
Modulo Foreste - Manuale Metodologia

A cura di Federico Antognazza e Stefano Caserini, ARPA Lombardia

Indice

Modulo Foreste - Manuale Metodologia	1
Indice.....	2
Premessa.....	3
1 Metodologia	6
1.1 Introduzione	6
1.2 Modello For – Est (Forest Estimates)	6
1.3 Funzione di Richards	7
1.4 Funzionamento del modello For – Est	7
1.4.1 Biomassa epigea.....	9
1.4.2 Biomassa ipogea	9
1.4.3 Necromassa	9
1.4.4 Lettieria e suoli.....	9
1.5 Stima dello stock di CO ₂	10
1.6 Stima dei cambiamenti di Carbon Stock.....	11
2 Classificazione dei dati	12
3 Fonti dei dati	15
4 Quadro riassuntivo della metodologia	17
5 Implementazione in INEMAR – Prima Fase	18
5.1 Dati necessari	18
6 Implementazione in INEMAR – Seconda fase	20
6.1 Superficie forestale	20
6.2 Biomassa forestale (stock forestale)	20
6.3 Utilizzazioni forestali.....	20
6.4 Incendi forestali.....	21
6.5 Parametri di crescita.....	21
6.6 Altri parametri.....	22
6.7 Ulteriori approfondimenti	22
Allegato 1: Guida alla definizione delle superfici forestali comunali da dati regionali	23
Allegato 2: Stima delle superfici forestali nel periodo 1990 – 2007	24
Allegato 3: Guida alla ripartizione delle quantità di utilizzazioni legnose regionali nelle macro categorie	25
Allegato 4: Guida alla stima delle quantità di biomassa sottoposte a taglio e incendio	27

Premessa

I rischi connessi ai cambiamenti climatici sono molteplici e di diversa natura: si tratta di rischi ambientali, sociali ed economici.

Il Protocollo di Kyoto, adottato nel 1997 ed entrato in vigore il 16 febbraio del 2005 prevede, negli art. 3.3, 3.4 e successivi accordi negoziali, l'impiego di sink (pozzi) di carbonio per la riduzione del bilancio netto nazionale delle emissioni di gas serra.

In particolare, **l'articolo 3.3** stabilisce che le *emissioni e gli assorbimenti di CO₂ ed altri gas serra risultanti dalla costituzione di nuove foreste* (afforestazione¹, riforestazione²) *e dalla conversione delle foreste in altre forme d'uso del suolo* (deforestazione³), *effettuati dopo il 1990, devono essere contabilizzati nei bilanci nazionali delle emissioni e degli assorbimenti di gas serra.*

L'**articolo 3.4** dichiara che *è possibile contabilizzare emissioni ed assorbimenti di gas serra relativi le attività addizionali, purché abbiano avuto luogo dal 1990 e siano state intenzionalmente causate dall'uomo.* Gli Accordi di Marrakesh fissano, relativamente al periodo 2008-2012, le **attività LULUCF** (Land Use, Land Use Change and Forestry) di cui all'articolo 3.4: **Forest management** (gestione forestale), **Cropland management** (gestione dei suoli agrari), **Grazing land management** (gestione dei prati e dei pascoli) e **Revegetation** (ri-vegetazione).

Ogni paese potrà quindi liberamente individuare ("eleggere") quelle attività addizionali di cui intende contabilizzare le emissioni e gli assorbimenti: la **rendicontazione** degli assorbimenti o delle emissioni legate a tali attività diventano ovviamente **obbligatorie solo nel caso in cui lo stato membro abbia deciso la loro elezione.**

Entro il 31 dicembre 2006, ogni paese membro doveva comunicare al segretariato dell'UNFCCC le decisioni in merito alle attività addizionali previste dal sopracitato articolo 3.4 utilizzabili, quali sinks di carbonio, per l'adempimento degli impegni di riduzione della quantità netta nazionale di emissioni. L'Italia prevede di utilizzare la gestione forestale (forest management) nell'applicazione del Protocollo di Kyoto, per il primo periodo d'impegno; sono da considerare *aree* soggette a gestione forestale tutte le superfici del territorio nazionale, *non soggette ad attività di afforestazione, riforestazione o deforestazione.* I crediti di carbonio generati dalle aree soggette a

¹ "**Afforestation**": is the direct human-induced conversion of land that has not been forested for a period of at least 50 years to forested land through planting, seeding and/or the human induced promotion of natural seed sources

² "**Reforestation**": is the direct human-induced conversion of non-forested into forested land through planting, seeding and/or the human-induced promotion of natural seed sources, on land that was forested but that has been converted to non-forested land. For the 1st commitment period, reforestation activities will be limited to reforestation occurring on those lands that did not contain forest 31 December 1989.

³ "**Deforestation**": is the direct human-induced conversion of forested land to non-forested land.

gestione forestale sono quantificati in termini di variazione, tra il 2008 ed il 2012, rispetto al 1990, degli stock di carbonio relativi i diversi serbatoi forestali.

L'Italia può certificare ed emettere crediti di carbonio per una quantità pari al valore numerico assegnatole per il primo periodo di impegno. L'Italia potrà quindi rendicontare assorbimenti o emissioni correlate all'attività di gestione forestale (art. 3.4) ed alle attività contemplate dall'articolo 3.3 (afforestazione, riforestazione, deforestazione) nell'Inventario Nazionale dei gas serra relativo al Protocollo di Kyoto, che va ad affiancare l'annuale comunicazione dell'Inventario Nazionale dei gas serra secondo la Convenzione dei cambiamenti climatici.

Secondo quanto previsto dal Decreto di attuazione della Delibera del CIPE n. 123 del 19 dicembre 2002 "Revisione delle Linee Guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas ad Effetto Serra" che al comma 7, punto 4, stabilisce che il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, d'intesa con il Ministero per le politiche agricole, alimentari e forestali, realizzi il cosiddetto «Registro Nazionale dei Serbatoi di carbonio agro-forestali» al fine di certificare i flussi di carbonio nel periodo 2008-2012 derivanti da attività di afforestazione, riforestazione, deforestazione, gestione forestale, gestione dei suoli agricoli e pascoli e ri-vegetazione, le Regioni sono tenute a stimare gli assorbimenti di carbonio. In Regione Lombardia, ad esempio, tale aspetto è stato normato dalla legge LR 2024 di cui si riporta lo stralcio dell'articolo 21 (Inventario regionale dei depositi di carbonio):

- 1) Nell'ambito dell'Inventario regionale delle emissioni in aria, di cui all'articolo 4, è istituita la sezione dedicata ai depositi di carbonio atmosferico assorbiti e stoccati dagli ecosistemi forestali, dai terreni agrari, dai pascoli e dai sistemi vegetazionali diversamente classificabili della Regione.
- 2) Costituiscono criteri operativi per la realizzazione della sezione di cui al comma 1:
 - (1) la contabilizzazione del carbonio atmosferico assorbito e stoccato a partire dal 1° gennaio 1990;
 - (2) la caratterizzazione georeferenziata del potenziale regionale di assorbimento e stoccaggio del carbonio atmosferico;
 - (3) il monitoraggio dei depositi di carbonio agro-forestali e vegetazionali.

Il presente documento riporta la metodologia proposta per la stima in Inemar dei sink *da gestione forestale*, coerentemente con quanto fatto a livello nazionale.

Nei capitoli 2 - 5 è descritta la metodologia di stima utilizzata e i dati necessari. L'implementazione della metodologia è prevista in due livelli di analisi condotti in due fasi successive:

- nella **prima fase** (capitolo 5), Inemar fornisce stime degli assorbimenti forestali a livello regionale basandosi sui dati di superficie forestali e di stock comunicati da ISPRA, utilizzando dati regionali per la disaggregazione alla scala comunale. In questa prima fase le

stime di assorbimenti fornite da Inemar a livello regionale sono in questa prima fase del tutto congruenti con le stime ISPRA.

- nella **seconda fase**, delineata in sintesi nel capitolo 6, Inemar utilizza dati disponibili a livello regionale sul valore degli stock, delle superfici forestali, delle utilizzazioni forestali e degli incendi, in modo da ridurre le procedure di disaggregazione ed evitare quindi le relative approssimazioni. Ovviamente, la possibilità dell'implementazione di questa seconda fase dipende dalla disponibilità dei dati necessari

Un ulteriore sviluppo del modulo dovrà prevedere, in futuro, la stima degli altri tipi di sink (gestione dei suoli agrari, gestione dei prati e dei pascoli, rivegetazione); lo sviluppo di questi moduli richiede la disponibilità di adeguate metodologie di stima e dei relativi dati, in relazione anche alle richieste metodologiche ai fini dell'eleggibilità anche di questi assorbimenti per gli impegni del Protocollo di Kyoto e degli accordi successivi di riduzione dei gas serra.

1 Metodologia

1.1 Introduzione

La metodologia di stima degli assorbimenti di CO₂ del settore LULUCF, ed in particolare quella relativa al settore forestale deve possedere dei requisiti per essere in sintonia con le *Good Practice Guidance* dell'UNFCCC; deve quindi essere:

- basato su **statistiche ufficiali** di **inventari nazionali** delle foreste e dati scientifici sottoposti a peer – review;
- **produrre dati di cambiamento degli stock di carbonio annuali**;
- deve essere **accurato, conservativo** e non deve **ne sovrastimare ne sottostimare** i decrementi degli stock di carbonio negli strati.

Sorgono delle difficoltà in quanto i dati vengono aggiornati ciclicamente ogni 10 – 15 anni, mentre i report devono essere annuali.

1.2 Modello For – Est (Forest Estimates)

Il modello per la stima degli assorbimenti di CO₂ dalla gestione forestale, sviluppato da ISPRA (ex APAT) seguendo le indicazioni delle linee guida LULUCF dell'IPCC, si basa su una curva di crescita della biomassa forestale indipendente dall'età che considera lo stock di crescita come variabile indipendente e l'incremento attuale come variabile dipendente.

Tutti gli stock di carbonio presenti nei serbatoi sono stimati in funzione dello stock di crescita.

La metodologia in seguito descritta è applicata ad ogni tipologia forestale. Se non specificato altrimenti, anche tutti i parametri considerati sono specifici della singola tipologia forestale.

L'applicazione APAT, sulla base della classificazione del I Inventario Forestale (1985), considera 27 categorie forestali, raggruppate in 4 macro categorie:

- **Fustaie**: abete rosso, abete bianco, larici, pini di montagna, pini mediterranei, altre conifere, faggio europeo, cerro, altre querce e altre latifoglie;
- **Bosco ceduo**: faggio europeo, castagno, carpino, altre querce, cerro, querce sempreverdi, altre latifoglie e conifere;
- **Piantagioni**: cedui di eucalipto, cedui di altre latifoglie, pioppeti, altre piantagioni di latifoglie, piantagioni di conifere e altro;
- **Foresta protetta**: foresta rupestre, foresta ripariale e arbusteti.

1.3 Funzione di Richards

Il modello che descrive la crescita della biomassa legnosa presente nella foresta (particolari foglie o intero albero), è rappresentato da una funzione limitata monotona a 4 parametri, ottenibile dalla soluzione analitica della seguente equazione differenziale, chiamata **funzione di Richards**, che *lega il tasso di incremento annuo della biomassa alla biomassa stessa presente in un anno*:

$$I_i = \frac{dgss}{dt} \cdot A = \left(\frac{k}{v} \cdot gss \left[1 - \left(\frac{gss}{a} \right)^v \right] + gss_0 \right) \cdot A \quad (1)$$

Dove:

- I_i : incremento di biomassa [$\text{m}^3 \cdot \text{anno}^{-1}$]
- gss_t : stock di biomassa presente nell'anno t per ettaro di superficie [$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$] (è stimato in funzione dello stock e delle utilizzazioni forestali nell'anno $t-1$).
- gss_0 : incremento di stock di biomassa per ettaro di superficie in assenza di biomassa [$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$]
- a : parametro >0 [$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$]
- k : parametro [anni^{-1}] >0
- v : parametro adimensionale $-1 \leq v \leq \infty$; $v \neq 0$

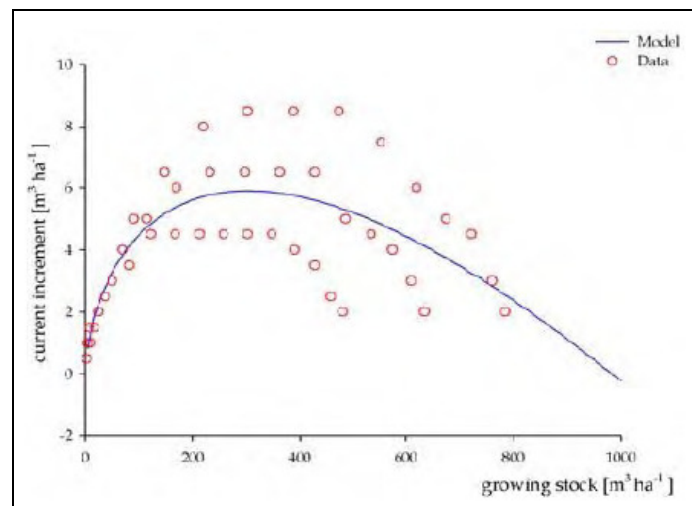


Figura 1: esempio di funzione di Richards

Anche se non essenziale ai fini dell'implementazione successiva del modello per la stima degli assorbimenti, si fa notare che la soluzione analitica della funzione di Richards porta alla relazione che esprime la crescita della biomassa nel tempo: $y = a \cdot \left[1 - e^{(\beta - kt)} \right]^{1/v}$

1.4 Funzionamento del modello For – Est

La metodologia di stima viene condotta secondo i seguenti passaggi metodologici

1. per **ogni anno**, viene calcolato mediante la derivata di Richards I_i , ossia *l'incremento per ettaro corrente a partire dal volume presente nel primo anno di cui si hanno i dati* (il 1985 per i dati del primo Inventario Nazionale Forestale e dei serbatoi di Carbonio - INFC)
2. viene calcolato **per ogni anno** la crescita **netta** dello **stock di biomassa**, **a partire dal volume di stock dell'anno precedente, sommando l'incremento corrente e sottraendo le perdite** dovute a raccolti, mortalità e incendi;

$$gss_i = GS_{i-1} + I_i - H_{i-1} - F_{i-1} - M_{i-1} - D_{i-1} \quad (2)$$

Dove:

- gss_i : stock nell'anno corrente per unità di superficie [$m^3 \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$]
- GS_{i-1} : stock nell'anno precedente [$m^3 \cdot anno^{-1}$]
- I_i : incremento totale nell'anno corrente calcolato come esposto in precedenza
- H_{i-1} : tagli nell'anno precedente [$m^3 \cdot anno^{-1}$]
- F_{i-1} : incendi nell'anno precedente [$m^3 \cdot anno^{-1}$]
- M_{i-1} : mortalità naturale nell'anno precedente [$m^3 \cdot anno^{-1}$]
- D_{i-1} : danno da calpestio del verde nell'anno precedente [$m^3 \cdot anno^{-1}$]

I parametri H_{i-1} , F_{i-1} , M_{i-1} e D_{i-1} sono dati di input (vedi paragrafo 3). Nel caso in cui non siano disponibili con un dettaglio per categorie forestali, ISPRA propone una metodologia per la loro stima (allegato 3).

La stima dello stock di crescita gss_i permette di stimare l'accumulo di carbonio nei cinque serbatoi: biomassa epigea (biomassa fogliare), biomassa ipogea (biomassa nel sottosuolo), necromassa **lettiera** e il contenuto di sostanza organica nei **suoli**.

Il contributo di ogni singolo comparto permette di calcolare quindi lo stock di carbonio complessivo del comparto forestale in un anno t :

$$StockC_t = BE_t + BI_t + N_t + L_t + S_t \quad (3)$$

Dove:

- $StockC_t$: carbonio stoccato nell'anno corrente nel comparto forestale [$tC \cdot anno^{-1}$]
- BE_t : biomassa epigea [$tC \cdot anno^{-1}$]
- BI_t : biomassa ipogea [$tC \cdot anno^{-1}$]
- N_t : necromassa [$tC \cdot anno^{-1}$]
- L_t : lettiera [$tC \cdot anno^{-1}$]
- S_t : sostanza organica nei suoli [$tC \cdot anno^{-1}$]

Il valore di questi stock è stimato come descritto nei successivi paragrafi.

1.4.1 Biomassa epigea

- $BE = GS \cdot BEF_e \cdot WBD$ [t_{biomassa}] (4)
 - GS = stock di crescita [m³·ha⁻¹]
 - BEF_e = fattore di espansione della biomassa epigea
 - WBD = densità basale del legno [t_{sost_secca}·m⁻³_{fraz._volatile}]

1.4.2 Biomassa ipogea

- $BI = GS \cdot WBD \cdot R$ [t_{biomassa}] (5)
 - R = rapporto root-shoot (radici/germogli)

1.4.3 Necromassa

- $N = GS \cdot BEW \cdot WBD \cdot DCF$ [t_{biomassa}] (6)
 - BEW = fattore di espansione della biomassa legnosa [t_{sost_secca}·m⁻³_{fraz._volatile}]
 - DCF = fattore conversione della biomassa morta

1.4.4 Lettieria e suoli

Per i comparti lettiera e suoli si stima direttamente il contenuto di carbonio nei due diversi serbatoi, senza il calcolo intermedio del volume di biomassa. Tale valutazione si esegue mediante l'applicazioni di relazioni lineari, parametrizzare su misure di sostanza organica nel suolo e nella lettiera, dipendenti da parametri caratteristici delle specie forestali e dalla biomassa epigea, calcolata in precedenza. In figura 2 sono riassunte le relazioni per le singole specie forestali per la stima del contenuto di carbonio in entrambi i comparti. La loro formulazione generale è espressa dalla seguente relazione:

$$\textbf{Lettiera} \quad L = \left(a \cdot \left(\frac{BE}{AREA} \right) + b \right) \quad [\text{t}_C] \quad (7a)$$

$$\textbf{Suoli} \quad S = \left(a \cdot \left(\frac{BE}{AREA} \right) + b \right) \quad [\text{t}_C] \quad (7b)$$

Category	Inventory typology	Relation litter Aboveground C / ha	Relation soil Aboveground C / ha
Stands	norway spruce	y = 0.0659x + 1.5045	y = 0.4041x + 57.874
	silver fir	y = 0.0659x + 1.5045	y = 0.4041x + 57.874
	larches	y = 0.0659x + 1.5045	y = 0.4041x + 57.874
	mountain pines	y = 0.0659x + 1.5045	y = 0.4041x + 57.874
	mediterranean pines	y = 0.0659x + 1.5045	y = 0.4041x + 57.874
	other conifers	y = 0.0659x + 1.5045	y = 0.4041x + 57.874
	european beech	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.9843x + 5.0746
	turkey oak	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.9843x + 5.0746
	other oaks	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.9843x + 5.0746
	other broadleaves	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.9843x + 5.0746
Coppices	european beech	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	sweet chestnut	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	horbeams	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	other oaks	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	turkey oak	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	evergreen oaks	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	other broadleaves	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	conifers	y = 0.0659x + 1.5045	y = 0.4041x + 57.874
Plantations	eucalyptuses coppices	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	other broadleaves coppices	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356
	poplars stands	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.9843x + 5.0746
	other broadleaves stands	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.9843x + 5.0746
	conifers stands	y = 0.0659x + 1.5045	y = 0.4041x + 57.874
	others	y = -0.0165x + 7.3285	y = 0.7647x + 33.638
Protective	rupicolous forest	y = -0.0165x + 7.3285	y = 0.7647x + 33.638
	riparian forest	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.9843x + 5.0746
	shrublands	y = -0.0299x + 9.3665	y = 0.3922x + 65.356

Figura 2 - relazioni lineari per la stima dello stock di carbonio nei serbatoi lettiera e suoli

1.5 Stima dello stock di CO₂

Calcolati gli stock di biomassa o carbonio per i 5 serbatoi come descritto in precedenza, si può stimare lo stock di CO₂ come somma dei singoli contributi.

I parametri **GPG** e **F** rappresentano rispettivamente il *fattore di conversione della biomassa in carbonio* (valore 0,5) e il *fattore di conversione del carbonio in anidride carbonica* – rapporto tra il peso molecolare e il peso atomico - (3,67).

$$StockCO_2 = \frac{F \cdot [GPG \cdot (BE + BI + BM) + L + BS]}{1000} \quad [ktCO_2] \quad (8)$$

Tale stock può essere altresì visto come la somma di due contributi distinti, il primo, ΔC_{LB} , legato alla **biomassa viva** mentre il secondo, ΔC_{DOM} , legato alla **necromassa**, calcolati con le seguenti relazioni:

$$\bullet \quad \Delta C_{LB} = GPG \cdot F(BE + BI) \quad [tCO_2] \quad (9)$$

$$\bullet \quad \Delta C_{DOM} = F \cdot (BM \cdot GPG + L + BS) \quad [tCO_2] \quad (10)$$

1.6 Stima dei cambiamenti di Carbon Stock

Una volta disponibili i valori degli stock di CO₂ in tutti i serbatoi di carbonio, si procede quindi con la stima dei cambiamenti di C-Stock.

Il calcolo dell'assorbimento prevede la conoscenza dello stock in due annualità distinte, e si calcola semplicemente come differenza tra lo stock nell'anno più recente e quello meno recente. Usualmente l'assorbimento (sink) viene calcolato di anno in anno come segue:

$$C - Stock_{i,j} = STOCK_{i,j} - STOCK_{i,j-1} \quad (11)$$

dove:

- $C - Stock_{i,j}$: assorbimento di CO₂ nel serbatoio i nell'anno j [kt_{CO2}];

i : serbatoio forestale di CO₂, si ricorda che i serbatoi sono: biomassa epigea ed ipogea, necromassa, lettiera e suolo forestale;

2 Classificazione dei dati

I dati utilizzati per la stima degli stock e dei relativi sink sono classificati secondo quanto esposto al paragrafo. Per esprimere una maggiore chiarezza si riporta la classificazione esposta in precedenza:

- **Macro Categorie forestali:** sono 4 e sono legate al tipo di governo a cui le varie tipologie forestale vengono sottoposte:
 - **fustaie** (stands);
 - **bosco ceduo** (coppices);
 - **piantagioni** (plantations);
 - **boschi protetti** (protective forest);
- **Categorie forestali:** ogni macro categoria forestale è disaggregata in diverse categorie. Complessivamente le categorie forestali, considerate da ISPRA, sono 27, coerentemente con la classificazione del I Inventario Forestale (1985) e come riassunto in tabella 1.

Tabella 1: Ripartizione percentuale delle categorie forestali in Lombardia

Categorie forestali previste dalla classificazione ISPRA	Ripartizione percentuale della superficie forestale in Lombardia
Abete rosso (peccio)	13,20%
Abete bianco	2,90%
Larici	6,60%
Pini di montagna	2,00%
Pini mediterranei	0,00%
Altre conifere	0,00%
Faggio europeo	4,60%
Cerro	2,30%
Altre querce	1,70%
Altre latifoglie	0,80%
Fustaie	34,00%
Faggio europeo	14,60%
Castagno	11,60%
Carpino	0,80%
Altre querce	8,20%
Cerro	5,10%
Querce sempreverdi	0,00%
Altre latifoglie	5,60%
Conifere	1,30%
Ceduo	47,10%
Cedui di eucalipto	0,00%
Cedui di altre latifoglie	0,00%
Pioppeti	5,20%
Altre piantagioni di latifoglie	0,30%
Piantagioni di conifere	0,00%
Altro	9,70%
Piantagioni	15,20%
Foresta rupestre	0,50%

Foresta ripariale	0,00%
Arbusteti	3,20%
Protette	3,70 %
Totale	100 %

Si osserva come le categorie più presenti sul territorio lombardo sono l'abete rosso (13,7%), il faggio europeo (19,2%) e il castagno (11,6%).

Si osserva, dai dati riportati in tabella 1, che alcune categorie sono presenti in più di una macro categoria. La ripartizione è stata fatta utilizzando un coefficiente di ripartizione tra le macro categorie (vedi allegato 1 e file "Specifiche informatiche modulo foreste – 1 fase.doc"). Di seguito viene riepilogata in tabella 2 la ripartizione adottata per la regione Lombardia.

Tabella 2: ripartizione delle categorie forestali nelle macro categorie (Regione Lombardia)

ID_CAT_REGIONALI	ID_CATEGORIA	DESCRIZIONE	Coefficiente di ripartizione
Categoria Carta Forestale - DUSAF	Categoria ISPRA	Macro Categoria	
Pe	Abete Rosso (peccete)	Fustaie	1
		Bosco ceduo	0
		Piantagioni	0
		Foresta protetta	0
Ab	Abete bianco	Fustaie	1
		Bosco ceduo	0
		Piantagioni	0
		Foresta protetta	0
Fp	Larici	Fustaie	0,194
		Bosco ceduo	0,799
		Piantagioni	0,007
		Foresta protetta	0
Ps	Pini di montagna	Fustaie	1
		Bosco ceduo	0
		Piantagioni	0
		Foresta protetta	0
Lc	Faggio Europeo	Fustaie	0,24
		Bosco ceduo	0,76
		Piantagioni	0
		Foresta protetta	0
Qr	Cerro	Fustaie	0,31
		Bosco ceduo	0,69
		Piantagioni	0
		Foresta protetta	0
Oo	Altre Querce	Fustaie	0,17
		Bosco ceduo	0,83
		Piantagioni	0
		Foresta protetta	0
Af	Altre Latifoglie	Fustaie	0,13
		Bosco ceduo	0,87
		Piantagioni	0
		Foresta protetta	0

Al		Fustaie	0,13	
		Bosco ceduo	0,87	
		Piantagioni	0	
		Foresta protetta	0	
Bc		Fustaie	0,13	
		Bosco ceduo	0,87	
		Piantagioni	0	
		Foresta protetta	0	
Ca	Castagno	Fustaie	0	
		Bosco ceduo	1	
		Piantagioni	0	
		Foresta protetta	0	
Qc	Carpino	Fustaie	0	
		Bosco ceduo	1	
		Piantagioni	0	
		Foresta protetta	0	
2241	Conifere	Fustaie	0	
		Bosco ceduo	1	
		Piantagioni	0	
		Foresta protetta	0	
2242	Pioppeti	Fustaie	0	
		Bosco ceduo	0	
		Piantagioni	1	
		Foresta protetta	0	
Pf	Altre piantagioni di latifoglie	Fustaie	0	
		Bosco ceduo	0	
		Piantagioni	1	
		Foresta protetta	0	
Fa	Altro	Fustaie	0	
		Bosco ceduo	0	
		Piantagioni	1	
		Foresta protetta	0	
Fn			Fustaie	0
			Bosco ceduo	0
			Piantagioni	1
			Foresta protetta	0
Nc			Fustaie	0
			Bosco ceduo	0
			Piantagioni	1
			Foresta protetta	0
Mg	Foresta rupestre	Fustaie	0	
		Bosco ceduo	0	
		Piantagioni	0	
		Foresta protetta	1	
3221	Arbusteti	Fustaie	0	
		Bosco ceduo	0	
		Piantagioni	0	
		Foresta protetta	1	

3 Fonti dei dati

I parametri in ingresso richiesti dalla metodologia sono :

- **Superfici forestali:** suddivise per tipo categoria forestale, espresse in ettari [ha]. A livello nazionale sono stati elaborati da ISPRA i dati del I Inventario forestale (1985) e dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC, 2008); i dati del I Inventario forestale sono stati disaggregati a livello regionale, ed è stata realizzata la serie storica relativa alle superfici forestali, per il periodo indagato (1990-2007). Le regioni possono migliorare la qualità del dato complessiva, introducendo dati locali più specifici. Ad esempio in Lombardia sono disponibili dati comunali elaborati da ERSAF per la Carta forestale, e dalla Regione Lombardia per il DUSAF (Destinazione Uso Suolo Attività Forestali).
- **Stock di biomassa (gss):** stock di biomassa presente nell'anno di censimento, per categoria, espresso in $[m^3]$. I dati sono sicuramente disponibili a livello regionale da stime ISPRA (Fonte: Vitullo, 2008), per il periodo 1985-2007. Tali stime derivano dall'elaborazione dei dati del primo inventario nazionale forestale del 1985, e dai dati aggregati dell'INFC. I dati presenti nell'INFC, contenente i dati di superficie forestali riferiti al 2005, non possono essere confrontati a livello di tipologia forestale o di macrocategoria, in quanto la classificazione utilizzata per l'INFC è diversa e non confrontabile con quella dell'Inventario dell'85. È stata richiesta al MIPAAF, ed in particolare al CRA-ISAFA, l'elaborazione di una matrice di correlazione, tra le due diverse classificazioni utilizzate nei due inventari, al fine di poter effettuare un confronto effettivo tra le informazioni dei due inventari. Va indagata la disponibilità di dati provinciali o meglio comunali da fonte regionale. In alternativa la stima dello stock di biomassa a livello provinciale o comunale può essere effettuata ripartendo il dato di stock regionale sulla base delle superficie forestali per le stesse specie, ipotizzando costante lo stock specifico $[m^3 \cdot ha^{-1}]$ nella regione.
- **Parametri di letteratura:** dipendenti dalle singole categorie: fattore di espansione della biomassa (**BEF**), densità basale del legno (**WBD**), fattore di conversione della biomassa morta (**DCF**), fattore di conversione della biomassa in carbonio.
- Dati di **taglio forestale**, per categorie, (**H**). I dati sono sicuramente disponibili a livello regionale (Fonte: stime ISPRA da dati ISTAT, 2008). Va indagata la disponibilità di dati provinciali o meglio comunali, altrimenti stimabili ripartendo il dato di regionale sulla base delle superficie forestali per le stesse categorie.

- Coefficiente di **mortalità forestale (M)** e di **calpestio (D)**, per categorie. Vengono applicati dei fattori di default (IPCC-GPG for LULUCF), in mancanza di dati significativi a livello nazionale. A livello regionale va verificata l'esistenza di studi locali che possano fornire dati specifici.
- Dati relativi alle superfici bruciate da **incendi (F)**, per categorie [m³]. I dati sono sicuramente disponibili a livello regionale (Fonte: stime APAT, 2008 da dati del Corpo Forestale dello Stato). Va indagata la disponibilità di dati provinciali o meglio comunali, altrimenti stimabili ripartendo il dato di regionale sulla base delle superficie forestali per le stesse categorie.
- Dati di **contenuto di carbonio nel suolo** forestale: tali stime, se disponibili, servono ad ottenere una migliore correlazione tra il contenuto di carbonio nel suolo e la biomassa epigea, migliorando le relazioni generali rappresentate in figura 2, che verrebbero quindi modificate acquisendo un carattere regionale. Ad esempio in Lombardia, grazie ai risultati del Progetto Kyoto (nello specifico il lavoro redatto da ERSAF) e alle informazioni contenute nella carta pedologica dei suoli, si sta avviando una procedura di correlazione con le informazioni elaborate dal modulo foreste (nello specifico il quantitativo di biomassa epigea) al fine di ottenere le relazioni di cui sopra.

4 Quadro riassuntivo della metodologia

Di seguito viene riassunta la metodologia descritta in precedenza mediante l'ausilio di uno schema a blocchi, che indica la relazioni, le operazioni e le fonti dei dati.

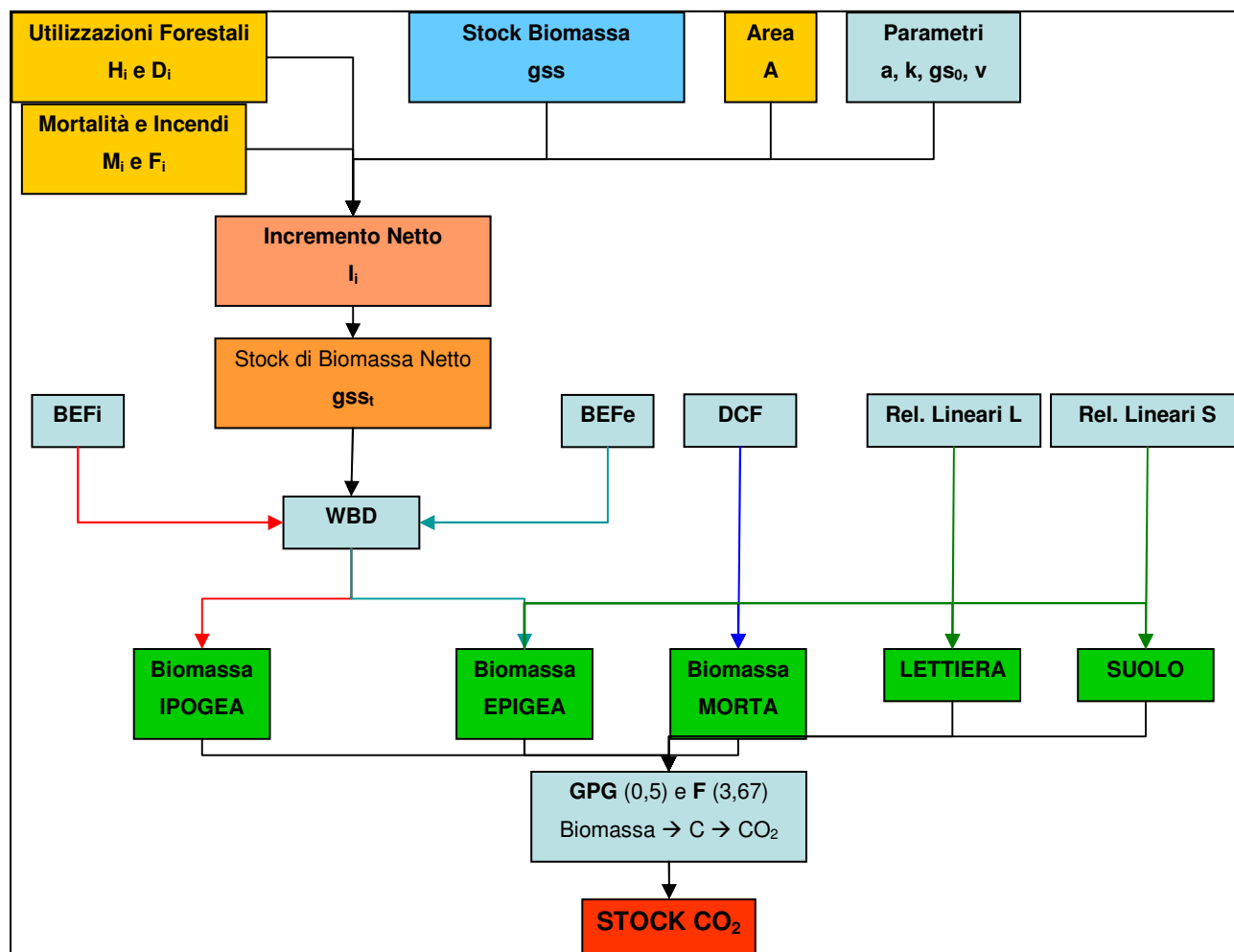


Figura 3: schema a blocchi della metodologia descritta (Legenda - azzurro: da letteratura; giallo: dati regionali (elaborazioni da dati ISTAT); azzurro: elaborazioni ISPRA)

5 Implementazione in INEMAR – Prima Fase

La stima degli assorbimenti può essere effettuata a diverse scale, in relazione alla disponibilità effettiva dei necessari dati forestali. ISPRA ha effettuato una stima a livello Nazionale (NUT1) e a scala regionale (NUT2). Inemar intende fornire stime degli assorbimenti forestali a livello regionale, provinciale e comunale.

Nella prima **versione** il modulo si basa su dati di fonte ISPRA, utilizzando i dati regionali relativi alle superfici forestali per la disaggregazione della stima di stock e assorbimenti alla scala comunale. In questa prima fase le stime di assorbimenti fornite da Inemar a livello regionale sono in questa prima fase del tutto congruenti a livello regionale con le stime ISPRA, e permettono di avere una prima stima a livello comunale e provinciale del valore di stock e assorbimenti di Carbonio.

Nella seconda fase è previsto l'utilizzo di dati di maggior dettaglio di fonte regionale, ove disponibili (vedi capitolo 6).

5.1 Dati necessari

I dati di input necessari nella prima fase sono:

- **Area forestale** per categoria [ha]
- **Stock di biomassa** per categoria [m^3];
- **Utilizzazioni legnose** per categoria [m^3];
- **Parametri** vari di letteratura per categoria

Al fine di condurre l'implementazione base del modulo foreste è necessario disporre del foglio di calcolo utilizzato da ISPRA per eseguire la stima regionale degli assorbimenti.

Da questo file si ricavano informazioni riguardo a:

- Categorie forestali considerate;
- Parametri di calcolo caratteristici delle singole categorie;
- Dati di superficie forestale per categoria [ha]
- Dati di utilizzazione forestale dettagliati per categoria [m^3] – (è presente la procedura di calcolo di disaggregazione del dato regionale fornito da ISTAT);
- Dati di incendi [m^3] disaggregati per categoria
- Stima degli stock di biomassa forestale [m^3]
- Stima degli C-Stock changes a livello regionale nei 5 serbatoi del comparto forestale.
- Dati di superficie forestale regionale con dettaglio comunale [ha]

Partendo da alcuni di questi dati si creano le tabelle necessarie alla stima degli stock di CO₂, come spiegato nel file allegato “Specifiche informatiche modulo foreste – 1 fase.doc”.

6 Implementazione in INEMAR – Seconda fase

Come anticipato in precedenza al paragrafo 6, l'implementazione della metodologia illustrata nel capitolo 1, può avvenire in presenza di un dettaglio di dati di input superiore.

Per realizzare un dettaglio maggiore nella stima degli stock forestali di carbonio e dei relativi flussi di CO₂, può essere usato un approccio di tipo “*bottom up*” rispetto ad un approccio di tipo “*top down*” utilizzato nell'implementazione della fase 1. Occorre quindi disporre di informazioni relative alle superfici forestali, alle utilizzazioni forestali e agli incendi con il miglior dettaglio possibile, in modo da ridurre le procedure di disaggregazione ed evitare le relative approssimazioni.

6.1 Superficie forestale

L'utilizzo di dati di superficie forestale [ha] con dettaglio per categoria forestale e comunale, richiede di mantenere la suddivisione delle varie categorie forestali definita da ISPRA, come accennato in precedenza, in modo da rendere confrontabili le stime dei diversi inventari (vedi paragrafo 5.2.3).

6.2 Biomassa forestale (stock forestale)

I dati utilizzati nella Fase 1 del modulo, si riferiscono alle elaborazioni ISPRA basate sui dati derivanti dall'INFC (1985) e successive elaborazioni.

Per una stima di maggiore dettaglio, sono necessari dati sui quantitativi di biomassa forestale [m³] per ogni categoria forestale considerata a partire dal 1990, per ogni comune.

Sarebbe opportuno che i dati di biomassa forestale siano disaggregati secondo la classificazione riportata nella cartografia regionale da cui sono disponibili le superfici (ad esempio in Lombardia Carta Forestale e DUSAF), o comunque con una classificazione confrontabile con quella proposta da ISPRA e utilizzata in Fase 1.

6.3 Utilizzazioni forestali

I dati utilizzati nella prima fase del modulo, come detto in precedenza, derivano dall'elaborazione eseguita da ISPRA a partire dalle tavole nazionali, rilasciate da ISTAT con cadenza annuale, che riassumono le utilizzazioni di ogni regione forestali in “forestali” e “totali”, disaggregando i dati in *legname da lavoro* e *legname per combustibili*.

Per realizzare la stima di dettaglio della Fase 2 sono richiesti i dati di utilizzo forestale [m³], secondo le seguenti modalità:

- a) dettaglio per **tipo di utilizzo** (legname da taglio, legname per combustione) e **categorie forestale** del dato regionale scala regionale (obiettivo minimo); la disponibilità del dato a scala provinciale ed eventualmente comunale sarebbe auspicabile;
- b) se non è disponibile il dettaglio per categorie forestali sarebbe necessario avere a disposizione il **dato complessivo di utilizzazione almeno a livello provinciale**, meglio se a livello comunale

6.4 Incendi forestali

I dati utilizzati nella fase iniziale del modulo, come detto in precedenza, derivano dall'elaborazione eseguita da ISPRA a partire dai dati totali di quantitativi di biomassa forestale [m³] incendiata in ogni regione, censiti dal Corpo Forestale dello Stato.

Sono richiesti i dati di incendi [m³], secondo le seguenti modalità:

- a) dettaglio per categorie forestale del dato regionale scala regionale (obiettivo minimo); la disponibilità del dato a scala provinciale ed eventualmente comunale sarebbe auspicabile;
- b) se non è disponibile il dettaglio per categorie forestali sarebbe necessario avere a disposizione il dato complessivo di incendi almeno a livello provinciale, meglio se a livello comunale

6.5 Parametri di crescita

I parametri di crescita che descrivono la funzione di Richards, sono caratteristici di ogni singola categoria forestale, e derivano dall'analisi delle informazioni contenute nelle tavole alsometriche.

Dall'analisi delle tavole disponibili, è emersa una carenza di dati a livello di alcune regioni (ad esempio la Lombardia).

I dati utilizzati derivano dalla calibrazione eseguita da ISPRA a partire dalle tavole alsometriche di zone simili al territorio regionale considerato e che quindi fornissero una stima dei parametri quanto più rappresentativa.

Sembra necessario verificare, con il supporto delle autorità e competenze forestali delle rispettive regioni, l'eventuale disponibilità di dati a riguardo di maggior dettaglio e un supporto per una migliore taratura dei parametri al fine di ottenere una ottimizzazione della curva di Richards.

6.6 Altri parametri

Gli altri parametri considerati, sono i seguenti:

- **WBD** – *densità basale del legno*:
- **DCF** – *fattore di conversione della biomassa morta*
- **BEF** – *fattore di espansione della biomassa*

Per questi parametri si sono utilizzati, nella Fase 1 del modulo, i dati di letteratura medi nazionali, proposti nell'elaborazione ISPRA.

Si richiede, per l'implementazione avanzata del modulo di:

- a) Validare col supporto delle competenze forestali delle singole regioni i valori utilizzati;
- b) Ricercare di eventuali valori più rappresentativi delle categorie regionali.

6.7 Ulteriori approfondimenti

Per garantire una migliore stima dello stock di carbonio occorre, nell'implementazione della Fase 2, stabilire una relazione tra il contenuto di carbonio stoccato nella biomassa epigea e quello nei suoli forestali e nella lettiera, a partire da risultati di misure o stime del contenuto di carbonio nel suolo (es: Progetto Kyoto in Lombardia, Progetto Cisma in Emilia Romagna).

Nello specifico si richiede uno sforzo nel definire delle nuove relazioni, lineari, che mettano in correlazione il contenuto di carbonio nel suolo e la biomassa epigea per poter quindi condurre una stima più precisa dello stock di CO₂ nei due serbatoi in esame – lettiera e suolo forestale.

Allegato 1: Guida alla definizione delle superfici forestali comunali da dati regionali

Come anticipato in precedenza, obiettivo di INEMAR è quello di fornire una stima degli assorbimenti forestali con il maggior dettaglio possibile.

La disponibilità dei dati in Lombardia, per quanto concerne le superfici forestali, è un dato spazializzato a livello regionale, disponibile mediante la Carta Forestale e la carta di uso del suolo (DUSAF2), relativi al 2005, e quindi elaborabile attraverso un supporto GIS.

Questo fatto permette quindi, mediante la carta dei comuni, di **eseguire una “join”** tra le due carte fornendo agevolmente i dati areali di tutte le categorie forestali, considerate nella carta forestale, per ogni comune.

Questi dati vanno integrati, per quanto riguarda la Regione Lombardia, con le informazioni contenute nella carta di uso del suolo, redatta dal DUSAF, relative alle utilizzazioni forestali al fine di avere una corrispondenza di dati con tutte le categorie forestali considerate da ISPRA. Attuando una *join*, come fatto in precedenza, si ottengono i dati areali per ogni comune.

Unendo le informazioni ottenute dalle due *join*, si ottiene, per ogni comune, il dato di superficie forestale, per ogni singola categoria considerata nelle due carte.

Prima di generare la tabella contenente le informazioni di area, **occorre verificare la corrispondenza tra le categorie forestali considerate da ISPRA e quelle contenute nelle carte regionali, uniformando le categorie a quelle redatte da ISPRA**, in modo da favorire il confronto tra inventari.

Può accadere che una categoria forestale, sia considerata in più macro categorie (es: il faggio europeo è rilevato sia tra le fustaie che tra il ceduo).

Si stima perciò, sulla base di dati storici, relativi alle stime fornite da ISPRA per ciascuna regione, un **coefficiente di ripartizione della specie** nelle relative categorie. Alle specie regionali che risultano invece in corrispondenza biunivoca con quelle considerate da ISPRA, si attribuisce un coefficiente di ripartizione pari a 1.

Il valore dell'area che quindi verrà considerato ai fini del calcolo, e inserito nella tabella F_AREA, sarà il valore areale di ogni specie, moltiplicato per il suo coefficiente di ripartizione.

Allegato 2: Stima delle superfici forestali nel periodo 1990 – 2007

Gli unici dati di superficie forestale disponibili sono quelli relativi al 1985 e al 2005, anni degli inventari nazionali forestali. L'interpolazione degli anni compresi tra i due estremi si esegue ipotizzando una crescita lineare della superficie forestale; così facendo si ricava un **trend lineare di crescita delle aree**.

Applicando tale trend di crescita all'ultimo dato di area regionale disponibile (in Lombardia: carta forestale e DUSAF2) si stimano a ritroso le aree del periodo 1990 – 2007 (utile ai fini dell'inventario per la definizione di scenari, previsioni e confronti) con dettaglio comunale, come spiegato nell'allegato 1.

Tale procedura permette di evitare la disaggregazione di un dato regionale ad uno comunale, in quanto si sfrutta la disponibilità del dato comunale aggiornato al 2005.

Allegato 3: Guida alla ripartizione delle quantità di utilizzazioni legnose regionali nelle macro categorie

La definizione delle quantità di biomassa sottoposte a taglio e incendi, in assenza di dati regionali caratterizzati per categoria o macro categoria forestale è un processo oneroso.

Il **dato di partenza** sono le quantità totali derivanti dai **dati ISTAT** sulle **utilizzazioni legnose** (ultimi dati disponibili, 2006) e i dati sugli **incendi** dal **Corpo Forestale dello Stato**.

Il **primo passo** operativo è quello di verificare la disponibilità dei seguenti dati ISTAT:

- **Tavola 1:** utilizzazioni legnose forestali;
- **Tavola 2:** utilizzazioni legnose totali;
- Totale biomassa bruciata da incendi sia regionale che nazionale.

I dati contenuti in queste due tavole sono espressi in m³.

Vengono eseguite le seguenti associazioni:

1. il totale regionale delle utilizzazioni forestali di legname da lavoro viene assegnato alla macro categoria fustaie;
2. il totale regionale delle utilizzazioni forestali di legname per combustibile;
3. si esegue la medesima associazione per i dati nazionali;
4. viene calcolata la percentuale di utilizzazione regionale sul totale nazionale per entrambi i tipi di utilizzazione forestale a partire dal dato medio della serie storica disponibile, definendo i coefficienti α e β ;

$$\alpha = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n u_{lavoro,Lomb,i}}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^n U_{lavoro,ITA,i}}{n}} \qquad \beta = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n u_{comb,Lomb,i}}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^n U_{comb,ITA,i}}{n}}$$

Dove:

- α : coefficiente di utilizzazione legnosa da lavoro;
- β : coefficiente di utilizzazione legnosa da combustione;
- $u_{lavoro,Lomb,i}$: utilizzazione legnosa da lavoro in Lombardia nell'anno i [m³];
- $u_{comb,Lomb,i}$: utilizzazione legnosa da lavoro in Lombardia nell'anno i [m³];
- $U_{lavoro,ITA,i}$: utilizzazione legnosa da lavoro in Italia nell'anno i [m³];
- $U_{comb,ITA,i}$: utilizzazione legnosa da lavoro in Italia nell'anno i [m³];

- n: anni di dati disponibili (nello specifico sono si è considerato l'intervallo 1997 – 2005)
5. viene calcolata la quantità di biomassa forestale non assegnata ad alcuna categoria utilizzando i dati nazionali di superficie incendiata (suddiviso in fustaia e ceduo)

$$n.a. = (U_{\text{lavoro},ITA,i} - I_{\text{fustaie},ITA,i}) \cdot \alpha + (I_{\text{ceduo},ITA,i} - I_{\text{comb},ITA,i}) \cdot \beta$$

Dove:

- $I_{\text{fustaie},ITA,i}$: quantità di biomassa forestale di fustaie bruciata nell'anno i [m^3];
 - $I_{\text{ceduo},ITA,i}$: quantità di biomassa forestale di bosco ceduo bruciata nell'anno i [m^3];
6. Moltiplicare i valori di biomassa di fustaie, bosco ceduo, piantagioni e non assegnato fin qui calcolate per un coefficiente k pari a 1,15 per considerare il contributo della corteccia

I dati così utilizzati sono quindi utilizzabili per la stima delle utilizzazioni legnose per categoria per ogni singolo anno calcolato, come spiegato in allegato 4.

Allegato 4: Guida alla stima delle quantità di biomassa sottoposte a taglio e incendio

La **procedura** di **disaggregazione** dei dati per categorie forestali a partire dal dato complessivo regionale, definita da ISPRA in sede di redazione dell'inventario nazionale, prevede quindi le seguenti condizioni:

1. conoscenza dello **stock di biomassa** regionali dell'**anno precedente** a quello considerato;
2. conoscenza delle **superfici forestali** regionali nell'**anno precedente** a quello considerato;
3. conoscenza del **dato regionale di utilizzazione forestale** e delle superfici distrutte da **incendio** (Fonti: ISTAT (Tavole 1 e 2) e Corpo Forestale dello Stato) la cui procedura di definizione è illustrata in allegato 3

Noti questi dati si procede con la stima della quantità di biomassa rimossa [m³] a causa dei tagli (H) e degli incendi (F).

1. partendo dal dato di **stock regionale**, disaggregato per categoria forestale, si ripartisce uniformemente il dato di utilizzazione legnose relativo alle fustaie su tutte le categorie; la ripartizione dello stock si esegue calcolando la percentuale di stock della singola all'interno della singola macro categoria e moltiplicando questo coefficiente per il valore totale di utilizzazione legnose relativo alle fustaie, come descritto nella formula I:

$$u_{i,t} = \frac{S_{i,t-1}}{S_{j,t-1}} \cdot U_t \quad (I)$$

Dove:

- $u_{i,t}$: utilizzazione legnosa di fustaie, ceduo e piantagioni nell'anno t [m³];
 - $S_{i,t-1}$: stock di biomassa legnosa della categoria forestale i nell'anno $t-1$ [m³];
 - S_j : stock di biomassa della macro categoria j nell'anno $t-1$ [m³];
 - U_t : totale utilizzazioni legnose a fustaia nell'anno t [m³]
2. si esegue quanto esposto al punto 1 utilizzando lo stock non assegnato ad alcuna categoria indicizzato sul totale della superficie forestale regionale al netto della macro categoria "foresta protetta";
 3. si calcola per ogni categoria forestale l'1/3 dello stock di biomassa [m³];
 4. si calcola la quantità di biomassa soggetta a incendi, con delle caratterizzazioni per macro categoria, secondo quanto riportato nelle seguenti formule:

$$\left\{ \begin{array}{l} Incendio_{j,fustaie,i} = \frac{Stock_{j,i}}{Stock_{fustaie,i} + Stock_{pioppeti,i} + Stock_{altro,i}} \cdot Incendi_{fustaie,Lomb,i} \\ Incendio_{j,ceduo,i} = \frac{Stock_{j,i}}{Stock_{ceduo,i} + Stock_{f.rupestre,i}} \cdot Incendi_{ceduo,Lomb,i} \\ Incendio_{j,piantagioni,i} = \frac{Stock_{j,i}}{Stock_{ceduo,i} + Stock_{f.rupestre,i}} \cdot Incendi_{ceduo,Lomb,i} \\ Incendio_{j,piantagioni,i} = \frac{Stock_{j,i}}{Stock_{fustaie,i} + Stock_{ceduo,i} + Stock_{f.rupestre,i}} \cdot Incendi_{fustaie,Lomb,i} \end{array} \right.$$

- i rappresenta l'anno;
- j la categoria forestale.

I dati di utilizzazioni forestale legati al taglio e gli incendi sono quindi calcolati. Il dato complessivo di biomassa legata a taglio, è data dalla somma dei quantitativi stimati al punto 1 e 2 elencati in precedenza.