

Predisposto da:

IEA Bioenergy Task 38

“Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems”

Redatto ed edito da:

Robert Matthews

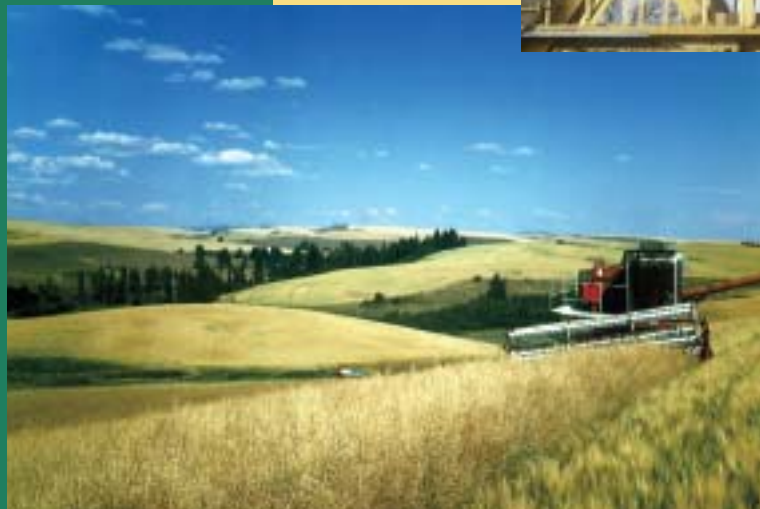
e Kimberly Robertson

Sink forestali di carbonio e loro ruolo nei cambiamenti climatici globali: risposte alle dieci domande più frequenti

Foto per gentile concessione di DOE/NREL, credito di Warren Gretz



Per gentile concessione della biblioteca dell'UK Forest Research



Per gentile concessione di DOE/NREL, credito di Oak Ridge National Laboratory

Introduzione

I cambiamenti del clima globale sono uno dei principali problemi ambientali dei nostri tempi. Mentre aumenta giorno dopo giorno l'evidenza del fenomeno, all'interno della comunità scientifica cresce il consenso sul fatto che la causa principale dei cambiamenti climatici in atto si debba addebitare all'interferenza dell'uomo sul ciclo naturale dei gas-serra (IPCC, 2001). Questi ultimi devono il nome alla loro capacità di catturare il calore del sole nell'atmosfera terrestre, allo stesso modo di quello che avviene in una serra, che intrappola al suo interno parte del calore derivante dei raggi solari. L'anidride carbonica (CO_2) è considerato il più importante di questi gas. Fin dall'inizio del XX secolo la concentrazione atmosferica dei gas-serra è aumentata rapidamente, sostanzialmente a causa di due fattori:

- la combustione di vettori energetici fossili d'energia (carbone, petrolio, gas);
- i cambiamenti d'uso del suolo e, in modo particolare, la deforestazione.

Le emissioni dei gas-serra nell'atmosfera durante gli anni '90, causate dall'uso dei combustibili fossili, sono state stimate in circa 6,3 gigatonnellate di carbonio (GtC) l'anno (1 GtC = 10^9 tonnellate di carbonio). Nel corso dello stesso decennio, la conversione di 16,1 milioni d'ettari di foreste ad altre forme d'uso del suolo, la maggior parte dei quali concentrata nei tropici, ha causato il rilascio in atmosfera di circa 1,6 GtC l'anno (FAO, 2001).

Complessivamente si stima che l'aumento del carbonio nell'atmosfera sia pari a 3,3 GtC l'anno, mentre il rimanente sarebbe assorbito in parti quasi uguali dagli oceani e dalla vegetazione terrestre (IPCC, 2000a). Le soluzioni più logiche a questo problema sono innanzi tutto la riduzione dei consumi di combustibili fossili, nonché il contenimento e l'inversione della deforestazione a scala globale. Secondo gli studiosi, un'opzione importante per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili è rappresentata da un uso più intensivo della bio-energia, vale a dire dell'energia accumulata dalla fotosintesi nelle cosiddette biomasse; mentre, ridurre la deforestazione, espandere la superficie forestale mediante nuove piantagioni e adottare forme più appropriate di gestione delle foreste esistenti – indirizzate a massimizzare la loro funzione di serbatoio di carbonio – e/o di produzione di biomassa per energia, rappresentano altre possibilità nel campo dell'uso dell'agricoltura e della selvicoltura per mitigare i cambiamenti climatici. Nei paragrafi che seguono, le informazioni fornite attraverso le risposte alle dieci domande intendono:

■ introdurre e spiegare i concetti fondamentali;

■ chiarire luoghi comuni errati;

■ indicare tecnologie e sistemi che possano offrire soluzioni al problema.

- introdurre e spiegare i concetti fondamentali;
- chiarire luoghi comuni errati;
- indicare tecnologie e sistemi che possano offrire soluzioni al problema.

1. Qual è la differenza tra le emissioni di CO₂ da bio-energia e da combustibili fossili?

La bio-energia è l'energia generata dalla conversione energetica della biomassa (BIN, 2001; EREN, 2001). La biomassa può essere prodotta con coltivazioni agricole o forestali appositamente costituite, oppure essere generata come un prodotto o sottoprodotto delle attività forestali, delle industrie di lavorazione del legno o dell'agricoltura e delle industrie ad essa collegate. La biomassa può essere utilizzata tal quale per produrre energia termica, oppure essere convertita in gas, elettricità o combustibili liquidi.

Tra gli effetti dell'energia prodotta con combustibili fossili e quelli con biomassa esiste una differenza fondamentale. La combustione di fonti energetiche rilascia nell'atmosfera CO₂ che è rimasta immobilizzata per milioni d'anni nei giacimenti geologici; al contrario, la combustione della biomassa restituisce all'atmosfera la CO₂ assorbita dalle piante in tempi più o meno recenti e, supposto che il ciclo produttivo e l'uso delle risorse siano mantenuti inalterati nel tempo, non causa un aumento complessivo di CO₂ (Figura 1).

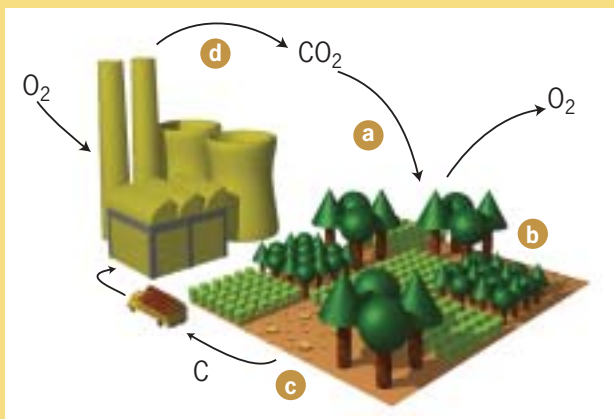


Figura 1. Illustrazione del ciclo del carbonio nel processo d'accumulo di biomassa in coltivazioni agricole e piantagioni forestali a fini energetici e d'utilizzo della stessa in una centrale elettrica. a: la CO₂ è catturata dalle coltivazioni e dalle foreste; b: l'ossigeno (O₂) è rilasciato, mentre il carbonio (C) è immagazzinato nella biomassa delle piante (una parte è però restituita all'atmosfera con la respirazione); c: il carbonio presente nella biomassa raccolta è trasportato alla centrale; d: la centrale brucia la biomassa, rilasciando nell'atmosfera la CO₂ precedentemente catturata dalle piante. Considerando il ciclo nel suo complesso, con la combustione della biomassa non si verificano emissioni nette di CO₂.

La produzione di bio-energia implica il consumo d'energia fossile; quest'ultima, tuttavia, come hanno dimostrato varie ricerche specifiche, rappresenta una frazione molto contenuta rispetto a quella prodotta. Specifici bilanci energetici eseguiti su significativi sistemi forestali e agricoli indicano che, per ogni unità d'energia fossile consumata, sono prodotte, approssimativamente, dalle 25 alle 50 unità di bio-energia (Börjesson, 1996; Boman e Turnbull, 1997; Mc Laughlin e Walsh, 1998; Matthews e Mortimer, 2000; Matthews, 2001). La produzione di bio-energia allo stato liquido richiede un *input* energetico maggiore (indicativamente circa 4-5 unità d'energia prodotta per ogni unità d'energia fossile utilizzata); nonostante ciò, essa riduce sensibilmente il consumo complessivo di combustibili fossili (IEA, 1994; Gustavsson *et al.*, 1995). (Il calcolo del bilancio energetico per la produzione di bio-energia allo stato liquido è deci-

samente complesso e, nella varietà dei risultati riportati nella letteratura scientifica, le stime riportate in questa pubblicazione rappresentano le medie dei *range* e sono puramente indicative.) Le emissioni nette di carbonio per la generazione d'una unità d'energia elettrica con bio-energia sono da 10 a 20 volte inferiori a quelle causate dalla produzione d'elettricità con combustibili fossili (Boman e Turnbull, 1997; Mann e Spath, 2000; Matthews e Mortimer, 2000).

2. Come possono gli alberi e le foreste fungere da *sink* di carbonio?

Il termine "*sink*" (letteralmente inghiottitoio) è usato per indicare ogni processo, attività o meccanismo che rimuova un gas-serra dall'atmosfera (UNFCCC, 1992). La vegetazione e le foreste scambiano grandi quantità di gas-serra con l'atmosfera. Le piante, grazie alla fotosintesi, assorbono CO₂ dall'atmosfera e rilasciano O₂; una parte della CO₂ assorbita è restituita all'atmosfera con la respirazione, mentre una parte è trattenuta come *stock* (letteralmente, deposito) nei vari composti organici presenti in una pianta. L'afforestazione e la riforestazione, o l'adozione di qualsivoglia modalità di gestione delle coltivazioni agricole e dei soprassuoli forestali che determinino un aumento degli *stock* di carbonio nelle piante, nella lettiera e nel suolo, rimuovono un'ulteriore porzione di CO₂ dall'atmosfera. Ad esempio, se un'area agricola o pascoliva è convertita in bosco, una quota di CO₂ è rimossa dall'atmosfera e immagazzinata nella biomassa arborea. Lo *stock* di carbonio su quell'area aumenta, creando quindi un *sink* di carbonio. Tuttavia, la foresta di nuova formazione funge da *sink* di carbonio fino a quando lo *stock* di carbonio continua a crescere. Lo *stock* di carbonio aumenta fintantoché non sia raggiunto il limite massimo, oltre al quale le perdite dovute alla respirazione, alla morte d'alberi e a cause esterne di disturbo, quali incendi, uragani, attacchi di parassiti o patogeni, utilizzazioni ed altre operazioni forestali, bilanciano l'aumento di carbonio dovuto alla fotosintesi (Matthews, 1996; Davidson e Hirsch, 2001). Anche il legno prelevato dal bosco e trasformato in prodotti legnosi costituisce uno *stock* di carbonio. Questo *stock* (extraboschivo) aumenterà (agendo pertanto da *sink*) fino a quando il deperimento e la distruzione dei vecchi prodotti resterà inferiore alla fabbricazione di nuovi (si vedano a proposito anche le domande 3 e 4). Quindi, le foreste e i prodotti da esse derivanti hanno una capacità finita di rimuovere CO₂ dall'atmosfera, e non agiscono come *sink* perpetuo di carbonio (Figure 2 e 3). Al contrario, un terreno che è destinato alla produzione di biomassa e di bio-energia consente di produrre materiali con effetto sostitutivo rispetto ai combustibili fossili e può potenzialmente ridurre indefinitamente le emissioni di gas-serra.

Quando una superficie forestale non è ripiantata dopo la sua utilizzazione o viene perduta in modo permanente, a causa d'eventi naturali (quali incendi e malattie), lo *stock* di carbonio che si era accumulato è disperso. Al contrario, i benefici derivanti dalla sostituzione dei combustibili fossili con bio-energia sono irreversibili, anche se il modello bio-energetico opera solo per un tempo limitato. Spesso, nell'ambito delle cosiddette misure di "permanenza", è fatta una distinzione tra *sink* di carbonio e sistemi per la sostituzione dei combustibili fossili con bio-energia (si veda, al proposito, il riquadro sulla permanenza).

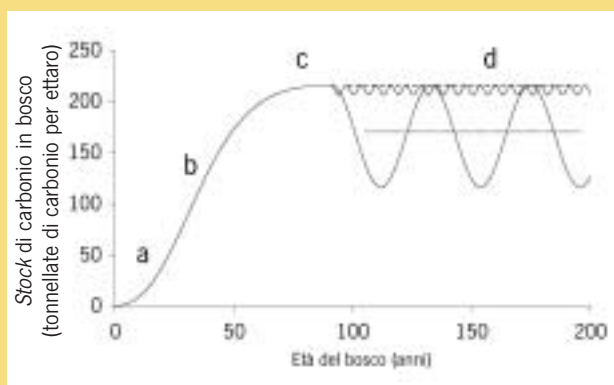


Figura 2. Accumulo di carbonio in un nuovo soprassuolo forestale gestito per avere effetto di carbon sink. Si possono osservare quattro fasi d'accumulo del carbonio: a - fase iniziale d'affermazione del soprassuolo; b - fase di maggior vigore; c - fase matura; d - fase d'equilibrio nel lungo periodo. Osservando l'evoluzione per lungo tempo è evidente che, dopo un aumento del carbonio durante la fase iniziale di sviluppo del soprassuolo, il carbonio non aumenta né diminuisce. Ciò avviene perché l'accumulo di carbonio nella biomassa arborea è bilanciato dalle perdite dello stesso causate da fenomeni di disturbo naturali e dall'ossidazione che si verifica durante i processi di decomposizione del legno degli alberi che man mano muoiono e sono sostituiti da soggetti nuovi. Nel grafico sono indicati due esempi di dinamica del carbonio nel periodo d'equilibrio, con tendenza d'oscillazione ridotta (linea tratteggiata) e alta (linea continua). Non è stata considerata la dinamica del carbonio nel suolo, nella lettiera e nei residui legnosi grossolani.

3. Il taglio dei soprassuoli forestali cancella i sink di carbonio?

Generalmente i soprassuoli forestali gestiti a fini di produzione legnosa, trattati con tagli periodici, hanno riserve di carbonio inferiori rispetto ai boschi non utilizzati (Figure 2 e 3). Contrariamente a quanto si ritiene, però, questi tagli non portano alla deforestazione. La deforestazione implica, infatti, un cambiamento d'uso del suolo (da destinare a scopi agricoli, infrastrutturali, edilizi, ecc.), mentre la produzione sostenibile di legno contempla il ciclo succedersi di tagli e di ricrescita del bosco. Un soprassuolo

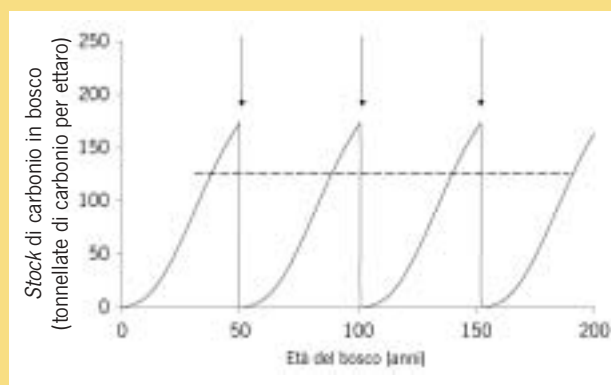


Figura 3. Accumulo di carbonio in una nuova piantagione forestale creata per la produzione di legname. Il soprassuolo è periodicamente tagliato per fornire legname ed eventualmente bio-energia; si prevede che dopo ogni taglio sia eseguito un pronto reimpianto. Ipotizzando una successione di diversi turni si osserva come, dopo l'aumento del carbonio durante la fase iniziale d'affermazione del soprassuolo, il carbonio non aumenta né diminuisce poiché l'aumento è bilanciato dalla rimozione dovuta al taglio ed esbosco. Nella pratica forestale questo avviene quando un bosco è costituito da tanti soprassuoli, come quello illustrato in figura, piantati ed utilizzati in tempi diversi (compresa forestale). Per il bosco nel suo complesso, quindi, l'accumulo di carbonio si può rappresentare più debitamente con la linea tratteggiata. La dinamica del carbonio nel suolo, nella lettiera, nei residui legnosi grossolani e nei prodotti legnosi non è qui considerata. Anche l'impatto al di fuori della foresta (prodotti legnosi e bio-energia) è stato escluso (si veda anche la domanda 3).

forestale realizzato *ex novo* per la produzione di legname può fungere da *sink* – ugualmente a una foresta creata per accumulare carbonio, seppure con differenze nell'ammontare finale dello *stock* di carbonio e nei tempi in cui questo può essere ottenuto.

Anche i prodotti legnosi costituiscono uno *stock* di carbonio e, qualora se ne aumenti la quantità presente, fungono da *sink*. Nondimeno, i prodotti legnosi possono giocare un ruolo ancor più significativo; infatti, essendo il legno una fonte di materiale rinnovabile relativamente efficiente dal punto di vista energetico, lo si può utilizzare al posto di altri materiali a maggiore intensità d'energia, ridu-

Il problema della permanenza

La questione della permanenza si può illustrare molto semplicisticamente con l'esempio di una fabbrica che, per un periodo di 25 anni, utilizzi combustibili fossili per le sue esigenze energetiche. Si può supporre, da un lato, che una nuova foresta sia costituita allo scopo di creare uno *stock* di carbonio, il quale sia in grado di compensare le emissioni totali di CO₂ causate da quella fabbrica per lo stesso periodo di 25 anni. Questo *sink* di carbonio sarebbe permanente solo se la foresta fosse conservata nel tempo; viceversa, qualora essa fosse tagliata o distrutta, dovrebbe essere reimpiantata. Tuttavia, pur mettendo in atto le più scrupolose misure di salvaguardia, non sarà mai possibile assicurare in assoluto la protezione di questa foresta contro perdite future, causate, ad esempio, dalla deforestazione, da scadente pianificazione dei tagli o da cause naturali. La riduzione d'emissioni è, quindi, potenzialmente reversibile e non vi è nessuna garanzia che sia permanente. Da un altro lato, se per le esigenze energetiche della fabbrica in questione si utilizzasse un impianto alimentato con bio-energia in sostituzione di combustibili fossili, la riduzione delle emissioni nel periodo di 25 anni sarebbe permanente. A scala locale, tuttavia, quando si dovrà decidere come gestire una certa area per mitigare le emissioni di gas-serra, il problema della permanenza non sarà sempre di gran rilevanza, dal momento che i proprietari forestali non si troveranno di fronte a opzioni ugualmente concrete e dover scegliere tra produ-

zione di biomassa o creazione di *sink* di carbonio. La prima opzione, di tipo commerciale, avrebbe l'obiettivo di realizzare nuove coltivazioni e foreste per la produzione di bio-energia destinata ad alimentare una centrale a bio-energia, eliminando in modo permanente una certa quantità di emissioni da combustibile fossile; la seconda opzione implicherebbe una gestione di foreste esistenti o di nuovo impianto per produrre assortimenti richiesti dal mercato, quali tronchi da sega o pasta da carta, con un forte indirizzo verso l'aumento permanente dell'accumulo di carbonio. Il problema della permanenza, anche se non è necessariamente preso in considerazione quando si decide come gestire una specifica area agricola o forestale, è diventato comunque particolarmente importante nelle discussioni e nelle negoziazioni relative alla promozione e al finanziamento di misure alternative di riduzione delle emissioni nette di gas-serra in ambito nazionale e internazionale. Anche in questo contesto, comunque, la non-permanenza non costituisce necessariamente un problema, purché ogni successiva perdita di carbonio causata da deforestazione o altro sia adeguatamente registrata, utilizzando congrui sistemi di contabilizzazione e appropriate procedure di *reporting*. Nondimeno, la realizzazione di nuove formazioni forestali con l'obiettivo di creare *sink* di carbonio può essere concepita anche come una forma di responsabilità nei confronti delle future generazioni. (Si veda al riguardo anche la domanda 7.)

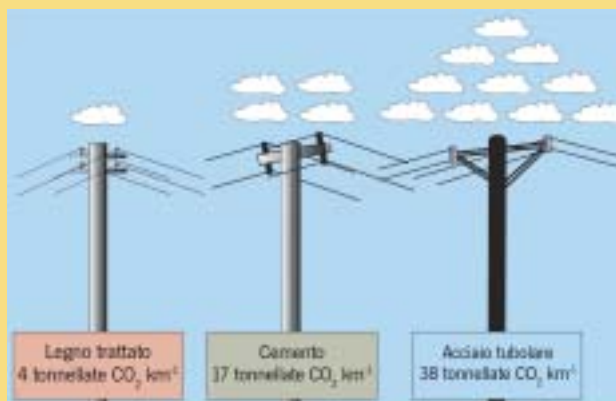


Figura 4. Illustrazione del potenziale di riduzione delle emissioni del legno quando è usato in sostituzione d'altri materiali. Le stime riportate riguardano le emissioni di gas-serra, espresse in tonnellate di CO₂ equivalente, prodotte in un periodo di 60 anni, per la costruzione d'un km di linea di trasmissione (telefonica, elettrica, ecc.) utilizzando in alternativa pali di legno trattato, di cemento e di acciaio tubolare e includendo l'impatto dovuto al loro smantellamento (da Richter, 1998).

ciendo così le emissioni di gas-serra (Figura 4). Si tratta, perciò, d'individuare soluzioni pratiche e tecniche valide per aumentare l'impiego del legno nelle applicazioni domestiche e industriali a scapito di altri materiali. Ad esempio, in alcuni paesi lo studio dell'energia richiesta per costruire edifici con diverse combinazioni di materiali, suggerisce che massimizzare l'impiego del legno nelle nuove costruzioni potrebbe ridurre le emissioni di gas-serra, causate dalla produzione di materiali edili, dal 30% fino all'85% (si veda, per esempio, il lavoro di Buchanan e Honey, 1995). Il riscaldamento domestico può contribuire fino al 90% del totale di gas-serra emessi nel periodo di permanenza d'una casa, includendo in questi anche quelli per la sua costruzione. Eppure, l'uso della bio-energia per il riscaldamento domestico può giocare un ruolo ancor più importante. Infatti, è nel suo impiego come materiale da costruzione e come fonte energetica in sostituzione d'altri materiali edili o di combustibili fossili che il legno fornisce il maggior contributo alla riduzione delle emissioni, ancor più che attraverso la ritenzione di carbonio nei suoi tessuti.

4. Qual è la superficie necessaria per fornire bio-energia a una centrale elettrica?

Consideriamo l'esempio di una centrale da 30 MW che utilizzi bio-energia per generare elettricità (1 MW = 1 megawatt = 10⁶ watts). In un paese dell'Europa occidentale questa energia sarebbe sufficiente per coprire le esigenze di 30.000 abitazioni. La produzione di biomassa per alimentare una siffatta centrale richiederebbe una superficie di circa 11.250 ettari di colture agricole "bio-energetiche" realizzate *ad hoc*. Una piantagione forestale con stessa superficie, gestita con turni evidentemente più lunghi, raggiungerebbe livelli di produttività lievemente inferiori rispetto alle prime. La maggior parte della biomassa prodotta potrebbe essere utilizzata come legname per l'industria (segati, tavolame e pasta da carta), così solo una piccola frazione della biomassa – forse il 25% (Böriesson *et al.*, 1997) – potrebbe essere resa disponibile per usi energetici. (Queste stime riguardano la sola frazione di combustibile legnoso liberata nella fase di utilizzazione forestale; al contrario, la frazione di legna per energia dei sottoprodotti derivanti dalle

Come si calcola la superficie di coltivazioni specializzate necessaria per l'attività di una centrale?

Partiamo da una ipotetica centrale con potenza di 30 MW che, in un anno, opera a pieno carico per 6.000 ore. Così, la centrale genera $30 \times 6.000 = 180.000$ MWh di energia elettrica l'anno. Se la centrale operasse con una efficienza del 40%, per produrre 180.000 MWh l'anno, dovrebbe consumare ogni anno $180.000 / 0,4 = 450.000$ MWh di bio-energia. Si assume che la biomassa delle coltivazioni e delle foreste abbia un valore energetico di circa 4 MWh per tonnellata secca, considerata anche l'influenza sul valore energetico dell'umidità. Supponendo che debba essere fornita da coltivazioni specializzate che producono circa 10 tonnellate di biomassa secca ad ettaro per anno, la superficie necessaria sarebbe di $450.000 / (4 \times 10) = 11.250$ ettari. (Si ricorda che 1 ettaro equivale a 10.000 m².)

fase di lavorazione del legname, pur essendo rilevante, non è inclusa nelle stime.) Ad esempio, se il 10% della biomassa fornita alla centrale provenisse da sottoprodotti forestali e il restante 90% da coltivazioni dedicate, la superficie complessiva necessaria (foresta e coltivazioni) potrebbe essere stimata intorno ai 20.000 ha. Nella pratica, gran parte delle centrali alimentate a bio-energia producono, oltre all'elettricità, anche calore, utilizzato nell'industria o nel riscaldamento residenziale. In questo modo si può aumentare l'efficienza complessiva del sistema, riducendo la superficie necessaria per produrre una determinata quantità di energia.

5. Qual è la superficie forestale necessaria per compensare le emissioni di CO₂ provenienti da una centrale o da un'automobile?

Facendo riferimento agli esempi illustrati nelle Figure 2 e 3, che riportano due sistemi di gestione forestale differenti (commerciale e conservativa), per compensare le emissioni d'una centrale da 30 MW a combustibili fossili per un periodo di 30 anni, sarebbero necessari dai 5.000 ai 14.000 ha di nuove piantagioni forestali. La superficie forestale di nuova formazione deve essere gestita, considerando l'approccio di gestione conservativa, in modo permanente, dal momento che la funzione di catturare il carbonio rimosso dall'atmosfera è assegnata a quell'area perennemente. Se il carbonio accumulato in quella superficie, per qualche ragione, dovesse andare in contro a riduzioni o perdite, allora dovrebbe essere individuata un'altra super-

Come si calcola la superficie di bosco necessaria per bilanciare le emissioni di una centrale

Una centrale da 30 MW assunta in precedenza come esempio emetterebbe, a seconda del tipo di combustibile fossile impiegato, da 85.000 a 150.000 tonnellate di CO₂ l'anno. Se si volessero compensare 30 anni di emissione di CO₂ da parte della stessa centrale sarebbero necessari da 10.000 a 18.000 ettari di bosco di nuovo impianto ad uso commerciale (Figura 3) o, in alternativa, circa 5.000 ettari di bosco con gestione conservativa (Figura 2). In queste circostanze ci sarebbe bisogno da 80 anni a 40 anni (rispettivamente con 10.000 e 18.000 ettari di nuovi boschi) per compensare i gas-serra emessi in 30 anni dalla centrale (Figure 2 e 3). Volendo annullare completamente le emissioni nel periodo di 30 anni sarebbe necessaria una superficie ancora maggiore.

ficie che supplisca le perdite. Qualora si dovessero compensare le emissioni di CO₂ prodotte in un periodo superiore ai 30 anni, allora si deve considerare la necessità di ampliare ulteriormente la superficie boscata. La superficie da dedicare a coltivazioni specializzate per l'alimentazione della centrale a biomassa, con lo scopo di sostituire in modo permanente i combustibili fossili, è pari alla superficie forestale ritenuta necessaria per rimuovere le emissioni atmosferiche di CO₂ prodotte da una centrale a combustibili fossili in 30 anni. Approssimativamente, una superficie di mezzo ettaro di bosco compenserebbe le emissioni prodotte da un autoveicolo per il periodo di vita d'un conducente (Cannell, 1999; Maclaren, 2000). Si tratta di una superficie modesta se riferita ad un singolo autoveicolo, ma immensamente grande se estesa a tutti gli autoveicoli circolanti sul pianeta.

6. Quali sono le specie arboree e le coltivazioni più idonee da utilizzare come sink di carbonio o per la produzione di bio-energia e legname?

La scelta delle specie agricole e forestali più appropriate si baserà, come illustrato in Figura 5, su fattori ambientali, sociali ed economici e sugli obiettivi di uno specifico modulo produttivo. Se lo scopo è di surrogazione energetica, è molto importante mantenere elevata la produzione di biomassa; in questo caso sono appropriate le coltivazioni specializzate e le piantagioni forestali a turno breve con specie a rapido accrescimento (*short rotation forestry*). Volendo produrre una combinazione di pasta cellulosa, cippato legnoso e legname da lavoro, si possono utilizzare specie a rapido accrescimento, gestite con turni di alcuni decenni. D'altra parte, se l'obiettivo principale è la creazione e il mantenimento d'un giacimento di carbonio nel lungo periodo, è preferibile massimizzarne lo *stock* finale ottenibile e assicurarne la durata nel tempo, piuttosto che puntare sulla rapida accumulazione di carbonio nelle fasi iniziali del progetto. In questo caso si tenderà a favorire l'impiego di specie forestali definitive (solitamente caratterizzate da accrescimenti lenti) ed eventuali azioni volte a promuovere la rinnovazione naturale e i processi di successione. Un'appropriata gestione di specie definitive o una gestione che preveda la combinazione di quest'ultime con altre specie a rapido accrescimento possono consentire d'assolvere all'obiettivo prioritario di produrre legname a ciclo di vita lungo (per l'edilizia), abbinato a quello secondario di disporre di assortimenti legnosi a breve ciclo di vita, cippato e pasta da carta.

7. E' possibile gestire il suolo per creare sink di carbonio e contemporaneamente produrre bio-energia e fibra?

Spesso, soprattutto a scala regionale, è possibile affiancare a una gestione finalizzata principalmente alla produzione di bio-energia e legname l'obiettivo di creare serbatoi di carbonio. Ad esempio, la realizzazione di una piantagione forestale o una coltivazione a fini energetici su terreni precedentemente destinati all'agricoltura o su suoli degradati aumenta con molta probabilità la densità di carbonio nel soprassuolo e assicura contemporaneamente la generazione di nuove fonti di biomassa per la produzione di energia e di fibra legnosa. L'introduzione di forme alternative di gestione in coltivazioni agricole o piantagioni forestali già esistenti, al fine di mas-

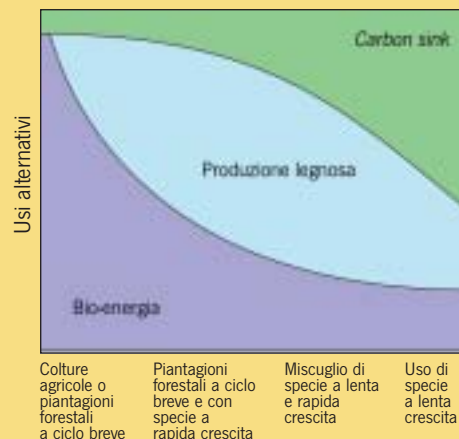


Figura 5. Criteri per selezionare il tipo di coltivazione specializzata, la specie forestale e il regime di gestione per ottenere, contemporaneamente, produzione di energia, produzione di legname e sink di carbonio.

simizzarne la produttività, consente di produrre specifiche quantità di bio-energia e legname da una superficie più limitata, permettendo di gestire il resto dell'area come riserva forestale per incrementare gli *stock* di carbonio.

Un esempio di sinergia è un sistema selvicolturale che preveda l'attuazione di diradamenti del soprassuolo per ottimizzare il valore della produzione legnosa e, contemporaneamente, fornire materiale per produrre energia. Anche i residui legnosi che rimangono in bosco dopo le utilizzazioni e i residui della lavorazione nelle segherie e nei processi di trasformazione possono essere utilizzati per fini energetici. Spesso, il legname prelevato dal bosco viene re-impiegato più volte, per una serie di prodotti a cascata, e alla fine è disponibile per un uso energetico. Un'importante fonte di materia prima per bio-energia è costituita dagli stessi scarti delle industrie del legno e della carta e dei sistemi che producono, contemporaneamente, legna da ardere e altri prodotti legnosi. Per gran parte del XX secolo, la legna da ardere ha rappresentato più del 50% del legno utilizzato a livello mondiale (Solberg, 1996).

8. In che modo la gestione del suolo per la creazione di sink di carbonio o per la produzione di bio-energia possono avere un impatto sulla biodiversità e sull'ambiente in genere?

I cambiamenti d'uso del suolo possono avere impatti positivi o negativi sulle principali caratteristiche ambientali, quali la biodiversità, la qualità del suolo, il paesaggio, la disponibilità e la qualità dell'acqua, l'inquinamento di fiumi e laghi, l'emissione di sostanze tossiche. Si tratta di argomenti complessi, spesso legati a specifiche caratteristiche locali, che non rientrano nella finalità di questo pieghevole e meritano un trattamento a parte; tuttavia, si prende esempio dalla biodiversità per fare qualche osservazione di carattere generale sull'impatto ambientale generato dalla creazione di *sink* forestali a finalità energetica. Quando si opera in aree degradate o in diversi tipi di ambienti agricoli, l'insediamento di coltivazioni a fini energetici e di piantagioni forestali conduce a un aumento della biodiversità ai tre livelli di ecosistema, di specie e genetico. Tuttavia, le piantagioni forestali e le coltivazioni specializzate aumentano la loro biodiversità solo dove sostituiscono una copertura vegetale povera di specie; in altre situazioni la loro introduzione può, viceversa, mettere a rischio specie

e *habitat* di notevole interesse. Un corretto equilibrio tra produzione di legna da ardere, fibra e stoccaggio di carbonio, da una parte, e la conservazione della biodiversità, dall'altra, può anche verificarsi quando si realizzano coltivazioni specializzate o piantagioni forestali di grande estensione e, in modo particolare, quando si tratta di monocolture di specie esotiche trattate a turni brevi. Attraverso un'oculata gestione è, infatti, possibile realizzare un equilibrio tra finalità produttive e mantenimento della biodiversità. Ne sono un esempio: l'uso negli impianti di materiale forestale di propagazione attentamente selezionato, al fine di mantenere una diversità genetica; l'alternanza a mosaico di coltivazioni e soprassuoli forestali, la disetaneità dei soprassuoli per aumentare la diversità strutturale. Ulteriori esempi di scelte gestionali sono: la creazione di siepi e filari per connettere *habitat* frammentati; la modifica delle dimensioni dei coltivi e delle prese di taglio del bosco; il contenimento del consumo di prodotti chimici; la diffusione degli inerbimenti; l'impiego di mescolanze di specie e la differenziazione delle età. Partendo da obiettivi chiari, si possono individuare opzioni che consentono, da un lato, di massimizzare i giacimenti di carbonio o la produttività di biomassa; dall'altro, di conservare o incrementare la biodiversità.

9. Di quanto si possono ridurre le emissioni di gas-serra con un più diffuso impiego della bio-energia e con l'uso della biomassa come giacimento di carbonio?

La bio-energia, in tutte le sue forme, rappresenta approssimativamente l'11% dell'energia primaria utilizzata su scala globale, corrispondente a circa 44 Esajoule (EJ = 10^{18} joules per anno). Di questi, circa 6 EJ sono utilizzati nei paesi industrializzati (OCSE), generalmente ricorrendo a tecnologie ad alta efficienza di conversione. I restanti 38 EJ sono impiegati prevalentemente come legna da ardere, solitamente con sistemi poco efficienti, nei paesi in via di sviluppo (IEA *Statistics*, 2000a; 2000b). Il contributo della bio-energia può essere accresciuto sia migliorando l'efficienza dei sistemi di combustione, sia aumentando l'entità delle biomasse utilizzate. Per l'anno 2050, si è stimato che il contributo potenziale globale della bio-energia potrà oscillare tra i 95 e i 280 EJ (Hall e Scrase, 1998); tale quantità sarà in grado di evitare emissioni tra 1,4 e 4,2 GtC l'anno, approssimativamente pari tra il 5 e il 25% delle previste emissioni derivanti da carburante fossile (IPCC, 2000b). L'energia massima tecnicamente ottenibile con fonti bio-energetiche a livello globale è

Come sono calcolate le percentuali di emissioni che sono potenzialmente evitabili?

La modalità di stima delle percentuali di riduzione delle emissioni di gas-serra prevedono che le proiezioni siano costruite ipotizzando un'assenza di interventi; di conseguenza, ogni stima è per sua stessa natura evidentemente teorica. Rispetto alla stima qui presentata, va precisato che essa è basata sulla cosiddetta "Marker Scenarios", una metodologia sviluppata dall'IPCC (2000b). Questa non include proiezioni basate su scenari che prevedono assunzioni relative all'aumento della fornitura d'energia e dei consumi, né relative misure indirizzate al raggiungimento d'impegni di riduzione delle emissioni di gas-serra. Le proiezioni fornite dai più importanti scenari fin qui realizzati indicano, all'anno 2050, le emissioni di CO₂ dovute alla combustione di fonti fossili d'energia, comprese tra 15 e 25 GtC.

stimata in oltre 1300 EJ l'anno (IPCC, 2000b).

Il potenziale *sink* globale di carbonio attualmente ottenibile con la gestione degli ecosistemi vegetali è stimato essere compreso tra 60 e 87 GtC in 50 anni (da 1,2 a 1,7 GtC l'anno), equivalenti al 7-15% delle emissioni medie da carburanti fossili nel periodo 2000-2050 (IPCC, 1996; 2000a; 2000b). A livello globale, si può promuovere l'aumento dei serbatoi di carbonio nella biomassa vegetale per i prossimi 50-100 anni ed oltre, ma ad un certo punto si raggiungeranno i limiti ecologici o pratici, oltre i quali si richiederà l'adozione di nuove misure. In realtà, questo potenziale può essere raggiunto producendo contemporaneamente una maggiore quantità di bio-energia, che potrebbe derivare in parte da nuove piantagioni forestali e in parte da forme migliorate di gestione dei sistemi agricoli.

Si stima che l'accumulo potenziale aggiuntivo di carbonio nei prodotti dell'industria del legno sia relativamente modesto rispetto al *sink* di carbonio realizzato dalla vegetazione vivente (Winjum *et al.*, 1998), o rispetto a quello della biomassa legnosa da usare in sostituzione dei combustibili fossili (si veda per questo anche la domanda 3).

10. La tecnologia attualmente disponibile per la produzione di bio-energia può svolgere un ruolo nella riduzione della CO₂ atmosferica?

La combustione della biomassa come fonte diretta di calore e di luce è spesso citata come una delle più fondamentali conquiste tecniche dell'umanità. Potrebbe, pertanto, apparire bizzarro sostenere che la fonte energetica biomassa, utilizzata facendo ricorso alle moderne tecnologie disponibili, possa offrire una risposta ai cambiamenti climatici, uno dei principali problemi ambientali dell'attualità. Per decine di anni, calore ed elettricità sono stati prodotti a fini commerciali con i residui di biomassa, ad esempio, nell'industria della lavorazione della canna da zucchero e, soprattutto, nell'industria forestale. La tecnologia di base degli impianti che utilizzano i combustibili fossili solidi è impiegabile anche per la biomassa. Nuove tecnologie, come il Ciclo Combinato di Gasificazione Integrata e i sistemi di combustione previa gasificazione sono attualmente in fase di sviluppo, con l'obiettivo prioritario di migliorare l'efficienza di produzione dell'elettricità da biomassa. La pirolisi rapida per la produzione di biocarburante liquido (olio pirolitico) è a uno stadio pilota; pur tuttavia, diversi studi sono condotti per valutare la possibilità di adattare bruciatori a olio, motori diesel e turbine a gas a tale tipo di carburante.

Attualmente diversi carburanti liquidi, ottenuti dalla canna da zucchero, dal mais e dalla colza, sono utilizzati su scala industriale per il trasporto, in sostituzione dei carburanti convenzionali. Nei primi anni '90 in Brasile circa il 40% dei veicoli utilizzavano l'etanolo. Inoltre, anche se non ancora diffusi a livello commerciale, nuovi procedimenti per la produzione d'etanolo dalla biomassa legnosa sono stati sviluppati.

In alcuni paesi, si sta diffondendo il riscaldamento di distretti urbani, realizzato con biomassa legnosa. In molti paesi in via di sviluppo sono in corso progetti finalizzati al miglioramento dell'efficienza di combustione per la cottura dei cibi, sostituendo forme convenzionali (semplice fuoco) con cucine economiche. Inoltre, è possibile produrre localmente elettricità o gas da biomassa, utilizzando impianti di gasificazione di piccole dimensioni o sistemi di fermentazione della biomassa.

Ringraziamenti

Le informazioni riportate in questa pubblicazione sono il risultato di una intensa collaborazione tra vari esperti internazionali di selvicoltura, bionergia e bilanci di gas-serra. Oltre alla attiva collaborazione dei *National Team Leaders* della IEA Bioenergy Task 38, significativi contributi sono stati forniti da Mike Apps, Miriam Baldwin, Pål Börjesson, Lorenzo Ciccarese, Jenny Claridge, Justin Ford-Robertson, Julian Gibson-Watt, Rebecca Heaton, Rod Keenan, Miko Kirschbaum, Gregg Marland, Ralph Overend, Kim Pingoud and Yrjö Solantausta. Le figure sono state predisposte da Luke Wallich-Clifford e John Williams. Il pieghevole è stato disegnato e formattato da Toni Stachl.

Letteratura citata

- BIN (2001) Bioenergy: Frequently Asked Questions. Bioenergy Information Network website (<http://bioenergy.ornl.gov/faqs>).
- Boman, U.R. e Turnbull, J.H. (1997) Integrated biomass energy systems and emissions of carbon dioxide. *Biomass and Bioenergy*, 13, 333–343.
- Börjesson, P.I.I. (1996) Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass and Bioenergy*, 11, 305–318.
- Börjesson, P., Gustavsson, L., Christersson, L. e Linder, S. (1997) Future production and utilisation of biomass in Sweden: potentials and CO₂ mitigation. *Biomass and Bioenergy*, 13, 399–412.
- Buchanan, A.H. e Honey, B.G. (1995) Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings*, 20, 205–217.
- Cannell, M.G.R. (1999) Growing trees to sequester carbon in the UK: answers to some common questions. *Forestry*, 72, 237–244.
- Davidson, E.A. e Hirsch, A.I. (2001) Fertile forest experiments. *Nature*, 411, 431–433.
- EREN (2001) Bioenergy. Energy Efficiency and Renewable Energy Network website (<http://www.eren.doe.gov/RE/bioenergy.html>).
- FAO (2001) Global Forest Resources Assessment 2000. Summary Report. Food and Agriculture Organisation website (<http://www.fao.org/forestry/fo/fra/index.jsp>).
- Gustavsson, L., Borjesson, P., Johansson, B. e Svenningsson, P. (1995) Reducing CO₂ emissions by substituting biomass for fossil fuels. *Energy*, 20, 1097–1113.
- Hall, D.O. e Scrase, J.I. (1998) Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future? *Biomass and Bioenergy*, 15, 357–367.
- International Energy Agency (1994) Biofuels, energy and environment. Policy analysis series.
- International Energy Agency Statistics (2000a) Energy statistics of non-OECD countries 1997–1998.
- International Energy Agency Statistics (2000b) Energy statistics of OECD countries 1997–1998.
- IPCC (1996) Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific and technical analyses. Contribution of Working Group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2000a) Land use, land-use change and forestry. Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J. e Dokken, D.J., ed. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2000b) Emissions scenarios. Nakicenovic, N. e Swart, R., ed. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2001) Climate change 2001: the scientific basis. Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J. e Xiaosu, D., ed. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maclaren, J.P. (2000) Trees in the greenhouse: the role of forestry in mitigating the enhanced greenhouse effect. *Forest Research Bulletin* 219. Rotorua: Forest Research.
- Mann, M.K. e Spath, P.L. (2000) Life Cycle Assessment of electricity from bio-mass versus coal in the USA. In: Robertson, K.A. e Schlamadinger, B., ed. Bioenergy for mitigation of CO₂ emissions: the power, transportation and industrial sectors. Atti del workshop organizzato da IEA Bioenergy Task 25, 27–30 Settembre 1999, Gatlinburg, USA. Graz: IEA Bioenergy Task 25, 37–44.
- Matthews, R.W. (1996) The influence of carbon budget methodology on assessments of the impacts of forest management on the carbon balance. In: Apps, M.J. e Price, D.T., ed. Forest ecosystems, forest management and the global carbon cycle. NATO ASI Series, I 40, 293–301.
- Matthews, R.W. (2001) Modelling energy and carbon budgets of wood fuel coppice systems. *Biomass and Bioenergy*, 21, 1–19.
- Matthews, R.W. e Mortimer, N.D. (2000) Estimation of carbon dioxide and energy budgets of wood-fired electricity generation systems in Britain. In: Robertson, K.A. e Schlamadinger, B., ed. Bioenergy for mitigation of CO₂ emissions: the power, transportation and industrial sectors. Atti del Workshop organizzato da IEA Bioenergy Task 25, 27–30 September 1999, Gatlinburg, USA. Graz: IEA Bioenergy Task 25, 59–78.
- McLaughlin, S.B. e Walsh, M.E. (1998) Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 14, 317–324.
- Richter, K. (1998) Life Cycle Assessment of wood products. In: Kohlmeier, G.H., Weber, M., e Houghton, R.H., ed. Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry. Heidelberg: Springer-Verlag, 219–248.
- Solberg, B. (ed.) (1996) Long term trends and prospects in world supply and demand for wood and implications for sustainable forest management. European Forest Institute Research Report 6. Joensuu: European Forest Institute.
- UNFCCC (1992) Convention on climate change. UNFCCC website. (<http://www.unfccc.de/resource/conv>).
- Winjum, J.K., Brown, S. e Schlamadinger, B. (1998) Forest harvests and wood products – sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science*, 44, 272–284.

IEA Bioenergy è un accordo internazionale di collaborazione, sotto gli auspici della Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA), finalizzato a migliorare la cooperazione internazionale e lo scambio di informazioni tra i vari programmi nazionali sulla bio-energia (RD&D). IEA Bioenergy intende stimolare l'uso a costi competitivi e ambientalmente compatibili della bio-energia su basi sostenibili, per contribuire in modo sostanziale alle future richieste di energia.

La Task 38 (operativa nel periodo 2001-2003) integra e analizza informazioni sui gas-serra, sulla bio-energia e sull'uso del suolo, coprendo tutte le competenze che contribuiscono ad un sistema basato su biomassa e bio-energia. I suoi obiettivi sono:

- Sviluppare, comparare e rendere disponibili modelli integrati per determinare i bilanci dei gas-serra nell'ambito dei sistemi bioenergetici e di fissazione del carbonio a livello di progetto, a livello operativo e regionale, individuando le specifiche priorità nell'ambito dei diversi livelli.
- Determinare il ciclo di vita del bilancio dei gas-serra nell'ambito di questi sistemi, considerando le dispersioni, gli incrementi e le cause

d'incertezza. Confronta i sistemi a bio-energia con, ad esempio, i sistemi ad energia fossile, e i prodotti legnosi con gli altri materiali, quali l'acciaio e il cemento.

- Analizzare le potenzialità insite nella bio-energia, nella forestazione, e nelle altre strategie di mitigazione, basate sulla produzione di biomassa a livello nazionale e regionale, comprese le implicazioni dovute all'aumento concentrazione atmosferica di CO₂.
- Facilitare i decisori politici nella scelta delle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici che ottimizzano i benefici in relazione alla riduzione dei gas-serra, come, ad esempio, massimizzare la produzione di bio-energia mantenendo gli *stock* di carbonio a livelli elevati; o ottimizzare l'utilizzo di biomassa per scopi energetici piuttosto che per ottenere materie prime. Nel fare questo, Task 38 tiene conto dei costi e benefici e della praticabilità delle diverse strategie di mitigazione.
- Assistere nell'implementazione delle opzioni forestali, d'uso del suolo e d'impiego della bio-energia, con un lavoro metodologico e con la predisposizione di modalità e *standard* gestionali.

National Team Leaders of IEA Bioenergy Task 38



AUSTRALIA, Annette Cowie
State Forests New South Wales
P.O. Box 100, Beecroft, New South Wales 2119, AUSTRALIA
Phone: +61 2 9872-0138
Fax: +61 2 9872-6941
e-mail: annettec@sf.nsw.gov.au



NEW ZEALAND, Kimberly Robertson
Force Consulting
Private Bag 3020, Rotorua, NEW ZEALAND
Phone: +64 7 343 5359
Fax: +64 7 343 5332
e-mail: kimberly.robertson@forestresearch.co.nz



AUSTRIA, Bernhard Schlamadinger (TASK LEADER)
Joanneum Research
Elisabethstrasse 5, A-8010 Graz, AUSTRIA
Phone: +43 316 8769-1340
Fax: +43 316 876-1320
e-mail: bernhard.schlamadinger@joanneum.at



IRELAND, Kenneth Byrne
Forest Ecosystem Research Group
University College Dublin
Belfield, Dublin 4
Phone: +353 1 716-7725 • Fax: +353 1 716-1102
e-mail: kenneth.byrne@ucd.ie

Susanne Woess-Gallasch (National Team Leader)
Joanneum Research
Phone: +43 316 876-1330 • Fax: +43 316 8769-1330
e-mail: susanne.woess@joanneum.at



NORWAY, Birger Solberg
Agricultural University of Norway-Dept. of Forest Sciences
P.O. Box 5044, N-1432 Ås
Phone: +47 64 94 88 80
Fax: +47 64 94 88 90
e-mail: birger.solberg@isf.nlh.no



CANADA, Terry Hatton
Canadian Forest Service, Natural Resources Canada
580 Booth St., Ottawa, Ontario
K1A 0E4 Canada
Phone: +1 613 947-9077 • Fax: +1 613 947-9020
e-mail: thatton@ncran.gc.ca



SWEDEN, Leif Gustavsson
Mid Sweden University
SE-831 25 Östersund
Phone: +46 63 165-979 • Fax: +46 63 165-450
e-mail: leif.gustavsson@mh.se



CROATIA, Snjezana Fijan-Parlov
EKONERG
Koranska 5, PP 144, HR-10000 ZAGREB
Phone: +385 1 6000-122 • Fax: +385 1 6171-560
e-mail: sfijan@ekonerg.hr



THE NETHERLANDS, Kees Kwant
NOVEM
Catharijnesingel 59, Postbus 8242
3503 RE Utrecht, THE NETHERLANDS
Phone: +31 30 2393 587
Fax: +31 30 2316 491
e-mail: a.de.zeeuw@novem.nl



DENMARK, Niels Heding
Danish Forest and Landscape Research Institute
Hoersholm Kongevej 11, DK 2970 Hoersholm, DENMARK
Phone: +45 45 763 200
Fax: +45 45 763 233
e-mail: NIH@fsl.dk

Andre Faaij
Utrecht University
Padualaan 14, 3584 CH Utrecht, THE NETHERLANDS
Phone: +31 30 2393 587
Fax: +31 30 2316 491
e-mail: a.p.c.faaij@chem.uu.nl



FINLAND, Ilkka Savolainen
VTT-Energy
P.O. Box 1606
FIN-02044 VTT (Espoo), FINLAND
Phone: +358 9 456-5062
Fax: +358 9 456-6538
e-mail: ilkka.savolainen@vtt.fi



UNITED KINGDOM, Robert Matthews
Forestry Commission, Research Agency
Mensuration Branch, Alice Holt Lodge, Wrecclesham
Farnham, Surrey GU10 4LH, UNITED KINGDOM
Phone: +44 1420 526-235
Fax: +44 1420 234-50
e-mail: robert.matthews@forestry.gsi.gov.uk



UNITED STATES, Matthew Ringe
National Renewable Energy Laboratory
1617 Cole Blvd, MS-1613, Golden, Colorado, USA
Phone: +1 303 384 7747
Fax: +1 303 384 6363
e-mail: matthew_ringer@nrel.gov

Operating Agent: Republic of Austria

Josef Spitzer, JOANNEUM RESEARCH

Elisabethstrasse 5, A-8010 Graz, AUSTRIA • Phone: +43 316 876-1332 • Fax: +43 316 876-1320 • e-mail: josef.spitzer@joanneum.at
The Task Leader is assisted by Susanne Woess-Gallasch