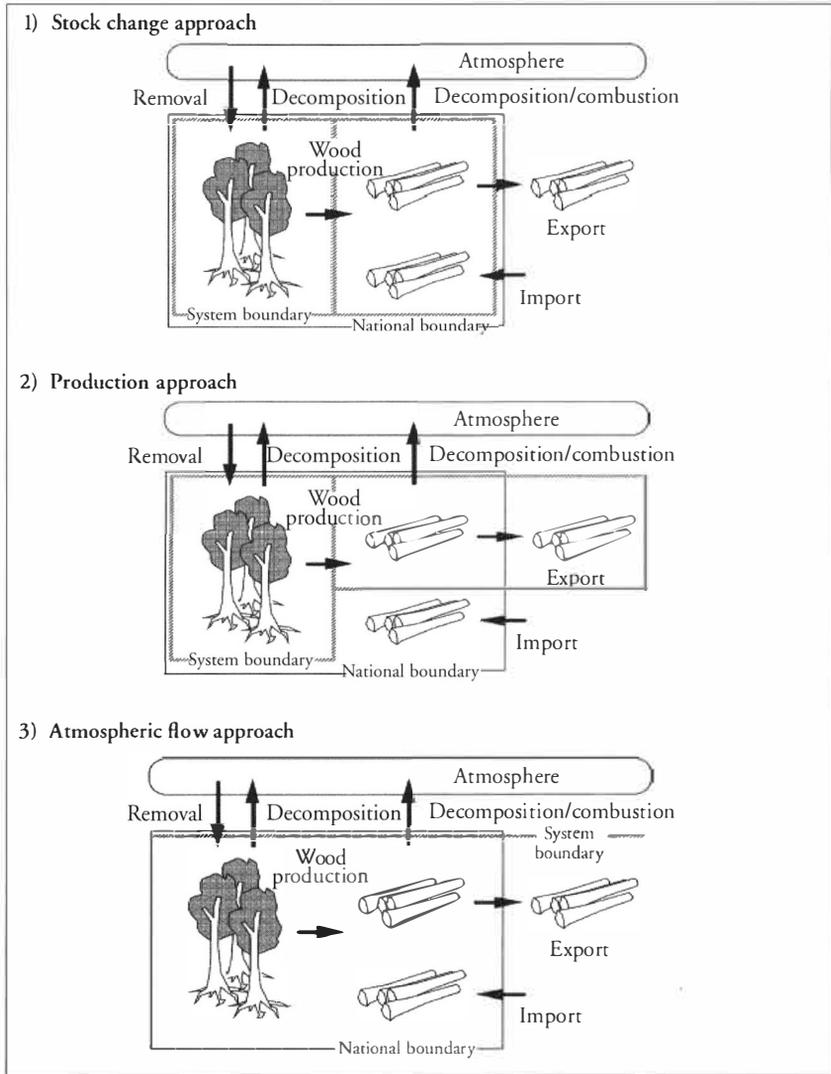


Fig. 4 Schemi riassuntivi dei diversi metodi per contabilizzare l'effetto carbon pool (da Hashimoto et al. 2002)

bonio nelle foreste sono contabilizzate a favore del paese nel quale il legno è cresciuto, riferendosi al paese produttore. Le variazioni dello stock di carbonio nei prodotti vengono invece contabilizzate nel paese dove tali prodotti vengono utilizzati e quindi smaltiti, ri-

ferendosi al paese consumatore. Queste variazioni di stock vengono contabilizzate dove e quando esse avvengono.

Production approach

Con questo criterio si stimano le variazioni nette negli stocks di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi, ma si attribuiscono entrambe al Paese produttore. Questo approccio include solo gli stocks prodotti all'interno del paese e non fornisce un inventario completo degli stocks nazionali. Le variazioni di stock vengono quindi contabilizzate quando, ma non dove avvengono.

Atmospheric flow approach

Contabilizza le emissioni e le rimozioni nette del carbonio verso e dall'atmosfera all'interno dei confini nazionali, dove e quando queste avvengono. La rimozione del carbonio dall'atmosfera dovuta alla crescita delle foreste viene contabilizzata nel paese produttore, mentre le emissioni di carbonio verso l'atmosfera dovute al processo di ossidazione dei prodotti legnosi vengono contabilizzate nel paese consumatore. Questo metodo è simile allo *stock change approach* ma più dettagliato.

Sulla base di questi nuovi approcci alcuni Paesi hanno già iniziato a valutare i loro *pool*, nell'attesa che questi vengano riconosciuti e che possano quindi essere contabilizzati negli inventari richiesti dal Protocollo di Kyoto.

Applicando questi criteri a dati primari australiani (tab. 1) è possibile evidenziare le differenze che si determinano a seconda che l'effetto di *pool* venga considerato o meno: nel primo caso le emissioni presunte (5,7 MT di C nel 1998) dal metodo IPCC sovrastimano le emissioni reali (3,6 MT di C nel 1998), determinate impiegando il criterio dello *stock change approach*, di circa il 36%.

Da questi primi dati risulta evidente come questo nuovo serbatoio possa giocare un ruolo importante nei bilanci del carbonio e soprattutto nell'aiutare a determinare la migliore forma di gestione dei prodotti in legno e le linee guida da seguire per ottimizzare il loro uso e il loro smaltimento.

Protraendo nel tempo l'effetto di stoccaggio della CO₂, il riciclaggio (e/o il riuso del legno), che nel caso dei pannelli di particelle può anche essere ripetuto più volte, può quindi determinare

AUSTRALIA 1998	IPCC (MT C)	PRODUCTION (MT C)	STOCK CHANGE (MT C)
Pool esistente		58.9	65.7
Incremento nel pool dei prodotti		5.7	4.1
Diminuzione nel pool dei prodotti per dismissione		-4.9	-3.6
Pool a fine anno		59.7	69.2
Emissione al taglio	-5.7		
Emissioni dovute alle variazioni nel pool		-4.9	-3.6

Tab. 1 *Dati pool prodotti in legno (Australia 1998); i valori preceduti dal segno meno indicano emissione*

grandi benefici ambientali rispetto ad altre forme di impiego dei prodotti di scarto o a fine vita.

Deve invece essere ricondotto nei termini corretti il contributo che il riciclaggio può dare al risparmio di materia prima vergine. Il riciclaggio infatti rappresenta sicuramente un importante elemento per aumentare l'efficienza interna del "sistema legno" (fig. 5), ed è indubbio che il riciclo di prodotti in legno può avere come effetto a monte un risparmio sui prelevamenti in foresta di materia prima (alberi), il problema sta nello stabilire il quanto. I prodotti derivabili dalle attività di riciclo sono infatti rappresentati da tipologie di pannello derivate dalla triturazione del legno (pannelli di particelle, di fibre, OSB, ecc.), le cui caratteristiche tecnologiche ed estetiche ne consentono un impiego limitato solo a certe tipologie di prodotto, mentre non ne consentono un impiego per prodotti che richiedono caratteristiche prestazionali superiori, per le quali sarà sempre e comunque necessario reperire, per il soddisfacimento dei fabbisogni, materia prima vergine. A questo si deve aggiungere che fra i prodotti derivati dal legno, i pannelli di particelle si collocano nella fascia di prezzo più bassa, e il prezzo di acquisto della materia prima deve essere obbligatoriamente contenuto tanto da non giustificare economicamente l'abbattimento di alberi finalizzato alla loro produzione.

Per poter assegnare ulteriori crediti ambientali ai prodotti da riciclo appare quindi necessario:

1. sviluppare nuovi prodotti in grado di sostituire, quantitativa-

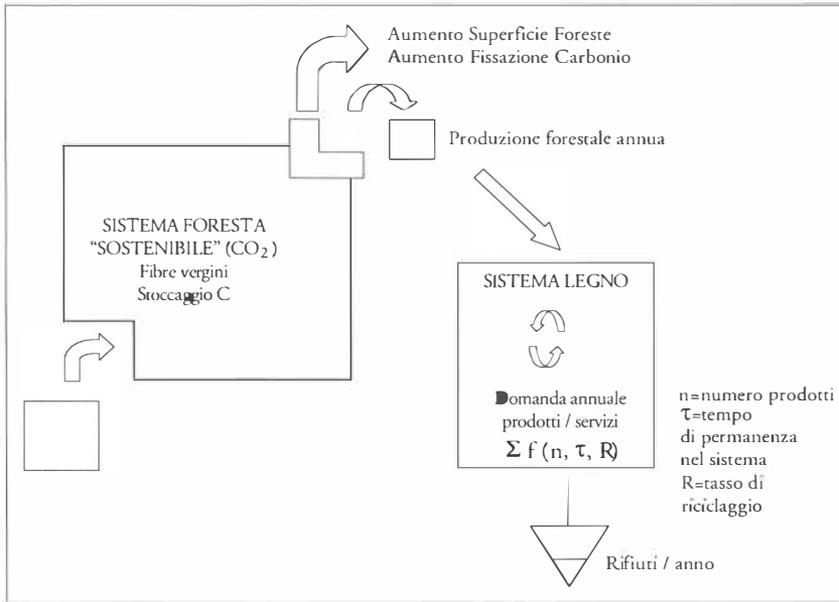


Fig. 5 Schema riassuntivo dei rapporti fra il sistema foresta e il sistema legno. Il tasso di riciclaggio contribuisce ad aumentare l'efficienza interna del sistema, contribuendo a soddisfare una parte dei fabbisogni di legno e dei prodotti derivati

mente ma anche e soprattutto tecnologicamente, le funzioni svolte da altri prodotti derivati;

2. determinare con esattezza i quantitativi relativi ai flussi di massa che si spostano da un prodotto all'altro, per stabilire *chi sostituisce che cosa*.

Quest'ultimo aspetto appare fondamentale per poter determinare quale sia da un punto di vista ambientale lo scenario di impiego a più basso impatto (riciclo/combustione) per i prodotti giunti a fine vita, senza il quale non è corretto fare assunzioni tendenti a legittimare o esaltare un impiego piuttosto che un altro.

LA CORRETTA ATTRIBUZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FILIERA LEGNO

Come già detto, al legno e ai suoi prodotti derivati deve essere attribuita una duplice natura in quanto potenziale fonte di materia prima e di energia, che determina una struttura sistemica all'inter-

no della quale la conoscenza anche approfondita di alcune parti (leggi LCA su singoli prodotti) non può consentire di comprendere e analizzare il comportamento dell'insieme.

Il legame così stretto fra queste diverse forme di impiego del materiale e le relative interazioni, determina nella applicazione della LCA al legno e ai suoi prodotti derivati un rilevante problema metodologico: quello della cosiddetta allocazione, quella fase cioè attraverso la quale si cerca di attribuire a ciascun prodotto primario e ai suoi sotto prodotti un carico specifico e proporzionale di impatto ambientale.

Per meglio capire l'essenza della questione, prendiamo ad esempio il caso dei serramenti in legno che sono stati oggetto, anche in Italia, di specifici studi di LCA. I risultati del bilancio di massa di questo prodotto evidenziano che la resa del serramento è mediamente del 35%, mentre il restante 65% può essere destinato alla realizzazione di prodotti ausiliari. In termini di massa questo vuol dire che per ottenere una finestra che pesa circa 32 kg sono necessari in ingresso oltre 90 kg di legname grezzo, dei quali ben 58 costituiscono scarti di lavorazione che possono costituire rifiuti, oppure essere impiegati per la produzione di co-prodotti o per generare energia. Appare evidente che la LCA di questo prodotto non può prescindere dalla corretta valutazione degli scarti di lavorazione e come, visti i valori di massa in gioco, tale valutazione diventi determinante ai fini del risultato finale.

Gli standard ISO della serie 14040, che disciplinano la metodica LCA, per l'attribuzione degli impatti indicano come preferibile e possibile alternativa alla allocazione altri procedimenti quali l'*espansione di sistema* o la *sostituzione*. Nel caso dei prodotti legnosi di grande interesse sono stati i risultati a cui si è giunti nell'ambito dell'Azione COST E9 – *LCA on Wood and Wood Products* –, che nell'ambito dei suoi gruppi di lavoro ha affrontato in maniera specifica il problema della allocazione nel caso della filiera legno (Jungemeier et al., 2002a; 2002b). I risultati a cui si è giunti indicano che nel caso di questa filiera l'unica alternativa alla allocazione è rappresentata dalla espansione di sistema. In questo modo si viene a modificare l'unità funzionale della LCA, includendo in essa non solo il prodotto principale ma anche i principali prodotti ausiliari. Riprendendo l'esempio della finestra, con l'espansione di sistema, l'unità funzionale non sarà più rappresentata dal solo infisso ma da una finestra + n KW/h di energia + n Kg di trucioli per produrre pannello

(+ n Kg di qualsiasi co-prodotto a cui possa essere assegnato un valore commerciale) e la valutazione di impatto deve essere complessiva e relativa a questa nuova unità. Nel caso del legno e dei suoi prodotti derivati, quindi, la complessità delle interazioni che possono realizzarsi fra i vari prodotti e co-prodotti pone le basi per un'altra questione di fondo: su quella cioè che può essere la significatività di singoli studi di LCA, condotti in assenza di informazioni certe circa i flussi di massa ed energia relativi al sistema nel suo complesso. Ancora una volta si deve concludere che, per poter ottenere risposte che siano fondate su criteri di oggettività scientifica circa usi alternativi del legno o delle biomasse, è necessario ricorrere a una analisi di sistema debitamente approfondita che possa consentire di stabilire con certezza i flussi di massa che sussistono fra le varie componenti. È infatti solo attraverso la comprensione dell'intero che si può dare il giusto significato alle parti, e non viceversa.

CONCLUSIONI

I dati disponibili sul settore legno-arredo in Italia offrono l'immagine di un'industria fiorente e sviluppata che lavora grandi quantità di legno e che già molto sta facendo per l'uso sostenibile di questo materiale

Allo stato attuale la valorizzazione di queste funzioni, e in particolare dell'effetto *carbon pool* è fortemente penalizzato dal metodo di calcolo sinora previsto dall'IPCC per contabilizzare la CO₂, che risulta essere eccessivamente semplicistico e non aderente alla realtà dei fenomeni. L'introduzione di un credito della CO₂ biologica può rappresentare un primo importante passo verso il raffinamento della quantificazione del reale impatto dei prodotti in legno e dei crediti che questi potrebbero far maturare al Paese nella determinazione dei bilanci della CO₂.

Ulteriori importanti benefici potrebbero venire dall'introduzione nei modelli descrittivi del sistema di altre variabili, che tengano conto della durata dei prodotti e dei reali flussi di massa ed energia che si instaurano fra le varie componenti.

Una risposta definitiva e rigorosa circa i possibili usi alternativi del legno e delle biomasse in Italia passa quindi necessariamente at-

traverso lo svolgimento di uno studio di settore che definisca i confini, le quantità in gioco e i diversi flussi di massa ed energia per l'intero comparto.

ABSTRACT

Wooden Products as Carbon Pool: situation and Prospective

In this paper the authors highlighted the double role played by wood and wood products that can be considered at the same time as a renewable raw material and a renewable source of energy. LCA is proposed as an objective method for establishing the best way, at least from an environmental point of view, for material use. The evaluation is made difficult by two critical factors: 1) the CO₂ balance criteria that, according to the existing standards (biological CO₂ = 0), does not consider the carbon pool effect of wood and wood products 2) the allocation problem that came out applying the LCA to a so complex system like the one made by the wood and its multiple uses. Following some already existing experience from other Countries (Australia, Norway and Japan) the strategic importance for Italy of a Sectorial study is also evidenced.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2000): *Respiration As The Main Determinant Of Carbon Balance In European Forests*, «Nature», 404, 20 aprile 2000.
- COST Action E9 - WG3 (1998): *End of life - Recycling, Disposal and Energy Production*, november 8-9, 1998, Hamburg, Germany.
- COST Action E9 - *Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products (WG1-4)*.
- HASHIMOTO S.: *Six Indicators of material cycles: a case study of wood resource in Japan*, (in corso di stampa).
- HASHIMOTO S., NOSE M., OBARA T., MORIGUCHI Y. (2002): *Wood products: potential carbon sequestration and impact on net carbon emissions of industrialized countries*, «Environmental Science and Policy», 5, 2002.
- HELLWEG S., HOFSTETTER T.B., HUNGERBUHLER K. (2002): *Discounting and the environment. Should current impacts be weighted differently than impacts harming future generations?*, JLCA.
- JAAKKO POYRY CONSULTING LTD (2000): *Technical report n.24: analysis of wood product accounting options for the national carbon accounting system*, «The Australian Greenhouse Office», settembre 2000.
- JAAKKO POYRY CONSULTING LTD (1999): *Usage and life cycle of wood products*, «National Carbon Accounting System Technical Report», 8, novembre 1999.
- JUNGEMEIER G., WERNER F., JARNEHAMMAR A., HOHENTHAL C., RICHTER K.

- (2002a): *Allocation in LCA of Wood-based Products. Experiences of Cost Action E9 – Part I Methodology*, JLCA, 7, 5.
- JUNGEMEIER G., WERNER F., JARNEHAMMAR A., HOHENTHAL C., RICHTER K. (2002b): *Allocation in LCA of Wood-based Products. Experiences of Cost Action E9 – Part II Examples*, JLCA, 7, 6.
- JUNGEMEIER G., MCDARBY F., EVALD A., HOHENTHAL C., PETERSEN A., SCHWAI-GER H., ZIMMER B. (2002): *Energy aspects in LCA of forest products*, JLCA.
- NORWEGIAN POLLUTION CONTROL AUTHORITY (2001): *Estimating the net emissions of CO₂ from harvested wood products: a comparison between different approaches*.
- RILEGNO (2001): *Ecobilancio di prodotti in legno*.
- ROSS S., EVANS D., Webber M. (2002): *Using LCA to examine Greenhouse Gas Abatement Policy*, JLCA.

MAURO SAVIOLA*

UN ESEMPIO DI TECNOLOGIA
E ORGANIZZAZIONE PER IL RECUPERO
DEL LEGNO COME MATERIA
PRIMA SECONDARIA RIPETIBILE

PREMESSA

Il Gruppo Mauro Saviola nasce nel 1963 a Viadana (MN) con la produzione di pannelli truciolari. Nei primi anni Settanta, in seguito all'esigenza di procurarsi le resine ureiche, si ha l'espansione all'industria chimica. Oggi rappresenta una realtà industriale complessa, costituita da sedici unità produttive: Sadepan Chimica, Sia, Sit, Silla, Sadepan Legno, Sacic Legno, Sitapan, Nuova Rivart e altre, in diversi settori.

Attualmente opera nell'industria del legno e della chimica realizzando, pur con peculiarità di funzioni e obiettivi, una perfetta integrazione tra la tecnologia di lavorazione e la ricerca chimica per la valorizzazione del legno. Le produzioni, infatti, variano dalle resine ureiche e melamminiche, ai pannelli truciolari grezzi, a quelli ignifughi e idrofughi, ai pannelli di fibra e a quelli nobilitati. In sostanza, si persegue una filosofia del pannello di legno, volta al massimo recupero e riutilizzo di questa risorsa naturale.

Nel contesto dell'industria del legno, il Gruppo Mauro Saviola rappresenta la realtà italiana più importante per la produzione di pannello truciolare, con una quota di mercato del 35%, oltre 1000 dipendenti e 510 milioni di € di fatturato annuo. A questo aspetto deve aggiungersi anche il fatto che il Gruppo ha saputo fondere insieme tecnologia produttiva, ricerca, sviluppo e salvaguardia dell'ambiente, cosicché ogni anno trasforma in pannello oltre 1.500.000 tonnellate di legno di rifiuto.

* *Gruppo Mauro Saviola, Viadana (MN)*

Da sempre attento al problema dell'esiguità delle risorse (energetiche, idriche, di materiali e di territorio) e consapevole della necessità di far convivere le nuove problematiche ecologiche con quelle di uno sviluppo industriale compatibile, il Gruppo sposa, agli inizi degli anni Novanta, l'etica del riciclo, inteso come «usare di nuovo, usare ancora, usare per altro, recuperare, riadattare, reimpiegare, far tornare in vita, visto con un'ottica che ridà valore alla qualità» (Molinari, 1997).

Difatti, dal 1990, decide di utilizzare per la propria produzione essenzialmente legno riciclato, proveniente dai sottoprodotti forestali, dai residui di lavorazione del legno e da oggetti di legno usurati (Carbone, 2002), come *pallets*, cassette di frutta, mobili e rifiuti legnosi delle demolizioni. Oltre a rappresentare una materia prima per i pannelli, questo legno può trovare anche impiego per la produzione:

- di energia o di calore tramite combustione;
- in misura marginale, di compost.

Il ciclo del recupero del legno costituisce dunque attualmente un aspetto cruciale per il settore industriale e per l'ambiente (Cernuschi e Cossu, 1994).

Per comprendere in maniera più approfondita i principali aspetti dell'attività del Gruppo Saviola, di seguito verranno analizzate nel dettaglio le problematiche ecologiche e ambientali più rilevanti in questo contesto.

IL RICICLO COME CHIAVE PER LA SOSTENIBILITÀ

L'uomo ha vissuto in equilibrio con le risorse naturali fino al secondo dopoguerra; in seguito, con la nascita della cosiddetta civiltà dei "consumi", si è assistito a un aumento vertiginoso dei materiali di rifiuto, in particolare organici, vetro, plastica, e carta oltre a materiali di scarto delle industrie chimiche e siderurgiche.

Le comunità umane hanno sempre prodotto rifiuti, ma le problematiche connesse alla gestione, stoccaggio e smaltimento dei residui sono sorte solo con lo sviluppo della società industriale e la concentrazione delle attività produttive sul territorio. A partire dal-

la rivoluzione industriale si è inoltre determinato un vertiginoso aumento di materiali di scarto, accompagnato da una più marcata differenziazione merceologica.

La produzione di rifiuti solidi urbani è profondamente cambiata, non essendo più costituiti dai soli scarti alimentari, ma anche da una lunga serie di frazioni non biodegradabili (metalli, plastiche, ecc.), talvolta anche pericolose, che necessitano di adeguati sistemi di trattamento per essere smaltite in sicurezza. I paesi industrializzati, dunque, devono confrontarsi sempre più con lo smaltimento di ingenti quantitativi di materiali di scarto perché i cicli naturali non riescono a chiudersi: gli agenti atmosferici e i microrganismi, infatti, non sono in grado di decomporli in tempi utili.

L'incremento dei rifiuti è legato alla crescita dei consumi e del benessere; per comprendere quale sia l'entità del fenomeno, si pensi che le opere umane visibili dallo spazio sono due: la muraglia cinese e la *Fresh Kills Landfill*, l'immensa discarica che sorge nei pressi di New York su una superficie di 1500 ettari, alta 60 metri.

Anche in Italia, ormai da molti anni, si assiste all'emergenza rifiuti, sia dal punto di vista ambientale che gestionale. Annualmente si producono quasi 100 milioni di tonnellate di rifiuti e la quota media annua per persona si attesta intorno ai 462 kg di rifiuti, con variazioni non indifferenti fra le diverse aree del Paese: gli abitanti del centro producono infatti circa 508 kg, contro 465 kg di quelli del nord e 434 kg di quelli del sud.

In Italia la carenza di canali di comunicazione tra le politiche ambientali, produttive, agricole, sanitarie e dei trasporti non ha contribuito a creare un'integrazione fra di esse, inducendo così il comparto industriale a opporsi alle normative ambientali, intese esclusivamente come un vincolo da subire e non un'opportunità di sviluppo produttivo e tecnologico (Lombardini e Malaman, 1993; Boato, 1998; Chiaccherini, 1998; Borroni, 1999). La legislazione europea non ha, peraltro, favorito lo sviluppo di corrette e coerenti normative nell'ambito degli Stati membri: si sono, infatti, rilevate numerose discrepanze, tra i vari recepimenti, per quanto attiene alla definizione comunitaria di rifiuto, e a molte altre in materia, causa la non chiarezza delle direttive europee.

Solamente nel 1997 il Governo italiano ha posto in essere una serie di iniziative, fra le quali emerge l'emanazione del Decreto Le-

gislativo (DL) n. 22 del 15.2.1997, con cui si è data attuazione alle direttive n. 91/156 sui rifiuti, n. 91/689 sui rifiuti pericolosi e n. 94/62 sugli imballaggi.

L'articolo 6 comma 1 lettera a) del DL 05.02.1997 n. 22 (Decreto Ronchi) definisce rifiuto «qualsiasi sostanza od oggetto che rientra nelle categorie riportate nell'allegato A e di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi»; è stato recentemente integrato dal DL 8 luglio 2002, n. 138 all'art. 14, *Interpretazione autentica della definizione di "rifiuto" di cui all'articolo 6, comma 1, lettera a), del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22.*

Le strategie per eliminare i rifiuti e i residui prodotti dalle attività umane sono sostanzialmente tre: l'incenerimento, il collocamento in discarica e il riciclo. La corretta gestione dei rifiuti è una componente essenziale di una società avanzata; in questo ambito, dunque, le tre pratiche sopra ricordate devono coesistere, senza essere considerate l'una alternativa all'altra.

I rifiuti, se abbandonati in modo incontrollato o smaltiti in maniera impropria, costituiscono infatti un problema per l'ambiente e per l'uomo. Al contrario, il loro trattamento razionale consente di ricavarne risorse, quali energia e materie, utilmente impiegabili.

Alla luce di quanto sopra, il Gruppo Mauro Saviola ha letteralmente capovolto il modo di considerare i rifiuti legnosi che, da materiale ingombrante di cui disfarsi, diventano fonte di ricchezza, favorendo lo sviluppo e l'applicazione di tecnologie di recupero e riutilizzo del legno e contribuendo così al raggiungimento degli obiettivi comunitari e al livellamento degli standard europei.

Il recupero del legno è alla base di qualsiasi politica che abbia ambizioni di sostenibilità. Recenti proiezioni, difatti, avvertono che nel 2010 la capacità ecologica (ovvero l'offerta sostenibile) delle foreste mondiali sarà intorno ai 2,3 miliardi di m³, mentre la stima della domanda globale si dovrebbe assestare sui 2,7 miliardi di m³.

È dunque evidente la necessità di ridurre il consumo di prodotti legnosi primari, sia razionalizzando gli impieghi che indirizzandosi verso manufatti ottenuti con legno secondario. Al riguardo, si possono distinguere tre tipologie di riciclo: riutilizzo diretto dei prodotti, ossia riuso dei manufatti nella loro forma originaria; riutilizzo indiretto (riciclo dei materiali) in cui si riusa il materiale come materia prima secondaria; e riutilizzo energetico (o recupero)

nel caso in cui il materiale venga sottoposto a combustione per il recupero di energia (Worrell et al., 1994).

I più recenti documenti comunitari in tema di strategie sui rifiuti hanno confermato come vincente la filosofia del Gruppo, riaffermando una preferenza di principio per il recupero di materiale rispetto a quello di energia. Il Gruppo Saviola, infatti, concepisce la combustione solo come un'attività complementare all'obiettivo primario del recupero di materiale legnoso. Alla combustione vengono inviati, alla fine del processo di selezione, solo gli scarti del legno di recupero, che sono utilizzati per la cogenerazione di energia elettrica e termica per gli stabilimenti stessi, il tutto in piena ottemperanza delle restrittive indicazioni dell'Allegato 2 DM 5/2/98 che disciplina l'attività individuando le condizioni operative e i limiti alle emissioni per la combustione di legno vergine (scheda 4), legno trattato (scheda 6) e legno impregnato (scheda 8).

La cogenerazione è una forma di produzione di energia naturalmente compatibile con le problematiche del comparto del legno, essendo tra quelle che consentono il più alto risparmio energetico e, quindi, il miglior utilizzo delle risorse disponibili, a patto che le soluzioni adottate vengano preventivamente studiate da chi ha maturato le giuste competenze.

L'uso ai fini energetici degli scarti del legno di recupero negli impianti consente, inoltre, tangibili vantaggi ecologici. Questi sono riconducibili al risparmio di combustibili tradizionali, a fronte dell'uso di una fonte rinnovabile: nel caso del Gruppo Saviola, ad esempio, sono avviate al recupero energetico circa 150.000 t/anno di residui legnosi, con la conseguente riduzione dei potenziali effetti negativi sull'ambiente connessi ai trasporti (per la movimentazione degli scarti e l'approvvigionamento di combustibili fossili) e comunque allo smaltimento in discarica.

Attualmente, come è noto, le discariche accolgono l'87% dei rifiuti prodotti sul territorio nazionale, ma il DL 22/97 si propone il traguardo di portare, tra qualche anno, questo tipo di smaltimento a forma residuale, interrando esclusivamente ciò che non può essere riciclato, riutilizzato o recuperato per produrre energia (il "rifiuto del rifiuto").

In effetti, i costi di impianto e di esercizio delle discariche non sono più trascurabili o nulli, come nel passato. A fronte di una ini-

ziale economicità, in confronto ad altri sistemi di trattamento dei rifiuti, esse occupano il territorio e sono in numero limitato, rendendo quindi indispensabile che vi sia smaltito solo ciò che non è diversamente gestibile.

Dal punto di vista ecologico, poi, il biogas prodotto per degradazione anaerobica delle sostanze putrescibili presenti nei RSU contribuisce all'incremento dell'effetto serra, in quanto è composto per circa il 60% da metano e per il restante 40% da anidride carbonica. Inoltre, accanto al consumo energetico per le varie fasi di trattamento, alle emissioni atmosferiche, al consumo di materiali e di acqua, si aggiungono effetti ambientali negativi a livello locale, quali: odori, inquinamento acustico, aumento del traffico, alterazioni del paesaggio. Inoltre, è difficile prevedere per quante decine di anni, dopo la chiusura della discarica, sia necessario intervenire, per il suo controllo *post-mortem* della discarica stessa e per il recupero ambientale.

In questo quadro, l'attività del Gruppo Saviola contribuisce fattivamente a ridurre i quantitativi di materiale che giungono alle discariche, contribuendo a realizzare gli obiettivi della legislazione nazionale.

CARBON SINK

Il recupero del legno permette anche la costituzione di un notevole *sink* di carbonio: si stima, infatti, che una tonnellata di pannello concentri 650 kg di CO₂. Se si considera che in Italia è attualmente attiva una filiera industriale in grado di riciclare oltre 3 milioni di tonnellate/anno di rifiuti di legno, è facile comprendere come questa attività sia di notevole interesse, nel contesto del protocollo di Kyoto, grazie al sequestro temporaneo della CO₂ che può assicurare (IPCC, 1995).

BOSCO

L'attività del Gruppo Saviola apporta un sostanziale contributo alla razionalizzazione dell'utilizzo delle risorse naturali, quali i boschi e le foreste, che possono essere destinate a fruizione (foresta perenne) e per impieghi elettivi (carta, strutture edilizie, energia, ecc.). Sotto

quest'aspetto, esplica quindi una tutela indiretta della biodiversità. Infatti, la gestione sostenibile del patrimonio forestale contribuisce al mantenimento di un ecosistema integro e perfettamente funzionante, ossia in grado di ospitare numerose specie.

MATERIALI E METODI

Il processo sviluppato dal Gruppo Mauro Saviola, per passare da prodotti fabbricati con legno vergine agli stessi ottenuti da rifiuti legnosi agglomerati, rappresenta un "salto" tecnologico decisamente consistente. Questa tecnologia, che ha richiesto il superamento del tradizionale *know-how* di lavorazione, si inserisce in un quadro di elevato fabbisogno di materiale legnoso, contribuendo a diminuire le necessità nazionali (Nomisma, 2002).

Aspetti industriali

Il ciclo della lavorazione del legno si compone di una serie di stadi che, partendo dalla materia prima, arrivano al manufatto e alla spedizione; la scelta di impiegare scarti legnosi, anziché legno vergine, ha determinato l'aggiunta di fasi di lavorazione non tradizionali, ma che sono determinanti nel processo produttivo, quali la pulizia dei residui legnosi (Gordon et al., 1996). In ogni caso, in termini di attività industriale la parte più caratterizzante è a monte del processo e consiste nella selezione del "rifiuto", mediante la quale la parte migliore va al comparto della produzione, mentre gli scarti trovano collocazione, come già precedentemente accennato, nella produzione di energia di processo mediante gli impianti di cogenerazione (fig. 1).

Le aziende del Gruppo Saviola sono da sempre all'avanguardia nello sviluppo dei processi industriali più efficienti ed ecocompatibili; ad esempio, dal punto di vista impiantistico, per la prima volta, è stata installata una pressa che produce pannelli in continuo, raggiungendo così il duplice obiettivo di aumentare la produttività e di ottenere pannelli in qualsiasi dimensione e spessore, la cui disponibilità ha determinato una vera svolta nell'industria del mobile (Kiekens, 1997; Di Stefano, 1999).

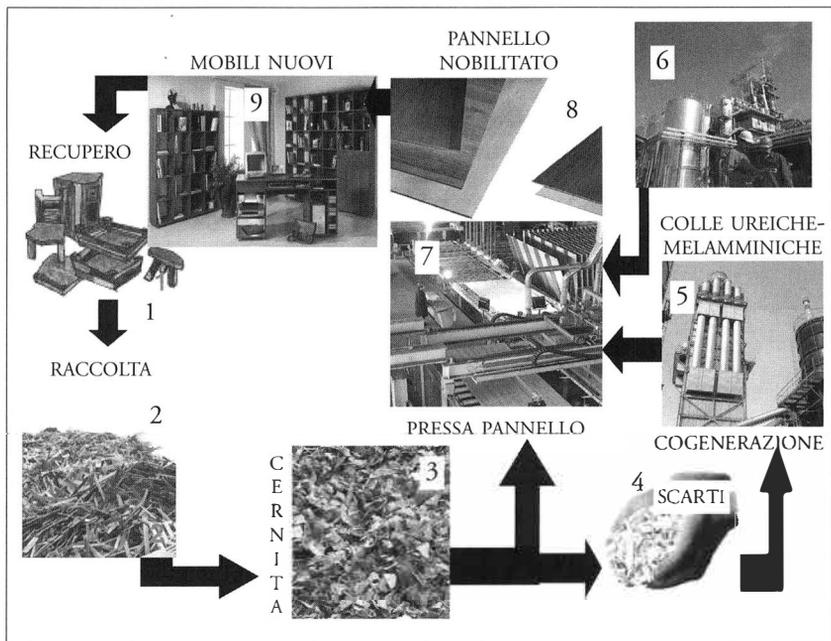


Fig. 1 *Ciclo di produzione del pannello truciolare da rifiuti di legno conglomerati*

Aspetti ecologici

La nuova tecnologia adottata, oltre a consentire la diminuzione della domanda di legno vergine, consente anche di perseguire diversificate finalità ecologiche (Fruhwald, 1996).

1. Si evitano emissioni di metano. Il legname conferito a discarica rilascia infatti CH_4 , che è un "gas serra" molto più potente della CO_2 (1 kg di CH_4 rilasciato in atmosfera ha lo stesso effetto di 21 kg di CO_2); di conseguenza, aumentare il recupero dei rifiuti legnosi post-consumo, e impedire che essi finiscano in discarica, oltre a liberare le discariche stesse, porta immediatamente a notevoli benefici ambientali, con riduzione delle emissioni di gas-serra.
2. Si "congela" il carbonio presente nelle fibre legnose all'interno di un nuovo prodotto durevole. Per effetto della fotosintesi clorofilliana l'albero sottrae all'atmosfera la CO_2 , principale responsabile dell'effetto serra. Nei manufatti lignei, questa non viene di-

spersa, ma rimane “tesaurizzata” all’interno dell’oggetto, costituendo un credito ambientale immagazzinato per tutta la durata della vita del manufatto. Il legno riciclato, quindi, impedisce il rilascio della CO₂ stoccata, salvaguardando così il sistema dall’inquinamento (Gielen, 1997). A titolo di esempio quantitativo, si mette in evidenza che, allo stato dell’arte della tecnologia in Italia, spostare 1 kg di rifiuto legnoso post-consumo dal circuito dei RSU (90% discarica controllata e 10% incenerimento) e conferirlo a riciclaggio comporta una riduzione delle emissioni di gas-serra pari a 1,03 kg di CO₂ eq kg⁻¹ di rifiuto legnoso stesso. Nel caso particolare delle cassette e dei *pallets*, per i quali la fase di fine vita è la causa principale degli impatti ambientali, ciò corrisponde a una riduzione di oltre il 70% delle emissioni di gas-serra su tutto il ciclo di vita degli imballaggi in oggetto.

3. Si contribuisce alla salvaguardia della superficie boschiva e, di conseguenza, alla capacità globale di assorbimento della CO₂ dall’atmosfera; tale fenomeno è al momento di difficile quantificazione e sarà oggetto di futuri studi. In ogni caso, utilizzando legno di riciclo per la produzione di mobili e componenti di arredo si salvaguarda il patrimonio boschivo, fatto non trascurabile in un paese «ricco di boschi poveri», come l’Italia (Herring, 1995).
4. A livello di processo, le metodologie usate consentono un risparmio di energia, sia termica che elettrica, perché la massa da movimentare è secca e quindi è la metà di un’eguale massa legnosa proveniente dal taglio del bosco; anche a livello di emissioni, sia in termini di quantità che di qualità, si consegue un notevole vantaggio ambientale (Worrel et al., 1994).
5. Inoltre, sempre nell’ottica della considerazione dell’intero processo produttivo, un importante aspetto di tutela ambientale riguarda la logistica dei trasporti; infatti, la quasi totalità delle masse legnose viene mobilitata tramite ferrovia, mentre la piccola percentuale che viene trasferita su strada è considerevolmente ridotta rispetto a quella di corrispondenti quantitativi di legno vergine, beneficiando della riduzione delle masse trasportate a causa del minor contenuto di acqua.
6. Infine, speciali filtri elettrostatici installati negli stabilimenti assicurano livelli di emissione di inquinanti, non solo al di sotto dei limiti delle leggi vigenti, ma molto ridotti anche rispetto a essi.

RISULTATI FINALI

Da quanto precedentemente esposto, risulta chiaramente comprensibile quali siano i risultati effettivi ottenuti con la messa a punto e l'impiego delle tecnologie del Gruppo Saviola. Questi sono rappresentati, in primo luogo, dalla possibilità di utilizzo dei rifiuti, cosicché si è resa possibile la trasformazione di scarti di origine legnosa da risorsa potenziale a risorsa effettivamente utilizzabile, per un processo produttivo efficiente e redditizio.

In secondo luogo, si è reso possibile produrre in maniera competitiva un bene con caratteristiche innovative; i nuovi prodotti risultano infatti ben accettati dal consumatore: in questo modo si è apportato un valore aggiunto decisamente tangibile al legno usato, oltre a fornire opportunità di stimolo alla creatività.

In sostanza, dunque, si è generata un'attività industriale primaria e indotta (la raccolta differenziata del legno, i nuovi mestieri, nuova occupazione, attività economiche collegate). Tutto ciò ha contribuito a dare maggiore competitività all'industria italiana del mobile, che ha portato il nostro Paese a essere il maggiore esportatore mondiale (metà della produzione, infatti, viene esportata).

Infine, è opportuno sottolineare come questo modulo produttivo sia utilizzabile e quindi espandibile a livello mondiale, diffondendo ulteriormente i suoi effetti positivi ad altri Paesi che ne adottino le tecnologie.

CONCLUSIONE

Ricapitolando, sono numerosi i benefici ottenibili perseguendo in maniera prioritaria il riciclo del materiale legnoso. In particolare, il riciclo ha effetti sulla prevenzione perché stimola i cittadini a diminuire la produzione di rifiuti (ad esempio comperando prodotti riciclabili); si riduce l'energia e le materie prime utilizzate per i nuovi prodotti; si contengono le emissioni gassose e solide degli impianti di incenerimento perché meno materiali di rifiuto vengono indirizzati a questo trattamento; si "libera" territorio in quanto si ha minore bisogno di spazi per le discariche; nei manufatti lignei, la CO₂ non viene dispersa, ma rimane immagazzinata per tutta la du-

rata della vita del manufatto, all'interno dell'oggetto, costituendo un beneficio ecologico che ha valore anche nell'ambito dei crediti ambientali nazionali previsti dal protocollo di Kyoto; il riciclo, infine, è *labour-intensive* rispetto all'incenerimento: apporta quindi benefici all'occupazione, creando nuovi posti di lavoro (Allen, 1996; R.C.A.C., 1998; Rilegno, 2002).

L'indispensabile cambiamento delle tecniche di gestione dei residui, demolizione e *design*, fornisce ragioni sufficienti a classificare questa innovazione come radicale (Tidd et al., 1997; Fraanje, 1998).

In sostanza, dunque, si è generata una nuova ricchezza per il Paese, non solamente in termini economici, ma anche a livello di notevoli benefici ambientali ed ecologici, contribuendo alla conservazione e alla tutela del patrimonio forestale e contemporaneamente alla crescita del riutilizzo di un materiale biologico proveniente da una risorsa rinnovabile. Si pensi, ad esempio, che il *lifetime* del legno può raggiungere un massimo di 400 anni rispetto alla media di 75, proprio grazie all'uso di strategie di recupero razionali e ottimizzate (Huisingm, 1989; Herring, 1995).

Con una maggiore possibilità di utilizzo dei rifiuti legnosi, il Gruppo Mauro Saviola ha contribuito a ridurre le necessità di legno vergine dalle foreste e a contenere l'occupazione del territorio per la creazione di discariche. Se si aggiunge alla possibilità di risparmiare le foreste l'innumerabile serie di benefici derivanti da una gestione ecocompatibile dei flussi di energia, è evidente che la problematica assume anche notevole rilevanza economica (Bonari e Pampana, 2002).

RIASSUNTO

Il Gruppo Mauro Saviola rappresenta un esempio vincente della possibilità di recupero economico degli scarti legno. I benefici che derivano da questa tecnologia alternativa, nel contesto dell'industria manifatturiera italiana, non consistono solamente nella creazione di nuovi posti di lavoro, ma anche in una lunga serie di vantaggi ecologici, quali la liberazione di territorio in seguito alla minore necessità di discariche, minore liberazione di gas serra dalle discariche stesse, stoccaggio della CO₂ nei manufatti per il loro ciclo di vita, razionalizzazione nell'utilizzo di foreste, minore impatto ambientale per il trasporto su rotaia e l'impiego degli scarti *in loco* in impianti di cogenerazione.

SUMMARY

Mauro Saviola Group is a successful example of the possibility of economically feasible reuse of wood wastes. In the context of the Italian manufacturing industry, advantages deriving from this alternative technology consist not only in the creation of new jobs, but also in a long line of ecological advantages. Among these latter, one can remember: less area is oriented to creation of waste disposing dumps; greenhouse gas exhalation from dumped rubbish is reduced; CO₂ is stored in the artefacts for their life cycle long; forest use is improved; lower environmental impact is determined as consequences of the rail transport and *in situ* cogeneration from wastes of the recycled wood.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN D.T. (1996): *Waste exchange and material recovery*, «Poll. Prev. Rev.», Springer.
- BOATO M. (1998): *Nuove strategie in Italia e in Europa di riduzione e gestione dei rifiuti. In particolare gli imballaggi*, in *Ricicla 98* (Atti dei seminari), Rimini, Edizioni Maggioli.
- BONARI E. e PAMPANA S. (2002): *Biomasse agricole e agroindustriali lignocellulosiche*, in *Biomasse agricole e agroforestali a uso energetico*, Roma, Agra editrice, pp. 81-97.
- BORRONI A. (1999): *Gli strumenti, Le Soluzioni, Ciclo di vita, Strumenti di analisi ambientale*, in *Tecnologia e chimica applicate alla tutela dell'ambiente* (dispensa), Politecnico di Milano, Milano.
- CARBONE F. (2002): *Legno da riciclare*, in *Biomasse agricole e agroforestali a uso energetico*, Roma, Agra editrice, pp. 98-110.
- CERNUSCHI S. e COSSU R. (1994): *Costi di impianto e di esercizio per i diversi sistemi di smaltimento dei rifiuti urbani*, «Ingegneria ambientale», 13, pp. 11-12.
- CHIACCHIERINI E. (1998): *Materie prime, trasformazione ed impatto ambientale*, Roma, Ed. Kappa.
- Direttiva 75/442/CEE 15 luglio 1975 "relativa ai rifiuti" (in GUCEL del 25 luglio 2002, n. 194).
- DI STEFANO A. (1999): *Come farsi ricchi con la differenziata*, «Affari & Finanza» di «Repubblica» (lunedì 8 marzo).
- FRAANJIE P.J. (1998): *Renewable resources for building materials*, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands.
- FRUHWALD A. (1996): *Ecological aspects of wood-based panels*, Paper read at New Challenges for the Wood-Based Panels Industry: Technology, Productivity and Ecology at Braunschweig.
- GIELEN D. (1997): *Building materials and CO₂. Western European Emission Reduction Strategies*, Petten, The Netherlands, ECN.

- GORDON J.C., SHIRLEY K., RAE M. (1996): *International Conference on Timber Certification*, Conference notes, Brisbane, Australia.
- HERRING M. (1995): *Quo Vadimus?* Conference notes on *Sustainable Forests: Global Challenges and Local Solutions*, Saskatoon, Canada, May.
- HUISING D. (1989): *Cleaner technologies through process modifications, materials substitutions and ecologically based ethical values*, Industry and Environment, Jan., Feb., March.
- IPCC (1995): *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 3, IPCC, Bracknell, UK.
- ISO, (1997a): *ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, Final Draft*.
- ISO (1997b): *ISO 14041 Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis, Draft*.
- KIEKENS J. (1997): *Certification: international trend and forestry implications*, Environmental Strategies Europe.
- LOMBARDINI S. e MALAMAN R. (1993): *Rifiuti e ambiente: aspetti economici, tecnologici e giuridici*, Bologna, Il Mulino.
- MOLINARI T. (a cura di) (1997): *Ri-Usi. Materie, Forme, Linguaggi, Risorse*, Milano, Corraini editore.
- NOMISMA (2002): *Il recupero del legno in Europa: costi e benefici ambientali ed economici*.
- R.C.A.C. (Ed.) (1998): *Draft Report on Forest Wood Resources and Wood Based Industries in the Eden CRA Region*, Resource and Conservation Assessment Council, NSW, March 1998.
- RILEGNO (Ed.) (2002): *Ecobilancio*, (FC).
- TIDD J., BESSANT J., PAVITT K. (1997): *Managing innovation: integrating technological. Market and organizational change*, UK, John Wiley & Sons Ltd.
- WORRELL E., VAN HEIJNINGEN R.J.J., DE CASTRO J.F.M., HAZEWINKEL J.H.O., DE BEER J.G., FAAIJ A.P.C., VRINGER K. (1994): *New gross energy requirement figures for material production*, «Energy», 19, 6, pp. 627-640.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il Gruppo di studio dei Georgofili sul *Recupero del legno come materia prima secondaria ripetibile*, dopo la presentazione e discussione pubblica dei risultati del proprio lavoro:

- richiama l'attenzione sul ruolo svolto dal legno e dai prodotti legnosi nell'accumulare e prolungare il "sequestro" del carbonio che gli alberi sottraggono all'atmosfera attraverso il processo fotosintetico;
- evidenzia il contributo alla tutela ambientale offerto dalle moderne tecnologie per il recupero e il ripetibile utilizzo di materiali legnosi di scarto, che consentono non solo di ridurre il numero di alberi da abbattere annualmente, ma anche di ridurre la restituzione di anidride carbonica all'atmosfera;
- prospetta quindi la grande utilità di incrementare il recupero e riciclaggio dei rifiuti legnosi (scarti di lavorazione, prodotti dismessi, imballaggi, ecc.), anche promuovendo una loro raccolta differenziata e una sensibilizzazione della opinione pubblica sul significato di tale operazione, analogamente a quanto si fa per altri materiali, come la carta e il vetro;
- sottolinea l'opportunità che la reale entità di tali contributi venga valutata attraverso specifici studi di settore;
- ritiene inoltre opportuno che, nel rispetto della razionale conduzione agro-forestale, venga incrementata la disponibilità e l'uso dei residui e dei materiali secondari legnosi ricavabili nella gestione dei boschi e dell'agricoltura.

Firenze, 12 dicembre 2002

Finito di stampare
nel mese di novembre 2003
dalla Tipografia ABC
Sesto Fiorentino - Firenze

