ALESSANDRO BOTTACCI (*)

# LO SPAZIO E IL TEMPO PER LE FORESTE RESILIENTI

(*) Professore a contratto di "Nature Conservation", School of Biosciences & Veterinary Medicine, Plant Diversity and Ecosystems Management unit, University of Camerino; via Pontoni, 5 - 62032 Camerino (MC), Italy; alessandro.bottacci@unicam.it

*Le foreste sono ormai universalmente considerate come sistemi complessi adattativi.*
*La capacità adattativa di questi ecosistemi è direttamente proporzionale alla loro resistenza, resilienza e adattabilità/plasticità. Questi attributi sono, a loro volta, funzione del grado di biocomplessità (compositiva, strutturale e funzionale/relazionale) raggiunto dal sistema stesso.*
*Perchè una foresta possa raggiungere un elevato livello di complessità è necessario che siano assicurati un adeguato spazio fisico tridimensionale ed un intervallo di tempo molto lungo.*
*Le foreste gestite sono spesso limitate nella superficie (a causa della frammentazione fisica o ecologica) e nell'altezza (a causa di tagli troppo precoci e intensi, che non permettono al piano delle chiome di occupare tutto il biospazio a disposizione); questo le rende più semplificate e quindi meno resilienti.*
*Per quanto riguarda il tempo, frequentemente non si tiene conto della diversità tra tempo dell'Uomo e tempo delle foreste, tentando di accelerarne, in modo innaturale, la crescita e la successione delle fasi strutturali.*
*La velocità è nemica della complessità, specialmente di quella relazionale, sulla quale si basa la capacità delle foreste di rispondere ai disturbi esterni.*
*Il cambiamento globale e le nuove sfide per il futuro del Pianeta richiedono un deciso cambiamento dei criteri e dei metodi di gestione forestale, considerando anche il grande valore degli ecosistemi lasciati alla libera evoluzione naturale.*

*Parole chiave*: sistemi complessi adattativi; resilienza; biocomplessità forestale; foreste ad evoluzione naturale; spazio e tempo.
*Key words*: Complex Adaptive Systems; resilience; forest biocomplexity; natural forest evolution; space and time.

*Citazione*: Bottacci A., 2020 - *Lo spazio e il temo per le foreste resilienti*. L'Italia Forestale e Montana, 75 (2): 69-81. https://doi.org/10.4129/ifm.2020.2.02

## 1. INTRODUZIONE

La foresta è universalmente considerata un sistema biologico complesso autopoietico adattativo (Ciancio e Nocentini, 1996; Puettmann *et al.*, 2009; Messier e Puettmann, 2011; Nocentini, 2011), cioè un sistema capace di autogovernarsi nel tempo attraverso le reciproche interazioni dei suoi componenti e di adattarsi alla variazione degli input ambientali esterni conservando la propria funzionalità (Puettman, 2014).


© 2020 Accademia Italiana di Scienze Forestali
doi: 10.4129/ifm.2020.2.02

Le foreste seguono un ordine interno naturale, che possiamo definire un "ordine spontaneo" (Clauser, 2003), secondo il quale si accrescono e si sviluppano per stadi successivi, adattandosi all'ambiente nel quale si trovano. Si tratta di sistemi interattivi e compositi, costituiti da molti elementi diversi interagenti tra loro secondo i principi della teoria fisica della Criticità autorganizzata (Piovesan e Schirone, 1995).

Esse seguono sempre il percorso a minor dispendio energetico complessivo, passando da strutture più semplici a strutture più complesse, da uno stato metastabile ad un altro, in conseguenza di processi innescati da eventi anche di piccola entità. Questo non avviene in modo totalmente lineare e prevedibile, ma secondo cicli adattativi (crescita, conservazione, collasso e rilascio, riorganizzazione) su diverse scale spaziali e temporali secondo i processi tipici della Panarchia (Gunderson e Holling, 2002; Allen *et al.*, 2014).

Non si raggiunge mai un vero e proprio equilibrio ma il sistema si muove sempre sul confine tra disordine (caos, χάος) e ordine (cosmos, κόσμος), permanendo nello stadio dinamico della complessità (Messier e Puettmann, 2011).

La complessità diviene pertanto una condizione necessaria per limitare il rischio di cadere in quelle che Carpenter e Brock (2008) hanno definito "trappola della povertà", quando il sistema è talmente semplificato da non avere nessuna possibilità di recuperare con le sue sole forze, e "trappola della rigidità", quando il sistema è totalmente ordinato e diviene pertanto una struttura rigida e statica. In entrambe le condizioni il dinamismo del sistema si blocca.

È quindi fondamentale che l'approccio alla gestione degli ecosistemi forestali si basi sui principi della teoria dei sistemi complessi, tenendo conto di tutte le componenti - e non solo della componente arborea -, delle numerosissime interazioni esistenti tra queste e della capacità di rispondere ai disturbi esterni.

Nella gestione forestale la semplificazione non è ammessa. Una visione riduzionistica concettuale è fuorviante e foriera di gravi errori (Ciancio e Nocentini, 1996; 2003; Simard e Durall, 2004).

Possiamo considerare la complessità di un ecosistema forestale a tre livelli diversi ma necessariamente integrati tra loro:

- *Complessità compositiva*, legata soprattutto al numero di specie, animali e vegetali, presenti. Questa ricchezza è massima negli ecosistemi forestali intatti e ne determina il grande valore ambientale (Watson *et al.*, 2018);
- *Complessità strutturale*, legata alla conformazione fisica della foresta (tipo di occupazione dello spazio, distribuzione dei volumi, rapporti allometrici delle componenti, ecc.). La complessità strutturale influisce positivamente su vari aspetti dell'ecosistema (biodiversità, resilienza, adattabilità, ecc.) (Franklin *et al.*, 2004; Stiers *et al.*, 2018);
- *Complessità relazionale/funzionale*, legata alla rete di relazioni tra le varie componenti del sistema e tra di esse e l'ambiente nel quale sono inserite. Possiamo includere in questa complessità anche la varietà di nicchie ecologiche presenti (Sabatini *et al.*, 2010). La complessità relazionale è talmente varia e piena di retroazioni da potersi considerare come la componente più

difficilmente misurabile o valutabile di un ecosistema (Mayr, 1988). Essa può essere anche espressa in termini di posizionamento dei vari componenti organici all'interno della complessa rete trofica. Questo posizionamento non è casuale, ma segue un ordine preciso, misurato da quella che viene definita coerenza trofica, che, a sua volta, rende le reti più stabili (Johnson *et al.*, 2014).

A questo proposito è importante anche segnalare i fondamentali studi sulla rete di ectomicorrize che, nel suolo, collega gli apparati radicali di una foresta, fungendo da sistema di comunicazione e di scambio di carbonio e di altre sostanze nutritive (Clemmensen *et al.*, 2013).

Gli studi sulle foreste indisturbate (*old growth forests*) hanno permesso di comprendere, in modo più preciso e ampio, la biocomplessità naturale, i processi ad essa collegati, nonché i meccanismi che sottendono all'evoluzione dei sistemi forestali (Faliński, 1986; Faliński, 1988; Blasi *et al.*, 2010; Stiers *et al.*, 2018).

Uno dei risultati fondamentali di questi studi è aver compreso la stretta relazione tra biocomplessità e resistenza, resilienza e adattabilità degli ecosistemi forestali.

Aldilà delle molte definizioni esistenti, ai fini del presente lavoro ritengo che queste tre caratteristiche possano essere riassunte nel seguente modo:

- *Resistenza*: è la capacità di un ecosistema di mantenere il proprio equilibrio strutturale e funzionale di fronte ad un disturbo esterno.
- *Resilienza*: è la capacità di recuperare il proprio equilibrio qualora questo venga alterato da un disturbo esterno o anche "la capacità di tollerare disturbi senza collassare in uno stato qualitativamente diverso" (Holling, 1973).
- *Adattabilità/plasticità*: è la capacità di modificare la propria struttura in conseguenza di un cambiamento ambientale permanente senza perdere la propria funzionalità.

La stabilità di un ecosistema è strettamente legata alla sua capacità adattativa, a sua volta dipendente della sua biocomplessità (Colwell, 1998; Michener *et al.*, 2001; Bottacci, 2014; Bottacci, 2018a). Si deve assolutamente tenere conto di questo assunto quando si vogliano conservare e gestire foreste in modo da tutelarne l'evoluzione e la stabilità dinamica.

Per favorire il raggiungimento e la conservazione di alti livelli di complessità degli ecosistemi forestali, dobbiamo considerare che essa è funzione di due fattori fondamentali: lo spazio ed il tempo (Clauser, 1991). Non tenendo conto di questi due fattori, come avviene troppo spesso in una selvicoltura a preminente finalità economica, si rischia di alterare in modo sostanziale la foresta, inficiandone il futuro, al solo scopo di massimizzare un ricavo attuale, oltretutto relativamente basso in relazione ai costi ambientali alti, come avviene nel caso della forma di governo a ceduo (Clauser, 1989).

## 2. Lo spazio

Lo spazio è un parametro fondamentale per le foreste. Prima che l'azione antropica riducesse in modo drastico la superficie forestale del nostro Pianeta, le foreste occupavano quasi la metà delle terre emerse, formando, in molti casi, estensioni di milioni di ettari senza soluzione di continuità. Ancora oggi questa riduzione non si arresta, continuando ad interessare, in modo drammaticamente preoccupante, anche le foreste primarie intatte (Potapov *et al.*, 2017).

Lo spazio è indispensabile perché si possa sviluppare pienamente la complessità sotto forma di mosaico di fasi del ciclo strutturale (rinnovazione, affermazione, esclusione, maturazione, diversificazione, crollo, ecc.). In questo modo, su una adeguata estensione, la foresta può raggiungere e mantenere uno stato nel quale i disturbi, pur presenti, hanno una influenza limitata sul cambiamento della struttura generale e, anzi, aiutano a mantenere lo stato di complessità. Solo con una adeguata superficie, al di sopra di quella che si può definire la "superficie minima vitale della foresta", si può avere l'insieme di piccoli e continui cambiamenti che interessano i componenti di quella data fitocenosi e dei suoi vari strati, che costituisco l'articolato processo della fluttuazione, ampliamente studiato da Faliński nella foresta primeva di Białowieża (Faliński, 1986; Faliński, 1988; Pedrotti, 2007).

La ricerca dei valori di questo parametro è ancora relativamente scarsa, nonostante si tratti di un argomento molto stimolante e basilare per la conservazione e la gestione delle foreste.

Harris (1984), nel suo fondamentale testo sulla frammentazione forestale, colloca tra 2 e 20 ha la soglia minima al disotto della quale il sistema perde di efficienza.

Uno dei principi fondamentali della Biologia della Conservazione, contenuto nel 3° postulato di Soulé (1986), è il rapporto tra le dimensioni di una comunità e la sua possibilità di sopravvivenza: riducendo la superficie di un popolamento - ed io direi ancora di più il volume da essa occupato - diminuisce la sua vitalità e resilienza (Bellarosa *et al.*, 1991).

Zacharias e Brandes (1989), citati in Bellarosa *et al.* (1991), hanno evidenziato una relazione lineare tra la superficie di boschetti isolati del *Querco-Fagetea* in Germania e la frequenza delle specie più rare. Questi autori hanno rilevato che, per avere la saturazione di tutte le specie, comprese le più rare, un popolamento doveva ricoprire una superficie continua non inferiore a 500 ha.

La riduzione delle superfici forestali, oltretutto, innesca le tipiche problematiche della frammentazione degli habitat (Diamond, 1975; Crooks e Sanjayan, 2006). In caso di superfici ridotte, la percentuale di area marginale (più disturbata) aumenta, rispetto a quella occupata dalla *core area*, agendo negativamente sulle varie complessità, specialmente sulla complessità relazionale.

Per una corretta valutazione dell'influenza dello spazio sulla stabilità degli ecosistemi forestali è fondamentale tenere conto che lo sviluppo strutturale delle foreste non è solo quello bidimensionale della superficie, ma quello tridi-

mensionale del volume. Le foreste, rispetto agli altri ecosistemi terrestri naturali, tendono ad occupare molto più spazio anche in senso verticale, sia verso l'alto, con le chiome che possono arrivare fino ad oltre cento metri, che nel sottosuolo, dove le radici si possono approfondire di molti metri (ad es. fino a 7 m di profondità per le radici strutturali delle foreste tropicali) e rappresentare una notevole frazione della biomassa totale (circa il 20%) (Brunner *et al.*, 2004; Crown, 2005; Galvagni *et al.*, 2006; Lasserre *et al.*, 2006).

Per questo possiamo affermare che le foreste sono soprattutto strutture verticali.

A questo proposito forniscono un'utile informazione gli studi sulle strutture forestali basati su un approccio allometrico, nei quali si mostra che l'occupazione dello spazio tridimensionale non è casuale ma segue un modello basato sulla legge di potenza, che sottende un comportamento frattale. L'aumento dell'altezza del popolamento (nel caso specifico dell'altezza tipica degli alberi più alti), determina un aumento proporzionale del volume della foresta per unità di superficie. Al fine di massimizzare l'energia solare utilizzata, le foglie devono riempire quanto più possibile questo volume e lo fanno seguendo proprio una strutturazione frattale sia orizzontale che verticale (West *et al.*, 2009; Enquist *et al.*, 2009; Simini *et al.*, 2010; Anfodillo *et al.*, 2013; Sellan *et al.*, 2017). In conseguenza di ciò la produttività di una foresta è funzione anche dello spazio verticale occupato.

Lo sviluppo della foresta nello spazio verticale, che possiamo anche definire "spessore ecologico" o "biospazio", ha anche un valore ecologico. Esso determina gradienti di microclima che vengono occupati da specie e da comunità di specie differenti, contribuendo così ad aumentare la biocomplessità del sistema (Ishii *et al.*, 2004; Nadkarni, 2010). Già molti anni fa Mac Arthur e Mac Arthur (1961) avevano evidenziato una relazione positiva tra altezza del piano delle chiome e ricchezza di specie di uccelli, attribuendola alla presenza di una maggiore disponibilità di nicchie ecologiche. Più recentemente Roll *et al.* (2015) hanno confermato questa relazione per tutti i vertebrati ed in particolare per gli anfibi.

Cazzolla *et al.* (2017) hanno trovato una correlazione significativa tra la ricchezza di specie di piante vascolari e l'altezza media del piano delle chiome (considerato come indicatore del volume) sia a livello globale che macroclimatico.

L'intervento umano altera questa stratificazione verticale di habitat e riduce la biodiversità del popolamento, soprattutto diminuendo l'altezza del piano delle chiome e semplificandone la struttura (Brokaw e Lent, 1999). Questo suggerisce l'opportunità di una maggiore attenzione al biospazio negli studi ecologici e nella pianificazione e gestione dei siti naturali. Le foreste intatte, infatti, mostrano come un ampio spessore ecologico (biospazio) favorisca la diversità verticale e contribuisca alla biocomplessità totale dell'ecosistema e, di conseguenza, alla sua funzionalità.

## 3. Il tempo

Il tempo è stato definito da Clauser (1991) come la quarta dimensione del bosco ed è una dimensione troppo spesso sottovalutata.

Un approccio semplicistico alle foreste tende a mettere in correlazione il tempo solo con l'incremento di volume degli alberi, dando addirittura un significato colturale di maturità alla culminazione dell'incremento stesso, nelle sue varie forme (corrente, medio, percentuale), culminazione che invece avviene sempre ad un'età del bosco molto bassa.

Occorre perciò chiarire che *il tempo delle foreste non è il tempo dell'Uomo.* Si tratta di due ordini di grandezza diversi. Considerare i tempi della foresta con il riferimento temporale dell'Uomo è uno degli errori fondamentali che hanno commesso e commettono molti forestali.

La lentezza - relativamente ai parametri umani - è la legge per la foresta (Wohlleben, 2016) ed è fondamentale tenerne conto.

Addirittura è stato evidenziato che proprio le piante ad accrescimento più lento sono quelle destinate a vivere più a lungo (Piovesan *et al.*, 2019a; Piovesan *et al.*, 2019b)

Le foreste hanno bisogno di tempo per poter evolvere passando da una fase strutturale all'altra (Leibundgut, 1978), fino allo stadio più evoluto possibile in quel luogo ed in quel momento.

Raggiunto questo stadio le variazioni strutturali sono ancora più lente e indotte da disturbi naturali a bassa intensità (crollo di alberi o gruppi di alberi) o a grande intensità (tempesta di vento, incendio naturale, attacco parassitario, frana, valanga, ecc.). In entrambi i casi, comunque, con tempi di ritorno, generalmente, molto lunghi. Questi disturbi sono importanti per la rinnovazione dell'ecosistema e per il mantenimento di una parte della sua complessità (Yamamoto, 2000).

Oltretutto la foresta non segue il ciclo vitale dei suoi componenti principali: gli alberi. Questi nascono, crescono, invecchiano e muoiono, rimanendo soggetti alle leggi del tempo, la foresta è invece soggetta "ad una agitazione eterna" (Stevens, 1990 in Motta, 2018).

Il tempo sottende anche alla biocomplessità strutturale di una foresta. I parametri di altezza e volume sono evidentemente legati al tempo, ma anche lo sviluppo degli apparati radicali o la maturazione sessuale dei singoli componenti. La strutturazione e l'occupazione del biospazio (verticale, orizzontale, sopra e dentro al suolo) sono, come già ricordato, processi fondamentali che la foresta conduce secondo il modello della criticità autorganizzata. Questi processi organizzativi svolgono una funzione sintropica, cioè di bilanciamento della entropia (Schirone, in stampa). Come nel caso dell'entropia (secondo principio della termodinamica), anche la sintropia è funzione del tempo: col trascorrere del tempo, infatti, l'ecosistema aumenta la propria organizzazione funzionale e strutturale, tendendo spontaneamente verso una condizione metastabile, vicina al punto critico (Solé *et al.*, 2002; Solé e Bascompte, 2006).

Il tempo influisce anche su una componente fondamentale dell'ecosistema forestale: il suolo. Il suolo è il frutto di interazioni tra componente organica, componente inorganica e clima, che, a loro volta sono funzione del tempo. Un suolo forestale, per raggiungere stadi evoluti, richiede molti anni (talvolta secoli). Recenti studi hanno mostrato l'importanza, per la funzionalità e per la produttività degli ecosistemi forestali, della complessa rete di simbiosi che si formano nel suolo tra gli apici radicali delle piante arboree e le ectomicorrize (ECM) (Simard, 2009; 2018; Steidinger *et al.*, 2019). Lo sviluppo di questa rete è legato alla presenza di alberi vetusti (detti alberi madre) e di un suolo evoluto, fattori questi che sono entrambi funzione del tempo e del non disturbo antropico.

Un altro importante parametro dell'ecosistema forestale legato all'età del bosco, e quindi al fattore tempo, è la presenza del legno morto (Travaglini *et al.*, 2012). È ormai universalmente riconosciuto il ruolo della necromassa per la conservazione della biodiversità (WWF Switzerland, 2004; Marchetti e Lombardi, 2006). Lasciare alla foresta il tempo per raggiungere le fasi strutturali più avanzate è fondamentale perché si accumuli in modo naturale una massa di legno morto capace di creare nicchie ecologiche tali da incrementare la biocomplessità e, in particolare, la rete trofica.

## 4. Conclusioni

Da quanto detto appare evidente che vi sia un contrasto stridente tra la fondamentale importanza di concedere spazio e tempo agli ecosistemi forestali e le azioni, ancora troppo diffuse, di una "selvicoltura attiva" che prescinde spesso dalla conservazione del capitale produttivo e si concentra principalmente, se non esclusivamente, sul prodotto ritraibile in tempi brevi e sulle più ampie superfici possibili (Bottacci, 2018b), prescindendo spesso dall'attuale conoscenza ecologica e conservazionistica (Chiarucci e Piovesan, 2018).

Quasi sempre si continua a considerare il bosco, non come un sistema complesso autopoietico, ma come un semplice insieme di alberi da utilizzare, insieme incapace di sopravvivere senza l'intervento dell'uomo, del quale non si considerano né le esigenze di spazio né quelle di tempo.

Come afferma giustamente Pedrotti (2007), il processo di sinantropizzazione delle foreste produce cambiamenti negativi, che portano alla degenerazione (impoverimento senza compromissione della fitocenosi originaria) e anche alla regressione (forma più grave dove le fitocenosi originarie sono sostituite da fitocenosi meno complesse e a fitomassa minore).

Olaczek (1974), già molti anni fa, considerava, tra le forme di degenerazione degli ecosistemi forestali, il ringiovanimento (*juvenalization*), cioè il mantenimento delle fitocenosi agli stadi iniziali a causa dei tagli periodici, che limitavano a pochi decenni il tempo a disposizione.

I tagli sono disturbi innaturali che, se si presentano con frequenze accelerate e su superfici ampie, possono innescare questi fenomeni di regressione, co-

stringendo l'ecosistema forestale a permanere nei suoi stadi iniziali, più semplificati e meno stabili.

La biocomplessità è alterata da tagli intensi e ripetuti a breve distanza (con cambiamenti repentini nella struttura e composizione del sistema). È noto che negli ecosistemi forestali naturali o con basso disturbo antropico, la biocomplessità è maggiore anche a causa della presenza di molte specie rare e minacciate, quasi del tutto assenti in quelli gestiti (Christensen e Emborg, 1996).

Anche tenendo conto del ruolo prioritario delle foreste nell'attenuazione del *global change*, è fondamentale cambiare decisamente i principi di fondo della gestione, tenendo decisamente più in considerazione i parametri che abbiamo discusso nel presente lavoro: lo spazio e il tempo.

Una selvicoltura per le foreste del futuro dovrà innanzi tutto partire da un assunto, che forse a molti forestali apparirà "eretico": partendo dal principio che, in generale, gli interventi di taglio rappresentano un disturbo innaturale per le foreste e che, d'altro canto, l'Uomo ha la necessità di avere a disposizioni i prodotti legnosi che le foreste forniscono, la corretta selvicoltura dovrà operare in modo da ottenere quanto serve all'Uomo, riducendo al minimo il disturbo all'ecosistema forestale, contenendolo cioè entro i limiti della sua capacità resiliente e dando alle foreste lo spazio ed il tempo di cui hanno bisogno.

Per ottenere questo risultato sarà fondamentale, prima di tutto, preservare la continuità ecologica della foresta; continuità sia in senso spaziale (evitando la frammentazione, fisica ed ecologica, dei popolamenti), sia in senso temporale (evitando repentini e frequenti cambi strutturali del popolamento stesso).

Fornendo agli ecosistemi forestali un adeguato spazio (almeno uguale o superiore alla superficie minima vitale) e un tempo indefinito (prescindendo quindi dalla definizione di turni), si potrà attuare anche una gestione che si può definire delle alte provvigioni, ottenendo foreste ricche di biomassa. In esse si potrà ottenere una ripresa importante, pur mantenendo molto basso il tasso di utilizzazione (parametro che, in qualche modo, può essere indicativo dell'entità del disturbo arrecato con i prelievi).

La continuità ecologica e l'intervento antropico nullo o di bassa intensità favoriranno la costituzione di popolamenti sempre più resilienti e quindi, secondo la definizione di selvicoltura data sopra, anche più capaci di supportare e sopportare una gestione con finalità economiche.

Come mostrato, lo spazio ed il tempo influiscono positivamente sulla biocomplessità delle foreste; questa, a sua volta, è la base della resilienza che le rende stabili (Rist e Moen, 2013). Per cui la moderna gestione forestale non potrà più prescindere da questi due parametri. Di fronte alla riduzione continua delle superfici forestali della Terra (18 milioni di $km^2$ di superficie forestale persi negli ultimi 8.000 anni) (FAO, 2018), alla loro pericolosa semplificazione e alla minaccia incombente dei cambiamenti climatici, diventa indispensabile liberarsi dalla visione antropocentrica (pericolosa eredità dell'Illuminismo), che attribuisce all'Uomo una capacità di indirizzo superiore anche a quella della Natura stessa, e imboccare la via di una decisa azione di "conservazione del processo naturale".

In considerazione del loro grande valore, è ineluttabile fare una scelta radicale di rispetto per gli ecosistemi naturali indisturbati (tra i quali, in primo luogo, quelli forestali) (Watson *et al.*, 2018), riservando loro la metà della Terra, come proposto da Wilson (2016), facendo così in modo che non vi siano limitazioni di spazio e di tempo all'espressione delle loro potenzialità.


## SUMMARY

*Space and time for resilient forests*

Forests are now universally thought of as Complex Adaptive Systems.

The adaptive capacity of these ecosystems is directly proportional to their resistance, resilience and adaptability/plasticity. These attributes are, in turn, a function of the degree of biocomplexity (compositional, structural and functional/relational) obtained by the system itself.

Because a forest can reach a high level of complexity, an adequate three-dimensional physical space and a very long time span must be ensured.

Managed forests are often limited in surface (due to physical or ecological fragmentation) and in height (due to too early and intense cuts, which does not allow the canopy to occupy all the available biospace) making them more simplified and therefore less resilient.

As regards time, the diversity between human time and forest time is not often taken into account, attempting to accelerate, in an unnatural way, the growth and succession of the structural phases. Speed is the enemy of complexity, especially relational complexity, on which the ability of forests to respond to external disturbances is based.

Global change and the new challenges for the planet's future require a decisive change in the criteria and methods of forest management, also considering the great value of ecosystems left to undisturbed natural evolution.


## BIBLIOGRAFIA


Allen C.R., Angeler D.G., Garmestani A.S., Gunderson L.H., Holling C.S., 2014 - *Panarchy: Theory and Application*. Ecosystems, 17 (4): 578-589. https://doi.org/10.1007/s10021-013-9744-2

Anfodillo T., Carrer M., Simini F., Popa I., Banavar J.R., Maritan A., 2013 - *An allometry-based approach for understanding forest structure, predicting tree-size distribution and assessing the degree of disturbance*. Proc. R. Soc. B 280. https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2375

Bellarosa R., Schirone B., Scoppola A., 1991 - *Risorse forestali e biologia della conservazione. In: I boschi italiani. Valori naturalistici e problemi di gestione*. Atti del Simposio a cura di C. Ferrari e U. Bagnaresi. Castiglione de' Pepoli (Bologna), 9 ottobre 1989, p. 129-136. Società Emiliana Pro Montibus et Silvis. Tipografia Moderna, Bologna.

Blasi C., Burrascano S., Maturani A., Maria Sabatini F.M. (a cura di), 2010 - *Foreste vetuste in Italia*. Contributo tematico alla Strategia Nazionale per la Biodiversità. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 25 p.

Bottacci A., 2014 - *La Riserva naturale integrale di Sasso Fratino: biocomplessità di un bosco vetusto*. In: K. Cianfaglione (ed.) "L'importanza degli Alberi e del Bosco. Cultura, scienza e coscienza del territorio" 2 vol. Temi editrice, Trento, p. 133-156.

Bottacci A., 2018a - *Le foreste naturali e quelle vetuste come paradigma per una nuova gestione forestale*. Atti Giornata di Studio "Biomasse forestali ad uso energetico", Rieti 6 aprile 2018.

Bottacci A., 2018 b - *Il TUFF, la gestione attiva dei boschi e le generazioni future*. L'Italia Forestale e Montana, (73) 4-5: 207-214.

Brokaw N.V.L., Lent R.A., 1999 - *Vertical structure*. In "Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems" capitol 11, Edited by Malcolm L. Hunter, Cambridge University Press, p. 373-399. https://doi.org/10.1017/CBO9780511613029.013

Brunner I., Ruf M., Lüscher P., Sperisen C., 2004 - *Molecular markers reveal extensive intraspecific belowground overlap of silver fir fine roots*. Molecular Ecology, 13: 3595-3600. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02328.x

Carpenter S.R., Brock W.A., 2008 - *Adaptive capacity and traps*. Ecology and Society 13 (2): 40. https://doi.org/10.5751/ES-02716-130240

Cazzolla Gatti R., Di Paola A., Bombelli A., Noce S., Valentini R., 2017 - *Exploring the relationship between canopy height and terrestrial plant diversity*. Plant Ecology, 218 (7): 899-908. https://doi.org/10.1007/s11258-017-0738-6

Chiarucci A., Piovesan G., 2018 - *La gestione sostenibile non può prescindere dalla conoscenza ecologica e conservazionistica attuale*. Forest@, 15: 51-55. https://doi.org/10.3832/efor2782-015

Christensen M., Emborg J., 1996 - *Biodiversity in natural versus managed forests*. Forest Ecology and Management, 85: 47-51. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03749-8

Ciancio O., Nocentini S., 1996 - *Il bosco e l'uomo: l'evoluzione del pensiero forestale dall'umanesimo moderno alla cultura della complessità. La selvicoltura sistemica e la gestione su basi naturali*. In: "Il bosco e l'uomo", a cura di O. Ciancio. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 21-115.

Ciancio O., Nocentini S., 2003 - *La conservazione della biodiversità nei sistemi forestali. 3. Biodiversità, gestione forestale e metodo scientifico*. L'Italia Forestale e Montana, 58 (2): 61-70.

Clauser F., 1989 - *Povertà del bosco ceduo*. In atti del Convegno "Il bosco nell'Appennino". Centro studi "Valleremita", Fabriano (MC).

Clauser F. 1991 - *Lo spazio e il tempo in selvicoltura*. Informatore Botanico Italiano, 23: 181-188.

Clauser F. 2003 - *Per una sociologia forestale dell'ordine spontaneo*. L'Italia Forestale e Montana, 58 (2): 134-142.

Clemmensen, K.E., Bahr A., Ovaskainen O., Dahlberg A., Ekblad A., Wallander H., Stenlid J., Finlay R.D., Wardle D.A., Lindahl B.D., 2013 - *Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest*. Science, 339 (6127): 1615-1618. https://doi.org/10.1126/science.1231923

Crooks K.R., Sanjayan M., 2006 - *Connectivity Conservation*. Conservation Biology, Series 14, 712 p., Cambridge University Press, Cambridge. https://doi.org/10.1017/CBO9780511754821

Crow P., 2005 - *The influence of soil on tree root depth*. Forest Commission, Information Note, 78: 1-8.

Colwell R., 1998 - *Policy forum - Balancing the biocomplexity of the planet's living systems: A twenty-first century task for science*. Bioscience, 48: 786-787. https://doi.org/10.2307/1313389

Diamond J.M., 1975 - *The island dilemma: Lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserve*. Biological Conservation, 7 (2): 129-146. https://doi.org/10.1016/0006-3207(75)90052-X

Enquist B.J., West G.B., Brown J.H., 2009 - *Extensions and evaluations of a general quantitative theory of forest structure and dynamics*. Proceedings of the Natural Academy of Sciences of the United States of America, 106 (17): 7046-7051. https://doi.org/10.1073/pnas.0812303106

Faliński J.B., 1986 - *Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests. Ecological studies in Białowieża forest*. Geobotany, 8: 1-537. https://doi.org/10.1007/978-94-009-4806-8_3

Faliński J.B., 1988 - *Succession, regeneration and fluctuation in the Białowieża Forest (NE Poland)*. Vegetatio, 77: 115-128. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2275-4_13

FAO, 2018 - *The State of the World's Forests 2018 - Forest pathways to sustainable development*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Franklin J.F.,Van Pelt R., 2004 - *Spatial aspects of structural complexity in Old-Growth Forests*. Journal of Forestry, 102 (3): 22-28. https://doi.org/10.1093/jof/102.3.22

Galvagni D., Gregori E., Zorn G., 2006 - *Modelli di valutazione della biomassa radicale di popolamenti forestali*. L'Italia Forestale e Montana, 61 (2): 101-118. https://doi.org/10.4129/IFM.2006.2.01

Gunderson L.H., Holling C.S., 2002 - *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island press, 507 p.

Harris, L. 1984 - *The fragmented forest: Island biogeography theory and the preservation of biotic diversity*. University of Chicago Press. https://doi.org/10.7208/chicago/9780226219950.001.0001

Holling C.S., 1973 - *Resilence and stability of ecological systems*. Ann. Rev. Ecol. Syst., 4: 1-23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245

Ishii H.T., Tanabe S., and Hiura T., 2004 - *Exploring the Relationships Among Canopy Structure, Stand Productivity, and Biodiversity of Temperate Forest Ecosystems*. Forest Science, 50 (3): 342-355.

Johnson S., Dominguez-Garcia V., Donetti L., Muñoz M.A., 2014 - *Trophic coherence determines food-web stability*. PNAS, 111 (50): 17923-17928. https://doi.org/10.1073/pnas.1409077111

Lasserre B., Tognetti R., Marchetti M., 2006 - *Problematiche di inventariazione del carbonio nella biomassa forestale ipogea*. Forest@, 3 (4): 542-554. https://doi.org/10.3832/efor0415-0030542

Leibundgut H., 1978 - *Uber die Dynamik europaischer Urwalder*. Al. Zeitschr. Forstwesen, 24: 686-690.

MacArthur R.H., MacArthur J.W., 1961 - *On bird species diversity*. Ecology, 42 (3): 594-598. https://doi.org/10.2307/1932254

Marchetti M., Lombardi F., 2006 - *Analisi quali-quantitativa del legno morto in soprassuoli non gestiti: il caso di "Bosco Pennataro", Alto Molise*. L'Italia Forestale e Montana, 4: 275-302. https://doi.org/10.4129/IFM.2006.4.03

Mayr E., 1988 - *Toward a new philosophy of Biology. Observations of a evolutionist*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 564 p.

Messier C., Puettmann K.J., 2011 - *Forests as complex adaptive systems: implications for forest management and modelling*. L'Italia Forestale e Montana, 66 (3): 249-258. https://doi.org/10.4129/ifm.2011.3.11

Michener W.K., Baerwald T.J., Firth P., Palmer M.A., Rosenberger J.L., Sandlin E.A., Zimmerman H., 2001 - *Defining and unraveling Biocomplexity*. BioScience, 51 (12): 1018-1023. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[1018:DAUB]2.0.CO;2

Motta R., 2018 - *L'equilibrio della natura non esiste (e non è mai esistito!)*. Forest@, vol. 15: 56-58. https://doi.org/10.3832/efor2839-015

Nadkarni N.M., 2010 - *Tra la terra e il cielo. La vita segreta degli alberi*. Elliot Ed.

Nocentini S., 2011 - *The forest as a complex biological system: theoretical and practical consequences*. L'Italia Forestale e Montana, 66 (3): 191-196. https://doi.org/10.4129/ifm.2011.3.02

Olaczek R., 1974 - *Kierunki degeneracji fitoenozlesnychi metody ich badania*. Phytocoenosis, 3 (3-4): 179-190.

Pedrotti F., 2007 - *Fragile universo verde. Biogeografia della foresta*. Natura Alpina, 58 (1-2): 1-30.

Piovesan G., Schirone B., 1995 - *La teoria della criticità autorganizzata può spigare l'evoluzione delle foreste?* Atti del Convegno: "*Occhi verdi sulle foreste: la selvicoltura e i tecnici forestali per la conservazione della biodiversità*". Visso - Parco Nazionale dei Monti Sibillini, 12 Dicembre 1994. Lega per l'Ambiente, Ministero per le Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Editrice Le Balze di Montepulciano presso le A.C. Grafiche di Città di Castello

Piovesan G., Biondi F., Baliva M., De Vivo G., Marchianò V., Schettino A., Di Filippo A., 2019a - *Lessons from the wild: slow but increasing long-term growth allows for maximum longevity in European beech*. Ecology, 100 (9). https://doi.org/10.1002/ecy.2737

Piovesan G., Biondi F., Baliva M., Dinella A., Di Fiore L., Marchianò V., Presutti Saba E., De Vivo G., Schettino A., Di Filippo A., 2019b - *Tree growth patterns associated with extreme longevity: Implications for the ecology and conservation of primeval trees in Mediterranean mountains*. Anthropocene, 26: 100199. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2019.100199

Potapov P., Hansen M. C., Laestadius L., Turubanova S., Yaroshenko A., Thies C., Smith W., Zhuravleva I., Komarova A., Minnemeyer S. and Esipova E., 2017 - *The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013*. Science Advances, 3 (1). https://doi.org/10.1126/sciadv.1600821

Puettmann K.J., 2011 - *Silvicultural challenges and options in the context of global change: "Simple" fixes and opportunities for new management approaches*. Journal of Forestry, 109 (6): 321-331.

Puettmann K.J., Coates D., Messier C., 2009 - *A critique of silviculture: managing for complexity*. Island Press, Wahington, 200 p.

Puettmann K.J., 2014 - *Restoring the adaptive capacity of forest Ecosystems*. Journal of Sustainable Forestry, 33: suppl. 1 S15-S27.20. https://doi.org/10.1080/10549811.2014.884000

Rist L., Moen J., 2013 - *Sustainability in forest management and a new role for resilience thinking*. Forest Ecology and Management, Vol. 310: 416-427. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.033

Roll U., Geffen E. and Yom-Tov Y., 2015 - *Linking vertebrate species richness to tree canopy height on a global scale*. Global Ecology and Biogeography, 24: 814-825. https://doi.org/10.1111/geb.12325

Sabatini F.M., Burrascano S., Blasi C., 2010 - *Niche heterogeneity and old-growth forests conservation value*. L'Italia Forestale e Montana, 65 (5): 621-636. https://doi.org/10.4129/IFM.2010.5.10

Schirone B. (in stampa) - *Ecosistemi, boschi e servizi ecosistemici*. Contributo alla definizione del documento: Poli D., Chiti M., Granatiero G., 2019 - Dal patrimonio territoriale ai servizi ecoterritoriali: verso una definizione operativa. Bozza di discussione, *in litt*.

Sellan G., Simini F., Maritan A., Banavar J.R., de Haulleville T., Bauters M., Doucet J.L., Beeckman H., Anfodillo T., 2017 - *Testing a general approach to assess the degree of disturbance in tropical forests*. Journal of Vegetation Science, 28 (3). https://doi.org/10.1111/jvs.12512

Simard S.W., Durall D.M., 2004 - *Mycorrhizal networks: a review of their extent, function and importance*. Canadian Journal of Botany, 82 (8): 1140-1165. https://doi.org/10.1139/b04-116

Simard S.W., 2009 - *The foundational role of mycorrhizal networks in self-organization of interior Douglas-fir forests*. Forest Ecology and Management, Vol. 258, Supplement: S95-S107. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.001

Simard S.W., 2018 - *Mycorrhizal networks facilitate tree communication, learning, and memory*. In book: Baluska F., Gagliano M., Witzany G. (eds.) "Memory and Learning in Plants". Springer Nature Switzerland AG. Part of Springer Nature, p. 191-213. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75596-0_10

Simini F, Anfodillo T, Carrer M, Banavar JR, Maritan A., 2010 - *Self-similarity and scaling in forest communities*. Proc. Natl Acad. Sci. USA 107: 7658-7662. https://doi.org/10.1073/pnas.1000137107

Solé R.V., Alonso D. and McKane A., 2002 - *Self-organized instability in complex ecosystems*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, 357: 667-681. https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0992

Solé, R.V., Bascompte J., 2006 - *Self-organization in complex ecosystems*. Princeton University Press, N.J.: 373 p. https://doi.org/10.1515/9781400842933

Soulé M.E. (ed.), 1986 - *Conservation biology. The science of scarcity and diversity*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland (Mass.), 584 p.

Steidinger B.S., Crowther T.W., Liang J., Van Nuland M.E., Werner G.D. A., Reich P.B., Nabuurs G.J., de-Miguel S., Zhou M., Picard N., Herault B., Zhao X., Zhang C., Routh D., Peay K.G., GFBI consortium, 2019 - *Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses*. Nature, vol. 569: 404-408. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1128-0

Stiers M., Willim K., Seidel D., Ehbrecht M., Kabal M., Ammer C., Annighöfer P., 2018 - *A quantitative comparison of the structural complexity of managed, lately unmanaged and primary European beech (*Fagus sylvatica *L.) forests*. Forest Ecology and Management, 430: 357-365. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.039

Stevens W.K., 1990. *New eye on nature: the real constant is eternal turmoil*. New York Time, July, 31, 1990.

Travaglini D., Paffetti D., Bianchi L., Bottacci A., Bottalico F., Giovannini G., Maltoni A., Nocentini S., Vettori C., Calamini G. - 2012 - *Characterization, structure and genetic dating of an old-growth beech-fir forest in the Northern Apennines (Italy)*. Plant Biosystems, 146 (1): 175-188. https://doi.org/10.1080/11263504.2011.650731

Watson J.E. M., Evans T., Venter O., Williams B., Tulloch A., Stewart C., Thompson I., Ray J.C., Murray K., Salazar A., McAlpine C., Potapov P., Walston J., Robinson J. G., Painter M., Wilkie D., Filardi C., Laurance W.F., Houghton R.A., Maxwell S., Grantham H., Samper C., Wang S., Laestadius L., Runting R.K., Silva-Chávez G.A., Ervin J., Lindenmayer D., 2018 - *The exceptional value of intact forest ecosystems*. Nature Ecology e Evolution, Vol. 2: 599-610. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0490-x

Wilson E.O., 2016 - *Half-Earth: our planet's fight for life*. New York (USA), Liveright Publishing Corporation, a division of W.W. Norton e Company, 256 p.

Wohlleben P., 2016 - *La vita segreta degli alberi*. Macro Editore.

West G.B., Enquist B.J., Brown J.H., 2009 - *A general quantitative theory of forest structure and dynamics*. Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America, 106 (17): 7040-7045. https://doi.org/10.1073/pnas.0812294106

WWF Switzerland, 2004 - *Deadwood - Living Forest. The importance of veterantrees and deadwood to biodiversity*. WWF Report, October 2004.

Yamamoto S., 2000 - *Forest gap dynamics and tree regeneration*. Journal of Forest Research, 5 (4): 223-229. https://doi.org/10.1007/BF02767114