PIERMARIA CORONA (*)

CAMBIAMENTO GLOBALE, SELVICOLTURA E SPERIMENTAZIONE (1)

(*) CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno, viale Santa Margherita 80, 52100 Arezzo.

La velocità dei cambiamenti globali in atto, unitamente alla complessità dei fenomeni in gioco, fa sì che le previsioni sulle condizioni future degli ecosistemi forestali siano piuttosto incerte. La consapevolezza di un futuro incerto ma certamente diverso motiva la ricerca di nuove soluzioni per la gestione sostenibile dei sistemi forestali. Accettare che il futuro sia diverso sia dal passato che dal presente impone la necessità di sviluppare strategie gestionali flessibili, che favoriscano i processi di adattamento: si tratta, dunque, di recuperare a pieno il carattere sperimentale della selvicoltura. Sotto il profilo scientifico, una delle premesse più rilevanti a tal fine è di considerare la foresta come un sistema biologico complesso, per sua natura adattativo. Da questo approccio sono stati ricavati principi guida per la gestione forestale in tempi di global change. Tuttavia, gestire una foresta per aumentarne adattabilità e resilienza rappresenta tuttora una sfida per la ricerca in ambito forestale. La presente nota evidenzia, sotto forma di discussione commentata, le principali questioni critiche relative alle procedure sperimentali in selvicoltura in questa prospettiva e alcuni temi operativi di particolare rilevanza per il nostro Paese.

Parole chiave: gestione forestale; sistemi adattivi complessi; ricerca forestale.

Keywords: forest management; complex adaptive systems; forest research.

Citazione: Corona P., 2019 - *Cambiamento globale, selvicoltura e sperimentazione*. L'Italia Forestale e Montana, 74 (2): 81-92. <https://doi.org/10.4129/ifm.2019.2.01>

1. INTRODUZIONE

Nuove funzioni, usi e valori economici e sociali del bosco hanno determinato una crescita dell'importanza, ma anche della complessità del settore forestale in Italia, ed è sempre più percepita dall'opinione pubblica una vasta e ampia questione intorno alla gestione dei boschi, come anche dimostrato nel nostro Paese dal vivace dibattito in merito alla promulgazione del nuovo Testo Unico Forestale.

Alla base di molte riflessioni c'è anche la considerazione di come la gestione delle foreste si pone di fronte a quell'insieme di fenomeni sinteticamente denominato *global change* (cambiamento globale), termine con il quale si indicano l'in-

¹ Prolusione tenuta alla cerimonia di inaugurazione del 68° Anno accademico dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali.

sieme di trasformazioni e alterazioni che interessano il pianeta nel suo complesso. Tra esse, le modificazioni che riguardano il regime climatico, sia nei valori medi che nella variabilità intrannuale e interannuale, sono particolarmente presenti all'attenzione dell'opinione pubblica, ma non minore rilevanza hanno le trasformazioni di natura economica e sociale, evidenziate, a esempio, dai cambiamenti nella copertura e uso del suolo, dalle alterazioni strutturali dei paesaggi rurali, dalla transizione verso modelli di società a minore natalità e progressivo invecchiamento delle popolazioni, dalla urbanizzazione e dall'abbandono gestionale di molte terre, agrarie e forestali.

Nell'ultimo secolo il nostro Paese è stato interessato da un aumento considerevole della superficie boscata, che dal 1936 al 2016 è quasi raddoppiata (Camarretta *et al.*, 2018; Munafò e Marinosci, 2018): negli ultimi trenta anni questa espansione è avvenuta mediamente al ritmo di oltre 30000 ettari all'anno (Marchetti *et al.*, 2012; Munafò e Marinosci, 2018). A fronte dell'aumento di superficie forestale, a partire dal secondo dopoguerra del secolo scorso, si è assistito a una riduzione generalizzata dei prelievi legnosi, dovuta in vari casi all'adozione di pratiche selvicolturali meno intensive ma soprattutto all'abbandono gestionale di molti patrimoni boschivi. Dall'insieme di questi dati vengono in genere tratte considerazioni positive sulle foreste italiane: la superficie continua ad aumentare così come la biomassa (solamente dal 1985 al 2005 la provvigione legnosa unitaria dei boschi italiani è aumentata del 30%, passando da 113 a 145 m³/ha, Gasparini e Tabacchi, 2011), con effetti benefici sul carbonio stoccato negli alberi e nel suolo.

Ma cosa sappiamo, in realtà, della "qualità" dei nostri boschi? Di fatto, cominciano a essere evidenti alcuni effetti dei cambiamenti climatici, a esempio sugli aspetti relativi alla fenologia (Bascietto *et al.*, 2018) e all'accrescimento (Bertini *et al.*, 2013) dei popolamenti forestali, così come è da registrare un aumento generalizzato di fenomeni naturali di disturbo, sia biotici (a esempio, intensificazione delle gradazioni di lepidotteri defogliatori: Roversi, 2019) che abiotici, anche di grande impatto ecologico ed economico (a esempio, tempeste da vento: Chirici *et al.*, 2019).

La resistenza e la resilienza di una foresta ai cambiamenti sono collegate, in particolare, alle caratteristiche compositive e strutturali dei popolamenti (Oldeman, 1990), le quali sono direttamente influenzate dalla gestione selvicolturale. In relazione a questo ultimo aspetto la situazione nel nostro Paese è fortemente polarizzata: nel 2005 circa un terzo della superficie forestale risultava in abbandono colturale (Gasparini e Tabacchi, 2011), e forse oggi questo dato è anche superiore, mentre il prelievo legnoso è in gran parte concentrato nelle aree dove è più conveniente farlo e dove non di rado si utilizza il bosco ma non lo si cura, o lo si cura in modo discontinuo, con interventi occasionali e non pianificati (soltanto il 18% della superficie forestale nazionale è oggetto di pianificazione di dettaglio: Corona e Gismondi, 2019). Entrambi questi aspetti possono avere conseguenze negative sulla resistenza e resilienza dei nostri boschi, anche in considerazione del fatto che la maggior parte di essi ha struttura relativamente omogenea e relativamente poco evoluta (Portoghesi, 2014).

2. CAMBIAMENTO GLOBALE E SELVICOLTURA

La velocità dei cambiamenti in atto e la complessità dei fenomeni in gioco fanno sì che le previsioni sulle condizioni future degli ecosistemi forestali siano piuttosto incerte: gli scenari possibili sono molti e anche sensibilmente diversi tra loro. L'unica cosa di cui possiamo essere certi è che il futuro sarà diverso dal presente e che gli ecosistemi si troveranno a vivere in condizioni mai sperimentate in passato. Come osserva Portoghesi (2014), proprio la consapevolezza di un futuro incerto ma certamente diverso motiva la ricerca di nuove soluzioni per la gestione sostenibile dei sistemi forestali.

Negli ultimi decenni la capacità di crescita scientifica del settore forestale è stata straordinaria, e questo vale anche per il nostro Paese, tra i primi posti al mondo per produttività bibliometrica in questo settore (Giannetti *et al.*, 2016). Tuttavia, se da un lato il mutato quadro di riferimento ha rapidamente allargato le tematiche a numerosi nuovi aspetti emergenti, quali quelli collegati alla genomica, alle biotecnologie, alle nanotecnologie, alle tecnologie spaziali e a quelle informatiche, è un fatto che di selvicoltura si parli relativamente poco: nel periodo 1996-2018, meno del 10% degli articoli pubblicati in tutto il mondo afferenti nella *subject category* "Forestry" di Scopus si riferisce direttamente ad aspetti selvicolturali (cioè con il termine *silviculture* o *silvicultural* nel titolo, nell'abstract o nelle parole chiave).

Secondo alcuni studiosi (Luyssaert *et al.*, 2018), le modalità di gestione forestale e le pratiche selvicolturali hanno una influenza relativamente modesta e soprattutto a livello locale, piuttosto che a livello globale, sulla mitigazione del cambiamento climatico. D'altra parte, gli effetti delle pratiche selvicolturali risultano invece significativi per quanto riguarda l'adattamento dei sistemi forestali ai cambiamenti climatici (Kolström *et al.*, 2011; Fares *et al.*, 2015). In tal senso, accettare che il futuro sia diverso sia dal passato che dal presente impone la necessità di sviluppare strategie gestionali flessibili, che favoriscano questo adattamento: si tratta di recuperare a pieno il carattere sperimentale della selvicoltura, verificando con continuità le reazioni del sistema e le condizioni a esso esterne, al fine di introdurre tempestivamente gli opportuni aggiustamenti (Ciancio e Nocentini, 1996; Millar *et al.*, 2007).

Sotto il profilo scientifico, una delle premesse più rilevanti in questa prospettiva è stata di considerare la foresta come un sistema biologico complesso (Ciancio, 1996), per sua natura adattativo (Holling, 1978; Levin, 1998; Ciancio e Nocentini, 2011; Motta, 2018). Da questo approccio sono stati ricavati alcuni principi guida per la gestione forestale in tempi di *global change*, ormai patrimonio comune in Italia così come in Europa e nel resto del mondo (bibliografia in: Messier *et al.*, 2013; Nocentini *et al.*, 2017): favorire la diversità strutturale e compositiva dei soprassuoli; adattare il trattamento alla varietà di situazioni strutturali e microstazionali del bosco; utilizzare le capacità auto-organizzative dei popolamenti per aumentare la loro resistenza e resilienza; adottare una pianificazione flessibile e aperta ai saperi locali; coinvolgere nel processo decisionale i diversi attori interessati alla gestione, alle varie scale operative.

Peraltro, rimane aperta una questione di fondo: adattabilità e resilienza non sono grandezze facilmente misurabili; esse tendono ad aumentare se aumenta la diversità del sistema, e ciò rimane fundamentalmente vero nonostante non si tratti di una relazione strettamente lineare (Peterson *et al.*, 1998). Tuttavia, gestire una foresta per aumentarne adattabilità e resilienza rappresenta tuttora una sfida unica per la ricerca in ambito forestale (Portoghesi, 2014).

3. SELVICOLTURA E SPERIMENTAZIONE

L'orientamento gestionale oggi prevalentemente prefigurato cerca di migliorare in modo iterativo la prassi operativa e di adattarsi al cambiamento imparando via via dai risultati delle pratiche applicate. D'altro canto, ciò non può scadere nell'empirismo o nell'intuizionismo: prescindere da un qualunque approccio metodologico di esplorazione e interpretazione delle conseguenze delle alternative gestionali pone problemi in termini di esclusivo affidamento all'esperienza tecnica, aspetto che illogicamente presupporrebbe condizioni operative relativamente stabili nel tempo. Rimane dunque fondamentale un sistematico lavoro di sperimentazione.

3.1 *Aspetti metodologici salienti*

L'applicazione rigorosa del metodo sperimentale come mezzo di conoscenza e di progresso in selvicoltura necessita, da parte dei ricercatori e delle strutture in cui operano, di impegno costante e risorse adeguate: in questo campo non sono possibili improvvisazioni (Morosi, 2018).

Sotto il profilo metodologico, tre aspetti sono, tra gli altri, da evidenziare: la chiarezza degli obiettivi della sperimentazione, in modo da poter inferire i fattori di causalità senza equivoci da quanto osservato; la coerenza formale dei protocolli sperimentali (coerenza dei nessi logici interni alla teoria che motiva la sperimentazione e coerenza con l'insieme dato di premesse stipulate); la conformità con il sistema dei dati verificabili (modalità di corroborazione: a esempio, Corona, 1995). Possono sembrare sottolineature pleonastiche o banali, ma è proprio su questi temi che spesso si gioca la credibilità delle sperimentazioni condotte, sia nel breve che nel lungo termine.

È stato rilevato che non di rado indagini osservative ed esperimenti manipolativi conducono a risultati che possono risultare simili, ma la robustezza delle conclusioni, in genere, non lo è: più controllo o manipolazione sono presenti in un protocollo di ricerca, più stringenti sono, in genere, le inferenze che possono essere indotte (Corona e Scotti, 2011). Tuttavia, è importante riconoscere che problemi di scala spaziale e temporale e di impostazione operativa possono limitare il livello di rigore conseguibile da un esperimento manipolativo in selvicoltura. A esempio, può non essere possibile trovare aree idonee per repliche di trattamenti su scala operativa o soddisfare alcune delle assunzioni richieste dai metodi di analisi. Ma soprattutto, non di rado, gli esperimenti controllati sono

molto costosi. Di conseguenza, i protocolli di ricerca in selvicoltura sono frequentemente realizzati su base esclusivamente osservazionale, sebbene le deduzioni che ne derivano siano, in genere, più deboli (o parziali) rispetto a quelle ottenibili attraverso la sperimentazione controllata.

D'altro canto, sotto il profilo metodologico vanno comunque evidenziati alcuni aspetti di possibile criticità, non di rado sottovalutati, inerenti le stesse sperimentazioni controllate in selvicoltura. Innanzitutto, la ricerca di una stringente causalità ha portato, non di rado, a semplificare l'oggetto di studio e di conseguenza, anche se non esplicitamente, a corroborare la semplificazione delle tecniche e degli approcci colturali sperimentati e poi applicati. In secondo luogo, se il bosco è riconosciuto come un sistema biologico complesso, anche i metodi sperimentali dovrebbero esplicitamente tenere conto delle caratteristiche peculiari di questo tipo di sistemi, quali la non linearità delle relazioni tra i componenti, la gerarchia spaziale e temporale, la bassa prevedibilità, ecc. (Ciancio, 1996; Puettmann *et al.*, 2009): le soluzioni metodologiche non mancano (a esempio: Sit e Taylor, 1998; Messier e Puettmann, 2011), ma il tema spesso non risulta adeguatamente avvertito dai ricercatori. In terzo luogo, va tenuto presente che nelle sperimentazioni selvicolturali il fattore "tempo" è una variabile che può rendere ambiguo il valore dei risultati sotto il profilo inferenziale: infatti, se il futuro è diverso dal passato, verosimilmente, nell'ambito di una data sperimentazione, il futuro potrà essere diverso dal passato "sperimentale", tanto più se la sperimentazione è di lungo periodo.

Una ulteriore considerazione è, infine, necessaria: l'impatto delle pratiche di gestione selvicolturale non può, in genere, essere pienamente colto mediante osservazioni su singole parcelle sperimentali (pur replicate), dove, a esempio, non è possibile evidenziare gli effetti su larga scala. In relazione a ciò, elemento chiave è la integrazione di informazioni provenienti da più fonti (indagini campionarie, modellistica, ecc.): un interessante esempio in questa direzione è la analisi del positivo rapporto tra diversità dendrologica e produttività forestale, recentemente evidenziato su base sia osservazionale (Liang *et al.*, 2016) che sperimentale (Huang *et al.*, 2018).

3.2 *Protocolli di lungo periodo*

Nella gran parte dei casi la corretta valutazione sperimentale delle pratiche di gestione forestale richiede tempi molto lunghi. Per superare questo vincolo può talora essere utile una analisi riassuntiva e comparativa di dati e circostanze esistenti: è il metodo delle cosiddette cronosequenze (a esempio: Moussaoui *et al.*, 2019) e dei cosiddetti studi retrospettivi (a esempio: Lafleur *et al.*, 2016). Questi approcci possono ridurre notevolmente il tempo necessario per l'ottenimento di evidenze corroborate e hanno in genere costi relativamente ridotti. I loro risultati vanno comunque considerati con cautela, soprattutto per la difficoltà di garantire relativa omogeneità ed effettiva comparabilità di situazioni e condizioni a confronto, che spesso non consentono di verificare adeguatamente ipotesi quantitative. I risultati di questo tipo di analisi possono essere utili a livello esplorativo,

al fine di valutare indirettamente azioni di gestione a lungo termine oppure al fine di valutare l'impatto di fenomeni che non possono essere ragionevolmente ricreati (a esempio, danni da uragani): va comunque sottolineato che questi metodi, se possono risultare vantaggiosi per confrontare passato e presente, lo sono meno per guardare al futuro.

La modalità più idonea per condurre studi osservazionali o manipolativi in selvicoltura si fonda sull'utilizzo di protocolli permanenti di lungo periodo. Gli esempi più noti e significativi sono, forse, quelli legati alle esperienze dell'Europa Centrale, dove, a esempio, grazie a impianti sperimentali realizzati oltre un secolo e mezzo fa è stato possibile dimostrare i vantaggi della gestione delle foreste miste in termini di produttività rispetto ai popolamenti monospecifici e, con diretto riferimento ai cambiamenti ambientali negli ultimi decenni, hanno dimostrato un aumento dell'accrescimento favorito dall'allungamento della stagione vegetativa e dall'effetto fertilizzante delle deposizioni azotate (Pretzsch *et al.*, 2019).

Anche in Italia abbiamo una importante tradizione di esperimenti selvicolturali di lungo periodo. Proprio anche a questo scopo fu istituita nel 1922 la Stazione sperimentale di selvicoltura, che si è poi nel tempo trasformata in quello che è oggi il Centro di ricerca Foreste e Legno del CREA. Pavari ne fu il primo Direttore e concentrò le priorità sperimentali in due grandi filoni: i) tecniche di rimboschimento; ii) miglioramento dei boschi esistenti ai fini dell'aumento della produzione legnosa. Per tali finalità, Pavari realizzò un vasto piano di prove sperimentali, in parte ancora esistente e curato dal CREA. Quanto iniziato da Pavari ha consentito, a esempio, un accurato *screening*, dopo diversi decenni, delle specie forestali esotiche proficuamente impiegabili nelle condizioni ambientali italiane (Ciancio *et al.*, 1982). Alcune parcelle sperimentali impiantate da Pavari sono state anche di recente utilizzate per analizzare le variazioni incrementali in relazione al cambiamento climatico, evidenziando come la correlazione tra ampiezza anulare e variabili climatiche non sia stabile nel tempo, e in particolare come l'effetto delle precipitazioni sia diventato significativamente più influente negli ultimi decenni.

4. PROSPETTIVE TEMATICHE

Sostenere l'attività sperimentale in selvicoltura è, dunque, essenziale, soprattutto in una ottica di lungo periodo (Scarascia *et al.*, 2000; D'Amato *et al.*, 2011; Morosi, 2018). All'uopo, particolarmente auspicabile è il coordinamento sinergico tra Enti di ricerca, istituzioni accademiche e amministrazioni con competenze nel settore forestale, a livello nazionale e regionale. Temi di peculiare attualità nel nostro Paese in relazione al cambiamento globale sono, a esempio:

- gli interventi colturali per incrementare la resilienza ai vari tipi di disturbi che si accentueranno in seguito ai cambiamenti climatici (Seidl *et al.*, 2017): l'argomento non riguarda solamente il caso dei danni da vento (Motta *et al.*, 2018) o

- da incendi (Corona *et al.*, 2015), ma va esteso anche alle problematiche biotiche, a esempio alle sempre più massive gradazioni di insetti (*Tortrix viridana*, *Limantria dispar*, *Thaumatopeoa processionaea*) e aumentato rischio di deperimento da *Biscogniauxia* nei querceti;
- la regolazione della densità dei popolamenti per mitigare gli effetti del crescente stress da siccità e aridità: è un tema su cui si è cominciato a lavorare in varie parti nel mondo (Sohn *et al.*, 2016) e per il quale si hanno evidenze empiriche e qualche pregevole specifica esperienza anche nel nostro Paese (a esempio: Cantore e Iovino, 1989, Cinnirella *et al.*, 1995, Compostella e Iovino, 1999), che si tratta ora di sistematizzare, a esempio per quanto riguarda i rimboschimenti e i cedui in conversione (Di Matteo *et al.*, 2005);
 - l'effetto sulla pasciona (*mast-seeding*) dell'interazione tra cambiamento climatico (variazione della lunghezza delle stagioni vegetative, gelate, ecc.: Ascoli *et al.*, 2017) e interventi colturali (Cutini *et al.*, 2015), il cui interesse è legato al fatto che la maggior parte dei sistemi selvicolturali applicati in Italia sono finalizzati alla rinnovazione naturale gamica e quindi condizionati dalla produzione di seme, la quale a sua volta ha riflessi anche sulle catene trofiche in bosco (a esempio, cinghiali: Bisi *et al.*, 2018);
 - lo sviluppo di pratiche selvicolturali atte a creare o mantenere microhabitat in bosco, sia in termini di alberi vivi che di legno morto, nella considerazione che, in termini qualitativi ai fini della funzionalità forestale, è, in genere, più importante l'attenzione a ciò che viene lasciato in bosco (le cosiddette *legacies*: Kohm e Franklin, 1997) rispetto a ciò che viene prelevato;
 - la gestione dei boschi di neoformazione: rappresentano una porzione rilevante del patrimonio forestale nazionale e in ambienti quali quelli prealpini (in cui è frequente l'invasione dell'aceri-frassineto) o centro-appenninici (in cui si registra l'ingresso del ciliegio o della rovere), può, in vari casi, essere necessario intervenire per favorire lo sviluppo di boschi diversificati e resilienti e, ove opportuno e possibile, valorizzare le specie arboree con legno di maggior pregio (Ferretti *et al.*, 2019);
 - la gestione delle foreste urbane e periurbane, dove gli interventi colturali sono finalizzati a ottimizzare il ruolo degli alberi come fornitori di utilità ecosistemiche (a esempio: fitodepurazione, controllo sul microclima e sull'isola di calore) e garantire, al contempo, appropriati standard di sicurezza nei confronti dei cittadini (Salbitano *et al.*, 2016);
 - ecc.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Negli ultimi decenni sono state acquisite importanti conoscenze riguardo alle caratteristiche strutturali e funzionali degli ecosistemi forestali, grazie all'impiego di sempre più sofisticate tecniche e strumenti in biochimica, informatica, statistica, genetica, fisiologia vegetale, ecologia, dendrometria, geomatica, ecc. I progressi

scientifici conseguiti richiedono un livello di formazione eccellente per i ricercatori, chiamati a comprendere e migliorare lo stato dell'arte e a rispondere alle sempre più complesse sfide della ricerca in selvicoltura attraverso un approccio multidisciplinare e il confronto costante con la comunità internazionale.

Peraltro, rimane imprescindibile una approfondita cultura selvicolturale, che è innanzitutto cultura storica e la cui carenza è condizione non di rado ostativa per una diffusione realmente efficace dei risultati della ricerca e il loro trasferimento operativo anche laddove è possibile fare riferimento a soluzioni innovative. Perché questo avvenga è infatti necessario che i dati raccolti, messi a disposizione dai sempre più sofisticati strumenti e tecniche, siano inseriti nel contesto di un apparato teorico coerente: come evidenziato da Deléage (2000), fare osservazioni e raccogliere dati, pur in modo raffinato, senza la traccia di una teoria è unicamente “filatelia scientifica”.

Per questo è importante conoscere i percorsi concettuali, le teorie che caratterizzano la storia e l'attualità delle scienze forestali: è a partire da questa base che il nostro impegno come ricercatori e sperimentatori può essere costantemente riformulato e rilanciato con idee e motivazioni sempre rinnovate, al passo con i tempi veloci che caratterizzano il cambiamento globale.

RINGRAZIAMENTI

Questa nota trae spunto dalle esperienze di ricerca personalmente condotte presso la Società Agricola e Forestale (Ente Nazionale Cellulosa e Carta), l'Università degli Studi di Firenze, l'Università degli Studi della Tuscia e il Centro di ricerca Foreste e Legno (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria), ma è anche frutto, in parte significativa, del pluriennale confronto e discussione con Orazio Ciancio e alcuni altri colleghi, che desidero qui ringraziare: Mariagrazia Agrimi, Anna Barbati, Francesco Chianucci, Gherardo Chirici, Andrea Cutini, Silvano Fares, Lorenzo Fattorini, Francesco Iovino, Marco Marchetti, Renzo Motta, Susanna Nocentini, Luigi Portoghesi, Nicola Puletti, Luca Salvati, Giuseppe Scarascia Mugnozza, Roberto Scotti, Davide Travaglini.

SUMMARY

Global change and experimental procedures in silviculture

The rapidity of the global change and the complexity of the phenomena involved make any forecast of future environmental conditions rather uncertain: the only thing we can be sure of is that the future will be different from the present and that most ecosystems will be living in conditions never experienced before. The awareness of an uncertain but certainly different future motivates the search for new solutions for a sustainable management of forest systems. Accepting that the future will be different from both the past and the present makes it necessary to develop flexible management strategies to promote the proper adaptation: distinctively, it is expedient to fully recover the experimental character of silviculture, continuously monitoring the reactions of forest stands in order to introduce timely adjustments. From a scientific point of view, one of the most

important premises under this perspective has been to consider the forest as a complex adaptive system. From this approach, some guiding principles for forest management in times of global change have been derived worldwide. However, managing a forest to increase its adaptability and resilience to global change still is a challenge for silvicultural research. Under such a distinctive perspective, this note highlights, in the form of a commented discussion, critical issues about experimental procedures in silviculture and relevant operational themes.

BIBLIOGRAFIA

- Ascoli D., Vacchiano G., Turco M., Conedera M., Drobyshev I., Maringer J., Motta R., Hackett-Pain A., 2017 - *Inter-annual and decadal changes in teleconnections drive continental-scale synchronization of tree reproduction*. Nature Communications, 8: 2205. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02348-9>
- Bascietto M., Bajocco S., Mazzenga F., Matteucci G., 2018 - *Assessing spring frost effects on beech forests in Central Apennines from remotely-sensed data*. Agricultural and Forest Meteorology, 248: 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.007>
- Bertini G., Amoriello T., Piovosi M., Fabbio G., 2013 - *Alcune evidenze dal monitoraggio intensivo delle foreste italiane. L'accrescimento radiale degli alberi come indice di risposta ai disturbi e le sue relazioni con la struttura del soprassuolo*. Forest@, 10: 68-78. <https://doi.org/10.3832/efor1010-010>
- Bisi F., Chirichella R., Chianucci F., Von Hardenberg J., Cutini A., Martinoli A., Apollonio M., 2018 - *Climate, tree masting and spatial behaviour in wild boar (Sus scrofa L.): insight from a long-term study*. Annals of Forest Science, 75: 46. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0726-6>
- Camarretta N., Chiavetta U., Puletti N., Corona P., 2018 - *Quantitative changes of forest landscapes over the last century across Italy*. Plant Biosystems, 152: 1011-1019. <https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1407374>
- Chirici G., Giannetti F., Travaglini D., Nocentini S., Francini S., D'Amico G., Calvo E., Fasolini D., Broll M., Maistrelli F., Tonner J., Pietrogiovanna M., Oberlechner K., Andriolo A., Comino R., Faidiga A., Pasutto I., Carraro G., Zen S., Contarin F., Alfonsi L., Wolynski A., Zanin M., Gagliano C., Tonolli S., Zoanetti R., Tonetti R., Cavalli R., Lingua E., Pirotti F., Grigolato S., Bellingeri D., Zini E., Gianelle D., Dalponte M., Pompei E., Stefani A., Motta R., Morresi D., Garbarino M., Alberti G., Valdevit F., Tomelleri E., Torresani M., Tonon G., Marchi M., Corona P., Marchetti M., 2019 - *Stima dei danni della tempesta "Vaia" alle foreste in Italia*. Forest@, 16: 3-9. <https://doi.org/10.3832/efor3070-016>
- Ciancio O., 1996 - *I paradossi della ricerca forestale*. L'Italia Forestale e Montana, 51: 1-4.
- Ciancio O., Mercurio R., Nocentini S., 1982 - *Le specie forestali esotiche nella selvicoltura italiana*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, 12-13.
- Ciancio O., Nocentini S., 1996 - *The scientific paradigm, "good silviculture" and the wisdom of the forester*. In: O. Ciancio (a cura di), The forest and man, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 257-268.
- Ciancio O., Nocentini S., 2011 - *Biodiversity conservation and systemic silviculture: Concepts and applications*. Plant Biosystems, 145: 411-418. <https://doi.org/10.1080/11263504.2011.558705>
- Cantore V., Iovino F., 1989 - *Effetti dei diradamenti sull'umidità del suolo in popolamenti di douglasia della Catena Costiera (Calabria)*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, 20: 13-39.
- Cinnirella S., Iovino F., Perniola G., Tersaruolo A.M., 1995 - *Efficacia dei diradamenti sulla riserva idrica del suolo*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, 24: 7-22.
- Cutini A., Chianucci F., Giannini T., Manetti M.C., 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. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0476-7>
- Compostella G., Iovino F., 1999 - *Studio sull'umidità del suolo in relazione ai diradamenti in popolamenti di Pino laricio*. L'Italia Forestale e Montana, 54: 308-323.
- Corona P., 1995 - *Criteri di corroborazione dei modelli di regressione*. L'Italia Forestale e Montana, 4: 390-403.
- Corona P., Scotti R., 2011 - *Systemic silviculture, adaptive management and forest monitoring perspectives*. L'Italia Forestale e Montana, 3: 219-224. <https://doi.org/10.4129/ifm.2011.3.05>

- Corona P., Ascoli D., Barbati A., Bovio G., Colangelo G., Elia M., Garfi V., Iovino F., Laforteza R., Leone V., Lovreglio R., Marchetti M., Marchi E., Menguzzato G., Nocentini S., Picchio R., Portoghesi L., Puletti N., Sanesi G., Chianucci F., 2015 - *Integrated forest management to prevent wildfires under Mediterranean environments*. Annals of Silvicultural Research, 39: 1-22.
- Corona P., Gismondi R., 2019 - *Gestione e tutela delle foreste*. In: Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia. Direzione Generale Foreste, Rete Rurale Nazionale, Ministero delle politiche agricole, agroalimentari, forestali e del turismo. Compagnia delle Foreste, Arezzo, p. 98-99.
- D'Amato A.W., Bradford J.B., Fraver S., Palik B.J., 2011 - *Forest management for mitigation and adaptation to climate change: Insights from long-term silviculture experiments*. Forest Ecology and Management, 262: 803-816. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.05.014>
- Deléage J-P., 2000 - *Une histoire de l'écologie*. Editions du Seuil, Paris.
- Di Matteo G., De Angelis P., Scarascia Mugnozza G., 2005 - *Applicazione di tecniche isotopiche per valutare la risposta funzionale di cedui mediterranei al taglio di avviamento all'alto fusto*. Forest@, 2: 367-377. <https://doi.org/10.3832/efor0313-0020367>
- Fares A., Scarascia Mugnozza G., Corona P., Palahi M., 2015 - *Five steps for managing Europe's forests*. Nature, 519: 407-409. <https://doi.org/10.1038/519407a>
- Ferretti F., Alberti G., Badalamenti E., Corona P., Garbarino M., La Mantia T., Malandra F., Maresi G., Morresi D., Piermattei A., Pividori M., Romano R., Salvadori C., Sibona E., da Silveira Bueno R., Sitzia T., Urbinati C., Vitali A., Pelleri F., 2019 - *Boschi di neoformazione in Italia: approfondimenti conoscitivi e orientamenti gestionali*. Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Scheda n. 22.2 - Foreste, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma.
- Gasparini P., Tabacchi G. (a cura di), 2011 - *L'inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi di carbonio INFC2005. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati*. Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, Corpo forestale dello Stato, Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura. Edagricole, Milano.
- Giannetti F., Chirici G., Paoletti E., Borghetti M., Corona P., Bucci G., 2016 - *Assessing the bibliometric productivity of forest scientists in Italy*. Annals of Silvicultural Research, 40: 19-30.
- Holling C.S. (a cura di), 1978 - *Adaptive environmental assessment and management*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Huang Y., Chen Y., Castro-Izaguirre N., Baruffo M., Brezzi M., Lang A., Li Y., Härdtle W., von Oheimb G., Yang X., Liu X., Pei K., Both S., Yang B., Eichenberg D., Assmann T., Bauhus J., Behrens T., Buscot F., Chen X., Chesters D., Ding B., Durka W., Erfmeier A., Fang J., Fischer M., Guo L., Guo D., Gutknecht J., He J., He C., Hector H., Hönig L., Hu R., Klein A., Kühn P., Liang Y., Li S., Michalski S., Scherer-Lorenzen M., Schmidt K., Scholten T., Schuldt A., Shi X., Tan M., Tang Z., Trogisch S., Wang Z., Welk E., Wirth C., Wubet T., Xiang W., Yu M., Yu X., Zhang J., Zhang S., Zhang N., Zhou H., Zhu C., Zhu L., Bruelheide H., Ma K., Niklaus P.A., Schmid B., 2018 - *Impacts of species richness on productivity in a large-scale subtropical forest experiment*. Science, 362: 80-83.
- Kohm K.A., Franklin J.F. (a cura di), 1997 - *Creating a forestry for the 21st century: the science of ecosystem management*. Island Press, Washington.
- Kolström M., Lindner M., Vilén T., Maroschek M., Seidl R., Lexer M.J., Netherer S., Kremer A., Delzon S., Barbati A., Marchetti M., Corona P., 2011 - *Reviewing the science and implementation of climate change adaptation measures in European forestry*. Forests, 2: 961-982. <https://doi.org/10.3390/f2040961>
- Lafleur B., Renard S., Leroy C., Fenton N.J., Simard M., Gauthier S., Paré D., Leduc A., Thiffault N., Bergeron Y., 2016 - *Silviculture to sustain productivity in black spruce paludified forests*. Forest Ecology and Management, 375: 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.037>
- Levin S.A., 1998 - *Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems*. Ecosystems, 1: 431-436. <https://doi.org/10.1007/s100219900037>
- Liang J., Crowther T.W., Picard N., Wiser S., Zhou M., Alberti G., Schulze E., McGuire A.D., Bozzato F., Pretsch H., de-Miguel S., Paquette A., Hérault B., Scherer-Lorenzen M., Barrett C., Glick H., Hengeveld G., Nabuurs G., Pfautsch S., Viana H., Vibrans A., Ammer C., Schall

- P., Verbyla D., Tchepakova N., Fischer M., Watson J., Chen H., Lei X., Schelhaas M., Lu H., Gianelle D., Parfenova E., Salas C., Lee E., Lee B., Kim H., Bruelheide H., Coomes D., Piotta D., Sunderland T., Schmid B., Gourlet-Fleury S., Sonké B., Tavani R., Zhu J., Brandl S., Vayreda J., Kitahara J., Searle E., Neldner V., Ngugi M., Baraloto C., Frizzera L., Balazy R., Oleksyn J., Zawila-Niedzwiecki T., Bouriaud O., Bussotti F., Finér L., Jaroszewicz B., Jucker T., Valladares F., Jagodzinski A., Peri P., Gonmadje C., Marthy W., O'Brien W., Martin E., Marshall A., Rovero F., Bitariho R., Niklaus P., Alvarez-Loayza P., Chamuya N., Valencia R., Mortier F., Wortel V., Engone-Obiang N., Ferreira L., Odeke D., Vasquez R., Lewis S.L., Reich P.B., 2016 - *Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests*. *Science*, 354: 6309, aaf8957. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8957>
- Luyssaert S., Marie G., Valade A., Chen Y.-Y., Njakou Djomo S., Ryder J., Otto J., Naudts K., Lansø A.S., Ghattas J., McGrath M.J., 2018 - *Trade-offs in using European forests to meet climate objectives*. *Nature*, 562: 259-262. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0577-1>
- Marchetti M., Bertani R., Corona P., Valentini R., 2012 - *Cambiamenti di copertura forestale e dell'uso del suolo nell'inventario dell'uso delle terre in Italia*. *Forest@*, 9: 170-184. <https://doi.org/10.3832/efor0696-009>
- Messier C., Puettmann K.J., 2011 - *Forests as complex adaptive systems: implications for forest management and modelling*. *L'Italia Forestale e Montana*, 66: 249-258. <https://doi.org/10.4129/ifm.2011.3.11>
- Messier C., Puettmann K.J., Coates K.D., 2013 - *Managing forests as complex adaptive systems. Building resilience to the challenge of global change*. Routledge, New York.
- Millar C.I., Stephenson N.L., Stephens S.L., 2007 - *Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty*. *Ecological Applications*, 17: 2145-2151. <https://doi.org/10.1890/06-1715.1>
- Morosi C. (a cura di), 2018 - *Bosco e silvosistemica. Utopia o rivoluzione scientifica? 100 domande al Prof. Orazio Ciancio*. Rubbettino, Soveria Mannelli.
- Motta R., 2018 - *L'equilibrio della natura non esiste (e non è mai esistito!)*. *Forest@*, 15: 56-58. <https://doi.org/10.3832/efor2839-015>
- Motta R., Ascoli D., Corona P., Marchetti M., Vacchiano G., 2018 - *Selvicoltura e schianti da vento. Il caso della "tempesta Vaia"*. *Forest@*, 15: 94-98. <https://doi.org/10.3832/efor2990-015>
- Moussaoui L., Leduc A., Fenton N.J., Lafleur B., Bergeron Y., 2019 - *Changes in forest structure along a chronosequence in the black spruce boreal forest: Identifying structures to be reproduced through silvicultural practices*. *Ecological Indicators*, 97: 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.059>
- Munafò M., Marinosci I. (a cura di), 2018 - *Territorio. Processi e trasformazioni in Italia*. ISPRA, Rapporti 296/2018. Roma.
- Nocentini S., Buttoud G., Ciancio O., Corona P., 2017 - *Managing forests in a changing world: the need for a systemic approach. A review*. *Forest Systems*, 26: Issue 1, eR01. <https://doi.org/10.5424/fs/2017261-09443>
- Oldeman R.A.A., 1990 - *Forests: Elements of silvology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-75211-7>
- Peterson G., Allen C.R., Holling C.S., 1998 - *Ecological resilience, biodiversity and scale*. *Ecosystems* 1: 6-18. <https://doi.org/10.1007/s100219900002>
- Portoghesi L., 2014 - *I boschi di fronte al cambiamento globale: quale il ruolo della selvicoltura?* Proceedings of the Second International Congress of Silviculture. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 236-240.
- Puettmann K.J., Coates K.D., Messier C.C., 2009 - *A critique of silviculture. Managing for complexity*. Island Press, Washington.
- Pretzsch H., del Rio M., Biber P., Arcangeli A., Bielak K., Brang P., Dudzinska M., Forrester D.I., Kladtke J., Kohnle U., Ledermann T., Matthews R., Nagel J., Nagel R., Nilsson U., Ningre F., Nord-Larsen T., Wernsdorfer H., Sycheva E., 2019 - *Maintenance of long-term experiments for unique insights into forest growth dynamics and trends: review and perspectives*. *European Journal of Forest Research*, 138: 165-185. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1151-y>
- Roversi P., 2019 - *Avversità delle specie arboree, forestali e di area urbana*. In: Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia. Direzione Generale Foreste, Rete Rurale Nazionale,

- Ministero delle politiche agricole, agroalimentari, forestali e del turismo. Compagnia delle Foreste, Arezzo, p. 122-123.
- Salbitano F., Borelli S., Conigliaro M., Yujuan C., 2016 - *Guidelines on urban and peri-urban forestry*. FAO Forestry paper, 178. FAO, Roma.
- Scarascia Mugnozza G., Oswald H., Piussi P., Radoglou K., 2000 - *Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs*. Forest Ecology and Management, 132: 97-109. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00383-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00383-2)
- Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel T.A., Reyer C.P.O., 2017 - *Forest disturbances under climate change*. Nature Climate Change, 7: 395-402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Sit V., Taylor B. (a cura di), 1998 - *Statistical methods for adaptive management studies*. Land Management Handbook, 42. Research Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria.
- Sohn J.A., Saha S., Bauhus J., 2016 - *Potential of forest thinning to mitigate drought stress: a meta-analysis*. Forest Ecology and Management, 380: 261-273. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.046>