

Criterio 1 - Contributo delle foreste al ciclo globale del carbonio

Indicatori di Gestione Forestale Sostenibile

Manuale

Misura dell'accrescimento, della biomassa arborea epigea complessiva, dell'efficienza di accrescimento e della mortalità

Guida per studi in campo



Novembre 2016

La revisione editoriale del manuale è stata curata dal personale di TerraData environmetrics (Giorgio Brunialti, Luisa Frati, Federico Zuliani, Martina Pollastrini, Marco Ferretti).

Forma raccomandata di citazione:

Bertini G., Chianucci F., Cutini A., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G., 2016. Misura dell'accrescimento, della biomassa arborea epigea complessiva, dell'efficienza di accrescimento e della mortalità. Guida per studi in campo. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.1, 26 p.

Sommario

Extended abstract	5
Riassunto esteso	6
1. Introduzione	7
2. Scopi e applicazione	8
3. Obiettivi	8
4. Localizzazione delle misurazioni e campionamento	9
5. Misurazioni e osservazioni	10
5.1 Biomassa arborea epigea totale	11
5.1.1 Rilevamento	12
5.2 Efficienza di accrescimento	12
5.2.1 Rilevamento	13
5.3 Accrescimento	13
5.3.1 Rilevamento	14
5.4 Mortalità	14
5.4.1 Rilevamento	15
5.5 Procedure di Assicurazione e Controllo di Qualità dei dati (QA/QC)	18
6. Gestione ed analisi dei dati	19
6.1 Revisione, validazione e archiviazione dei dati	19
6.2 Trasmissione dei dati validati al centro di raccolta	19
6.3 Suggerimenti per l'elaborazione dei dati	19
6.3.1 Screening dei set di dati.....	20
6.3.2 Analisi statistica.....	20
7. Interpretazione dei dati	20
7.1 Biomassa arborea epigea totale	20
7.2 Efficienza di accrescimento	21
7.3 Accrescimento	22
7.4 Mortalità	22
8. Bibliografia ed ulteriori letture	23

Extended abstract

This Manual describes the assessment method of new SFM Indicators (Forest Europe 2015) with reference to Criterion 1 - Maintenance and Appropriate Enhancement of Forest Resources and their Contribution to Global Carbon Cycles. The attribute of 'new' Indicator is referred both to its calculation or to its spatial scale.

The new Indicators *Epigeous arboreal biomass* and *Tree growth efficiency* are based on well-known variables currently used in the mensurational analysis which describes tree growth pattern and its hierarchical organization at the stand level. The proposed arrangements are anyway not present among the current standards ruling and monitoring the quality of forest ecosystems' management. The assessment of epigeous living tree biomass at following ages allows the calculation of periodical growth at the stand scale and implies the tree mortality census both in terms of number of trees and of tree volume when the survey is recorded per individual trees.

The suggestion of further Indicators is intended here as a supplement to those currently in use. Variables concerned are present in the routine analysis and therefore their calculation is made on the same datasets. The quantitative indicators proposed have a clear reference to forest system functioning. They assess the contribution to carbon cycle by estimating its removal from the atmosphere and its storage in the growing stock. The overall output relies therefore in the mitigation of CO₂ surplus effect.

The procedures described in the Manual deal with the different operations: (i) the field work method for the full tree census or for the selection of a sample (type/s), (ii) the assessment of the areas of reference, (iii) the calculation of designated variables and (iv) the determination of the indicators.

The different error sources and types are highlighted and the Quality Assurance and Control procedures to get reliable and repeatable results (QA/QC) are reported. Data layout and storage are described. Data management, analysis, and the meaning attributed to each indicator are finally outlined.

The goals of comparison between new and traditional indicators are summarized as: (i) relative trend under different management options; (ii) relative effectiveness and response ability, (iii) possible, even partial, overlapping or better complementarities among different indicators; (iv) scores with respect to the reference values available in literature for the same stand types and at the different scales of application.

Riassunto esteso

Il Manuale descrive il metodo di determinazione di nuovi Indicatori di Gestione Forestale Sostenibile (Forest Europe 2015) relativamente al Criterio 1 - Miglioramento delle Risorse Forestali e loro contributo al Ciclo Globale del Carbonio. L'attributo di 'nuovo' Indicatore è riferito alla sua formulazione o alla scala di applicazione.

I nuovi indicatori *Biomassa arborea epigea complessiva* ed *Efficienza di accrescimento* sono basati su grandezze conosciute e correntemente utilizzate nell'analisi dendro-auxonomica che descrive la dinamica di accrescimento e la sua organizzazione strutturale in una popolazione arborea forestale. Le combinazioni di grandezze proposte non sono tuttavia presenti negli standard attuali applicati al monitoraggio della qualità della gestione degli ecosistemi forestali. La determinazione della massa epigea viva presente ad età successive produce quella di *accrescimento* alla scala di popolamento e implica il censimento della *mortalità* in termini numerici (n° di individui) e di volume o massa (legno morto in piedi) quando il rilievo è registrato per singoli individui, o massa morta (a terra). Entrambe le grandezze (*accrescimento* e *mortalità*), classicamente utilizzate nell'ambito del Criterio 2 - Mantenimento della Salute e Vitalità degli Ecosistemi Forestali - sono trattate, per affinità e per metodo di determinazione, in questo Manuale.

La proposta di adottare nuovi indicatori si intende ad integrazione di quelli correntemente utilizzati. Essa si basa su variabili normalmente presenti in analisi di questo tipo e quindi su ulteriori determinazioni nello stesso set di dati. Gli indicatori proposti, di tipo quantitativo, e con esplicito significato funzionale collegato alla capacità di contribuzione al ciclo globale del carbonio attraverso il sequestro e l'accumulo nel soprassuolo arboreo e quindi di mitigazione degli effetti collegati all'aumento della CO₂ atmosferica.

Le procedure riportate nel Manuale riguardano le diverse fasi del lavoro: (i) metodo di rilievo in campo per censimento totale e/o campionamento (tipo), (ii) superfici di riferimento, (iii) calcolo delle variabili designate, (iv) determinazione degli indicatori.

Si descrivono i diversi tipi di errore possibili e le procedure di Assicurazione e Controllo della Qualità (QA/QC) finalizzate ad ottenere risultati accurati e riproducibili. Si riportano lo schema e la procedura di archiviazione dei dati. Sono quindi descritte le attività relative alla gestione, analisi dei dati e il significato attribuito ai diversi indicatori.

Si riassumono infine gli obiettivi del confronto tra indicatori proposti e consolidati per verificare: (i) l'andamento relativo per le differenti modalità di gestione forestale analizzate; (ii) la sensibilità e la capacità di risposta relative; (iii) l'evidenza di sovrapposizione anche parziale o piuttosto di complementarità tra indicatori; (iv) i valori ottenuti rispetto a quelli di riferimento disponibili in letteratura per le medesime tipologie ed alle diverse scale.

1. Introduzione

I *Criteri e Indicatori di Gestione Forestale Sostenibile* (GFS) sono stati adottati fino dalla Terza Conferenza Ministeriale di Lisbona nel 1998. Dopo un lungo processo di revisione sono stati recentemente aggiornati e proposti alla 7° Conferenza Ministeriale di Madrid nel 2015 (Forest Europe 2015). Questi indicatori rappresentano il consenso raggiunto dai Paesi della Comunità Europea sugli aspetti più importanti di GFS e producono la comune guida allo sviluppo delle politiche di settore.

La capacità delle foreste di sequestrare carbonio dall'atmosfera ed accumularlo nel suolo e nel soprassuolo rappresenta l'elemento chiave del bilancio globale di questo elemento. Le stime globali riportano 480 Gt di carbonio emesso in atmosfera per l'attività umana dall'inizio della rivoluzione industriale. Il 35% (166 GtC) assorbito dagli ecosistemi forestali, il 25% (124 GtC) dagli oceani, il restante 40% (190 GtC) rimasto in atmosfera e motivo del considerevole aumento di concentrazione di CO₂, principale gas serra e fattore del cambiamento climatico in atto (House et al. 2002). Numerosi studi attribuiscono alle foreste dell'emisfero boreale, la gran parte delle quali gestite, un ruolo fondamentale nel bilancio globale del carbonio degli ultimi 20-30 anni (Schimel et al. 2001).

Al giorno d'oggi l'obiettivo primario della gestione forestale è quello di trovare soluzioni capaci di mantenere e, se possibile, migliorare la capacità di sequestro e accumulo delle foreste, considerando contemporaneamente la loro diversità, vitalità e multifunzionalità (Becagli et al. 2016).

Nel manuale si propone l'uso di nuovi indicatori e si descrivono le procedure di rilevamento per valutare il contributo delle foreste al ciclo globale del carbonio. Per 'nuovi' indicatori si intendono variabili o loro combinazioni già conosciute, ma non ancora applicate alla scala di popolamento, in particolare nell'ambito dei boschi cedui. Essi integrano quelli consolidati nell'ambito del Criterio 1 di Gestione Forestale Sostenibile (GFS, C1 - Mantenimento e Miglioramento delle Risorse Forestali e del loro Contributo al Ciclo Globale del Carbonio - Forest Europe 2011).

Gli indicatori, di tipo quantitativo ed esplicativi della capacità di accrescimento legnoso, descrivono la dinamica e l'efficienza degli alberi nell'accumulo di carbonio e quindi la loro capacità di sequestro e di mitigazione ambientale. Gli indicatori proposti sono: (i) *biomassa arborea epigea totale* e (ii) *efficienza di accrescimento*.

La determinazione della massa epigea ad età successive produce la determinazione di *accrescimento* (e relativi incrementi corrente e medio) ed implica il censimento della *mortalità* in termini numerici e/o di volume/massa in piedi e massa a terra. Entrambe le grandezze, utilizzate nell'ambito del Criterio 2 - Mantenimento della Salute e Vitalità degli Ecosistemi Forestali - sono trattate, per affinità e metodi di determinazione, in questo manuale. Esse collegano, quindi, gli aspetti di *produttività e funzionalità* con quello di *salute e vitalità* delle foreste. La quantità di legno morto a terra interessa anche il Criterio 4 - Diversità.

La metodologia descritta nel manuale si basa sull'esperienza realizzata nel progetto Life FutureForCoppices (<http://www.futureforcoppices.eu/en/>). Obiettivo del progetto è la verifica, attraverso l'uso di indicatori consolidati e di nuovi indicatori di GFS, della sostenibilità di trattamenti selvicolturali diversi applicati a boschi cedui e di origine cedua di faggio, cerro e leccio (Figura 1).



Fig. 1 – Ceduo maturo di faggio, ceduo invecchiato di leccio, avviamento ad alto fusto di cerro.

2. Scopi e applicazione

Scopo del Manuale è quello di produrre una guida sintetica al calcolo di indicatori nuovi nella formulazione o innovativi nella scala di applicazione. Gli indicatori trovano impiego nella gestione corrente dei sistemi forestali, consentono di verificare la qualità della stessa in termini di GFS e il confronto di soluzioni differenziate e/o alternative sia sullo stesso territorio che su territori diversi, su tipologie di soprassuolo comparabili.

I nuovi indicatori intendono consolidare il potenziale informativo complessivo per il Criterio 1 qui considerato. Gli indicatori fanno riferimento alla variabile accrescimento della massa arborea a scala di popolamento forestale (*stand growth*). In Tabella 1 sono riportati gli indicatori proposti, le superfici di riferimento (Ferretti et al. 2016) e la collocazione degli specifici paragrafi all'interno del Capitolo 5 'Misurazioni e osservazioni' del manuale.

Tab. 1 – Indicatori, unità di riferimento per ciascun indicatore e collocazione nel manuale delle indicazioni sulle modalità di rilevamento.

Indicatore	Unità di riferimento	Collocazione
Biomassa arborea epigea totale	Area	5.1
Efficienza di accrescimento	Area	5.2
Accrescimento	Area	5.3
Mortalità		
(a) in piedi	(a) Area	5.4
(b) Legno morto a terra	(b) Area per sup. elementari di 5 m ²	

3. Obiettivi

L'obiettivo di questo manuale è quello di ottenere una stima affidabile del contributo delle foreste al ciclo globale del carbonio attraverso la misura degli indicatori innovativi proposti per il contesto di GFS.

Gli indicatori considerati si basano su grandezze misurate per censimento totale o per campionamento di individui arborei, su misure strumentali e determinazioni di laboratorio, su grandezze derivate e calcolate.

L'accuratezza delle misure dipende dallo strumento utilizzato ($\pm 0,1$ cm per i diametri - *metro di precisione*; $\pm 0,1$ m per le altezze - *ipsometro*; ± 1 g per la lettiera - *bilancia lab.*; da 0 a -40% per il LAI - *Plant Canopy Analyzer*, secondo la specie e la struttura del popolamento).

La precisione è variabile dal $90\pm 1\%$ per misure periodiche del diametro al $90\pm 2-5\%$ per misure di altezza (conifere-latifoglie); $95\pm 10\%$ per la stima del volume e della biomassa in funzione della relazione allometrica utilizzata (Dobbertin e Neumann 2016); superiore al 90% per la misura del LAI (Chianucci e Cutini 2013).

4. Localizzazione delle misurazioni e campionamento

La misura delle variabili utili al calcolo degli indicatori è condotta sull'intera superficie di riferimento e per censimento totale (diametro degli alberi); per campionamento (altezza degli alberi); per campionamento su n punti distribuiti sistematicamente (indice di area fogliare e lettiera); per campionamento su n aree elementari realizzate in modo sistematico (legno morto a terra).

La popolazione di riferimento è costituita dagli alberi vivi superiori alla soglia minima di diametro di 3 cm (cedui) e di 5 cm (fustaie transitorie) presenti sull'unità di superficie (*Area*) (Figura 2).

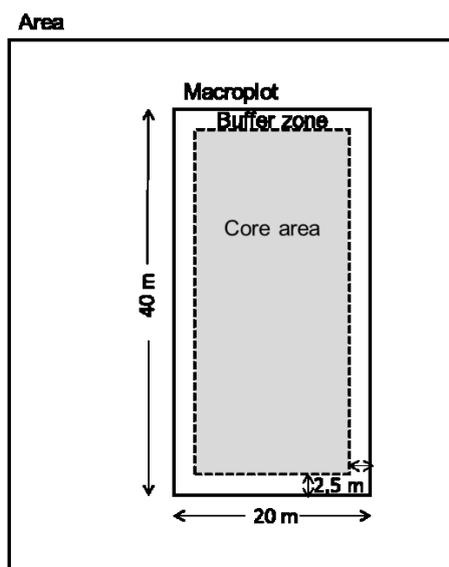


Fig. 2 – Schema della struttura del macroplot nel progetto Life FutureForCoppiceS (Ferretti et al. 2016).

Ad esempio, nel progetto FutureForCoppiceS, all'interno di ciascuna Area è stata individuata una superficie rettangolare (*Macroplot*) comune a tutti i tipi di campionamento previsti. All'interno del Macroplot, gli alberi censiti sono marcati in modo permanente a 1,30 m con numerazione progressiva dei singoli elementi (ceppaie e/o polloni) considerando tutte le piante vive e tutte le specie arboree presenti.

La misura delle altezze è eseguita su un campione casuale di individui arborei di numerosità adeguata distribuiti su tutta la superficie di riferimento e nell'intero campo dimensionale della popolazione in numero proporzionale alle frequenze per classi di diametro (si veda anche Annesso 2, p. 24 Manuale ICP-Forests, Parte V Tree Growth, Dobbertin e Neumann 2016).

La misura dell'Indice di Area Fogliare (Leaf Area Index, LAI) e la raccolta della lettiera tramite trappole avvengono su un numero di punti variabile da 9 a 15 (Figura 3) distribuiti in modo sistematico sulla superficie di riferimento. La determinazione del legno morto a terra viene effettuata tramite 15-16 aree elementari di 5 m² sistematicamente individuate sulla superficie di riferimento.

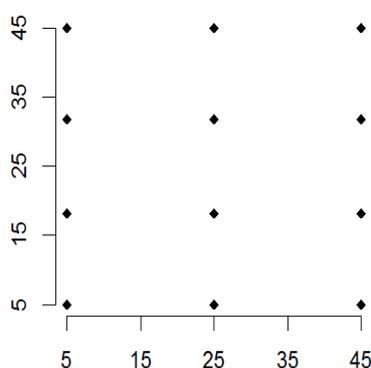


Fig. 3 – Griglia sistematica per misure strumentali nell'area.

5. Misurazioni e osservazioni

Questo capitolo descrive i metodi di misura e/o osservazione, con le relative unità di misura e le procedure di assicurazione di qualità dei dati. La Tabella 2 riporta la lista degli indicatori considerati, le rispettive variabili misurate e le unità di misura e i metodi e gli strumenti utilizzati per la loro quantificazione.

Tab. 2 – Indicatori, variabili osservate, unità di misura e modalità di rilevamento (continua alla pagina successiva).

Indicatore	Variabile	Unità di misura	Metodo/strumento
Biomassa arborea epigea totale	massa arborea viva in piedi espressa in peso secco (i) alle età del turno designato per la raccolta finale nel ceduo a gestione ordinaria; (ii) all'età corrente per i cedui in invecchiamento; (iii) all'età corrente + sommatoria masse intercalari nell'avviamento ad alto fusto	Mg ha ⁻¹	da volume del fusto tramite coefficienti di espansione/conversione e/o tramite relazioni allometriche dirette

Indicatore	Variabile	Unità di misura	Metodo/strumento
Efficienza di accrescimento	rapporto tra (o) incremento corrente annuo di biomassa legnosa e: (a) massa fogliare anidra prodotta annualmente sulla superficie unitaria; (b) Indice di Area Fogliare (LAI) o area fogliare per unità di superficie	(o) Mg ha ⁻¹ anno ⁻¹ (a) Mg ha ⁻¹ anno ⁻¹ (b) m ² /m ²	(o) differenza tra inventari successivi; (a) raccolta in trappole con campionamento sistematico ed essiccazione fino a peso costante; (b) metodo riportato in Chianucci e Cutini 2013/ strumento LAI 2000/ schema di rilievo sistematico
Accrescimento	incremento di volume arboreo annuale per differenza tra inventari successivi	m ³ ha ⁻¹ m ³ ha ⁻¹ anno ⁻¹	differenza tra inventari successivi
Mortalità	numero di alberi	n°/anno	differenza tra inventari successivi
	volume / biomassa mortalità in piedi	m ³ ha ⁻¹ Mg ha ⁻¹ m ³ ha ⁻¹ anno ⁻¹ Mg ha ⁻¹ anno ⁻¹	calcolato tra inventari successivi
	massa legno morto a terra	Mg ha ⁻¹ Mg ha ⁻¹ anno ⁻¹	raccolta per campionamento sistematico su superfici elementari. Essiccazione fino a peso costante

5.1 Biomassa arborea epigea totale

La biomassa arborea epigea totale è la massa arborea viva in piedi presente sulla superficie di riferimento. Il valore della massa è crescente in modo non lineare con l'età, funzione della fertilità della stazione, della aderenza di clima e suolo (mezzo di crescita) alle esigenze ecologiche della/e specie, delle caratteristiche auto-ecologiche (capacità di accrescimento nel caso), della selvicoltura applicata, dei disturbi di tipo fisico, chimico o biologico che modificano l'ambiente di crescita.

Il campo di età entro cui è calcolabile questo indicatore è variabile secondo la tipologia di soprassuolo. Esso varia da un anno fino:

- alle età di utilizzazione finale nel ceduo a regime;
- alle età di inventario (variabili da 1 a n anni) cui si sommano le masse intercalari nell'avviamento ad alto fusto;
- alle età di inventario (variabili da 1 a n anni) a meno della necromassa prodotta per mortalità nel ceduo in evoluzione naturale.

Questo indicatore fa riferimento alla variabile massa arborea (Tabella 2). La massa arborea si qualifica come *massa totale* nel ceduo a regime, come *massa corrente* nel ceduo in evoluzione naturale, come *massa corrente* e *massa totale* (massa corrente + sommatoria delle masse intercalari prelevate con i diradamenti) nel ceduo in avviamento ad altofusto.

La variabile massa arborea è esprimibile in volume (m³ ha⁻¹) e in massa anidra o peso secco (Mg ha⁻¹).

5.1.1 Rilevamento

La determinazione del volume e/o della biomassa legnosa avviene tramite le seguenti misurazioni:

- a. misurazione periodica (ogni n anni) della circonferenza (o diametro), all'altezza standard 1,30 m, di tutti gli alberi vivi presenti su una superficie definita in modo permanente. La misurazione inizia dalla soglia diametrica minima di 3 cm nei cedui e di 5 cm nelle fustaie transitorie o cedui in avviamento (soglia applicata anche nei protocolli internazionali correnti quali ICP-Forests liv. II);
- b. sulla stessa superficie, misura strumentale di un campione delle altezze totali degli alberi distribuite nell'intero campo dimensionale e proporzionali alle presenze per classi di diametro (Figura 4);

Il rilievo delle variabili dendrometriche può essere condotto manualmente, con strumenti tradizionali o con hardware e software dedicati (Figura 5).

- c. costruzione della regressione ipso-diametrica (Figura 6);
- d. determinazione delle grandezze dendrometriche individuali (diametro e altezza totale);
- e. utilizzo delle grandezze diametro e altezza come variabili di ingresso nelle relazioni allometriche specie-specifiche che stimano il volume cormometrico o dendrometrico o direttamente la massa anidra (Amorini et al. 1995 e 2000, Brandini e Tabacchi 1996, Nocetti et al. 2007, Fabbio et al. 2002). Il passaggio diretto da volume del fusto a biomassa avviene tramite coefficienti di espansione (*biomass expansion factor*) specie-specifici. Il passaggio da volume a peso secco tramite coefficienti di conversione (*basal density*), calcolati per le stesse tipologie di bosco (Federici et al. 2008).

5.2 Efficienza di accrescimento

L'indicatore 'efficienza di accrescimento' (fissazione del carbonio atmosferico nei tessuti) è basilare per stimare la funzionalità degli ecosistemi forestali. Waring (1983) descrive la *growth efficiency* come biomassa secca prodotta per metro quadro di superficie fogliare. Di norma l'efficienza di accrescimento viene stimata dal rapporto tra incremento corrente (misurato come biomassa legnosa, ma calcolabile anche come incremento di area basimetrica o di volume della massa legnosa) misurato in un determinato periodo tramite differenze di inventari e indice di area fogliare medio misurato nel periodo (o massa anidra della componente fogliare). Le varianti proposte nella formulazione di calcolo di questo indicatore sono presenti in letteratura (Waring 1983, Burkes et al. 2003, Konopka et al. 2010, Cutini et al. 2015, Chianucci et al. 2016). Studi recenti (Chianucci et al. 2016) hanno dimostrato come l'efficienza di accrescimento vari considerevolmente in funzione della selvicoltura applicata e della intensità di gestione forestale, poiché queste influiscono sulla disponibilità di luce e nutrienti e quindi sulla competizione intra- e inter-specifica. Nell'ambito del progetto FutureForCoppiceS, la *growth efficiency* è calcolata sia come rapporto tra incremento di biomassa legnosa epigea prodotta tra due inventari e il LAI medio calcolato nello stesso periodo, che come rapporto tra incremento di biomassa legnosa epigea prodotto tra due inventari e massa fogliare anidra.

Questo indicatore fa riferimento alle variabili (Tabella 2):

1. incremento corrente di biomassa legnosa calcolato come differenza tra inventari successivi;
2. massa fogliare prodotta annualmente sulla superficie unitaria;
3. Indice di Area Fogliare (LAI) o area fogliare per unità di superficie.

5.2.1 Rilevamento

Incremento corrente di biomassa legnosa

Il calcolo degli incrementi annuali di biomassa e/o volume e/o area basimetrica viene ottenuto come la differenza dei valori periodici misurati tra inventari successivi.

Massa fogliare anidra

La determinazione della massa fogliare anidra avviene tramite:

- (i) raccolta della lettiera annuale totale in trappole di superficie elementare nota (Breda 2003), collocate su n punti distribuiti in modo sistematico sulla superficie dell'area di riferimento (Figura 7);
- (ii) separazione in laboratorio della lettiera fogliare dalle altre componenti della produzione annuale (rami, infiorescenze, semi, frutti) (Figura 8);
- (iii) essiccazione in stufa ventilata a 85 ± 2 °C, per almeno 24 h, fino al raggiungimento del peso costante (stato anidro) (Figura 8).

Indice di Area Fogliare (LAI) o area fogliare per unità di superficie

La determinazione annuale dell'Indice di Area Fogliare avviene per via strumentale su n punti (in numero variabile da 9 a 15) (Figura 9) determinati in modo sistematico all'interno dell'area (Chianucci e Cutini 2013), più una misura di riferimento condotta in luoghi privi di copertura (chiarie) in prossimità di ogni area. Lo strumento utilizzato è il LAI2000, strumento ottico composto da una lente grandangolare (*fish-eye*) al cui interno sono inseriti 5 sensori concentrici (con copertura angolare nominale rispettivamente di: 0°-12.3°; 16.7°- 28.6°; 32.4°- 43.4°, 47.3°- 58.1°; 62.3°- 74.1°) che misurano la radiazione nell'intervallo blu del visibile (320-490 nm). Tale strumento consente di stimare la radiazione trasmessa tramite misure condotte sotto-copertura, rispetto a misure di radiazione incidente misurata in chiarie poste in prossimità delle aree. Le misure vengono condotte in estate (piena distensione fogliare) in condizioni di radiazione diffusa, di norma la mattina presto (ore 6:00 - 8:00) o nel tardo pomeriggio (ore 18:00 - 20:00), o in alternativa in presenza di cielo completamente nuvoloso. Tramite un modello di trasferimento radiativo, LAI viene stimato tramite inversione delle misure multi-angolari della trasmittanza acquisite dai cinque sensori concentrici. Per dettagli, si rimanda a Chianucci et al. (2015).

5.3 Accrescimento

L'accrescimento legnoso è l'indicatore quantitativo dell'interazione tra la componente biologica del sistema (l'albero nel caso), l'atmosfera e suolo, che rappresentano il suo ambiente di crescita. L'accrescimento descrive la progressiva occupazione dello spazio epigeo e ipogeo, determina lo sviluppo dimensionale e le differenze individuali, il livello di competizione, la distribuzione e l'andamento della mortalità, la formazione della struttura.

L'accrescimento si autoregola a livello individuale e quindi di popolazione in funzione dello spazio e delle risorse disponibili (capacità portante), modifica le condizioni interne, crea gli *habitat* e consente lo sviluppo delle nicchie ecologiche occupate dalle altre popolazioni.

L'accrescimento nei nostri climi è un fenomeno a risoluzione stagionale/annuale. I valori sono funzione dell'andamento delle variabili fisico-chimiche e biotiche coinvolte nel processo di crescita. La dinamica di

accrescimento con l'età è un fenomeno non lineare. L'accrescimento è espressione insieme della produttività e della 'salute e vitalità' del sistema (Bertini 2012).

5.3.1 Rilevamento

La determinazione dell'accrescimento a scala di popolamento utilizza le medesime procedure descritte ai punti 5.1.1 e 5.2.1 per il calcolo del volume e della massa arborea. L'accrescimento periodico (differenza tra inventari successivi) può essere espresso in forma di *incremento corrente* (valore medio su base annua) e di *incremento medio* o valore all'età n : età (n anni).

5.4 Mortalità

La mortalità in un popolamento forestale ha significati e origini differenti. Essa può essere di tipo *naturale* o *accidentale*.

La *mortalità naturale* è il processo biologico che consente, in popolazioni a ciclo di vita lungo come quelle arboree, la sopravvivenza, l'accrescimento e la progressiva differenziazione dimensionale individuali. La riduzione della densità iniziale per mortalità naturale è quindi il postulato della 'produttività e vitalità' del sistema. Il *driver* naturale di questo processo è la competizione per lo spazio e le risorse che realizza la progressiva selezione di alcuni individui, la mortalità di altri, la differenziazione dimensionale e sociale (Fabbio e Amorini 2000).

Accrescimento e mortalità naturale sono quindi i *feedback* opposti che consentono lo sviluppo e determinano la formazione della struttura del bosco. L'auto-ecologia della/e specie componenti, in particolare le esigenze di luce, determinano i tempi e la quantità della mortalità. Specie eliofile producono mortalità più precoci e superiori rispetto a specie tolleranti dell'ombra che realizzano un processo complessivamente più lento. La mortalità prima in piedi e poi a terra sono stati differenti della materia che convivono nello stesso spazio in tempi successivi (Fabbio 2016). A terra, la sostanza organica si decompone e rientra progressivamente nel suolo e quindi nel ciclo dei nutrienti.

Dato che le età tradizionali della ceduzione piuttosto precoci anticipano l'inizio della mortalità diffusa dei polloni e che i diradamenti negli avviamenti ad altofusto rimuovono preventivamente i soggetti deperienti e quelli vivi ma destinati a perdere la competizione, la *mortalità naturale* è un attributo prevalente dei cedui in invecchiamento.

La massa di legno morto in piedi e a terra rappresenta quindi, tra gli indicatori della capacità di 'sequestro e stock di carbonio' nella biomassa e nel suolo, una componente importante relativamente alla tipologia ceduo in invecchiamento (Fabbio 2016). Il legno morto è anche indicatore di 'diversità biologica' (Criterio 4) per la quantità di *habitat* che trovano spazio negli alberi morti in piedi e a terra così come nella fase successiva di decomposizione ed incorporamento nel suolo.

La *mortalità accidentale* è invece ascrivibile a cause esterne di natura *climatica* (evento estremo: tempesta di vento, siccità prolungata, etc); *biologica* (malattia, parassita); *chimica* (inquinamento prolungato del mezzo di crescita: atmosfera e/o suolo). L'entità del fenomeno è variabile da *sporadica* (pochi alberi) a *massale* (la maggioranza degli alberi). Questo tipo di mortalità è piuttosto l'indicatore in negativo della 'salute e vitalità' dei sistemi.

I due fenomeni mortalità *naturale* e *non naturale* sono di norma bene riconoscibili dalla dinamica del fenomeno e dalla diffusione diversa negli strati arborei interessati e nella distribuzione spaziale.

5.4.1 Rilevamento

La mortalità in numero di individui o in volume (mortalità in piedi) è calcolata per differenza a ciascun inventario rispetto al precedente. La procedura è la stessa che al punto 5.1.1. Per il calcolo in volume è necessario campionare i soggetti morti per costruire relazioni ipsometriche dedicate che tengano conto della possibile stroncatura/cimatura del fusto ed entrare così con coppie di variabili diametro-altezza corrette nella relazione allometrica (Bertini et al. 2010). La quantità di legno morto a terra è stimata per campionamento sistematico dell'intera superficie attraverso superfici elementari di 5 o 5,4 m² (piano/pendenza) ripetute per un totale di 16-15 aree elementari distribuite in modo omogeneo sulla superficie di riferimento. La massa legnosa a terra è classificata secondo 3 classi di decadimento ricavate dalla classificazione originale di Hunter modificata (Bertini et al. 2010).

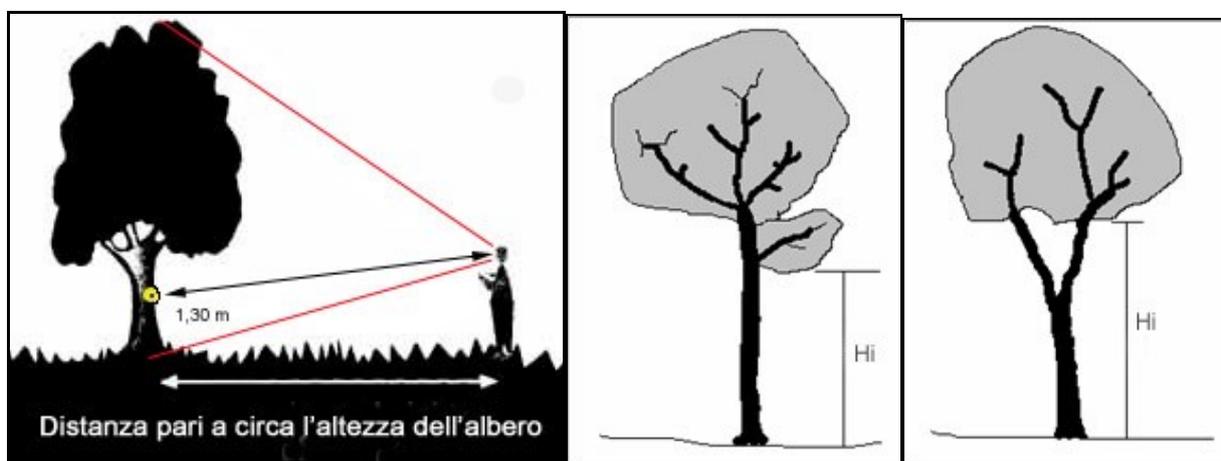


Fig. 4 – Misura dell'altezza totale e dell'altezza di inserzione della chioma (distanza dalla base del fusto alla base della chioma, quest'ultima individuata dal palco più basso costituito da rami vivi o dal ramo vivo più basso, esclusi i rami epicormici).

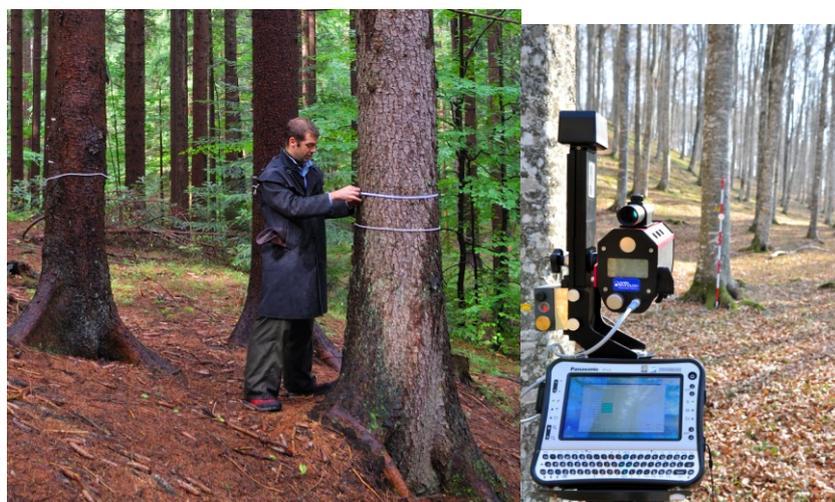


Fig. 5 – Misura manuale della circonferenza del fusto e rilievo di variabili dendrometriche (distanza orizzontale, distanza reale, azimuth, angolo verticale, per le determinazioni di posizione dell'albero

(georeferenziazione), diametro, altezza totale e di inserzione chioma, parametri della chioma con strumentazione specifica e relativi software.

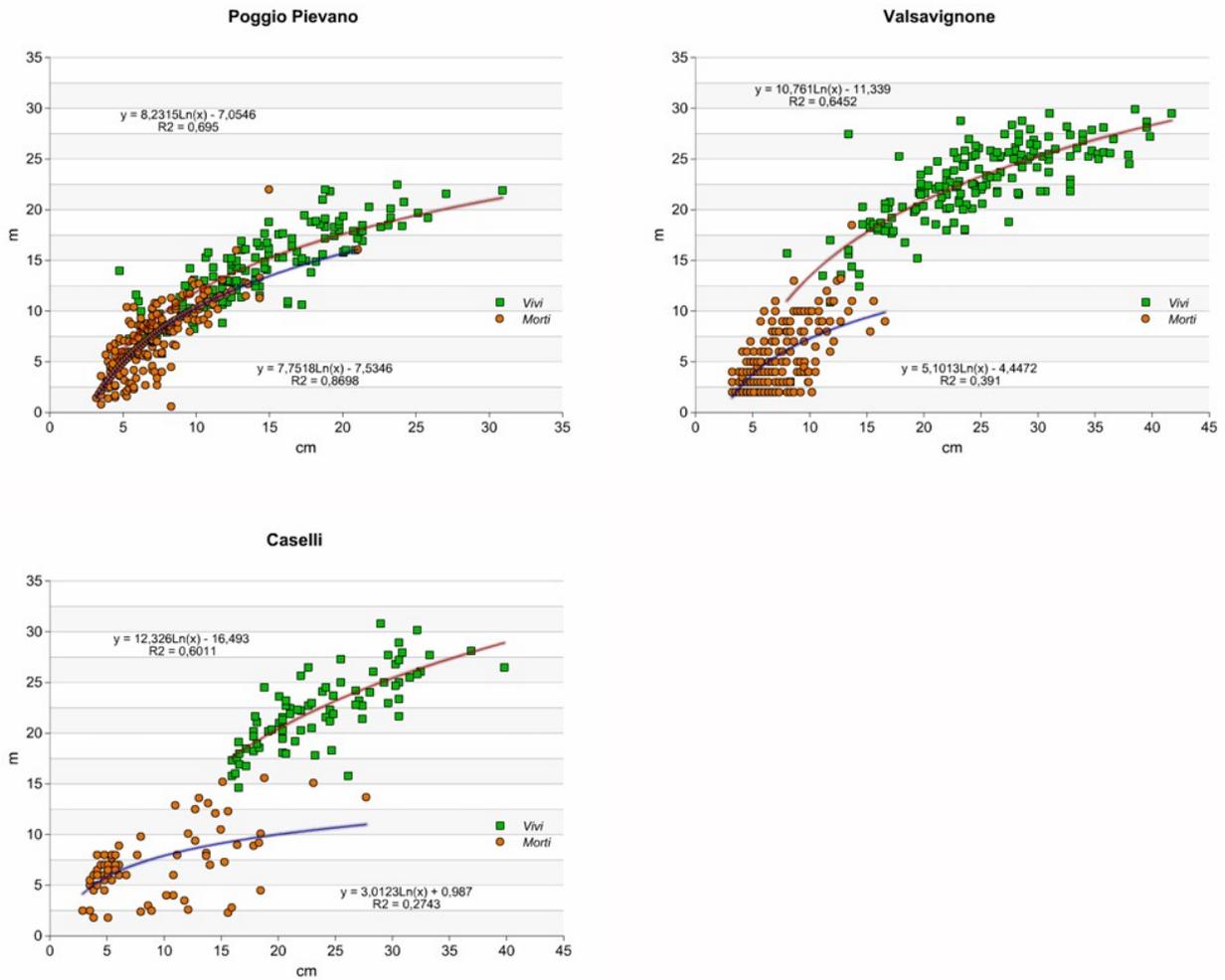


Fig. 6 – Determinazione della relazione altezza/diametro per alberi vivi e morti (Bertini et al. 2010).



Fig. 7 – Trappole per la raccolta della lettiera.



Fig. 8 – Classificazione della lettiera per componenti (foglie, rami, frutti, etc.) ed essiccazione in stufa ventilata fino a peso costante.



Fig. 9 – Misurazione del LAI con LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer.

5.5 Procedure di Assicurazione e Controllo di Qualità dei dati (QA/QC)

Nel caso di misure di tipo dendrometrico come quelle qui considerate, il controllo di qualità è particolarmente importante perché molte delle variabili sono poi utilizzate in combinazione tra loro per calcolare valori derivati. Dati non controllati possono quindi condurre ad una propagazione degli errori (Dobbertin e Neumann 2016).

È importante distinguere tra le diverse tipologie di errori e valutare se questi siano sistematicamente differenti dal valore vero o presentino una fluttuazione casuale attorno ad esso. Gli errori di campionamento sono presenti quando la misura viene effettuata su parte della popolazione. Errori di osservazione invece sono possibili quando le misure od osservazioni deviano dal valore vero. Ad esempio, se la superficie dell'area è determinata in modo erraneo, tutte le stime relative saranno di conseguenza errate.

Gli errori possono essere di tipo sistematico o casuale (Dobbertin e Neumann 2016):

- errori sistematici possono essere di tipo strumentale (strumento non tarato) o di misura, inclusi quelli di arrotondamento;
- errori casuali possono essere ascritti ad una definizione non chiara della variabile di interesse (es. base della chioma);

altre cause di errore casuale possono essere:

- l'addestramento insufficiente dell'operatore;
- la non accuratezza della misura;
- le condizioni di misura (fusti irregolari (diametro), denso sottobosco, fusti inclinati (altezza), etc.)
- errori di scrittura della lettura o di reinserimento del dato.

Le procedure di Assicurazione e Controllo della qualità dei dati (QA/QC) sono di norma applicate prima, durante e dopo la loro raccolta (Dobbertin e Neumann 2016). Di seguito si riportano le principali fasi da prendere in considerazione:

(i) fase di pianificazione dell'esperimento

- analisi critica dei parametri da determinare: precisione acquisibile, costi, obiettività, affidabilità;
- definizione chiara delle variabili da acquisire;
- scelta ottimale della strumentazione e dei metodi di determinazione (precisione su costo);
- selezione di rilevatori qualificati;
- selezione di un disegno di campionamento obiettivo;
- determinazione di una sufficiente numerosità campionaria (precisione su costo).

(ii) prima della raccolta dei dati

- pratica di misurazione adeguata del gruppo di rilevatori;
- calibrazione strumentale (es. ipsometri).

(iii) durante la raccolta dei dati

- adeguato test di plausibilità della misura, utilizzando il valore della determinazione precedente (quando gli alberi sono georeferenziati e/o numerati individualmente);
- esclusione di errore dovuta al punto di misura: segno permanente dell'altezza sul fusto per la misura del diametro;
- controllo indipendente delle misure su 5-10% delle stesse;

- ripetuti esercizi di pratica delle misure;
- calibrazione degli strumenti ripetuta durante le misure;
- misurazione ripetuta (2 o più volte) per albero per la misura dell'altezza totale e di quella di inserzione della chioma.

(iii) dopo la raccolta dei dati

- controllo ulteriore dei dati prima dell'importazione nel database (test di plausibilità);
- controllo del dato durante l'analisi (es. rapporto diametro-altezza);
- nota di informazione su ciascun parametro rilevato sullo stato della qualità dello stesso. La medesima procedura va applicata a livello di variabile misurata (controlli eseguiti). Eventuali correzioni e metodi (diversi possibili, vedi Dobbertin e Neumann 2016).

6. Gestione ed analisi dei dati

I dati relativi a ciascuna indagine (una o più variabili) e a ciascun inventario/campionamento sono ordinati e validati, prima dell'archiviazione.

6.1 Revisione, validazione e archiviazione dei dati

I dati raccolti in campo sono sottoposti al processo di revisione e validazione. Il controllo inizia dai riferimenti sito/tesi e continua secondo lo schema individuato al par. 5.5.3 (iii).

L'archiviazione dei dati deve consentire la loro consultazione e analisi in un database relazionale strutturato allo scopo. Lo schema di archiviazione deve quindi assegnare i dati al campione di appartenenza e al livello di dettaglio; deve conservare il legame con le altre informazioni relative al campione stesso e con quelle relative a tutti i livelli superiori di campionamento, localizzazione geografica e temporale. Vanno dunque realizzate tante tabelle quanti sono i livelli di dettaglio dei dati raccolti. Ogni colonna di ciascuna tabella deve contenere i dati relativi ad una proprietà o misura. Ciascun campo deve avere un formato che rispetti il tipo di dato che sarà archiviato. I dati raccolti in tabella sono in questo modo disponibili per tutte le analisi necessarie per acquisire gli obiettivi delle misure, nonché per il confronto statistico con altre variabili esaminate nella medesima unità di campionamento.

6.2 Trasmissione dei dati validati al centro di raccolta

I dati raccolti, controllati e validati dagli stessi rilevatori sono trasmessi al centro di raccolta dei dati che, realizzato il database relazionale, provvede al calcolo degli indicatori derivati dalle singole variabili (es. distribuzione dei diametri per classi di frequenza) o, più spesso, da grandezze derivate e calcolate su combinazioni delle misure condotte (es. volume arboreo derivato dalla misura diretta di diametro e altezza e calcolato da relazione allometrica specifica, o strumento analitico estimatore della grandezza volume).

Lo stesso centro provvede ad organizzare i dati per le successive elaborazioni statistiche.

6.3 Suggerimenti per l'elaborazione dei dati

Si propone di seguito uno schema per l'elaborazione dei dati raccolti nell'ambito di indagine di cui al manuale.

6.3.1 Screening dei set di dati

I dati acquisiti sono valutati sulla base del carattere di misura degli stessi e della loro valenza ecologica. Viene valutata la qualità dell'informazione prodotta dal dato sia attraverso test specifici condotti in fase di raccolta, che dalla bibliografia esistente.

6.3.2 Analisi statistica

L'analisi dei dati prevede il calcolo di parametri derivati da misure (es. diametri) rilevate sull'intera superficie di riferimento o per campionamento (altezza, lettiera, LAI). Tutti i valori relativi alle variabili considerate sono riferiti alla superficie unitaria corrispondente all'ettaro.

Sono quindi calcolati gli indicatori derivati dalle misure e le statistiche descrittive relative per ciascun livello e insieme di dati.

L'analisi si svolge per confronto sincronico tra tesi diverse (tipologia di trattamento/gestione) per gli stessi inventari/campionamenti e per confronto diacronico per inventari/campionamenti successivi con analisi delle serie temporali. I livelli di analisi sono il sito, i siti per specie e complessivamente.

Confronto tra nuovi indicatori e indicatori consolidati.

Gli strumenti di analisi statistica più comunemente adottati sono l'analisi della varianza (parametrica o non parametrica) e relativi test post-hoc e l'utilizzo di modelli lineari o non lineari, uni variati e multivariati.

Quando le misure sono effettuate sulle stesse unità statistiche in tempi successivi (confronto diacronico) il modello misto (lineare o non) risulta essere il più indicato

La PCA è utilizzata per studiare la variabilità tra tesi o siti degli indicatori calcolati e consolidati.

7. Interpretazione dei dati

Questo capitolo richiama le principali linee di interpretazione per indicatore. Obiettivo generale rimane quello di valutare i nuovi indicatori e/o le scale di applicazione rispetto a quelli già utilizzati per definire la 'qualità della gestione' per ciascuna delle opzioni individuate, compreso il confronto con la non-gestione dove presente.

La valutazione si articola nei punti seguenti:

- verifica dei valori e dell'andamento relativo degli indicatori consolidati (i) e di quelli innovativi (ii) per ciascuna delle opzioni di gestione rappresentate;
- confronto della sensibilità e della capacità di risposta di (i) e (ii);
- evidenza di sovrapposizioni eventuali e/o di complementarità tra gli Indicatori (i) e (ii).

7.1 Biomassa arborea epigea totale

Questo indicatore descrive la massa arborea viva in piedi sulla superficie di riferimento ed ha un chiaro significato circa la capacità delle foreste di contribuire al ciclo del carbonio attraverso la formazione di sostanza organica e la sua fissazione nei tessuti.

Il suo valore come tale è informativo della massa arborea presente sul territorio in funzione di una serie di variabili quali l'età del soprassuolo, la fertilità della stazione, l'aderenza di clima e suolo alle esigenze ecologiche della/e specie, le caratteristiche auto-ecologiche (capacità di accrescimento nel caso), la selvicoltura applicata, i disturbi di tipo fisico, chimico o biologico che modificano l'ambiente di crescita.

A parità di altre condizioni, il suo valore varia in modo non lineare con l'età per il tempo di permanenza del soprassuolo, variabile da quello del ciclo colturale normalmente adottato, fino alla fase di maturità biologica e poi di decadimento funzionale, corrispondente al termine del ciclo vitale.

L'indicatore diventa quindi molto più informativo quando riferito all'età del soprassuolo. La specifica dell'età di riferimento è essenziale nel contesto qui analizzato, in cui si confrontano le tipologie del:

(i) *ceduo a regime*, riferibile a cicli relativamente brevi e variabili, secondo la specie, da 15-20 anni nella pratica tradizionale (anni '50-'60 del 1900) fino a 25-40 anni all'attualità (allungamento dei turni di utilizzazione). Alle età di utilizzazione originali si può considerare con buona approssimazione la massa in piedi come massa totale, dato l'inizio della mortalità naturale per competizione circa coincidente con i turni applicati;

(ii) *ceduo in invecchiamento* o in fase di post-coltivazione, riferito a soprassuoli di età attuali comprese tra 60 e 80 anni in cui il valore dell'indicatore non comprende la massa della mortalità naturale in piedi e a terra conseguente alla elevata densità iniziale dovuta alla coesistenza di molti polloni su ciascuna unità-ceppaia, tipica struttura della forma di governo a ceduo. La necromassa costituisce a queste età una componente non trascurabile di sostanza organica, valutabile sia ai fini del Criterio 1 (stock di carbonio), che del Criterio 2 (salute e vitalità) e del Criterio 4 (diversità biologica).

(iii) *ceduo in avviamento*, riferito allo stesso campo di età del tipo precedente, ma in cui la necromassa potenziale nel periodo è stata rimossa anticipatamente da uno o più interventi intercalari (diradamenti) che rappresentano produzioni di legno intermedie al ciclo colturale che si sommano al valore dell'indicatore all'età corrente a determinare la massa totale.

Queste specifiche chiariscono i termini del confronto tra tipologie relativo all'indicatore. È possibile analizzare l'andamento temporale dell'indicatore quando siano disponibili inventari ad età successive.

Elemento ulteriore di analisi è rappresentato dall'analisi incrementale che prevede il calcolo *dell'incremento corrente* (area basimetrica, volume del fusto, biomassa arborea) o differenza media annuale tra 2 inventari successivi e quello dell'*incremento medio* o area b., volume o massa/ età del soprassuolo.

I due tipi di incremento sono vincolati alle 'leggi dell'auxonomia' (o dell'accrescimento di un soprassuolo forestale) che descrivono gli andamenti relativi dei due incrementi e consentono, per comparazione dei 2 valori, la determinazione della fase ascendente, di culminazione o discendente dell'incremento medio. La lettura della dinamica in atto ha un alto potenziale informativo sia nella descrizione di ciascuna tipologia, che nei confronti relativi.

Come nel caso precedente, la disponibilità di inventari successivi, consente la verifica dell'andamento temporale che, pure nel rispetto delle leggi auxonomiche, può essere più o meno piatto e quindi indicare dinamiche differenti, collegabili soprattutto alle specie ed alla fertilità stagionale.

7.2 Efficienza di accrescimento

L'indicatore 'efficienza di accrescimento' in termini di fissazione del carbonio atmosferico nei tessuti ha un evidente significato funzionale.

Esso collega l'incremento corrente di cui al punto precedente ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) con l'Indice di Area Fogliare medio o superficie fogliare unitaria (m^2/m^2) o massa fogliare anidra ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$), calcolati per il medesimo periodo.

L'indicatore collega quindi una tipica misura dendrometrica con la componente fotosintetizzante del sistema (superficie o massa fogliare). Entrambe le componenti dell'indicatore sono fortemente influenzate dalla dinamica strutturale e quindi dall'età del soprassuolo, sia in presenza di trattamento colturale (avviamento ad altofusto) che di evoluzione naturale (invecchiamento del ceduo). La competizione interindividuale produce mortalità naturale, libera spazio vitale per lo sviluppo delle chiome (massa/area fogliare) e aumenta l'incremento legnoso. Allo stesso modo, i diradamenti anticipano utilmente in termini di produzione legnosa quella che successivamente diventa la mortalità arborea e producono effetti strutturali simili. La comparazione mette in evidenza le differenze prodotte dall'evoluzione naturale rispetto alla gestione attiva che semplifica comunque l'andamento di post-coltivazione.

Un attributo comune alle tipologie analizzate, in assenza di fenomeni accidentali o di disturbo, è la copertura completa fino dalla fase di ceduo a regime maturo, pure con struttura interna evidentemente meno stratificata rispetto alle età superiori dell'evoluzione naturale e dell'avviamento.

7.3 Accrescimento

L'accrescimento legnoso è l'indicatore quantitativo della produttività forestale e riassume gli effetti della somma di fattori attivi nello stesso senso ed in senso contrario - di tipo biologico e ambientale - che agiscono sul bosco. Per questo, nell'analisi di monitoraggio delle foreste, l'accrescimento arboreo è considerato nella doppia funzione di variabile 'di risposta' e variabile 'esplicativa' dello stato del sistema. Lo sviluppo numerico dell'accrescimento è funzione dell'età del soprassuolo e quindi sempre in relazione con le età di riferimento. Nella formulazione corrente, l'accrescimento si esprime come incremento medio o corrente del volume arboreo, e nella stessa grandezza sono espressi comunemente tutti i valori presenti in letteratura.

Un esempio dei riferimenti disponibili è dato dai valori soglia di incremento medio annuo di volume in piedi per specie governate a ceduo a livello nazionale [$4,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ faggio, $2,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ cerro, $1,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ leccio] (Gasparini e Tabacchi 2011).

7.4 Mortalità

Questo indicatore, nel contesto analizzato, interpreta la norma di un processo naturale, piuttosto che l'effetto di un disturbo, come nell'accezione corrente e nell'uso tradizionale come indicatore di GFS, Criterio 2 'salute e vitalità' dei sistemi. L'interpretazione dei valori di mortalità è quindi collegata alla tipologia in esame: naturalmente elevata nel ceduo in fase di post-coltivazione, nulla o estremamente ridotta negli avviamenti ad altofusto, ridotta nei cedui a regime maturi. Ogni deviazione deve essere quindi considerata mortalità da disturbi. Gli attributi specifici di occorrenza della stessa consentono di norma l'attribuzione della causa a causa naturale od accidentale.

La quantificazione della mortalità naturale sia in piedi che a terra, è un elemento di giudizio complementare nella valutazione dei risultati della non-gestione o gestione interrotta nel caso, sia per il Criterio 1 (stock di carbonio) che per il criterio 4 (diversità).

8. Bibliografia ed ulteriori letture

- Amorini E., Brandini P., Fabbio G., Tabacchi G. 2000 - *Modelli di previsione delle masse legnose e delle biomasse per i cedui di cerro della Toscana centro-meridionale*. Annali Ist. Sper. Selv. Arezzo, 29 (1998): 41-56.
- Amorini E., Fabbio G., Tabacchi G. 1995 - *Le faggete di origine agamica: evoluzione naturale e modello colturale per l'avviamento ad alto fusto*. In: Atti Seminario Funzionalità del sistema faggeta. AISF, Firenze 16-17 Novembre: 331-345.
- Becagli C., Bertini G., Cammarano M., Cantiani P., Cater M., Chiavetta U., Coletta V., Conforti M., D'Andrea E., Di Salvatore U., Fabbio G., Ferlan M., Ferreira A., Ferretti F., Giovannozzi Sermanni A., Kobler A., Kovač M., Marinšek A., Micali M., Pellicone G., Planinšek Š., Rezaei N., Sicuriello F., Skudnik M., Tonti D. 2016 - *Assessing the maintenance of forest resources and their contribution to carbon cycles* Annals of Silvicultural Research 1: 55-63.
- Bertini G., Fabbio G., Piovosi M., Calderisi M. 2010 - *Densità di biomassa e necromassa legnosa in cedui di cerro in evoluzione naturale in Toscana*. Forest@ (7): 88-103.
- Bertini G. 2012 - *Relazioni tra struttura, selvicoltura, stato biologico e funzioni attese del bosco in uno scenario di cambiamento gestionale e ambientale. Analisi dal monitoraggio ecologico di lungo periodo*. DIBAF-UNITUS Tesi di dottorato in Ecologia Forestale, 116 p.
- Brandini P., Tabacchi G. 1996 - *Modelli di previsione del volume e della biomassa per i polloni di leccio e di corbezzolo in boschi cedui della Sardegna meridionale*. Comunicazioni di ricerca ISAF, 96/1: 59-69.
- Bréda, N.J. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of experimental botany*, 54(392), pp.2403-2417.
- Burkes EC., Will RE., Barron-Gafford GA., Teskey RO., Shiver B. 2003 - *Biomass Partitioning and Growth Efficiency of Intensively Managed Pinus taeda and Pinus elliottii Stands of Different Planting Densities*. Forest Science 49 (2): 224-234.
- Chianucci F., MacFarlane C., Pisek J., Cutini A., Casa R. 2015. *Estimation of foliage clumping from the LAI-2000 Plant Canopy Analyzer: effect of view caps*. Trees, 29 (2), 355-366
- Chianucci F., Salvati L., Giannini T., Chiavetta U., Corona P., and Cutini A. 2016 - *Long-term response to thinning in a beech (Fagus sylvatica L.) coppice stand under conversion into high forest in central Italy*. Silva Fennica 50 (3): 1-9. id 1549.
- Chianucci F. and Cutini A. 2013. Estimation of canopy properties in deciduous forests with digital hemispherical and cover photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 168: 130-139.
- Cutini A., Chianucci F., Giannini T., Manetti MC., Salvati L. 2015 - *Is anticipated seed cutting an effective option to accelerate transition to high forest in European beech (Fagus sylvatica L.) coppice stands?* Annals of Forest Science 72: 631-640. doi 10.1007/s13595-015-0476-7
- Dobbertin M., Neumann M. 2016 - *Manual Part V: Tree Growth*. In: UNECE ICP Forests, Programme Coordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 28 p. [<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>] ISBN: 978-3-86576-162-0
http://www.icp-forests.org/pdf/manual/2016/Manual_Part_V.pdf

- Fabbio G. 2016 - *Coppice forests, or the changeable aspect of things, a review*. Annals of Silvicultural Research - 40 (2): 108-132 <http://dx.doi.org/10.12899/asr-1286>
- Fabbio G., Amorini E. 2000 - *Tree growth survey and increment assessment. Contribution to the integrated evaluation of ecosystem's status*. Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo, Spec. Issue, vol. 30 (1999): 81-90.
- Fabbio G., Iovino F., Menguzzato G., Tabacchi G. 2002 - *Confronto fra modelli di previsione della biomassa arborea elaborati per cedui di leccio*. In: Monografia 'Il bosco ceduo in Italia'. a cura di O. Ciancio e S. Nocentini, AISF: 469-495.
- Federici S., Vitullo M., Tulipano S., De Lauretis R., Seufert G., 2008 - *An approach to estimate carbon stocks change in forest carbon pools under the UNFCCC: the Italian case*. iForest 1: 86-95 [online: 2008-05-19] <http://www.sisef.it/iforest/>
- Ferretti M., Cutini A., Gottardini E., 2016. Linee Guida per la preparazione coerente delle indagini e dei dati (V1 R0). Documento LIFE FutureForCoppiceS, pp.22.
- Forest Europe 2011 - *Conference Proceedings*. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Oslo 14-16 June 2011.
- Forest Europe 2015 - *State of Europe's Forests 2015*. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Liaison Unit Madrid: 65-221.
- Gasparini P., Tabacchi G. 2011 - *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005. Metodi e Risultati* [National Inventory of Forests and forest Carbon Sinks. Methods and Results]. MiPAAF-CFS-CRA-MPF. Edagricole, Milano, 653 p.
- House JI., Colin Prentice I., Le Quèrè C. 2002 - *Maximum impacts of future reforestation or deforestation on atmospheric CO₂*. Global Change Biology 8: 1047-1052.
- Konopka B., Pajtk J., Moravcik M., Lukac M. 2010 - *Biomass partitioning and growth efficiency in four naturally regenerated forest tree species*. Basic and Applied Ecology 11: 234-243.
- Nocetti M., Bertini G., Fabbio G., Tabacchi G. 2007 - *Equazioni di previsione della fitomassa arborea per i soprassuoli di cerro in avviamento ad altofusto in Toscana*. Forest@ 4 (2): 204-212.
- Schimel DS., House JI., Hibbard KA., Bousquet P., Ciais P., Peylin P., Braswell BH., Apps MJ., Baker D., Bondeau A., Canadell J., Churkina G., Cramer W., Denning AS., Field CB., Friedlingstein P., Goodale C., Heimann M., Houghton RA., Melillo JM., Moore B., Murdiyarso D., Noble I., Pacala SW., Prentice IC., Raupach MR., Rayner PJ., Scholes RJ., Steffen WL. & Wirth C. 2001- *Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems*. Nature 414: 169-172.
- Waring RH. 1983 - *Estimating Forest Growth and Efficiency in Relation to Canopy Leaf Area*. Adv. Ecol. Res. 13: 327-354.



**FutureFor
Coppices**

Shaping future forestry for sustainable coppices in southern Europe:
the legacy of past management trials



LIFE14 ENV/IT/000514



FONDAZIONE
EDMUND
MACH



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

