



**APAT**

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

## **Bio-energia e cambiamenti climatici**

La biomassa, traduzione del termine inglese *biomass*, è l'abbreviazione di 'massa biologica' e indica qualsiasi sostanza organica, sia vivente sia morta, derivata direttamente o indirettamente dalla fotosintesi, il processo fisiologico che consente agli organismi dotati di clorofilla di captare l'energia radiante, di trasformarla in energia chimica e di stoccarla sotto forma di molecole più o meno complesse. La stessa biomassa può essere usata per produrre energia (bio-energia), direttamente come combustibile o convertita in altri tipi di combustibile o elettricità e/o calore, grazie a processi termo-chimici e bio-chimici<sup>1</sup>.

I sistemi energetici che si basano sull'uso della biomassa hanno il vantaggio di fornire energia in forma d'elettricità, calore e combustibili liquidi/gassosi, di offrire energia disponibile localmente, di fornire opportunità di sviluppo socio-economico per le popolazioni rurali, di contrastare l'esodo dalle aree rurali, di contribuire a una gestione più attiva e sostenibile delle risorse agro-forestali.

Negli ultimi tempi si è manifestata una crescente attenzione verso la bio-energia, per una serie multipla di fattori, tra cui l'aumento del costo delle fonti fossili d'energia e le politiche internazionali di contenimento dei loro consumi.

Quest'ultimi, infatti, sono ritenuti la causa principale dell'aumento della concentrazione in atmosfera di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e d'altri gas-serra (Marland *et al.* 2005), a loro volta giudicati, insieme alla deforestazione e alla degradazione degli ecosistemi terrestri (Fearnside 2000), una delle cause principali dell'alterazione del bilancio radiativo della Terra e dei cambiamenti climatici globali.

Nella ricerca di sistemi energetici e territoriali che abbiano un impatto sulla concentrazione dei gas-serra, la biomassa rappresenta senza dubbio una soluzione interessante (Gustavsson *et al.* 1995; Marland e Schlamadinger 1995, Schlamadinger *et al.* 2001; Schlamadinger *et al.* 2004).

Nei paragrafi che seguono sarà analizzato il ruolo che la bio-energia svolge e potrà svolgere nel sistema energetico internazionale e nazionale e le iniziative di promozione dell'uso della bio-energia nelle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici.

---

<sup>1</sup> I primi impiegano le alte temperature per trasformare la biomassa direttamente in energia termica o produrre materiali e composti chimici ricchi di energia. In questo caso, il prodotto finale varia in relazione alle condizioni del processo. I processi biochimici trasformano la biomassa in composti chimici a più alta qualità energetica (principalmente biogas, alcoli e idrogeno) e comprendono la fermentazione aerobica, la fermentazione anaerobica, l'idrolisi acida e l'idrolisi enzimatica.

## 2. CO<sub>2</sub> da fonti fossili d'energia e da bio-energia: cosa cambia per l'atmosfera

Nel contesto scientifico e politico sui cambiamenti climatici, c'è una differenza sostanziale tra l'energia prodotta con combustibili fossili e quella con biomassa. L'uso di combustibili fossili rilascia CO<sub>2</sub> che è rimasta immobilizzata nei giacimenti geologici per milioni di anni. Al contrario, la combustione della biomassa restituisce all'atmosfera la CO<sub>2</sub> già assorbita dalle piante e, se il ciclo produttivo e l'uso delle risorse rimangono inalterati nel tempo, non causa un aumento complessivo di CO<sub>2</sub> (Figura 1).

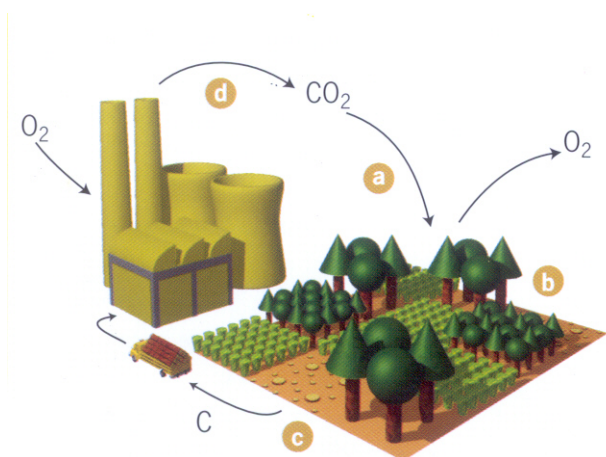


Figura 1. Illustrazione del ciclo del carbonio nel processo di accumulo di biomassa in coltivazioni e piantagioni forestali a fini energetici e di utilizzo della stessa in una centrale elettrica. **a**: attraverso la fotosintesi, l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) atmosferica è catturata dalle coltivazioni e dalle foreste, per costruire zuccheri e altri composti ; **b**: l'ossigeno (O<sub>2</sub>) è rilasciato e il carbonio (C) immagazzinato, in diverse forme, nella biomassa delle piante; **c**: il C presente nella biomassa raccolta è trasportato alla centrale; **d**: la centrale consuma la biomassa, rilasciando nell'atmosfera la CO<sub>2</sub> catturata precedentemente dalle piante. Considerando il ciclo nel suo complesso, non si verificano emissioni nette di CO<sub>2</sub>. (Fonte: IEA, Bioenergy Task 38)

La produzione di bio-energia richiede il consumo di energia fossile, per esempio, per far funzionare le motoseghe, le macchine per l'esbosco, ecc. (D'altra parte, anche le fonti fossili d'energia richiede il consumo di una quota energetica per la loro estrazione, trasformazione o trasporto.) I bilanci energetici più noti effettuati sulla bio-energia indicano che, per ogni unità di energia fossile consumata, sono prodotte, approssimativamente, dalle 25 alle 50 unità di bio-energia (Börjesson 1996, McLaughlin e Walsh 1998, Matthews 2001). La produzione di bio-energia allo stato liquido (bio-diesel o olio pirolitico, per esempio) richiede un *input* energetico maggiore (circa 4-5 unità di energia prodotta per unità di energia fossile utilizzata), ma nonostante ciò riduce sensibilmente il consumo di combustibili fossili (Schlamadinger e Marland 2001). Le emissioni nette di carbonio per generare un'unità di energia elettrica con bio-energia sono dalle 10 alle 20 volte inferiori a quelle causate dalla produzione di elettricità con combustibili fossili.

### 3. Carbon sink o bio-energia?

L'United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), nel riconoscere che i cambiamenti climatici sono una minaccia per l'umanità, stabilisce un quadro operativo all'interno del quale avviare azioni per stabilizzare la concentrazione atmosferica dei gas-serra a un livello tale da impedire "interferenze pericolose" con il sistema climatico, richiamando in particolare l'attenzione dei paesi firmatari sulla riduzione dei consumi di combustibili fossili, del miglioramento dell'efficienza energetica e lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili. L'UNFCCC, inoltre, ha ravvisato un ruolo fondamentale degli ecosistemi terrestri all'interno del ciclo globale del carbonio e, di conseguenza, nelle strategie di controllo delle emissioni clima-alteranti (Ciccarese *et al.* 2005).

Questo ruolo si rende concreto attraverso tre tipi di interventi su base territoriale (o come sono definiti *land-use, land-use change and forestry*, LULUCF): creazione di nuove foreste, appropriata gestione delle foreste e degli ecosistemi terrestri esistenti (tra cui quelli agricoli), uso della biomassa in sostituzione delle fonti fossili e di altri materiali (Brown *et al.* 1996, IPCC 2001, Binkley *et al.* 2002, Krapfenbauer e Hochbichler 2003; Liski *et al.* 2003).

Questa funzione di *sink* di C è stata riconosciuta dal Protocollo di Kyoto, l'accordo internazionale che definisce l'impegno per i paesi industrializzati di ridurre, nel periodo compreso tra il 2008 e il 2012, le emissioni complessive di sei principali gas-serra del 5,2% rispetto a quelle del 1990. In particolare, gli articoli 3.3, 3.4, 6 e 12, e gli accordi maturati nell'ambito del processo negoziale che ne è seguito, hanno definito le attività LULUCF che i paesi industrializzati hanno a disposizione per raggiungere gli impegni di riduzione delle emissioni clima-alteranti (Ciccarese *et al.* 2003).

Tuttavia, la foresta di nuova formazione funge da *sink* fintantoché sia raggiunto il limite massimo, ecologico, oltre al quale le perdite dovute a respirazione, morte delle piante o cause esterne di disturbo (incendi, uragani, attacchi di parassiti e patogeni) o a utilizzazioni ed altre operazioni forestali, bilanciano l'aumento di carbonio dovuto alla fotosintesi. In gergo, questo limite è noto con il termine 'saturazione', che limita il potenziale complessivo d'assorbimento di carbonio delle attività di ripristino forestale. Un altro limite alla capacità fissativa degli ecosistemi vegetali è ovviamente rappresentato dalla quantità di superficie disponibile per le attività LULUCF.

Anche il legno estratto dal bosco e trasformato in prodotti legnosi costituisce una riserva di carbonio. Questa aumenterà (agendo da serbatoio) fino a quando il deperimento e la distruzione dei vecchi prodotti legnosi sarà bilanciato dalla sostituzione con nuovi prodotti. Quindi le foreste e i prodotti da esse derivanti hanno una capacità finita di rimuovere CO<sub>2</sub> dall'atmosfera, e non agiscono come serbatoi di carbonio perpetui.

Quando invece una superficie forestale non è ripiantata dopo la sua utilizzazione o è perduta in modo permanente, a causa di eventi naturali prima citati, la riserva di carbonio che si era creata è dispersa.

Al contrario, i benefici derivanti dalla sostituzione dei combustibili fossili con bio-energia sono irreversibili. Infatti, quando è prodotta un'unità energetica da biomassa, sostituendo una fonte fossile qualsiasi, si evita l'emissione di una certa quantità di gas-serra in maniera permanente, anche se il modello bio-energetico che ha prodotto quella unità energetica opera per un tempo limitato. In termini energetici, è possibile stabilire una similitudine tra un impianto a biomassa e un impianto eolico. Infatti, quando quest'ultimo entra in esercizio, si evita di emettere in atmosfera una quantità di emissioni che sarebbero state prodotte da un impianto energetico alimentato con combustibili

fossili; inoltre, anche se la pala eolica dovesse essere soppressa, le emissioni evitate lo saranno permanentemente.

Spesso, nell'ambito delle cosiddette misure di "permanenza", è fatta una distinzione tra "serbatoi" di carbonio e sostituzione dei combustibili fossili con bio-energia. L'unico modo per estendere la capacità dei sistemi terrestri di ridurre le emissioni è di impiegare la biomassa in sostituzione delle fonti fossili d'energia o d'altri materiali che hanno alti costi energetici (Tuskan *et al.* 2001). Winjum *et al.* (1988) hanno stimato che l'accumulo potenziale di carbonio nei prodotti dell'industria del legno sia relativamente modesto rispetto al serbatoio di carbonio costituito dalla vegetazione o dalla biomassa legnosa che potrebbe potenzialmente sostituire le fonti fossili d'energia.

#### **4. Il contributo attuale della bio-energia e gli scenari futuri**

Il contributo della bio-energia al fabbisogno energetico globale non è ben documentato, fondamentalmente a causa del fatto che non esiste un mercato ufficiale della bio-energia e in particolare d'alcune forme di essa.

Ciò vale non soltanto per i paesi in via di sviluppo, ma anche nei paesi industrializzati, che pure dispongono d'informazioni rigorose per altri settori energetici. Secondo l'*International Energy Agency* (IEA 2005), nella ripartizione dei consumi finali totali d'energia, i consumi di biomassa (rinnovabili e da rifiuto) sono in aumento e rappresentano il 14,2% rispetto al totale (quasi 7,3 miliardi di tonnellate equivalenti di petrolio, Gtep), mentre era il 13,1% nel 1973 (quando i consumi totali finali erano pari a 4,6 Gtep). Nei Paesi industrializzati le biomasse rappresentano solo il 3,2% del totale dei consumi energetici finali (circa 3,8 Gtep), mentre esse rappresentano approssimativamente il 35% nei paesi in via di sviluppo. Secondo uno studio commissionato qualche anno fa dalla FAO, l'energia prodotta da legna da ardere rappresenta il 15% dell'uso totale d'energia nei paesi in via di sviluppo e meno del 2% nei paesi dell'area OCSE (Horgan 2001).

Attualmente, in Italia, la produzione lorda di energia da biomassa (comprendente legna e assimilati, biocombustibili e biogas) è stimata in circa 3,3 Mtep, a cui si aggiungono circa 1,0 Mtep proveniente dai rifiuti (Gaudioso 2005). Ma, come conferma uno studio dell'APAT, i consumi effettivi delle biomasse a fini energetici sono evidentemente sottostimati dai bilanci energetici nazionali (APAT 2004). Tale situazione è in gran parte da ricollegare ad una presenza diffusa di piccoli utilizzatori domestici e dalla disponibilità e relativo impiego di residui di lavorazione del legno nei processi industriali, fenomeni entrambi di non facile registrazione statistica.

Inoltre, se le valutazioni si allargassero a considerare non i consumi, ma le quantità effettivamente disponibili e l'offerta potenziale di biomasse legnose, i dati potrebbero segnalare la possibilità di una significativa espansione della filiera bosco-energia. Queste ipotesi vanno, tuttavia, considerate con una certa prudenza, soprattutto quando collegate all'espansione dei livelli di consumo in impianti di scala industriale dove la frazione della bio-energia rispetto ai consumi finali e totali nazionali varia dal 2 all'8% a seconda delle fonti informative e degli studi fin qui condotti (APAT 2004).

Per quanto riguarda gli scenari relativi a domanda e uso globali di bio-energia, sono stati prospettati diverse eventualità (per esempio, Hall *et al.* 1993; WEC 1994; Fujino *et al.* 1999; Fisher e Schratzenholzer 2001; IPCC 2001; Smeets *et al.* 2004). Hall e Scrase (1998) avevano ipotizzato, per l'anno 2050, che il contributo potenziale della bio-energia potrà variare tra i 95 e i 280 EJ (in grado di ridurre le emissioni tra 1,4 e 4,2 GtC l'anno, ovvero tra il 5 e il 25% delle emissioni da carburante fossile previste per l'anno 2050 (IPCC 2001). Secondo un secondo rapporto dell'IEA

(2005b), la bio-energia potrà fornire circa 92 EJ nel 2020 e 159 EJ nel 2050, mentre secondo Hoogwijk *et al.* (2002) il potenziale potrebbe variare da 33 fino a 1135 EJ l'anno.

E' ovvio che la plausibilità di raggiungere queste prospettive dipende da una serie di molteplici fattori, e principalmente dalla possibilità di migliorare ulteriormente l'efficienza dei sistemi di combustione delle risorse già disponibili e di aumentare l'entità della biomassa prodotta e utilizzata (anche attraverso il miglioramento delle pratiche agronomiche e forestali, e le biotecnologie).

Già da diversi anni, grazie all'adattamento delle tecnologie di base degli impianti che utilizzano i combustibili fossili solidi a biomassa, sono stati possibili notevoli incrementi dell'efficienza energetica (Wright e Perlack 2000). Negli USA, per esempio, sono attualmente prodotti circa 60 miliardi di Kwh d'elettricità da biomassa, pari a circa il 2% del totale nazionale. E nell'immediato futuro la maturazione di nuove tecnologie, come il Ciclo Combinato di Gasificazione Integrata e i sistemi di combustione previa gasificazione, potrebbe far aumentare sostanzialmente l'efficienza di produzione dell'elettricità da biomassa. La pirolisi<sup>2</sup> 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 carburante.

Carburanti liquidi, ottenuti dalla canna da zucchero, dal mais e dalla colza, sono anche utilizzati per il trasporto su scala industriale, in sostituzione di quelli convenzionali. Nei primi anni '90, in Brasile circa il 40% dei veicoli utilizzavano l'etanolo, mentre negli USA sono prodotti attualmente circa 1 miliardo di galloni di etanolo, circa l'1% dei combustibili liquidi usati nello stesso paese per l'autotrazione. In Italia la produzione di biocombustibili nel 2003 è stata pari a circa 177.000 tonnellate di petrolio equivalenti (TEP) (Gaudio 2005).

Recentemente diverse ricerche sono svolte per sviluppare procedimenti per la produzione di etanolo a partire da biomassa legnosa, non ancora diffusi a livello commerciale. In alcuni paesi, sta prendendo piede il riscaldamento di distretti urbani, realizzato con biomassa legnosa. In molti paesi in via di sviluppo è necessario migliorare l'efficienza della combustione per la cottura dei cibi, sostituendo il semplice fuoco con apposite stufe. Inoltre, è possibile produrre localmente elettricità o gas da biomassa, utilizzando impianti di gasificazione a piccola scala o sistemi di fermentazione della biomassa. Attualmente diversi carburanti liquidi, ottenuti dalla canna da zucchero, dal mais e dalla colza, sono anche utilizzati per il trasporto su scala industriale, in sostituzione di quelli convenzionali.

## **5. Bio-energia: scelta giusta per la biodiversità?**

Lo sviluppo della bio-energia dipenderà, oltre che dalla crescita dell'efficienza dei sistemi di combustione, anche dalla capacità di recuperare bio-energia per produrre biomassa per fini energetici e, di conseguenza, dalla quantità di biomassa per unità di superficie e di aree agricole da destinare a tale tipo di produzione. Ciò pone interrogativi non di poco conto, che investono, questioni sociali e ambientali. *How Much Land Can Ten Billion People Spare for Nature?* ricordava Waggoner (1994) in un celebre articolo, ponendo la questione della priorità di destinazione d'uso da assegnare ai suoli.

Da un punto di vista più propriamente ambientale, i cambiamenti di uso del suolo possono avere un impatto di segno opposto, positivo o negativo, sulle principali caratteristiche ambientali, quali la biodiversità, la qualità del suolo, il paesaggio, la disponibilità e la qualità dell'acqua,

---

<sup>2</sup> La pirolisi è rocesso di trasformazione termochimica che consiste in una degradazione a carico dei polimeri organici e delle sostanze minerali del legno, sotto l'azione del calore e in assenza di ossigeno, in cui l'olio pirolitico (bio-olio), liquido, è il prodotto principale rispetto al carbone e al gas che si formano nel corso dello stesso processo.

l'inquinamento di fiumi e laghi, l'emissione di sostanze tossiche (McLaughlin e Walsh 1998). Si tratta di argomenti complessi, spesso legati ai casi specifici. Nel caso della biodiversità (sia animale sia vegetale) l'impatto ambientale generato dalla creazione di piantagioni forestali con finalità energetiche può essere di duplice natura. Sicuramente negativi quando essi sono realizzati su aree naturali o semi-naturali e ancora di più se le piantagioni sono monospecifiche, se realizzate con specie non native, e con materiale d'impianto ottenuto per via agamica o geneticamente modificato; inoltre, le pratiche colturali che insistono su tali aree possono provocare una riduzione di biodiversità, attraverso un'alterazione della qualità degli habitat *per se* (per effetto dell'uso di pesticidi e d'erbicidi, di fenomeni d'erosione del suolo, ecc.) e degli ecosistemi (frammentazione, effetti sugli organismi degli habitat adiacenti, ecc.). Altri impatti negativi possono essere associati alla compattazione del suolo, alla qualità e quantità delle risorse idriche, all'*run-off* d'erbicidi, di pesticidi e di fertilizzanti in eccesso che possono contaminare il suolo e il mezzo liquido in esso presente.

D'altro canto, occorre sottolineare che se le «coltivazioni-energia» sono realizzate su terreni ex-agricoli o su suoli degradati gli effetti sulla biodiversità animale e vegetale sulla riduzione dei fenomeni erosivi (Malik *et al.* 2000) e sulla qualità dei suoli sono senz'altro positivi (Tolbert *et al.* 2000). Inoltre, essendo le specie comunemente impiegate per questo tipo d'impianti (*Salix* spp., *Populus* spp.) particolarmente efficaci nell'assorbire i composti azotati, specialmente in confronto alle coltivazioni erbacee annuali, le piantagioni arboree a fini forestali possono produrre benefici in termini d'abbattimento delle eccessive concentrazioni d'azoto presenti nei suoli. Ancora in questo contesto, le piantagioni-energia possono essere usate nelle *wetland* artificiali, per la depurazione di reflui da metalli pesanti quali zinco, rame, cadmio, piombo o per "ripulire" suoli inquinati (Christopher e Isebres 2000, Adegbi 2001).

Attraverso un'oculata gestione, è possibile dare un equilibrio tra mantenimento della produzione e della biodiversità. Ciò può essere raggiunto, per esempio, con l'uso di materiale forestale di propagazione attentamente selezionato, al fine d'ottenere una diversità genetica (intraspecifica); 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 corridoi ecologici 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.

## 7. Letteratura citata

Adegbi H.G., Volk T. A., White E.H., Abrahamson L.P., Briggs R.D.; Bickelhaupt D.H. (2001). Biomass e nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass & Bioenergy* 20: 399-411.

APAT (2004) Le biomasse legnose. Un'indagine delle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti d'energia. Rapporti APAT 30. 99 p. ISBN 88-448-0097-7. Disponibile al sito [http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Rapporti/Documento/rapporti\\_2003\\_30.html](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Rapporti/Documento/rapporti_2003_30.html) (citato il 10 ottobre 2005)

BIN (Bioenergy Information Network) (2002). Bioenergy: Frequently Asked Questions. BIN website (<http://bioenergy.ornl.gov/faqs>).

- Binkley C.S., Brand D., Harkin Z., Bull G., Ravindranath N.H., Obersteiner M., Nilsson S., Yamagata Y., Krot M. (2002) - Carbon sink by the forest sector options and needs for implementation. *Forest Policy and Economics* 4 (1): 65-77.
- Börjesson P. I. I. (1996) Energy analysis of biomass production e transportation. *Biomass & Bioenergy* 11, 305–318.
- Brown S., Sathaye J, Cannell M., Kauppi P., 1996 - Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. 773-797. In: Watson R T, Zinyovewera M C, Moss R H (eds.) - *Climate Change 1995, Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical analysis. Report of Working Group II, Second Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Christopher R., Isebres J.G. (2000). Growth and contaminant uptake by hybrid poplars e willows in response to application of municipal lefill leachate. Pp. 151. In: *Proceedings of the 21st Session of the International Poplar Commission Meeting, Poplar e Willow Culture: Meeting the Needs of Society e the Environment* (Isebres, J.G.; Richardson, J., eds.). North Central Research Station, St. Paul, Minnesota, USA:
- Ciccarese L; Avitabile V., Brown S., Pettenella D. e Schlamadinger B. (2003) Possono le foreste mitigare i cambiamenti climatici? *Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi* 94 (10): 26-30.
- Ciccarese L., Brown S. e Schlamadinger B. (2005). Carbon sequestration through restoration of temperate and boreal forests. In: *Restoration of boreal and temperate forests* (Stanturf J.A. e Madsen P., ed.). Capitolo 7: 111-120. ISBN 1-56670-635-1. CRC Press. Boca Raton, USA. 569 p.
- Fearnside P. M. (2000). Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climate Change* 46: 115–158.
- Fujino J., K. Yamaji e H. Yamamoto (1999). Biomass-Balance Table for evaluating bioenergy resources. *Applied Energy* 63(2): 75-89.
- Gaudio D., ref. (2005). Energia. In: *Annuario dei dati ambientali. Edizione 2004.* Agenzia per la protezione dell’ambiente e per i servizi tecnici – Servizio interdipartimentale Informativo Ambientale. Capitolo 2: 115-162. ISBN 88-448-0147-7. APAT, Roma. Disponibile su Internet al sito: <http://annuario.apat.it/databaseannuario/apat/> (citato il 10 ottobre 2005)
- Gustavsson L., Borjesson P., Johansson B. e Svenningsson P. (1995) Reducing CO2 emissions by substituting biomass for fossil fuels. *Energy - the International Journal* 20(11):1097-1113.
- Hall D.O. e Scrase J. I. (1998) Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future? *Biomass e Bioenergy* 15, 357–367.
- Hall D. O., F. Rosillo-Calle, R. J. Williams and J. Woods (1993). Biomass for Energy: Supply prospects. *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity.* T. B. Johansson, H. Kelly, A. K. N. Reddy and R. H. Williams. Washington D.C., Island Press: 593-651.
- Hoogwijk M., Faaij A., Van den Broek R., Berndes G., Gielen D., Turkenburg W. (2002). Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy* 25(2): 119-133.

- Horgan G.P. (2001). Analysis of Economic e Financial Aspects of Wood Energy Systems. Food e Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 49 p.
- IEA (2003) Energy to 2050. Scenarios for a sustainable future. ISBN 92-64-01904-9. IEA Publications. Paris, France. 219 p.
- IEA (2005). International Energy Statistics. Key World Energy Statistics. 79 p. International Energy Agency. Paris, France. Disponibile al sito: <http://www.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/nppdf/free/2005/key2005.pdf> (citato il 10 ottobre 2005)
- IPCC (2001) Climate Change 2000 Synthesis Report – Third Assessment Report. Cambridge University Press.
- Krapfenbauer A. e Hochbichler E. (2003) Grundlagen für eine Bewertung der Wälder als Kohlendioxid-senken. [Fondamenti per una valutazione delle foreste come *sink* d'anidride carbonica]. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 120 (3-4): 177-210.
- Liski J., Korotkov A.V., Prins C.F.L., Karjalainen T., Victor D.G., Kauppi, P.E. (2003). Increased carbon sink in temperate and boreal forests. Climatic Change 61 (1-2): 89-99.
- Malik R.K., Green T.H., Brown G.F., Mays D. (2000) Use of cover crops in short rotation hardwood plantations to control erosion. Biomass & Bioenergy 18: 479-487.
- Marland G. e B. Schlamadinger. (1995) Biomass fuels e forest-management strategies: how do we calculate the greenhouse gas emission benefits? Energy - The International Journal 20(11):1131-1140.
- Marland, G., Boden T.A., e Andres R. J.(2005). Global, Regional, and National CO2 Emissions. 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. Disponibile al sito: [http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/tre\\_glob.htm](http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.htm)
- Marle G. e A.F. Turhollow (1991) CO2 emissions from the production e combustion of fuel ethanol from corn energy. The International Journal 16 (11/12):1307-1316.
- Matthews R.W. (2001) Modelling energy e carbon budgets of wood fuel coppice systems. Biomass e Bioenergy 21, 1–19.
- McLaughlin S. B. e Walsh M. E. (1998) Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. Biomass e Bioenergy 14, 317–324.
- Schlamadinger B., Grubb M., Azar C., Bauen A. e Berndes G. (2001). Carbon sinks and biomass energy production: a study of linkages, options and implications. Climate Strategies, International Network for Climate Policy Analysis. London, UK.
- Schlamadinger B. e Marland G. (2001). The role of bio-energy and related land use in global net CO<sub>2</sub> emissions. Pp. 21-27. In: Woody biomass as energy source. Challenges in Europe. P. Pelkonen, P Hakkila, T. Karjalainen, B. Shlamadinger (eds.). European Forest Institute Proceedings 39/2001. . ISBN 952-9844-87-5

- Schlamadinger B., Faaij A. e Daugherty E. (2004). Should we trade biomass, electricity, renewable certificates, or CO<sub>2</sub> credits? In: Proceedings of the 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection.
- Tolbert V.R., Thornton F.C., Joxlin J.D., Bock B.R., Bearanayake W., Houston A.E., Tyler D.D., Mayes D.A., Green T.H., Pettry D.E. (2000). Increasing below-ground carbon sequestration with conversion of agricultural lands to production of bio-energy crops. *New Zealand Journal of Forestry Science* 30:138-149.
- Tuskan, G.A.; Walsh, M.E. (2001) Short-rotation woody crop systems, atmospheric carbon dioxide and carbon management: A U.S. case study. *The Forestry Chronicle* 77:259-264
- UNFCCC (1992) United Nations Convention on Climate Change. Disponibile sul sito <http://www.unfccc.int/resource/conv>
- Waggoner, P.E. (1994). How Much Land Can Ten Billion People Spare for Nature? Council for Agricultural Science and technology. Task force report No. 121, Ames, IA, USA. ISSN 0194-4088.
- WEC (1994). *New Renewable Energy Sources. A guide to the future.* London, U.K., World Energy Council. Kogan Page Limited.
- Wright L., Perlack, R. (2000). Bioenergy Developments. *Energy Efficiency Journal* 8: 27-28.
- Smeets E., Faaij A., Lewandowski I. (2004). A quickscan of global bio-energy potentials to 2050. An analysis of the regional availability of biomass resources for export in relation to the underlying factors. Report NWS-E-2004-109 ISBN 90-393-3909-0. March 2004. 121 p.
- Winjum, J.K., S. Brown, and B. Schlamadinger (1998). Forest Harvests and Wood Products: Sources and Sinks of Atmospheric Carbon Dioxide. *Forest Science* 44: 272-284.

**Data di aggiornamento: 19/10/2005**