



APAT

Agenzia per la Protezione
dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici

Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia

Informazioni legali

L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
www.apat.it

© APAT, Rapporti 21/2002

ISBN 88-448-0077-2

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

APAT

Grafica di copertina: Franco Iozzoli, APAT

Foto di copertina: Paolo Orlandi, APAT

Coordinamento tipografico

APAT

Impaginazione e stampa

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

Stampato su carta TCF

Finito di stampare novembre 2002

Autori

Antonia Anderle, Lorenzo Ciccarese, Desirée Dal Bon, Davide Pettenella e Elisa Zanolini



*Dal 6 ottobre 2002 l'Agencia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA) e i Servizi Tecnici della Presidenza del Consiglio – Servizi Geologico, Idrografico e Mareografico nazionali – sono confluiti nell'**Agencia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT)**.*

***APAT** proseguirà nello svolgimento, sotto l'indirizzo e la vigilanza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, di tutte le funzioni tecnico-scientifiche affidatele concernenti il monitoraggio e il controllo nei settori di protezione dell'ambiente, di difesa del suolo e delle acque, la prevenzione del rischio tecnologico e la conservazione della natura.*

*Nei settori di propria competenza, **APAT** continuerà a rappresentare quindi un punto di riferimento per attività di collaborazione, consulenza, assistenza, servizio e supporto alle altre pubbliche Amministrazioni, definite con apposite convenzioni.*

Nel quadro di un ormai consolidato network ambientale, sarà sempre cura dell'Agencia porre in essere tutti gli adempimenti necessari all'integrazione del Sistema informativo nell'ottica della rete SINAnet, nel quale possano confluire sia il Sistema Cartografico Nazionale, che i Sistemi Informativi Regionali Ambientali (SIRA).

*Gli obiettivi, le priorità e le risorse di **APAT** saranno definite da un programma triennale di attività, aggiornato annualmente, in attuazione delle direttive impartite dal Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.*

*Gli organi dell'Agencia sono costituiti dal Direttore Generale (coadiuvato da un Comitato con funzioni consultive) e dal Collegio dei Revisori, e la sua struttura è articolata in Dipartimenti e Servizi interdipartimentali. Una novità è rappresentata dall'istituzione presso **APAT** di un Consiglio Federale, presieduto dal Direttore Generale e formato dai legali rappresentanti delle Agenzie Regionali e Provinciali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA e APPA), con la partecipazione di un rappresentante della Conferenza Stato Regioni.*

*La correttezza dei dati e dei rilevamenti tecnici forniti dagli esperti dell'Agencia, caratteristiche che distinguevano le pubblicazioni istituzionali realizzate in precedenza dall'ANPA, pur cambiando veste e denominazione, si perfezionano e si aggiornano con **APAT**, in un percorso contrassegnato dall'autorevolezza e dalla trasparenza dell'informazione in campo ambientale.*

Il Direttore Generale
Giorgio Cesari

Indice

Sigle e acronimi	1
Prefazione	3
Introduzione	5
1. Il quadro delle politiche internazionali	7
1.1 La Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici	7
1.2 Il Protocollo di Kyoto	9
1.3 I motivi di contrasto nel processo di negoziazione relativi ai <i>sink</i>	11
1.4 Gli accordi di Bonn	13
1.5 Gli sviluppi di Marrakech sulle modalità di contabilizzazione dei <i>sink</i>	14
2. Le funzioni di <i>carbon sink</i> dei boschi italiani: il Modello CSEM	19
2.1 Dati di <i>input</i> del modello e loro elaborazione	20
2.2 Il modello in dettaglio	27
2.3 Elaborazioni finali: il carbonio totale e il <i>sink</i> finale	30
3. La fissazione temporanea di carbonio nei prodotti legnosi	33
3.1 I dati di base	33
3.2 Assunzioni e stime	34
3.3 I risultati	35
3.4 Analisi di reattività	37
4. Il ruolo delle piantagioni forestali realizzate a partire dal 1990	41
4.1 Le superfici rimboschite	41
4.2 L'evoluzione dei popolamenti	42
4.3 Gli scenari esaminati	44
4.4 Risultati	44
5. Gli interventi compensativi nel settore forestale: una applicazione ai boschi della MCF	47
5.1 Il modello di valutazione e le assunzioni per la stima	47
5.2 I risultati delle elaborazioni	48
5.3 Valutazioni economiche	50
5.4 Alcune valutazioni di sintesi	51
6. Conclusioni	53
Bibliografia	55

Sigle e acronimi

AGBM	<i>Ad hoc Group on the Berlin Mandate</i>
APAT	Agenzia la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici
AOSIS	<i>Alliance of Small Island States</i>
ARD	<i>Afforestation, Reforestation, Deforestation</i> (afforestazione, riforestazione, deforestazione)
BAU	(Scenario) <i>Business as usual</i>
C	Carbonio
CDM	<i>Clean Development Mechanism</i>
CE	Commissione Europea
CERs	<i>Certified Emission Reduction units</i>
CFS	Corpo Forestale dello Stato
CNEL	Consiglio Nazionale dell'Economia e del Lavoro
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CONECOFOR	CONtrollo degli ECOsistemi FORestali
COP	<i>Conference of the Parties</i>
CORINE	<i>COoRdination of INformation on the Environment</i>
CSEM	<i>Carbon Sequestration Evaluation Model</i>
DITESAF	Dipartimento TERRitorio e Sistemi Agro-Forestali
Dir.	Direttiva
DL	Decreto Legislativo
DM	Decreto Ministeriale
DPR	Decreto del Presidente della Repubblica
EFICS	<i>European Forest Information and Communication System</i>
ENEA	Ente Nazionale per le nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente
ET	<i>Emission Trading</i>
EUROSTAT	<i>Statistical Office of the European Communities</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
ha	ettaro/i
IFNI	Inventario Forestale Nazionale Italiano
INDEFO	INDagine sul Deperimento degli Ecosistemi FOrestali
INEA	Istituto Nazionale di Economia Agraria
IPPC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISTAT	Istituto Nazionale di Statistica
JI	<i>Joint Implementation</i> (implementazione congiunta)
L.	Legge
LULUCF	<i>Land Use, Land Use Change and Forestry</i>
m	metro/i
m ³	metro/i cubo/i
MAMB	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
MIPAF	Ministero delle Politiche Agricole e Forestali
OCSE	Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico
PK	Protocollo di Kyoto
PFA	(Scenario) Politiche forestali attive
PSR	(Scenario) Piani di Sviluppo Rurale
PVS	Paesi in Via di Sviluppo
RDL	Regio Decreto Legislativo
Reg.	Regolamento
SBSTA	<i>Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice</i>

SBI	<i>Subsidiary Body for Implementation</i>
t	tonnellata/e
UE	Unione Europea
UNEP	<i>United Nations Environment Program</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UN-ECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

Prefazione

Per contrastare il fenomeno dei cambiamenti climatici globali, una svolta decisiva si è avuta nel 1997, quando, al termine della terza sessione della Conferenza delle Parti della Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, fu approvato il Protocollo di Kyoto, l'accordo internazionale che prevede l'impegno per i paesi industrializzati di ridurre, tra il 2008 e il 2012, le emissioni globali dei gas di serra del 5,2% rispetto a quelle del 1990.

Già a Kyoto uno dei principali temi negoziali è stata l'ipotesi di consentire ai Paesi di utilizzare le foreste e i terreni agricoli – o *sink*, come sono chiamati nel gergale del Protocollo di Kyoto – per raggiungere gli impegni di riduzione delle emissioni di gas-serra. In particolare, il Protocollo, all'articolo 3.3, fa riferimento ad una lista di attività che portano alla fissazione di carbonio atmosferico – da contabilizzare nei bilanci nazionali degli assorbimenti e delle emissioni – legate ai cambiamenti nelle forme d'uso del suolo, limitatamente alle attività di "afforestazione", "riforestazione" e "deforestazione". Inoltre, all'articolo 3.4, esso rende possibile l'impiego di altre attività forestali e d'uso del suolo, con alcune limitazioni, tra cui quelle di essere "direct human induced" e di aver avuto luogo dal 1990 in poi.

Gli articoli 3.3 e 3.4, come pure le modalità d'uso dei *sink* all'interno dei meccanismi di flessibilità, introdotti per rendere più agevole l'impegno assunto dai paesi industrializzati con la firma del Protocollo di Kyoto, sono stati probabilmente il tema più complesso nel processo negoziale successivo a Kyoto. Nel 2001, a Marrakesh, nel corso della settima Conferenza delle Parti, si è finalmente arrivati ad un accordo sui tipi di attività agricole e forestali che i diversi paesi dell'Allegato I potranno usare per raggiungere gli obiettivi fissati dal Protocollo.

Lo stesso Piano elaborato dal governo italiano per rispettare gli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra (pari al 6,5% rispetto a quelle del 1990), presentato dal Ministro dell'Ambiente e del Territorio, on. Altero Matteoli, agli inizi di ottobre 2002, assegna, tra le varie tipologie di intervento, un'enfasi speciale alle misure nel settore agricolo e forestale e in modo particolare alla costituzione di nuovi impianti boschivi (afforestazione e riforestazione).

L'APAT è stata da sempre molto attiva nel dibattito scientifico sui cambiamenti climatici e, in particolare, nello studio delle relazioni tra uso del suolo, trasformazioni d'uso del suolo e clima e nella proposizione delle politiche e delle azioni che il settore agricolo e forestale possono dare nelle strategie di mitigazione.

Questo rapporto intende fornire un contributo teorico e pratico negli sforzi di valutare la funzione di assorbimento di carbonio nel settore forestale, attraverso la costruzione di un modello di simulazione della funzione fissativa, sia nelle biomasse forestali sia nei prodotti legnosi. In questo senso, un primo esito del presente rapporto potrà essere quello facilitare il *reporting* per la Convenzione sui Cambiamenti Climatici e per il Protocollo di Kyoto.

Esso inoltre ha il proposito d'aprire un dialogo all'interno della comunità scientifica e tra questa e i decisori politici sulla necessità, per esempio, di predisporre un sistema di raccolta sistematica di dati sull'evoluzione del settore forestale. Ma anche per trovare nuovi strumenti di promozione degli investimenti nel settore, anche collegati alla funzione di stabilizzazione climatica delle foreste.

Il Direttore Generale
Giorgio Cesari

Introduzione

Il presente rapporto riporta i risultati finali della ricerca “Valutazione della funzione di assorbimento di carbonio nel settore forestale: messa a punto di un modello di simulazione e valutazione della funzione fissativa nelle biomasse forestali e nei prodotti legnosi” che l’ANPA ha affidato al Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali dell’Università degli Studi di Padova. Nello specifico, lo scopo del progetto è la messa a punto di un modello di simulazione dell’evoluzione della capacità di fissazione di carbonio basato su una profonda revisione del modello CSEM (*Carbon Sequestration Evaluation Model*), precedentemente predisposto da Ciccarese e Pettenella. Il modello è stato, inoltre, integrato da due componenti, una per la valutazione degli effetti delle piantagioni realizzate a partire dal 1990 e una per stimare la capacità di fissazione nei prodotti legnosi in base a due diversi approcci metodologici. L’illustrazione dei risultati della ricerca è organizzata in cinque capitoli. Nel primo capitolo è presentato il quadro delle iniziative in sede internazionale, a partire dalla Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici del 1992, che motivano l’interesse alla realizzazione di inventari nazionali delle emissioni di gas di serra nell’atmosfera e alla stima degli *stock* e dei *sink* di carbonio. In questa parte sono analizzati i problemi metodologici e operativi legati alle diverse decisioni che si sono andate assumendo nel processo di negoziazione avviato con il Protocollo di Kyoto.

Nel secondo capitolo è illustrato il modello CSEM nella sua nuova configurazione e sono riportati i risultati delle elaborazioni effettuate. Rispetto all’ipotesi originaria di revisione del modello, non si è potuto configurarlo in base ad una disaggregazione regionale in quanto i dati disponibili (e in particolare quelli relativi all’Inventario Forestale Nazionale – ISAFNA 1988) non consentivano di costruire funzioni di sviluppo delle biomasse statisticamente significative su scala sub-nazionale. Per questa ragione si è preferito mantenere una disaggregazione dei dati per tipologia di formazione forestale. Le numerose tipologie di formazione prese in considerazione, se non permettono di avere un quadro specifico su scala regionale, consentono tuttavia un buon dettaglio territoriale dell’analisi dei dati di *stock* e di *sink*.

Il terzo capitolo ha preso in considerazione il ruolo dei prodotti legnosi, applicando due approcci metodologici nella stima dello *stock* di carbonio “extraboschivo”. La fonte principale dei dati per le elaborazioni effettuate è rappresentata dalla FAO, sia per i dati di produzione sia per quelli di commercio internazionale.

Nel successivo capitolo si è considerata in dettaglio la funzione di *sink* degli interventi relativi a nuove piantagioni realizzate a partire dal 1990 che, a seguito delle decisioni assunte di recente nell’attuazione del Protocollo di Kyoto (PK), dovranno essere conteggiati separatamente da quelle relative alla gestione forestale delle foreste semi-naturali. Per le elaborazioni sono state utilizzate due fonti informative: per il periodo 1990-94, le Statistiche forestali dell’ISTAT; per il periodo 1995-99, i dati del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (MI-PAF) relativi al Reg. CE 2080/92 (Colletti 2001).

Il quinto capitolo integra le informazioni precedenti con uno studio di caso a livello microeconomico: l’analisi della funzione fissativa connessa a diverse alternative gestionali dei boschi di una proprietà forestale italiana, la Magnifica Comunità di Fiemme in Trentino. La simulazione, basata su un modello sviluppato *ad hoc* per valutazioni su scala aziendale (CO2Fix) e sui dati dei piani di gestione dell’area in esame, ha un notevole interesse per evidenziare il *trade-off* tra funzioni di produzione di legname e possibilità di fissazione di carbonio.

Da ultimo sono presentate delle considerazioni di sintesi sui risultati delle elaborazioni e sui campi di ricerca che si ritiene più utile sviluppare nel futuro per meglio ponderare il ruolo del settore forestale nelle strategie di mitigazione dei fenomeni di cambiamento climatico.

Un importante contributo alla predisposizione del modello è stato offerto dall’Istituto Sperimentale per l’Assessment forestale e l’Alpicoltura (Massimo Bianchi, Giovanni Tabacchi e Vittorio Tosi) che ha reso disponibili i dati relativi ai punti dell’Inventario Forestale Nazionale per costruire le funzioni di crescita su cui si è basato il modello CSEM.

1. Il quadro delle politiche internazionali

Il dibattito internazionale sui temi dei cambiamenti climatici ebbe inizio nel febbraio del 1979, a Ginevra, con la Prima Conferenza Mondiale sul Clima, coordinata dall'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia (*World Meteorological Organization, WMO*), nella quale fu riconosciuta la gravità del problema climatico e fu fatto appello ai governi al fine di "prevedere e prevenire potenziali cambiamenti del clima ad opera dell'uomo che possano contrastare con il benessere dell'umanità" (<http://www.unfccc.de/resource/iuckit/fact17.html>). Nello stesso anno la Convenzione di Ginevra si occupò dell'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grandi distanze, cercando di regolare l'emissione di alcuni gas inquinanti. Tuttavia, dovettero passare quasi dieci anni per vedere effettivamente applicato, con il Protocollo di Montreal del 1987, il principio delle "responsabilità comuni ma differenziate", ossia della condivisione tra i vari Stati dei doveri derivanti dall'emissione di sostanze inquinanti, ma con impegni diversificati per ciascuno a seconda dei diversi ruoli giocati. Fino a quel momento però i cambiamenti climatici non erano ancora stati affrontati direttamente.

L'anno successivo, 1988, il WMO ed il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (*United Nations Environment Program - UNEP*) costituirono il Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento del Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), organismo avente il compito di valutare:

- lo stato delle conoscenze scientifiche sui problemi del clima mondiale;
- i possibili impatti ambientali e socio-economici di eventuali variazioni climatiche;
- le potenziali strategie di prevenzione, limitazione o adattamento a tali variazioni del clima (UNEP, WMO, IUCC, 1995).

Il primo Rapporto di Valutazione dell'IPCC fu presentato a Ginevra alla Seconda Conferenza Generale sul Clima (1990) e rappresentò un passo decisivo verso una convenzione globale (UNEP, WMO, IUCC, 1995). La Conferenza, infatti, richiese un trattato di principio, dando vita a negoziati e discussioni a livello ministeriale tra 137 Stati (oltre all'Unione Europea), che si conclusero con una dichiarazione d'intenti contenente alcuni fondamentali principi, tra cui il riconoscimento del cambiamento climatico come di un "problema comune dell'umanità" (www.unfccc.de/resource/iuckit/fact17.html). Nel dicembre dello stesso anno un'Assemblea Generale delle Nazioni Unite avviò i negoziati per il trattato creando l'*Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change (INC/FCCC)*.

1.1 La Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici

La Convenzione Quadro sul Cambiamento Climatico (*Framework Convention on Climate Change, FCCC*) fu presentata a New York il 9 maggio del 1992, dopo 15 mesi di lavoro in cinque incontri dell'INC/FCCC, e fu aperta alla firma nel corso dell'*United Nations Conference on Environment and Development (UNCED o "Earth Summit")*, tenutasi a Rio de Janeiro nel giugno del 1992. Nella stessa occasione vennero anche affrontate numerose altre importanti questioni, dallo sviluppo sostenibile di Agenda 21 alla Convenzione sulla Biodiversità.

Obiettivo fondamentale della Convenzione è "stabilizzare [...] le concentrazioni di gas ad effetto serra nell'atmosfera a un livello tale che escluda qualsiasi pericolosa interferenza delle attività umane sul sistema climatico" (UNFCCC 1992, art. 2). I principi fondamentali cui attenersi per raggiungere tale obiettivo sono le "responsabilità comuni ma differenziate", di cui si è già detto, e il "principio precauzionale" (art. 3), ossia la limitazione di attività potenzialmente pericolose anche prima che si abbia prova della loro gravità. La convenzione indica, nell'articolo 4, gli obblighi cui devono sottostare tutti gli Stati firmatari. Tra gli altri si ricordano l'obbligo di elaborare e aggiornare inventari nazionali delle emissioni e delle sottrazioni dei gas-serra (di cui viene data solo una definizione generica nell'art.1), l'obbligo di promuovere lo sviluppo, l'applicazione e la diffusione (compreso il trasferimento) di tecnologie

per ridurre le emissioni e l'obbligo di informare e rendere consapevole il pubblico. L'obbligo di attuare politiche nazionali e provvedimenti per mitigare i cambiamenti climatici, invece, è riservato ai soli Paesi sviluppati (indicati nell'Allegato I della Convenzione); essi inoltre devono presentare "comunicazioni nazionali" in cui descrivono le strategie scelte per adempiere a questo impegno. I Paesi OCSE dovrebbero adottare le misure più incisive, mentre ai "Paesi in transizione verso un'economia di mercato" è concesso un certo grado di flessibilità. Tuttavia, in quanto accordo-quadro, la Convenzione enuncia principi e impegni generali, lasciando obblighi più specifici a successivi strumenti legali.

Dalla Convenzione prende origine la Conferenza delle Parti (COP, art. 7), suo organo supremo, formato da tutti gli Stati che hanno già ratificato il documento; tale organismo si riunisce annualmente per promuovere e controllare l'applicazione della Convenzione e adottare nuovi impegni mediante annessi e protocolli. Essa agisce mediante "decisioni", legalmente vincolanti, ma può anche pronunciarsi con "dichiarazioni" e "risoluzioni", non legalmente vincolanti, per guidare i lavori o esprimere le proprie intenzioni. Sono previsti anche due organi sussidiari: il *Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice* (SBSTA, art. 9), gruppo di esperti e scienziati che si confrontano sui problemi internazionali delle variazioni climatiche e supporta le decisioni della COP e il *Subsidiary Body for Implementation* (SBI, art. 10), gruppo di esperti che assiste la COP nei controlli sull'effettiva attuazione della Convenzione.

1.1.1 L'attuazione della Convenzione

Inizialmente firmata da 165 Stati e dall'UE, la Convenzione entrò in vigore il 21 marzo 1994, dopo novanta giorni dalla cinquantesima ratifica (art. 23); nel settembre dello stesso anno i Paesi sviluppati iniziarono a presentare le comunicazioni nazionali. Nel frattempo l'INC continuò il suo lavoro organizzativo in altri sei incontri in cui esaminò questioni relative agli impegni, ai meccanismi di finanziamento, ai supporti tecnici e finanziari per i PVS ed altre di tipo procedurale ed istituzionale. Alla fine dell'undicesima riunione (febbraio 1995) tale organo si sciolse, lasciando alla Conferenza delle Parti i massimi poteri. Da quel momento iniziarono le successive riunioni delle COP (vedi riquadro) per definire e dare attuazione agli impegni presi con la firma dell'accordo-quadro contenuto nella Convenzione.

Calendario delle riunioni della Conferenza delle Parti

COP-1	Berlino (Germania)	28 marzo - 7 aprile 1995
COP-2	Ginevra (Svizzera)	8-19 luglio 1996
COP-3	Kyoto (Giappone)	1-12 dicembre 1997
COP-4	Buenos Aires (Argentina)	2-13 novembre 1998
COP-5	Bonn (Germania)	25 ottobre - 5 novembre 1999
COP-6	L'Aia (Olanda)	13-24 novembre 2000
COP-6 bis	Bonn (Germania)	16-27 luglio 2001
COP-7	Marrakech (Marocco)	29 ottobre - 9 novembre 2001

Fonte: varie

Alla prima Conferenza delle Parti (nota come COP-1), che si riunì nel 1995, la Convenzione chiedeva di rivalutare se gli impegni dei Paesi sviluppati per riportare le loro emissioni ai livelli del 1990 entro il 2000 fossero adeguati per conseguire gli obiettivi della Convenzione stessa (www.unfccc.de/resource/iuckit/fact19.html). Le Parti convennero che non lo fossero e che ne servissero altri; adottarono così il "Mandato di Berlino" (1/CP.1), promuovendo confronti sugli impegni aggiuntivi (www.unfccc.de/resource/iuckit/fact17.html). In proposito fu istituito un nuovo organo sussidiario, il "Ad hoc Group on the Berlin Mandate" (AGBM), con

il compito di redigere uno strumento da adottare nella COP-3 del 1997. Inoltre, poiché il concetto di "implementazione congiunta" (*Joint Implementation* - JI, vedi paragrafo 1.2) contenuto nella Convenzione (art. 4.2,a) aveva generato notevoli controversie, fu lanciata una fase pilota di "attività implementate congiuntamente", cui ogni Paese che lo avesse richiesto avrebbe potuto partecipare. Durante questa fase però nessun Paese "investitore" avrebbe potuto chiedere crediti per le riduzioni di emissioni realizzate nel Paese beneficiario. La fase pilota avrebbe dovuto essere esaminata entro la fine del 1999. Durante la COP-1 le Parti analizzarono anche la prima serie di comunicazioni nazionali e completarono molti dei meccanismi necessari per sostenere negli anni a venire le azioni previste dalla Convenzione (<http://www.unfccc.de/resource/iuckit/fact17.html>).

L'IPCC presentò il suo secondo Rapporto di Valutazione nel dicembre del 1995, in tempo per la COP-2. In esso apparvero chiare l'influenza umana sul clima e la possibilità di adottare strategie efficaci per contrastarne gli effetti (<http://www.unfccc.de/resource/iuckit/fact17.html>). La seconda sessione della Conferenza delle Parti fece progressi sul Mandato di Berlino, sul processo di revisione delle comunicazioni tra le Parti ed altre questioni; i Ministri sottolinearono la necessità di accelerare i confronti su come consolidare la Convenzione. Alla terza sessione della Conferenza delle Parti (COP-3) fu presentato e adottato quello che in seguito venne definito il Protocollo di Kyoto (1/CP.3), a completamento del Mandato di Berlino; i delegati presero in esame anche i temi legati a finanziamenti, trasferimenti di tecnologie e aggiornamento delle informazioni.

1.2 Il Protocollo di Kyoto

Con la firma del Protocollo, documento legalmente vincolante una volta ratificato, i Paesi industrializzati (quelli indicati nell'Allegato I dell'UNFCCC) si impegnarono a ridurre almeno del 5% il complesso delle loro emissioni di CO₂ entro il periodo 2008-2012 (*1st Commitment Period*) rispetto a quelle del 1990¹ (AAVV 1997; § 3.1). Il Protocollo fu aperto alle firme nel marzo 1998 ed entrerà in vigore 90 giorni dopo essere stato ratificato almeno da 55 delle Parti della Convenzione, inclusi i Paesi sviluppati che rappresentino almeno il 55% del totale delle emissioni del loro gruppo² (riferite al 1990) (AAVV 1997; § 24.1). Nel frattempo le Parti dovranno comunque adempiere agli impegni assunti con la Convenzione Quadro e preparare la futura attuazione del Protocollo.

Dopo aver suggerito, nell'art. 2, le possibili misure per rispettare gli impegni di riduzione delle emissioni (tra cui: l'aumento dell'efficienza energetica, la protezione e l'aumento delle riserve e degli assorbitori, la ricerca lo sviluppo e la promozione dell'uso di fonti energetiche rinnovabili), il Protocollo affronta, nell'art. 3, le delicate questioni della contabilizzazione delle emissioni e degli assorbimenti del carbonio fissato negli ecosistemi forestali (AAVV 1997). I Paesi indicati nell'Allegato I possono, per adempiere agli impegni, prendere in considerazione le attività forestali e di cambiamento d'uso del suolo (*Land Use, Land Use Change and Forestry*, LULUCF), limitatamente ad afforestazione, riforestazione e deforestazione (§ 3.3 Brown *et al.* 1996; Binkley *et al.* 2002); il compito di decidere riguardo alle modalità cui dovranno attenersi è però demandato alle successive riunioni della Conferenza delle Parti, così come la scelta delle "attività addizionali" (§ 3.4) di cui si può fare uso, oltre alle tre indicate. Ogni Paese ovviamente deve fornire, ai fini delle successive contabilizzazioni, un bilancio dei

¹ L'UE ha assunto un impegno di riduzione dell'8%, l'Italia del 6,5%.

² Al momento solo 54 degli 84 Paesi firmatari hanno ratificato il Documento; (<http://www.unfccc.int/resource/kpstats.pdf>, aggiornato al 17 ottobre 2002).

propri *stock* di carbonio alla data del 1990 (AAVV 1997; § 3.4). Lo stesso articolo prevede la possibilità di aggiungere le emissioni risparmiate in un certo periodo di contabilizzazione a quelle che saranno concesse nel periodo successivo (AAVV 1997; § 3.13) e richiede alle Parti di sforzarsi affinché, nell'attuazione degli impegni, minimizzino gli impatti negativi sulle popolazioni dei Paesi in via di sviluppo, lasciando di nuovo alla COP il compito di decidere come ciò possa realizzarsi (Schlamadinger *et al.* 2001; § 3.14).

Negli articoli successivi, il Protocollo istituisce tre "Cooperative Implementation Mechanisms", altrimenti noti come "meccanismi flessibili", che possono essere usati dai Paesi industrializzati per integrare le azioni adottate sui propri territori nell'adempiere agli impegni di riduzione delle emissioni (Totten 1999). Nell'articolo 4 viene introdotto il meccanismo dell'adempimento congiunto degli impegni (*Joint Implementation*) tra i Paesi dell'Allegato I, mediante progetti realizzati al di fuori del proprio territorio nazionale che danno luogo all'acquisizione di "crediti di emissione" (*Emission Reduction Units* - ERUs). L'articolo 6 offre, invece, a quei Paesi industrializzati che abbassano le loro emissioni al di sotto della propria quota, la possibilità di vendere ad altri Paesi industrializzati i propri crediti (*Emissions Trading*, ET). Il Protocollo istituisce, infine, all'art. 12, un meccanismo flessibile allo scopo di assistere i PVS nel raggiungere uno sviluppo sostenibile (*Clean Development Mechanism*, CDM). Tale meccanismo permette ai Paesi dell'Allegato I di ottenere crediti di carbonio (*Certified Emission Reduction units*, CERs) mediante progetti di cooperazione realizzati in Paesi in via di sviluppo; tali progetti dovrebbero essere volontari, produrre riduzioni aggiuntive a quelle che si avrebbero in loro assenza e avere lunga portata. Per ogni caso, tuttavia, il compito di definire le modalità attuative viene demandato a successive riunioni della COP.

Negli articoli rimanenti il Protocollo rinnova gli impegni degli organismi già creati dalla Conferenza di Rio (COP, SBSTA, SBI), asservendoli anche ai propri fini e ridefinendone le modalità operative. Dispone, infine, le metodologie procedurali per la propria attuazione.

1.2.1 L'attuazione del Protocollo

La quarta COP, oltre a dedicarsi all'attuazione della Convenzione, iniziò ad esaminare la futura attuazione del Protocollo. Affrontò numerose questioni relative ai cambiamenti nell'uso dei suoli e alle foreste, nel tentativo di procedere verso una migliore comprensione dei loro effetti; tra l'altro precisò che, secondo l'articolo 3 del Protocollo, le quote di riduzione delle emissioni assegnate a ciascun Paese possono essere modificate sulla base di attività di forestazione e riforestazione, verificabili e certificate, svolte a partire dal 1° gennaio 1990 (Ciccarese *et al.* 1999). La quarta COP adottò inoltre il "Buenos Aires Action Plan" (1/CP.4), in cui venne fissato un termine di due anni per consolidare l'attuazione della Convenzione e preparare l'entrata in vigore del Protocollo (<http://www.iisd.ca/climate/index.html>).

Per fare chiarezza sulle molte questioni aperte dal Protocollo di Kyoto in relazione all'uso dei *sink*, (trattate in dettaglio nel paragrafo 1.3), nel corso della COP-4 il SBSTA richiese all'IPCC di pronunciarsi in merito con uno *Special Report* da redigere entro il 2000.

Durante la quinta COP i delegati continuarono il loro lavoro per adempiere al Piano d'Azione di Buenos Aires (<http://www.iisd.ca/climate/index.html>) e adottarono le linee guida per le revisioni tecniche degli inventari dei gas-serra da parte dei Paesi dell'Annesso I (<http://www.unfccc.int/resource/ghg/statrep2001.html>). In quell'occasione si iniziò anche a discutere concretamente dell'inclusione dei progetti forestali nel CDM (si veda meglio nel paragrafo seguente) e molti Paesi latino-americani e alcuni africani presentarono dichiarazioni ufficiali di disponibilità ad ospitare progetti di questo tipo nel loro territorio (Ciccarese e Pettenella 2000).

La sesta Conferenza delle Parti, tenutasi a L'Aia nel novembre del 2000, era chiamata a dare risposta a molte delle questioni rimaste aperte. In essa venivano riposte molte attese poi-

ché coincideva con il termine indicato a Buenos Aires e perché i negoziati da tempo si erano incagliati e sembrava che nessuna delle Parti fosse disposta a cedere (<http://www.iisd.ca/climate/index.html>). I punti chiave erano la definizione delle attività aggiuntive previste dall'art. 3.4 e la regolamentazione dei "meccanismi flessibili"; tuttavia, nonostante le estenuanti trattative, non si riuscì a raggiungere alcun accordo. Venne pertanto deciso di aggiornarsi all'anno seguente, per lasciare aperto uno spiraglio di possibilità in un'incontro successivo. Ci si ritrovò dunque a Bonn (COP-6bis), nel luglio 2001, per la prima Conferenza delle Parti oltre il numero inizialmente previsto a Buenos Aires. In quell'occasione si tentò il tutto per tutto nell'intento di salvare la Convenzione di Rio e il Protocollo di Kyoto, con le speranze ormai ridotte a un lumicino. Il problema era riuscire a convincere a non abbandonare le trattative un numero di Paesi dell'Allegato I sufficiente per raggiungere la quota di emissioni del 55%, in modo da avviare il Protocollo con decisione verso la sua definitiva entrata in vigore. Per fare ciò si sarebbe dovuto giocare sulle questioni ancora aperte al fine di raggiungere i compromessi necessari. Contrariamente alle aspettative si riuscì nell'intento di evitare il tracollo, ma solo una parte dei problemi trovò una soluzione. Per dirimere i rimanenti l'appuntamento venne fissato a Marrakech per l'ottobre 2001 (<http://www.marrakech-web.net/cop7>).

1.3 I motivi di contrasto nel processo di negoziazione relativi ai *sink*

Con il Protocollo di Kyoto gli ecosistemi forestali hanno assunto un ruolo importante come strumento per mitigare i cambiamenti climatici (Ciccarese *et al.* 1999). Con esso ha preso avvio anche un lungo processo di confronto scientifico, d'analisi e di negoziazione per definire e trovare un accordo su come interpretare e attuare le indicazioni contenute al suo interno. Le principali questioni in ambito forestale rimaste a lungo insolte riguardavano:

- la definizione di quali attività dei settori agricolo e forestale potessero/dovessero essere considerate per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni, con particolare riguardo alle "human-induced activities" aggiuntive rispetto alle sole afforestazione, riforestazione e deforestazione (ARD) ammesse nel § 3.1 del Protocollo (AAVV 1997; § 3.4);
- i significati di termini quali "foresta", "deforestazione", "afforestazione" e "riforestazione" e le metodologie di compilazione dei bilanci degli *stock* di carbonio;
- le modalità esecutive dei meccanismi flessibili.

Tra le questioni non strettamente forestali interessate dal dibattito si ricordano la possibilità di servirsi dell'energia nucleare per adempiere agli impegni, i mezzi da utilizzare per garantire il controllo sull'applicazione del Protocollo, la porzione di riduzione da raggiungere obbligatoriamente entro i confini nazionali e i finanziamenti ai Paesi in via di sviluppo attuabili tramite i meccanismi flessibili.

Di seguito sono presentati in dettaglio i punti sopra elencati e le relative implicazioni.

Attività antropiche aggiuntive. Le posizioni erano divise tra due approcci estremi. Un approccio, detto di "*full carbon accounting*", tendeva ad includere qualsiasi tipo di attività che ricadesse nella gestione del territorio agricolo e forestale nel senso più ampio del termine, a partire da fertilizzazioni, diradamenti, verde urbano, per arrivare fino alla ricolonizzazione naturale da parte del bosco di coltivi abbandonati. Oltre ai costi iniziali non indifferenti cui si andrebbe incontro seguendo questi criteri, si rischierebbe di creare un gran numero di crediti senza che i Paesi interessati si siano realmente impegnati nella predisposizione di misure di risparmio energetico. L'altro approccio ridimensionava notevolmente il contributo delle attività agricole e forestali al raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni, limitando l'inclusione ad una ristretta serie di interventi (Ciccarese e Pettenella 2000). Durante le negoziazioni terminate con i recenti accordi di Bonn, la prima posizione era sostenuta dal co-

siddetto "Umbrella Group", ossia da quei Paesi (Stati Uniti, Canada, Nuova Zelanda, Australia e Giappone), con risorse territoriali relativamente ampie³, che vedrebbero enormemente ridotti i loro impegni da questa scelta. L'altra posizione era invece sostenuta da quei Paesi che sentono come un grosso rischio la riduzione dell'efficacia operativa del Protocollo, ossia tutti quelli strettamente minacciati dal rischio di aumento del livello delle acque degli oceani (*Alliance of Small Island States*, AOSIS) insieme alla Cina, i Paesi OPEC e l'UE. In ambito forestale, due in particolare erano gli argomenti motivo di contrasti: la possibilità di conteggiare il carbonio fissato nelle formazioni "naturali" e "seminaturali" in seguito all'accrescimento delle stesse e le metodologie da usare per contabilizzare il carbonio nei prodotti legnosi (Ciccarese *et al.* 1999). Il compromesso veniva cercato nell'individuazione di una ridotta lista di attività che fossero effettivamente addizionali (rispetto allo scenario *business as usual*), misurabili e permanenti.

Le definizioni e le modalità di contabilizzazione. I termini *forest*, *afforestation*, *reforestation*, *deforestation* (ARD) citati nel Protocollo contengono forti elementi di ambiguità e di incertezza (Ciccarese e Pettenella 2000). Come è facile intuire la scelta delle definizioni di tali termini avrà un notevole impatto politico poiché condiziona direttamente le modalità di contabilizzazione di emissioni ed assorbimenti connessi agli ecosistemi forestali. Basti pensare alla moltitudine di significati attribuiti al termine foresta: uno studio commissionato dall'IPCC segnala l'esistenza di ben 270 definizioni (<http://home.att.net/~gklund/DEFpaper.html>). È inoltre necessario che ci sia chiarezza anche sulle modalità di contabilizzazione degli *stock* di carbonio.

Gli argomenti rimasti a lungo aperti vertono su: metodologie di rilevamento degli *stock* iniziali (*baselines*), tecniche di misurazione delle variazioni (*stock change*), potenzialità produttive (quindi massimo contenuto di carbonio) delle varie forme d'uso del suolo. Riguardo ai primi due punti risulta ovvio che, se le regole saranno troppo semplici non è remoto il rischio di truffe per ottenere un maggior numero di crediti da commercializzare, mentre se saranno troppo complesse il rischio è di disincentivare gli investimenti e di perdere opportunità di compensazioni a basso costo (Totten 1999).

I meccanismi flessibili. Il problema principale a questo proposito riguardava i *Clean Development Mechanisms*. Infatti, mentre per la *Joint Implementation*, il relativo articolo del Protocollo fa esplicito riferimento ai *carbon forestry projects* per ottenere crediti, nell'articolo sui CDM non c'è alcun cenno diretto ad attività forestali. Sorgeva dunque il problema di decidere se includere o meno i progetti forestali tra i CDM. In caso negativo si verrebbero a creare svantaggi per i Paesi in via di sviluppo dovuti a una riduzione delle opportunità di finanziamento esterno e di trasferimento di conoscenze; di contro, l'inclusione delle attività forestali comporterebbe una parziale perdita di efficacia degli impegni di riduzione, rischi per le foreste esistenti⁴, oltre alle difficoltà di misurazione delle *baselines* e degli assorbimenti effettivi (Ciccarese e Pettenella 2000). Nascerebbe inoltre il rischio della creazione di impianti monospecifici, non inseriti nell'ambiente, magari realizzati con specie non autoctone, messi in atto da imprese stimolate solo dai possibili profitti (Ciccarese *et al.* 1999).

³ Se escludiamo il Giappone, che invece cercava la massima flessibilità perché le riduzioni a livello nazionale gli risulterebbero molto più costose rispetto agli altri Paesi industrializzati (<http://www.amicidellaterra.it/clima3-2.htm>).

⁴ Dovuti sia al fenomeno di *leakage* (ossia l'intensificazione dei tagli in foreste non protette a seguito dell'applicazione di misure di protezione in foreste adiacenti) sia allo stimolo verso la distruzione di foreste naturali nell'intento di recuperare suoli da destinare a piantagioni (Ciccarese *et al.* 1999).

1.4 Gli accordi di Bonn

Nel luglio 2001 a Bonn è stato adottato il documento di attuazione del Piano di Azione di Buenos Aires (5/CP.6), contenente le principali decisioni sugli elementi chiave per l'attuazione del Protocollo di Kyoto. Le disposizioni sugli elementi di maggiore interesse forestale sono contenute nei capitoli VI e VII dell'unico Allegato, che costituisce il corpo principale di tale documento (COP-6, *part two*, 2001, <http://www.unfccc.int/resource/docs/cop6secpart/107.pdf>).

Attività antropiche addizionali. Come attività idonee ad essere considerate addizionali alle ARD nell'uso del suolo, nel cambiamento d'uso del suolo e nelle attività forestali, vengono indicate la "gestione forestale" (*forest management*), la "gestione di terreni agricoli" (*cropland management*), la "gestione dei pascoli" (*grazing management*) e la "rivegetazione" (*revegetation*), senza ulteriori specificazioni. Viene tuttavia precisato che ciascuna Parte può scegliere di adottare alcune o tutte queste attività, ma deve fare la propria scelta prima dell'inizio del 1^a *commitment period* (§ VII.4). Inoltre ciascuna Parte deve, durante tale periodo, dimostrare che le attività scelte hanno avuto luogo a partire dal 1990 e sono di origine antropica (§VII.5).

Le definizioni e le modalità di contabilizzazione. Anzitutto si afferma che "la mera presenza di riserve di carbonio è esclusa dalla contabilizzazione" (§ VII.1-d) e che nei bilanci non si deve tener conto di alcun effetto derivante da pratiche precedenti il 1990 né delle conseguenze di cause naturali, quali la fertilizzazione carbonica o le deposizioni azotate sui suoli (§ VII.1-h). La definizione dei termini foresta, afforestazione, riforestazione e deforestazione viene di nuovo rimandata (§ VII.2), delegandone il compito al SBSTA nell'intento di prendere una decisione in proposito nella nona sessione della COP (§ VII.9). A tale organo sussidiario vengono tuttavia date alcune indicazioni di massima su cui basarsi (§ VI.3.8; VII.2).

Il documento detta inoltre regole precise per la contabilizzazione delle attività di LULUCF addizionali alle ARD (§ VII.6):

- il conteggio delle attività agricole (*cropland management, grazing management, revegetation*) deve derivare dalla differenza di valori netti tra il periodo 2008-12 e il 1990;
- la gestione forestale può essere usata per pareggiare i bilanci negativi derivanti dalle attività di ARD, ma gli addebiti da esse derivanti non devono superare 8,2 MtC/anno;
- le somme e le detrazioni alla quota assegnata a ciascuna parte, che risultino dalle attività forestali suddette e da quelle conseguenti alla JI, non potranno superare una quota ben precisa calcolata per ciascun Paese⁵.

I meccanismi flessibili. Le decisioni riguardanti i meccanismi flessibili sono in gran parte contenute nel Capo VI del documento. Prima di affrontare singolarmente ciascun meccanismo, vengono rinnovate le premesse su cui tali meccanismi sono fondati e indicati alcuni principi di base cui attenersi. Tra i tanti è bene ricordare il concetto che l'impiego dei meccanismi flessibili deve essere supplementare alle azioni attuate da ciascun Paese sul proprio territorio e che queste ultime dovrebbero costituire un elemento significativo dello sforzo volto a raggiungere gli impegni di riduzione delle emissioni (§ VI.1.5).

I punti che trattano dell'implementazione congiunta (*Joint Implementation - JI*) tra Paesi dell'Allegato I (§ VI.2) si limitano a sottolineare che è prerogativa del Paese ospite del progetto confermare che questo lo aiuti in uno sviluppo sostenibile e che le Parti devono astenersi dall'impiegare ERUs derivanti da impianti nucleari per il raggiungimento dei propri impegni.

Le stesse affermazioni vengono ripetute anche per i progetti di *Clean Development Mechanisms* e per le CERs che ne derivano (§VI.3.1,2), ma l'argomento viene approfondito maggior-

⁵ Quota non determinata per gli Stati Uniti che non hanno partecipato alla trattativa relativa.

mente. Vengono, infatti, finalmente indicate l'afforestazione e la riforestazione come gli unici tipi di progetti LULUCF ammissibili in questo contesto durante il primo periodo (§ VI.3.8; § VII.7); la quota da esse derivante non dovrà superare, in ciascun anno l'1% degli impegni di emissioni annue di ciascuna Parte (§ VII.8). Per consentire un tempestivo avvio di tali meccanismi viene inoltre attivata una procedura che porti all'elezione di un organo esecutivo entro la settima COP. Lo stesso organismo dovrà sviluppare e indicare, in sede di ottava sessione della COP, modalità e procedure semplificate da applicare ai progetti CDM a piccola scala (§ VI.3.6).

Riguardo ai problemi di carattere non strettamente forestale cui si è accennato, sono state date indicazioni sulla quota di riduzione che dovrebbe essere raggiunta all'interno dei confini nazionali (§ VI.4) e, come si è già visto più sopra, sull'impiego del nucleare. Rispetto ai mezzi per garantire il controllo sull'applicazione sono state adottate soltanto misure lievi, come l'aumento degli impegni per il periodo successivo (§ VIII.2) e la riduzione dei gradi di libertà per il raggiungimento degli stessi (§ VIII.3). Sono inoltre stati approfonditi i temi riguardanti le fonti di finanziamento (sia per il Protocollo, § II, sia per la Convenzione, § I), l'adattamento ai cambiamenti climatici (§ IV.1) e la minimizzazione degli impatti negativi nei PVS (§ V).

1.5 Gli accordi di Marrakech sulle modalità di contabilizzazione dei *sink*

L'accordo sui *sink* di carbonio è stato, come si è visto finora, tra i più complessi temi di negoziazione nell'attuazione operativa del Protocollo, lasciato in sospeso già da Kyoto e spesso fonte di grossi contrasti fino alla Conferenza delle Parti di Bonn, anche a causa dell'impiego nella documentazione ufficiale di una terminologia spesso ambigua. Durante la settima COP, a Marrakesh, sono stati sostanzialmente convalidati gli accordi programmatici raggiunti a Bonn, seppur con alcune interessanti differenze.

Le decisioni di Marrakesh relative alle foreste e ai suoli agricoli. Per ciò che riguarda le foreste e i suoli agricoli è interessante fare riferimento ad alcuni contenuti nella Decisione 11/CP.7⁶ di Marrakesh. Nella prima parte della Decisione sono riaffermati una serie di principi, caldeggiati dai paesi in via di sviluppo, che hanno il fine di:

- difendere l'integrità del Protocollo, evitando che si faccia un ricorso massiccio ai *sink*, da molti considerato un modo per eludere gli impegni reali di riduzione;
- evitare che l'uso dei *sink* possa contrapporsi agli obiettivi di conservazione della biodiversità e di gestione sostenibile delle foreste.

Per quanto riguarda l'articolo 3.3 (afforestazione, riforestazione e deforestazione), gli accordi hanno sostanzialmente confermato quanto già era previsto nel testo del Protocollo, anche perché al proposito non permanevano elementi di incertezza o ambiguità, a parte le definizioni dei termini (Quadro 2). Tutte le quantità di carbonio immagazzinate nel suolo e nel soprassuolo tra il 2008 e il 2012 (il cosiddetto primo periodo d'impegno) in una piantagione realizzata dopo il 1° gennaio 1990 e prima del 31 dicembre 2012, potranno essere usate per raggiungere gli impegni di riduzione. Altro aspetto rilevante è che non sono stati posti limiti alla quantità di crediti ottenibili con l'art. 3.3. Teoricamente, un paese potrebbe raggiungere tutti i suoi impegni di riduzione con le sole nuove piantagioni forestali.

Quadro 2 – Terminologia relativa al settore forestale nel Protocollo di Kyoto

In un allegato della bozza di Decisione CMP.1 di Marrakesh sono definiti alcuni termini chiave per rendere operative le attività in campo agricolo e forestale del Protocollo di Kyoto, secondo quanto previsto dagli articoli 3.3 e 3.4.

- (a) "Foresta" è un'area con dimensioni minime di 0,05-1,0 ettaro, con un tasso di copertura arborea di almeno 10-30%, con piante in grado di raggiungere, a maturità e *in situ*, un'altezza minima di 2,5 m. Un paese può scegliere, sia per le dimensioni minime sia per il tasso di copertura, il limite minimo all'interno del *range*.
- (b) "Afforestazione" è la conversione in foresta, per azione antropica, di un'area che non sia stata foresta per almeno 50 anni; l'afforestazione può essere realizzata per mezzo di piantagione, semina e/o un intervento antropico di sostegno all'affermazione delle modalità naturali di propagazione.
- (c) "Riforestazione" è la conversione, per azione antropica, in foresta di un terreno già in precedenza forestale, ma che nel passato è stato convertito ad altri usi, realizzata per mezzo di piantagione, semina e/o azione antropica di sostegno all'affermazione di modalità naturali di propagazione.
- (d) "Deforestazione" è la conversione per azione antropica di un'area forestale in non forestale.
- (e) "Rivegetazione" è una azione antropica volta ad aumentare gli *stock* di carbonio in un sito, mediante la realizzazione di una copertura vegetale su un'area minima di 0,05 ettari, che non rientri nelle definizioni di afforestazione e riforestazione.
- (f) "Gestione forestale" è un complesso di pratiche per la conduzione e l'uso sostenibile di una foresta, finalizzate al conseguimento di rilevanti funzioni ecologiche (quali la tutela della diversità biologica), economiche e sociali.
- (g) "Gestione delle colture agrarie" è un complesso di pratiche su territori su cui sono effettuate coltivazioni agrarie e su terreni messi a riposo o temporaneamente non adoperati per produzioni agricole.
- (h) "Gestione dei prati e dei pascoli" è un complesso di pratiche su terreni utilizzati per l'allevamento del bestiame, volti a modificare la quantità e il tipo di vegetazione e il bestiame allevato.

Concretamente, ciò significa che per l'Italia potranno rientrare in questa categoria di progetti gli oltre 100.000 ettari d'arboricoltura da legno realizzati con il Regolamento 2080/92, anche se a seguito all'emanazione del Decreto Legislativo 227/2001 "Orientamento e modernizzazione del settore forestale", dove è affermata la reversibilità di tali formazioni arboree e la facoltà delle Regioni di escludere l'arboricoltura da legno dalla definizione di foresta. La pioppicoltura e gli impianti a ciclo breve per la produzione di biomasse potranno, quindi, essere conteggiati, anche nel caso in cui questi debbano essere utilizzati all'interno del primo periodo d'impegno. Infatti l'accordo di Marrakesh prevede che siano ammissibili tutti i tipi di piantagioni, purché i debiti derivanti dalle utilizzazioni forestali effettuate nel corso del primo periodo d'impegno su piantagioni eseguite dal 1990 in poi non siano maggiori dei crediti contabilizzati su quella stessa superficie.

Altro aspetto rilevante è il fatto che, non essendo specificato il parametro relativo alla larghezza per la definizione di foresta (vedi Quadro 2), anche le piantagioni lineari, finalizzate alla produzione di biomasse e/o a finalità protettive e paesaggistiche, potranno essere incluse tra le attività di fissazione riconosciute dal Protocollo (vd. alcuni interventi realizzati nell'ambito del Regolamento 2078/92).

Simmetricamente alle stime relative alle attività di afforestazione e riforestazione, il nostro paese dovrà elaborare dati sulle emissioni legate alla deforestazione (in base a quanto esplicitato nell'articolo 7 del Protocollo). A questo proposito va evidenziata la carenza di dati e informazioni su un fenomeno che in Italia, pur essendo di dimensioni modeste, è comunque presente⁷. Sarà, infatti, necessario predisporre un sistema di identificazione delle aree deforestate a partire dal 1° gennaio 1990, fino al 31 dicembre 2007 e di descrizione dell'evoluzione delle forme d'uso di tali superfici.

Ma le decisioni più importanti assunte a Marrakesh riguardano l'individuazione delle attività

⁷Non considerando gli incendi boschivi (che – per legge – non determinano un cambiamento di destinazione di uso del suolo) il fenomeno della deforestazione riguarda in Italia prevalentemente le autorizzazioni alla conversione di terreni vincolati dal Vincolo idrogeologico ad utilizzi non forestali. Si ricorda, inoltre, che anche i tagli rasi, quando non comportano cambiamenti nelle forme d'uso del suolo, non sono assimilati ad interventi di deforestazione.

in campo agricolo e forestale, oltre a quelle definite dall'art. 3.3, che un paese potrà scegliere di utilizzare per raggiungere gli impegni assunti a Kyoto: la gestione delle superfici forestali, la rivegetazione, la gestione dei suoli agricoli, la gestione dei prati e dei pascoli. Per tutte le suddette attività permangono le due clausole già richiamate: che abbiano avuto inizio dal 1990 e che siano legate ad una azione antropica (*human-induced*, nel testo del Protocollo – art. 3.4, cioè connessa ad espliciti e diretti interventi gestionali).

C'è una differenza sostanziale tra la prima e le altre tre attività sopra segnalate: i crediti generati dalle ultime tre attività possono essere usati *in toto*, come le attività dell'art. 3.3. Al contrario, quelli generati dalla gestione forestale sono contabilizzati per intero per pareggiare eventuali debiti che un paese può avere dal bilancio tra afforestazione e riforestazione da un lato (*carbon sink*) e deforestazione dall'altro (*carbon source*)⁸.

Una volta pareggiati eventuali debiti derivanti dall'art. 3.3, i crediti di carbonio ottenuti con la gestione forestale devono essere ridotti al 15%. Tale detrazione serve per eliminare, con approccio empirico e molto approssimato, quella frazione di carbonio che è accumulato dalle foreste per effetto del (presunto) aumento degli *stock* come conseguenza di diversi fattori quali: la fertilizzazione dovuta alle deposizioni di azoto nei suoli, l'incremento della concentrazione di anidride carbonica e l'invecchiamento naturale dei soprassuoli. Tali fattori non rispondono al requisito di essere *human induced* che, come detto in precedenza, è condizione necessaria perché i crediti dell'art. 3.4 siano ammissibili.

Due esempi possono essere utili per spiegare questo meccanismo. Supponiamo che un consorzio di agricoltori abbia avviato dal 1° gennaio 1990 in poi (e comunque prima del 31 dicembre 2007) delle pratiche agronomiche (*set aside* o non coltivazione di terreni precedentemente coltivati a grano, inerbimento di frutteti, ecc.) che hanno comportato un aumento del contenuto di sostanza organica — e quindi di carbonio — nei suoli. Questa differenza di contenuto di carbonio (da dimostrare con dati rigorosi) potrà essere conteggiata *in toto* nel bilancio nazionale. Supponiamo, invece, che un consorzio di proprietari forestali abbia attivato, successivamente al 1° gennaio 1990, una gestione delle proprie foreste che porti ad un aumento della biomassa legnosa e non legnosa (e quindi di carbonio), per esempio attraverso una riduzione del regime dei tagli o un regime di protezione totale, una conversione da ceduo in altofusto, un diradamento con effetti incrementali, ecc. In questo caso non tutto il carbonio accumulato potrà essere conteggiato, ma solo il 15%.

Va segnalato, infine, che gli accordi di Marrakesh hanno stabilito, per ogni paese dell'Allegato I, dei limiti ai crediti potenzialmente raggiungibili con la gestione forestale. Per l'Italia tale limite è di 0,18 milioni di tonnellate di carbonio (MtC)⁹, oggettivamente sottodimensionato rispetto alle capacità fissative del settore e soprattutto sproporzionato rispetto a quello di paesi analoghi al nostro per tipologia o estensione della superficie forestale (Tabella 1.1), quali, per esempio, Francia (0,88 MtC) e Germania (1,24 MtC), senza fare riferimenti più critici al limite negoziato per la Russia (33,0 MtC).

⁸ I debiti che è possibile pareggiare con la gestione forestale non possono comunque essere maggiori di 8 milioni di tonnellate di carbonio.

⁹ Tale dato deriva da una stima basata sulle informazioni relative alle foreste con piano di gestione ("*forest under management plan*") come registrate dalla FAO nel Global Forest Resources Assessment 2000: l'11% (1,117 M ettari) rispetto al totale della superficie boscata nazionale (9,970 M ettari). È evidente, tuttavia, che l'identificazione di "superficie gestita" con "superficie dotata di un piano di assestamento" è una grossolana approssimazione che penalizza il settore forestale italiano.

Tabella 1.1 – Volumi massimi di riduzione conteggiabili nei bilanci nazionali connessi agli interventi di gestione forestale (articolo 3.4) ed emissioni totali in alcuni paesi occidentali

Paese	Volumi massimi di riduzione con interventi gestione.for(Mt C/anno).	Emissioni (Mt C/anno)	% emissioni/ totale
Australia	0	131	2,66%
Canada	12,00	163,4	3,32%
Francia	0,88	150,9	3,06%
Germania	1,24	330,3	6,71%
Giappone	13,00	334,5	6,79%
Italia	0,18	141,6	2,88%
Nuova Zelanda	0,20	19,9	0,40%
Regno Unito	0,37	208,6	4,24%
Russia	33,00	824,4	16,74%
Stati Uniti	=	1653,9	33,58%
Totale	-	4924,9	100,00%

Ovviamente, per rispondere alle richieste definite all'interno del Protocollo di Kyoto, ogni paese dovrà contabilizzare, secondo procedure che sono in fase di definizione formale, le variazioni degli *stock* sia sulle nuove piantagioni forestali che sulle foreste sottoposte a gestione forestale. Tali procedure prevedono innanzi tutto una chiara identificazione delle aree interessate (per esempio, attraverso la georeferenziazione) e una stima analitica delle variazioni degli *stock* di carbonio dal 2008 e il 2012 (per esempio, attraverso misure dirette, l'uso di funzioni di crescita di validità locale o una combinazione di questi strumenti). Per poter conteggiare gli effetti fissativi non è invece necessario che siano monitorate le variazioni anno per anno degli *stock* intervenute dopo la piantagione e l'inizio del primo periodo d'impegno. Va segnalato, a questo proposito, che – per i progetti di gestione forestale che si rifanno all'articolo 3.4 – un paese può decidere di riportare dati su tutte le componenti dell'ecosistema forestale che contribuiscono alla fissazione di carbonio (biomassa dendrometrica, biomassa arborea totale, suolo) o su una o due di queste, purché siano forniti dati trasparenti e verificabili a dimostrazione che quella particolare componente non considerata nel bilancio non sia una fonte netta di emissioni (per esempio si potrà evitare di fornire dati sul suolo, ma si dovrà documentare che questa componente non determina emissioni).

In particolare, per quanto riguarda i metodi per l'identificazione e la stima di tali variazioni, molti aspetti saranno chiariti con la pubblicazione (attesa alla fine del 2003) di un rapporto sulle modalità di elaborazione degli inventari delle emissioni ("The Elaboration of Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry for the Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" - Quadro 3).

Quadro 3 – Il rapporto sulle modalità di elaborazione degli inventari delle emissioni

La redazione del rapporto *“The Elaboration of Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry for the Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”* nasce da un invito all’*Intergovernmental Panel on Climate Change* da parte dell’UNFCCC in seguito a una decisione assunta a Marrakesh nel corso della CoP-7 (Decision 11/CP.7, par. 3 – FCCC/CP/2001/13/Add.1). Il rapporto ha le seguenti finalità:

1. elaborare metodi per stimare, misurare, monitorare e riportare variazioni negli *stock* di carbonio ed emissioni di gas-serra di natura antropogenica derivanti da fonti e assorbimenti dei *sink* che risultano dalle attività di cambiamento dell’uso del suolo e delle foreste (*Land Use Land Use Change and Forestry - LULUCF*) negli articoli 3.3, 3.4, 6 e 12 del Protocollo di Kyoto (paragrafo 3a);
2. preparare, tenendo presente le *1996 Revised IPCC Guidelines*, un rapporto sulle pratiche di buona gestione e sulle modalità di ponderazione dei fattori incerti (*Good Practices and Uncertainty Management*) per una sua possibile adozione alla IX sessione della Conferenza delle Parti dell’UNFCCC (paragrafo 3b);
3. definire analiticamente i processi di *‘direct human induced degradation’* (degradazione indotta da azioni antropiche) e *‘devegetation’* (riduzione della copertura vegetale) delle foreste e altri tipi di vegetazione, citate nella stessa bozza di Decisione e le opzioni metodologiche per riportare le relative variazioni degli *stock* (paragrafo 3c).
4. sviluppare metodologie di carattere operativo per separare i cambiamenti per azione antropica degli *stock* di carbonio da quelli dovuti a fattori naturali (quali la fertilizzazione dovuta all’aumento in atmosfera della concentrazione di CO₂ e le deposizioni azotate nei suoli) e le pratiche forestali avviate prima del 1990 (paragrafo 3d).

Tale rapporto deve fornire indicazioni a tutti i paesi per sviluppare inventari di qualità, credibili, che non generino sovra- o sotto-stime, in grado di ridurre entro limiti accettabili le incertezze e che assicurino il pieno utilizzo delle migliori risorse informative disponibili, anche tenendo in considerazione le specifiche condizioni nazionali. Inoltre, esso deve presentare metodologie che siano valide per il *reporting* sulle attività agricole e forestali, sia nell’ambito della Convenzione sia nell’ambito del Protocollo di Kyoto.

Le decisioni di Marrakesh relative ai meccanismi flessibili. I paesi che hanno ratificato il Protocollo potranno raggiungere i loro obiettivi di riduzione anche mediante altri strumenti finanziari (i “meccanismi flessibili”: articoli 6 e 12 del Protocollo):

- l’acquisto di Crediti di Emissione (*Emissions Trading, ET*) da altri paesi industrializzati che siano in grado di ridurre le emissioni al di là dei propri obiettivi stabiliti nel Protocollo;
- l’acquisto di quote da altri paesi industrializzati (Implementazione Congiunta: *Joint Implementation, JI*) o da paesi in via di sviluppo (*Clean Development Mechanism, CDM*) che al momento sono senza impegni di riduzione.

A Marrakesh è stato deciso di estendere le attività degli articoli 3.3 e 3.4 anche agli interventi di *Joint Implementation*, a cui saranno verosimilmente applicate le stesse procedure e regole valide all’interno dei confini nazionali. Sarà, quindi, ad esempio possibile all’Italia (paese con impegni di riduzione e quindi incluso nell’Allegato I) acquistare dalla Russia delle quote di emissione, presumibilmente offerte a prezzi modici, connesse alle attività di gestione forestale contabilizzate in questo paese.

Per i CDM è stato invece deciso che, limitatamente al primo periodo d’impegno, si potranno includere soltanto le attività dell’articolo 3.3 con le quali, peraltro, un paese può raggiungere al massimo l’1% delle riduzioni assegnategli. In questo caso sarà quindi possibile al nostro paese acquistare le quote relative, ad esempio, alla realizzazione di una piantagione in Tunisia (o investire direttamente in questo paese e acquisire le quote).

2. Le funzioni di Carbon sink dei boschi italiani: il Modello CSEM

Il modello CSEM (acronimo per *Carbon Sequestration Evaluation Model*) si propone di studiare l'evoluzione del carbonio fissato nelle foreste semi-naturali, nell'ipotesi che questa segua l'andamento della cosiddetta curva di accrescimento logistico e dei relativi parametri di crescita.

Secondo Susmel (1988), "se potessimo seguire l'evoluzione di una popolazione dalla sua prima comparsa nel biotopo fino al culmine della maturità strutturale, cioè fino a quando la struttura cronologica non manifesta più sensibili variazioni, constateremmo che il suo accrescimento in numero ed in biomassa avviene seguendo una curva ad andamento sigmoideo (curva logistica). L'analisi di questa curva rivela che alcuni suoi tratti assumono rilevante significato ecologico.

- Tratto iniziale: dapprima la curva si sviluppa in modo tendenzialmente esponenziale; gli individui che compongono la popolazione dimostrano d'essere in grado di riprodursi e di accrescersi numericamente e ponderalmente, come se nell'ambiente non agisse alcun fattore limitante.
- Flesso: il punto di flesso che pone termine al tratto approssimativamente esponenziale della curva d'accrescimento segna l'intervento di un fattore ecologico, biotico o abiotico, che impedisce agli organismi ed alla popolazione di svilupparsi sotto il controllo dei soli fattori genetici. Si fanno dunque attivi dei fattori ambientali limitanti.
- Tratto finale: gli accrescimenti via via diminuiscono e alla fine si annullano. I fattori limitanti esplicano la propria funzione e mantengono la popolazione a valori di effettivo equilibrio con le condizioni ambientali."

Anche le foreste costituiscono delle popolazioni naturali di organismi vegetali, le piante, e quindi è verosimile che il loro accrescimento potenziale sia dovuto all'aumento del numero di individui, alla loro crescita in termini di biomassa e all'intervento di fattori ambientali limitanti.

L'espressione analitica della curva di accrescimento logistico risulta essere:

$$V(t) = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - M_0}{M_0} \right) e^{-rt}}$$

in cui $V(t)$ è il volume ad ettaro in m^3 di biomassa presente in bosco all'anno t , mentre K , M_0 ed r costituiscono i cosiddetti parametri di crescita, tipici per ciascuna curva:

- K è la capacità portante dell'ecosistema, misurata in m^3 ad ettaro; rappresenta il valore limite per il quale l'accrescimento dV/dt è uguale a zero, ossia quando la popolazione raggiunge il punto di equilibrio con i fattori ambientali;
- M_0 è l'intercetta sull'asse V , ossia i m^3 ad ettaro esistenti all'anno zero;
- r è il tasso intrinseco di accrescimento, che a sua volta è "la differenza tra il tasso con cui sono prodotti nuovi individui per individuo ed il tasso con cui gli individui esistenti muoiono per individuo" (Wilson e Bossert 1974).

Sulla base di questi parametri sono state definite 14 curve logistiche a carattere nazionale per le specie vegetali censite nell'Inventario Forestale Nazionale 1985 (ISAF 1988), distinte tra fustaie e cedui. Queste 14 curve corrispondono alle tipologie di foreste semi-naturali prese in considerazione nel modello.

L'evoluzione di tali foreste viene "modellizzata", quindi, secondo i parametri di accrescimento potenziale delle logistiche; il prodotto del valore del volume ad ettaro all'anno n per il valore della superficie forestale di ciascuna tipologia all'anno n costituisce quella che andremo a chiamare "massa lorda presente in bosco".

Un bosco è, però, soggetto a calamità naturali, incendi e tagli, eventi che possono portare ad

una diminuzione della massa lorda presente e ad un conseguente abbassamento dell'età media: le superfici tagliate e bruciate, purché non se ne cambi la destinazione d'uso, costituiscono infatti nuove superfici dove il bosco viene ricostituito.

Il modello CSEM studia l'evoluzione delle masse presenti in bosco al netto dei volumi tagliati e incendiati; non è stato possibile introdurre nel modello informazioni relative a volumi danneggiati da schianti, morie, attacchi da insetti e parassiti, in quanto non esistono fonti ufficiali per questo tipo di dati. Quindi, per massa netta all'anno n si intende la differenza tra la massa lorda e la massa tagliata e incendiata nel corso dell'anno; questo valore di massa comprende i seguenti contributi:

massa del fusto intero con corteccia, comprensivo di cimale per le conifere o massa dendrometrica con corteccia con esclusione della fascina di diametro inferiore a 3 cm per le latifoglie e i pini a chioma espansa;

massa epigea di foglie e rami e ipogea delle radici (questa massa viene calcolata a partire dalla massa legnosa moltiplicata per un opportuno coefficiente);

biomassa contenuta nel suolo e nelle sostanze umiche (per questo tipo di biomassa si è ipotizzato un accrescimento lineare nel tempo).

Il valore del *sink*, ossia le quantità di tonnellate di carbonio che vengono fissate da un anno all'altro nelle foreste semi-naturali, risulta dalla differenza degli *stock* calcolati anno dopo anno; lo *stock* rappresenta la biomassa totale presente in bosco all'anno n , comprensiva di biomassa epigea, ipogea e della biomassa contenuta nel suolo al netto di tagli e incendi. Il calcolo dello *stock* e delle relative differenze viene eseguito anno per anno e distintamente per le varie tipologie, mentre la somma totale dei vari *sink* (ossia delle differenze) costituisce il risultato finale del modello. L'*output* del modello consiste quindi nel *sink* totale delle varie tipologie calcolato anno per anno, a partire dal 1985 con una previsione fino al 2030.

È importante notare che nel calcolo del *sink* complessivo dovrebbero essere conteggiate anche le masse tagliate di anno in anno, perché anche queste masse sono il risultato della fissazione del carbonio; questo lavoro non trascura tale aspetto, ma dedica ad esso un apposito studio che si occupa del bilancio del carbonio contenuto nei prodotti legnosi, considerando in un apposito "blocco" il consumo di legname in Italia (cfr. cap. 3).

2.1 Dati di input del modello e loro elaborazione

Le fonti ufficiali dei dati di *input* per il modello sono costituite da:

1. dati degli Inventari Forestali Regionali 1985 utilizzati per redigere l'Inventario Forestale Nazionale 1985;
2. dati dell'Inventario Forestale Nazionale del 1985;
3. dati delle Statistiche forestali dell'ISTAT dal 1985 al 1997;
4. dati dell'Ufficio di Statistica del Corpo Forestale dello Stato dal 1985 al 2000.

2.1.1 Dati degli Inventari Forestali Regionali 1985

I dati degli Inventari Forestali Regionali sono stati utilizzati per calcolare i parametri di crescita, K , M_0 ed r , delle 14 curve logistiche del modello.

I parametri sono stati ricavati mediante un'interpolazione statistica dei dati di massa ad ettaro suddivisa in quattro classi di età; si sono pertanto utilizzati unicamente i dati relativi alle fustaie coetanee (massa ad ettaro relativa a 20, 60, 100 e 150 anni) ed ai cedui (massa ad ettaro relativa a 5, 15, 25 e 40 anni). Non sono stati utilizzati invece quelli relativi a fustaie disetanee e cedui a sterzo, poiché per queste forme di governo le masse ad ettaro erano raggruppate per classi di diametro.

I valori ad ettaro utilizzati per estrapolare le logistiche si riferiscono a superfici produttive effettivamente dotate di soprassuoli coetanei (quindi su queste superfici non viene presumibilmente praticato il taglio saltuario), al netto delle superfici tagliate e bruciate e delle superfici incluse¹⁰. Questa informazione è importante, perché i parametri ricavati dall'interpolazione statistica si riferiscono ad un bosco che presumibilmente non viene tagliato e incendiato e rappresentano pertanto dei parametri di crescita potenziale; per questo motivo in un secondo momento è stato necessario introdurre nel modello i dati relativi alle masse legnose tagliate e bruciate di anno in anno, sottraendo queste ultime alla cosiddetta massa lorda.

L'interpolazione è stata condotta su 714 dati, avendo cura di scartare i dati delle ultime classi di età, quando questi risultavano inferiori a quelli delle precedenti classi, in quanto affetti da prelievo. Ciò avrebbe potuto causare dei problemi nel calcolo di K e r che sarebbero risultati sottostimati. Si è perciò preferito tralasciare le informazioni che avrebbero potuto "stravolgere" il significato delle curve logistiche. È, infatti, da ricordare che le curve sono relative alla cosiddetta "massa lorda presente in bosco" al netto di tagli e incendi: questo "screening" dei dati iniziali dovrebbe evitare eventuali sottostime dei parametri di crescita. Nel modello è possibile comunque alzare ulteriormente tali valori mediante degli opportuni coefficienti moltiplicativi che possono essere di volta in volta scelti dall'operatore. In fase di elaborazione, ad ogni dato di massa ad ettaro è anche possibile assegnare un peso della rappresentatività di quel dato, calcolato come segue:

$$\frac{Sup_{rif}}{Sup_{tot}}$$

Con: Sup_{rif} = superficie forestale di riferimento per il valore di massa ad ettaro
 Sup_{tot} = superficie forestale totale per tipologia

Si sono così potute costruire delle curve logistiche a carattere nazionale per ciascuna specie dell'Inventario 1985; non si sono potute costruire curve a carattere regionale, perché il raggruppamento dei dati per macroregione consentiva l'interpolazione statistica solamente per le specie meglio rappresentate, tralasciando le specie minoritarie. Si è preferito dunque ricondurre la totalità dei dati, suddivisa per singola specie, all'intero territorio italiano.

I parametri K ed r sono specifici per ciascuna tipologia, mentre è stato calcolato un valore di M_0 pari a 2,9 m³/ha per le fustaie e di 15,2 m³/ha per i cedui. I valori di massa ad ettaro per classe di età, utilizzati per il calcolo di K ed r , sono relativi a soprassuoli con altezza media superiore a 5 m e con diametro a 1,30 m superiore a 2,5 cm; rimangono pertanto esclusi tutti i soprassuoli più giovani necessari per il calcolo di M_0 . Fortunatamente l'Inventario Forestale Nazionale del 1985 riporta il dato di volume e superficie dei soprassuoli con altezza media inferiore a 5 m; in particolare nelle fustaie "il rilevamento dendrometrico ha interessa-

¹⁰ Si riporta a questo proposito quanto scritto a pagina 89 e 142 dell'Inventario Forestale Nazionale 1985 (ISFA 1988): "È forse necessario anticipare già in questa sede che, per una corretta interpretazione dei dati dendrometrici emersi come risultanze inventariali in riferimento alle superfici a fustaia occorre evidenziare [...] che tali dati riguardano le sole superfici effettivamente ospitanti soprassuoli oppure superfici a fustaia dove sono presenti soggetti dimensionalmente rilevanti presenti su tali aree (individui rilasciati, superstiti o comunque sporadici) con percentuale di copertura del 20% almeno; stessa cosa per i cedui dove i dati di provvigione sono riferiti alla sola superficie produttiva dotata di soprassuolo. Da queste superfici sono escluse tutte le superfici nelle quali il soprassuolo ha una copertura inferiore al 20%: le superfici temporaneamente prive di soprassuolo per tagli e calamità naturali (incendi, schianti ...); le superfici incluse: radure, incolti, rocce, macereti, corsi d'acqua, paludi, laghi, frane, canaloni da valanga, prati, pascoli, strade, linee elettriche e telefoniche, cave, miniere, piste da sci, fabbricati, viali parafulco, vivai forestali, opere idrauliche [...]".

to unicamente gli individui dimensionalmente rilevanti, in genere appartenenti al soprassuolo pregresso e rilasciati al momento della sua utilizzazione" (727.134 m³ su di una superficie di 254.700 ha, a pagina 323 dell'Inventario), mentre il dato di 15,2 m³/ha per i cedui "è chiaramente da ascrivere al fatto che nell'ambito di questa forma di governo il rilascio degli individui del soprassuolo pregresso costituisce elemento caratteristico fondamentale del sistema di allevamento, almeno nei cedui matricinati e composti" (13.215.576 m³ su di una superficie di 870.300 ha, a pagina 423 dell'Inventario).

Nella tabella 2.1 si riportano i parametri di crescita (K , M_0 , r) di ciascuna delle tipologie dell'IFNI.

Tabella 2.1 – Parametri di crescita individuati per i tipi di formazioni forestali dell'Inventario Forestale Nazionale Italiano

	PARAMETRI DI CRESCITA		
	K	M_0	r
Fustaia abete rosso	412	2,9	0,152
Fustaia abete bianco	572	2,9	0,101
Fustaia larice	301	2,9	0,156
Fustaia pini montani	269	2,9	0,162
Fustaia pini mediterranei	199	2,9	0,147
Altre conifere	142	2,9	0,144
Fustaia faggio	303	2,9	0,174
Fustaie querce	211	2,9	0,141
Fustaia altre latifoglie	230	2,9	0,145
Ceduo faggio	165	15,2	0,248
Ceduo castagno	198	15,2	0,23
Ceduo carpini	114	15,2	0,174
Cedui querce	119	15,2	0,211
Ceduo altre latifoglie	127	15,2	0,202

Riguardo alla fonte utilizzata nel calcolo dei parametri delle logistiche, è doveroso sottolineare che la scelta a favore dei dati contenuti negli Inventari Forestali Regionali del 1985 è stata quasi obbligata: in Italia non esistono infatti tavole di cubatura a più entrate (entrata in tavola con diametro, altezza e soprattutto età, conoscendo il numero di alberi suddiviso per classe di età) o tavole alometriche a carattere nazionale per le varie tipologie di specie considerate nel modello; inoltre gli Inventari Forestali Regionali successivi al 1985, elaborati da circa una decina di Regioni italiane, adottano spesso definizioni di superficie forestale e criteri di rilevamento diversi tra loro. "È evidente che laddove sono presenti differenze nei criteri di definizione di superficie forestale il confronto o l'impiego combinato di dati di superficie (oppure di massa o di incremento legnoso) risultanti dalle varie indagini inventariali, si presenta alquanto problematico" (Tosi e Marchetti 1998).

I dati di massa ad ettaro degli Inventari Forestali Regionali 1985 adottano, invece, le medesime definizioni di superficie forestale e i medesimi criteri di rilevamento per i parametri dendrometrici e, quindi, rappresentano la fonte più autorevole da cui poter ricavare i parametri di crescita. Questi dati non corrispondono a quelli rilevati nelle originali aree di campionamento, ma derivano purtroppo da una prima fase di elaborazione a partire dai dati originali; avendo a disposizione i dati relativi alle aree di campionamento, si potrebbero ricavare non solo parametri di crescita nazionali maggiormente precisi, ma addirittura dei parametri di crescita a carattere regionale.

2.1.2 Dati dell'Inventario Forestale Nazionale 1985

I dati dell'Inventario Forestale Nazionale del 1985 servono per determinare i valori iniziali di volume ed età delle 14 curve logistiche. Per prima cosa si è eseguito il rapporto tra la massa totale e la superficie forestale totale per ciascuna specie (superficie comprensiva delle superfici temporaneamente prive di soprassuolo per cause accidentali o per eventuali tagli e delle superfici corrispondenti ai soprassuoli con altezza media inferiore a 5 m); calcolata, quindi, la massa ad ettaro si è trovata la corrispondente età media del bosco (t_0) per la singola specie (vedi fig. 1.0), in base alla formula:

$$t_0(85) = -\frac{1}{r} \operatorname{Ln} \left(\frac{K - V_{85} M_0}{K - M_0 V_{85}} \right)$$

formula inversa della formula della logistica; si vedrà in seguito (paragrafo 2.2.1) l'utilità del dato t_0 .

È importante notare che il calcolo relativo all'anno 1985 avviene direttamente con il dato della massa netta ad ettaro, quest'ultima derivante dal rapporto tra i volumi inventariati nell'85 (non comprensivi di tagli e incendi, ma comprensivi dei volumi dei popolamenti con altezza media inferiore a 5 m) e la superficie forestale comprensiva di tagli e incendi e della superficie dei soprassuoli con altezza media inferiore a 5 m (dato fornito dall'Inventario).

Purtroppo le informazioni relative al volume e alla superficie dei soprassuoli con altezza inferiore a 5 m (727.134 m³ su 254.700 ha in fustaia e 13.215.576 m³ su 870.300 ha nei cedui) e alle superfici tagliate e incendiate nel corso del 1985 erano distinte tra fustaie e cedui e non distinte tra le varie tipologie; è stato quindi necessario ripartire il dato aggregato e si è scelto di farlo in base alla frazione di superficie occupata da ciascuna specie.

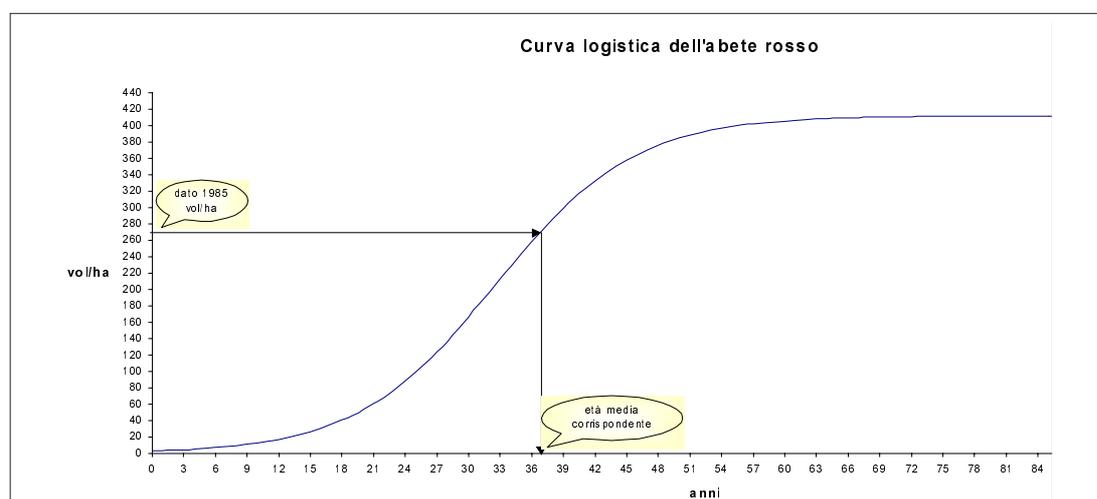


Figura 2.1 – Schema esemplificativo di come viene determinata l'età media (t_0) di ciascuna tipologia (qui il caso dell'abete rosso) a partire dalla massa unitaria

Per quanto riguarda il volume dei soprassuoli con altezza inferiore a 5 m, si è scelto come criterio di ripartizione la superficie e non il volume, in quanto, per piante di giovani età si presume che i volumi iniziali non siano dissimili da specie e specie; la superficie rappresenta

quindi un criterio di ripartizione più ragionevole. Di seguito si riporta un esempio di calcolo per l'abete rosso.

Provvigione ad ettaro dell'abete rosso:

$$\frac{V_{\text{abete rosso}} \cdot \left[V_{\text{popolamenti} < 5m} \cdot \left(\frac{S_{\text{abete rosso}}}{S_{\text{totale}}} \right) \right]}{S_{\text{abete rosso}} \cdot \left[S_{\text{popolamenti} < 5m} + S_{\text{tagliate}} + S_{\text{bruciate}} \cdot \left(\frac{S_{\text{abete rosso}}}{S_{\text{totale}}} \right) \right]}$$

In cui i dati di S_{totale} , $V_{\text{popolamenti} < 5m}$, $S_{\text{popolamenti} < 5m}$, S_{tagliate} , S_{bruciate} sono aggregati per le fustaie (oppure per i cedui).

Come si può vedere al denominatore della precedente formula il dato di superficie forestale di ciascuna specie è costituito dalla somma della superficie forestale produttiva insieme con il dato ripartito delle superfici relative ai popolamenti con altezza media inferiore a 5 m, delle superfici tagliate e delle superfici bruciate; il peso utilizzato nella ripartizione di queste superfici consiste nella frazione di superficie forestale produttiva occupata da ciascuna specie. Il dato di superficie forestale di ciascuna specie, così come definito al denominatore della precedente formula, entra pure nel calcolo della massa lorda e del carbonio contenuto nel suolo relativo all'anno 1985 per ciascuna specie.

Anche per quanto riguarda i prelievi si è utilizzato il dato IFNI 1985: per le fustaie i prelievi erano già suddivisi per specie (tabella a pagina 435), mentre per i cedui il dato totale della cosiddetta ripresa planimetrica (72.450 ha a pagina 432) è stato moltiplicato per il valore della massa ad ettaro corrispondente all'età di massimo incremento medio (nell'ipotesi che il turno dei cedui corrisponda al cosiddetto turno selvicolturale) e ripartito tra le varie specie, in base alla frazione di provvigione di ciascuna specie. Di seguito si riporta la formula utilizzata per il calcolo dei prelievi nei cedui di faggio:

in cui con Vol_{ha} si intende il volume ad ettaro del ceduo di faggio corrispondente all'età di

$$Vol_{ha} = V_{\text{ceduo}} \cdot \frac{V_{\text{ceduo}}}{V_{\text{ceduo}}}$$

massimo incremento medio: tale volume viene calcolato mediante la curva logistica in funzione di t , (età di massimo incremento medio), r , K , M_0 . Risulta evidente che, mentre i parametri r , K , M_0 sono conosciuti, l'età corrispondente al massimo di incremento medio deriva da un calcolo apposito; si è infatti dovuto eseguire un sistema tra la generica retta passante per il punto di coordinate $(0, M_0)$ e con pendenza pari alla derivata prima della logistica e la logistica stessa, il tutto calcolato nel punto t_0 , che è la nostra incognita. Questo nell'ipotesi che l'età di massimo incremento medio corrisponda al punto di tangenza tra la generica retta e la logistica. Detta $V_{(t)}$ la funzione logistica avremo:

$$\begin{cases} y = V'(t_0)t_0 + M_0 \\ y = V(t_0) \end{cases}$$

Dopo aver eguagliato le due ordinate, si è trovata la soluzione numerica per t_0 dell'equazione sottostante:

$$V(t_0) - V'(t_0)t_0 - M_0 = 0$$

Tutti i dati di superficie forestale, provvigione e prelievo dell'Inventario Forestale Nazionale sono quindi serviti per definire la situazione di partenza all'anno 1985.

2.1.3 Dati delle Statistiche Forestali dell'ISTAT

I dati delle Statistiche Forestali sono stati utilizzati per far evolvere il modello; purtroppo non è mai stato eseguito un secondo Inventario Forestale Nazionale e le uniche serie storiche disponibili sono quelle dell'ISTAT, per gli anni compresi tra il 1985 e il 1997. Nella fattispecie sono stati utilizzati i dati relativi alle superfici forestali e ai prelievi.

Il problema più difficile che si è dovuto affrontare nell'impiego di questi dati è stato la non corrispondenza tra le categorie di classificazione utilizzate dall'ISTAT e quelle dell'Inventario Forestale Nazionale. Ad esempio, le fustaie della tipologia "altre conifere" nell'IFNI vengono stimate nell'ordine dei 100.000 ha, mentre nell'ISTAT l'ordine è di 900.000 ha; pure il dato sui prelievi ISTAT non è congruente con il relativo dato di superficie ISTAT: 12.058 m³ di prelievi all'anno 1985 per le "fustaie di altre resinose", contro i 996.841 m³ dell'abete rosso la cui superficie è di soli 141.936 ha.

A questo punto si presentavano due ipotesi di lavoro percorribili:

1. ricalcolare le curve logistiche per le categorie di superficie e di prelievo dell'ISTAT; facendo in questo modo però, il dato della massa netta IFNI 1985, necessario per far partire il modello, sarebbe comunque relativo alle superfici IFNI e non alle superfici ISTAT;
2. prendere per buono il dato di superficie forestale e di prelievo dell'IFNI 1985 e aggiornarlo di anno in anno, sulla base delle variazioni totali positive o negative da un anno all'altro dell'ISTAT; se infatti i criteri di aggregazione sono diversi e, di conseguenza, anche gli ordini di grandezza delle superfici e dei prelievi per tipologia sono diversi, è verosimile, però, che questi criteri ISTAT non cambino da un anno all'altro. Mentre sul dato assoluto, riferito a ciascuna delle tipologie considerate, ci possono essere grossi errori, questo non dovrebbe verificarsi sul dato relativo, riferito all'insieme delle varie tipologie (differenza totale da un anno all'altro); tanto più considerando che il dato totale IFNI della superficie forestale 1985 e dei prelievi 1985 in Italia differisce di poco dal corrispondente dato ISTAT 1985.

Si è preferito adottare la seconda ipotesi, considerando quindi la variazione di superficie (suddivisa tra fustaie e cedui) da un anno all'altro e ripartendola secondo le frazioni di superficie IFNI 1985. In questo modo si fa partire il modello con il dato IFNI 1985 e lo si fa evolvere aggiornando le superfici di anno in anno con il dato ISTAT. Si è operato con lo stesso criterio anche per quanto riguarda i prelievi; il dato relativo alla variazione da un anno all'altro era però aggregato tra fustaie e cedui e quindi si è dovuto utilizzare un peso leggermente diverso. Di seguito sono posti a confronto i pesi utilizzati per ripartire la variazione ISTAT delle superfici forestali e dei prelievi:

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = S_{i,t} \left(\frac{S_{i,t}}{S_{i,t} + S_{j,t}} - \frac{S_{i,t}}{S_{i,t} + S_{j,t}} \right) \frac{S_{i,t}}{S_{i,t} + S_{j,t}}$$

$$P_{i,t+1} - P_{i,t} = P_{i,t} \left(\frac{P_{i,t}}{P_{i,t} + P_{j,t}} - \frac{P_{i,t}}{P_{i,t} + P_{j,t}} \right) \frac{P_{i,t}}{P_{i,t} + P_{j,t}}$$

Come si può notare la superficie della specie *i* all'anno *n* dipende dalla superficie *i* presente

l'anno precedente ($n-1$), alla quale viene aggiunta la variazione totale (ISTAT) delle superfici a fustaia tra l'anno considerato e l'anno precedente, suddivisa per la frazione di superficie occupata dalla specie i sul totale delle superfici a fustaia dell'anno precedente. Per i cedui le procedure di calcolo sono analoghe.

I prelievi vengono calcolati all'incirca nello stesso modo, fatta eccezione per il peso adottato nella ripartizione: in questo caso al posto delle superfici si utilizza la frazione della provvigione della specie i dell'anno precedente calcolata sul totale delle provvigioni dell'anno ($n-1$), nell'ipotesi che i tagli vengano effettuati secondo l'effettiva consistenza legnosa di ciascuna specie. In sostanza il prelievo dipende dalla provvigione presente in bosco l'anno precedente: bisogna infatti osservare come i pesi delle varie specie non rimangono costanti di anno in anno, ma vengono calcolati a partire dalle percentuali presenti l'anno precedente. Questo permette ai prelievi di "autostabilizzarsi" in quanto, se il volume di una specie cala rispetto all'anno precedente, l'anno successivo il suo prelievo sarà minore, impedendo così che, con il passare degli anni, la specie stessa "scompaia".

In questo modo si sono ripartiti i prelievi e le superfici forestali dall'anno 1985 all'anno 1997; per gli anni successivi al 1997 e fino al 2030, il criterio di calcolo e di ripartizione non cambia. Per quanto riguarda invece le variazioni totali, non esistendo ovviamente alcun dato ufficiale, si può prevedere di adottare una estrapolazione statistica a partire dai dati storici, di adottare un dato medio, oppure di ragionare nell'ottica "what...if" inserendo i dati manualmente nell'ipotesi di diversi scenari di intervento.

2.1.4 Dati delle statistiche ufficiali del Corpo Forestale dello Stato

Dal sito Internet del Corpo Forestale sono stati presi i dati sulle superfici forestali nazionali incendiate dall'anno 1985 all'anno 2000; si è preferita questa fonte alle Statistiche ISTAT perché la serie storica è risultata più completa. Il dato relativo al totale delle superfici bruciate, ripartito tra le varie tipologie in base alla frazione di superficie occupata, è stato moltiplicato per il valore della provvigione unitaria media di ciascuna tipologia presente alla fine dell'anno precedente, nell'ipotesi che gli incendi colpiscano indifferentemente le superfici boscate adulte e giovani e le superfici tagliate e magari percorse dal fuoco in passato. Purtroppo non si è trovata nessuna informazione relativa a quale tipologia viene colpita maggiormente, come verosimilmente dovrebbe verificarsi nella realtà: ci si aspetta infatti, per esempio, che i pini mediterranei siano più attaccati rispetto alle altre tipologie. Allo stato attuale delle informazioni disponibili si è perciò ipotizzato che gli incendi attacchino le tipologie maggiormente estese in termini di superficie. Di seguito si riporta la formula per il calcolo dei volumi incendiati della specie i all'anno n ; si ricorda che il dato relativo ai volumi incendiati per tipologia rientra successivamente nel calcolo della massa netta.

$$Vol_{i\text{anno}(n)} = SupTot_{incendiata\text{anno}(n)} Vol_{ha\text{ }i(n-1)} \left(\frac{Sup_{i(n-1)}}{Sup_{tot(n-1)}} \right)$$

in cui Vol_{ha} è il volume ad ettaro della specie i all'anno ($n-1$).

Anche in questo caso, per gli anni successivi al 2000, la formula non cambia, mentre, per quanto riguarda le superfici totali incendiate di anno in anno, si può ancora prevedere di adottare una estrapolazione statistica a partire dai dati storici, di adottare un dato medio, oppure di ragionare con un approccio "what...if".

2.2 Il modello in dettaglio

Il modello CSEM calcola separatamente i vari contributi alla fissazione del carbonio, per poi sommarli tra loro nell'*output* finale degli *stock* per ciascuna tipologia e infine determinare i relativi *sink*. Per comodità di trattazione di seguito si riporta la descrizione dei vari contributi in maniera separata.

I vari contributi alla fissazione del carbonio provengono da:

- biomassa legnosa netta;
- biomassa epigea di rami e foglie e biomassa ipogea delle radici;
- carbonio fissato nel suolo.

Nella fase finale dell'elaborazione si è proceduto con la stima di:

- carbonio totale, che è la somma dei precedenti contributi (il cosiddetto *stock*);
- *sink* finale.

2.2.1 La biomassa legnosa netta

Questa parte del modello studia l'evoluzione nel tempo delle masse nette esistenti in bosco alla fine di ciascun anno solare, dopo che questo bosco è cresciuto secondo i valori della logistica ed è stato tagliato o danneggiato da incendio. Lo scenario è quindi costituito dalla massa netta presente in bosco, intesa come massa del fusto intero comprensivo di cimale e corteccia per le conifere e come massa dendrometrica comprensiva di corteccia, ma esclusiva della fascina con diametro inferiore a 3 cm, per le latifoglie e i pini a chioma espansa; per questo motivo è stata definita come biomassa legnosa netta.

Il modello ragiona secondo una logica di bilancio di massa eseguito anno dopo anno per ciascuna tipologia:

- all'inizio dell'anno n è presente in bosco $V_{(n-1)}$ (volume iniziale), che insiste su una certa superficie $S_{(n-1)}$ (superficie iniziale); questi sono il volume al netto dei tagli e degli incendi e la corrispondente superficie forestale esistenti alla fine dell'anno solare precedente e che transitano all'inizio dell'anno solare di riferimento.
- a fine anno è presente in bosco la cosiddetta massa netta: $V_{\text{netto all'anno } n} = V_{(n-1)}$ (volume iniziale) + $\Delta V_{\text{cresciuto nell'anno } n}$ (il volume $(n-1)$ relativo alla superficie $(n-1)$, che è cresciuto secondo i valori della logistica) - $V_{\text{tagliato nell'anno } n}$ - $V_{\text{bruciato nell'anno } n}$. Questo volume netto insiste su una superficie che magari è stata in parte tagliata, bruciata e in parte è stata rimboschita o disboscata nel corso dell'anno, per cui il valore della superficie forestale iniziale e della superficie forestale finale possono essere diversi. Se, infatti, durante l'anno sono avvenuti rimboschimenti o disboscamenti questi vengono conteggiati alla fine dell'anno solare di riferimento e non all'inizio. È da osservare come il dato di superficie forestale delle Statistiche forestali ISTAT sia comprensivo delle superfici tagliate e incendiate, per cui solo eventuali rimboschimenti o disboscamenti possono far aumentare o diminuire rispettivamente la superficie forestale.

Il volume netto a fine anno viene quindi diviso per la superficie forestale presente a fine anno; il dato ottenuto di massa netta ad ettaro servirà per calcolare la nuova età media del bosco, necessaria per far ripartire la logistica l'anno successivo, utilizzando la formula inversa della logistica precedentemente vista; in questo modo si rallenta lo spostamento del punto verso destra lungo la logistica.

Il dato di età media può inoltre essere utilizzato come un parametro indicativo per la gestione selvicolturale del bosco, a seconda che si voglia massimizzare il dato di incremento medio oppure il *sink* (massimo di incremento corrente).

Per formalizzare il procedimento di calcolo, avremo quindi che: al generico anno n il volume iniziale è costituito dal prodotto della superficie finale dell'anno $(n-1)$, comprensiva dei tagli e degli incendi di tutti gli anni precedenti, e il volume netto ad ettaro riferito alla fine dell'anno $(n-1)$.

$$V_{iniziale} = V_{netto/ha (n-1)} S_{(n-1)} \quad (1)$$

Alla fine dell'anno n , il volume in bosco è costituito dal prodotto tra la superficie forestale dell'anno $(n-1)$ e il volume netto dell'anno $(n-1)$, cresciuto di un anno secondo i parametri della logistica a partire dalla nuova età media $t_{0(n-1)}$ del bosco calcolata alla fine dell'anno solare precedente:

$$V_{all'anno n} = S_{(n-1)} V_{(t_{0(n-1)} + 1)} \quad (2)$$

Questo non è ancora il volume netto; a questo valore deve essere tolto il dato relativo ai volumi tagliati e bruciati durante l'anno, ripartiti per le varie specie dell'Inventario.

Il volume netto presente in bosco alla fine dell'anno per ciascuna specie corrisponde, quindi, alla seguente formula:

$$V_{netto all'anno n} = (S_{(n-1)} V_{(t_{0(n-1)} + 1)}) - V_{bruciato} - V_{tagliato} \quad (3)$$

Per quanto riguarda il parametro $t_{0(n-1)}$ va osservato che entra nel calcolo del volume netto all'anno n come la funzione inversa della logistica:

$$t_{0(n-1)} = \frac{(n-1) - 0}{0 - (n-1)} \quad (4)$$

in cui $V_{(n-1)}$ è il volume netto ad ettaro corrispondente all'anno $(n-1)$ e viene calcolato come rapporto tra $V_{netto (n-1)}$ e $S_{(n-1)}$.

Sostituendo questa formula nel valore della logistica all'anno n e sviluppando algebricamente si ottiene:

$$V_{(t_{0(n-1)} + 1)} = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - M_0}{M_0} \right) e^{-r t_{0(n-1)} + 1}} \quad (5)$$

$$V_{(t_{0(n-1)} + 1)} = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - M_0}{M_0} \right) e^{-r t_{0(n-1)}} e^{-r l}} \quad (6)$$

$$V_{(t_{0(n-1)} + 1)} = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - M_0}{M_0} \right) e^{-r \left(-\frac{1}{r} \ln \left(\frac{K - V_{(n-1)} M_0}{(K - M_0) V_{(n-1)}} \right) \right)} e^{-r l}} \quad (7)$$

Ovvero:

$$V_{(t_{0(n-1)} + 1)} = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - V_{(n-1)}}{V_{(n-1)}} \right) e^{-r l}} \quad (8)$$

Ciò significa che il volume all'anno n dipende dal volume netto ad ettaro dell'anno precedente, fatto crescere secondo i parametri K e r della logistica per un periodo di tempo corrispondente a un anno solare.

Il volume netto $V_{\text{netto all'anno } n}$ serve quindi per calcolare la nuova età media del bosco da cui far ripartire la logistica l'anno successivo; il nuovo $t_{0(n)}$, infatti, dipende dal volume netto ($V_{\text{netto } (n)}$) e dalla corrispondente superficie $S_{(n)}$ comprensiva di tagli, incendi, rimboschimenti e disboscamenti avvenuti nell'anno e calcolato secondo la formula (4), funzione inversa della logistica.

In conclusione, mentre il dato di volume netto dell'anno 1985 dipende da:

$$V_{(85)} = S_{(85)} V(t_{0(85)}) \quad (9)$$

Il generico volume degli anni successivi dipende da:

$$V_{\text{netto totale all'anno } n} = S_{(n-1)} V(t = 1, r, K, M_0 = V_{(n-1)}/S_{(n-1)}) - V_{\text{bruciato}} - V_{\text{tagliato}} \quad (10)$$

2.2.2 La biomassa epigea e ipogea

Questa biomassa corrisponde alla sostanza organica contenuta in un intero albero, comprensiva di foglie, rami, radici e fusto. Viene calcolata moltiplicando la biomassa legnosa per un opportuno coefficiente (1,50 per le conifere e 1,26 per le latifoglie); per le latifoglie si utilizza un coefficiente più basso di quello per le conifere perché la loro biomassa legnosa è una massa di tipo dendrometrico, che tiene già in parte conto della componente blastometrica. La biomassa epigea e ipogea segue quindi in modo proporzionale l'evoluzione nel tempo della biomassa legnosa netta. Trasformando successivamente con opportuni coefficienti (0,17 per le conifere e 0,25 per le latifoglie) i m³ di biomassa legnosa in tonnellate di carbonio, si ottiene il cosiddetto "carbonio biomassa", ossia le tonnellate di carbonio corrispondenti alla biomassa totale.

2.2.3 Il carbonio fissato nel suolo

Per quanto riguarda il carbonio nel suolo, si è ipotizzato che in una foresta naturale indisturbata la sua evoluzione sia rappresentabile con un modello di crescita lineare. La sostanza organica del suolo, infatti, dovrebbe aumentare proporzionalmente allo sviluppo della biomassa arborea, mentre tagli e incendi dovrebbero incidere su di esse negativamente, riducendo di conseguenza la percentuale del carbonio presente nel suolo.

Ci è parso quindi sensato agganciare il valore del carbonio del suolo dell'anno n all'età media corrispondente, poiché l'età del bosco calcolata secondo la (4) tiene conto del fatto che il bosco può ringiovanire mediante tagli e incendi: se il rapporto tra volume totale e superficie totale a fine anno è inferiore a quello di inizio anno, queste superfici tagliate e bruciate contribuiscono a far ringiovanire il bosco, influenzando di conseguenza anche il contenuto di carbonio nel suolo. Il valore del carbonio del suolo all'anno n viene quindi calcolato per ciascuna tipologia presa in considerazione e rappresenta il prodotto tra il valore del volume massimo ad ettaro di carbonio nel suolo (105 tC/ha per le fustaie di conifere, 110 tC/ha per le fustaie di latifoglie e 98 tC/ha per i cedui) moltiplicato per la superficie forestale di ogni tipologia all'anno n e per un coefficiente di correzione; si è ipotizzato che i valori di 105, 110 e 98 tC/ha corrispondano ai contenuti di carbonio massimi potenziali delle rispettive formazioni, nel momento in cui esse raggiungono l'età di massimo incremento medio (siano cioè relativi all'anno di scadenza del cosiddetto turno selvicolturale)¹¹.

¹¹ In altri studi condotti su scala europea sono stati utilizzati approcci più semplificati. L'IDF (2001), rifacendosi a Ranger *et al.* (1981), ha ipotizzato una crescita costante annua di 1 t/ha/anno del carbonio contenuto nel suolo di piantagioni forestali, facendo riferimento alla durata media del ciclo colturale. Da uno studio inventariale sul contenuto di carbonio nei suoli francesi è risultato un dato di circa 70 t/ha, come media per le formazioni di resinose e di latifoglie relativa ai primo 30 cm dell'orizzonte organo-minerale (Arrouays *et al.* 1999).

La formula adottata nel calcolo del carbonio nel suolo per la specie i e all'anno n è la seguente:

$$C_{soil,i,n} = C_{soil,i,n-1} \cdot \frac{C_{biomassa,i,n}}{C_{biomassa,i,n-1}}$$

Il coefficiente relativo all'età media tiene conto del fatto che il carbonio nel suolo segue l'evoluzione della biomassa arborea in termini di crescita, tagli e incendi. Se, ad esempio, il bosco viene incendiato, l'età media si abbassa e insieme con essa si abbassa anche la frazione di carbonio nel suolo, mentre – di contro – se il bosco cresce, l'età media aumenta e conseguentemente aumenta anche il carbonio nel suolo.

In conclusione, il carbonio presente nel suolo corrisponderà a una frazione della quantità di carbonio correlata all'età di massimo di incremento medio; qualora l'età media del bosco si avvicini all'età di massimo incremento medio, il carbonio nel suolo si avvicinerà ai valori di 105, 110 e 98 tC/ha moltiplicati per le relative superfici.

2.3 Elaborazioni finali: il carbonio totale e il *sink*

Il carbonio totale, ossia il cosiddetto *stock*, risulta dalla somma dei precedenti contributi (vedi figura 2.2), eseguita per ciascuna delle tipologie considerate nel modello e per ciascuno degli anni dal 1985 fino al 2030. Dalla figura – in cui sono rappresentati, oltre al “carbonio totale”, anche le componenti da cui esso risulta – si nota come il suolo contribuisca allo *stock* carbonico forestale con un peso maggiore rispetto al contributo della componente vegetale e come proprio nel suolo la capacità portante venga raggiunta più lentamente di quanto non avvenga nella biomassa arborea. Lo *stock* delle formazioni naturaliformi viene dunque stimato, al 2000, in circa 1.150 Mt C, di cui 355 nella biomassa arborea e 795 nel suolo. È opportuno ricordare che in tale stima non sono stati inclusi i boschi di neo-formazione per colonizzazione naturale di suoli agricoli abbandonati per i quali non si ha una base informativa sufficiente per effettuare elaborazioni.

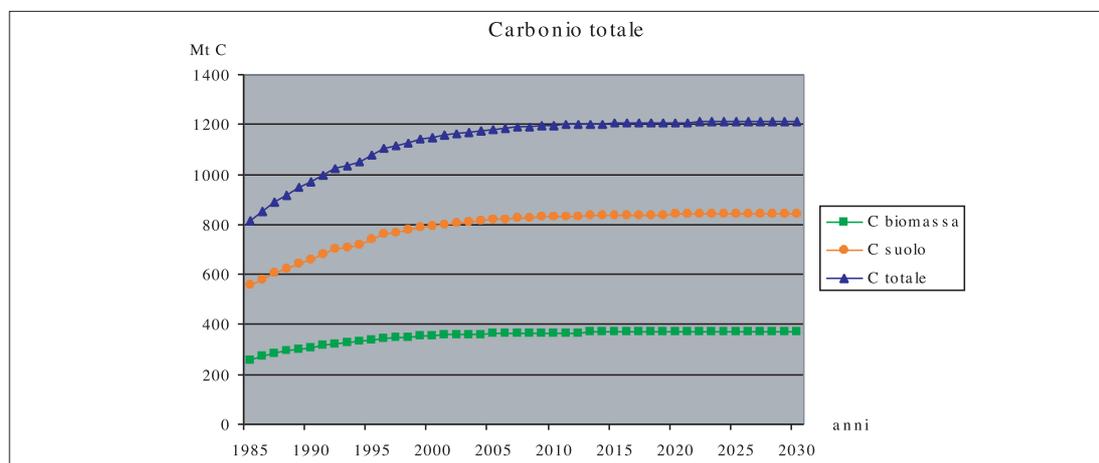


Figura 2.2 – Stima del modello CSEM per il carbonio fissato (*stock*) nelle formazioni forestali seminaturali (C totale), con evidenziati i contributi delle sue due componenti: biomassa arborea (C biomassa) e carbonio nel suolo (C suolo).

Dallo *stock* si è poi ricavato il *sink* finale, come differenza tra il carbonio totale dell'anno considerato e il carbonio totale dell'anno precedente; questa differenza è stata eseguita ancora per ciascuna tipologia e per gli anni compresi tra il 1985 e il 2030. La somma dei *sink* delle singole tipologie e per ciascun anno considerato va a costituire l'*output* finale del modello (figura 2.3), che descriverà dunque l'andamento della fissazione del carbonio nelle foreste semi-naturali dal 1985 fino ad oggi insieme con una previsione fino all'anno 2030. Nel 2002, il *carbon sink* stimato dal modello CSEM per le formazioni seminaturali (boschi di neo-formazione esclusi) è pari a 7,26 Mt C, mentre per il quinquennio 2008-2012 (*first commitment period*), il *carbon sink* è complessivamente pari a 11,9 Mt C (in media 2,4 Mt C l'anno). La figura 2.4 presenta la ripartizione del *carbon sink*, stimato al 2002, tra le diverse tipologie forestali naturaliformi, escluse quelle di neo-formazione.

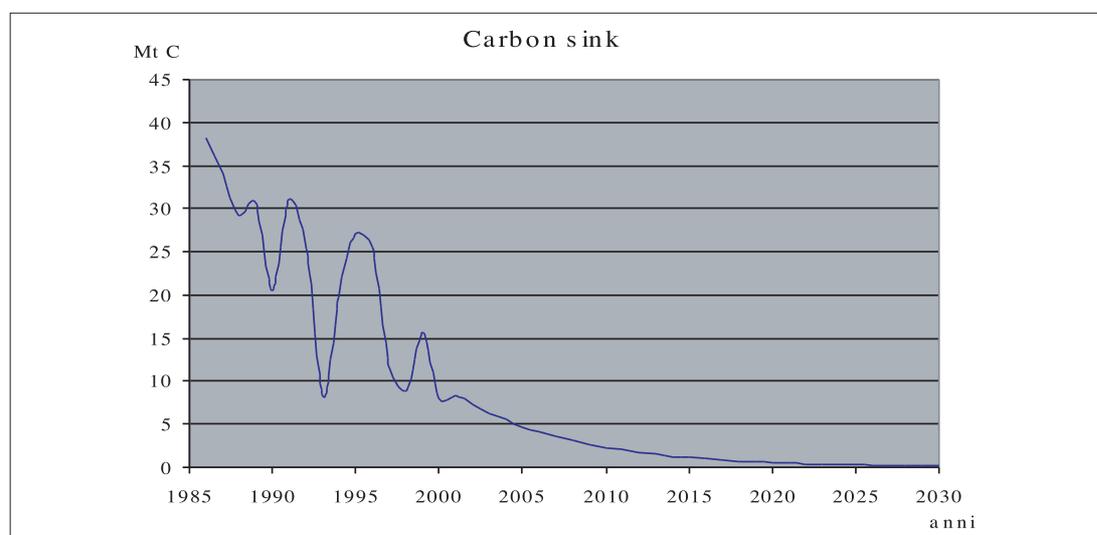


Figura 2.3 – Andamento della funzione di capacità fissativa (*sink*) stimata dal modello CSEM per le formazioni semi-naturali (boschi di neo-formazione esclusi); in evidenza il periodo 2008-2012

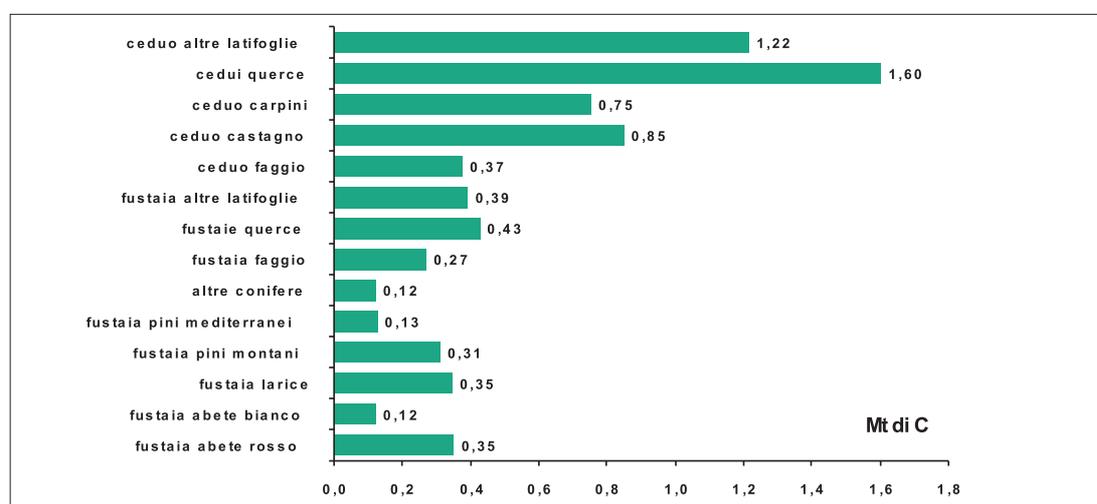


Figura 2.4 – *Carbon sink* stimato dal modello CSEM nel 2002: ripartizione tra le diverse formazioni semi-naturali (boschi di neo-formazione esclusi)

Per analizzare come le principali assunzioni influiscano sull'*output* finale del modello sono state effettuate alcune analisi di reattività. Si è provveduto cioè a studiare quali fossero le variazioni del *sink* in seguito a modifiche nei valori di superficie (rispetto a quelli adottati per gli anni successivi al 1987), a variazioni nell'incidenza dei tagli e a mutamenti nell'estensione degli incendi (distinguendo tra fustaie e cedui).

Per quanto riguarda i tagli si è osservato che modeste variazioni nella loro incidenza portano a cambiamenti di segno analogo nel *sink*, mentre modifiche di maggiore incidenza provocano effetti fissativi di segno opposto. Andando nel dettaglio si è evidenziato che:

- tagliando poco – come attualmente succede – si ottiene un valore di *sink* in aumento; si tratta però di un aumento che decresce di intensità anno dopo anno perché ci si sposta sempre più a destra lungo la curva logistica, ossia dove la pendenza della curva diminuisce (in sostanza tagliando poco si permette al bosco di invecchiare);
- tagliando tanto si ottiene invece una diminuzione dell'effetto fissativo poiché l'effetto di "ringiovanimento" tende ad essere eccessivo: non solo non ci si sposta a destra lungo la curva ma ci si può addirittura spostare verso sinistra, quindi l'età del bosco si stabilizza o addirittura si abbassa; in questo caso ci si trova di fronte a uno *stock* che non cresce bensì rimane stabile o, addirittura, viene intaccato.

Andando ad esaminare quali potrebbero essere le conseguenze di un aumento nelle superfici annualmente incendiate, il meccanismo è simile a quanto si verifica modificando l'intensità dei tagli: più aumentano le superfici bruciate maggiore è l'abbassamento dell'età media (spostamento verso sinistra sulla logistica), pertanto viene ad incrementarsi il fenomeno fissativo. Questo effetto è particolarmente evidente nelle fustaie per le quali la proporzionalità tra aumento delle superfici bruciate ed incremento percentuale del *carbon sink* inizialmente è diretta mentre nel lungo termine la tendenza è verso un incremento pressoché lineare dal momento che tutte le superfici investite a fustaia si andrebbero ringiovanendo a ritmo costante anno dopo anno, portando così ad un incremento costante di *sink*.

Nei cedui, invece, inizialmente l'effetto fissativo mostra una intensità doppia rispetto all'aumento delle superfici bruciate – presumibilmente perché l'abbassamento dell'età media va ad abbinarsi con ritmi di incremento maggiori rispetto a quanto non avvenga in fustaia – mentre col passare degli anni tale effetto tende a smussarsi, probabilmente in relazione alla minor lunghezza del turno, ossia all'annullamento – in un bosco governato a ceduo – dell'effetto di ringiovanimento provocato dagli incendi quando la variazione della loro incidenza si protragga per un numero di anni superiore a quello del turno.

3. La fissazione temporanea di carbonio nei prodotti legnosi

La capacità fissativa degli ecosistemi forestali è di norma collegata al carbonio che viene fissato nelle biomasse legnose, nel suolo e nella lettiera; numerose indagini hanno permesso di evidenziare che queste componenti dell'ambiente forestale hanno, rispetto agli ecosistemi agrari, una maggiore capacità in termini di *stock* (Dixon *et al.* 1994; Heimann *et al.* 1997). Una valutazione corretta delle funzioni di stoccaggio collegate al settore forestale dovrebbe includere anche il carbonio fissato nei prodotti legnosi (C "extra-boschivo") dal momento che l'impiego finale di molti prodotti legnosi (legname utilizzato in edilizia ad uso strutturale, mobili, oggettistica in legno, ecc.) comporta la fissazione di carbonio per diversi anni dopo le attività di prelievo (Nabuurs e Sikkema 1998; Winjum *et al.* 1998). In effetti, i bilanci sulle emissioni di gas di serra formulati in base alle indicazioni dell'IPCC si basano sull'assunzione – estremamente semplicista – che il legname prelevato dai boschi venga immediatamente ossidato, ritornando in atmosfera. Anche in sede IPCC tale assunzione è attualmente in fase di discussione.

Le metodologie impiegate nella stima del carbonio fissato nei prodotti legnosi sono, quindi, diverse e possono essere configurate come segue:

1. **IPCC Method:** secondo questo metodo le variazioni delle quantità di carbonio immagazzinato nei prodotti legnosi sono trascurabili; infatti esso ipotizza che le emissioni risultanti dalla decomposizione del legno prodotto si verifichino nel Paese in cui il legno viene tagliato e nello stesso anno del taglio, ipotesi che potrebbe avere una sua validità solo per la legna impiegata ad uso energetico. In base a queste assunzioni il C annualmente liberato è pari alla differenza tra crescita della foresta e dimensione del prelievo effettuato; non si verifica, cioè, alcuna fissazione – nemmeno temporanea – nei prodotti legnosi;
2. **Flow Consumption Method:** viene così chiamato perché si basa sul consumo apparente di legname di un determinato Paese, quantificato sulla base della produzione interna, dell'importazione e dell'esportazione. Si deve tenere presente che in questo metodo le emissioni di carbonio sono strettamente legate al ciclo di vita del prodotto legnoso considerato;
3. **Flow Production Method:** tale metodo è molto simile al precedente, eccetto per il fatto che il consumo legnoso viene identificato con la sola produzione interna del Paese (non vengono considerate, cioè, l'importazione e l'esportazione).

In questo studio si è voluto stimare il carbonio che può venire fissato temporaneamente nei prodotti legnosi tramite i due metodi del *Flow Consumption Method* e del *Flow Production Method*, ritenendo opportuno superare il limite dell'approccio tradizionale definito dall'IPCC (1997), nel quale si assume che tutto il legname prelevato in foresta venga ossidato nello stesso anno di raccolta, per cui i prelievi rappresentano un flusso negativo che determina un'immissione immediata di carbonio in atmosfera.

3.1 I dati di base

I dati utilizzati per quantificare il consumo apparente¹² sono di fonte FAO (*Timber Bulletin – Forest Products Statistics*). La FAO, per quanto riguarda i dati italiani, rielabora dati di origine ISTAT rendendoli disponibili in serie storiche più omogenee (stesse unità di misura), senza cambiamenti nel sistema di classificazione e aggregazione dei prodotti, quindi più semplici da rielaborare.

L'intervallo di tempo considerato nelle stime effettuate è di 30 anni, dal 1970 al 2000. Il ri-

¹² Si ricorda che il consumo apparente è dato da [(produzione interna) + (importazione) – (esportazione)] e può essere calcolato per i diversi livelli di trasformazione dei prodotti (legname grezzo, semilavorati, prodotti finiti).

ferimento ad un periodo relativamente ampio è necessario per poter correttamente conteggiare non solo la capacità fissativa, anno per anno, connessa all'impiego di prodotti legnosi, ma anche le emissioni in atmosfera di C collegate al raggiungimento della fine del ciclo di vita di prodotti immessi nel mercato negli anni precedenti a quello della stima, in altri termini per poter effettuare un corretto conteggio delle funzioni di fissazione netta.

Le categorie in cui sono stati raggruppati dei prodotti legnosi oggetto di studio sono quelle adottate dei semilavorati così come definiti dalla FAO:

- segati di conifere,
- segati di latifoglie,
- compensati,
- tranciati,
- pannelli di particelle,
- pannelli di fibre,
- paste meccaniche,
- paste chimiche,
- paste semichimiche,
- paste ad uso tessile ed altre.

Il riferimento ai semilavorati e non ai prodotti legnosi finiti (mobili, travature, carta, ecc.) si è reso necessario in quanto, mentre per i semilavorati sono presenti coefficienti di conversione per trasformare i dati di produzione e di commercio internazionale in metri cubi di legname tondo equivalente (e, quindi, in una unità omogenea di misura), per alcuni prodotti finiti (mobili) tali coefficienti per non sono disponibili o, quando disponibili, sono estremamente aleatori.

Nelle stime effettuate non si è tenuta in considerazione la legna da ardere nell'assunzione che il ciclo di vita di questo prodotto sia estremamente breve e che, quindi, possa essere sostanzialmente valida l'ipotesi che il prelievo equivalga all'ossidazione del prodotto.

3.2 Assunzioni e stime

Ai fini di questo studio si assume che il carbonio rimanga fissato nel prodotto legnoso per un periodo di tempo equivalente alla durata del ciclo di vita del prodotto stesso, variabile a seconda dell'impiego cui viene destinato.

La tabella 3.1 riporta le assunzioni sulla ripartizione dei semilavorati in cinque settori di impiego finale fatta in base alle (scarse) fonti disponibili.

Tabella 3.1 – Impieghi finali del consumo apparente

	Carta	Mobili	Edilizia	Imballaggi	Altro	Totale
segati di conifere	4 %	5 %	80 %	8 %	3 %	100 %
segati latifoglie	5 %	75 %	5 %	10 %	5 %	100 %
compensati	0 %	75 %	5 %	15 %	5 %	100 %
tranciati	0 %	85 %	15 %	0 %	0 %	100 %
pannelli particelle	0 %	85 %	10 %	5 %	0 %	100 %
pannelli di fibre	0 %	80 %	15 %	5 %	0 %	100 %
paste	90 %	0 %	0 %	10 %	0 %	100 %

Per le cinque categorie di impiego finale si sono assunti, sempre in base alla letteratura disponibile, diverse lunghezze del ciclo di vita dei prodotti; in particolare:

carta → 2 anni,
mobili → 7 anni,

edilizia → 15 anni,
 imballaggi → 3 anni,
 altri prodotti → 3 anni.

Tali assunzioni risultano peraltro abbastanza prudenziali, soprattutto in riferimento alla vita media dei mobili (10 anni) e del legname per l'edilizia (15 anni) e se si fa riferimento, ad esempio, ai dati riportati per i Paesi del Nord Europa. Infatti, la vita media suggerita per queste due categorie di impiego da uno studio svolto al *Federal Research Centre for Forestry and Forest Products di Amburgo* (Frühwald et al. 2001), sembra possa essere ben più lunga¹³. Tale differenza può comunque spiegarsi per il fatto che l'utilizzo del legname in edilizia alle nostre latitudini si limita a strutture – come porte e serramenti – di durata relativamente breve, mentre nelle regioni europee più settentrionali viene comunemente impiegato per strutture – quali tetti e muri – aventi una durata decisamente maggiore.

Nel caso del *Flow Consumption Method*, la procedura utilizzata, sulla base dei dati relativi al consumo apparente (in metri cubi, CA) e delle percentuali di utilizzo (pu) per stimare la quantità di carbonio (in tonnellate) all'anno i fissata temporaneamente nei prodotti legnosi (C_i), è sintetizzabile nella seguente formula:

$$C_i = CA_{i,rate} \cdot cb \cdot 0,5$$

$$CA_{i,rate} = CA_{i,rate} - \sum (OX_{i,impiegati}) \cdot (1/anni\ vita\ media)$$

$$CA_{i,rate} = P_i + I_i + E_i$$

$$cb = \text{densità basale} = 0,65$$

$$0,5 = \% \text{ di carbonio sul totale del legno}$$

Per la stima con il *Flow Production Method* si è utilizzata una procedura del tutto analoga, dove, al posto di CA (pari a produzione + importazione – esportazione), si è impiegato il solo dato di produzione interna.

Sulla base dellei queste assunzioni ora espote, si sono state stimate con i due approcci le quantità di carbonio fissate temporaneamente nei prodotti legnosi per anno nel periodo di riferimento 1970 – 2000, al netto delle emissioni per i prodotti a fine ciclo.

3.3 I risultati

I risultati delle stime dell'immobilizzazione temporanea del carbonio nei prodotti legnosi in Italia, per il periodo storico preso a riferimento in questo studio, sono evidenziati nei due grafici di seguito riportati. Nel primo (figura 3.1) viene mostrato l'andamento del *carbon stock* extraboschivo stimato con il *Flow Consumption Method*, in cui si tiene conto del consumo apparente come differenza tra produzione, importazioni ed esportazioni. Nel secondo (figura 3.2), invece, vengono presentati i risultati della stima realizzata con il metodo del *Flow Production*, secondo il quale il consumo viene identificato con la produzione interna. Per comodità di confronto sono state uniformate le scale di rappresentazione.

¹⁴ Per i mobili viene indicata una durata media di 30 anni, mentre per il legname impiegato in edilizia il valore riferimento è di 75 anni.

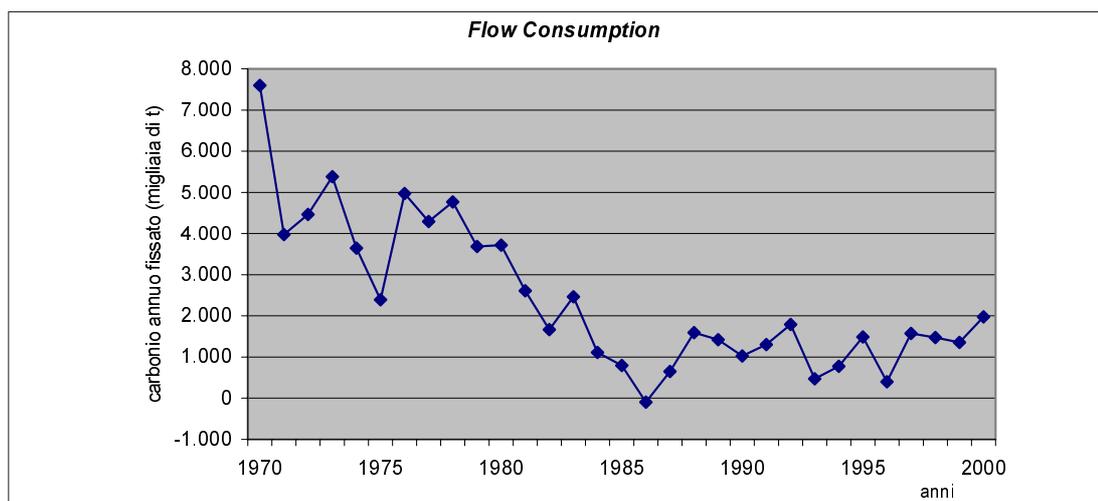


Figura 3.1 – Valori stimati del carbonio annuo fissato temporaneamente con il metodo del *Flow Consumption*

Come si può notare – e come era logico aspettarsi – i valori del carbonio stimato considerando anche le importazioni e le esportazioni (figura 3.1) sono più elevati di quelle in cui si è fatto riferimento alla sola produzione interna (figura 3.2). Nel nostro Paese, infatti, le importazioni di semilavorati sono relativamente elevate e in genere, per la maggior parte delle categorie dei prodotti legnosi considerate, superano le esportazioni.

Si osserva, inoltre, come nel tempo la quantità di carbonio stoccata tenda a stabilizzarsi – pur subendo oscillazioni in gran parte dovute alla variabilità della vita media del prodotto legnoso – e come in definitiva tale effetto fissativo non abbia un grande impatto sulla quantità complessiva legno di carbonio contenuta negli *stock* extraboschivi.

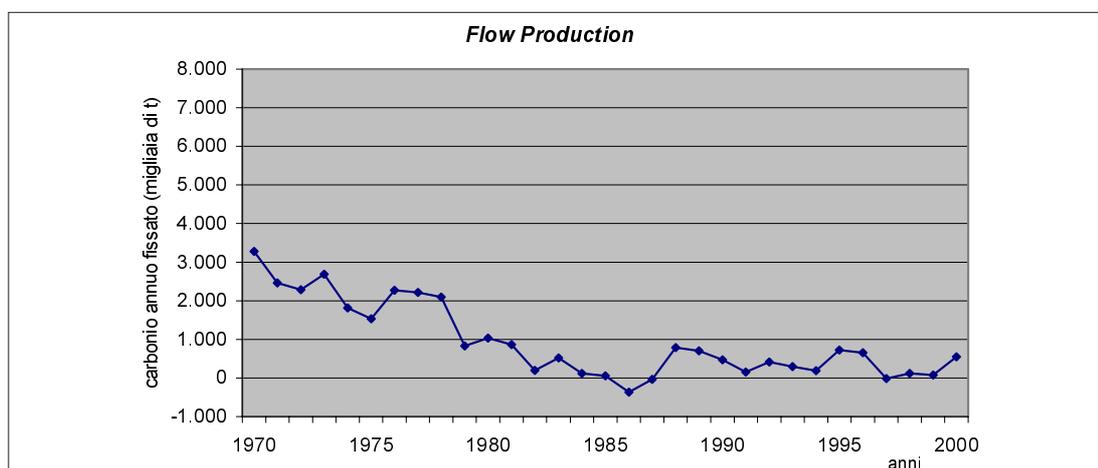


Figura 3.2 – Valori stimati del carbonio annuo fissato temporaneamente con il metodo del *Flow Production*

Tale fenomeno può, comunque, trovare una sua giustificazione nella caratteristica, già ricordata in precedenza, del nostro mercato nazionale: i prodotti legnosi trovano un impiego ancora piuttosto modesto in prodotti "a lunga durata", come ad esempio quelli destinati al settore del-

l'edilizia per usi strutturali. Promuovere l'impiego del materiale legno in tali settori produttivi potrebbe indubbiamente avere risvolti significativi sull'effetto di assorbimento temporaneo di carbonio dei prodotti legnosi, con risultati positivi per le emissioni immediate in atmosfera.

3.4 Analisi di reattività

Come ricordato nel paragrafo 3.2, tutte le considerazioni fatte sulla fissazione temporanea del carbonio nei prodotti legnosi si basano sulla lunghezza del ciclo di vita dei prodotti stessi. Nelle stime effettuate sono stati assunti valori prudenziali, soprattutto per quanto riguarda la vita media dei mobili (10 anni) e del legname per l'edilizia (15 anni). Tali assunzioni sono state motivate dal fatto che, in particolare per i mobili (prodotto di importanza fondamentale per il nostro Paese – primo esportatore mondiale nella categoria), esiste una tendenza alla messa in commercio di prodotti progressivamente meno durevoli, anche se caratterizzati da alta qualità nel *design*.

Per analizzare l'effetto di queste assunzioni sui risultati finali delle stime sono state effettuate delle analisi di reattività (*sensitivity analysis* o analisi "what... if") rielaborando i dati sulla base di diverse assunzioni. In particolare sono stati indagati altri due gruppi di ipotesi, innalzando di 10 e 20 anni la durata del ciclo di vita assunta per le categorie di mobili ed edilizia. La tabella 3.2 illustra le due nuove ipotesi (al centro e a destra) in raffronto con le ipotesi assunte in precedenza (a sinistra).

I risultati di tali elaborazioni vengono presentati nelle tabelle poste in fondo al capitolo (tabelle 3.3 e 3.4); per meglio consentire il confronto tra le stime ottenute per ciascuna delle tre ipotesi indagate, i risultati sono stati riportati in veste grafica (figure 3.3 e 3.4); la scala è stata uniformata a quella delle figure 3.1 e 3.2 per agevolare il confronto.

Tabella 3.2 – Ipotesi di vita media in anni dei diversi impieghi finali del consumo apparente

Impieghi finali del Consumo Apparente	Vita media in anni		
	1° ipotesi	2° ipotesi	3° ipotesi
Carta	2	2	2
Mobili	10	20	30
Edilizia	15	25	35
Imballaggio	3	3	3
Altro	3	3	3

Dall'osservazione dei grafici si trova conferma del fatto che l'allungamento della vita media degli impieghi finali dei prodotti legnosi influisce non marginalmente sulla quantità di carbonio emesso annualmente in atmosfera. Da ciò pare ragionevole dedurre che un aumento nell'impiego di prodotti legnosi con ciclo di vita piuttosto lungo (ad esempio espansione dell'impiego del legname in edilizia per usi strutturali) possa contribuire a fissare, seppur temporaneamente, discrete quantità di carbonio, riducendone il rilascio immediato.

Da ultimo, poiché il periodo di riferimento per abbassare la soglia delle emissioni antropiche di gas inquinanti in atmosfera – rispetto ai rischi dell'effetto serra – è compreso tra il 2008 e il 2012, si sono voluti proiettare i risultati ottenuti all'anno 2015, individuando delle linee di tendenza di entrambi i gruppi di curve ottenuti con i due metodi adottati. Tali proiezioni sono state ottenute interpolando i dati di base con funzioni statistiche basate sull'applicazione del metodo dei minimi quadrati. I risultati di tali proiezioni vengono riportati nei due ultimi grafici relativi all'analisi di reattività (figure 3.5 e 3.6).

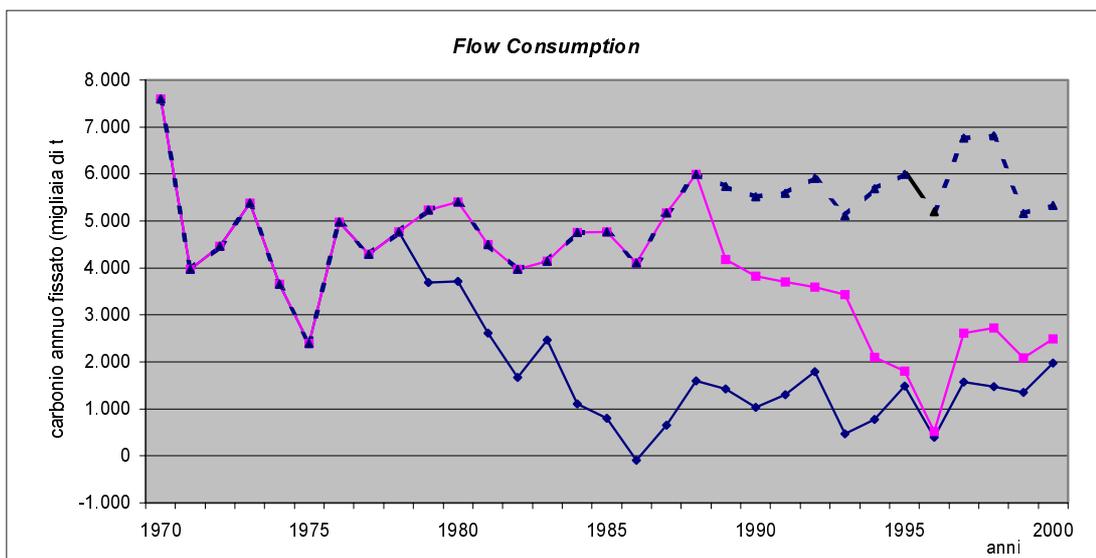


Figura 3.3 – Risultati delle analisi di reattività (curva fucsia: 2° ipotesi; curva gialla: 3° ipotesi) sui cicli di vita stimati con il metodo del *Flow Consumption* a confronto con i risultati dell'analisi precedente (curva blu)

Come si può notare dalle rappresentazioni grafiche, in entrambi i casi anche le proiezioni avvalorano le ipotesi precedenti. Si vede cioè che l'immissione immediata di CO₂ nell'atmosfera diminuisce con l'aumento della vita media degli impieghi finali dei prodotti legnosi minore, con conseguenti benefici ambientali.

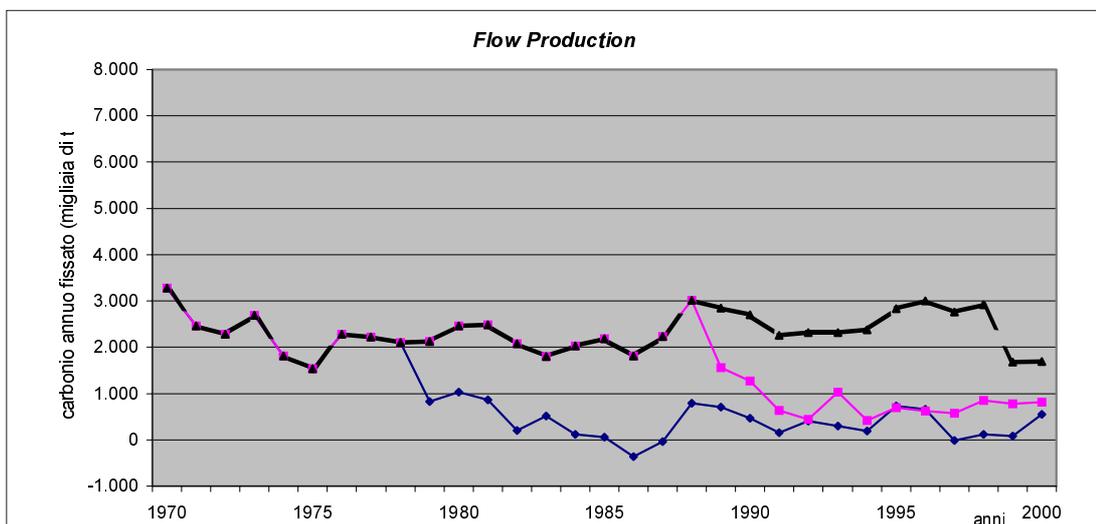


Figura 3.4 – Risultati delle analisi di reattività (curva fucsia: 2° ipotesi; curva gialla: 3° ipotesi) sui cicli di vita stimati con il metodo del *Flow Production* a confronto con i risultati dell'analisi precedente (curva blu)

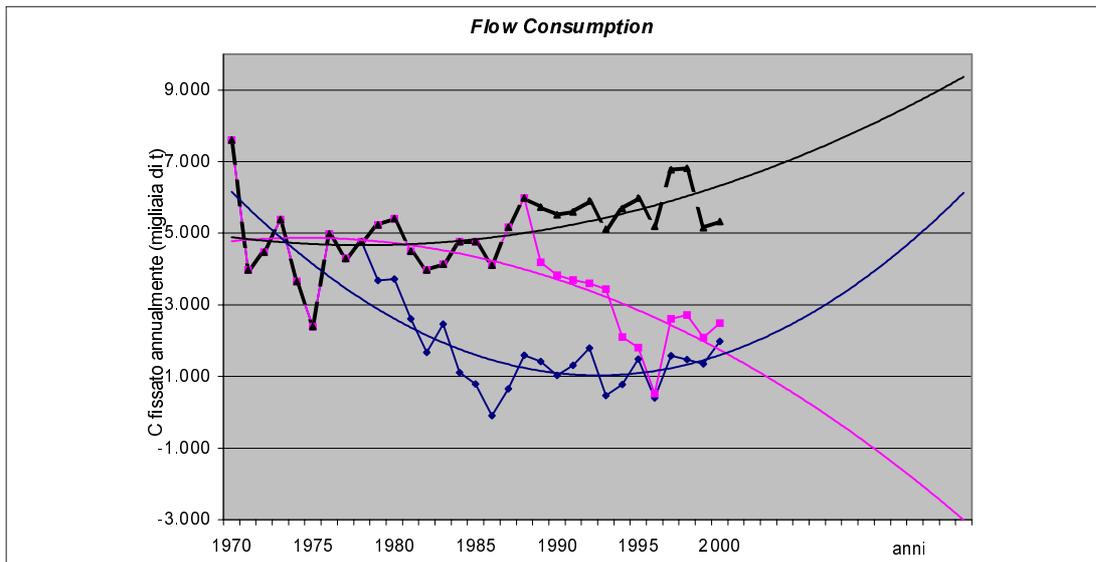


Figura 3.5 – Risultati delle analisi di reattività sui cicli di vita dei prodotti e linee di tendenza che proiettano al 2015 i dati del carbonio annuo stimati con il metodo del *Flow Consumption*

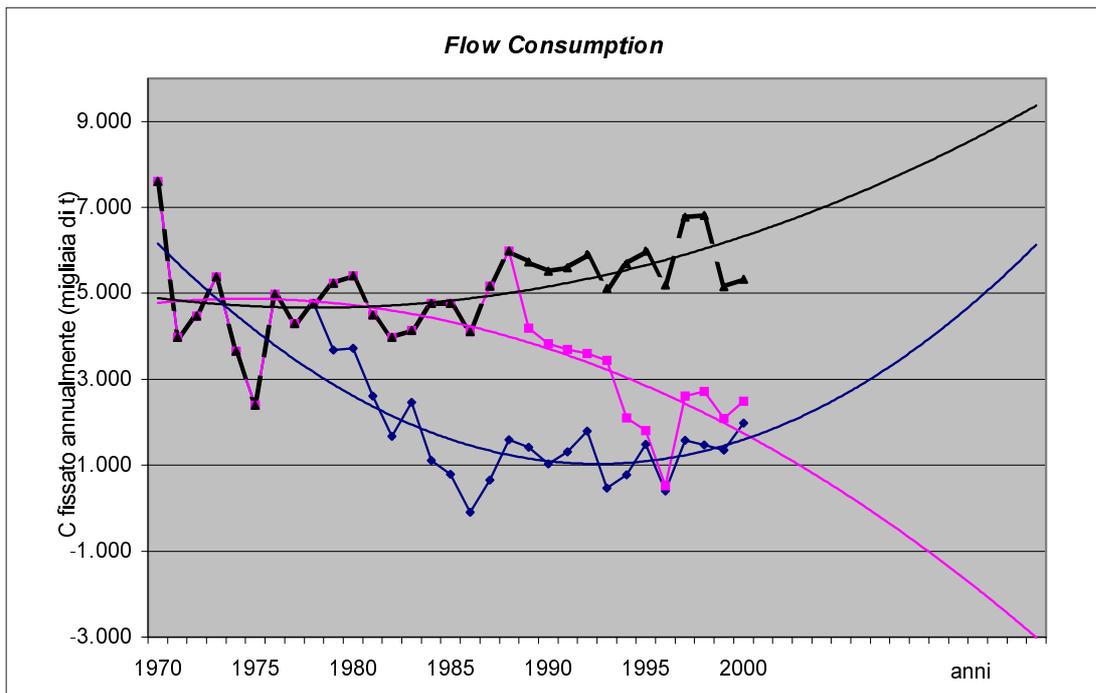


Figura 3.6 – Risultati delle analisi di reattività sui cicli di vita dei prodotti e linee di tendenza che proiettano al 2015 i dati del carbonio annuo stimati con il metodo del *Flow Production*

4. Il ruolo delle piantagioni forestali realizzate a partire dal 1990

Poiché a seguito delle decisioni assunte nel corso della COP-7 tenutasi a Marrakesh, i Paesi che ratificheranno il Protocollo potranno contabilizzare interamente le quantità di carbonio sequestrato dalle nuove piantagioni forestali realizzate tra il 1990 e il 2012 ai fini di questo studio si è deciso di procedere alla stima del carbonio che può essere fissato in tali formazioni mediante un percorso separato rispetto a quello seguito per le foreste semi-naturali.

Questa scelta è stata anche motivata dal fatto che, come si vedrà nei paragrafi seguenti, le fonti di dati disponibili per le piantagioni sono differenti da quelle utilizzate nel caso dei boschi naturaliformi, e pure l'approccio concettuale si discosta sostanzialmente.

Per quantificare le capacità fissative derivanti dalle piantagioni forestali realizzate a partire dal 1990, il percorso concettuale ha preso avvio dalle dimensioni delle superfici impiantate anno per anno, proseguendo lungo le potenzialità incrementalmente e i turni applicabili ai gruppi di specie impiantate, per giungere – passando attraverso lo *step* di conversione dal legno al carbonio – fino al dimensionamento complessivo del *sink* ottenibile con gli impianti realizzati sinora, andando a concludersi con la stima delle quote raggiungibili percorrendo prospettive diverse.

4.1 Le superfici rimboschite

Il periodo di cui, ad oggi, si ha disponibilità di un dato affidabile va dal 1990 al 2000. La fonte per il periodo 1990/93 sono gli annuari ISTAT dedicati alle statistiche forestali, in cui annualmente si trovano indicate le superfici dei nuovi impianti realizzati, distinte per tipo di bosco (resinose, latifoglie, miste) e per Regione. Per ciascuna delle due categorie boschive principali viene anche data indicazione separata delle specie principali: abeti e pini per le resinose, pioppi e castagno per le latifoglie.

Il dato raccolto dagli annuari è stato riorganizzato accorpandolo per gruppi regionali (Nord – Centro – Sud) al fine di distinguere tra resinose settentrionali e meridionali; inoltre, entro le latifoglie è stato mantenuto separato il dato riferito al pioppo. In questo modo, risultando quest'ultima informazione chiaramente deficitaria rispetto alla realtà pioppicola padana, la si è potuta integrare con le informazioni dell'Istituto Sperimentale di Pioppicoltura di Casale Monferrato (La Pietra *et al.* 1991-1994).

Dal 1994 l'ISTAT ha ridimensionato i volumi destinati ad ospitare le statistiche forestali, cessando di pubblicare informazioni sui nuovi boschi. Al vuoto informativo così creatosi è però possibile sopperire con le informazioni sugli impianti realizzati in applicazione del Regolamento (CEE) n° 2080/92, che istituiva un regime comunitario di aiuti alle misure forestali nel settore agricolo. Dal 1994, infatti, il MiPAF ha iniziato a raccogliere periodicamente dagli uffici regionali dei servizi forestali – responsabili dell'attuazione e del controllo – informazioni sugli ettari di boschi realizzati e collaudati con i fondi stanziati dal Regolamento. Tali informazioni sono state pubblicate in forma diversa da Colletti (2001) e da Cozza e Colletti (2001). Nel primo caso vengono indicate, distinte per Regioni e per gruppi di specie (rapido accrescimento¹⁴, resinose, latifoglie o miste) le superfici complessivamente impiantate tra il 1994 e il 2000. Nel secondo caso invece vengono presentati i dati anno per anno, sempre distinti per Regioni, ma non più separati in gruppi specifici. Incrociando le due fonti è stato possibile anche in questo caso raccogliere il dato in tre gruppi regionali in modo da poter distinguere tra resinose meridionali e settentrionali, nonché tra pioppi ed eucalipti.

Dalle elaborazioni ora descritte si è pervenuti ad un dato annuo di superfici impiantate, dal 1990 al 2000, per 5 gruppi di specie, come riassunto nella tabella 4.1.

¹⁴ Pioppi ed eucalipti, sostanzialmente.

Tabella 4.1 – Impianti (in ha) realizzati dal 1990 al 2000 in Italia, per gruppi di specie (fonte ISTAT e MiPAF, rielaborati)

	rapido accrescimento		resinose		altre latifoglie
	pioppi	eucalipti	settentrionali	meridionali	
1990	7.904		309	323	1.931
1991	7.179		121	602	1.616
1992	8.047		422	251	3.393
1993	9.766		136	424	1.715
1994	4.531	20	42	583	12.022
1995	2.346	33	4	565	11.065
1996	3.079	27	66	142	8.161
1997	3.664	11	7	11	6.205
1998	2.956	50	32	510	13.636
1999	2.956	50	32	510	13.636
2000	2.956	50	32	510	13.636

Per quanto riguardagli anni successivi, una buona fonte di dati potrebbe essere rappresentata dai risultati di attuazione del Regolamento CE n. 1257/99, che abroga il Reg. 2080/92 e lo sostituisce in parte, prevedendo, agli articoli 29-32, la possibilità di realizzare lavori di carattere forestale. Per il 2001, anche se si tratta di un'annata già conclusa, si sono però potute fare solo ipotesi revisionali (di cui si dirà in seguito) poiché i dati consuntivi che lo riguardano non sono ancora disponibili.

4.2 L'evoluzione dei popolamenti

Partendo dal massimo livello di dettaglio raggiungibile con le informazioni relative alle superfici annualmente imboschite, ossia dai cinque grandi gruppi "pioppi", "eucalipti", "resinose settentrionali", "resinose meridionali" e "altre latifoglie", si è cercato di sviluppare un modo per capire come le tipologie di vegetazione ad essi riconducibili potessero evolversi nel tempo e per quanto, verosimilmente, potessero continuare a svolgere le loro funzioni di assorbimento. Scartando *a priori* il metodo scelto per le foreste naturaliformi, non più applicabile in questo tipo di popolamenti¹⁵, si è scelto di impostare il problema in un modo piuttosto semplicistico speditivo.

La scelta di base è stata dunque quella di ipotizzare un turno realistico per ciascuno dei cinque gruppi suddetti ed un incremento medio annuo che possa essere ad esso associato¹⁶. In questo modo, a ciascun anno di permanenza del popolamento corrisponde – per un medesimo "gruppo" – un'eguale provvigione legnosa, e gli incrementi da un anno all'altro vengono determinati esclusivamente dagli incrementi superficiali corrispondenti ai nuovi impianti.

Se l'identificazione di un turno e di un incremento medio, per quanto riguarda il gruppo "pioppo", è stata relativamente semplice, in conseguenza sia della grande diffusione della coltivazione di questa specie sul territorio sia della brevità e semplicità del suo ciclo culturale, altrettanto non si può dire per gli altri gruppi di specie.

¹⁵ Tale assunzione è dovuta all'origine non naturale e per l'assenza del vincolo di permanenza (esplicitamente dichiarata per tutti i popolamenti nati con i finanziamenti del reg. 2080/92, ed assunta arbitrariamente - ai fini di questo studio - per gli altri).

¹⁶ Sono state consultate numerose fonti; tra di esse: Tassinari 1976, ISAFA 1982, Accademia Nazionale di Agricoltura 1992, Minotta e Mercurio 2000.

Nel caso degli eucalipti, la difficoltà è derivata dalla particolarità del ciclo produttivo poiché, data la loro intrinseca capacità pollonifera, ad un impianto normalmente seguono tre cicli produttivi, aventi incrementi differenti e durate variabili in funzione del tipo di assortimenti che si vogliono ottenere. Per la scelta ci si è orientati in senso cautelativo, ipotizzando che vengano scelti turni brevi, anche in relazione alla finalità di integrazione al reddito agricolo che si suppone abbia questo tipo di impianto¹⁷.

Per quanto concerne il grande gruppo delle conifere, è stato ipotizzato, non potendo accedere direttamente ai dati consuntivi, che la scelta sia caduta su interventi a carattere ambientale, realizzati su terreni marginali, piuttosto che su specie a rapido accrescimento con prevalente finalità di produzione legnosa.

La categoria delle altre latifoglie comprende esplicitamente¹⁹ le specie comunemente dette "di pregio", per cui è stato fatto riferimento alle principali tra esse (noce, ciliegio, farnia). Nella tabella 4.2 si riassumono di seguito i parametri adottati.

Tabella 4.2 – Parametri caratteristici adottati nelle simulazioni per i vari gruppi di specie (fonti varie)

Gruppo di specie	Turno (anni)	Incremento Medio (m ³ /ha/anno)
Pioppo	10	25
Eucalipti 1° ciclo:	12	6
2° e 3° ciclo:	8	12
Resinose settentrionali	50	5
Resinose meridionali	40	4
Altre latifoglie	40	5

Una volta determinati i parametri di base, è stato costruito un semplice modello che permettesse di conteggiare, in un valore finale cumulato, le provvigioni corrispondenti alle superfici in aumento in ciascun anno dal 1990 al 2000. In seguito, utilizzando gli stessi parametri utilizzati nel modello CSEM per le foreste semi-naturali, i valori di massa legnosa (m³) sono stati convertiti prima in valori di biomassa totale (comprensivi delle componenti arboree accessorie al fusto), quindi in quantità di carbonio immagazzinato (tonnellate).

Diversamente da CSEM, non sono stati in questo caso presi in esame i contenuti di carbonio nel suolo, nonostante gli effetti dei rimboschimenti su suoli precedentemente agricoli debbano essere degni di nota (Post e Kwon 2000), per l'esiguità e la disomogeneità dei dati a disposizione in merito a tale fenomeno.

È infine importante notare che, pur definendo una durata ipotetica degli impianti arborei considerati e sottraendo, quindi, il contributo fissativo dei popolamenti giunti a fine ciclo, il risultato della stima che si viene a realizzare secondo il modello ora descritto è un valore di fissazione lordo poiché non viene qui fatta alcuna ipotesi di destinazione del legname una volta tagliato; quindi non viene in alcun modo considerato il passaggio di tale "serbatoio legnoso" alla categoria di *source*. Tuttavia si tenga presente che, per la contabilizzazione delle quote fissative delle nuove piantagioni, ai fini del Protocollo di Kyoto – stante il livello attuale dei risultati del processo negoziale – è proprio questo il parametro che viene richiesto.

¹⁷ Da notare che le informazioni sulle superfici impiantate ad eucalipti sono disponibili esclusivamente nel periodo 1994-2000, si tratta cioè di impianti realizzati con i finanziamenti del Reg. 2080/92.

¹⁸ L'affermazione è formalmente corretta solo per quanto concerne le categorie degli investimenti comunitari, ma si può estendere anche ai dati ISTAT, una volta tenuta distinta – come si è fatto – la categoria dei pioppi, principale specie a rapido accrescimento.

4.3 Gli scenari esaminati

Dopo aver impostato un modello che permettesse di stimare le capacità fissative delle piantagioni realizzate dal 1990 al 2000, si è reso necessario delineare quali potessero essere le prospettive delle politiche di rimboschimento, al fine di quantificare la potenzialità fissativa del nostro territorio nel 2008-2012 (*1st commitment period*). A tale scopo sono stati delineati tre scenari che, in ordine crescente di capacità fissativa, sono:

- **scenario "Piani di Sviluppo Rurale" (PSR)**, in cui si ipotizza che, come lasciano supporre l'attuale programmazione finanziaria dei Piani di Sviluppo Rurale (Reg. CE n° 1257/99) (ISMEA 2001) e l'analisi congiunturale dei mercati dei prodotti dei rimboschimenti, la tendenza sia quella di ridurre notevolmente l'impianto a bosco di nuove superfici;
- **scenario "Business as usual" (BAU)**, in cui si ipotizza l'impianto di nuove superfici continui allo stesso ritmo attuale;
- **scenario "Politiche forestali attive" (PFA)**, in cui si ipotizza che, grazie a politiche di incentivazione particolarmente attive, il *trend* di messa a coltura di impianti da legno aumenti leggermente rispetto a quanto avvenuto sinora.

Nello scenario BAU, l'ipotesi è di mantenere, dal 2001 in avanti, un ritmo di costituzione di nuovi impianti corrispondente alla media degli ultimi cinque anni (1996-2000). Nello scenario PSR si è ipotizzato che nel 2001 e 2002 venga mantenuto lo stesso ritmo di impianto del lustro precedente (1996-2000) e, in seguito, ulteriori impianti di arboricoltura da legno vengano realizzati ad un ritmo pari ad un decimo dell'attuale. Nello scenario PFA, invece, l'ipotesi è la medesima per 2001 e 2002 mentre in seguito si suppone che il ritmo di impianto aumenti del 10% rispetto al riferimento dell'ultimo quinquennio.

4.4 Risultati

La massa di carbonio fissato nei rimboschimenti effettuati dal 1990 al 2000, seguendo le piantagioni dall'inizio alla fine del loro turno presunto e ipotizzando che dopo l'utilizzazione tali superfici non vengano nuovamente imboschite, viene graficamente rappresentata in figura 4.1.

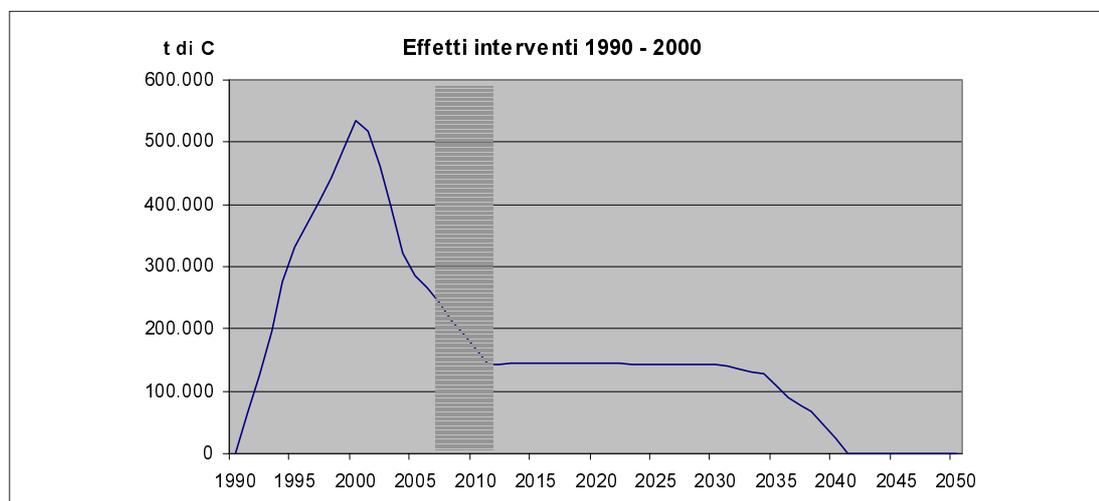


Figura 4.1 – Potenzialità fissative dei (soli) rimboschimenti realizzati dal 1990 al 2000; in evidenza il periodo 2008-2012

La stima indica, come fissazione complessiva cumulata, dal 1990 al 2040, un valore di 10.121.353 t di C; il carbonio fissato nel periodo 2008-2012 – *1st commitment period* – sarebbe di 858.552 t (in media 171.710 t di C/anno).

Nella figura 4.2 viene rappresentato l'andamento ipotetico della fissazione di carbonio nei rimboschimenti effettuati a partire dal 1990 secondo le ipotesi delineate nello scenario dei Piani di Sviluppo Rurale (PSR). La fissazione nel periodo 2008-2012 (evidenziato da una banda in figura) ammonterebbe a 1.407.718 t di C (in media 281.544 t di C/anno). La linea azzurra, che si posiziona intorno alle 280.000 t di C annue, indica la tendenza su cui si assesterebbe questo scenario.

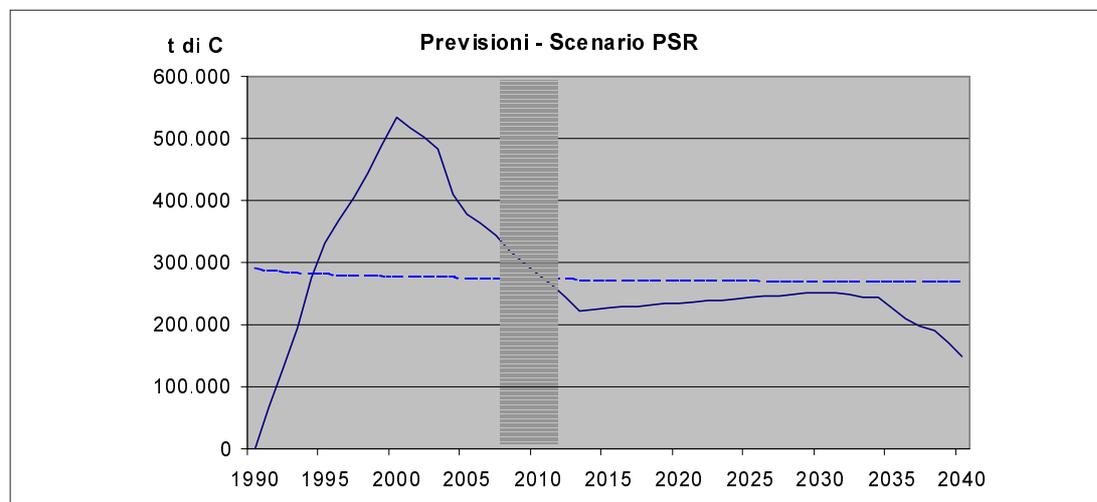


Figura 4.2 – Fissazione di carbonio nei rimboschimenti secondo lo scenario "Piani di Sviluppo Rurale"; in evidenza il periodo 2008-2012

La figura 4.3 mostra quale potrebbe essere l'andamento della fissazione di carbonio nei rimboschimenti effettuati a partire dal 1990 secondo lo scenario *business as usual* (BAU). La fissazione nel periodo 2008-2012 ammonterebbe a 2.744.549 t di C (in media 548.910 t di C/anno).

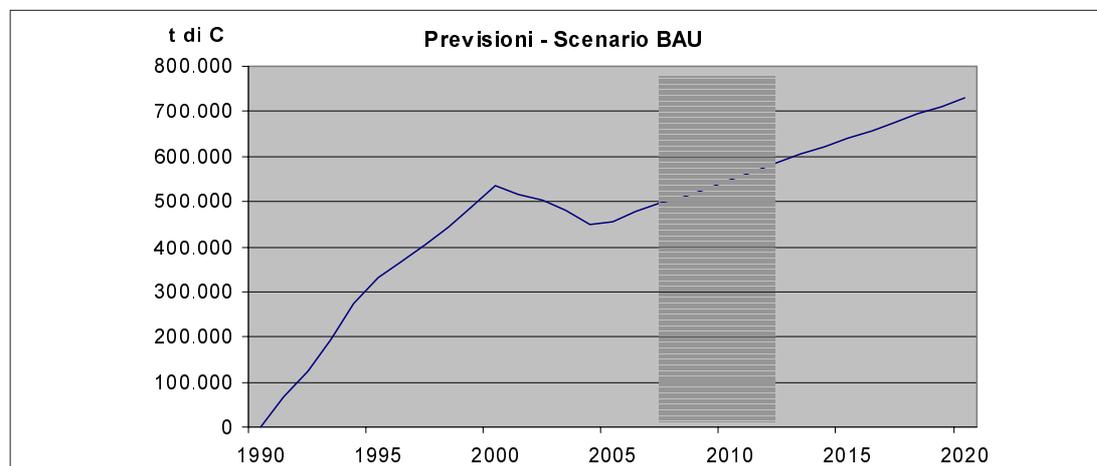


Figura 4.3 – Fissazione di carbonio nei rimboschimenti secondo lo scenario "*business as usual*"; in evidenza il periodo 2008-2012

La figura 4.4 mostra le prospettive dello scenario di politiche forestali più attive (PFA): la fissazione nel 1st commitment period raggiungerebbe 2.893.086 t di C (in media 578.617 t di C/anno).

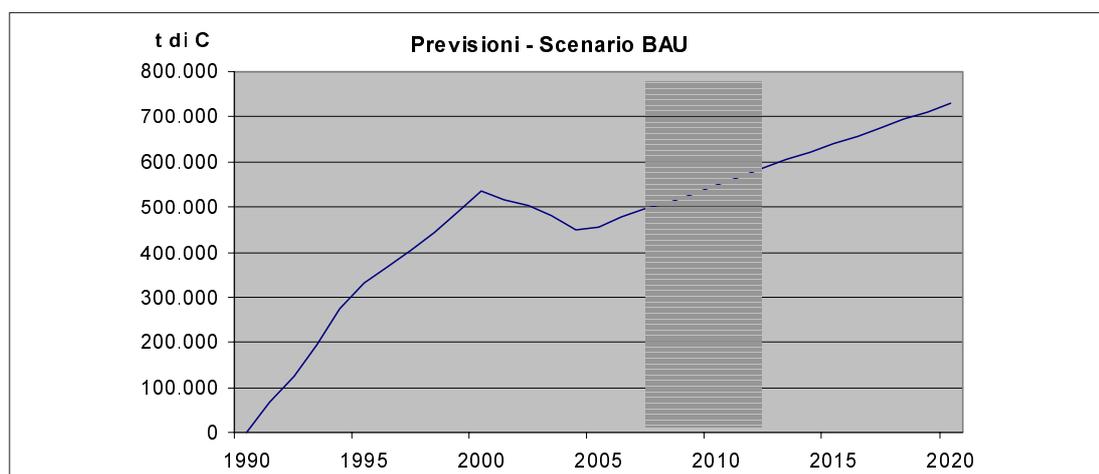


Figura 4.4 – Fissazione di carbonio nei rimboschimenti secondo lo scenario "Politiche Forestali Attive"; in evidenza il periodo 2008-2012

5. Gli interventi compensativi nel settore forestale: una applicazione ai boschi della MCF

La Magnifica Comunità di Fiemme, ente che amministra il patrimonio collettivo degli abitanti della Val di Fiemme, gestisce un territorio silvo-pastorale di oltre 19.600 ha, di cui più di 11.000 boscati. Tale territorio è suddiviso in 10 distretti la cui gestione è regolata da altrettanti piani di assestamento a revisione decennale. Il VII Distretto, denominato "Monte Cornon", collocato in destra orografica del Torrente Avisio alle spalle degli abitati di Predazzo, Ziano, Panchià e Tesero, è stato preso in esame in questo studio per stimarne le capacità di stoccaggio di anidride carbonica.

Con una superficie di 1.203 ha, di cui 640 boscati, il distretto si estende da 1.200 fin oltre 2.400 m s.l.m.m. e poggia sul substrato litologico calcareo-dolomitico del Gruppo del Latesmar. I popolamenti arborei dell'attuale compartimentazione assestamentale – suddivisi quasi equamente in due comprese, una a destinazione produttiva ed una a destinazione protettiva – sono rappresentati in prevalenza da formazioni miste di pino cembro (*Pinus cembra* L.), larice (*Larix decidua* Mill.) e abete rosso (*Picea excelsa* Link.), ma hanno discreta estensione anche le formazioni a pino silvestre (*Pinus silvestris* L.) ed abete rosso.

5.1 Il modello di valutazione e le assunzioni per la stima

Per la modellizzazione dei flussi di carbonio è stato utilizzato il programma CO2FIX (Mhoren *et al.* 1999) sviluppato - a cura dell'*European Forest Institute* e di altri enti - per stimare gli scambi di carbonio tra l'atmosfera e diverse tipologie di popolamenti arborei. Il modello è predisposto, in particolare, per quantificare il carbonio contenuto nell'intero ecosistema forestale e quello temporaneamente fissato nei prodotti legnosi fino al termine del loro ciclo di vita. Lo schema concettuale di CO2FIX tiene conto, infatti, della biomassa arborea (nelle sue componenti di fusti, rami, foglie e radici), dei residui di utilizzazione, della lettiera e dell'humus (componenti che racchiude nel comparto "suolo") e dei prodotti finali (considerati in base alla durata del loro ciclo di vita).

Il programma è stato applicato al distretto di Monte Cornon per simulare l'evoluzione nel tempo del contenuto di carbonio dei boschi in esso ricadenti, ipotizzando quattro diversi scenari gestionali: la continuazione della programmazione attuale (scenario "business as usual" - BAU), una diminuzione del 10% della ripresa (RR10), una diminuzione del 20% (RR20) ed uno scenario di tutela integrale (CONSV).

I dati riguardanti le caratteristiche dei popolamenti e la gestione in essi attualmente impostata sono stati tratti dal piano di assestamento. Trattandosi di formazioni in gran parte aventi struttura multiplana, è stato necessario adattare le informazioni reperibili dal piano – per il quale l'unità inventariale non scende al di sotto della dimensione particellare – all'impostazione strutturale del modello di CO2FIX, creato e quasi esclusivamente sviluppato su modelli coetanei. Il modello del programma di elaborazione, infatti, è impostato per ricevere *input* partendo da una situazione a biomassa nulla per poi ritornarvi periodicamente, mentre i popolamenti a cui è stato applicato vengono "catalogati" in particelle entro le quali – nel complesso – la massa arborea rimane sempre a livelli considerevoli ed i tagli la interessano a intervalli relativamente frequenti, incidendo però solo modestamente. Si è dunque proceduto all'individuazione di un livello medio dello *stock* legnoso – riferimento iniziale per la determinazione del contenuto di carbonio complessivo dell'ecosistema – al quale sono state applicate, di volta in volta, le indicazioni di ripresa corrispondenti allo scenario di riferimento.

Per quanto concerne la ripartizione del legname esboscato nelle categorie produttive di destinazione – da porre in relazione al tempo di permanenza nell'extrabosco del carbonio fissato prima del suo ritorno in atmosfera – i dati di base sono stati ricavati dalle vendite dei lotti boschivi e degli assortimenti di segheria, oltre che da indicazioni dell'Ufficio Tecnico Forestale. Facendo riferimento agli assortimenti e ai lotti venduti, sono state individuate le loro de-

stinazioni produttive per poi determinare, a ritroso, come si ripartissero i volumi legnosi esboscati tra i vari impieghi finali. Quest'ultimo dato – raggruppato per durate omogenee dei cicli di vita – è servito per dimensionare il ruolo del legname come “contenitore extraboschivo” di anidride carbonica.

Dalla bibliografia, infine, sono stati tratti alcuni parametri relativi alle caratteristiche evolutive dei popolamenti (p.e. rapporti dimensionali e di accrescimento tra cormomassa e chioma/ra-
dici: Susmel 1980, Del Favero 1983, Susmel 1988, Van Praag *et al.* 1988), oltre che alla quasi totalità delle informazioni riguardanti il suolo (Violante 1996, Harrison *et al.* 2000, Thuille *et al.* 2000, Pizzeghello *et al.* 2001).

5.2 I risultati delle elaborazioni

Le elaborazioni con il programma CO2FIX – per le caratteristiche intrinseche del modello – sono state condotte facendo riferimento ad un ettaro “tipo” di ciascuna delle due comprese individuate dal piano di assestamento. I risultati ottenuti con CO2FIX sono stati successivamente riportati alla scala territoriale reale e raggruppati per l'intero distretto. I risultati finali sono quindi stati utilizzati lungo tre *step* successivi. Anzitutto, il punto iniziale della curva fornita dal programma, espressione diretta della trasformazione in carbonio dei volumi di fitomassa imputati nel modello, è stato utilizzato come stima del contenuto di carbonio dei boschi del distretto. In secondo luogo è stato preso a riferimento, nella suddetta curva, un quarantennio – suddiviso in due ventenni successivi – per quantificare le potenzialità fissative del distretto. Da ultimo sono stati confrontati questi risultati con quelli ottenuti per gli altri tre scenari gestionali ipotizzati.

Dalle elaborazioni ora descritte risulta uno *stock* di carbonio, nell'intero distretto di Monte Cornon, pari a quasi 75.000 tonnellate (figura 5.1; 116 t/ha), sommatoria del carbonio contenuto nella biomassa arborea, nel suolo e nei prodotti.

Sulla base delle stime delle variazioni di *stock* (tabella 5.1) – ottenute per differenza tra i contenuti di carbonio indicati dalle simulazioni per momenti successivi – si è previsto un incremento di 138 t di carbonio l'anno, nell'intero distretto per i prossimi 40 anni, continuando la gestione attualmente impostata.

Nel caso di riduzione del 10% dei volumi di taglio, l'incremento stimato è di 151 t di carbonio l'anno (+9,2%) mentre, con una riduzione del 20%, la stima porta a un incremento di 164 t l'anno (+18,8%). Come logico aspettarsi, dunque, gli incrementi in capacità fissativa aumentano con la riduzione dei volumi della ripresa. Nello scenario di completa sospensione dei tagli si è stimato un incremento annuo, sempre per lo stesso quarantennio, di 288 t/anno (più che doppio rispetto allo scenario *business as usual*), ma in questo caso l'affidabilità della stima è condizionata dall'incertezza sui ritmi di accrescimento a seguito di una interruzione completa delle asportazioni legnose.

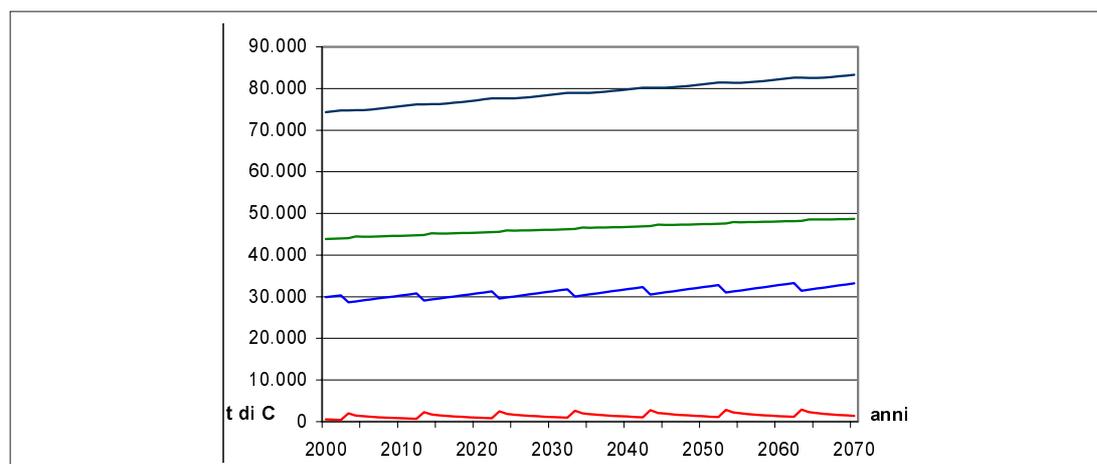


Figura 5.1 – Evoluzione dei contenuti di carbonio nel complesso (linea blu scuro) dei boschi del distretto di Monte Cornon e nelle tre componenti della biomassa arborea (linea blu), del suolo (linea verde) e dei prodotti (linea rossa) secondo lo scenario “business as usual”

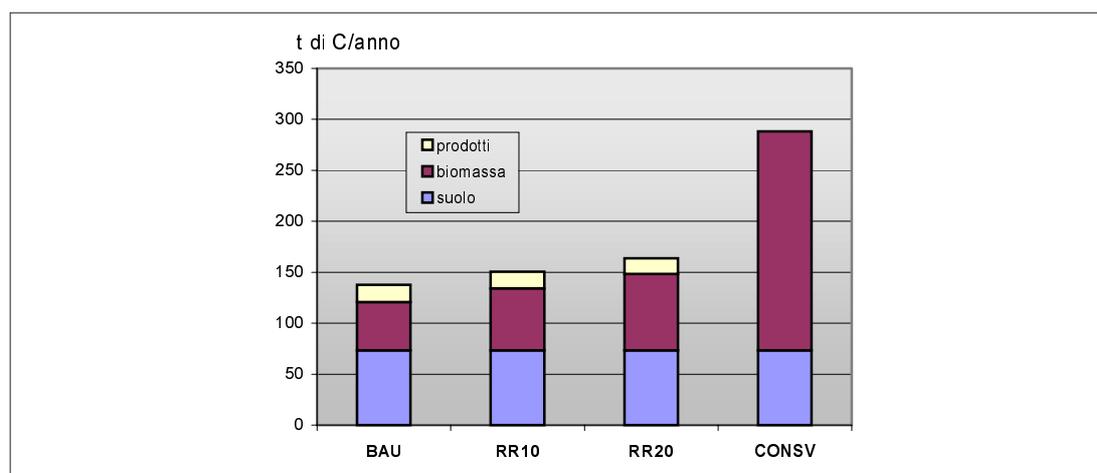


Figura 5.2 – Ripartizione dell’incremento previsto per ciascuno degli scenari delineati (cfr testo) nelle sue tre componenti (biomassa, suolo e prodotti)

Un maggiore approfondimento nell’analisi – consentito dalla presentazione dei risultati anche distinti nei tre comparti biomassa suolo e prodotti – ha permesso ulteriori considerazioni. Oltre a rilevare (figura 5.2) che le maggiori differenze d’incremento riscontrate tra i vari scenari sono da addebitare principalmente a quanto avviene nella biomassa arborea (seppur, almeno in parte, la tendenziale invarianza del comparto suolo possa dipendere da un’interazione tra gli input scelti e la struttura del programma), è interessante notare che il ruolo dei prodotti legnosi nel dislocare carbonio atmosferico, per quanto a fronte di uno *stock* molto inferiore (figura 5.1), è di un ordine di grandezza paragonabile alla funzione fissativa della biomassa vivente che lo produce (figura 5.2 e tabella 5.1).

Tabella 5.1 – Composizione dell'incremento medio annuo (t di C all'anno) stimato con CO2FIX per ciascuno degli scenari delineati (cfr testo).

	BAU	RR10	RR20	CONSV
Suolo	73	73	74	73
Biomassa	47	61	75	215
Prodotti	17	16	15	0
totale	138	151	164	288

Inoltre, l'analisi separata dei due ventenni di simulazione considerati ha mostrato come, qualsiasi sia lo scenario adottato, la funzione fissativa tenda nel tempo a decrescere, essendo la media annua incrementale maggiore nel primo (145 t di C/anno) rispetto al secondo (131 t di C/anno).

5.3 Valutazioni economiche

Dopo aver utilizzato, come indicato nel precedente paragrafo, un modello di contabilizzazione dei flussi di carbonio per apprezzare in che misura le modifiche nelle scelte gestionali possano interferire sul contenuto di CO₂ dell'atmosfera, si è cercato di valutare la convenienza economica delle diverse ipotesi gestionali in presenza di un mercato delle quote di emissione. A questo scopo sono stati utilizzati due prezzi di riferimento della tonnellata di carbonio fissata: 10 e 25 \$. Sono quindi state confrontate le entrate che deriverebbero dalla vendita delle quote di emissione con i mancati redditi (vendita di legname) a cui si andrebbe incontro per produrle.

Dalla monetizzazione degli incrementi nello scenario "business as usual", come riportato in tabella 5.2, si è ottenuto un valore oscillante tra 1.500 e 3.750 euro/anno (a seconda del prezzo di riferimento). Tali valori rappresentano una misura del servizio svolto dai boschi presi in esame in una condizione ordinaria di gestione (scelta che non diminuirebbe in alcun modo le attuali entrate), priva di quegli elementi di addizionalità richiesti di norma per ottenere finanziamenti esterni.

Tabella 5.2 – Trade-off tra produzione legnosa e fissazione di carbonio nei quattro scenari di riferimento

Scenari	Incrementi t di C/anno	Valori		Minori entrate dalla vendita del legname €	Bilancio tra minori entrate e vendita quote		Break even point \$/t
		€ (10\$/t)	€ (25\$/t)		€ (10\$/t)	€ (25\$/t)	
BAU	138	1.269	4.498	-	-	-	-
RR10	151	4.912	1.386	1.804	-163	2.299	11,0
RR20	164	5.345	1.508	3.608	-1.825	849	20,2
CONSV	288	2.652	9.400	18.040	-14.910	-10.214	57,6

Dal confronto tra gli incrementi previsti nello scenario *business as usual* e quelli ottenibili modificando le politiche di gestione è risultata una convenienza all'ingresso nel mercato del carbonio solamente in corrispondenza del maggiore tra i due prezzi ipotizzati, ed unicamente impostando una gestione di riduzione dei tagli.

In altri termini, nello scenario di sospensione totale dei tagli (CONSV), le ipotetiche entrate connesse alla vendita di quote di emissione non compenserebbero i mancati redditi della ven-

dita del legname. La completa interruzione dei tagli nel distretto di Monte Cornon darebbe esiti economicamente convenienti solo con valori della tonnellata di carbonio almeno pari a 57,6 \$/t. La convenienza è maggiore con una riduzione nella ripresa del 10% (*break-even point* per RR10 = 11,0 \$/t) piuttosto che nello scenario di riduzione del 20% (*break-even point* per RR20 = 20,2 \$/t). Si tratta in ogni caso di valori non troppo dissimili dai costi attualmente sostenuti nelle zone tropicali per realizzare investimenti con finalità compensativa (Totten 1999, FAO 2001).

5.4 Alcune valutazioni di sintesi

Grazie alle simulazioni effettuate si è pervenuti ad alcuni risultati di un certo interesse per orientare gli investimenti compensativi nel settore forestale, che sono di seguito descritti:

- a) A fronte dei costi attualmente sostenuti nelle zone tropicali per realizzare investimenti con finalità compensativa si può ipotizzare che, anche nel contesto selvicolturale dell'arco alpino – soprattutto quando questo sia caratterizzato dalla presenza di soprassuoli ancora lontani da condizioni di massimo provvigionale – sia possibile trovare elementi di convenienza ad investimenti compensativi.
- b) Nell'ipotesi, tutt'altro che irrealistica (Whiteman *et al.* 1999, Sedjo 2001), di una riduzione nel medio-lungo periodo della convenienza alla produzione di legname nei boschi seminaturali dell'arco alpino (maggiori costi di gestione e di taglio ed esbosco a fronte di prezzi stazionari o in riduzione), gli investimenti compensativi possono risultare una interessante ipotesi di integrazione delle entrate per i proprietari delle foreste.
- c) Rispetto alle ipotesi di tutela integrale, quelle che prevedono una riduzione dei tagli sembrano consentire maggiori introiti, almeno quando – come nelle simulazioni effettuate – si tiene conto del carbonio temporaneamente fissato nei prodotti legnosi, qualora si tratti di prodotti caratterizzati da cicli di vita relativamente lunghi (con impieghi nel settore edilizio, negli arredi esterni e nei mobili di media e alta gamma).
- d) Nonostante il contenuto in carbonio del suolo abbia un peso notevole nella determinazione dello *stock* complessivo, le principali potenzialità di *sink* paiono riferibili alla biomassa, almeno in un contesto come quello alpino dove la gestione consuetudinaria è improntata ad evitare estese e durevoli aperture nei soprassuoli e, quindi, bruschi e radicali cambiamenti nelle caratteristiche dei suoli.
- e) Le attuali regole che ci si è dati a livello internazionale per l'implementazione del Protocollo di Kyoto non consentono di conteggiare, almeno per ciò che riguarda il primo periodo d'impegno 2008-12, la capacità fissativa dei prodotti legnosi. D'altronde, i margini di convenienza vengono a essere drasticamente ridotti, dal momento che la gestione dei boschi – come nel caso preso in esame del VII distretto della Magnifica Comunità di Fiemme – rientra nella tipologia *forest management*, una delle attività aggiuntive riconosciute nell'articolo 3.4 e, quindi, su 100 tonnellate di carbonio fissato ne potranno essere conteggiate solo 15. Peraltro, il modesto tetto assegnato all'Italia nel corso della COP-6bis per il *forest management* nel *First Commitment Period*, di appena 180.000 tonnellate di carbonio l'anno (modesto sia in relazione alla capacità fissativa *per se* – come dimostrano le stime presentate in questo rapporto – sia in relazione a quello assegnato a paesi analoghi al nostro per dimensione e tipologia delle risorse forestali), non lascia grandi spazi alle tipologie di intervento di gestione forestale di cui all'articolo 3.4. In altri termini: se è indubbia la capacità di aumentare il *sink* di carbonio connessa a miglioramenti gestionali nei boschi seminaturali italiani, è anche vero che le attuali regole che si stanno dando al mercato delle quote di carbonio non consentono di remunerare correttamente e adeguatamente tale tipologia di investimenti compensativi.

f) Per poter offrire sul mercato opzioni credibili per investimenti compensativi va certamente migliorata la base informativa attualmente disponibile, soprattutto in relazione ai soprassuoli lasciati all'evoluzione naturale. In particolare, per effettuare valutazioni previsionali di stima degli *stock* di carbonio e dei possibili *sink*, occorre sviluppare modelli che siano il più possibile omogenei e chiari, anche per consentire confronti a livello internazionale. Nello stesso tempo è necessario approfondire le conoscenze in merito al comportamento del carbonio nel complesso contesto ipogeo. Le difficoltà, inoltre, aumentano quando si cerchi di simulare l'evoluzione di contesti disetaneiformi o comunque molto "movimentati", come quelli verso i quali si orienta la selvicoltura naturalistica nelle zone meridionali dell'arco alpino.

Se la pianificazione forestale può essere modificata per offrire, sempre sotto il vincolo del mantenimento della stabilità e perpetuità dell'ecosistema foresta, diverse ipotesi gestionali che consentano l'aumento della funzione di *carbon sink* (mantenimento degli indirizzi consuetudinari, riduzione delle utilizzazioni, tutela integrale), rimane il problema che la "mano invisibile" del mercato è ancora ben lontana dall'essere correttamente indirizzata verso la possibilità di remunerare i servizi di stabilizzazione climatica offerti dalle foreste italiane.

6. Conclusioni

La messa a punto di un modello di simulazione e valutazione della funzione fissativa nelle biomasse forestali e nei prodotti legnosi, scopo della ricerca affidata dall'APAT al Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali, è stata condizionata da tre fattori di primaria importanza:

- a) la indisponibilità, su scala nazionale, di dati inventariali aggiornati e la scarsa confrontabilità dei dati di indagini inventariali più recenti realizzate su scala regionale e locale;
- b) la grande carenza di dati su alcune variabili significative nella fissazione di carbonio, quali i boschi di neoformazione, la lettiera e il suolo;
- c) la mancanza di un quadro metodologico completo di riferimento definito in sede internazionale per la realizzazione dei bilanci delle emissioni per ciò che concerne il ruolo del settore forestale.

Rispetto al punto a) la ricerca si è orientata alla definizione di un approccio nuovo alla modellizzazione del settore e, utilizzando un'ampia anche se obsoleta base di dati, ha totalmente riorganizzato il precedente modello CSEM. Nell'attuale versione il modello stima l'evoluzione dello *stock* ed elabora il *sink* di carbonio utilizzando delle curve di crescita per 14 tipologie forestali. È interessante notare che, diversamente da quanto previsto nelle precedenti simulazioni basate su modelli di evoluzione lineare degli incrementi di biomassa per unità di superficie, i risultati ottenuti evidenziano un progressivo aumento degli *stock*, ma ad un ritmo che – con il graduale invecchiamento complessivo dei boschi italiani – determina una riduzione del *sink* annuale.

I dati ottenuti necessitano evidentemente di una validazione che si spera potrà derivare dal secondo Inventario Forestale Nazionale, la cui esecuzione, dopo diversi anni di studi preparatori, è stato recentemente avviata.

In relazione al punto b) va segnalato un forte elemento di incertezza nelle stime effettuate, aspetto che dovrà essere opportunamente tenuto in considerazione nel prossimo Inventario, relativamente al ruolo delle neoformazioni forestali derivanti dalla graduale e spontanea conversione di terreni agricoli abbandonati.

Anche i dati relativi al suolo e alla lettiera sono, come noto, particolarmente incerti. La grande variabilità di condizioni pedo-climatiche italiane e la presenza di fenomeni di degrado del suolo (incendi) evidentemente creano ulteriori problemi di stima. Questi elementi di incertezza, tuttavia, non vanno enfatizzati: la difficoltà delle stime riguarda il ruolo di C *stock* del suolo e lettiera e non tanto il C *sink* che rappresenta la variabile politicamente più significativa nelle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici.

L'indagine realizzata ha, infine, tenuto in opportuna considerazione il problema di cui al punto c) relativo all'indeterminatezza della metodologia di costruzione dei bilanci nazionali dei gas di serra, metodologia che è in fase di definizione sia per quanto riguarda l'applicazione della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici sia per il Protocollo di Kyoto. L'approccio individuato è stato quello di tenere in considerazione la più ampia gamma di possibilità, specificatamente tramite una stima separata:

- del ruolo delle piantagioni forestali realizzate a partire dal 1990, piantagioni che dovrebbero essere conteggiate al 100% nel bilancio nazionale;
- del C fissato nei prodotti legnosi, valutato tramite l'applicazione delle due principali metodologie in fase di discussione;
- delle possibilità di utilizzo di aree coperte da foreste semi-naturali – disponibili in grande abbondanza sul territorio nazionale – per attivare un mercato delle quote di emissione.

I risultati più significativi derivanti dalle elaborazioni effettuate sono i seguenti.

- Al 2000 il C *sink* complessivo delle formazioni semi-naturali risulta complessivamente significativo (8,05 Mtj); il dato è certamente ben superiore al *cap* (pari a 0,18 Mt C) provvisoriamente assegnato all'Italia, in sede di negoziazione dell'applicazione del Protocollo di Kyoto, per l'opzione *forest management* nel *First Commitment Period*.
- Nelle superfici forestali seminaturali (escludendo i fenomeni di espansione naturale della ve-

getazione arborea di cui al punto successivo) si sta assistendo ad un processo generalizzato di invecchiamento collegato alla ridotta dinamica dei prelievi di legname e all'allungamento dei turni; tale processo si traduce in un rallentamento della dinamica dell'incremento annuale degli *stock* unitari e, quindi, ad una diminuzione del *C sink*; evidentemente – come confermato anche dal caso di studio nella Magnifica Comunità di Fiemme – un aumento dei prelievi (nella logica di una gestione forestale sostenibile), oltre a consentire la fissazione di C nei prodotti legnosi, agirebbe da volano sugli ecosistemi forestali, riducendone l'età media e aumentando gli incrementi.

- Il dato del *C sink* stimato con il modello CSEM risulterebbe ancora più significativo se si potessero conteggiare i terreni agricoli abbandonati e i boschi di neoformazione la cui estensione, come deriva non solo da una percezione empirica ma anche da un confronto tra i dati *Corine Land Cover* e quelli delle superfici forestali ISTAT, è intorno ai 2-3 M ha.
- Le piantagioni forestali realizzate a partire dal 1990 determineranno, fino al 2040, una fissazione complessiva cumulata di 10,1 M t di C; il carbonio fissato nel periodo 2008-2012 (*1st commitment period*) è stato stimato pari ai 0,86 M t (in media 171.710 t di C/anno); va, tuttavia, tenuto in considerazione che larga parte di questa funzione fissativa è collegata alle piantagioni pioppicole, ovvero ad una tipologia di bosco che, anche dal punto di vista legale (vd. il decreto di modernizzazione del settore forestale, DL 227/2001), non ha caratteri di permanenza ma è totalmente e velocemente reversibile ad usi agricoli in relazione all'andamento di alcune variabili di mercato del legname di pioppo e delle produzioni agricole alternative.
- La capacità di *C sink* dei prodotti legnosi, sia se stimata in relazione ai dati di produzione interna sia a quelli di consumo apparente, è limitata quando, come sembra corretto fare, non si conteggiano solo le funzioni di fissazione nei nuovi prodotti immessi sul mercato, ma anche le emissioni collegate ai prodotti che, anno per anno, arrivano alla loro fine vita. Tale situazione può essere facilmente compresa alla luce del fatto che il mercato interno non è caratterizzato da impieghi di prodotti a lungo ciclo di vita, ma da prodotti che – al contrario – hanno cicli di vita breve (legna da ardere e carta) o media (mobili). L'utilizzo del legname in edilizia si limita, infatti, a strutture – come porte e serramenti – di durata relativamente breve. Da ciò pare ragionevole dedurre che un aumento nell'impiego di prodotti legnosi con ciclo di vita piuttosto lungo (ad esempio: espansione dell'impiego del legname in edilizia per usi strutturali) possa contribuire ad aumentare la capacità di *C sink* del sistema economico.

I risultati sinteticamente esposti potrebbero indurre una certa perplessità nell'individuare nel settore forestale italiano uno strumento di importanza strategica nelle politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici.

Se una posizione prudente è evidentemente fondata e scientificamente giustificata, va comunque ricordato che i *decision makers* non devono trascurare il fatto che gli interventi nel settore si conciliano, molto meglio di altri, con il perseguimento di altri rilevanti interessi di natura pubblica e privata, quali la tutela della biodiversità, la conservazione del suolo, la regolazione del ciclo dell'acqua, il miglioramento del paesaggio, l'offerta di aree ricreative e – non da ultimo – la produzione di legname e di altri prodotti non legnosi.

Basterebbe ricordare il fatto che l'Italia è il sesto importatore mondiale di legname (e il secondo europeo) e che i nostri *partner* commerciali sono, in diversi casi, Paesi caratterizzati da evidenti fenomeni di gestione non sostenibile delle foreste, per giustificare un'attenzione particolare alle politiche di promozione della gestione attiva dei boschi italiani, anche ai fini dell'obiettivo generale di riduzione dei fenomeni di cambiamento climatico.

7. Bibliografia

AAVV (1992) - United Nation Framework Convention on Climate Change.

AAVV (1997) - Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP/ 1997/7 Add. 1, decision 1/CP. 3, Annex 7.

Accademia Nazionale di Agricoltura (1992) - Arboricoltura da legno in collina e in montagna. Edagricole, Bologna.

Arrouays D., Deslais W., Daroussin J., Balesdent J., Gaillard J., Dupouey G-L., Nys C., Baudreau V., Belkacem S. (1999) - Stocks de carbone dans les sols de France : quelles estimations? C.R. Acad. Agric. Fr., 85 (6).

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.

Brown S., Sathaye J., Cannel M., Kauppi P.E. (1996) - Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. Commonwealth Forestry Review, 75 (1): 80-91.

Cattoi S., Ciccacese L., Pettenella D., Zanolini Z. (2002) - Gli investimenti nel settore forestale in attuazione del protocollo di Kyoto: una possibilità di valorizzazione economica dei boschi italiani? Monti e Boschi, 5: 12-17.

Ciccacese L., Gaudio D., Pettenella D., Quarantino R. (1998) - Land-use change and forestry in Italy: data availability for budgeting carbon cycle and possible developments. In SBSTA workshop on land-use, land-use change and forestry. Roma, 24-25 settembre 1998.

Ciccacese L., Pettenella D. (2000) - Il ruolo delle foreste come serbatoi di carbonio: sviluppi recenti del Protocollo di Kyoto. Sherwood, 6 (61).

Colletti L., 2001 - Risultati dell'applicazione del Regolamento CEE 2080/92 in Italia. Sherwood (70): 23-31.

Cozza F., Colletti L. (2001) - I nuovi boschi in Italia nel periodo 1990/2000. UNFCCC - Terza comunicazione nazionale alle Nazioni Unite. Accademia Italiana di Scienze Forestali, 19 novembre 2001, Firenze.

Del Favero R. (1983) - Indagine sulla biomasse della chioma dell'abete rosso. Atti dell'Istituto di Ecologia e Selvicoltura. Università degli Studi di Padova, Volume III, Pubblicazione (2): 54-77.

Dixon R.K., Brown S., Houghton R.A., Solomon A.M., Trexler M.C., Wisniewski J. (1994) - Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 185-90.

Eswaran H., van den Berg E., Reich P. (1993) - Organic soil of the world. Soil Science Society of America, 57: 192-4.

FAO (2001) - State of the world's forests 2001. Food and Agriculture Organisation, Roma.

Frühwald A., Pohlmann C.M., Wegener G. (2001) - Holz - rohstoff der zukunft [Wood - material of the future]. Informationsdienst Holz. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München.

Frühwald A., Solberg B. (eds) (1995) - Life-cycle analysis - a challenge for forestry and forest industry. European Forestry Institute. Proceedings (8).

Harrison A.F., Harkness D.D., Rowland A.P., Garnett J.S., Bacon P.J. (2000) - Annual carbon and nitrogen fluxes in soils along the European Forest Transect, determined using ¹⁴C-Bomb. In: Schultze E.D. (ed.), Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems. Springer Verlag: 236-249.

Heimann M., Weber C., Duinker J.C., Körtzinger A., Mintrop L., Buchmann N., Schultze E.D., Hein M., Bondeau A., Cramer W., Lidner M., Esser G. (1997) - Natürliche senken und Quellen des atmosphärischen Kohlendioxids: stand des Wissens und Optionen des Handelns. Studie im Auftrag des BMBF.

Institut pour le Développement Forestier (2001) - Evaluation du système d'aide communautaire pour les mesures forestières en agriculture du Règlement 2080/92. IDF, Auzeville.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1997) - Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hadley Centre, Londra.

ISAF (1982) - Tavole stereometriche ed alsometriche costruite per i boschi italiani raccolte, coordinate ed illustrate da Camillo Castellani. Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura, Trento.

ISAF (1988) - Inventario Forestale Nazionale 1985. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura, Trento.

ISMEA - Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare (2001) - Filiera legno. ISMEA, Roma.

ISTAT (anni vari) - Statistiche forestali (in precedenza: Annuario di Statistiche Forestali). Istituto Nazionale di Statistica, Roma.

Lapietra G., Sampietro C., Coaloa D. (anni vari) - Rapporto annuale sulla pioppicoltura. Istituto Sperimentale per la Pioppicoltura, Casale Monferrato. Ente Nazionale Cellulosa e Carta. Lal R., Kimble J., Follet R. (1998) - Land use and soil C pools in terrestrial ecosystems. In: Management of soil carbon sequestration in soil: 1-10 (Lal R., Kimble J., Follet R., Steward B.A., eds). Boca Raton, CRC Press.

Mercurio R., Minotta G. (2000) - Arboricoltura da legno. Clueb, Bologna.

Mohren G.M.J., Garza Caligaris J.F., Masera O., Kanninen M., Karjalainen T., Pussinen A., Nabuurs G.J. (1999) - CO2FIX for Windows: a dynamic model of the CO₂ fixation in forests. Institute for Forestry and Nature Research, Instituto de Ecologia Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza, European Forest Institute.

Nabuurs G.J., Sikkema R. (1998) - The role of harvested wood products in national carbon balances - an evaluation of alternatives for IPCC guidelines. Institute for forestry and nature research (IBN-DLO). IBN-Research Report 98/3.

- Pettenella D., Picciotto F. (1993) - Un tentativo di stima del ruolo delle risorse forestali italiane nella fissazione di carbonio. *Monti e Boschi*, 44 (1).
- Pizzeghello D., Nicolini N., Nardi S. (2001) - Phyto-hormone-like activity of humic substances in *Fagus sylvatica* L. forests. *New Phytologist*, 151 (3).
- Post W. M., Kwon K. C. (2000) - Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* (2000) 6: 317-327.
- Ranger J., Nys C., Ranger D. (1981) - Etude comparative de deux ecosystems forestiers feuillus et résineux des Ardennes primaires françaises. I - Biomasse aérienne du taillis-sous-futaie. *Ann. Sc. For.*, 38 (2). II - Biomasse aeriennne d'une plantation équienne d'Épicéa commun (*Picea abies* Karst). *Ann. Sc. For.*, 38 (3).
- Schlamadinger B., Marland G. (1998) - The Kyoto Protocol: provisions and unresolved issues relevant to land-use change and forestry. *Environmental Science and Policy* (1).
- Schlamadinger B., Woess-Gallasch S., Cowie A. (eds) (2001) - Carbon Accounting and Emissions Trading Related to Bioenergy, Wood Products and Carbon Sequestration. IEA Bioenergy Task 38, Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems Workshop Proceedings, Canberra, Australia, 167-194.
- Sedjo R.A. (2001) - From foraging to cropping: the transition to plantation forestry, and implications for wood supply and demand. *Unasylva*, vol. 52 (204).
- Susmel L. (1980) - Normalizzazione delle foreste alpine. Basi ecosistemiche, equilibrio, modelli colturali, produttività. Liviana ed., Padova.
- Susmel L. (1988) - Principi di ecologia. Fattori ecologici, ecosistemica, applicazioni. Ed. CLEUP, Padova.
- Tassinari G. (1976) - Manuale dell'agronomo. 5ª edizione. REDA, Roma.
- Thoroé C., Schweinle J. (1995) - Life cycle analysis in forestry. "Life cycle analysis - a challenge for forestry and forest industry". Arno Frühwald and Birger Solberg Eds. *EFI Proceedings*, 11-20.
- Thuille A., Buchmann N., Schultze E.D. (2000) - Carbon stocks and soil respiration rates during deforestation, grassland use and subsequent Norway spruce afforestation in the Southern Alps, Italy. In: *Tree Physiology* (20): 849-857.
- Tosi V., Marchetti M. (1998) - I sistemi informativi forestali in Italia: uniformità e divergenze tra gli inventari delle risorse forestali. *L'Italia Forestale e Montana*, 53 (5): 220-252.
- Totten M. (1999) - Getting it right: emerging markets for storing carbon in forests. *Forest Trends*, World Resource Institute, USA.
- UNEP, WMO, IUCC, 1995 - Cambiamenti climatici. In: *Amici della Terra*, Dossier n° 206. Edizione italiana a cura del Ministero dell'Ambiente, Amici della Terra, ENEA.

van Praag H.J., Sougnez-Remy S., Weissen F., Carletti G., (1988) - Root turnover in a beech and spruce stand of the Belgian Ardennes. *Plant and Soil*, 105: 87-103 (cit. da Nadelhoffer K.J., Raich J.W. (1992) - Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. In: *Ecology*, 73(4): 1139-1147.

Violante P. (1996) - *Chimica del suolo e nutrizione delle piante*. Edagricole, Bologna.

Watson R.T., Noble I.R., Bolin B., Ravindranath N.H., Verada D.L., Dokken D.L. (2000) - *Land Use, Land-Use Change, and Forestry, A Special Report of the IPCC*, Cambridge University Press.

Wegener G., Zimmer B., Frühwald A., Scharai-Rad M. (1997). *Ökobilanzen holz: Fakten lesen, verstehen, und handeln*. DGfH-Informationsdienst, München/Bonn.

Whiteman A., Brown C., Bull G. (1999) - *Forest product market developments: the outlook for forest product markets to 2010 and the implications for improving management of the global forest estate*. FAO, Working Paper FAO/FPIRS702. FAO, Rome.

Wilson E.O., Bossert W.H. (1974) - *Introduzione alla biologia delle popolazioni*. Ed. PICCIN, Padova.

Winjum J.K., Brown S., Schlamadinger B. (1998) - Forest harvest and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science* 44 (2): 272-84.

